



## EVALUACIÓN DEL POTENCIAL MINERO DE LA HOJA MINA PIRQUITAS, PROVINCIA DE JUJUY

### MODELOS DE MINERALIZACIÓN DE METALES PRECIOSOS (Au-Ag), METALES BASE (Cu-Pb-Zn-Sn) Y LITIO

**Autores:**

Geología y Metalogenia: Cintia Marquetti, Nicolás Larcher,  
Martín Gozávez y Fernando Ganem

Base de datos: Nicolás Larcher, Fernando Ganem

Sensores Remotos: Diego Azcurra

Geoquímica: Nicolás Larcher, Fernando Ganem, Gabriel Asato y Luis Ferpozzi

Geofísica: Dolores Álvarez

Cartografía y Edición: Leda Moser y Gabriel Asato

Responsable técnico: Fernando Ganem

Revisión: Carlos Herrmann

Buenos Aires, 2019



ABSTRACT .....	1
RESUMEN .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. METODOLOGÍA .....	5
2.1. DATOS DISPONIBLES.....	5
2.2. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS GEOLÓGICO MINERO .....	5
2.2.1. BASE DE DATOS DE PROYECTOS EN DESARROLLO .....	5
2.2.2. GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS.....	9
2.2.3. SENSORES REMOTOS.....	9
2.2.4. GEOFÍSICA.....	18
2.2.5. GEOQUÍMICA.....	26
3. MARCO GEOLÓGICO Y METALOGENÉTICO .....	39
3.1. ESTRATIGRAFÍA.....	39
3.2. UNIDADES TECTONOESTRATIGRÁFICAS .....	42
3.2.1. Vulcanismo Bimodal sin- sedimentario Ordovícico .....	42
3.2.2. Depósitos de Talud Ordovícico .....	42
3.2.3. Sedimentación Mesozoico- Terciario de Cuenca de Rift .....	42
3.2.4. Arco Magmático Neógeno.....	42
3.2.5. Depósitos Aluviales y Coluviales del Terciario- Cuaternario .....	43
3.2.6. Depósitos Evaporíticos del Holoceno. ....	44
3.3. MODELOS DE DEPÓSITOS .....	46
3.3.1. Vetas con Au-Sb en turbiditas .....	46
3.3.2. Aluviones de Au-Sn .....	47
3.3.3. Polimetálicos Complejos.....	47
3.3.4. Depósitos epitermales de Mn y polimetálicos complejos ricos en Sn .....	49
3.3.5. Azufre fumarólico .....	49
3.3.6. Cobre Sedimentario.....	50
3.3.8. Salmueras ricas en Litio .....	50
3.4. METALOGENIA DE LA REGION FRONTERIZA ENTRE PERU, BOLIVIA, CHILE Y ARGENTINA .....	52
3.4.1 Provincia Cuprífera de La Precordillera .....	52
3.4.2 Provincia Polimetálica del Altiplano – Cordillera Occidental .....	53
3.4.3 Provincia Estannífera de La Cordillera Oriental.....	53
3.4.4 Provincia Polimetálica Oriental .....	55
4. INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	57
4.1. METALOTECTOS RELACIONADOS CON LA ROCA HOSPEDANTE.....	57

4.2. METALOTECTOS RELACIONADOS CON EL CONTROL ESTRUCTURAL.....	57
4.3. METALOTECTOS RELACIONADOS CON LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL .....	60
4.4. METALOTECTOS RELACIONADOS CON DATOS DE ANOMALÍAS GEOFÍSICAS.....	62
4.5. METALOTECTOS RELACIONADOS CON DATOS DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS.....	64
4.6. GENERACIÓN DE DATOS Y CARTOGRAFÍA INÉDITA.....	66
5. RESULTADOS .....	68
5.1. PROYECTOS EN DESARROLLO .....	68
5.2. ÁREAS DE INTERES MINERO - BLANCOS DE EXPLORACIÓN.....	69
5.3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO.....	74
5.4. APLICACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO .....	75
CONCLUSIONES .....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	79

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1a. Mapa de ubicación geográfica.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1b. Mapa fisiográfico.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2. Alteración argílica interpretada a partir de datos ASTER.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3. Alteración filica interpretada a partir de datos ASTER.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4. Alteración silíceo interpretada a partir de datos ASTER.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. Alteración propilítica interpretada a partir de datos ASTER.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6. Mosaico LandSat 8 combinación de bandas 7-5-3 (R-G-B).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7. Lineamientos interpretados a partir del Modelo de elevación Digital SRTM sobre mosaico de la banda pancromática de LandSat 8.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8. Señal analítica del campo magnético total. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9. Señal analítica del campo magnético total con continuación ascendente de 1000 metros..</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10. Intensidad del campo magnético total.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11. Campo magnético total reducido al polo.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12. Primera Derivada vertical a partir del Campo magnético total reducido al polo.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 13. Señal analítica.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 14. Mapa de ubicación del muestreo geoquímico de sedimento de corriente.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 15. Anomalías geoquímicas de Oro en muestras de sedimentos de corriente.....</i>	<i>30</i>

