



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL MINERO METALÍFERO DEL DEPARTAMENTO MALARGÜE PROVINCIA DE MENDOZA

MODELOS DE MINERALIZACIÓN EN ORO, PLATA, COBRE,
MOLIBDENO Y METALES BASE (PLOMO, ZINC)

INCLUYE BASE DE DATOS DE PROYECTOS, BASE DE DATOS DE ÁREAS DE INTERÉS
MINERO Y MAPAS

Autores

Coordinación: Mario A. Rosas

Jefe del Proyecto: Facundo Cecenarro

Metalogenia: Facundo Cecenarro, Fernando Ganem

Geología: Hugo Marengo, Facundo Cecenarro y Mario A. Rosas

Geoquímica: Ángel Jara y Andrea Turel

Geofísica: Dolores Álvarez

SIG y Base de datos: José R. Manzur, José L. Carletti y Ángel Jara

Sensores Remotos: Diego Azcurra

Análisis Geoespacial: Gabriel Asato

Cartografía: José R. Manzur, Leda Moser

Supervisión: Fernando Ganem

Septiembre, 2019

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. FUENTES DE INFORMACIÓN	8
2.1. Base de datos de depósitos minerales.....	8
2.2 Padrón y Catastro Minero	8
2.3. Información Geológica	11
3. MARCO GEOLÓGICO	11
3.1. Unidades tectonoestratigráficas	11
3.2. Tectónica y evolución geodinámica	16
3.3. Geomorfología	17
3.4. Historia metalogenética	18
3.5. Modelos de depósitos	19
3.5.1. Pórfiros de cobre y cobre-oro (4b; 4c)	20
3.5.2. Epitermales (7a; 7b; 7e)	20
3.5.3. Skarn (5b y 5d).....	20
3.5.4. Cobre en manto (11a)	20
3.5.5. Cobre y Uranio-Vanadio-Cobre en areniscas (9a, 9b)	21
3.6. Sensores remotos.....	21
3.6.1. Procesamiento Landsat 8.....	21
3.6.2. Procesamiento Aster	25
3.6.3. Imágenes de radar (SRTM y Alos Palsar)	33
3.7. Geofísica	36
3.8. Geoquímica	44
3.8.1. Metodología analítica y de muestreo	44
3.8.2. Análisis de factores	46
3.8.3. Representación de las anomalías geoquímicas.....	46
4. METALOTECTOS	52
4.1. Metalotectos Litológicos.....	52
4.1.1. Dacitas y andesitas del Pérmico Temprano.....	52
4.1.2. Riolitas de ambiente post-orogénico del Pérmico Tardío - Triásico Temprano.....	52
4.1.3. Complejo Volcanoclástico Jurásico.....	52
4.1.4. Rocas carbonáticas jurásico - cretácicas.....	53
4.1.5. Cuerpos subvolcánicos del arco neógeno	53
4.1.6. Areniscas continentales del Cretácico y Paleógeno	53
4.2. Metalotectos Estructurales.....	53
4.2.1. Fallas conjugadas gondwánicas	54

4.2.2 Corrimientos andinos	54
4.2.3 Anticlinales andinos.....	54
5. FAJAS METALOGENÉTICAS	57
5.1 Arco Magmático Pérmico (POS-AM-P)	57
5.2 Magmatismo poscolisional Permo-Triásico (POS-PC-PT).....	57
5.3 Arco Magmático Jurásico (POS-AM-J).....	57
5.4 Cuenca de retroarco Cretácico-Paleógeno (POS-CR-KTP)	58
5.5 Arco Magmático Mioceno-Plioceno (POS-AM-TN).....	58
6. RESULTADOS	60
6.1. Análisis del estado de los proyectos	60
6.2. Áreas de interés minero (blancos de exploración)	61
6.2.1. Evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica	61
6.2.2. Análisis geoespacial de potencial minero	61
6.2.3. Resultados	64
7. CONCLUSIONES.....	66
8. RECOMENDACIONES	67
AGRADECIMIENTOS	68
9. BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	73

RESUMEN

El departamento Malargüe contiene una gran densidad de depósitos minerales y diversidad de mineralizaciones, que se encuentran en una etapa de exploración temprana, debido principalmente a la falta de inversiones en exploración en las últimas décadas; sin embargo, la región reviste un gran atractivo para la industria minera, con un alto interés exploratorio capaz de contener depósito de “clase mundial”.

Estos depósitos están vinculados principalmente a cinco fajas metalogénicas constituyendo depósitos de pórfiros de $\text{Cu} \pm \text{Au} \pm \text{Mo}$, Cobre en manto, skarn con Cu y skarn con Fe, depósitos de Cu, U y V en areniscas, Fluorita-(ETR) en vetas, polimetálicos simples y complejos, y epitermal de Oro de baja sulfuración. La evaluación mediante técnicas actuales, es imprescindible para valorar el potencial minero.

En el presente trabajo se aplica una metodología multidisciplinaria, empleando datos geológicos, geoquímicos, geofísicos, de teledetección remota, catastrales y económicos. A partir de éstos, se creó una base datos con la caracterización de 241 depósitos que presentan alguna información histórica, de la que se obtuvieron mapas de depósitos minerales, alteraciones hidrotermales, de anomalías geoquímicas, estructurales y de unidades tectonoestratigráficas.

El procesamiento también permitió detectar nuevas áreas de interés para commodities como oro, plata, cobre, hierro, uranio y vanadio, entre otros.

Sobre la base de la información relevada, se realizaron mapas de síntesis y un cuadro donde se indican áreas potencialmente promisorias, según modelo de depósito y grado de potencialidad exploratoria.

A su vez, las áreas se agruparon en seis sectores según sus características geológicas, resultando el sector de Las Choicas-Las Vegas el de mayor potencial para depósitos de pórfiros de cobre; el sector Don Sixto, conocido por los sistemas epitermales en basamento; el sector Cordón del Cobre, promisorio para hospedar depósitos tipo IOCG; el sector Puesto Vergara-Arroyo Montañés, para depósitos polimetálicos y skarn; el sector Cerro Mallines posee potencial para depósitos tipo skarn; por último, el sector de Mary-Mayán posee anomalías considerables, pero no se poseen suficientes datos geológicos.

Palabras Clave: Malargüe, potencial minero, depósitos metalíferos, modelos de mineralización.

ABSTRACT

“Evaluation of the Metalliferous Mining Potential of the Malargüe Department, Mendoza province”

The Malargüe department contains a high density of mineral deposits and an ore broad diversity, which are in an early exploration stage, mainly due to the lack of investments in exploration in last decades; However, the region is very attractive to the mining industry, with a high exploratory interest capable of containing a “world class” deposit.

These deposits are mainly linked to five metallogenetic belts that host Cu± Au± Mo porphyries, Cu in mantle, skarn Copper and skarn Iron deposit, sandstone Cu, U and V deposit, REE-bearing fluorite deposits, simple and complex polymetallic, low sulfidation epithermal gold deposit. The evaluation using current techniques is essential to assess the mining potential.

In this paper, a multidisciplinary methodology is applied, using geology, geochemical, geophysics, remote sensing, cadastral and economic data. From these, a data base was created with the characterization of 241 deposits that present some historical information, from which maps of mineral deposits, hydrothermal alteration, geochemistry anomalies, structures and tectono-stratigraphic units were obtained.

The processing also allowed the detection of new potential areas of interest for commodities such as gold, silver, copper, iron, uranium and vanadium, among others.

Based on the data collected, synthesis maps and charts were made showing potentially promising areas, according to deposit types and degree of exploration potential.

In turn, the areas were grouped into six sectors according to their geological features, showing the Las Choicas-Las Vegas sector the one greatest potential for porphyry copper deposits; the Don Sixto sector, known for gold epithermal systems in basement; the Cordón del Cobre sector, promising to host IOCG type; The Puerto Vergara-Arroyo Montañés sector, for polymetallic and skarn deposits; The Cerro Mallines sector has potential for skarn deposits; Finally, the Mary-Mayan sector has considerable anomalies, but there are not enough geological data.

Keywords: Malargüe, mining potential, metalliferous ore bodies, ore deposit types

2. FUENTES DE INFORMACIÓN

La información utilizada para este trabajo fue tomada de publicaciones generadas por el SEGEMAR, institutos de investigación científica, organismos gubernamentales, compañías mineras, archivos históricos de entidades vigentes o no en la actualidad, e información ofrecida en sitios web por estos organismos. El tipo de información es de carácter científico técnico y de carácter jurídico público. Toda la información se compila en una tabla que se detalla a continuación.

2.1. Base de datos de depósitos minerales

La base de datos (tabla en archivo adjunto) exhibe datos de tipo geográfico, información geológica-metalogenética general, información de detalle sobre ensayos realizados, evaluación económica existente, referencias bibliográficas, e información sobre el estado legal de cada proyecto.

Por información geográfica se entiende la ubicación de cada proyecto o mina con su respectivo nombre, carta geológica correspondiente, y coordenadas geográficas en sistema de proyección POSGAR 98 faja 2, con datum WGS 84. La información geológica-metalogenética consiste de datos estratigráficos, litología o roca hospedante, edad litológica, tipos de alteraciones hidrotermales, estructuras asociadas, morfología del depósito, edad de la mineralización, y clasificación de depósito mineral siguiendo el criterio normativo del SEGEMAR.

Los datos de ensayos se refieren a análisis químicos, datos geofísicos locales (magnetometría, gravimetría, radiometría, etc.), perforaciones de diamantina o aire reverso. A su vez se clasifica el grado de desarrollo del proyecto minero. Las reseñas económicas mencionan datos referidos a leyes minerales por cada sustancia (commodity), ley de corte, tonelaje estimado y producción. Las referencias bibliográficas indican la fuente donde fue tomada la información.

2.2 Padrón y Catastro Minero

Los datos de aspecto jurídico fueron aportados por la Dirección de Minería de la provincia, los cuales se rigen por el Código Minero de Mendoza. También se incluye información de las Áreas Naturales Protegidas de Mendoza, bajo ley 6045 (Figura 2).

A continuación, se muestran algunas definiciones del Código de Minería, útiles para la lectura del presente texto:

Padrón Minero: listado de las distintas propiedades mineras (Cateos, Manifestaciones, Minas) registradas en la Dirección de Minería de la provincia, según su estado formal actual, que contiene información de carácter técnico y legal de cada propiedad.

Catastro Minero: información concerniente a los distintos tipos de propiedades mineras en todos sus aspectos, Distritos Mineros, Áreas Naturales Protegidas, etc., en forma gráfica. Posee una correlación directa con el Padrón Minero.

Distrito Minero: División geopolítica del territorio provincial establecido por la Dirección de Minería de la Provincia de Mendoza.

Cabe aclarar que la recopilación de información y posterior confección de ésta documentación está a cargo de la Dirección Provincial de Minería, que es el Ente de aplicación de la Norma en la materia. Ambos documentos son de carácter dinámico, ya que se actualizan constantemente en función de los cambios que van sucediendo.

Una propiedad minera puede pasar por distintos estadios:

Cateos: Es el pedido de un área determinada para su estudio (Prospección, Exploración). Se realiza en forma general para minerales de primera y segunda categoría. El mismo tiene que

cumplir con varios requisitos, como coordenadas de sus vértices, resumen de trabajos a realizar, estimación de inversión, etc.; el permiso se otorga por un plazo determinado.

Manifestación: Es el denuncia ante la Autoridad competente de un mineral determinado, en un lugar exacto (coordenadas), el cual hay que demostrar a través de la presentación de una muestra, estudios realizados, análisis químicos, etc.

Mina: Es un depósito natural de sustancias minerales, susceptible de aprovechamiento económico, sobre el cual se realizaron labores tendientes a su explotación.

Las distintas categorías en las que se agrupan los minerales, se detallan en el Artículo 2° del Código de Minería de la Nación, Ley N° 1919, y sus posteriores modificaciones:

Minerales de 1° Categoría: Minerales de las que el suelo es un accesorio, que pertenecen exclusivamente al estado, y que sólo pueden explotarse en virtud de concesión legal otorgada por autoridad competente. Los minerales incluidos en ésta categoría están definidos en el art. 3 del Código de Minería. Por ejemplo, Minerales metalíferos, piedras preciosas, combustibles, etc.

Minerales de 2° Categoría: Minerales que, por razón de su importancia, se conceden preferentemente al dueño del suelo, y minas que, por las condiciones de su yacimiento, se destinan al aprovechamiento común. Los minerales pertenecientes a esta categoría están definidos en el art. 4 del Código de Minería. Por ejemplo, Baritina, Bentonita, Zeolitas, etc.

Minerales de 3° Categoría: Minerales que pertenecen únicamente al propietario (superficiario) y que nadie puede explotar sin su consentimiento, salvo por motivos de utilidad pública. Los define el art. 5 del Código de Minería. Por ejemplo, Materiales de construcción, etc.

Estado Legal de las Propiedades Mineras:

Vigentes: Tanto las Manifestaciones como las Minas, son vigentes cuando cumplen con todas las formalidades de la Ley (Código de Minería de la Nación, Código de Procedimientos Mineros de la Provincia).

Vacantes: Cuando no cumplen con las condiciones mencionadas en el párrafo anterior y luego de las etapas administrativas por incumplimientos, y de un plazo de tiempo determinado, la autoridad competente las declara vacantes, pudiendo en éste caso ser adquiridas por otra persona física o jurídica.

Áreas Naturales Protegidas. Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sus recursos, constituyen un patrimonio natural de fundamental valor cultural e importancia socioeconómica, por lo que se declara de interés público su conservación (Ley 6045). En la provincia de Mendoza existen 17 Áreas Naturales Protegidas que representan el 13% de la superficie provincial. El departamento de Malargüe cuenta con seis Áreas Naturales Protegidas:

- Castillos de Pincheira
- Laguna del Atuel (compartida con el departamento de San Rafael)
- Humedal Llanquanello
- La Payunia
- Caverna de Las Brujas
- Parque Científico Municipal de observación del espacio profundo

La superficie de éstas áreas es de 793.421 Ha, que equivalen al 19,20 % de la superficie del departamento. Este porcentaje comprende a las superficies determinadas jurídicamente como áreas naturales protegidas, y que integran el Sistema provincial bajo los alcances de la Ley N° 6045. Por lo que no significa que se encuentran efectivamente conservadas como lo determina el Convenio de Diversidad Biológica (CDB). Se debe destacar que en estos sitios está prohibida cualquier tipo de actividad que altere las características naturales de los mismos.

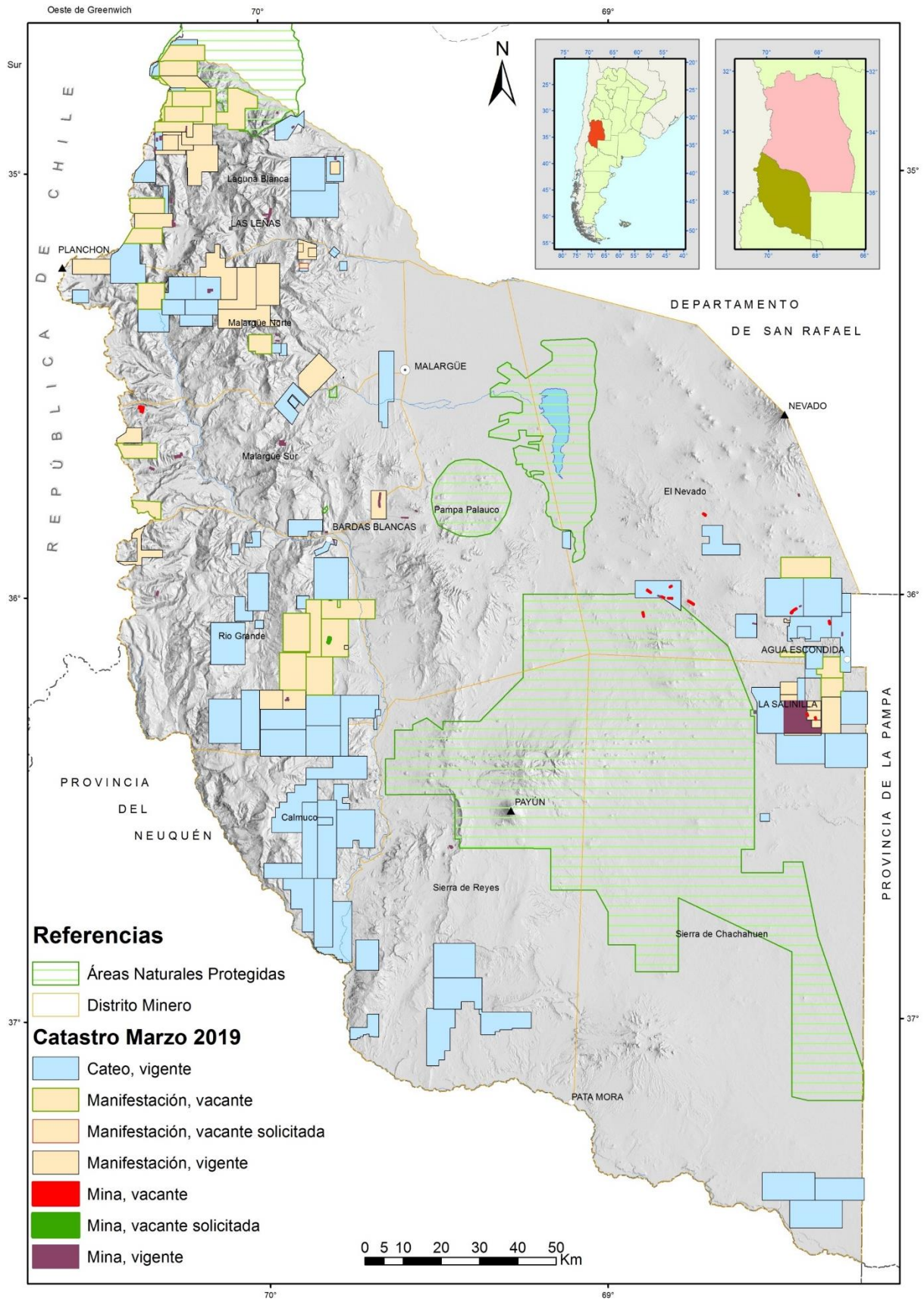


Figura 2. Catastro minero y Áreas Naturales Protegidas del departamento Malargüe.

2.3. Información Geológica

Para la descripción del margo geológico regional, se utilizaron principalmente las Cartas Geológicas escala 1:250.000 del SEGEMAR que cubren parcialmente el departamento Malargüe: Hoja 3569-I Volcán Maipo (Sruoga et al. 2005), Hoja 3569-III Malargüe (Nullo et al. 2005), Hoja 3569-IV Embalse El Nihuil (Sepúlveda et al. 2007), Hoja 3769-I Barrancas Narciso et al. 2005), y Hoja 3769-II Agua Escondida (Narciso et al. 2007); y el Mapa Geológico de la provincia de Mendoza a escala 1:500.000, en edición. Además, se utilizó información de diversas publicaciones, con el objetivo de actualizar las edades y la composición de numerosas unidades estratigráficas, y establecer una síntesis renovada del contexto estructural.

3. MARCO GEOLÓGICO

3.1. Unidades tectonoestratigráficas

Para facilitar un análisis integrado, las unidades geológicas mapeadas por el SEGEMAR, a escala 1:500.000, fueron agrupadas en catorce unidades mayores, siguiendo un criterio de clasificación tectonoestratigráfico (Figuras 3 y 4).

Basamento ígneo metamórfico del Proterozoico superior (PCbimPP): Metamorfitas y plutonitas milonitizadas, conocidas en la zona como Formación Cerro La Ventana. El único afloramiento importante en el departamento Malargüe se localiza a 20 km al norte de Agua Escondida, en la Hoja 3569-IV Embalse El Nihuil, donde afloran anfibolitas, micacitas cuarzosas, metacuarcitas, gneises, esquistos anfibólicos, granitos, dioritas, tonalitas, y filones de pegmatita y aplita. Se observó una inyección granítica en anfibolita, con dirección N40°E, y diques aplíticos y pegmatíticos de rumbo E-O. Su edad se considera como pre ordovícica, a partir de relaciones estratigráficas, en tanto que una datación K-Ar sobre una muestra de subsuelo indicó una edad de 605 Ma, y fue correlacionada tentativamente con el "Precámbrico de la sierra de Pie de Palo" (Sepúlveda *et al.* 2007).

Magmatismo granítico del Carbonífero (Cmy): Corresponden a la Formación Piedra de Afilar, aflorante en pequeñas localidades cercanas a la Ciénaga de Borbarán, 30 km al NW de Agua Escondida. Según Sepúlveda et al. (2007), está constituida por granitoides porfiroides, con fenocristales de feldespato potásico; se encuentran fuertemente meteorizados, y fueron datados en 330 Ma (Carbonífero inferior).

Depósitos de intra-arco del Carbonífero (Cdia): Rocas clásticas detríticas que marcan la transición entre los ambientes marinos someros a continentales, con influencia glacial en la base. Son reconocidas como las formaciones El Imperial y Agua Escondida, aflorantes en diversas localidades al oeste de Agua Escondida, en la Ciénaga de Borbarán, y al sur del cerro Plateado. Su contenido fosilífero permite asignarlos al Carbonífero superior-Pérmico inferior.

Vulcanismo y depósitos de intra-arco del Pérmico inferior (Pvdia): Estas rocas, denominadas como Grupo Cochicó, se localizan en un único afloramiento localizado al sur del cerro Plateado, hallando su mayor desarrollo al este y al norte, en el departamento San Rafael. Esta unidad agrupa conglomerados, areniscas, ignimbritas dacíticas y riolíticas, brechas y aglomerados andesíticos, coladas andesíticas, pórfiros granodioríticos, y Plutonitas e hipabisales graníticas. Representa un ambiente pedemontano, donde se instalaron centros volcánicos. Según las relaciones estratigráficas y las dataciones disponibles, se asignó al Pérmico inferior.

Arco magmático granítico y riolítico permo triásico (PTamypG): Típicas rocas del ciclo magmático Gondwánico, dominadas por volcanitas ácidas a básicas,

asociadas a rocas plutónicas y depósitos volcanoclásticos; mayormente poseen naturaleza calcoalcalina, con algunos términos alcalinos, hasta tholeíticos. Se incluyen los grupos Choiyoi y Tronquimalal, y los granitos y pórfiros del Chihuido. Esta unidad aflora en varios sectores del departamento Malargüe, tanto en el sector oriental (Bloque de San Rafael), como en la cordillera Principal, donde forma el basamento de los depósitos mesozoicos de la cuenca Neuquina.

Vulcanismo de intra-arco basáltico-andesítico Jurásico (JvIAβαA): El arco volcánico mesozoico se desarrolló principalmente en el sector chileno de la cordillera Principal; durante los períodos de mayor expansión llegó hasta el territorio argentino. En el departamento Malargüe solamente se registran rocas del Jurásico superior, conocidas como Formación Río Damas, entre las nacientes del río Atuel y cercanías del paso de Vergara. Esta unidad está compuesta por basaltos, andesitas, diques andesíticos brechas volcánicas, y sedimentitas aluviales intercaladas, y grada en forma transicional con la Formación Tordillo del Grupo Mendoza.

Depósitos de retro-arco en ambiente sin-rift Triásico (TdRAA): Se trata de depósitos terrígenos, calcáreos y evaporíticos con escasa influencia volcanoclástica; fueron generados en ambientes continentales que gradaron a plataforma somera, entre fines del Triásico y comienzos del Cretácico. Se incluyen las Formaciones Remoredo, Puesto Araya, El Freno, Tres Esquinas, Los Molles, Lajas, Calabozo y Tábanos, entre otras denominaciones, habitualmente reunidas en el Grupo Cuyo. Aflora en numerosos sectores de la cordillera Principal.

Depósitos de subsidencia térmica Cretácico (KdsA): Se trata de depósitos terrígenos, calcáreos y evaporíticos, con influencia volcanoclástica esporádica. Ambientes continentales a marinos profundos, con frecuentes variaciones en el nivel del mar. Se desarrolló entre el Jurásico medio y el Cretácico inferior, y es reconocida como los grupos Lotena, Mendoza y Rayoso (Formaciones Lotena, La Manga, Auquilco, Tordillo, Vaca Muerta, Chachao, Agrio, Huitrín y Rayoso). Aflora en numerosos sectores de la cordillera Principal.

Depósitos de antepaís del Cretácico-Paleógeno (KTPdAA): Esta unidad, también conocida en forma general, como ciclo Riográndico, integra sedimentos terrígenos y calcáreos, continentales a marinos muy someros, depositados entre comienzos del Cretácico superior y comienzos del Paleógeno. La Formación Diamante, equivalente local del Grupo Neuquén, constituye una acumulación de sedimentos aluviales y palustres de gran potencia, en tanto que el Grupo Malargüe está formado por depósitos continentales y marinos muy someros de procedencia atlántica. Recientemente, se identificaron rocas volcánicas emplazadas en un ambiente de arco magmático hacia fines del Cretácico, localizadas al SO de la sierra de Cara-Cura y al norte de la sierra Azul (Spagnuolo *et al.* 2012); debido a su escasa distribución areal y aún pobre conocimiento, no fueron incluidas en el mapa tectonoestratigráfico.

Arco magmático Neógeno (TNamαA): Se incluyen numerosas unidades constituidas por rocas de afinidad calco alcalina depositadas durante el Neógeno, aunque en ocasiones su relación con el arco volcánico sea controvertida por su distribución oriental. Se distribuyen en forma muy amplia en la cordillera Principal y las regiones de Payunia y Llanquanelo. Esta unidad está formada por basaltos, andesitas, riolitas, granitoides, y rocas piroclásticas, y conocida como las formaciones Palaoco o Palauco, Molle, Huincán, Coyocho, Chachahuén, Cortadera, El Zaino, etc.

Depósitos de antepaís Neógenos (TNdAA): Se trata de numerosas acumulaciones terrígenas y volcanoclásticas depositadas en ambientes pedemontanos, en cercanías de aparatos volcánicos o fluviales distales. Las principales litologías descritas son areniscas, conglomerados, brechas, pelitas,

calizas y tobas; son conocidas como las formaciones Tristeza, Letelier, Agua de la Piedra, Pincheira, Butaló y Loma Fiera, para la zona oriental de la cordillera Principal y el oeste de Payunia, y como las formaciones Aisol y Puesto Barros, para el este departamental.

Vulcanismo de retro-arco cuaternario (QdRAA): Coladas, diques y brechas basálticas, acumulaciones de lapilli, ignimbritas, traquitas y andesitas formadas en ambiente de retroarco durante el Pleistoceno y Holoceno, con afinidad alcalina. Este vulcanismo estuvo dominado por la emisión de inmensas coladas basálticas de tipo pahoehoe, pequeños conos monogenéticos de lapilli con coladas basálticas asociadas, y la construcción de dos importantes edificios volcánicos más complejos. Las rocas son conocidas con diversas denominaciones entre las que destacan las Formaciones Chapúa, Puente, Mancha Jarilla, El Portezuelo, La Planchada, Tromen, y los basaltos, traquitas y andesitas del Payún Matrú.

Arco magmático cuaternario (QamβαA): Se agrupan rocas volcánicas calco alcalinas, principalmente basalto, andesitas, tobas e ignimbritas. Se distribuyen principalmente en la cordillera Principal, aunque se han descrito rocas de naturaleza calco alcalina en la zona de los volcanes Nevado y Plateado, en el Bloque de San Rafael. Entre otros nombres son reconocidas como Formación Loma Seca, Basalto Peteroa, Basalto cerro Campanario, Asociación volcánica Paleopleistocena.

Depósitos de antepaís cuaternarios (QdAA): Esta unidad engloba todos los depósitos terrígenos cuaternarios, tanto de ambiente glacial, pedemontano, palustre, fluvial o eólico.