<i>Figura 16. Anomalías geoquímicas de Plata en muestras de sedimentos de corriente. ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 17. Anomalías geoquímicas de Cobre en muestras de sedimentos de corriente.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 18. Anomalías geoquímicas de Arsénico en muestras de sedimentos de corriente.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 19. Anomalías geoquímicas de Antimonio en muestras de sedimentos de corriente.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 20. Anomalías geoquímicas de Plomo en muestras de sedimentos de corriente. ....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 21. Anomalías geoquímicas de Zinc en muestras de sedimentos de corriente.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 22. Anomalías geoquímicas de Estaño en muestras de sedimentos de corriente.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 23. Anomalías geoquímicas de Litio en muestras de sedimentos de corriente. ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 24. Estratigrafía de la Hoja Mina Pirquitas.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 25. Mapa de unidades tectonoestratigráficas.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 26. Clasificación de los depósitos conocidos en función del Modelos de depósitos.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 27. Mapa de Provincias Metalogenéticas en la Región Fronteriza.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 28. Mapa de estructuras, lineamientos morfoestructurales y lineamientos magnéticos.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 29. Integración de índices de alteraciones ASTER.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 30. Integración de lineamientos magnéticos y anomalías individuales.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 31. Integración de anomalías geoquímicas.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 32. Mapa de Metalotecto que incluye lineamientos, anomalías magnéticas, alteraciones ASTER y anomalías geoquímicas.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 33. Blancos de Exploración detectados a partir del método de superposición de metalotectos.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 34. Blancos de exploración y proyectos en desarrollo detectados a partir del método de superposición de metalotectos.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 35. Blancos de exploración definidos a partir del modelo matemático de superposición simple.....</i>	<i>76</i>

## **INDICE DE TABLAS**

<i>Tabla I. Base de Datos simplificada de Proyectos en desarrollo, en la Hoja Mina Pirquitas.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla II. Procesamiento de imágenes ASTER.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla III. Combinaciones de imágenes ASTER.....</i>	<i>11</i>

<i>Tabla IV. Características de los datos aeromagnetométricos.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla V. Estadísticos. Definición de los umbrales geoquímicos.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla VI. Reservas y Recursos estimados certificados en el ámbito de la Hoja Mina Pirquitas.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla VII. Categorización de blancos de exploración detectados.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla VIII. Base de Datos simplificada de Blancos de Exploración, en la Hoja Mina Pirquitas.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla IX. Proyectos en desarrollos detectados mediante el método de superposición de metalotectos (Blancos de exploración con Alta potencialidad).....</i>	<i>74</i>

## **INDICE DE DIAGRAMAS**

<i>Diagrama 1. Flujo del muestreo, procedimiento y ensayos geoquímicos.....</i>	<i>28</i>
<i>Diagrama 2. Ocurrencia porcentual de proyectos en función de los modelos de depósitos.....</i>	<i>46</i>
<i>Diagrama 3. Ocurrencia de proyectos en función de su estado de avance.....</i>	<i>68</i>

## **ANEXOS**

BASE DE DATOS DE PROYECTOS MINEROS EN DESARROLLO (en CD)

CARTOGRAFÍA A ESCALA 1:250.000

MAPA GEOLOGICO TECTONOESTRATIGRÁFICO

MAPA DE ALTERACIONES HIDROTERMALES A PARTIR DE IMÁGENES ASTER

MAPA DE ANOMALÍAS GEOFÍSICAS A PARTIR DE VUELO AEROMAGNETOMÉTRICO

MAPA DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn, As, Sb y Li)

MAPA DE SUPERPOSICIÓN DE METALOTECTOS CON BLANCOS DE EXPLORACION

MAPA DE SUPERPOSICIÓN NUMÉRICA SIMPLE CON BLANCOS DE EXPLORACION

## ABSTRACT

This project is framed within the **Agreement of Cooperation and Technical Assistance** signed by the **Argentina Mining and Geological Survey** and the **Secretary of Mining and Hydrocarbons of the Government of the Province of Jujuy**. The main goal of the agreement is to contribute with the continuous mining development of the Province of Jujuy.

**New study approaches** are proposed to increase the geological and mining knowledge of areas related with ore deposits containing **precious metals, base metals and lithium**.

This work is based in **the expert analysis of cartographic data** including geological and structural maps, remote sensing studies with multi-spectral ASTER and Landsat TM images, stream sediment geochemical sampling and aeromagnetometric geophysical studies. **A geological-mining database and a new areas database with potential exploration targets** were created. Additionally, information of the geologic and metallogenic context of the region, stratigraphy, exposed tectono-stratigraphic units, deposits models and metallogeny is provided.