Evaluación del Potencial Minero Metalífero del departamento MALARGÜE-Mendoza-SEGEMAR

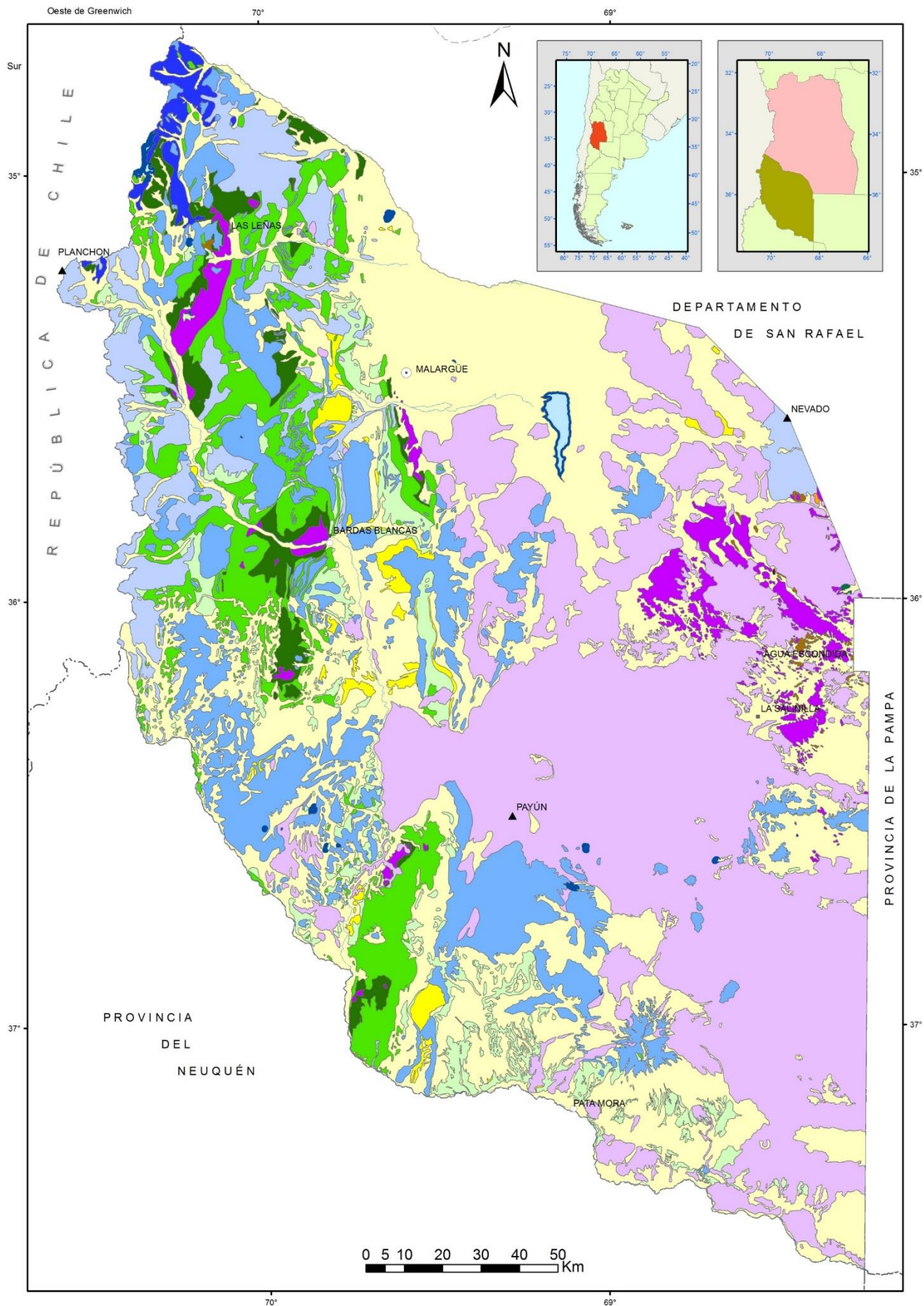


Figura 3. Unidades tectonoestratigráficas del departamento Malargüe.

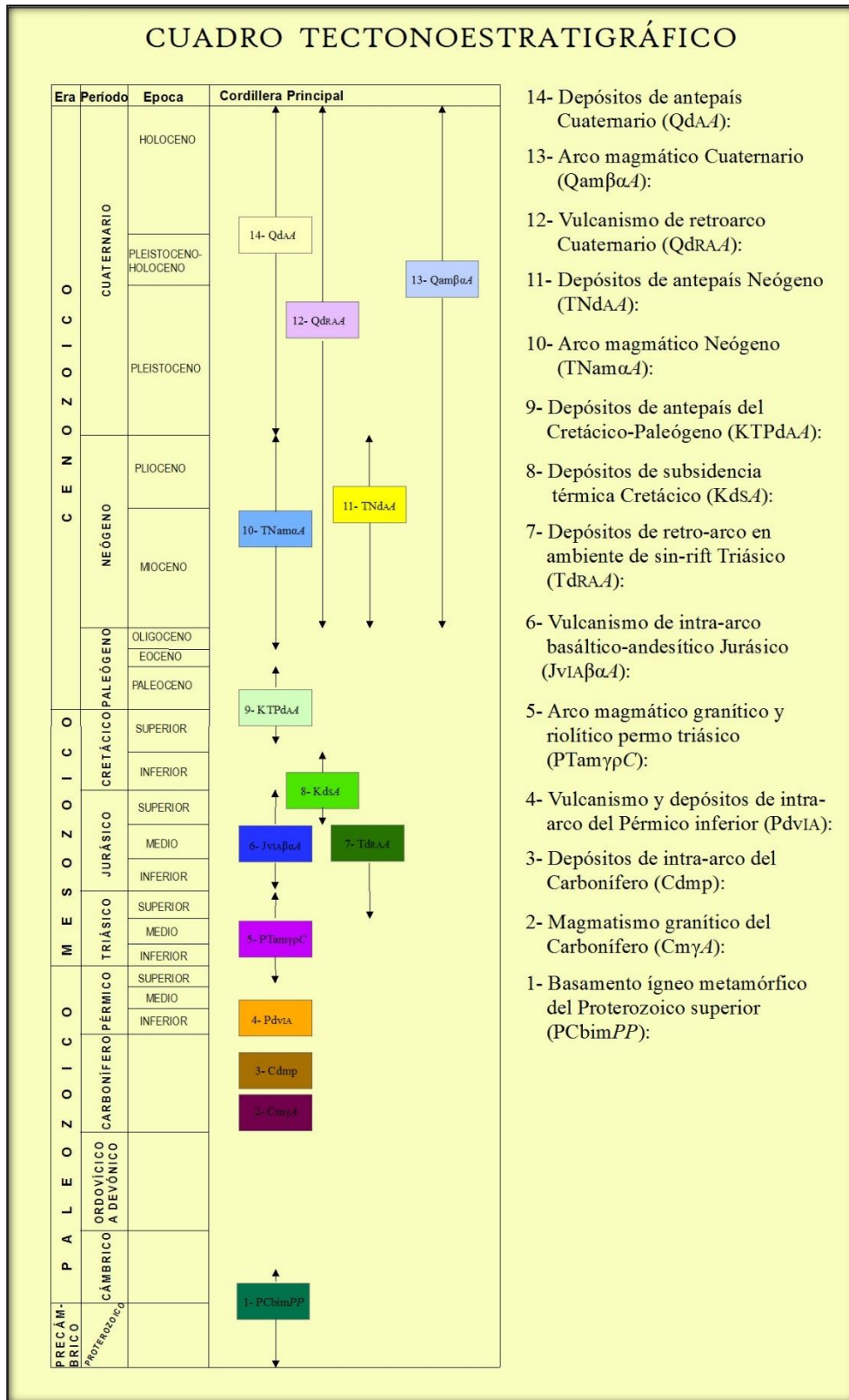


Figura 4. Cuadro tectonoestratigráfico

3.2. Tectónica y evolución geodinámica

La elevación topográfica y el engrosamiento cortical de los Andes se deben al acortamiento de la corteza, producto de la convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica a partir del Cretácico, aunque hay evidencia de períodos de deformación previos. Se reconocen las unidades morfoestructurales de Cordillera Principal, Bloque San Rafael, Cuenca Neuquina y Payunia. Los principales conceptos resumidos en este apartado fueron tomados de Giambiagi et al. 2012 y 2016, Litvak et al. 2018, Sigismondi 2015, Naipauer y Ramos 2016; Naipauer et al. 2018; Roja Veras et al. 2016, y Ramos y Folguera 2011.

El basamento cristalino se compone de una serie de terrenos acrecionados durante diferentes orogenias paleozoicas; a la última de estas pertenece el ciclo Choiyoi de edad permotriásica, durante la cual la corteza sufrió compresión y engrosamiento cortical, con un característico fallamiento con dirección NW a NNW. Durante el Mioceno Medio a Tardío estos terrenos ascendieron como una peneplanicie, y se desmembraron como un bloque fallado de antepaís (tipo Sierras Pampeanas), territorio actualmente conocido como Bloque de San Rafael. En el basamento de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina afloran mayormente las rocas del ciclo Choiyoi.

En el Triásico se generó la apertura del océano Atlántico (ciclo Gondwánico) y dio inicio la orogenia Andina en el margen occidental de Gondwana. En este período se generaron fallas normales de extensión por retroarco, y un estadio de rift, que dieron inicio a la formación de la Cuenca Neuquina, cuyo relleno detrítico inicial provino del basamento ubicado en el sector NE (Bloque San Rafael). El engrosamiento y elevación del arco volcánico durante el Jurásico Temprano, al oeste, produjeron un cambio en la procedencia y el tipo de aporte de sedimentos detríticos a la cuenca. Hacia el Jurásico Medio y el Cretácico, la cuenca sufre un estadio de subsidencia térmica y, en consecuencia, se registran los mayores espesores de depósitos sedimentarios (sedimentos marinos y aporte detrítico de basamento nororiental). En el Cretácico Medio a Paleoceno Temprano, el arco magmático ubicado en Chile generó compresión en el retroarco, y la cuenca entró en la etapa de antepaís, con relleno mayormente continental.

Durante el Eoceno, la actividad volcánica y sedimentaria se concentró en el sector chileno, en tanto que en el territorio argentino se produjo el inicio de las fajas corridas y plegadas (FCP) que deforman el sector occidental de la Cuenca Neuquina (Cordillera Principal); hacia el Oligoceno se incrementó la deformación, dando lugar a una FCP de doble vergencia de tipo híbrido (piel gruesa-piel fina).

Ya en el Oligoceno Tardío y Mioceno Temprano (-25 -19 Ma), el esfuerzo cortical fue principalmente extensivo, en relación a un proceso de "roll back" de la placa de Nazca; como consecuencia en el sector sur de la cordillera y en Payenia, se registra efusión de vulcanismo alcalino con firma geoquímica típica de retroarco. Posteriormente, hacia los 18-14 Ma, el magmatismo de arco comenzó a migrar hacia el este, hacia la zona del límite internacional; en el norte de la cordillera principal se registró magmatismo calco alcalino (Formación Cordón del Burrero).

Entre los 18 y los 3,5 Ma (Mioceno Medio-Plioceno Temprano) comenzó la subducción de la dorsal Juan Fernández, en dirección oblicua NE, lo que generó un cambio en los esfuerzos tectónicos; la placa de Nazca cambió su ángulo de subducción a bajo grado, por lo cual toda la región fue sometida a esfuerzos compresivos; la FCP Malargüe se deformó hacia el este y finalizó el magmatismo alcalino de retroarco en el sector sur; el magmatismo de arco calco alcalino migró hacia el este y formó las efusiones Palaoco y Huincán I (-14 -8 Ma) en la FCP Malargüe. Para la época de mayor horizontalización de la placa (-7.3 - 3.5 Ma) se fracturó el basamento en bloques (<5Ma), y el magmatismo se desarrolló hasta unos 500 km de la fosa, manifestado en los edificios volcánicos Huincán II, Chachahuén, Plateado, Nevado, Pelado y Chorreado. En forma simultánea a estos últimos eventos se formaron las cuencas sinorogénicas de antepaís de Palauco, Río Grande (-18 -8 Ma), Ventana, Pincheira, y Horqueta (-15.1 -6.7 Ma).

El retorno a la subducción normal, produjo la migración del arco Plioceno-Cuaternario de la Cordillera Principal hacia su posición actual (centros volcánicos Planchón-Peteroa y Maipo), y se reanudaron las condiciones extensivas en el antepaís, y el profuso magmatismo alcalino en el retroarco conocido como Payenia (-5 -0.8 Ma).

Se registra un acortamiento diferencial de la FCP Malargüe en sentido norte-sur, debido al cambio de la inclinación de subducción de la placa en el presente. Se estima hacia el norte del departamento, un acortamiento horizontal de corteza entre 26 a 30 km, mientras en el sur de la provincia se calcula una reducción cortical de 10 km. Esto se debe a que en el sector norte de Mendoza, continúa actuando en el presente una subducción de geometría plana, en tanto en el sur (Neuquén) la geometría responde a subducción normal.

En el presente, se reconoce a este sector de la Cordillera como tectónicamente activo; existen fallas de tipo extensional que generaron depocentros como el de la cuenca de antepaís Río Grande, donde la expresión más llamativa es la formación de la Laguna de Llancanelo. Desde el terremoto de Bío-Bío (Chile) de 8.8 grados, en 2010, la actividad sísmica en la zona se incrementó nueve veces en este sector.

3.3. Geomorfología

Las características morfológicas que exhibe el paisaje delimitado por el departamento Malargüe, permite diferenciar dos amplios territorios con relieves claramente disímiles. Un sector occidental con predominio de un sistema geomórfico montañoso en estado juvenil, compuesto por secuencias de rocas sedimentarias de edad mesozoica fuertemente deformadas por la tectónica andina (faja plegada y corrida de Malargüe), afectadas por el vulcanismo terciario, y con menor incidencia por la actividad volcánica del retroarco pleistoceno; las sucesiones de estos eventos transformaron significativamente el paisaje preexistente. El sector oriental está integrado por una amplia bajada que incluye la porción sur de la depresión de Los Huarpes (Polanski 1964), la subcuenca Llancanelo, la provincia volcánica de Payenia, y la porción austral del Bloque exhumado de San Rafael.

En general, se trata de un paisaje compuesto, modelado a partir de la interacción de procesos geomórficos controlados por la tectónica, el clima, el relieve relativo, el gradiente de las pendientes y la litología. Los procesos endógenos fueron los responsables de elevar el área, y dejar el relieve expuesto a la degradación a través de los procesos fluviales, glaciares, y de remoción en masa que se sucedieron desde el Plioceno Temprano hasta la actualidad. La alternancia entre los procesos volcánicos y el englazamiento, ocurrido merced a un brusco cambio climático durante el Pleistoceno, le imprimió al paisaje un carácter policíclico que ha quedado evidenciado por las interrupciones del ciclo fluvial.

Según Dessanti (1978) el relieve en el Plioceno era el de una amplia altiplanicie de acumulación (lávica) de pendiente general hacia el este, de donde emergían relictos de relieve positivo antiguo a modo de montes islas, denominadas también ventanas lávicas convexas, como lo es el cordón del Serrucho (Ciclo Eruptivo Huincán). La degradación posterior de este paisaje regular condujo a la formación de extensas planicies estructurales lávicas (González Díaz 1972) como lo es la sierra de Palauco. En esta época se habría formado la depresión ocupada por la laguna Llancanelo, y tuvo inicio la configuración de la red de drenaje que muestra en la actualidad un estado juvenil y se manifiesta por la conservación de los antiguos interfluvios, de modo que no se ha logrado todavía una disección importante con la formación de cordones y valles longitudinales.

Durante el Pleistoceno la actividad volcánica de retroarco incorporó al paisaje numerosas coladas basálticas y depósitos ignimbríticos, como así también la construcción de gran cantidad de conos basálticos y unos pocos conos poligenéticos (Llambías et al. 2010), que muestran diferentes grados de conservación. El englazamiento ocurrido durante el mismo período, principalmente en los sectores más altos de la cordillera, fue responsable de modificar el paisaje a través de los procesos glaciares, criogénicos y paraglaciales. En el resto de la región el

proceso fluvial, el volcanismo, la remoción en masa y el proceso eólico continuaron modelando el paisaje durante todo el Holoceno.

El sistema de drenaje regional se configura principalmente a través los ríos Grande, Salado, Malargüe y Atuel, y la laguna Llanquanelo, que constituye el nivel de base más importante de la región. Se trata de un lago salino de altura (1376 m s.n.m.) formado en un ambiente desértico donde vierten sus aguas el río Malargüe y los arroyos Malo, Mocho y Chacal. Como rasgo destacable, se observa en la margen oeste de la laguna el contacto entre la planicie basáltica y los antiguos sedimentos palustres, donde las aguas insumidas en el frente montañoso vuelven a surgir en pequeñas vertientes, que desaguan sus aguas a través de los arroyos Menucos y Cari Lauquen o mediante zonas de bañados, como los de Cari Lauquen, los pozos de Llanquanelo y Carapacho, o las aguadas de Abajo. La aguada de La Porteña es el único ejemplo de drenaje desde el este. Completan el drenaje regional, además de una gran cantidad de tributarios, lagunas de régimen endorreico de variado tamaño y origen (glaciario y represamiento natural por remoción en masa), como Laguna Blanca, Valle Hermoso, Margüira, y del Cajón Grande.

3.4. Historia metalogenética

La historia metalogenética en el área que abarca el departamento Malargüe comienza con los episodios gondwánico del Pérmico y Triásico. Podemos reconocer una primera sección, de edad pérmica inferior, caracterizada por el desarrollo de una secuencia volcano-plutónica de arco, representada por las rocas del Grupo Cochicó. A esta actividad magmática de carácter calcoalcalino, se relacionan los depósitos tipo vetas polimetálicas de cobre, plomo, plata, cinc y molibdeno (modelo 7e: San Pedro, San Jorge, Grupo La Salvadora, Mina Potosí, etc.) y en sectores más al norte, fuera del departamento Malargüe, depósitos tipo pórfiro de Cu-Mo (modelo 4b: San Pedro, Arroyo La Chilca-Zanjón El Buitre, Cerro Tres Hermanos).

A comienzos del Pérmico superior, el régimen compresional se fue atenuando y comenzaron a prevalecer los esfuerzos de un régimen extensional que dieron lugar al desarrollo de una segunda sección, de edad pérmica superior-triásica superior, con características alcalinas propias de un ambiente postorogénico extensional que evolucionó hasta rift. En el ámbito del Bloque de San Rafael, el magmatismo producto de esta tectónica está representado por plutonitas y cuerpos hipabisales (Grupo El Portillo) vinculados genéticamente a mineralizaciones vetiformes de fluorita (modelo 14h: La Morocho, Buena Esperanza, La Susana, etc.), manganeso (modelo 7a: Ethel), molibdeno (modelo 6a: Elsira, Medina, etc) y polimetálicas Pb-Zn-Cu (modelo 7e: Carrasco, etc). También, se reconocen las facies volcánicas de este magmatismo representada por rocas efusivas e hipabisales de la Formación Choique Mahuida (Gr. Choiyoi), metalotecto primordial de depósitos epitermales de baja sulfuración (modelo 7b: Don Sixto).

El inicio de la orogenia Andina se manifestó con la instalación de un arco magmático en la Cordillera de la Costa (Chile) y hacia el este el desarrollo de una cuenca (Cuenca Neuquina) de ambiente de retroarco y más al este de antepaís. Los productos volcánicos e intrusivos asociados del arco afloran desde el sur de Perú hasta aproximadamente los 34° S del territorio chileno (Mpodozis y Ramos, 2008). Las facies del arco jurásico y cretácico inferior tienen asociadas yacimientos de óxidos de hierro-cobre-oro (IOCG) y de cobre tipo manto, los cuales constituyen la segunda fuente de producción de cobre de Chile, después de los pórfiros cupríferos (Vivallo, 2005). En el departamento Malargüe afloran volcanitas del retroarco del Jurásico superior y consisten en basaltos y andesitas intercalados en secuencias de areniscas rojizas de la Formación Tordillo, que conforman el metalotecto primordial para los depósitos de cobre tipo manto de la Cordillera Principal (modelo 11a: Aguila Primera, La Riqueza, La Carmelita, etc). Tanto en el ambiente de retroarco como en el de antepaís se reconocen secuencias sedimentarias continentales del Cretácico medio (Fm Rayoso) y del Cretácico superior (Formaciones Diamante y Portezuelo) con mineralizaciones epidiagenéticas de cobre (modelo 9a: San Romeleo, El Burrero, Atlas, etc) y cobre-uranio-vanadio (modelo 9b: El Guanaco, Ethel, Mechanquil, etc).

En el Oligoceno tardío-Mioceno temprano ocurre un importante cambio en el régimen de subducción y se desarrolla un período extensional con erupción de basaltos olivínicos alcalinos que en el área de estudio no presentan mineralización, pero si existen manifestaciones de hierro tipo Laco en Huantraico, al sur de la zona de interés (Zappettini, 1999b).

Durante el Mioceno medio a superior, la progresiva somerización de la zona de Wadati-Benioff generó una migración del arco magmático hacia el este, acompañada por un nuevo evento compresivo con el desarrollo final de la faja plegada y corrida de Malargüe (Galarza et al., 2009; Spagnuolo et al., 2012b). Las condiciones generadas por la posición de la placa y el engrosamiento cortical dieron lugar a un magmatismo predominantemente diorítico monzodiorítico y granodiorítico-tonalítico, agrupados en las formaciones Cordón del Burrero y Huincán, vinculado a diversos tipos de mineralizaciones: skarns ferríferos (modelo 5d: Hierro Indio 2, Don José, etc), skarns cupríferos (modelo 5b: Arroyo El Seguro, El Páramo, etc), vetas polimetálicas ricas en Pb (Cu-Zn-Ag) (modelo 7e: Enriquito, El Cajón, Las Minas, etc), sistemas tipo pórfiro de Cu (modelo 4b: Rosario, Fierro, etc) y Cu-Au (modelo 4c: Las Choicas, Cerro Amarillo, etc) con brechas hidrotermales asociada. Algunos de dichos eventos fueron datados: el sistema tipo pórfiro cuprífero de Las Choicas se vincularía a un evento datado en $8,72 \pm 0,07$ Ma (Sruoga et al., 2009); el grupo de vetas polimetálicas ricas en Pb del Cerro de las Minas fue datado en $12,6 \pm 1,2$ y $11,01 \pm 0,12$ Ma (Crosta y Palacio, 2015). La presencia de este tipo de sistema de mineralización permitiría extender hasta estas latitudes la faja metalogenética correspondiente al arco magmático chileno del Mioceno-Plioceno que aloja a los mayores depósitos de pórfiro de Cu-Mo a nivel mundial como El Teniente y Río Blanco-Los Bronces (Camús Infanta, 2003).

En el Mioceno-Plioceno, en presencia de una fase compresiva, se produce una intensa actividad volcánica de retroarco que da lugar al emplazamiento de cuerpos subvolcánicos y brechas de conducto, de composición esencialmente andesítico-dacítica (Formación Cortaderas, Holmberg, 1973) que en la Carta afloran constituyendo los edificios volcánicos de los cerros Nevado, Plateado, Pelado, Puntudo y Chorreado. A estas rocas se asocian procesos de silicificación, boxworks de sulfuros (Delpino y Bermúdez, 1985) y en algunos sectores argilización con una fina disseminación de pirita y calcopirita (Dalponte, 1975). En el cerro Nevado se observa alteración hidrotermal de tipo argílica, propilítica y en menor grado sericítica, afectando a las andesitas y dacitas que conforman el núcleo del cerro, acompañada de pirita (Dias, 1978a).

El volcanismo plioceno-cuaternario se caracteriza por un conjunto de campos volcánicos bimodales relativamente circunscriptos a conjuntos discretos, paralelos al frente andino y/o periféricos respecto de complejos dómicos (Domuyo, Tromen, Palao, Azufre, Cruzada etc). La actividad hidrotermal vinculada a este volcanismo se evidencia a través de manifestaciones de azufre fumarólico que representan sectores someros de sistemas hidrotermales con potencialidad en profundidad de presencia de mineralizaciones polimetálicas.

3.5. Modelos de depósitos

En el departamento Malargüe la variedad de modelos de depósitos es muy amplia, debido en parte a su gran extensión areal, evolución tectónica e historia metalogenética.

Para la tipificación de los depósitos se utilizó la clasificación propuesta por el SEGEMAR (1999), la cual ordena los depósitos siguiendo criterios genéticos. En el departamento Malargüe se reconocieron 17 diferentes tipos y subtipos, presentándose 14 depósitos tipo pórfiros de Cobre con Oro y/o Molibdeno; 10 depósitos de Cobre en manto; 12 skarn con Cobre y 50 skarn con Hierro; 58 depósitos sedimentarios del tipo Cobre, Uranio y/o Vanadio en areniscas, y otros 16 depósitos sedimentarios con Hierro, Zinc, Plomo, Baritina y/o Celestina; 18 depósitos epitermales con Fluorita y 25 depósitos epitermales con Manganeso, 30 polimetálicos simples y complejos; 5 depósitos de vetas y brechas con Fluorita-Baritina; 2 depósitos con Wolframio-Molibdeno asociados a granitoides y 1 epitermal de Oro de baja sulfuración.

3.5.1. Pórfiros de cobre y cobre-oro (4b; 4c)

En líneas generales, los depósitos tipo pórfiro poseen alteraciones del tipo potásicas (con biotita secundaria, magnetita, feldespato potásico); alteración fílica con cuarzo-sericita-pirita; alteración argílica y argílica avanzada; y en el halo externo, propilítica. La mineralización diseminada de cobre, oro y molibdeno, se presenta asociada a pirita + arsenopirita + calcopirita + bornita + covelina + calcosina + digenita + molibdenita + oro nativo + magnetita + enargita + galena + esfalerita, especies oxidadas, y carbonatos de hierro y cobre. Ejemplos de estos depósitos son el pórfiro de Infiernillo en San Rafael y algunos prospectos en Malargüe como Universidad o Cerro Amarillo.

3.5.2. Epitermales (7a; 7b; 7e)

En el Departamento Malargüe son abundantes los sistemas vetiformes originados a partir de procesos epitermales acaecidos durante los episodios Gondwánicos y Ándicos. Ha sido posible reconocer tres modelos de depósitos: epitermales de manganeso (7a), oro de baja sulfuración (7b) y polimetálicos complejos (7e).

Los depósitos epitermales de manganeso se caracterizan por presentarse como vetas de relleno de fallas y fracturas, de gran extensión longitudinal. Es común la presencia de brechas de falla que testimonian diversos pulsos de mineralización. La mineralogía de la mena está formada esencialmente por psilomelano ± pirolusita ± ramsdellita ± criptomelano ± goethita ± hematita en ganga de manganocalcita, calcita, cuarzo, calcedonia, baritina, fluorita, ópalo. La alteración comúnmente es caolinización. Un ejemplo de este modelo de depósito es el Grupo Ethel.

Los depósitos epitermales de Baja Sulfuración poseen una alteración típica de cuarzo-adularia-sericita, asociada a minerales como pirita, calcopirita, tetraedrita, esfalerita, galena, pirargirita, tennantita, electrum, en ganga de cuarzo, calcedonia con texturas del tipo bandeado coloforme crustiforme, en parte brechado, y cuarzo drúsico. Un ejemplo de este tipo en el área de estudio es el proyecto Don Sixto.

Los depósitos polimetálicos complejos están caracterizados por ser sistemas vetiformes ricos en sulfuros con menas de galena + esfalerita + calcopirita + pirita + sulfosales de cobre + sulfosales de plata ± oro ± bornita ± arsenopirita en ganga de cuarzo, carbonatos, turmalina, fluorita y baritina. Contienen alteraciones del tipo silíceo, sericítico y argílico. Depósitos de este modelo de mineralización en el Departamento Malargüe son mina Enriquito, El Cajón y Las Minas entre otras.

3.5.3. Skarn (5b y 5d)

Los skarn desarrollan alteraciones hidrotermales en rocas calcáreas, generando reacciones minerales, que tienen como resultado una roca calcosilicática compuesta de granate, epidoto, y wollastonita; es común también diópsido y escapolita. Si se trata de skarn de hierro, los minerales son magnetita, hematita; si hay presencia de cobre, se manifiesta con sulfuros como pirita, calcopirita y bornita. En el caso de Aguas Amarillas el sistema de skarn también posee níquel y cobalto, que se encuentra en pirrotina. Todos los depósitos tienen sus minerales producto de lixiviación, como lo son los óxidos de hierro, y minerales secundarios de cobre (malaquita y azurita). El ejemplo de depósito más conocido es Hierro Indio.

3.5.4. Cobre en manto (11a)

Los depósitos de cobre en manto se dan en rocas volcánicas mayormente basálticas con leve alteración de sericita, arcillas y epidoto; en ocasiones se menciona clorita y prehnita

(propilítica). El mineral de mena principal es la calcopirita, y en menor proporción tetraedrita y magnetita. Como minerales supergénicos se describe digenita, covelina, malaquita, azurita y cobre nativo. El prospecto de cobre en manto más conocido del departamento Malargüe es Elisa, localizado en la zona del Volcán Planchón-Peteroa.

3.5.5. Cobre y Uranio-Vanadio-Cobre en areniscas (9a, 9b)

La región sur de Mendoza, y su continuación en la provincia de Neuquén, se caracterizan por la presencia de numerosas mineralizaciones de cobre (9a) y uranio-vanadio-cobre en areniscas (9b). Estos depósitos tienen la característica de presentar la mineralización de manera diseminada en la roca arenosa, los cuales se depositaron durante la diagénesis en condiciones reductoras de un ambiente continental. Generalmente, la mineralización ocurre como reemplazo de partículas, matriz, cemento y restos orgánicos y en el caso de los depósitos con uranio se hallaron espacialmente asociados con lentes bituminosos. Los depósitos no presentan alteración hidrotermal pero sí cambios de coloración de óxidos férricos a ferrosos. Los minerales de mena son óxidos, vanadatos y, secundariamente sulfuros. El más importante es la pechblenda (uraninita), luego está la coffinita, brannerita, tyuyamunita, calcopirita, bornita, y minerales secundarios como malaquita, azurita, covelina, acantita y limonitas. En el Departamento Malargüe se destacan los depósitos de cobre San Romeleo y los de uranio-vanadio-cobre El Guanaco y Mechanquil.