**The study area** is located in the northwest of the Province of Jujuy, between the 21° 43' and 23° 00' parallels of south latitude and the 66° 00' and 67° 11' meridians of west longitude, covering a total surface of **9,791 Km<sup>2</sup>** and including part of the **Santa Catalina, Rinconada and Cochino departments**.

**Six metallogenic belts** are comprised, characterized by **10 ore deposits models** reflected in **eighty three (83) known mining projects**. Of these mining projects one (1) is at production stage: **Mina Pirquitas**; two (2) projects are in stand by: **Pabellón** and **Pan de Azucar**; one (1) in construction, **Chinchillas**; one (1) is at advanced exploration stage: **Eureka**; six (6) are in an early exploration stage: **Carahuasi, Tupiza, San José, Chocoya, Cerro Redondo** and **Azules**; fifty two (52) are in a prospection stage and twenty (20) are gold and tin placer deposits temporary or sporadically exploited.

The known **reserves and resources** under international standars totalize a mineralized tonnage of about **54.97 million tones** with **164.20 million silver ounces, 1207.17 million pounds of zinc, and 830.21 million pounds of lead**, until December 2017.

This work defines a set of **metallotects closely related with the projects** in development and **generates a new cartographic base** a 1:250000 scale. Then, using the metallotect superposition metod, achieve to detect **thirty (30) additional mining interest areas**, with potential for hosting precious and base metal ore deposits. For the case of lithium, dos (2) additional targets were defined with good perspectives for discovery in the Palar and Vilama lagoons.

With this **contribution updated, solid and integrated information of the developing mining projects and a database of potential mining areas** to develop in the northwestern portion of Jujuy Province is provided to the Secretary of Mining and Hydrocarbons of the Government of the Province of Jujuy.

## RESUMEN

El proyecto se inscribe en el **Acuerdo Marco de Cooperación y Asistencia Técnica** firmado entre el **Servicio Geológico Minero Argentino** y la **Secretaría de Minería e Hidrocarburos de la provincia Jujuy**, cuyo objetivo primario es contribuir con el continuo desarrollo minero de la provincia de Jujuy.

Para ello se propone implementar **nuevas metodologías de estudios** para incrementar el conocimiento geológico-minero de los sectores con presencia de depósitos minerales relacionados **con metales preciosos, metales base y litio**.

El trabajo se basa en el **estudio experto de datos cartográficos** que incluyen la geología y estructuras, el estudio a través de sensores remotos con imágenes multi-espectrales ASTER e imágenes Landsat TM, muestreo geoquímico de sedimentos de corriente y estudios geofísicos aeromagnetométricos. Se elaboró una **base de datos geológico-minero**, y una **base de datos de nuevas áreas con potenciales blancos de exploración**. Adicionalmente se provee información del marco geológico y metalogenético de la región, la estratigrafía, las unidades tectonoestratigráficas expuestas y los modelos de depósitos.

**El área de estudio**, se localiza en el noroeste de la Provincia de Jujuy, entre los paralelos 21º 43' y 23º 00' de latitud sur y los meridianos 66º 00' y 67º 11' de longitud oeste, abarcando parte de los **departamentos de Santa Catalina, Rinconada y Cochinoca, cubriendo una superficie de 9.791 km<sup>2</sup>**.

Comprende **seis (6) fajas mineralizadas** caracterizadas por la existencia de **diez (10) modelos de depósito mineral** que incluyen **ochenta y tres (83) proyectos mineros**, de los cuales se ha podido adquirir información. Entre ellos existen: un (1) proyecto en etapa producción, **Mina Pirquitas**; dos (2) proyectos en Stand By, **Pabellón y Pan de Azúcar**; uno (1) en etapa de construcción, **Chinchillas**; uno (1) en exploración avanzada, **Eureka**; seis (6) en exploración temprana, **Carahuasi, Tupiza, San José, Chocoya, Cerro Redondo y Azules**, cincuenta y dos (52) en etapa de prospección y veinte (20) proyectos que corresponden a explotaciones temporarias o esporádicas sobre depósitos de placeres con oro y/o estaño.

Las **reservas y recursos** conocidos y certificados bajo estándares internacionales para las minas **Pirquitas y Chinchillas** totalizan un tonelaje mineralizado del orden de los **54,97 Mt**, conteniendo **164,20 MOzz de Ag, 1207,17 MLbs de Zn y 830,21 MLbs de Pb**, hasta diciembre de 2017.

El trabajo define un conjunto de **metalotectos íntimamente relacionados con los proyectos en desarrollo** y genera una **base cartográfica inédita** a escala de 1:250.000; a partir de ello, emplea el **método de superposición de metalotectos**, y logra detectar treinta **(30) Áreas de Interés Minero adicionales**, con potencialidad para albergar mineralización de metales preciosos y metales base. Para el caso del Li se definieron **dos (2) sectores adiciones** con buenas perspectivas de hallazgo en las lagunas de Palar y Vilama.