3.6. Sensores remotos

El procesamiento de imágenes satelitales se efectuó sobre imágenes Landsat 8 y Aster. La primera de ellas se utiliza para extraer información general de la geología, como identificación de litologías y estructuras, detección de vegetación, zonas de sombreros de hierro, y alteraciones hidrotermales en términos generales. Las imágenes Aster, además de las operaciones anteriormente mencionadas, también permite discriminar entre diferentes tipos de arcillas y minerales que caracterizan las alteraciones hidrotermales. En cuanto al uso de modelos de elevación digital, se utilizaron imágenes provenientes de datos de radar, como SRTM y Alos Palsar; se aplicaron en este estudio para la detección de lineamientos, y su densidad por unidad de área, importante parámetro que permite identificar estructuras no observadas previamente.

3.6.1. Procesamiento Landsat 8

Se realizó un mosaico que cubre la totalidad del departamento Malargüe a partir de las bandas pancromáticas de imágenes LANDSAT 8 (Figura 5).

Se efectuaron transformaciones de análisis de componentes principales (PCA), con las bandas OLI 2-5-6-7, lo que permitió delinear zonas con abundancia en minerales de alteración arcillosa y/o filica. Por otra parte, los compuestos oxidados de hierro son mejor resaltados al combinar las bandas del espectro visible; las curvas espectrales de estos compuestos muestran una alta reflectancia en la banda 3, y alta absorción en las bandas 1 y 2; el PCA para detectar los compuestos oxidados se realiza con las bandas 2-4-5-6 (Cecenarro 2014; Cecenarro y Carignano 2014).

Sumando las componentes principales AR y FE se generó una imagen (Figura 6) en las que se fusionaron las clases delineadas en dichas componentes (Crósta et al. 2003; Boloki y Poormirzaee 2009). Posteriormente se invirtieron las tonalidades de las imágenes en 256 tonos de grises, y los “negativos” invertidos fueron combinados para obtener un compuesto conocido como “método Crosta” RGB, con la imagen FE en el canal rojo, la combinada FE + AR en el canal verde y la AR en el canal azul (Mía y Fujimitsu 2012). En la misma se pudieron establecer cuatro zonaciones principales luego de un arreglo de brillos, colores y contrastes:

A) sectores con concentraciones anómalas de minerales de alteración arcillosa y/o filica, realizados por píxeles azules y celestes

B) sectores periféricos con mezcla de minerales de alteración arcillosa y/o fílica con óxidos de hierro, de tonos blancos a amarillentos

C) zonas dominadas por óxidos de hierro, en colores rojizos

D) en tonos violáceos se observa la roca de caja.

Con este método se detectaron zonas con alteración, de las cuales algunas eran conocidas a partir de la bibliografía, zonas nuevas que coinciden con prospectos recientes, y zonas a corroborar con el sensor Aster.

Evaluación del Potencial Minero Metalífero del departamento MALARGÜE-Mendoza-SEGEMAR

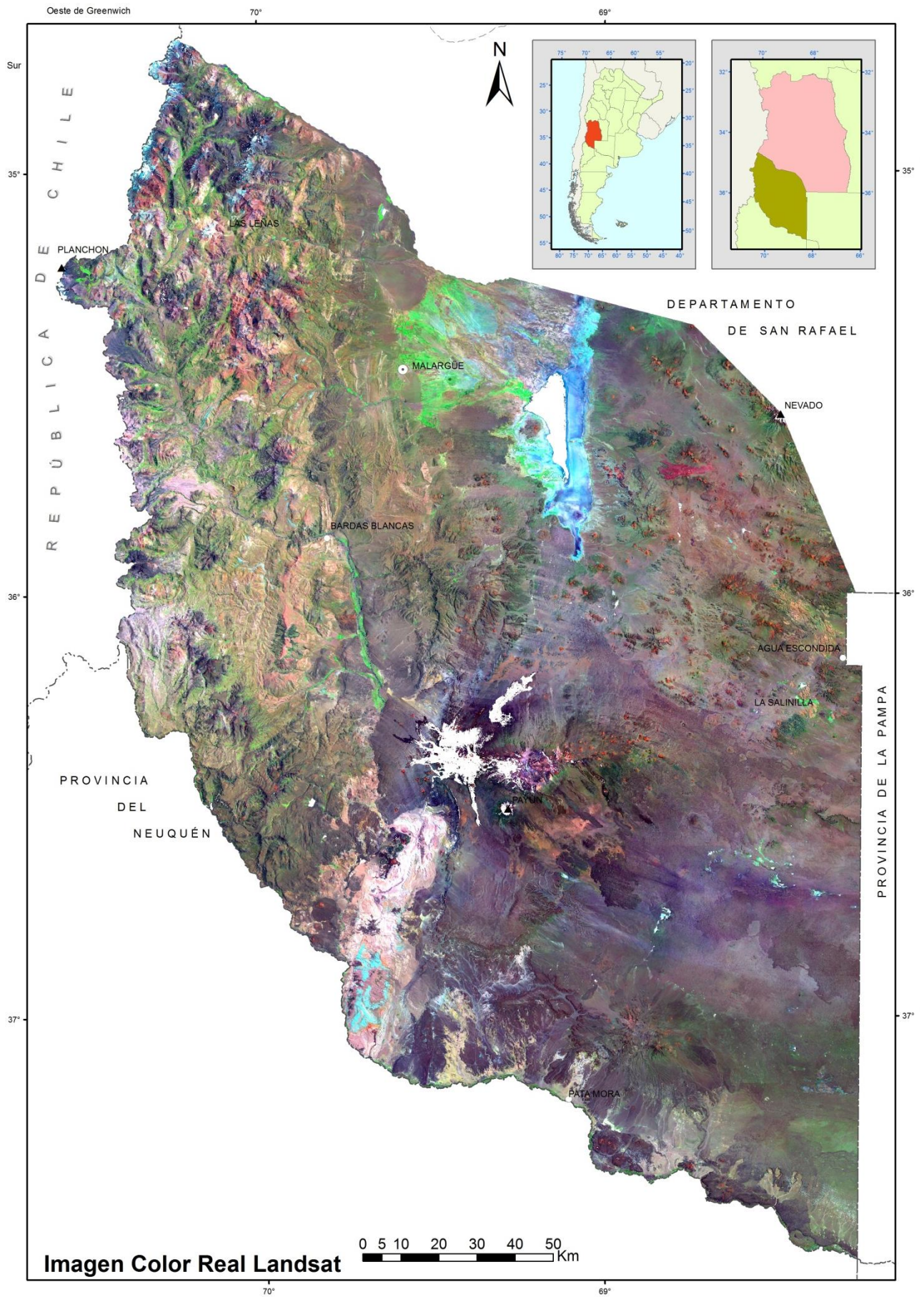


Figura 5. Mosaico Landsat 8 del departamento Malargüe.

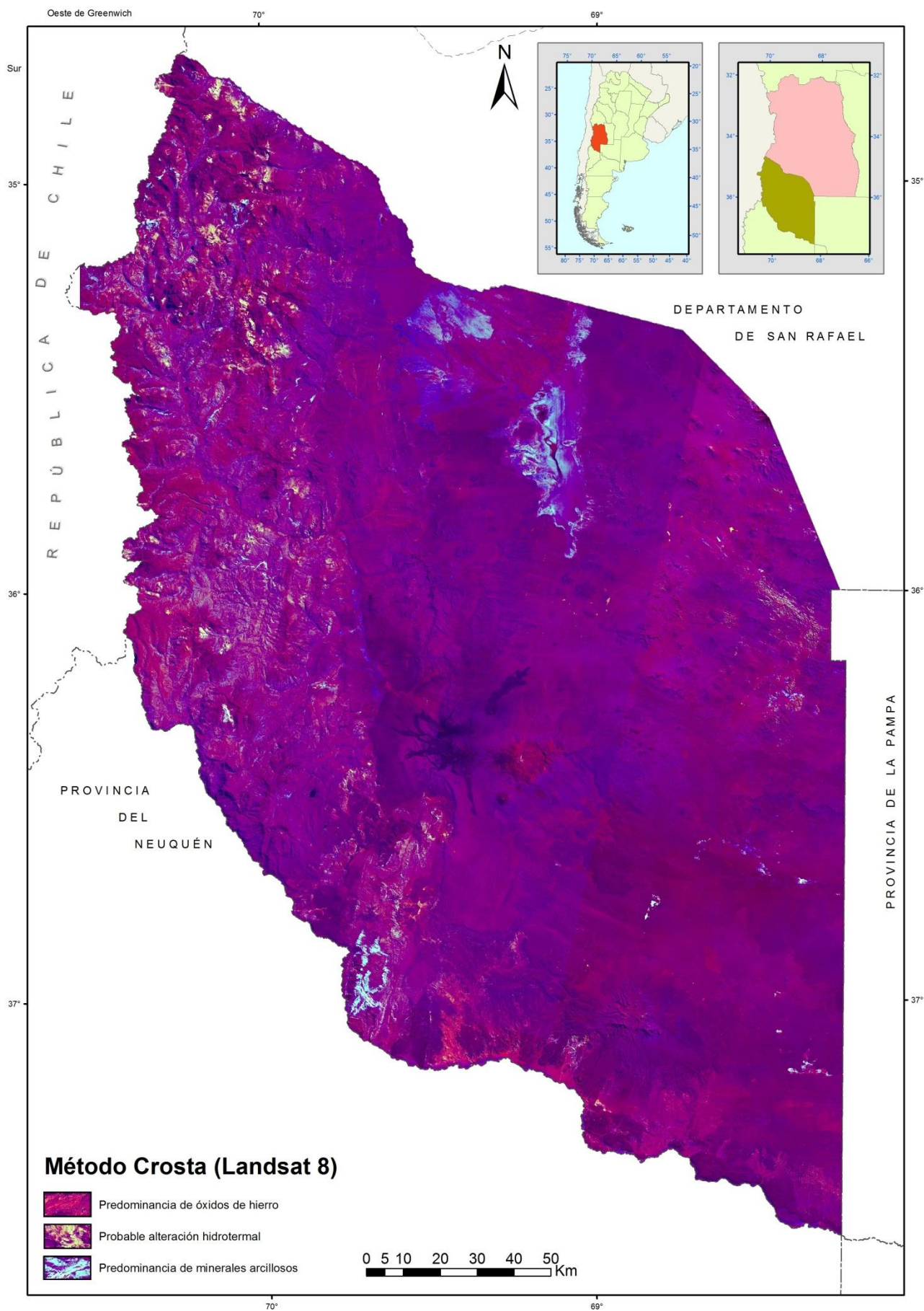


Figura 6. Procesamiento para la detección de arcillas y hierro, mediante método Crosta.

3.6.2. Procesamiento Aster

Se procesaron imágenes ASTER L1T obtenidas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Los datos ASTER con este nivel de procesamiento, se encuentran ortorrectificados y con corrección del efecto crosstalk, presente en las bandas del SWIR de ASTER (Iwasaki y Tonooka 2005).

Las imágenes obtenidas fueron calibradas a radiancia. Posteriormente, las bandas 1 a 9 de la región del espectro visible, infrarrojo cercano y de onda corta fueron convertidas a reflectancia a partir del módulo FLAASH del programa ENVI. Este módulo utiliza el modelo MODTRAN (Matthew et al. 2000) para realizar las correcciones atmosféricas a las imágenes y, necesita una serie de parámetros que deben ser ingresados por un operador. Estos últimos en su mayoría son obtenidos a partir de los metadatos presentes en las imágenes ASTER L1T, con excepción de la altura promedio del área que abarca la imagen, y del modelo atmosférico adecuado para el área obtenida. El cálculo de la altura promedio se realizó a partir del modelo de elevación digital SRTM (Farr et al. 2007), mientras que la selección del modelo atmosférico se realizó en base a datos de vapor de agua obtenidos a partir de imágenes MODIS, para cada una de las fechas de las imágenes ASTER.

Las bandas 10 a 14, correspondientes a la región del infrarrojo térmico del espectro electromagnético, fueron convertidas a emisividad por el método de normalización (Gillespie 1985), que consiste en el cálculo de la temperatura de superficie para cada banda, usando el mismo valor de emisividad de referencia. El valor máximo de temperatura de superficie calculado es considerado entonces como la temperatura con la que se calculará la emisividad en cada banda (Sobrino et al. 2002).

A partir de estos datos corregidos se realizó la interpretación de zonas afectadas por alteración hidrotermal, obteniéndose cinco tipos de imágenes (Tabla 1):

Alteración Hidrotermal	Asociación mineral	Resolución espacial
Argílica avanzada	alunita-caolinita	30 m
Fílica/Argílica	illita-muscovita	30 m
Silíceas	sílice	90 m
Propilítica Silicatos	clorita-epidoto	90 m
Propilítica Carbonatos	calcita	90 m

Tabla 1. Procesamiento de imágenes Aster.

El cálculo de las alteraciones anteriormente citadas se realizó mediante álgebra de bandas, relaciones lógicas entre bandas y de determinación de umbrales (Mars y Rowan 2006; Mars 2013) con la herramienta Band Math del software ENVI, teniendo en cuenta las siguientes características espectrales:

Alteración argílica avanzada (Figura 7): Los minerales como alunita y caolinita presentan absorción a los 1,65 micrones (banda 5 de ASTER).

Alteración fílica (y/o argílica) (Figura 8): Este tipo de alteración dominado por illita/moscovita, presenta una fuerte absorción a los 2,20 micrones (banda 6 de ASTER), y una menor absorción a los 2,38 micrones (banda 8 de ASTER).

Alteración silíceas (Figura 9): Las rocas ricas en sílice presentan un pico de absorción a los 9,09 micrones (banda 12 de ASTER).

Alteración propilítica: Los minerales como calcita (Figura 11), clorita y epidota (Figura 10) se encuentran presentes en este tipo de alteración y presentan picos de absorción situados en los 2,31 a 2,33 micrones (banda 8 de ASTER).

Posteriormente, se generó un mosaico con todas las alteraciones, obteniéndose una imagen como producto final, para luego ser convertida a formato vectorial, y exportada a formato shapefile de ArcGis (Figura 12).

Evaluación del Potencial Minero Metalífero del departamento MALARGÜE-Mendoza-SEGEMAR

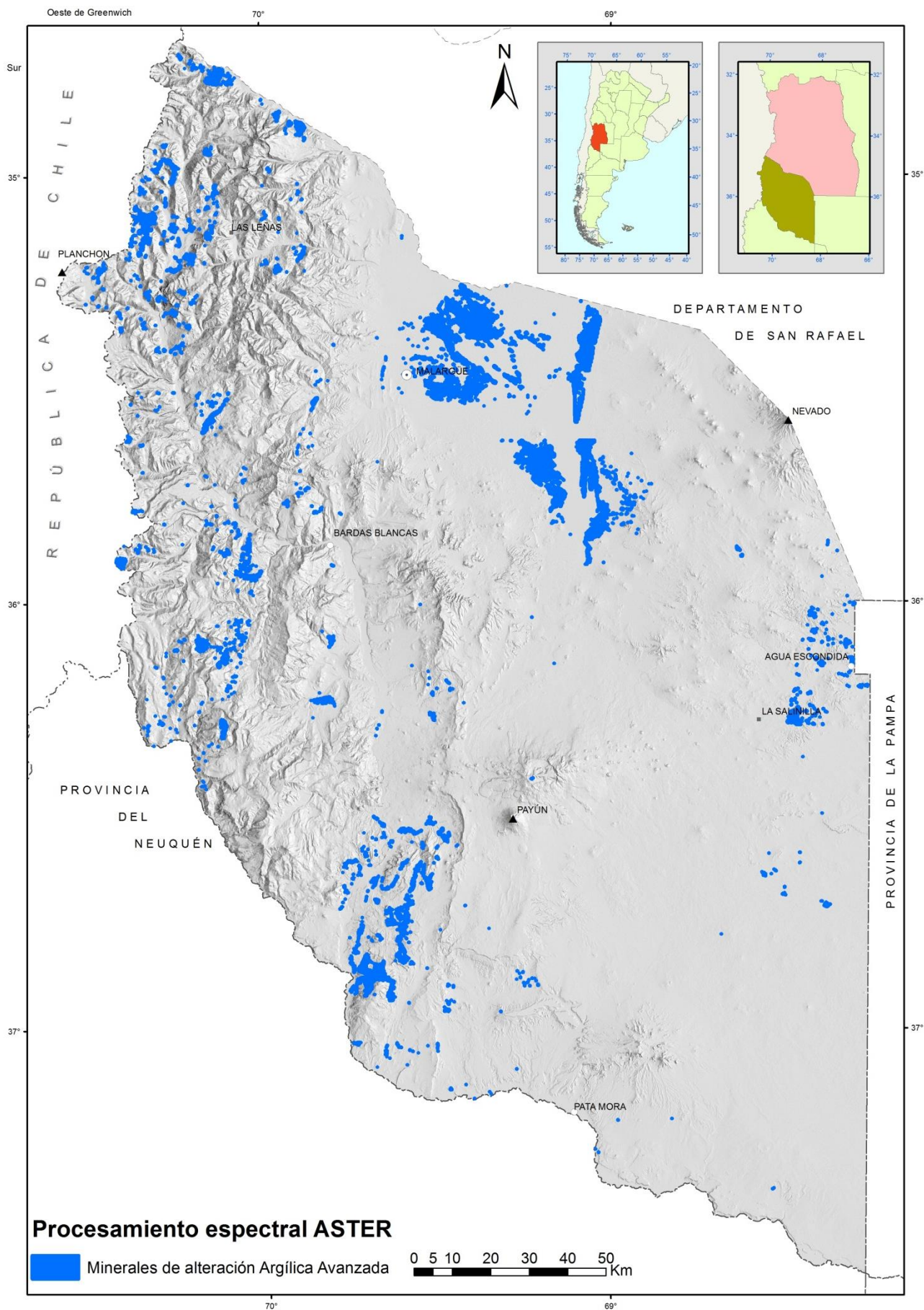


Figura 7. Procesamiento espectral Aster para alteración argílica avanzada.

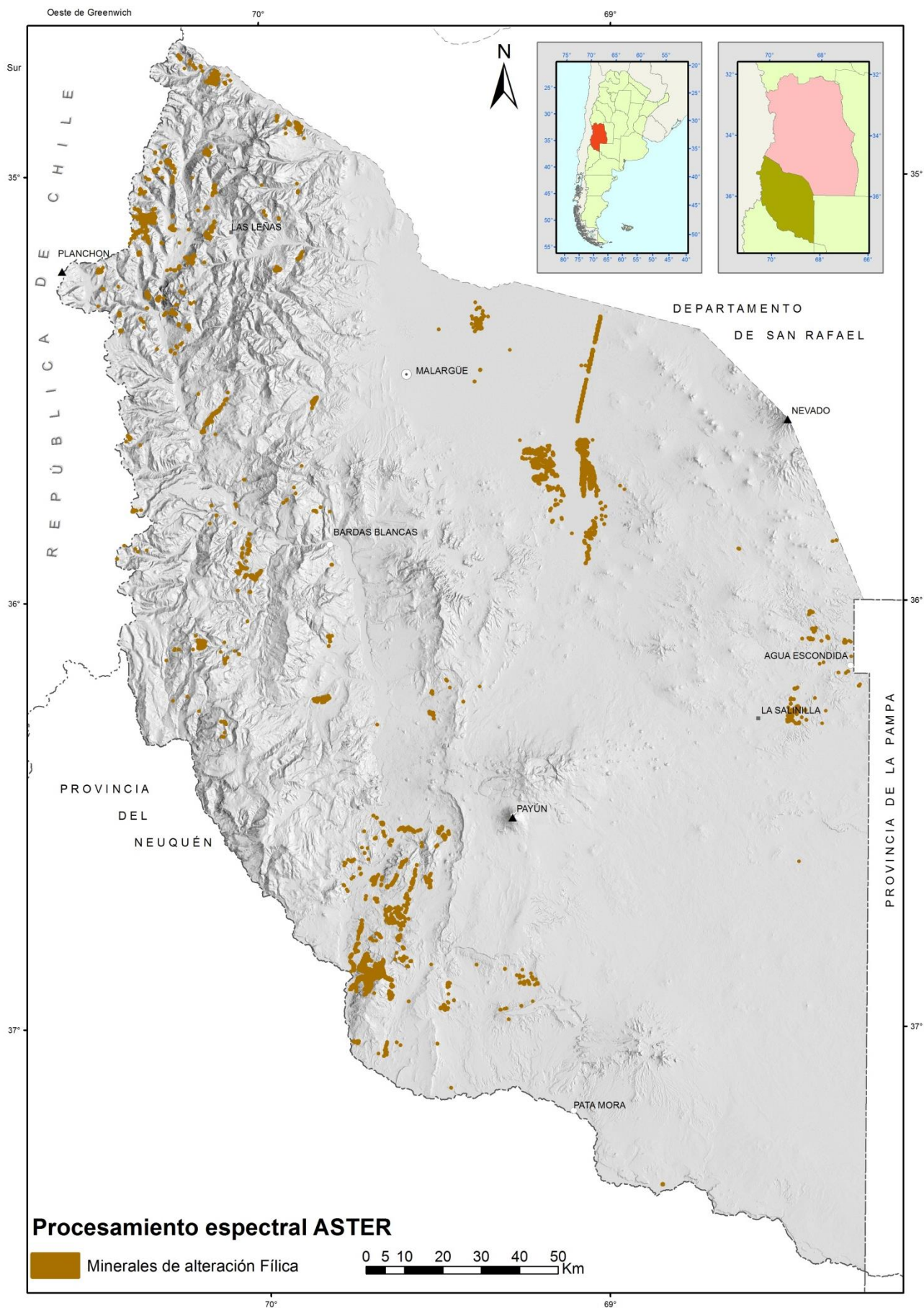


Figura 8. Procesamiento espectral Aster para alteración fílica/argílica.

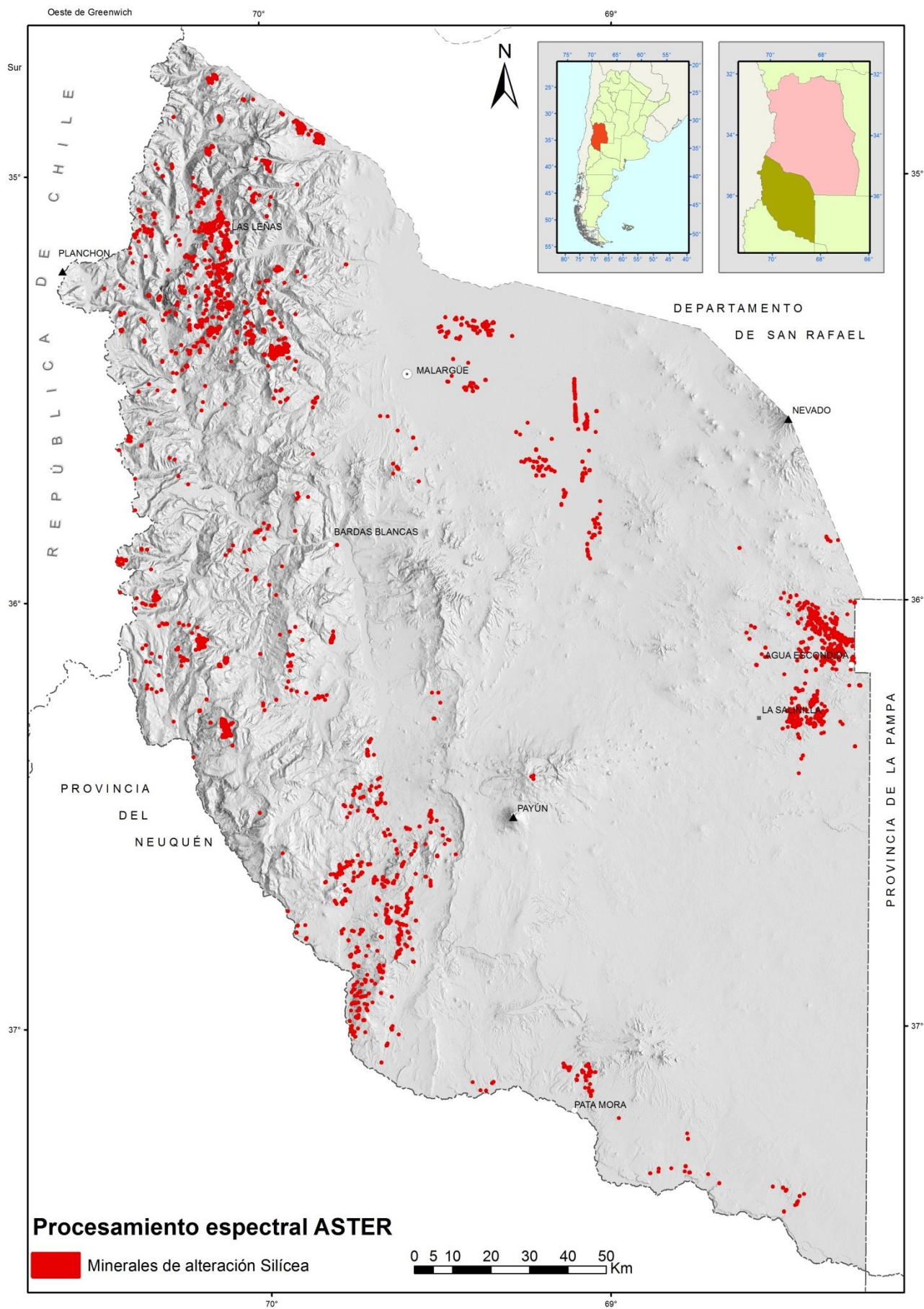


Figura 9. Procesamiento espectral Aster para alteración silíceas.

Evaluación del Potencial Minero Metalífero del departamento MALARGÜE-Mendoza-SEGEMAR

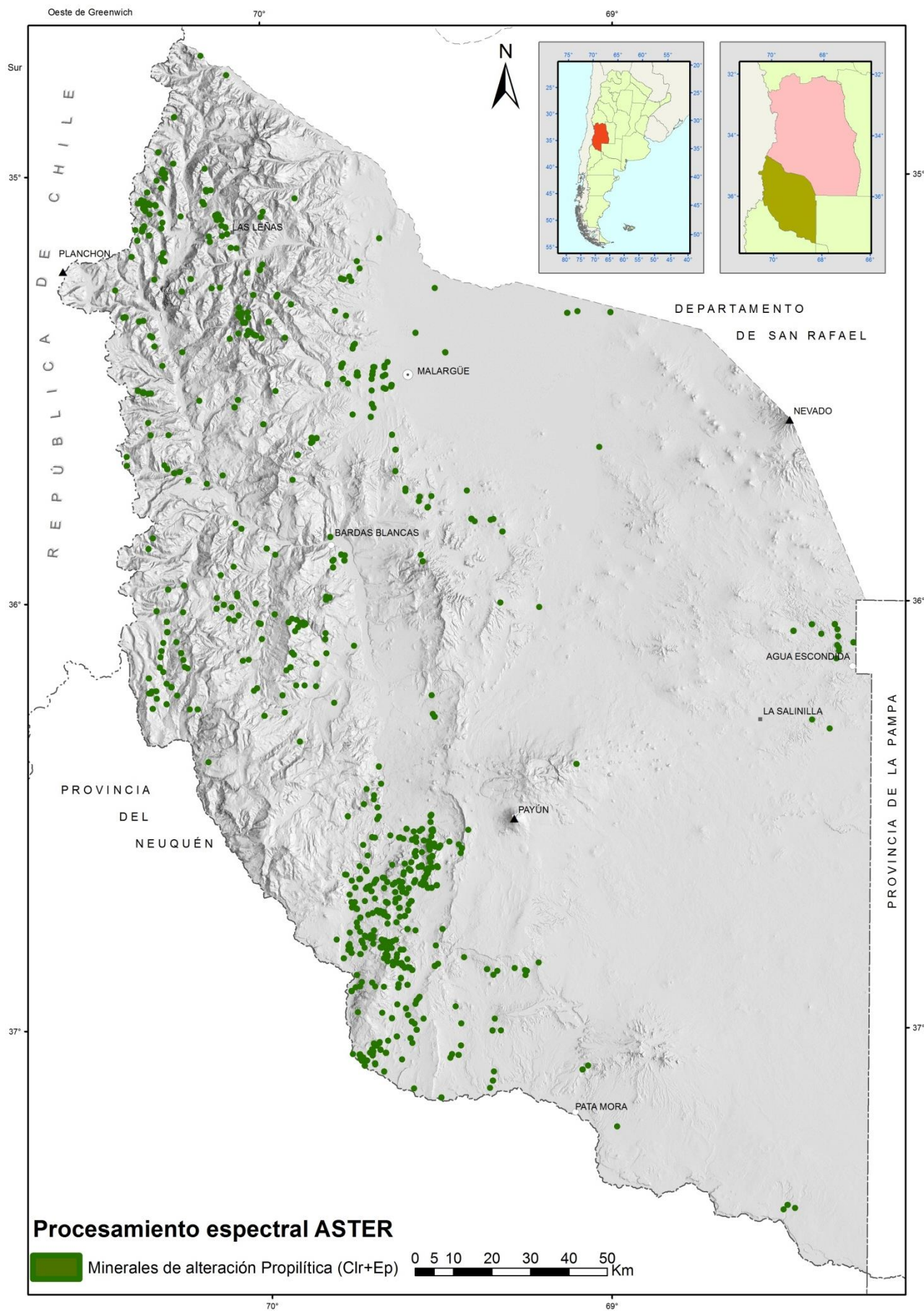


Figura 10. Procesamiento espectral Aster para alteración propilítica silicatos (clorita-epidoto).

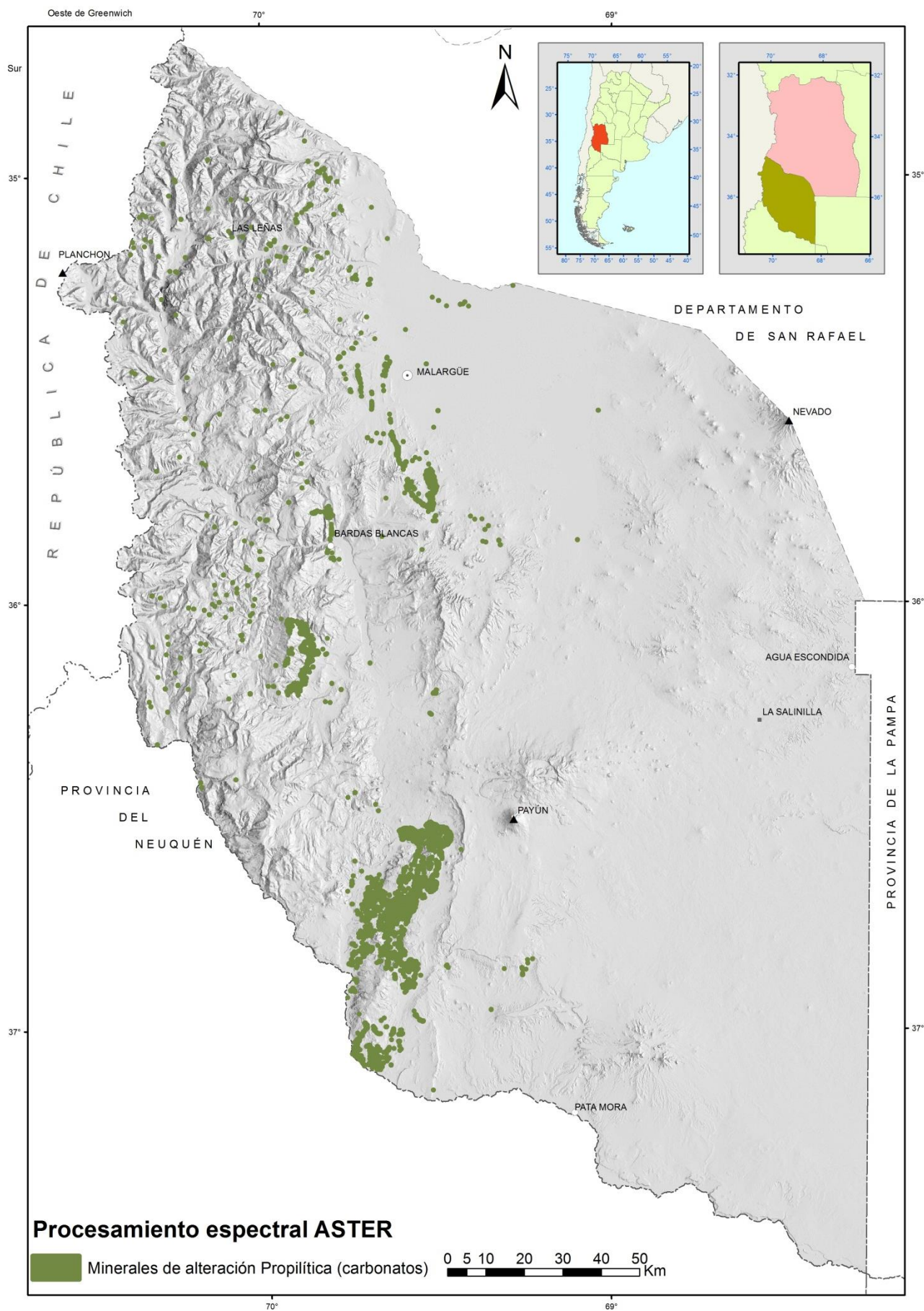


Figura 11. Procesamiento espectral Aster para alteración propilítica carbonatos.

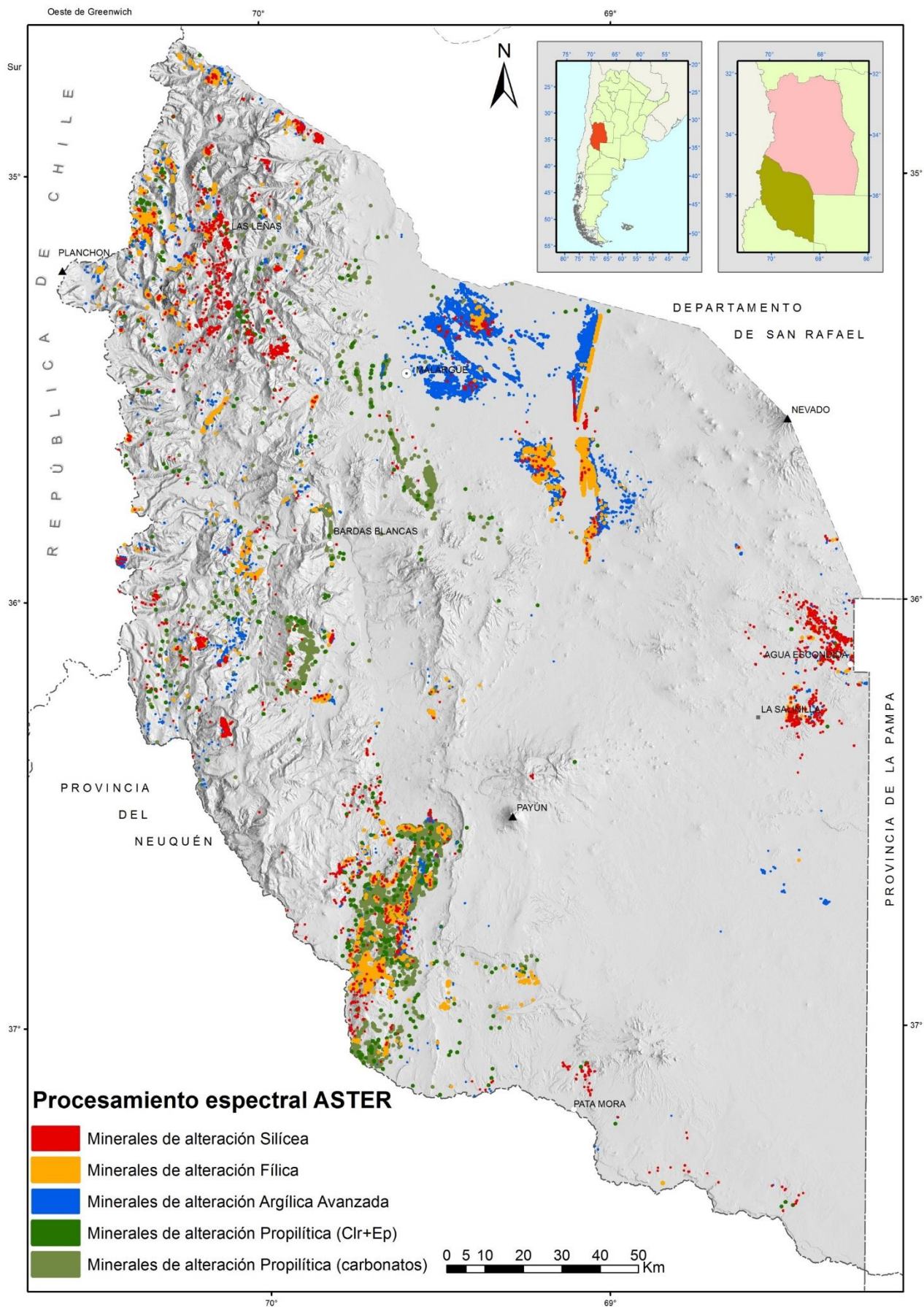


Figura 12. Procesamiento espectral Aster para las alteraciones hidrotermales.

3.6.3. Imágenes de radar (SRTM y Alos Palsar)

Se realizó un mosaico que cubre el departamento Malargüe, a partir de modelos de elevación digital SRTM. Posteriormente se realizó un sombreado de relieve de azimut 90° y elevación 30°, que fue utilizado fines topográficos.

Se utilizaron imágenes del radar Alos Palsar, que por interferometría, permitieron obtener un Modelo de Elevación Digital (DEM) con 12,5 m de resolución espacial. El DEM fue procesado para generar imágenes de relieve sombreado (hillshade), que ayudan a reconocer y delinear las mayores estructuras regionales. Se generaron con un ángulo de elevación solar de 30° y ángulos azimut de iluminación de 0°, 30°, 60°, 90° y 120°. (Andrada de Palomera 2003).

En este caso, las imágenes Alos Palsar fueron analizadas mediante el módulo LINE del software PCI Geomática 13, luego de introducir los parámetros de cálculo. Estos parámetros modificados producen lineamientos bien definidos, en comparación con los parámetros estándar del programa (Tabla 2). Se modificaron en función de los objetivos del trabajo y la escala (Madani 2009).

Parámetros de cálculo	Valores estándar	Valores utilizados para Alos Palsar
Filtro de radio de inclusión	10	10
Límite de gradiente de borde	100	100
Límite de longitud (en pixeles)	100	30
Límite de error (en pixeles)	3	3
Límite de variación angular (en grados)	45	30
Límite de vinculación	50	20

Tabla 2. Parámetros de cálculo para obtención de lineamientos.

Una vez extraídos los lineamientos, se realizó un filtrado de los lineamientos repetidos; se conservaron solamente aquellos que tuvieron un rumbo normal al azimut, para cada inclinación de la iluminación, admitiendo una variación máxima de +/- 15° de los lineamientos. Luego se procesaron todos los lineamientos en su conjunto.

Una vez que se contó con los datos corregidos, se procedió a realizar un conteo estadístico de densidad de lineamientos por área, usando el algoritmo de cálculo Kernel. Los datos de la matriz se disponen en tablas de colores para su mejor visualización, mostrando colores morados, zonas con alta densidad de lineamientos, zonas castañas y amarillas con densidad intermedia, y verde con densidad baja (Figura 13).

La extracción de lineamientos de imágenes Alos Palsar muestran dos patrones principales, uno en dirección N-S y otro NO-SE. A su vez, se observan zonas de densidad alta que se corresponden con áreas de alteración hidrotermal (Figura 14); y zonas isotropas que se dan en el cruce de varios juegos de lineamientos; estos grupos coinciden con la localización de los distritos mineralizados más importantes.

Estos lineamientos se interpretan como canales de fácil circulación de posibles fluidos mineralizantes. Los mapas de densidad de lineamientos proveen una fácil apreciación de la distribución espacial de estos lineamientos, y es un criterio confiable para considerar zonas de interés de exploración. (Adeyinka y Ashano 2013).

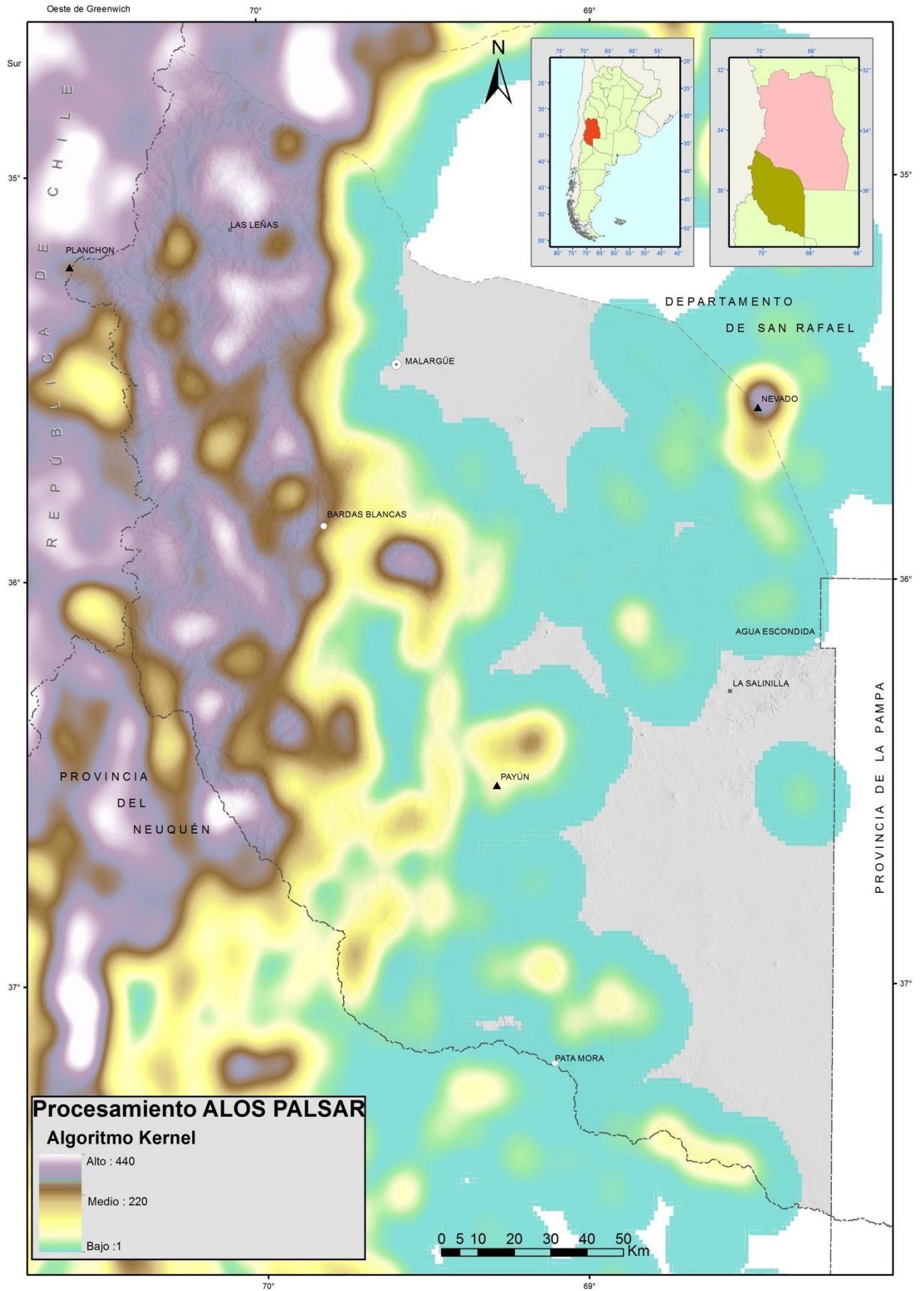


Figura 13. Cálculo de lineamientos por área (densidad de lineamientos).

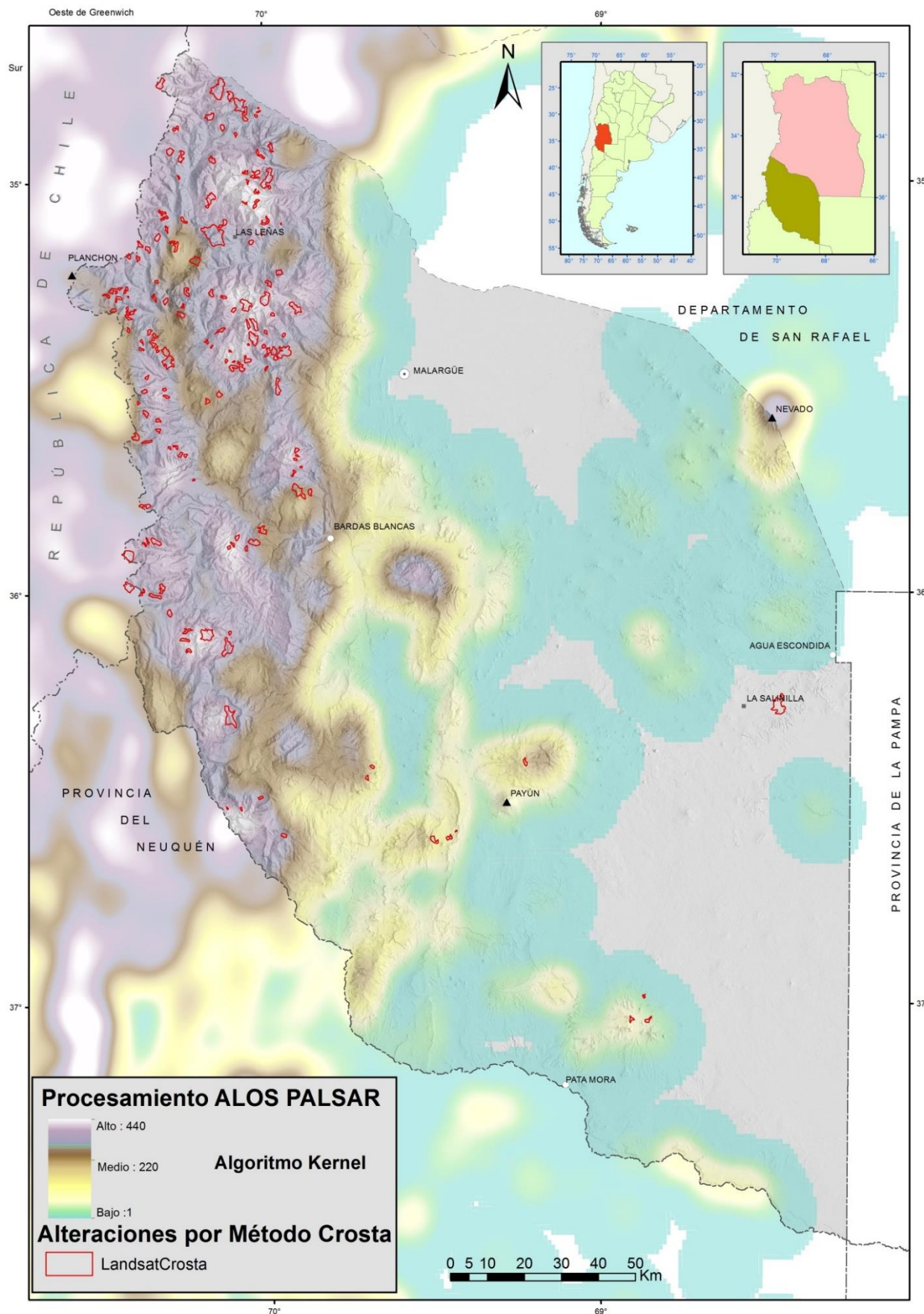


Figura 14. Correlación densidad de lineamientos vs alteraciones hidrotermales.

3.7. Geofísica

Dentro del departamento Malargüe, existen dos áreas con cobertura geofísica (Figura 15), una situada al noroeste correspondiente al Bloque Cordillera Principal (SEGEMAR 1997), y otra al este que corresponde al Bloque San Rafael (SEGEMAR 1998). Sin embargo, los datos del Bloque Cordillera Principal no fueron utilizados para este informe ya que fueron tomados a una altura constante de 5300 m s.n.m., debido a las dificultades de volar sobre la Cordillera de los Andes, manteniendo una altura de vuelo baja y constante sobre la superficie del terreno, como es necesario para obtener datos geofísicos de alta definición. Debido a esto las anomalías que se observan en los datos grillados corresponden a cuerpos profundos que fueron interpretados como las raíces del arco magmático neógeno (Crosta y Palacio, 2015), y no pueden ser utilizadas para la evaluación del potencial minero del área.

Los vuelos en el Bloque de San Rafael fueron realizados en 1998 por la empresa Sanders Geophysics Limited siguiendo líneas de vuelo de rumbo N55°E separadas por 1000 metros, con líneas de control de rumbo N35°O separadas 7500 metros. Para este trabajo, los datos de campo magnético total fueron procesados para obtener el campo magnético total reducido al polo, primera derivada vertical, la señal analítica e inclinación de la señal analítica. A continuación, se describen brevemente las características de estos procesados:

Reducción al Polo (RTP): se recalcula el campo magnético de inclinación y declinación observadas a las correspondientes a los polos norte o sur (Figura 16). Este proceso convierte las anomalías originalmente dipolares a anomalías monopolares, centradas exactamente sobre los cuerpos que las generan. Se asume que no hay magnetización remanente significativa.

Primera derivada vertical del RTP (1DV): este proceso tiende a realzar las componentes residuales de longitud de onda media a corta, y a delinear áreas de gradiente vertical elevado, asociadas con anomalías de origen relativamente somero (Figura 17).

Señal Analítica (o Gradiente Total) (SA): es la suma vectorial de los gradientes horizontales y el gradiente vertical del campo magnético (Figura 18). La SA es siempre positiva sobre el cuerpo que causa la anomalía, y el valor máximo se centra sobre contacto entre bloques de susceptibilidades magnéticas contrastantes.

Inclinación de la señal analítica o "TILT": se basa en la variación entre el gradiente vertical y el gradiente horizontal; tiene valores positivos sobre el cuerpo originante, pasa por cero sobre o cerca del borde, y es negativo fuera de la región de la fuente (Figura 19). Como no tiene una fuerte relación con la profundidad permite tanto la identificación de fuentes someras, como profundas.

Debido a las anomalías de alta frecuencia que caracterizan a las áreas volcánicas, se realizó una continuación vertical de 1000 m de los datos de campo magnético total para remover parte de estas anomalías, y luego de calcular la señal analítica, determinar cuáles de ellas son las más intensas, y mapear las anomalías magnéticas individuales que se utilizaran para la evaluación del potencial (Figura 20).

A partir del análisis de la primera derivada vertical del RTP se identificaron los lineamientos magnéticos, que pueden representar rasgos estructurales que no son observables en los afloramientos. Con esta información se generó un "shapefile" de líneas para los lineamientos, y uno de polígonos para las anomalías, que se utilizaron posteriormente para la determinación y evaluación de las áreas de interés (Figura 21).

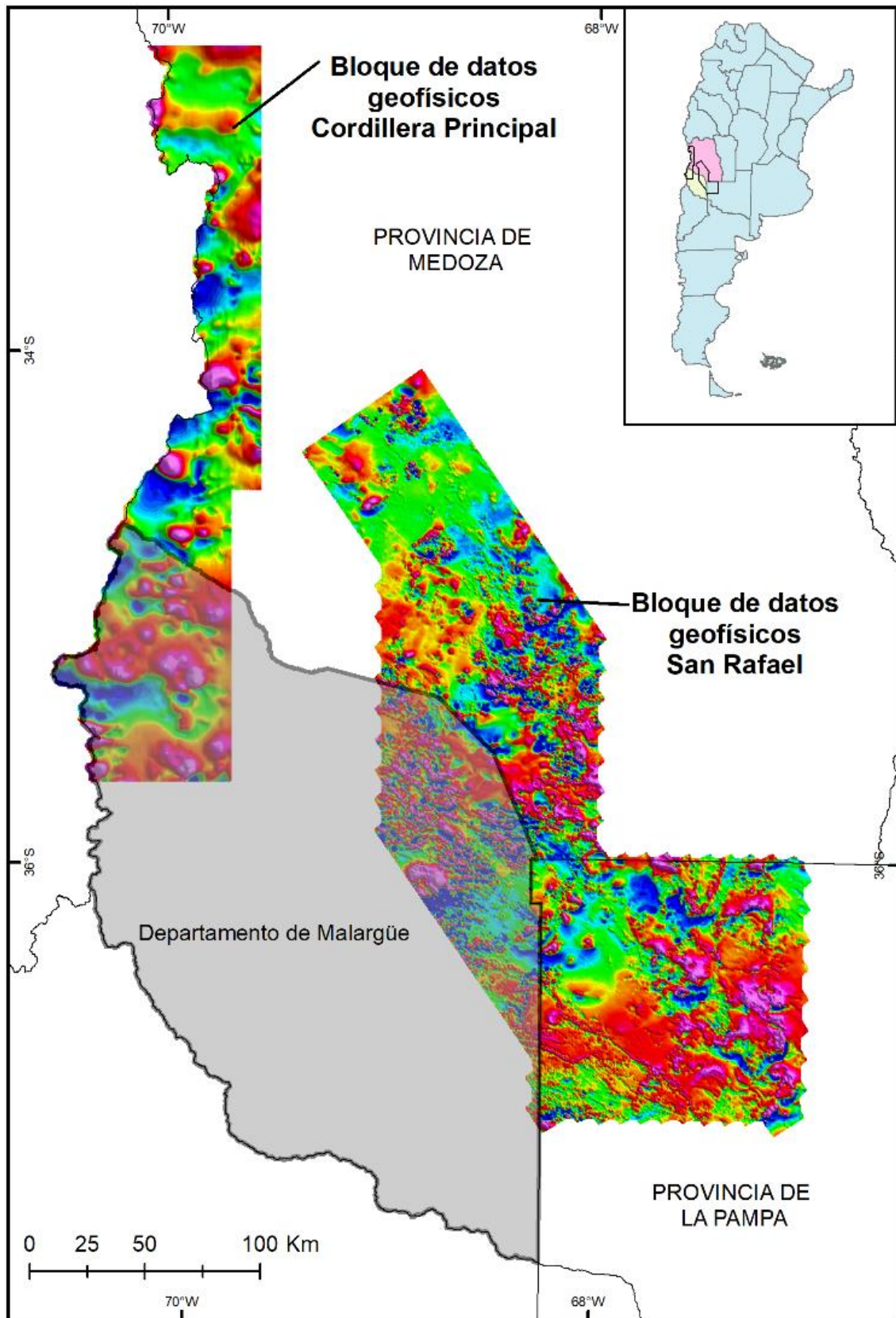


Figura 15. Cobertura geofísica del SEGEMAR del Departamento Malargüe.

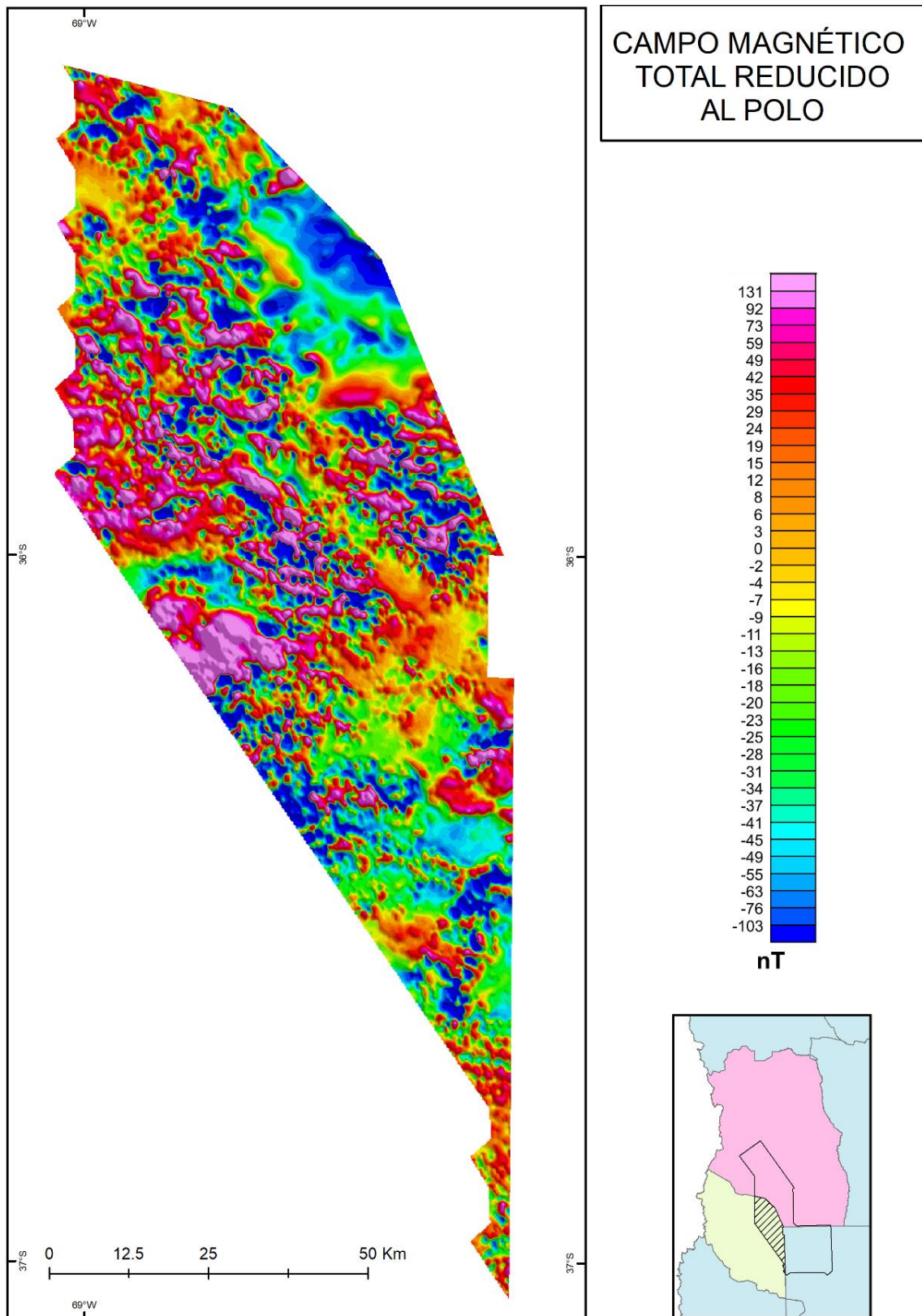


Figura 16. Campo magnético total reducido al polo, Bloque de San Rafael.