Con el presente trabajo **se provee a la Secretaría de Minería e Hidrocarburos** de la provincia de Jujuy **información actualizada, sólida e integrada de los proyectos mineros en desarrollo y bases de datos de áreas con potencial minero a desarrollar** en el nor-oeste de la provincia de Jujuy.

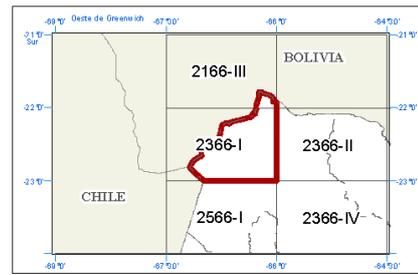
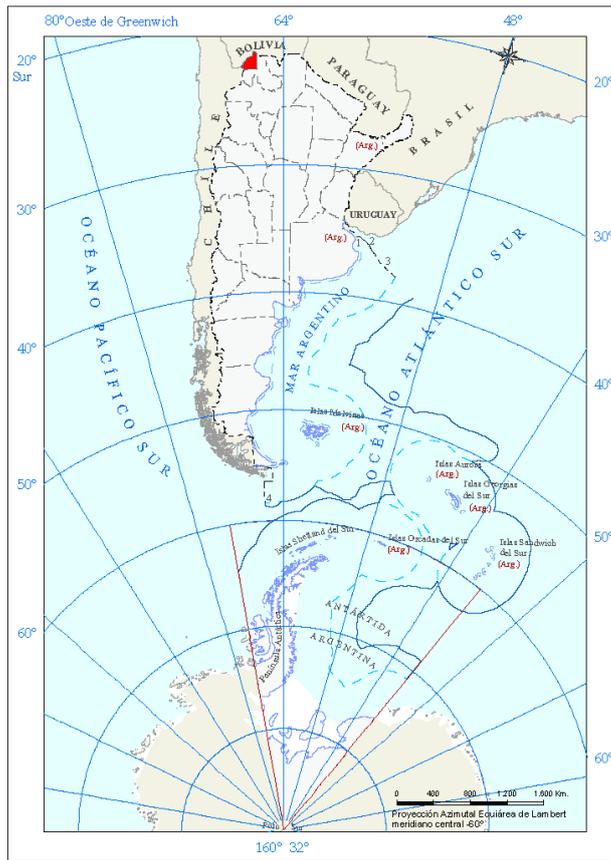
## 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se inscribe en el Acuerdo Marco de Cooperación y Asistencia Técnica firmado entre el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y la Secretaría de Minería e Hidrocarburos de la provincia Jujuy (SMeH), cuyo objetivo primario es contribuir con el continuo desarrollo minero de la provincia de Jujuy y en particular, generar nuevas bases de estudios para incrementar el conocimiento geológico-minero sobre áreas con alta probabilidad de hallazgo, vinculadas con mineralización de metales preciosos, metales base y litio, que sirvan como información básica de futuras investigaciones e inversiones en el campo de la prospección y exploración minera en la provincia.

En una primer etapa el trabajo tiene como objetivo generar nuevas bases de datos geológicos, mineros y metalogenéticos, que contengan toda la información disponible pública y gubernamental de los proyectos mineros en sus diferentes etapas de desarrollo, así como implementar el uso de herramientas básicas de exploración que permitan una adecuada caracterización de los depósitos conocidos al presente para generar patrones comunes aplicables, que permitan desarrollar nuevos blancos de exploración en sectores aun no explorados en detalle.

El área de trabajo se localiza en el noroeste de la Provincia de Jujuy, entre los paralelos 21° 43' y 23° 00' de latitud sur y los meridianos 66° 00' y 67° 11' de longitud oeste (Hito I-1 límite internacional tripartito), abarcando parte de los departamentos de Santa Catalina, Rinconada y Cochinoca, cubriendo una superficie de 9.791 km<sup>2</sup>, limitando al Norte con la República de Bolivia y al Oeste con las Repúblicas de Bolivia y Chile. Cuando se menciona en este trabajo el término "Hoja" significa el área de la "Hoja Geológica Mina Pirquitas 2366-I / 2166-III", de acuerdo con la subdivisión cartográfica Escala 1:250.000 del territorio argentino que realiza el Servicio Geológico Minero Argentino.

# Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Piriquitas, provincia de Jujuy



INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA:  
 CARTA I.G.N. MINA PIRIQUITAS (2366-I/2166-III),  
 ESCALA 1:250.000  
 MARCO GEODÉSICO DE REFERENCIA:  
 POSGAR07  
 DATUM ALTIMÉTRICO (vertical) P.A.R.N.:  
 referido al nivel del mar como horizonte hipsométrico  
 adoptado en el año 1.924 para Mar del Plata

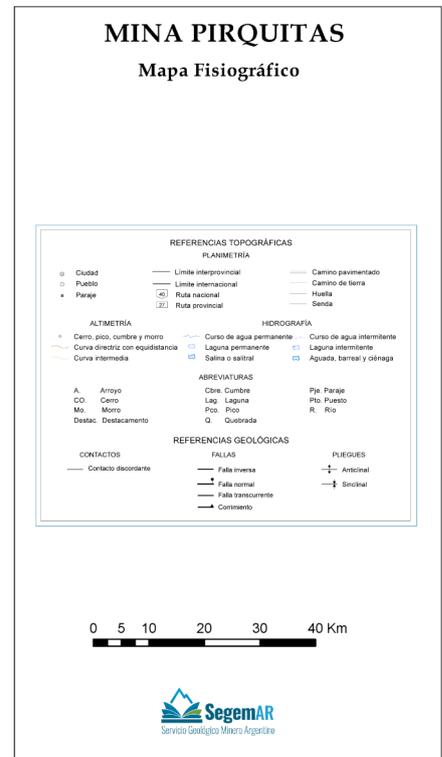
- Límite internacional
- Límite interprovincial
- Límite Lateral marítimo
- Límite del Lecho y Subsuelo
- Límite de Costa
- Límite de Mar Territorial Argentino
- Límite de Zona Económica Exclusiva
- Límite de la Plataforma Continental
- Sector Antártico Argentino

- 1 Límite del lecho y subsuelo
- 2 Límite exterior del Río de la Plata
- 3 Límite lateral marítimo argentino-uruguayo
- 4 Límite marítimo argentino-chileno

Las representaciones limítrofes deben considerarse como figurativas y no comprometen al Estado Argentino y sus jurisdicciones dependientes.

El límite exterior de la plataforma continental argentina dibujado en este mapa es el contenido en la presentación realizada por la República Argentina ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental el 21 de abril de 2009.

**Figura 1a. Mapa de ubicación geográfica**



**Figura 1b. Mapa fisiográfico**

## 2. METODOLOGÍA

Para la integración y análisis de información se utilizaron como soportes informáticos Microsoft Excel, plataforma ArcGIS de ESRI, ENVI y software OASIS MONTAJ de Geosoft.

### 2.1. DATOS DISPONIBLES

La información compilada en el presente informe deriva de diversas fuentes de carácter público, fuentes de información ofrecidas por compañías que operan u operaron los proyectos mineros (páginas web, *newsrelease*, presentaciones, reportes técnicos y contenidos en el sitio web SEDAR); así como fuente de información básica, publicaciones científicas editadas por diversos organismos nacionales, publicaciones científico- técnicas generadas por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), y datos obtenido de los registros de la secretaría de minería e hidrocarburos de la provincia.

Asimismo este informe, genera y presenta nueva fuentes de información de carácter inéditas al presente.

### 2.2. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS GEOLÓGICO MINERO

A continuación se describe todas las herramientas básicas de exploración minera que fueron empleadas para un adecuado análisis y evaluación del potencial minero metalogénico del área de estudio. Estas herramientas permiten una adecuada caracterización de los depósitos minerales conocidos al presente y generan patrones y modelos en sectores donde no existen registros o antecedentes mineros a la fecha.

#### 2.2.1. BASE DE DATOS DE PROYECTOS EN DESARROLLO

La base de datos contiene información de interés de los proyectos en desarrollo, tal como: nombre de proyecto, *commodity* mineral, tipo o modelo de depósito, estado de desarrollo, ubicación, geología, geoquímica, geofísica, tipo y edad de mineralización y sus rocas hospedantes, cartas geológicas y temáticas que cubren el área de cada proyecto, soporte geoespacial, datos mineros cuantitativos disponibles (reservas, tonelaje, ley de corte, etc.), datos ambientales (por ejemplo Informes y/o Estudios de Impacto Ambiental, EIA), datos del catastro minero provincial y fuentes de información de referencia. En la **tabla I** se presenta un resumen de la base de datos generada.

Asimismo, en el **Anexo I** se presenta la base de datos completa, detallando las características de cada módulo, los parámetros y criterios utilizados.

## Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy

Tabla I. Base de Datos simplificada de Proyectos en desarrollo, en la Hoja Mina Pirquitas.