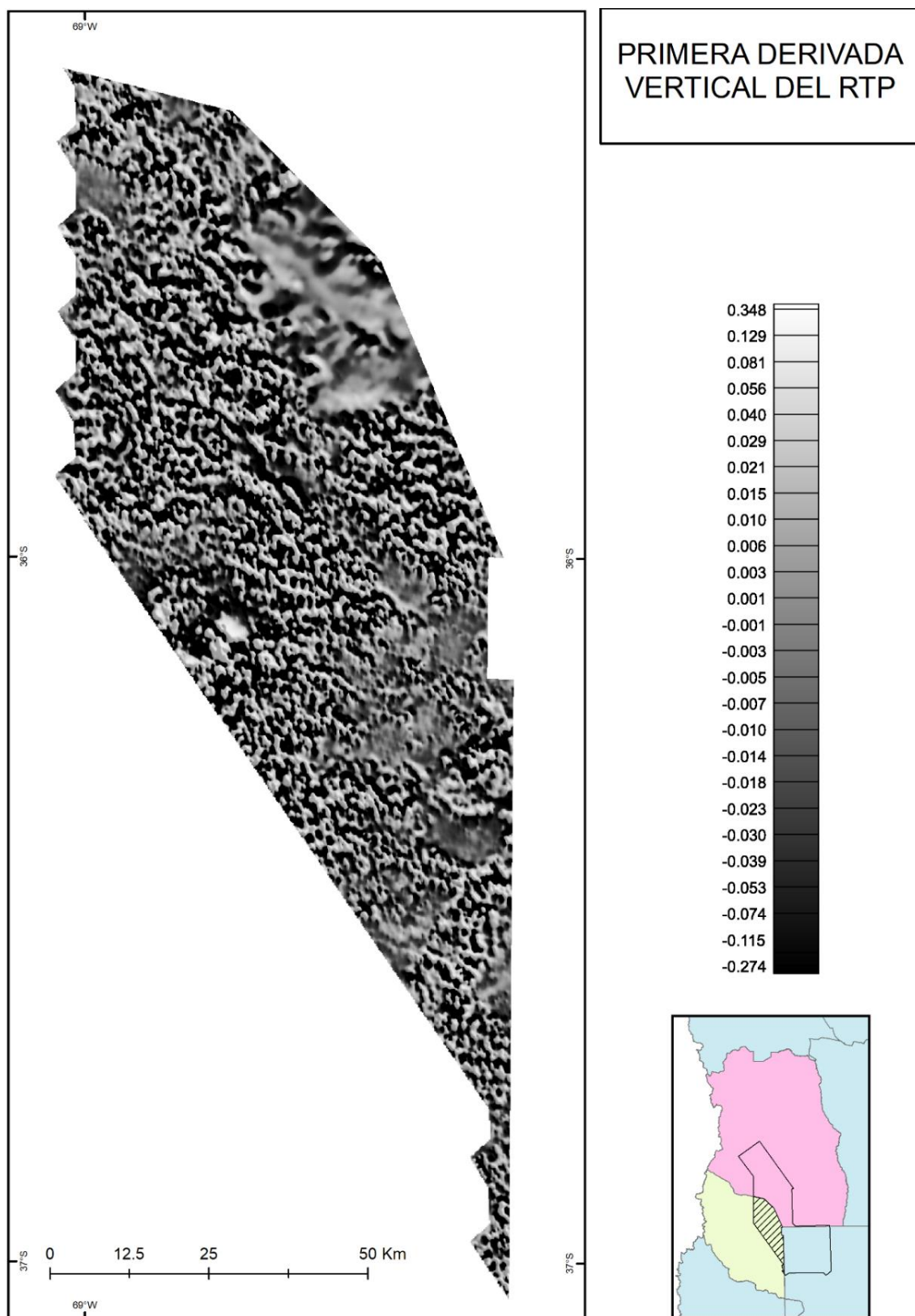


Figura 17. Primera derivada vertical del RTP, Bloque de San Rafael.

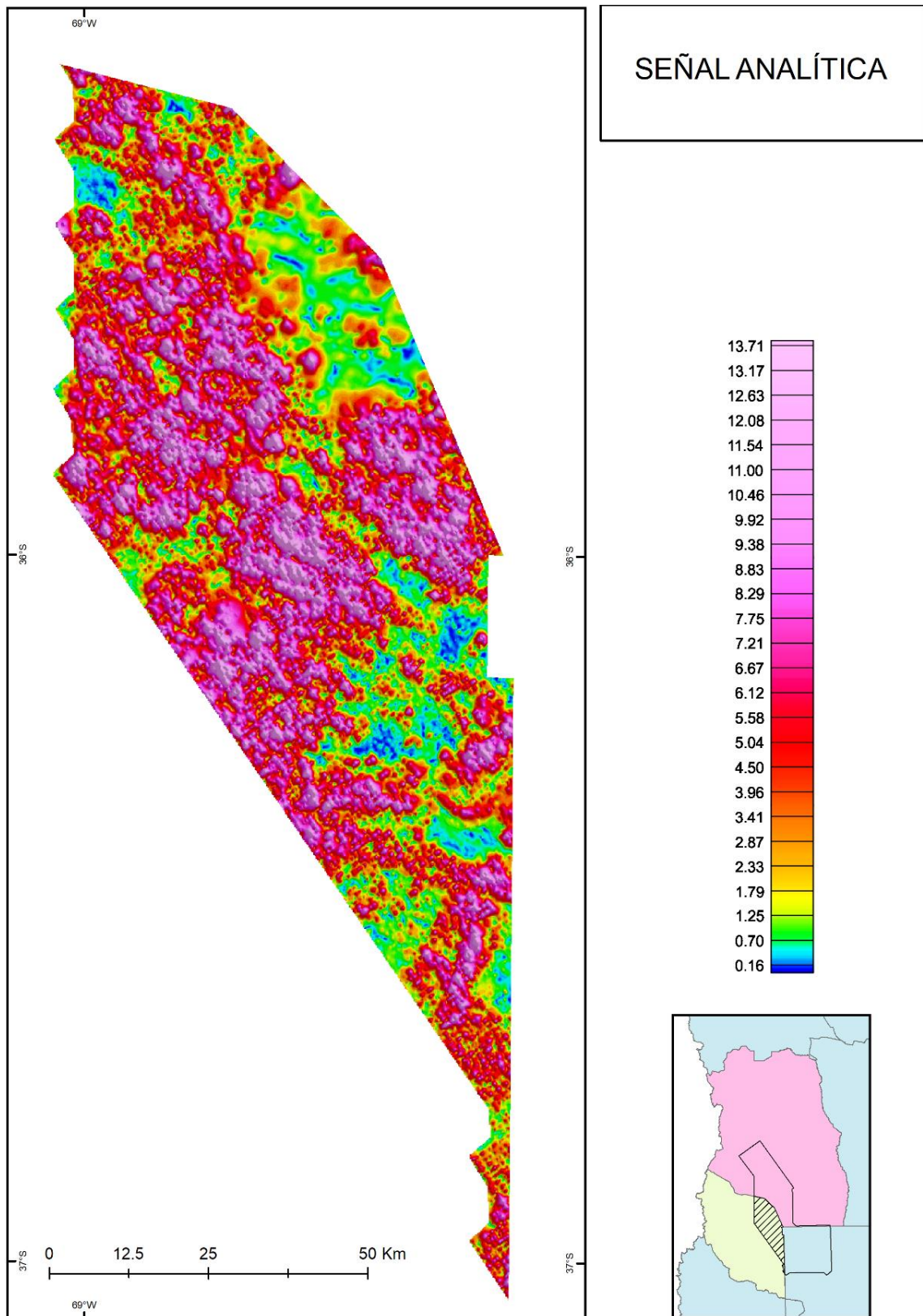


Figura 18. Señal analítica, Bloque de San Rafael.

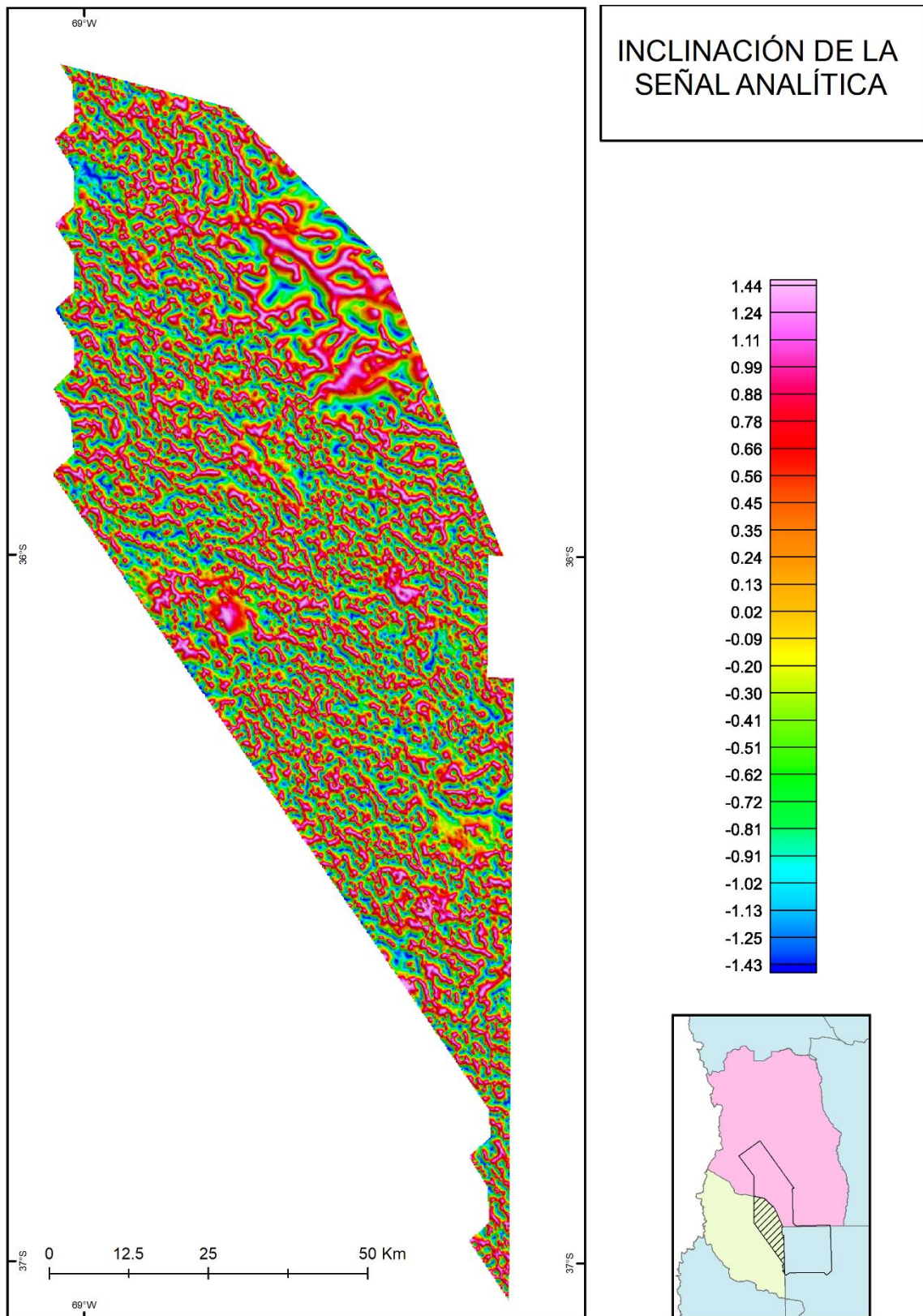


Figura 19. Inclínación de la seña analítca, Bloque de San Rafael.

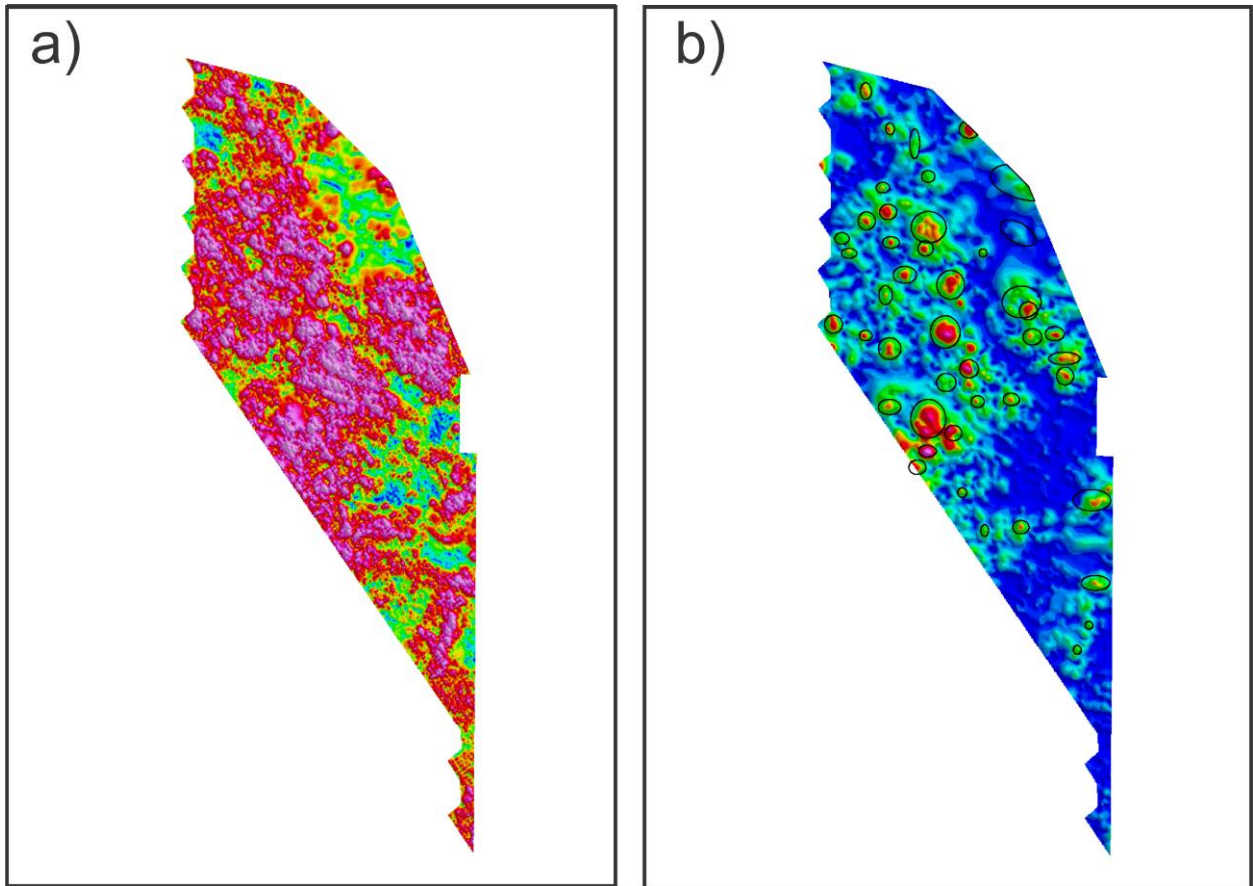


Figura 20. Bloque de San Rafael. a) señal analítica: la señal de las vulcanitas es ruidosa y no permite identificar anomalías individuales; b) señal analítica del campo magnético con una continuación ascendente de 1000 m: solo las anomalías más fuertes permaneces luego del procesado, las cuales fueron digitalizadas como anomalías individuales.

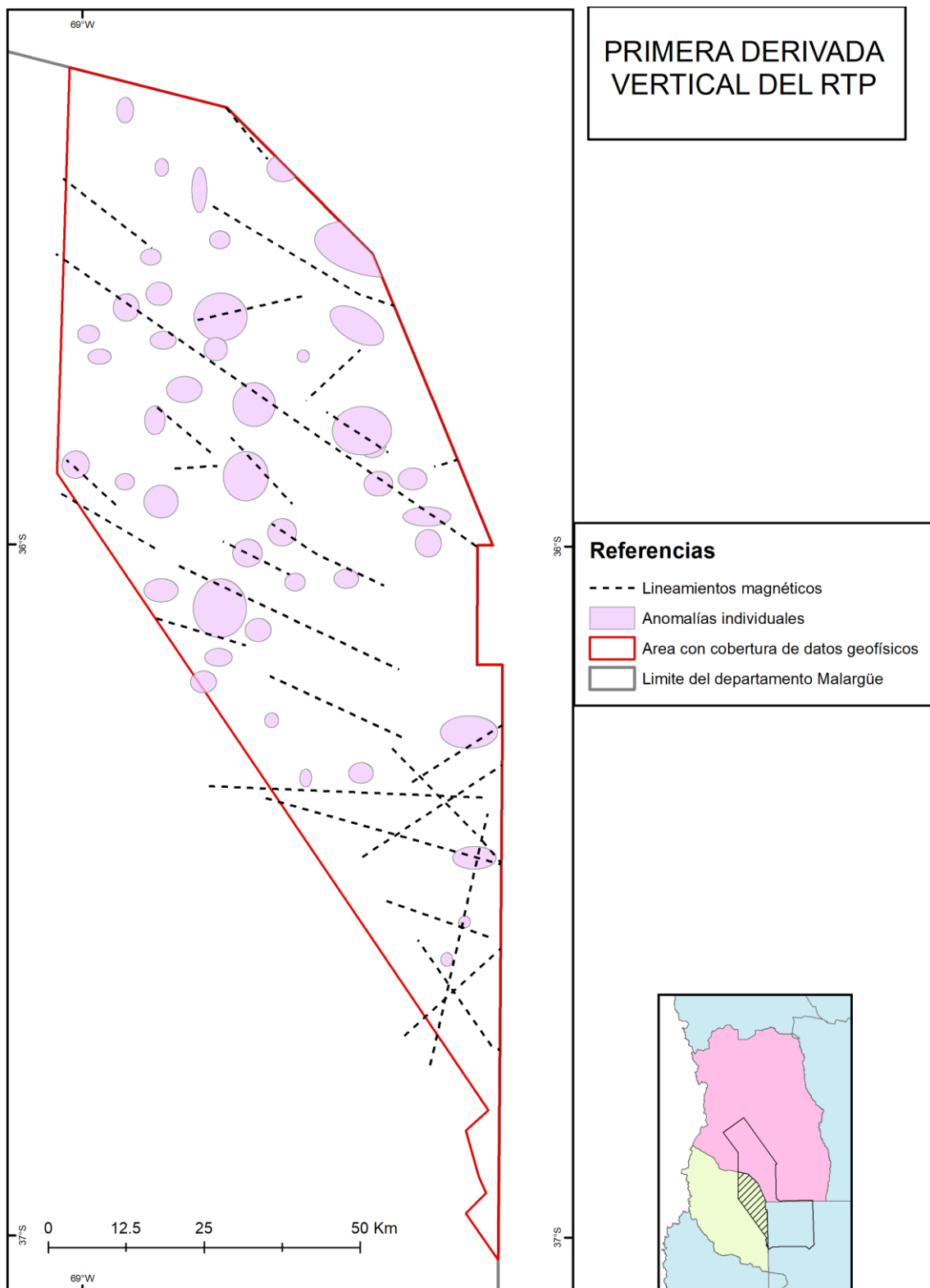


Figura 21. Interpretación de la primera derivada vertical del RTP, Bloque de San Rafael.

3.8. Geoquímica

Se presenta la interpretación de los datos geoquímicos multielemento de 854 muestras de sedimentos de corriente, en el ámbito del departamento Malargüe (Figura 22), extraídos de las Contribuciones Técnicas Geoquímicas de las Cartas Malargüe (Décima et al. 2010), Barrancas (Ferpozzi et al. 2001a), ChosMalal (Ferpozzi et al. 2001b), Embalse El Nihuil (Ferpozzi et al. 2000a) y Agua Escondida (Ferpozzi et al. 2000b), que forman parte del Programa de la Carta Geoquímica de la República Argentina (Ferpozzi y Turel, 1998). La cobertura se complementa en la porción norte del departamento Malargüe, con los datos de Cu, Pb y Zn de 501 muestras pertenecientes a la Carta Geoquímica Volcán Maipo (Rosas y Vargas, 2004), ya que no se cuenta aún con la información geoquímica multielemento.

El objetivo del presente análisis es mostrar el comportamiento geoquímico de los elementos, especialmente los de interés metalogénico, permitiéndonos resaltar aquellas zonas con mineralización conocida y reconocer nuevas áreas de interés minero.

3.8.1. Metodología analítica y de muestreo

Los sedimentos de corriente de las Cartas Geoquímicas Volcán Maipo, Malargüe, Barrancas y Chos Malal fueron recolectados en los estudios regionales de reconocimiento ejecutados por la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM), con participación de Naciones Unidas, durante el período 1965-1967, en el marco del Plan Cordillerano. El muestreo se realizó sobre el lecho activo de los ríos principales, y en sus tributarios de orden inferior, desde sus cabeceras hasta las confluencias. La densidad de muestreo original fue de 1 muestra cada 3-5 km² en la etapa de reconocimiento regional, y de hasta 1-2 muestras por km² en aquellas áreas con mayor interés minero. El procesamiento y análisis por Cu, Pb y Zn fue realizado por la DGFM en su laboratorio de la ciudad de Mendoza. Dicha información fue digitalizada, procesada y publicada en las contribuciones técnicas de datos geoquímicos Cu, Pb, Zn (Ferpozzi et al. 2001c y d; Rosas y Centeno 2004; Rosas y Vargas 2004).

La información geoquímica multielemento de las muestras provenientes de las Cartas Malargüe, Barrancas y Chos Malal, fue obtenida a partir de la selección y re-análisis de la fracción menor a malla 80 (0,177 mm) de las muestras de archivo de sedimentos de corriente recolectadas por el Plan Cordillerano. La selección de las muestras de archivo se basó en una densidad de muestreo que varía normalmente entre 1 muestra cada 10 km², y 1 muestra cada 25 km², que en los sitios de mayor interés puede aumentar hasta 1 muestra cada 6 km².

Las muestras de la Carta Geoquímica Malargüe seleccionadas para re-análisis, fueron analizadas en el laboratorio SGS de Perú, empleando técnicas de ICP-AES e ICP-MS. Se determinaron un total de 55 elementos químicos (Décima et al. 2010).

El análisis multielemento de los sedimentos de corriente de las Cartas Geoquímicas Barrancas y Chos Malal, se realizó en laboratorios canadienses durante el año 2000, como cumplimiento de los objetivos de un proyecto celebrado entre el SEGEMAR y la Japan Internacional Cooperation Agency (JICA). Las muestras seleccionadas fueron re-analizadas para determinar un paquete de 48 elementos químicos, aplicando las técnicas de Activación Neutrónica Instrumental (INAA) y de Espectroscopía de Emisión en Plasma Inductivamente Acoplado (ES-ICP).

Las muestras de las Cartas Geoquímicas El Nihuil y Agua Escondida fueron recolectadas en los muestreos del Programa de la Carta Geoquímica de la República Argentina en el período 1998/99. Los sitios de muestreo fueron establecidos con densidades variables, entre una muestra cada 6 km² y una muestra cada 9 km². Las muestras fueron procesadas en el SEGEMAR y analizadas en XRAL Laboratories (Canadá). Se analizó un paquete de 48 elementos por Espectroscopía de Emisión en Plasma Inductivamente Acoplado (ES-ICP) y Activación Neutrónica Instrumental (INAA).

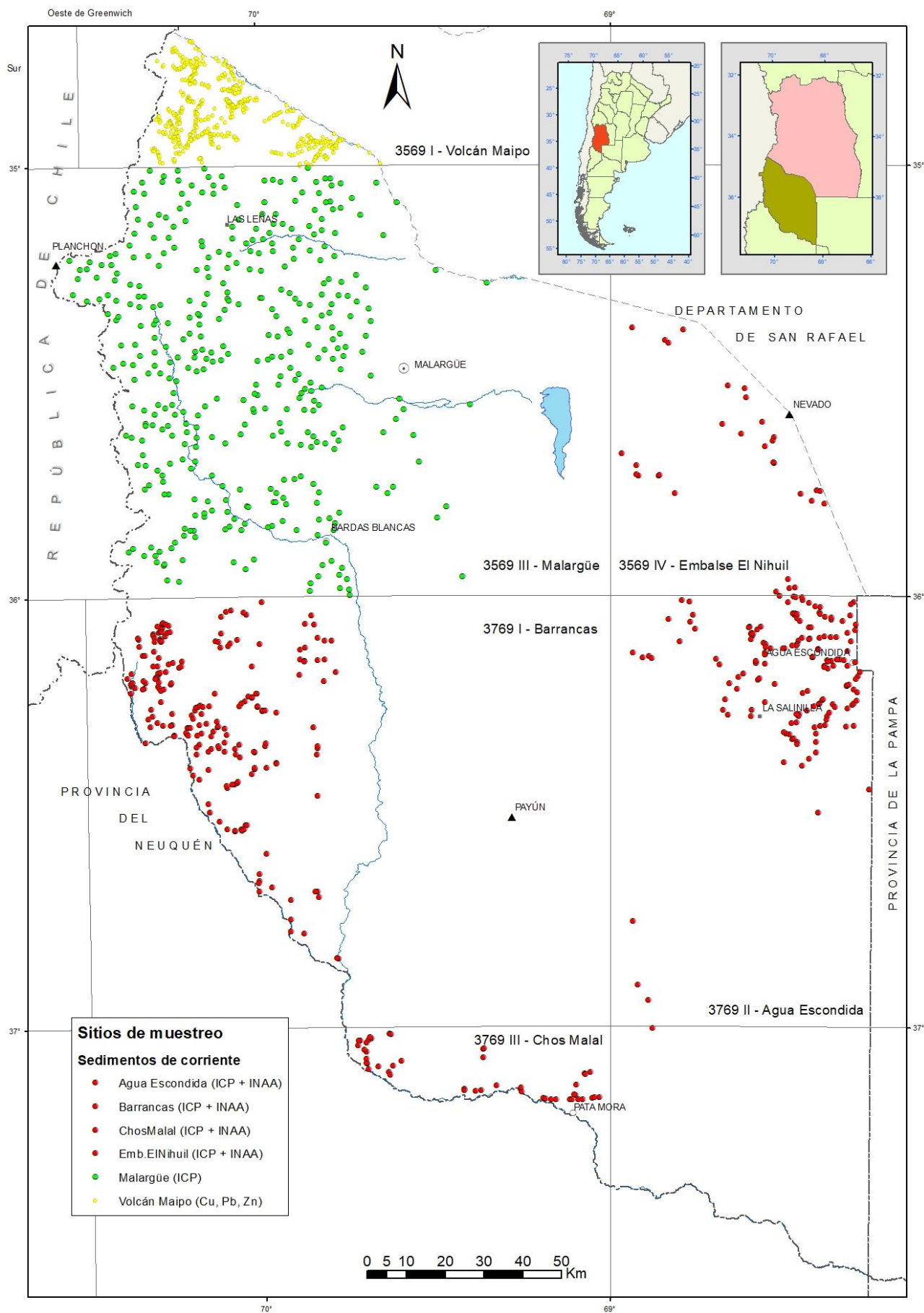


Figura 22. Ubicación de los sitios de muestreo de los sedimentos de corriente.

Se complementa el estudio con los datos Cu, Pb y Zn de 501 muestras pertenecientes a la Carta Geoquímica Volcán Maipo.

3.8.2. Análisis de factores

Este método estadístico busca reducir a un mínimo número de variables, la máxima cantidad de información contenida en los datos. Así, se reconocen grupos de variables, los factores, que representan la variación generada por un solo proceso geológico-geoquímico (formación de rocas, mineralización, alteración, etc).

La información contenida en las muestras reanalizadas fue sometida a la siguiente metodología: análisis de los estadísticos descriptivos, tablas de frecuencia, histogramas y gráficos del tipo q-q para cada variable; detección de outliers, los cuales han sido reemplazados por el valor máximo inmediatamente inferior de la tabla de frecuencias. Los valores reportados por debajo del límite de detección, por el laboratorio de análisis químicos, han sido reemplazados por la mitad del valor absoluto. La distribución de cada variable ha sido analizada a los efectos de su normalización; la transformación de tipo logarítmica fue la seleccionada en los casos correspondientes.

3.8.3. Representación de las anomalías geoquímicas

A los efectos de circunscribir áreas anómalas, se generaron polígonos en base a la distribución geográfica de las concentraciones geoquímicas, mediante el análisis factorial y la generación de índices de mineralización.

Los polígonos generados, son el resultado de la superposición de la información proveniente del análisis geoquímico multivariable de las Cartas Minero Metalogenéticas (CMM), y del análisis multivariable de la base de datos integrada de análisis químicos de las cartas geoquímicas multielemento que abarcan el departamento Malargüe.

Para definir las anomalías, y dada la diferencia entre los paquetes analíticos utilizados en cada caso, debió segmentarse el estudio en tres áreas:

1 Las anomalías de la Hoja Malargüe se extrajeron del análisis factorial e índices de mineralización, realizados para la CMM Malargüe (Crosta y Palacio 2015), ya que es la única que cuenta con un paquete analítico ICP de 55 elementos químicos, que no pudo homogeneizarse con el resto de la población (Figuras 23, 24 y 25).

2 Para las anomalías correspondientes a los 448 resultados analíticos de ES-ICP + INAA, comprendidos dentro de las Cartas Geoquímicas Barrancas, Chos Malal, Embalse El Nihuil y Agua Escondida, se delimitaron polígonos a partir del análisis factorial y la generación de índices de mineralización (Figuras 23, 24 y 25). Cabe destacar que, para los sectores anómalos de la Carta Barrancas, se complementó el estudio realizado para este trabajo con el análisis publicado en la CMM Barrancas (Crosta 2015).

3 Para las áreas anómalas de la Carta Volcán Maipo, se confeccionaron grillas de interpolación con la distribución de Cu, Pb y Zn, y se representaron en polígonos cuyos valores caen dentro del 5% superior de la distribución (Figuras 23, 24 y 25).

3.8.3.1. Anomalías de la Carta Geoquímica Malargüe

A partir del análisis estadístico de los datos químicos de 403 de muestras de sedimentos de corriente, se definieron 6 factores que explican el 72,6% de la varianza total (VTE). Los mismos se vincularon con las unidades tectonoestratigráficas (Crosta y Palacio 2015), definidas a partir de la agrupación de las unidades litoestratigráficas reconocidas por Nullo et al. (2005), y con algunos de los depósitos minerales identificados en el área.

El factor I, que agrupa Tb, Sm, Nd, Eu, Y, La, Yb, Ce, Lu, Th, Be, K (U, P, Nb, Sn, Rb, Zr), destaca el magmatismo post-orogénico permo-triásico de composición intermedia a ácida, y las secuencias sedimentarias suprayacentes pertenecientes a las cuencas intracratónica triásica y de subsidencia térmica jurásica-cretácica.

El factor II, que agrupa Fe, V, Ti, Co, Sc, Mn, Cr, Mg, Zn, Ga, In (Ni, Cu), se vincula con el arco volcánico neógeno compuesto por basaltos, andesitas, dacitas y pequeños intrusivos dioríticos, monzodioríticos, tonalíticos y granodioríticos.

El factor III agrupa Mo, Cd, U, Tl, Ni, P (Zn); resalta los depósitos de skarns ferríferos, vinculados con los cuerpos hipabisales del arco volcánico neógeno (metalotecto primordial), y con las rocas calcáreas de la cuenca de subsidencia térmica jurásica-cretácica (metalotecto revelador).

El factor IV agrupa Ta, W, Nb, Sn, Bi, Pb (Be); destaca las vetas epitermales ricas en metales base, cuyo metalotecto primordial son los cuerpos hipabisales neógenos.

El factor V, que agrupa -Ca, -Sr, Li, Cs, Rb, refleja los términos evaporíticos y calcáreos de la cuenca de subsidencia térmica jurásica-cretácica.

El factor VI agrupa Al, Na, As; indica los basaltos y andesitas de la cuenca de intraarco jurásica superior, y el arco volcánico cuaternario, compuesto por ignimbritas andesíticas, basaltos, andesitas y brechas basálticas.

A partir del estudio de la distribución de anomalías de los elementos Ag, As, Bi, Cd, Cu, In, Mo, P, Pb, Sb, U, y Zn, se crearon los siguientes Índices de Mineralización: el índice $Pb+Zn+Bi+In$ es el que mejor caracteriza las vetas epitermales ricas en metales base, de los cerros de Las Minas y Puchenque; la asociación $As+Cd+Cu+U+Mo$ destaca los depósitos de skarns ferríferos de Aguas Amarillas y Atlas. El índice $Ag+As+Pb+Sb$ representa el sistema mineralizado de Cerro Amarillo. El índice $Cu+P$ refleja los depósitos de cobre tipo manto del Cordón del Cobre, y la anomalía del área del Arroyo El Seguro.

La metodología empleada para el estudio y el análisis de los datos geoquímicos permitió, entre otras cosas, reconocer nuevas áreas con anomalías geoquímicas de interés minero. Estas son las que se han representado para el presente estudio, en las proximidades del C° Cajón de las Lagunas (Pb, Ag y Zn), nacientes del A° Infiernillo (Cu, Ni, U, Mo y Cd), y nacientes del río del Cobre y del A° El Seguro (Cu) (Figuras 23, 24 y 25).

Aunque los autores no definieron ningún índice que integre al Au, consideraron importante analizar el comportamiento de este elemento, y en consecuencia se observan valores anómalos de este elemento en cauces de primer y segundo orden, provenientes de los cerros de Las Yeguas y Rincón de las Lagunas, sobre el A° El Durazno y en un afluente del río Salado proveniente del cerro Las Cabras. Estas anomalías podrían estar asociadas a las sedimentitas de la Formación Tordillo, que han sido silicificadas por dioritas del Ciclo Eruptivo Huincán. En el sector sur del área de estudio, en las proximidades de Bardas Blancas, algunos afluentes del Río Grande también muestran valores destacados de Au (Figura 23, 24 y 25).

3.8.3.2. Anomalías de la base de datos integrada: Cartas Geoquímicas Barrancas, Chos Malal, Embalse El Nihuil y Agua Escondida

A partir de la normalización y del análisis estadístico de los 451 análisis, correspondientes a las muestras de las Cartas Geoquímicas Barrancas, Chos Malal, Embalse El Nihuil y Agua Escondida, se determinaron 8 factores con una VTE del 70,25%. Se detallan aquellos factores relacionados a la mineralización y a la representación de las anomalías geoquímicas.

Determinación de 8 factores. VTE: 70,25%:

Factor 1: Sc, Co, Fe, Mg, Zn, Mn, V, Ti, Cr, -K, Ag, -Pb, -Ba (Ni, Bi, Sn). VTE: 24,6%

Factor 2: Ir, W, Se, Au, Nd (Pb, -Ag). VTE: 7,9%.

Factor 3: Sm, Yb, La, Hf, Ce (Ba). VTE: 7,7%

Factor 4: Al, Na, -Cd (K, Y). VTE: 7,2%

Factor 5: Ca, P, Sr, Y (Cu). VTE: 7,1%.

Factor 6: Sn, Mo, Bi, -Ni, -Cu (-Cd). VTE: 6,9%.

Factor 7: As, Th, Cs. VTE: 4,8%

Factor 8: Sb, Tb, Lu, Rb. VTE:4,1%

A los efectos de circunscribir las áreas anómalas, fueron representados los Factores 2, 5 y 6 (Figuras 23, 24 y 25), destacando el 10% superior de los valores de la distribución. Se complementaron los resultados obtenidos en este análisis con las anomalías geoquímicas publicadas en el análisis multivariable de las Cartas Minero Metalogenéticas (Centeno et al. 2009; Mallimacci et al 2010; Crosta 2015; Crosta y Palacio 2015;), con el fin de contrastar los valores obtenidos en ambos estudios y ajustar mejor las áreas de interés.

El Factor 2 es un factor de mineralización, está asociado a la secuencia volcánica neógena, y es equivalente al Factor 5 de la CMM Barrancas (Arco volcánico Mioceno). Los valores más elevados para esta asociación se concentran al norte del río Barrancas, principalmente en los sectores correspondientes a los cordones de Mary y de Mayán, donde afloran rocas del arco volcánico neógeno y las sedimentitas de la cuenca de subsidencia térmica jurásica – cretácica (Figura 23).

El Factor 5 es un factor litológico y probablemente de mineralización, es correlacionable con el Factor 4 de la CMM Barrancas y se vincula con el índice de mineralización PCI (Porphyry Copper Index). Destaca a las sedimentitas de la cuenca Neuquina, y a los basaltos de retroarco neógeno - cuaternario. Para esta asociación de elementos los valores destacados, en el ámbito de la Carta Barrancas, se encuentran en las zonas aledañas al Cordón de Mary, al oeste de El Manzano, y al norte de la localidad de Barrancas en las cercanías de Buta Pilán. En la Carta Chos Malal se observan valores elevados al Este de Buta Ranquil (Figura 24).

El Factor 6 es un factor de mineralización y destaca los depósitos epitermales de baja sulfuración del Grupo Choiyoi, y también podría estar destacando depósitos polimetálicos complejos. Sus valores anómalos se pueden observar principalmente en las Hojas Embalse El Nihuil y Agua Escondida (Figura 25). Hacia el norte las anomalías se presentan en las inmediaciones de los parajes La Cachorra y Trintrica. En la Carta Agua Escondida las anomalías se observan en el Co. El Zaino, y principalmente y en mayor extensión areal, en la zona de Agua Nueva, El Pantanito, Los Huacos. Hacia el Sur una pequeña anomalía se ubica al sur del puesto La Matancilla. En la Hoja Barrancas una pequeña anomalía se observa en el cordón de Mayan.

3.8.3.3. Anomalías Cu-Pb-Zn de la Carta Geoquímica Volcán Maipo

En el ámbito de la Carta Geoquímica Volcán Maipo fueron representadas las anomalías de Cu y de la asociación Cu-Pb-Zn, que se obtuvieron destacando el 5% superior de los valores de la distribución. Para el Cu las anomalías se presentan en el río del Cobre, Valle Hermoso; algo más al norte en el A° El Quesero en las inmediaciones del C° Las Choicas y el Cordón del Burrero, y en las nacientes del río Tordillo. Hacia el NO se observan valores anómalos en las cabeceras del A° de las Lágrimas. Para la asociación Cu-Pb-Zn las anomalías se observan en las cercanías del portezuelo de las Lágrimas, en la desembocadura del arroyo homónimo, y algo más al este, en las nacientes del A° Los Caballos.

Evaluación del Potencial Minero Metalífero del departamento MALARGÜE-Mendoza-SEGEMAR

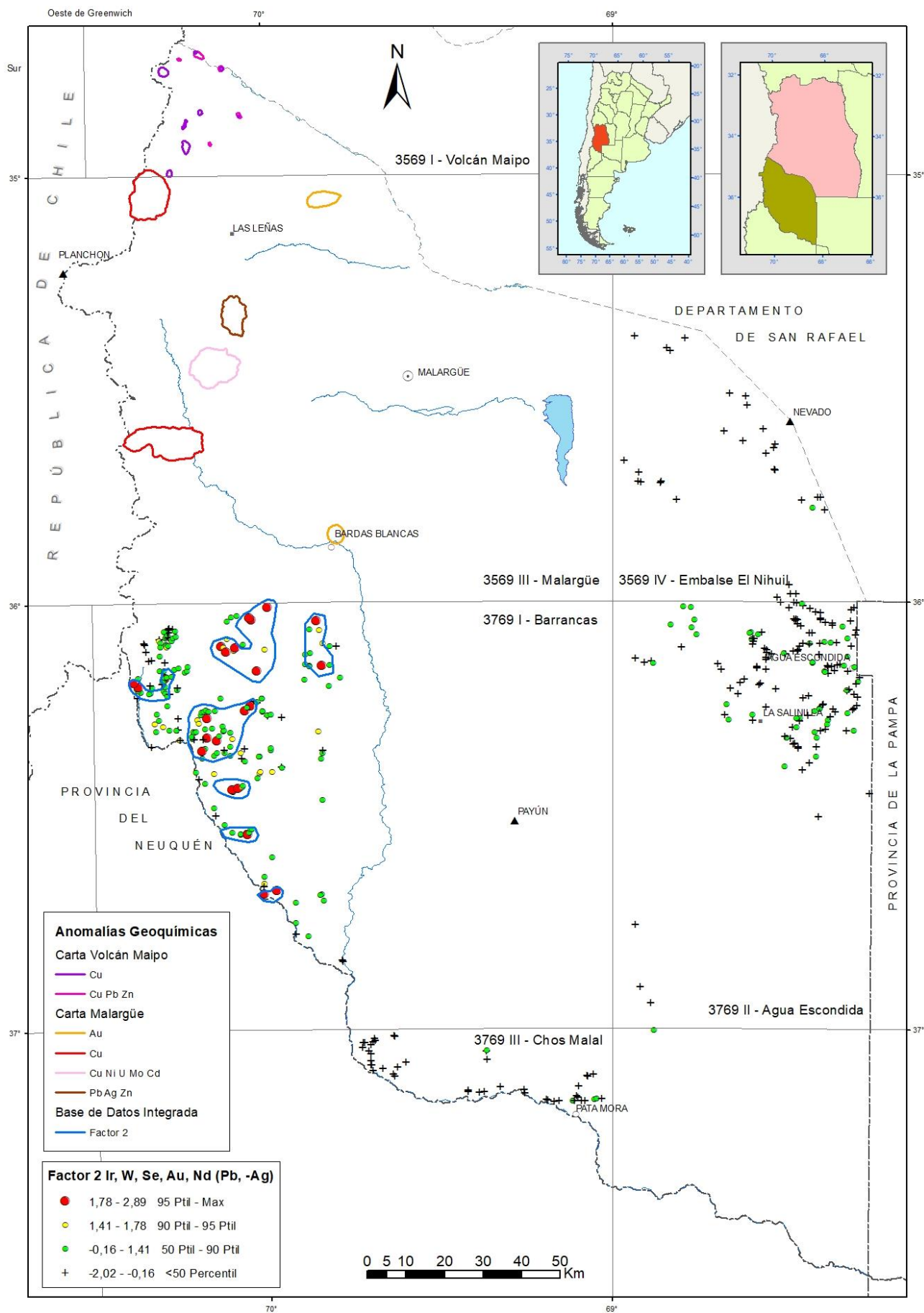


Figura 23. Distribución geográfica del Factor 2: Ir, W, Se, Au, Nd (Pb, -Ag).

Evaluación del Potencial Minero Metalífero del departamento MALARGÜE-Mendoza-SEGEMAR

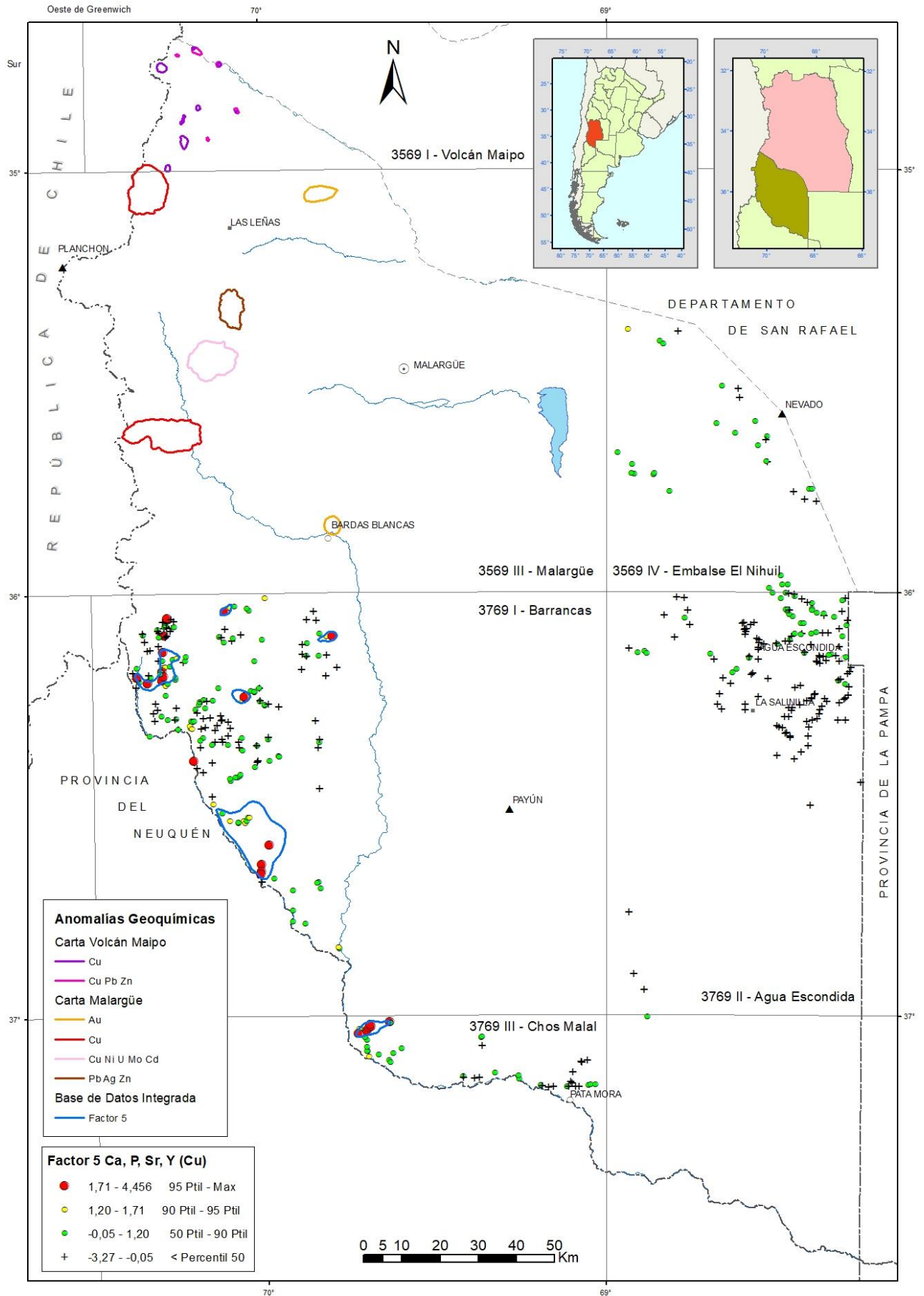


Figura 24. Distribución geográfica del Factor 5: Ca, P, Sr, Y (Cu).

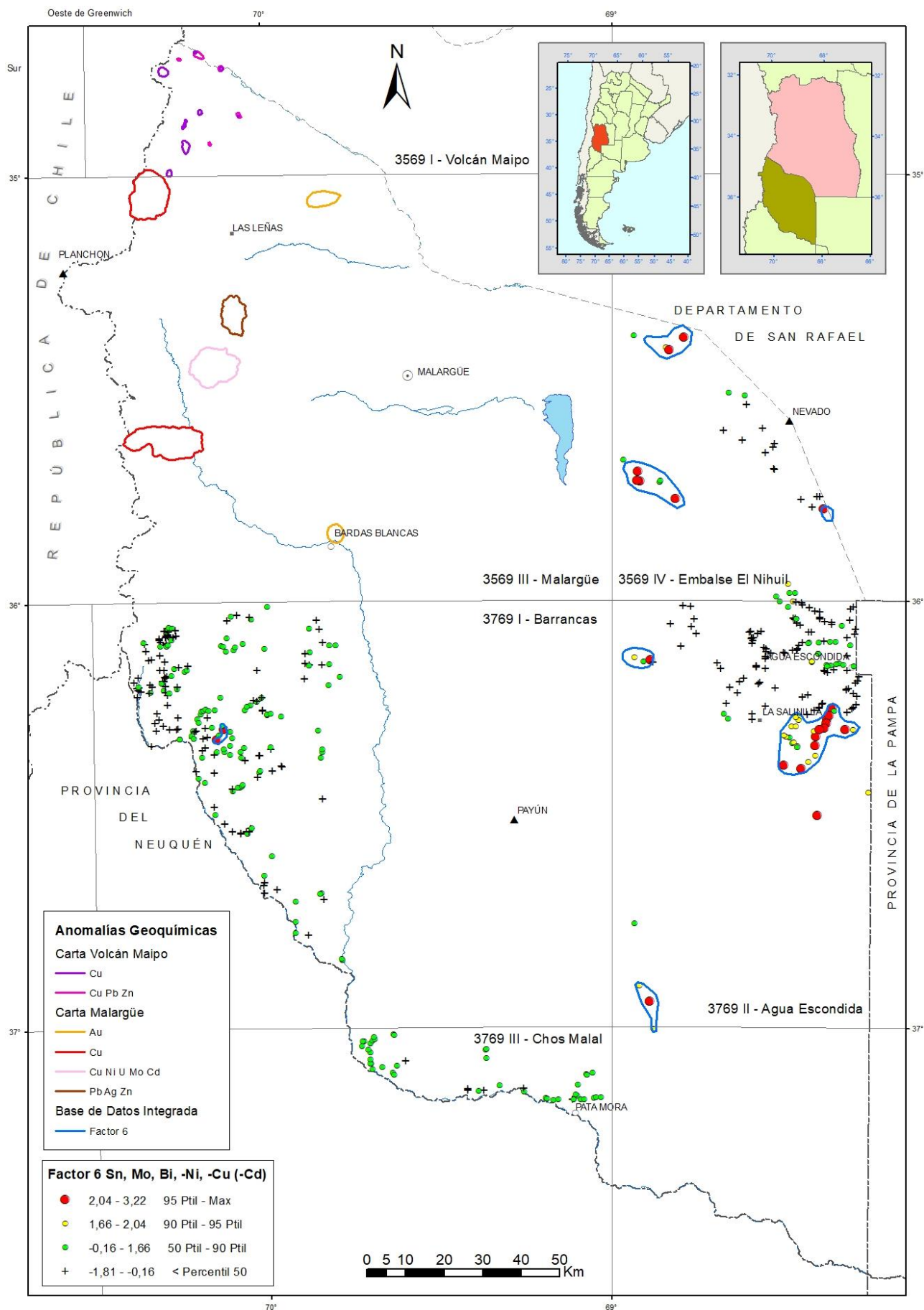


Figura 25. Distribución geográfica del Factor 6: Sn, Mo, Bi, -Ni, -Cu (-Cd).

4. METALOTECTOS

A partir de la implementación de las herramientas geológicas y geocientíficas descriptas, y sus relaciones con los Proyectos contenidos en la Base de Datos del departamento Malargüe, se identificaron aquellos elementos geológicos que muestran estrecha relación con los eventos relacionados a las mineralizaciones conocidas. Dichos elementos geológicos se ajustan con la definición de metalotecto (Laffitte et al. 1965): **“todo objeto geológico que contribuye a la constitución y emplazamiento de una concentración mineral”**. En este trabajo se reconocieron metalotectos litológicos y estructurales.

4.1. Metalotectos Litológicos

En este apartado se describen los metalotectos litológicos más importantes que se han identificado en el departamento Malargüe. Asimismo, cabe mencionar que en el sector oriental de Malargüe afloran intrusivos andesítico-dacíticos del Mioceno Tardío-Plioceno que en principio presentan características que le otorgan cierta potencialidad a ser unidades fértiles y para lo cual será necesario realizar mayores estudios. Corresponden a cuerpos intruidos en un ambiente de subducción plana, con una geoquímica calcoalcalina. Se presentan como brechas de conductos y cuerpos subvolcánicos con composiciones de pórfiros andesíticos y dacíticos. Fuera del área de estudio se mencionan mineralizaciones y alteraciones hidrotermales asociadas a intrusivos como los descriptos.

4.1.1. Dacitas y andesitas del Pérmico Temprano

Corresponden a intrusivos hipabisales a plutónicos de naturaleza silícea, integrado por diques e intrusivos graníticos y riolíticos que la cartografía geológica ha incluido en el Grupo Cochicó. Desde el punto de vista tectónico, representan intrusivos del arco magmático gondwánico presente en el Bloque de San Rafael (Figura 26). Corresponden a intrusivos emplazados en niveles someros de la corteza y con un grado de exposición superficial favorable para la preservación de los depósitos. Estas rocas están asociadas a mineralizaciones típicas de arco magmático como son pórfiros de cobre (4b) y vetas polimetálicas complejas (7e). A escala regional, es ampliamente conocido el potencial de este metalotecto con proyectos mineros como San Jorge en Mendoza o Alcaparrosa en la provincia de San Juan.

4.1.2. Riolitas de ambiente post-orogénico del Pérmico Tardío - Triásico Temprano

El evento extensional que dio lugar a la formación del Grupo Choiyoi, generó grandes volúmenes de riolitas y complejos magmáticos ácidos que, junto a una actividad hidrotermal asociada, fueron responsables de la formación de depósitos minerales de fluorita (14h) y manganeso (7a), depósitos de oro de baja sulfuración (7b) y polimetálicos complejos (7e) (Figura 27).

4.1.3. Complejo Volcanoclástico Jurásico

Es un complejo volcano sedimentario fértil; las mineralizaciones se encuentran tanto en las vulcanitas de la Formación Río Damas, como en las areniscas y conglomerados de la Formación Tordillo. Las rocas ígneas corresponden a intrusiones subvolcánicas y flujos volcánicos, de composición basáltica a andesítica, típicas de ambiente de subducción. La signatura geoquímica es calcoalcalina, tendiendo a alcalina-tholeiítica, con alto contenido de potasio (shoshonita). En tanto, la facies volcanoclástica proximal asociada a la Formación Tordillo, se compone de

conglomerados y areniscas arcóscas ricas en plagioclasa. Las mineralizaciones asociadas a este metalotecto pertenecen al modelo de cobre en manto (11a).

4.1.4. Rocas carbonáticas jurásico - cretácicas

Este metalotecto, compuesto por rocas sedimentarias de composición carbonática, es favorable para la formación de depósitos tipo skarn ferrífero (5d) y skarn cuprífero (5b). Se trata de aquellos sedimentos marinos de la cuenca Neuquina (Grupo Mendoza), como calizas organógenas, intercalaciones de dolomías con lutitas y margas oscuras de la Formación Chachao, pelitas bituminosas, pelitas calcáreas y calizas con intercalaciones de margas de la Formación Vaca Muerta, calizas, grainstones oolíticos y framestones coralígenos con calizas micríticas de la Formación La Manga, y secuencias evaporíticas con calcáreos micríticos de la Formación Auquilco. Las rocas carbonáticas en contacto con intrusivos neógenos (mayormente Complejo Eruptivo Huincán) cumplen el rol de rocas huésped, dando como resultado mineralizaciones hidrotermales de tipo skarn. Principalmente son skarn de hierro, en menor medida de cobre y existe el caso raro de mineralización de Fe, enriquecida en cobalto-níquel-cobre (Aguas Amarillas). Los proyectos mineros más reconocidos del departamento Malargüe son Hierro Indio y Piedra Imán. Es posible que estén estrechamente vinculados espacial y temporalmente con sistemas porfíricos aledaños (Bulatovich, 2014).

4.1.5. Cuerpos subvolcánicos del arco neógeno

Esta unidad representa el metalotecto de mayor potencial mineralizador. La diversidad de modelos de depósitos minerales se vincula con un ambiente geotectónico favorable (arco magmático), y con su vasta distribución geográfica. Estos intrusivos corresponden a plutonitas (stock), variedades hipabisales (lacolitos, diques, filones capa) y vulcanitas. La signatura geoquímica indica rocas calcoalcalinas, metaluminosas de tipo I, con poca contaminación cortical. Para los intrusivos porfíricos de tipo diorita-monzodiorita se asocian mineralizaciones polimetálicas (7e) y skarns (5b; 5d). Mientras que para los intrusivos con composiciones granodiorítica-tonalítica, se asocian las mineralizaciones tipo pórfiro de cobre-oro (4a). Además, se considera que los intrusivos miocenos fueron el agente que generó la removilización de depósitos originados en orogenias anteriores.

4.1.6. Areniscas continentales del Cretácico y Paleógeno

Los depósitos continentales de antepaís (Grupo Neuquén) favorecieron la depositación de minerales de tipo uranio, vanadio y cobre (modelos de depósitos 9a y 9b) que se acumularon en el límite óxido-reducción entre grandes bancos de areniscas oxidadas y pequeños bancos de material arcilloso y/o carbonoso. La Formación Diamante posee tres niveles: areniscas conglomerádicas intercaladas con niveles pelíticos, areniscas, y conglomerados que rellenan paleocanales. La precipitación se produjo en sedimentos con material carbonoso y restos de troncos silicificados. En esta unidad, las mineralizaciones suelen hallarse en la base de los depósitos. Estos mismos depósitos suelen albergar algunas acumulaciones de cobre, provenientes de orogenias anteriores, removilizadas durante la orogenia Andina.

4.2. Metalotectos Estructurales

En este apartado se describen los principales elementos estructurales presentes en el departamento Malargüe que ejercieron algún tipo de control en la formación de depósitos minerales metalíferos. Cabe mencionar que, en la zona nororiental de la Cuenca Neuquina, se ha reconocido una tectónica de bloques de basamento por fallamiento extensional, responsable de la generación de pliegues supratenuos de escaso relieve estructural, suaves anticlinales tipo rollover, y estructuras con cierre contra falla (Casadío 2015). Estos elementos estructurales

posiblemente hayan jugado un papel importante en la exposición de las rocas que posteriormente se lixiviaron, en generar el gradiente que motorizó el flujo de aguas subterráneas para el transporte y también generar las trampas en horizontes exhumados.

4.2.1. Fallas conjugadas gondwánicas

La estructuración del Grupo Choiyoi, durante su acreción y posterior colapso extensional, se produjo con fallamiento predominante NO, y juegos menores E-O y N-S. Se considera que esta estructuración es un común denominador para todas las mineralizaciones del basamento en el sector oriental del departamento Malargüe, ámbito del Bloque de San Rafael (Figuras 26 y 27). Asimismo, las estructuras NO fueron reactivadas durante el Neógeno hasta el Pleistoceno, y han sido canales para las intrusiones del retroarco alcalino, y del arco magmático durante la subducción plana del reciente Ciclo Andino.

4.2.2 Corrimientos andinos

La deformación andina por compresión dio lugar a grandes corrimientos y fallas sobre las sedimentitas de la Cuenca Neuquina. Dicha estructuración controló el emplazamiento regional de cuerpos subvolcánicos posteriores. Estos corrimientos presentan orientación preferencial NO y N-S e intersecciones con fallas NE y E-O. En los sectores correspondientes a los cerros de las Minas y Puchenque la localización de los cuerpos subvolcánicos miocenos y las mineralizaciones epitermales asociadas están fuertemente controladas por estos juegos de fallas. Por otro lado, el importante corrimiento de Las Leñas ejerce control sobre el sistema porfírico de Cerro Amarillo. Otras fallas que revisten importancia son las denominadas La Manga y El Fierro. Por último, en el sector suroccidental del departamento se observan fallas NO a NNO las cuales merecen estudios de detalle a futuro.

4.2.3 Anticlinales andinos

La orogenia compresional andina también generó deformación dúctil, con formación de pliegues anticlinales, que facilitaron la circulación de fluidos hidrotermales y la consiguiente formación de depósitos minerales. Esta relación espacial se observa claramente en el facolito de Los Morros.

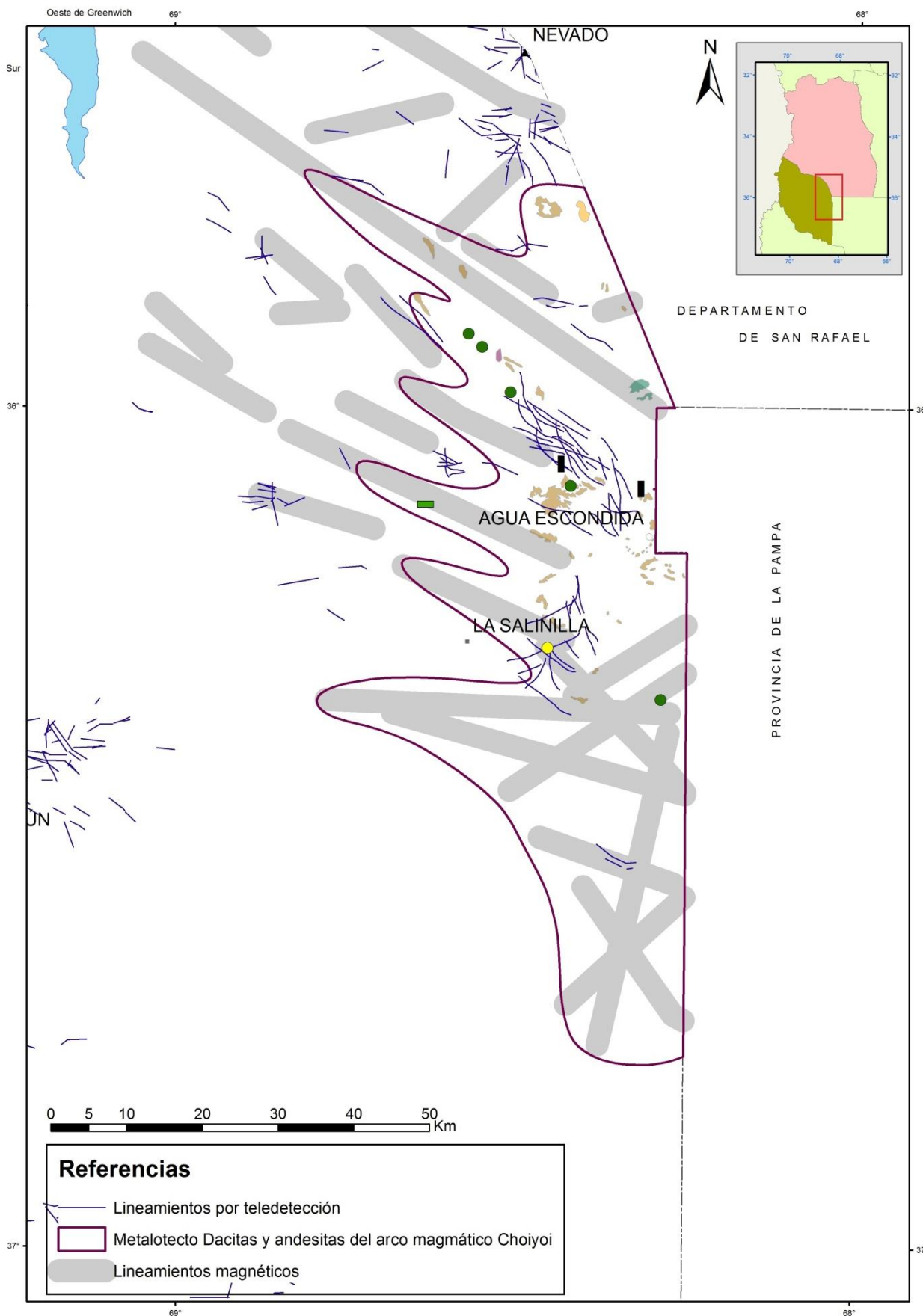


Figura 26. Metalotectos Dacitas y andesitas del arco magmático pérmico y fallas conjugadas gondwánicas.

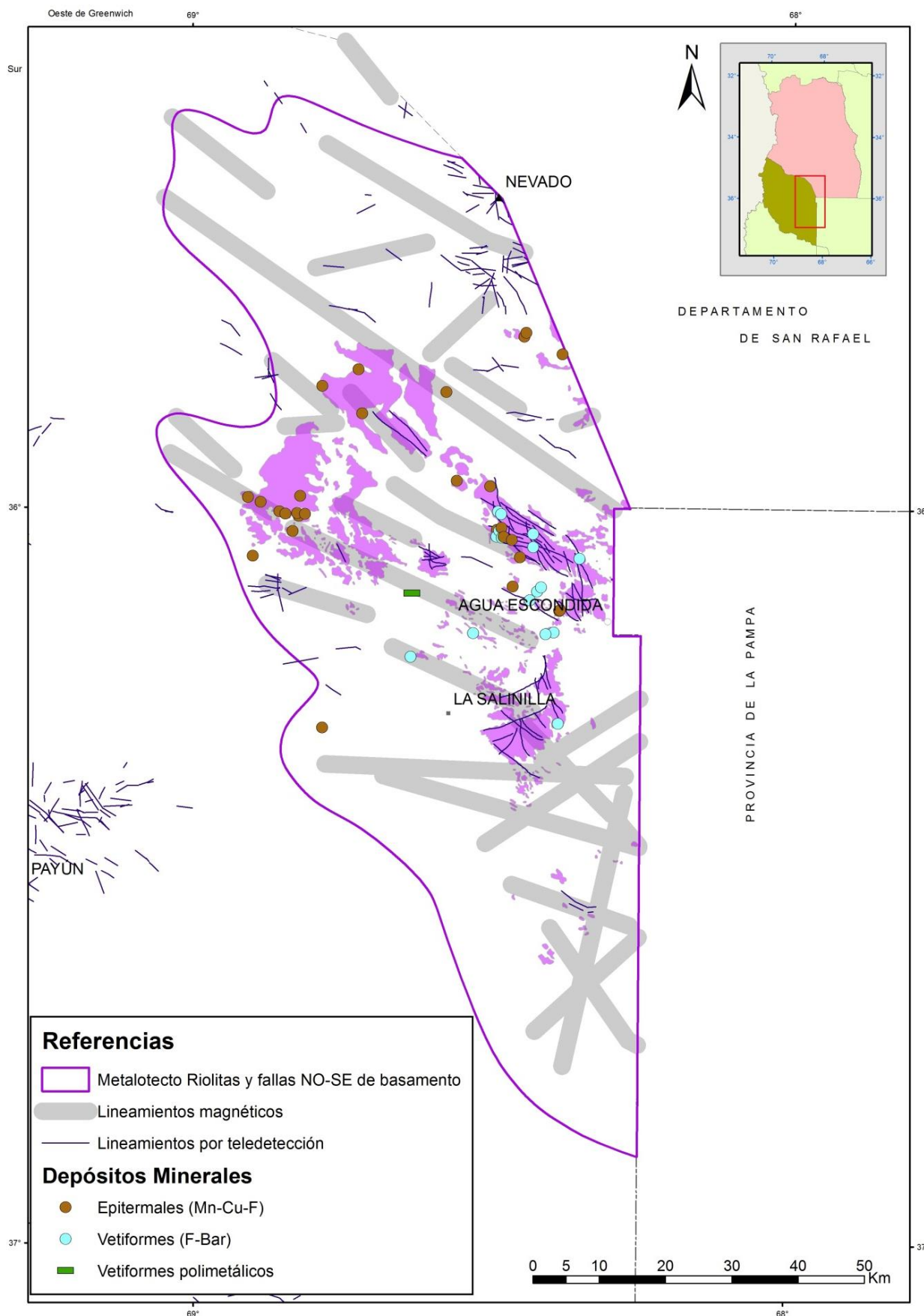


Figura 27. Metalotectos Riolitas post-orogénicas del Choiyoi y Fracturación de basamento oriental NO.

5. FAJAS METALOGENÉTICAS

Se entiende por fajas metalogenéticas a aquellas unidades geológicas que contienen o son favorables para contener, un grupo de modelos de depósitos coetáneos y genéticamente relacionados (Nokleberg et al., 1998). Las unidades así definidas incluyen áreas mineralizadas con uno o más metales asociados, y relacionados en el tiempo y en su petro-tectónica, implicando la extensión a posibles áreas de acumulación, con o sin mineralizaciones conocidas.

En el departamento Malargüe se han reconocido cinco fajas metalogenéticas, las cuales recorren su superficie en dirección norte sur, y representan el potencial metalogenético de esta porción de la provincia de Mendoza (Figura 29).

5.1 Arco Magmático Pérmico (POS-AM-P)

Esta faja se compone de un complejo ígneo, perteneciente al arco magmático Pérmico del ciclo orogénico Choiyoi; forma parte de la Cordillera Frontal en las provincias de San Juan y Mendoza, así como también del Bloque de San Rafael.

En este complejo ígneo, las rocas del Grupo Cochicó se consideran como el metalotecto principal, que aloja mineralizaciones tipo pórfiro de cobre (4b) y epitermales polimetálicos (7e).

Se infiere un nivel estructural alto a superficial, lo cual es beneficioso para el desarrollo de sistemas epitermales y pórfiros. Los depósitos conocidos regionalmente son de tipo vetiformes polimetálicos de plomo, plata, cobre y zinc (San Pedro, San Jorge, Grupo La Salvadora y Mina Potosí); En el sector norte, en el departamento San Rafael, se encuentran depósitos diseminados tipo pórfiro Cu-Mo, como Cerro San Pedro, Anchoris, Arroyo La Chilca-Zanjón El Buitre y Cerro Tres Hermanos.

5.2 Magmatismo poscolisional Permo-Triásico (POS-PC-PT)

Las evidencias de este evento se distribuyen saltuariamente, a lo largo de toda la Cordillera de los Andes, donde se generaron sectores de debilidad cortical al momento de la ruptura de Gondwana. En la provincia de Mendoza se define una faja comprendida desde el Bloque de San Rafael, hasta sectores de Cordillera Frontal y Precordillera.

Esta faja es de edad permotriásica, y está compuesta de un magmatismo de intraplaca de composición ácida. Los metalotectos principales son las riolitas de la Formación El Portillo, y el fuerte control estructural de fallas de rumbo NNO. Son claros los lineamientos geofísicos (Figura 28) que controlan el emplazamiento de vetas, que indican los canales preferenciales por donde circularon fluidos hidrotermales.

Esta faja contiene vetas de fluorita 14h (La Morocha, Buena Esperanza, La Susana, etc.), vetas polimetálicas 7e (Don Sergio, Borbarán, Las Minas), vetas epitermales de manganeso 7a (Ethel), el depósito epitermal de baja sulfuración Don Sixto (ex La Cabeza) y vetas de W-Mo asociadas a granitoides 6a.

5.3 Arco Magmático Jurásico (POS-AM-J)

Esta faja se distribuye principalmente en Chile, y corresponde al arco magmático más antiguo de la orogenia andina; posee más de 1.000 km de extensión a lo largo del margen izquierdo de la Cordillera de los Andes. En el lado argentino se encuentra en la Cordillera Principal.

El arco jurásico se compone de intrusivos graníticos y extrusiones basálticas-andesíticas, interdigitados hacia los bordes con depósitos sedimentarios de ante, intra y retroarco. El metalotecto principal es la Formación Río de las Damas y su interdigitación con la Formación Tordillo.

La anomalía geoquímica de cobre, en el área que afloran estas rocas, es correlacionable con los depósitos de cobre en manto (11a), desarrollados sobre esta faja en el sector argentino (Villagra, Elisa, etc.). A su vez esta faja tiene potencial para sistemas tipo IOCG (Gozalvez, et al., 2018).

5.4 Cuenca de retroarco Cretácico-Paleógeno (POS-CR-KTP)

Esta faja presenta una importante extensión areal y atraviesa al departamento Malargüe en su parte central continuando hacia el sur en la provincia de Neuquén. Está formada por los depósitos sedimentarios clásticos cretácico-paleógenos de la cuenca de retroarco (Cuenca Neuquina) formada al este de la faja plegada y corrida de Malargüe.

Las areniscas de la Formación Diamante alojan depósitos de cobre (9a) y uranio-cobrevanadio (9b) producto de removilización y precipitación en los niveles óxido-reducción, especialmente vinculados a niveles con hidrocarburos y las estructuras de borde de cuencas. En el departamento Malargüe se encuentran los depósitos San Romeleo, El Burrero y Guanaco, entre otros.

5.5 Arco Magmático Mioceno-Plioceno (POS-AM-TN)

Esta faja está definida por los intrusivos subvolcánicos mesosilícicos del arco magmático neógeno, emplazados a lo largo de la Cordillera Principal. En el centro-norte de la Cordillera Principal de Malargüe, y regiones aledañas de Chile, durante el Mioceno y Plioceno se desarrolló un pulso magmático asociado a la formación de sistemas de pórfiro de cobre-oro (4a), skarns de hierro (5d), skarns de cobre (5b) y vetas polimetálicas ricas en plomo (7e). El emplazamiento de los intrusivos presenta fuerte control estructural, cresta de anticlinales y corrimientos, además de incluir numerosos depósitos y manifestaciones metalíferas, anomalías geoquímicas de Cu-Pb-Zn, Au y áreas con alteraciones hidrotermales. Los principales depósitos de la faja son los pórfiros Cerro Amarillo y Las Choicas y el skarn Hierro Indio.

Regionalmente esta faja es la continuación sur de la Faja Mioceno-Plioceno inferior definida por Sillitoe y Perelló (2005) y que constituye una de las mayores fajas cupríferas del mundo alojando depósitos porfíricos como El Teniente, Río Blanco-Los Bronces y Pachón, entre otros.

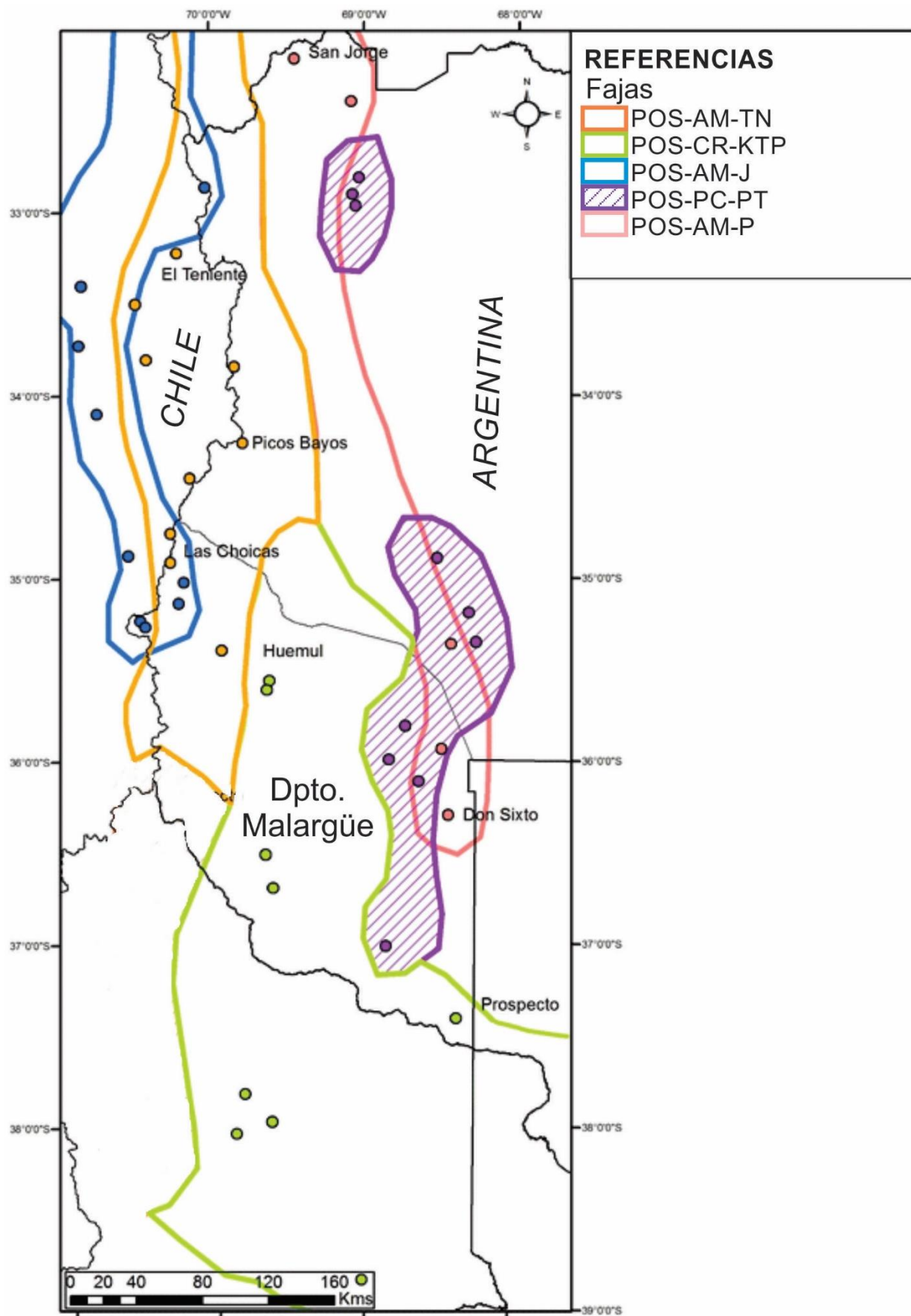


Figura 29. Fajas metalogenéticas.

6. RESULTADOS

6.1. Análisis del estado de los proyectos

La contabilización de proyectos mineros en actividad dentro del departamento es escasa. Históricamente, la actividad minera fue profusa en diferentes épocas, obedeciendo a la demanda temporal de diferentes minerales. Estas minas abandonadas se encuentran divididas en nueve Distritos Mineros, de los cuales la mayor actividad se concentró en los distritos Laguna Blanca, Malargüe Norte y El Nevado.

Del total de **241 depósitos** relevados, en la actualidad no existe ningún proyecto minero en producción; tan solo un proyecto se encuentra en etapa de prefactibilidad, el depósito de oro de baja sulfuración **Don Sixto**; 19 proyectos en exploración temprana, entre los que se destaca el depósito de skarn **Hierro Indio** y 89 en estado de prospección, como los pórfiros de cobre con Oro y Molibdeno de **Cerro Amarillo, Universidad, Las Lágrimas, etc.** Sin embargo, todos los proyectos se encuentran actualmente en “**stand by**” por disposición legal del gobierno de la provincia. Si bien la información sobre leyes y reservas es muy escasa, hay mediciones de leyes antiguas que pueden resaltar el potencial del área a desarrollar.

Cabe destacar que de los **241 depósitos** exhibidos en la base de datos (Figura 30), **135 se encuentran cubiertos por concesiones mineras** (42 cateos, 36 minas vigentes, 24 manifestaciones vacantes, 19 manifestaciones vigentes, 12 minas vacantes, 2 minas vacantes solicitadas); mientras que **106 se encuentran libre de concesiones mineras**. Asimismo, **ocho de estos depósitos se localizan en Áreas Naturales Protegidas**.

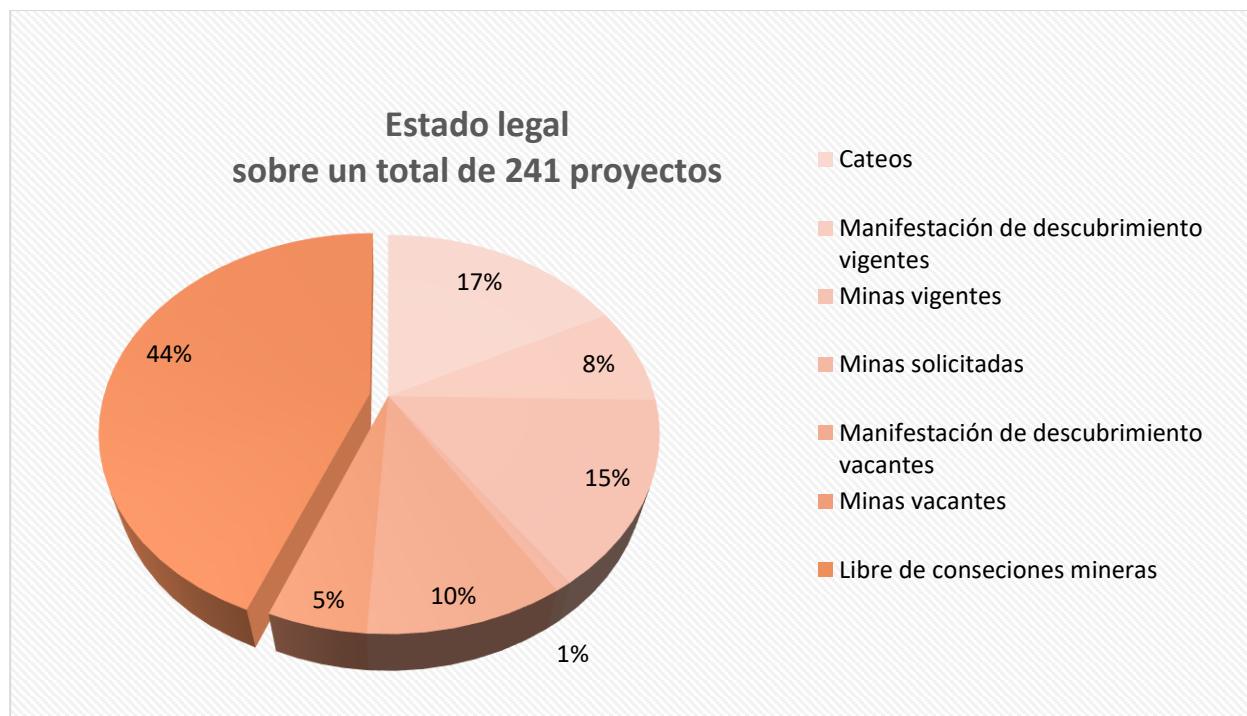


Figura 30. Estado legal de los depósitos minerales.

6.2. Áreas de interés minero (blancos de exploración)

Uno de los objetivos de este trabajo es detectar nuevas áreas con potencial minero. Para esto se deben analizar y reinterpretar litologías favorables, ambiente tectónico, modelos de mineralización, sumado a nuevos datos geoquímicos, geofísicos y de teledetección. El método se denomina Evaluación multivariable, en donde se identifican sectores de coincidencia espacial entre dos o más variables previamente mencionadas, que varían entre sí, por intensidad o extensión areal. Estas áreas se denominan “Áreas potenciales” o blancos de exploración, dignas de trabajos de detalles que no se encuentran realizados a la fecha (Marquetti et al. 2019).

6.2.1. Evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica

Los criterios más importantes a investigar en una evaluación multicriterio son:

- Definir los factores genéticos críticos, el reconocimiento y los parámetros intrínsecos para la creación de un modelo conceptual genético para mineralizaciones diversas.

- Mapear los diferentes tipos de alteraciones usando imágenes satelitales.

- Mapear la diversidad de estructuras presentes en la región mediante imágenes radar.

- Procesar e interpretar los datos multielementos de las cartas geoquímicas, para correlacionar anomalías de elementos con ciertos tipos de mineralizaciones.

- Analizar e interpretar los datos geofísicos, para detectar regiones anómalas relacionadas a mineralización de pórfiros y epitermales.

- Definir un método de cuantificación especial entre los depósitos conocidos y las capas diagnósticas de mineralización, para que de esta manera se proceda con un razonamiento geológico inductivo, a un mapeo predictivo para la prospección de nuevos depósitos minerales.

- Establecer metalotectos que, representados en un mapa, ayuden a delinear un área favorable para cada modelo de depósito.

6.2.2. Análisis geoespacial de potencial minero

Se utilizó una plataforma SIG para la realización de los análisis de potencial minero, dado que de esta manera se facilitan los procedimientos de integración geográfica, de datos y de tipo numérico.

En este caso en particular se trabajó con datos vectoriales tanto de cartografía geológica digital, geoquímica, geofísica, las correspondientes tablas de atributos e imágenes en formato raster de sensores tales como el Landsat y ASTER, organizadas en capas de información geoespacial.

Las capas de geoespaciales utilizadas el área cordillerana del departamento de Malargüe fueron: anomalías geoquímicas, alteraciones detectadas con el sensor ASTER (silicea, filica, argílica), intersección de lineamientos estructurales, geología con las unidades tectonoestratigráficas definidas. Para el caso del área del Nihuil fueron: anomalías geoquímicas, alteraciones ASTER, intersección de anomalías geoquímicas, lineamientos y cuerpos detectados con geofísica de magnetismo aéreo, mapa geológico.

La metodología de análisis el potencial minero se basó primero en la creación de un mapa numérico de favorabilidad que permitió definir áreas de potencial, y en segundo lugar se realizó un chequeo inverso en base a las áreas ya definidas y la influencia de yacimientos u operaciones conocidas para obtener una valoración de importancia de las mismas.

El mapa numérico de favorabilidad se basó en las técnicas desarrolladas por Bonham-Carter et al. (1988), específicamente se aplicó el método de "Index Overlay" método que cae en el grupo de análisis orientado a conocimiento experto, y que se basa principalmente a la aplicación de la suma ponderada de las capas de evidencia.

El análisis realizó sobre la base de convertir las capas tratadas a formato raster binario (cero y uno) con una celda de resolución 30 m. La operación "suma ponderada" se realizó celda a celda utilizando la técnica de mapa de álgebras. Al producto así obtenido se le aplicó una máscara consistente en el grupo de unidades pertenecientes a los metalotectos litológicos:

- *Dacitas y andesitas de arco magmático pérmico-triásico*
- *Complejo volcánico jurásico*
- *Cuerpos subvolcánicos del arco neógeno*
- *Areniscas continentales cretácico-paleógenas.*

Debe hacerse notar que no se incluyeron las *Rocas carbonáticas jurásico-cretácicas* dado al error inducido por la confusión de las firmas espectrales observadas en esta unidad, y que no permitió discriminar correctamente las alteraciones.

Para el caso específico del área correspondiente al Bloque de San Rafael se aplicó además un análisis de estadísticas focales que consistió en la obtención de la suma de los valores numéricos del área de potencial en un radio de 90 metros. Esta operación permitió aglutinar y evaluar la influencia de los valores de celdas vecinas.

Los mapas numéricos obtenidos por la aplicación del método de "Index Overlay" fueron luego reclasificados en una escala de intervalos constantes y simbolizados en una escala de colores graduales del azul al rojo, lo que permitió detectar las áreas donde se constataron las mayores coincidencias entre mapas de evidencia.

Las áreas así observadas fueron digitalizadas en la forma de polígonos y ponderadas en función de las evidencias sumándole a ello la presencia de yacimientos cercanos. En función de los valores obtenidos se definieron como áreas de potencial bajo a las áreas con valores menores e iguales a dos, medio igual a tres, y alto con valores mayores e iguales a cuatro.

Como resultado se obtuvieron áreas de potencial minero las cuales están en relación a la escala regional de datos tratada. Es por eso que no debe extrañar que en algunos casos no se observe una relación directa entre la litología y las áreas definidas dado que puede ser que los cuerpos no estén representados por una cuestión de escala.

De este modo, se definieron blancos de exploración con alta, media y baja potencialidad de hallazgo de mineralización (Figura 31). Los parámetros que definen esta valoración se describen a continuación:

POTENCIALIDAD ALTA: sectores que presentan patrones bien desarrollados en todos o la mayoría de los metalotectos aplicados, y que se extienden en superficies mayores a 2 Km².

POTENCIALIDAD MEDIA: sectores que presentan patrones bien desarrollados en la mayoría de los metalotectos aplicados y que se extienden en superficies cercanas a 1 Km².

POTENCIALIDAD BAJA: sectores que presentan patrones poco desarrollados de algunos, o la mayoría de los metalotectos.

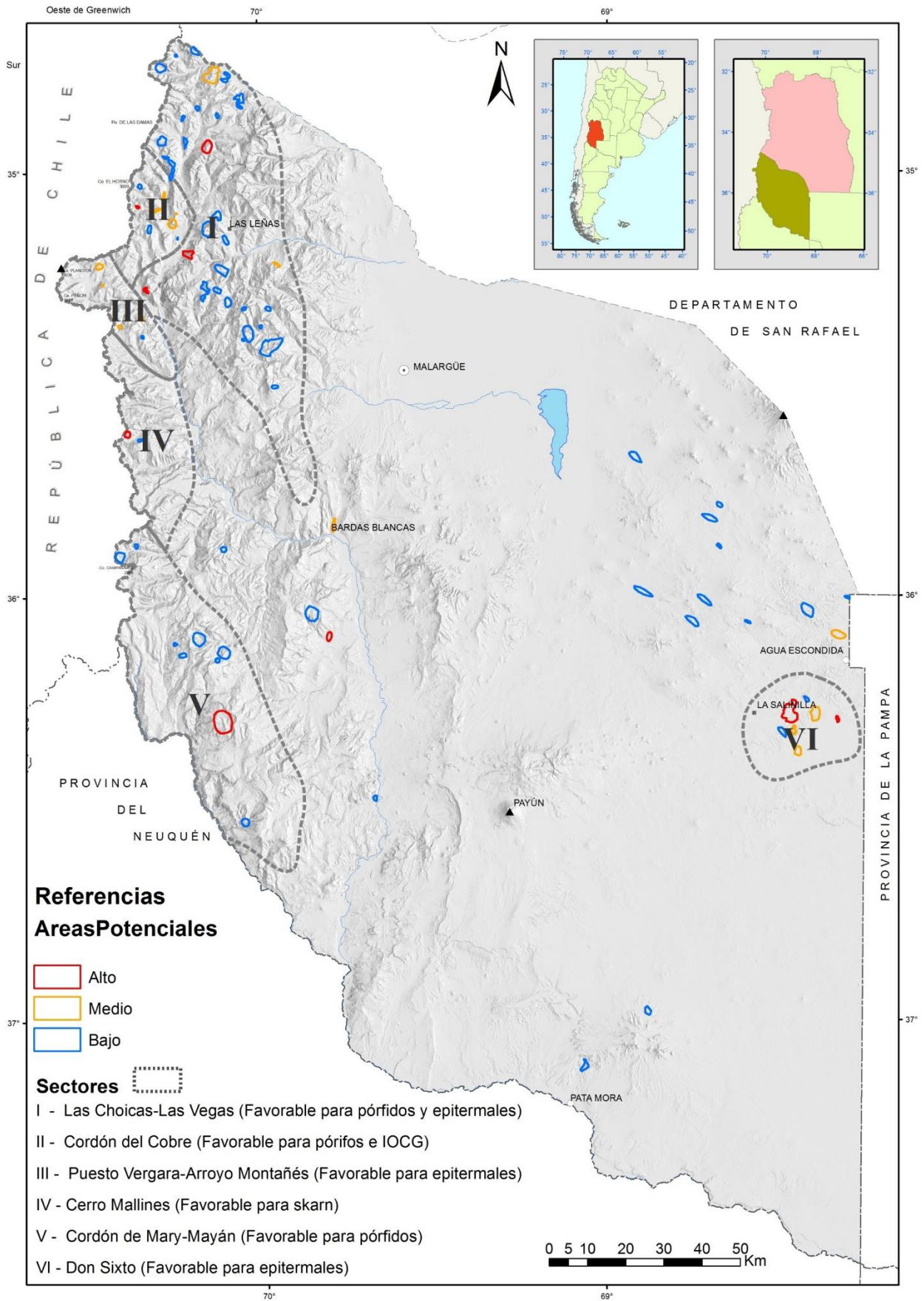


Figura 31. Áreas de interés minero-blancos de exploración en Malargüe.

6.2.3. Resultados

El resultado del análisis arrojó un total de 82 áreas con potencial minero, que abarcan un área de 264 km². Particularmente, pertenecen a potenciales mineralizaciones asociadas a procesos hidrotermales, (pórfiros, epitermales, IOCG, y skarn). La determinación de áreas potenciales para depósitos sedimentarios resulta compleja, por lo que es recomendable realizar más estudios al respecto.

Las áreas se dividieron siguiendo un criterio conservador, ya que para Cordillera Principal no se cuenta con información geofísica de detalle, la cual es de vital importancia para delimitar cuerpos mineralizados. De este modo, se identificaron 9 áreas con un potencial alto, en las que coinciden varios criterios evaluados; 15 áreas de potencial medio, en los cuales la coincidencia de algunos factores es relativamente buena, pero la extensión areal es pequeña, o no hay información suficiente acerca del lugar; por último, se consideraron 58 áreas de potencial bajo, donde hay pocos metalotectos que coincidan, la geología no es favorable, o su extensión areal es muy pequeña. Estos resultados fueron volcados en una tabla (Anexo I), e ilustrados junto a las pertenencias mineras y Áreas Naturales Protegidas (Figura 32).

La discriminación de superficie por cada tipo de potencial es la siguiente: 53 km² para potencial alto, 41 km² para potencial medio y 169 km² para potencial bajo.

Siguiendo con las descripciones previas, se menciona que la mayoría de las áreas potenciales pertenecen a la faja de arco magmático neógena, particularmente en el sector norte y occidental del departamento (sector Las Choicas-Las Vegas). Se constata una continuación lineal con las mineralizaciones existentes en el departamento San Rafael y sobre todo en Chile, donde hay descripciones de pórfiros de Cu-Mo-Au, epitermales Cu-Pb-Ag y skarn de Cu, un ejemplo son las mineralizaciones del proyecto Metalitos (Bulatovich, 2014).

Hacia el oeste del área del Cordón del Cobre, se delimitaron áreas potenciales para mineralizaciones de cobre, que coinciden con anomalías geoquímicas y patrones de alteración hidrotermal calco-sódica, por la cual es favorable para depósitos tipo IOCG (Gozalvez, 2018); esta área se vincula al arco magmático Jurásico.

Para el sector de Puesto Vergara-Arroyo Montañés se observa una alineación de áreas en dirección noroeste-sureste, que continúa hacia Chile con depósitos de Cu-Ag allí conocidos (Proyectos Josefina, Río Vergara, Vicuña, Cerrillos, etc). En consecuencia, se supone que el arco magmático neógeno habría sido el generador de depósitos epitermales.

En el sur de la Cordillera Principal, es muy llamativa la alineación de dos sectores. Hacia el oeste de Cerro Mallines existen áreas potenciales coincidentes con una extensa anomalía de cobre, alteraciones hidrotermales detectadas por imágenes satelitales y descripciones de depósitos tipo skarn de Fe. El segundo sector se encuentra en el Cordón de Mary-Mayan, cuyas áreas potenciales se encuentran alineadas con dirección nornoroeste-sursureste, donde no existe descripción alguna acerca de mineralizaciones del lado argentino; en el sector chileno hay descripciones de manifestaciones de Cu-Au (Exploración Alondra) y skarn de Fe (Fortuna). En este sector predominan las rocas de la faja magmática neógena, aunque recientemente se reportaron rocas ígneas del Paleógeno, que en la provincia de Neuquén forman depósitos epitermales y pórfiros. De este modo no se le puede atribuir faja genética alguna.

Para el sector de basamento se destacan áreas en el sector del yacimiento Don Sixto, con mayor interés, en tanto el resto de áreas potenciales se vincularían a los depósitos epitermales y polimetálicos simples formados durante el evento del Choiyoi y el rifting Gondwánico. Hay que destacar que es probable la formación de depósitos minerales del arco magmático neógeno, en fase de subducción plana, como los existentes en San Rafael.

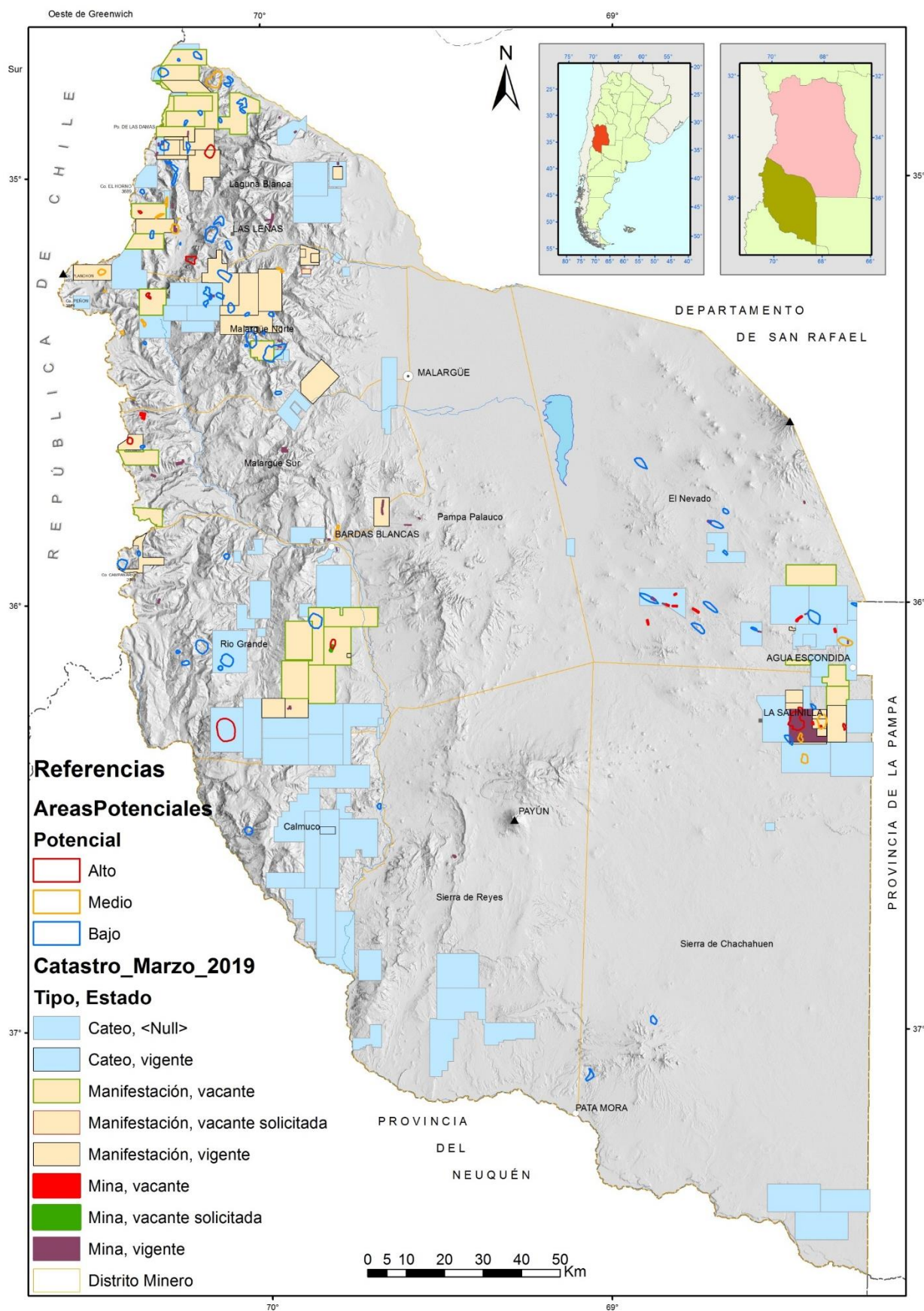


Figura 32. Áreas potenciales de interés minero y catastro.

7. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se provee de información actualizada, sólida e integrada de los proyectos mineros en desarrollo y bases de datos de áreas con potencial minero a desarrollar en el departamento de Malargüe, provincia de Mendoza, donde se destaca la gran densidad de depósitos minerales y diversidad de mineralizaciones.

El trabajo permitió compilar y caracterizar a partir de la información geológica- minera disponible, unos 241 depósitos minerales, los que se presentan con un bajo grado de desarrollo minero, debido principalmente a falta de inversiones en exploración minera, en las últimas décadas.

La diversidad de metales y modelos metalogenéticos presentes en Malargüe, representan un gran atractivo para la industria minera, principalmente aquellos relacionados con pórfiros de Cobre con Oro y/o Molibdeno, Cobre en manto, skarn con Cobre y skarn con Hierro, depósitos sedimentarios del tipo Cobre, Uranio y Vanadio en areniscas, depósitos epitermales con Fluorita, epitermales con Manganeso, polimetálicos simples y complejos, y epitermal de Oro de baja sulfuración.

Aquellas unidades geológicas favorables para contener un grupo de modelos de depósitos coetáneos y genéticamente relacionados en el tiempo, han permitido definir cinco fajas metalogenéticas con un alto interés exploratorio, capaces de contener depósitos de “**clase mundial**”, que exceden en dimensión al departamento de Malargüe, algunas de ellas compartidas con el país vecino de Chile.

Sin lugar a dudas el de mayor relevancia corresponde al prolífico Arco Magmático Mioceno-Plioceno que contiene a los depósitos de **El Teniente y Los Bronces**, del lado chileno, y a los depósitos de pórfiros de cobre del lado argentino, tales como **Cerro Amarillo, Las Choicas, Papagayos, Universidad**, así como los Skarn de **Hierro Indio y Metalitos**, todos ellos con excelentes perspectivas de desarrollo futuro.

La segunda faja metalogenética de relevancia corresponde al Arco Magmático de edad Jurásica, capaz de albergar depósitos de Cobre en manto y depósito IOCG, como el proyecto **Elisa y Villagra**.

También con buenas perspectivas de desarrollo se presentan un Arco Magmático de edad Pérmico y un magmatismo de Intraplaca Pérmico-Triásico, los que se extienden hacia el norte, en la provincia vecina de San Juan, con el desarrollo de depósitos de pórfiros, epitermales y polimetálicos. El exponente que presenta mayor inversión en trabajos de exploración en Malargüe, se trata del depósito epitermal de oro **Don Sixto**, así como los polimetálicos menos explorados al presente de **San Pedro, San Jorge, Grupo La Salvadora y Mina Potosí**. También se presentan con buenas perspectivas de desarrollo los depósitos tipo pórfiro Cu-Mo, **Cerro San Pedro, Anchoris, Arroyo La Chilca-Zanjón El Buitre y Cerro Tres Hermanos**.

Asimismo, se destacan numerosas manifestaciones y depósitos sedimentarios de Cobre, Uranio y Vanadio relacionados a la cuenca Neuquina de edad Cretácico-Terciaria, las que pueden a futuro presentar excelentes perspectivas de desarrollo si se las contempla en un programa integral y conjunto de exploración.

Por otro lado, a partir del análisis e interpretación de datos vectoriales tanto de cartografía geológica digital, geoquímica, geofísica, e imágenes satelitales Landsat y ASTER, se logró definir e identificar **82 nuevas áreas con altas probabilidades de mineralización metalífera**, que ocupan una superficie de **264 km²**. Si bien las mismas han sido categorizadas en función de la cantidad de atributos que se presentan espacialmente relacionados (alto, medio y bajo potencial), todas ellas revisten un relevante atractivo en los futuros trabajos de exploración minera, ya que en todos los casos se manifiestan sobre estructuras y rocas huéspedes altamente favorables para constituir depósitos metalíferos.

De esta manera, se comprueba que el análisis integrado de la información es una metodología válida para identificar recursos minerales. Es importante destacar que se hallaron

sectores dentro del departamento Malargüe, con metalotectos claramente relacionados con depósitos comprobados en territorios vecinos. Ejemplos de lo anterior se observaron entre los depósitos minerales tipo pórfiros y epitermales de Chile y el sector de Laguna Blanca, los yacimientos sedimentarios de cobre-vanadio y su continuidad en la provincia de Neuquén, los yacimientos epitermales, depósitos polimetálicos simples y su extensión en el departamento de San Rafael (área de El Infiernillo), entre otros.

Las razones expuestas permiten afirmar que el potencial minero de Malargüe resulta altamente promisorio. De esta manera se alcanza el objetivo de aportar una herramienta elemental para el departamento y la provincia. La sistematización de la información servirá para la toma de decisiones de manera organizada en futuras investigaciones e inversiones en materia de minería, tanto de origen público como privado.

8. RECOMENDACIONES

Se propone la realización de diversos estudios para profundizar el conocimiento geológico y minero del departamento Malargüe, tanto sobre las áreas potenciales identificadas en este trabajo, como para hallar otras nuevas.

Estudios Regionales:

Aeromagnetometría y aeroradimetría: los datos geofísicos permitirían una mayor precisión en la definición de las anomalías ya identificadas, y en la detección de nuevas zonas de interés. Además, aportarían información valiosa sobre la estructura de la cordillera de los Andes.

Geoquímica multielementos de la Hoja Volcán Maipo: El análisis geoquímico multielemento de los sedimentos de corriente, ayudaría a la individualización de distintos modelos de mineralizaciones, y discriminaría con mayor resolución los factores litológicos del área andina.

Nuevo mapa estructural: Un mapa de mayor detalle, ayudaría a mejorar la comprensión de la distribución y los niveles estructurales de litologías en la cordillera. Aportaría valiosa información para identificar las zonas favorables, donde podrían encontrarse distintos tipos de depósitos, en función de sus trampas estructurales preferenciales.

Mapa geomorfológico: Los aspectos geomorfológicos, ayudarían a comprender la evolución de los depósitos minerales, una vez expuestos en la superficie, en respuesta a los agentes exógenos.

Caracterización detallada de las fajas metalogenéticas: Se propone crear mapas de detalle de las litologías involucradas, establecer patrones geoquímicos específicos para cada modelo de depósito, y analizar esquemas estructurales que hayan afectado las mineralizaciones.

Estudios locales:

Caracterización espectral de cada área potencial: Para conocer con mayor precisión la mineralogía y los patrones de alteraciones hidrotermales.

Áreas potenciales: Realizar estudios específicos de cada área o sector de anomalías similares, priorizando aquellas de alto potencial y escasamente conocidas, como las anomalías del Cordón de Mary-Mayán.

Muestreos: Con el objetivo de chequear y comprobar el trabajo realizado en gabinete y a la vez, aportar nueva información que ayude a mejorar la metodología de trabajo de las zonas favorables.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo de la Delegación Mendoza agradece la colaboración de los colegas de los departamentos de Geofísica, Sensores Remotos y Geoquímica, del IGRM-SEGEMAR de Buenos Aires.

A la Dirección de Minería de la provincia de Mendoza, en especial al Departamento de Promoción Minera, por la valiosa información sobre el catastro y padrón minero actualizados.

A la Comisión Nacional de Energía Atómica por su contribución de datos radimétricos de Mina Huemul y sectores aledaños, que permitieron ampliar el conocimiento sobre la geología de los depósitos de uranio.

Al geólogo Mario Chabert, por el aporte de información de proyectos mineros de su pertenencia, que ayudaron significativamente a la comprensión de los depósitos minerales de la zona de estudio.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ADEYINKA O. y ASHANO E., 2013. Geological Lineaments and Pattern Analysis in Mineral Exploration: A Case Study of the Riruwai Complex. Sciknow Publications Ltd. Earth Resources, 110-118.
- 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.
- 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
- BULATOVICH S. 2014. Caracterización mineralógica, paragénesis y consideraciones Metalogénicas de los prospectos Metalitos y Escalones, Región VI, Chile. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 141 p. Córdoba (inédito).
- CASADÍO S.A. y MONTAGNA A., 2015. Estratigrafía de la cuenca Neuquina. 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: 11-23.
- CECENARRO J. F. y CARIGNANO C., 2014. Mapeo de alteraciones hidrotermales a partir de datos ASTER y Landsat 8 en las Sierras de Famatina y el Paimán, La Rioja, Argentina. XIX Congreso Geológico Argentino, Actas. Córdoba.
- CECENARRO J. F., 2014. Procesamiento e interpretación de datos de sensores remotos para mapeo de alteraciones hidrotermales en el yacimiento Nevados de Famatina, provincia de La Rioja, Argentina. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC. Córdoba (inédito).
- 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 pp. 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., 2015. Carta Minero-Metalogénica 3769-I, Barrancas. Provincias de Mendoza y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 406: 47pp. Buenos Aires.
- CROSTA S. y PALACIO M. de B., 2015. Carta Minero-Metalogénica 3569-III, Malargüe. Provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 407: 89 pp. Buenos Aires.
- DÉCIMA M.F., TUREL A. y MOSER L., 2010. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de sitios de muestreo de sedimentos de corriente del Plan Cordillerano. Hoja 3569 III Malargüe. Provincia de Mendoza. IGRM, SEGEMAR, Contribución Técnica 107/D.
- DESSANTI R.N., 1978. Descripción geológica de la Hoja 28b Malargüe (Provincia de Mendoza). Servicio Geológico Nacional, Boletín 149: 1-50. Buenos Aires.
- DINESH A. C., MARKOSE V. J. y JAYAPPA K. S. 2013. Linf - a visual basic program for lineament density, frequency and intersection density analysis. Earth Science Informatics 7(3). doi: 10.1007/s12145-013-0134-2.
- EGUABURO C., GANEM F., RODRÍGUEZ D., ÁLVAREZ D., AZCURRA D., MOSER L., BENÍTEZ J., CHÁVEZ S., MARQUINA E. y DÍAZ I., 2017. Evaluación del Potencial Minero del Departamento Calingasta, provincia de San Juan. Metalogénesis y Modelos de mineralización en Oro, Plata, Cobre, Molibdeno y Metales Base (Plomo, Zinc). Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- EKNELIGODA T. C. y HENKEL H. 2010. Interactive spatial analysis of lineaments. Computers & Geosciences 36: 1081-1090.
- FARR T., CARO E., CRIPPEN R., DUREN R., HENSLEY S., KOBRICK M., PALLER M., RODRIGUEZ E., ROSEN P., ROTH L., SEAL D., SHAFFER S., SHIMADA J., UMLAND J. y WERNER M., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys. 45. doi:10.1029/2005RG000183.
- 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. y CASÉ A., 2011. Metalogénesis. En: H. Leanza et al. (Eds.). Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino: 699-707. Neuquén.
- GIAMBIAGI L., MESCUA J., BECHIS F., TASSARA A. y HOKE G., 2012. Thrust belts of the southern Central Andes: Along-strike 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., IMPICCINI 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 Huinul, Neuquén. XVII Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 769-770. San Salvador de Jujuy.
- GONZÁLEZ DÍAZ E.F., 1972. Descripción geológica de la Hoja 30d Payún Matrú, Provincia de Mendoza. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 130: 1-88. Buenos Aires.
- GOZALVEZ M., SRUOGA P., MARQUETTI C., JARA A., GODEAS M. y ROSAS M., 2018. A new hydrothermal alteration area associated to Neogene magmatism in Valle Hermoso District, Central Andes (35° S). 15th Quadrennial IAGOD International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium, Actas A/46: 97-98. Salta.
- IWASAKI A. y TONOOKA H., 2005. Validation of a crosstalk correction algorithm for ASTER/SWIR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 43 (12): 2747-2751.
- JOLY A., PORWAL A., McCUAIG T. C., CHUDASAMA B., DENTITH M. C. y AITKEN A. R. 2015. Mineral systems approach applied to GIS-based 2D-prospectivity modelling of geological regions: Insights from Western Australia. *Ore Geology Reviews* 71: 673-702.
- LAFFITE P., PERMINGEANT F., y ROUTHIER P., 1965. Cartographie metalogénique, metallotecte et géochimie régionale. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie* 88: 3-6.

- 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., 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.
- MADANI A., 2009. Utilization of Landsat ETM+ Data for Mapping Gossans and Iron Rich Zones Exposed at Bahrah Area, Western Arabian Shield, Saudi Arabia. *JKAU: Earth Sciences*, 20 (1): 35-49.
- 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.
- MARQUETTI C., LARCHER N., GOZALVEZ M., GANEM F., AZCURRA D., ASATO G., FERPOZZI L., ÁLVAREZ D., MOSER L. y HERRMANN C., 2019 Evaluación del potencial minero de la Hoja Mina Pirquitas, Modelos de Mineralización de Metales Preciosos (Au-Ag), Metales Base (Cu-Pb-Zn-Sn) y Litio. Provincial de Jujuy. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- MARS J.C., 2013. Hydrothermal alteration maps of the central and southern Basin and Range province of the United States compiled from Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data ver 1.1, April 8, 2014. U.S. Geological Survey Open-File Report 1139, 6 p., 13 plates, scale 1:1,300,000. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20131139>.
- MARS J.C. y ROWAN L.C., 2006, Regional mapping of phyllic-and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms: *Geosphere* 2: 161–186, 2 plates. doi:10.1130/GES00044.1.
- MATTHEW M.W., ADLER-GOLDEN S., BERK A., RICHTSMEIER S., LEVINE R., BERNSTEIN L., ACHARYA P., ANDERSON G., FELDE G., HOKE M., RATKOWSKI A., BURKE H., KAISER R y MILLER D., 2000. Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm. *SPIE Proceedings, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VI*, Vol. 4049, pp. 199-207.
- McCUAIG T. C. y HRONSKY J. M., 2014. The Mineral System Concept: The Key to Exploration Targeting, Society of Economic Geologists, Inc. *Spec. Publ.* 18 (8): 153–175.
- McCUAIG T.C., SCARSELLI S., O'CONNOR T., BUSUTTIL S. y McCORMACK N., 2018. The Power of a System Approach to Mineral and Petroleum Exploration in Sedimentary Basins. Society of Economic Geologists, Inc. *SEG Special Publications* 21: 39–62.
- 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.
- MIA B., y FUJIMITSU Y., 2012. Mapping hydrothermal altered mineral deposits using Landsat 7 ETM+ image in and around Kuju volcano, Kyushu, Japan. *Indian Academy of Sciences. Journal of Earth System Sciences* 121 (4): 1049–1057.
- 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.
- NAIPAUER M. y RAMOS V.A., 2016. Changes in Source Areas at Neuquén Basin: Mesozoic Evolution and Tectonic Setting Based on U-Pb Ages in Zircons. En: A. Folguera *et al.* (eds.) *Growth of the Southern Andes*, Springer Earth System Sciences. pp: 33-62.
- NAIPAUER M., GARCÍA MORABITO E., MANASSERO M., VALENCIA V.V., RAMOS V.A., 2018. A Provenance Analysis from de Lower Jurassic Units of the Neuquén Basin. Volcanic Arc or Intraplate Magmatic Input?. En: Folguera *et al.* (eds.) *The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes*. Springer Earth System Sciences. pp: 191-222.
- NARCISO V., 2005. Hoja 3769 I Barrancas, provincias de Mendoza y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 253: 49 pp., Buenos Aires.
- NARCISO V., ZANETTINI J. y Santamaría G., 2007. Hoja 3769 II Agua Escondida, provincias de Mendoza y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 300: 54 pp., Buenos Aires.
- NOKLEBERG W.J. et al., 1998. Summary terrane, mineral deposit, and metallogenic belt maps of the Russian Far East, Alaska, and the Canadian Cordillera. *US Geological Survey Open File Report* 98-136.
- NULLO F., STEPHENS G., COMBINA A., DIMIERI L., BALDAUF P. y BOUZA P., 2005. Hoja Geológica 3569 III/3572 IV Malargüe, Provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 346: 85 pp., Buenos Aires.

- POLANSKI J., 1964. Descripción geológica de la Hoja 26c La Tosca, provincia de Mendoza. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 101: 1-86. Buenos Aires.
- PONS J., FRANCHINI M., GIUSIANO A., IMPICCINI A. y GODEAS M., 2009. Alteración, mineralización de Cu y bitumen en el prospecto Barda González, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64 (3): 501-513.
- PONS J., GIUSIANO A., FRANCHINI M., IMPICCINI A., RÍOS J.F. y TESTI A., 2011. Diagénesis, alteración y mineralización de Cu en la Formación Huincul, prospecto Tordillos, Cuenca Neuquina. XVIII Congreso Geológico Argentino, Actas CD. 2 pp. Neuquén.
- RAD A.R.J. y BUSCH W., 2011. Porphyry Copper Mineral Prospectivity Mapping Using Interval Valued Fuzzy Sets Topsis Method in Central Iran. *Journal of Geographic Information System* 3: 312-317.
- RAMOS V.A., y FOLGUERA A., 2011. Payenia volcanic province in the Southern Andes: An appraisal of an exceptional Quaternary tectonic setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201: 53-64.
- ROJA VERAS E.A., ORTOS D.L., FOLGUERA A., ZAMORA VALCARCE G., BOTTESI G., FENNEL L., CHIACHIARELLI F. y RAMOS V.A., 2016. The Transitional Zone Between the Southern Central and Northern Patagonian Andes (36°-39° S). En: A. Folguera *et al.* (eds.) *Growth of the Southern Andes*, Springer Earth System Sciences. pp: 99-114.
- ROSAS M. y CENTENO R., 2004. Datos geoquímicos de Cu, Pb y Zn y ubicación de sitios de muestreo de sedimentos de corriente de los Planes Cordillerano y Perforaciones, Hoja 3569-III Malargüe, provincia de Mendoza, República Argentina. IGRM, SEGEMAR, Serie de Contribuciones Técnicas 67/D, 48 pp. Buenos Aires.
- ROSAS M. y VARGAS D.E., 2004. Datos Geoquímicos Cu, Pb y Zn y Ubicación de Sitios de Muestreo de Sedimentos de Corriente del Plan Cordillerano, Hoja 3569-I Volcán Maipo, Provincia de Mendoza. República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas; Geoquímica 95. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires.
- 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.
- 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: 52 pp., 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. y PERELLÓ, J., 2005. Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume, p. 845–890.
- SOBRINO, J.A., LI Z.L., SORIA G. y JIMENEZ J.C., 2002. Land surface temperature and emissivity retrieval from remote sensing data. *Recent Research Developments in Geophysics* 4: 21-44.
- SPAGNUOLO M.G., FOLGUERA A., LITVAK V., ROJAS VERA E.A. y RAMOS V.A., 2012. 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.
- 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.
- 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.

ANEXOS