DATOS DE PROYECTO							UBICACIÓN		GEOLOGIA	
ID	Distrito Minero	Depósito	Materia_(Commodity)	Modelo de Depósito	Código	Estado	Lat	Long	Litología/ Roca Hospedante	Tipología
1	PAIRIQUE	PAIRIQUE	Au_Ag_Sn	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,8417139	-22,907825	Lavas. ignimbritas y brechas de composición dacítica	Placeres
2	Rinconada	PUEBLO VIEJO	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,1415889	-22,1125083	sedimentos	Placeres
3	Rinconada	EL CONDOR	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,1466667	-22,4236111	sedimentos	Placeres
4	CHAJARAHUAICO	LAS BASES	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,1957611	-22,6932611	sedimentos	Placeres
5	CHAJARAHUAICO	CHAJARAHUAICO	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,1899306	-22,678325	sedimentos	Placeres
6	CHAJARAHUAICO	LAS PEPAS	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,2078056	-22,6835611	sedimentos	Placeres
7	CAUCANIA	QUEBRADA DE PUCA	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,5812639	-22,4804361	sedimentos	Placeres
8	OROSMAYO	PASAMAYO	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,3387167	-22,4992389	sedimentos	Placeres
9	OROSMAYO	LA JUJEÑA	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,3797722	-22,6106583	sedimentos	aluvión
10	OROSMAYO	AJEDREZ	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,3885222	-22,6260472	sedimentos	aluvión
11	EUREKA	EUREKA	Au	Aluvión Au	12a	Explotación Temporal	-66,1975444	-21,9534444	sedimentos	Placeres
12	OROSMAYO	OROSMAYO	Au	Aluvión Au-Sn	12a/ 12b	Explotación Temporal	-66,3479639	-22,54075	sedimentos	Placeres
13	PAIRIQUE	TORONA	Sn	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,8861194	-22,9457056	Ignimbritas dacítica	Placeres
14	CAUCANIA	CAUCANI SOLTERIO	Sn	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,6237417	-22,5645639	sedimentos	Placeres
15	CAUCANIA	CONSTANCIA	Sn	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,6406806	-22,5658417	sedimentos	Placeres
16	OROSMAYO/PIRQUITAS	COLPAYOC	Sn	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,391875	-22,6857417	sedimentos	Placeres
17	OROSMAYO/PIRQUITAS	OROSMAYO Sn	Sn_Au	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,3923667	-22,6628722	sedimentos	Placeres
18	OROSMAYO	CIVITA VECCHIA	Sn	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,3547917	-22,5998861	sedimentos	aluvión
19	PIRQUITAS	SAN MARCOS	Sn	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,4404833	-22,7234417	sedimentos	Placeres
20	PIRQUITAS	PIRCAS	Sn	Aluvión Sn	12b	Explotación Temporal	-66,5018583	-22,7009333	sedimentos	Placeres
21	ZAPALERI	AMANCAY	S	Azufre Fumarólico	7g	Prospección	-67,0222333	-22,5475333	Lavas dacíticas a andesíticas. Brechas	Relleno de grietas y oquedades-impregnaciones.
22	ZAPALERI	ZAPALERI	S	Azufre Fumarólico	7g	Prospección	-67,1777306	-22,8137528	Lavas dacíticas a andesíticas	impregnaciones
23	VILAMA	COLPITAYOC	Sn	Azufre Fumarólico	7g	Prospección	-66,8364083	-22,6725444	Ignimbritas	venillas
24	VILAMA	PULULOS	Sn	Azufre Fumarólico	7g	Prospección	-66,7922667	-22,6165639	Ignimbritas	venillas
25	COYAGUAIMA	IRAMAIN	S	Azufre Fumarólico	7g	Prospección	-66,6247583	-22,9502083	Dacitas	impregnaciones
26	COYAGUAIMA	CAMPANARIO	S	Azufre Fumarólico	7g	Prospección	-66,584325	-22,7461889	Conglomerados-areniscas e ignimbritas intercaladas	impregnaciones
27	EUREKA	EUREKA II	Cu_Au	Cu Sedimentario	9a	Exploración avanzada	-66,1942972	-21,953425	conglomerados	Epitermal diseminado
28	RACHAITE	SAN JOSÉ	Mn	Epitermal con Mn	7a	Exploración Temprana	-66,0309139	-22,866475	piroclastitas	brechas
29	RACHAITE	DONCELLAS	Mn	Epitermal con Mn	7a	Prospección	-66,0041694	-22,8517667	piroclastitas y lavas	brechas

## Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy

30	RACHAITE	IRAL	Mn	Epitermal con Mn	7a	Prospección	-66,0189389	-22,8064806	tobas y brechas	niveles subparalelos
31	RACHAITE	PABELLONCITO	Mn	Epitermal con Mn	7a	Prospección	-66,0366556	-22,8061556	tobas y brechas	niveles subparalelos
32	PIRQUITAS	MINA PIRQUITAS	Ag_Sn_Zn	Epitermal con Sn	7d	Producción	-66,5411111	-22,6872222	sedimentitas	vetas. stockwork. diseminado
33	VILAMA	VILAMITA I	Li	Evaporitas con Li	9f	Prospección	-66,9069417	-22,55145	Evaporitas	salmueras
34	VILAMA	LAGUNA PALAR	Li	Evaporitas con Li	9f	Prospección	-66,7956639	-22,6872722	Evaporitas	salmueras
35	Rinconada	CERRO REDONDO	Ag-Pb-Zn	Polimetálico complejo	7e	Exploración Temprana	-66,1319639	-22,3814806	dacita	vetillas- diseminado
36	RACHAITE	CHOCAYA	Pb_Zn_Ag	Polimetálico complejo	7e	Exploración Temprana	-66,1246583	-22,8839417	volcanitas	brechas y stockworks
37	Rinconada	CARAHUASI	Au_Ag_Pb_Zn	Polimetálico complejo	7e	Exploración Temprana	-66,2418806	-22,5406306	Volcanitas/Sedimentitas	brechas- diseminado
38	Rinconada	CHINCHILLAS	Ag-Pb-Zn	Polimetálico complejo	7e	Construcción	-66,2566528	-22,50485	piroclastitas y lavas/ Sedimentitas	brechas- diseminado
39	Rinconada	CASA COLORADA	Ag_Zn	Polimetálico complejo	7e	Prospección	-66,3172833	-22,3166611	Dacitas	
40	CERRO COYA	MINAS VIEJAS	Ag-Pb-Zn	Polimetálico complejo	7e	Prospección	-66,960675	-22,69835	sedimentitas	vetillas- brechas
41	CERRO COYA	BONANZA	Ag-Pb-Zn	Polimetálico complejo	7e	Prospección	-66,9705222	-22,7191556	sedimentitas	vetas y vetillas
42	PAN DE AZUCAR	PAN DE AZUCAR	Ag_Pb_Zn	Polimetálico complejo	7e	Stand by	-66,0550278	-22,6168722	dacita	vetas- venillas
43	Rinconada	MINAS AZULES	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Exploración Temprana	-66,0502222	-21,9885139	sedimentitas	Vetiforme
44	ROSARIO DE COYAGUAIMA	IVANA (ROSARIO DE COYAGUAIMA?)	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,7080556	-22,8439611	sedimentitas	Vetiforme
45	ROSARIO DE COYAGUAIMA	ARENALES (TATA SANTO)	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,6672222	-22,7505556	sedimentitas	Vetiforme
46	ROSARIO DE COYAGUAIMA	SOL DE MAYO (NICASIO VIEJO)	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,6651277	-22,7381472	sedimentitas	Vetiforme
47	COYAGUAIMA	MONSERRAT	Sb	Vetas y brechas	14	Prospección	-66,5135667	-22,8136361	sedimentitas/ conglomerados	vetiforme
48	COYAGUAIMA	MINA COYAGUAIMA	Sb	Vetas y brechas	14	Prospección	-66,5801056	-22,7560583	sedimentitas/ conglomerados	vetiforme
49	Rinconada	CARTELONE	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1408778	-22,1387444	sedimentitas	Vetiforme
50	Rinconada	JARILLÓN	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1642	-22,1114861	sedimentitas	Vetiforme
51	Rinconada	PUCARA CHICO	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,132125	-22,1049389	sedimentitas	Vetiforme
52	Rinconada	ORATORIO	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1387778	-22,1066167	sedimentitas	Vetiforme
53	EUREKA	SAN FRANCISCO	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1867806	-21,9961056	sedimentitas	Vetiforme
54	EL TORNO	PALCA INGENIO	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1385667	-21,9446167	sedimentitas	Vetiforme
55	EL TORNO	LA JUSTICIA	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1424361	-21,9436583	sedimentitas	Vetiforme
56	EL TORNO	FRAILE RENEGADO	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1441361	-21,9498694	sedimentitas	Vetiforme
57	EL TORNO	EL TORNO	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1425639	-21,9553639	sedimentitas	F. Acoite
58	EL TORNO	VITELLA	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1655528	-21,91035	sedimentitas	Vetiforme
59	Rinconada	EL RODEO	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1658333	-22,1680556	Sedimentitas marinas distales	Vetiforme
60	Rinconada	TIMÓN CRUZ	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1720167	-22,1681306	Sedimentitas marinas distales	Vetiforme
61	PUYITA	PUYITA	Au_Sb	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1152944	-22,2343639	Sedimentitas marinas distales	Vetiforme
62	PUYITA	LLANCANACOYA	Sb	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1189361	-22,2452472	sedimentitas	vetiforme

## Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy

63	PUYITA	LA ESPERANZA	Sb	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1219444	-22,2558694	sedimentitas	vetiforme
64	Rinconada	SAN JOSÉ DE LA RINCONADA	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,3133472	-22,4197917	sedimentitas	vetiforme
65	Rinconada	SANTA ALICIA	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,2475	-22,4475	sedimentitas	vetiforme
66	Rinconada	MINA CARMEN	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,238825	-22,4588	sedimentitas	vetiforme
67	Rinconada	FRAY BARTOLOMÉ DE LAS CASAS	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1659639	-22,4372722	sedimentitas	vetiforme
68	Rinconada	RINCONADA	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,1663861	-22,4388944	sedimentitas	vetiforme
69	Rinconada	GUADALUPE	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,2490556	-22,674575	sedimentitas	vetiforme
70	Rinconada	PAMPA COYA	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,2744722	-22,6813889	sedimentitas	vetiforme
71	CAUCANIA	MIYUYO II?	Sb	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,5946972	-22,5274056	sedimentitas	vetiforme
72	CAUCANIA	MIYUYO	Sb	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,6102583	-22,5009361	sedimentitas	vetiforme
73	Rinconada	FARILLON	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,3066167	-22,5868917	sedimentitas	vetiforme
74	Rinconada	CHIRICOYA	Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,3118639	-22,61925	sedimentitas	vetiforme
75	Rinconada	SANTO DOMINGO	Au_Sn	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,2317306	-22,5508306	sedimentitas	vetiforme
76	Rinconada	CABALONGA	Sn_Au	Vetas con Au y Sb	14d	Prospección	-66,3573056	-22,7730611	sedimentitas	vetiforme
77	PABELLON	PABELLON	Sb-Au	Vetas con Au y Sb	14d	Stand by	-66,6429444	-22,4205528	Sedimentitas marinas distales	Vetiforme
78	SANTA CATALINA	ROGELIO	Ag-Pb-Zn	Vetas Polimetálicas Simples	14c	Prospección	-66,095475	-21,8949417	sedimentitas	Vetiforme
79	CAUCANIA	QUEBRADA DELGADA CHICA	Ag-Pb-Zn	Vetas Polimetálicas Simples	14c	Prospección	-66,6113889	-22,4769444	sedimentitas	vetiforme
80	EL SOMBRERO	TUPIZA?	Ag-Pb-Zn	Vetas y Brechas	14	Exploración Temprana	-66,1006528	-22,7651333	sedimentitas	vetiforme
81		PEÑASQUINA	Ag-Au-Sn	Vetas y Brechas	14	Prospección	-66,4234333	-22,2595417	sedimentitas	vetiforme
82	EL SOMBRERO	PEÑAS NEGRAS	Fe	Vetas y Brechas	14	Prospección	-66,074925	-22,7033583	sedimentitas	cemento de brecha
83	EL SOMBRERO	EL SOMBRERO	Fe	Vetas y Brechas	14	Prospección	-66,0985222	-22,7059111	sedimentitas	cemento de brecha

## **2.2.2. GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS**

Para la geología de base se utilizó principalmente la Carta Geológica y la Carta Minero Metalogenética Mina Pirquitas, a escala 1:250.000 de SEGEMAR, ajustada en aquellos sectores donde se dispuso de información geológica de mayor detalle.

Para el arreglo estructural, se recurrió a las mismas fuentes, definiendo los lineamientos estructurales mayores que se registran en el sector de estudio; ajustando en aquellos sectores donde se obtuvo información estructural de mayor detalle.

## **2.2.3. SENSORES REMOTOS**

- **Procesamiento de Imágenes ASTER**

Se procesaron 9 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 orto-rectificados y con corrección del efecto crosstalk, presente en las bandas del SWIR de ASTER (Iwasaki y Tonooka, 2004).

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 a 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, 2002).

A partir de estos datos corregidos se realizó la interpretación de zonas afectadas por alteración hidrotermal, obteniéndose un total de treinta y seis (36) imágenes:

Procesamiento de Imágenes Aster	Alteración Hidrotermal	Asociación mineral	Resolución espacial
9	Argílica avanzada	alunita-caolinita	30 m.
9	Fílica/Argílica	illita-muscovita	30 m.
9	Sílicea	sílice	90 m.
9	Propilítica	calcita-clorita-epidoto	90 m.

*Tabla II. Procesamiento de imágenes Aster.*

El cálculo de las alteraciones anteriormente citadas se realizó mediante algebra de bandas, relaciones lógicas entre bandas y de determinación de umbrales (Mars y Rowan, 2006 y Mars, 2010) con la herramienta Band Math del software ENVI teniendo en cuenta las siguientes características espectrales:

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

**Alteración fílica (y/o argílica):** 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 sílicea:** 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, clorita y epidota 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 por cada tipo de alteración, obteniéndose cuatro imágenes como producto final para luego ser convertidas a formato vectorial y exportadas a formato shapefile de ArcGis (figuras 1 a 4).

Por otra parte, se realizaron y obtuvieron veintisiete (27) combinaciones de imágenes:

Combinación de imágenes	Combinación de bandas Aster		
	R	G	B
9	3	2	1
9	6	3	1
9	4	6	8

*Tabla III. Combinaciones de imágenes Aster.*

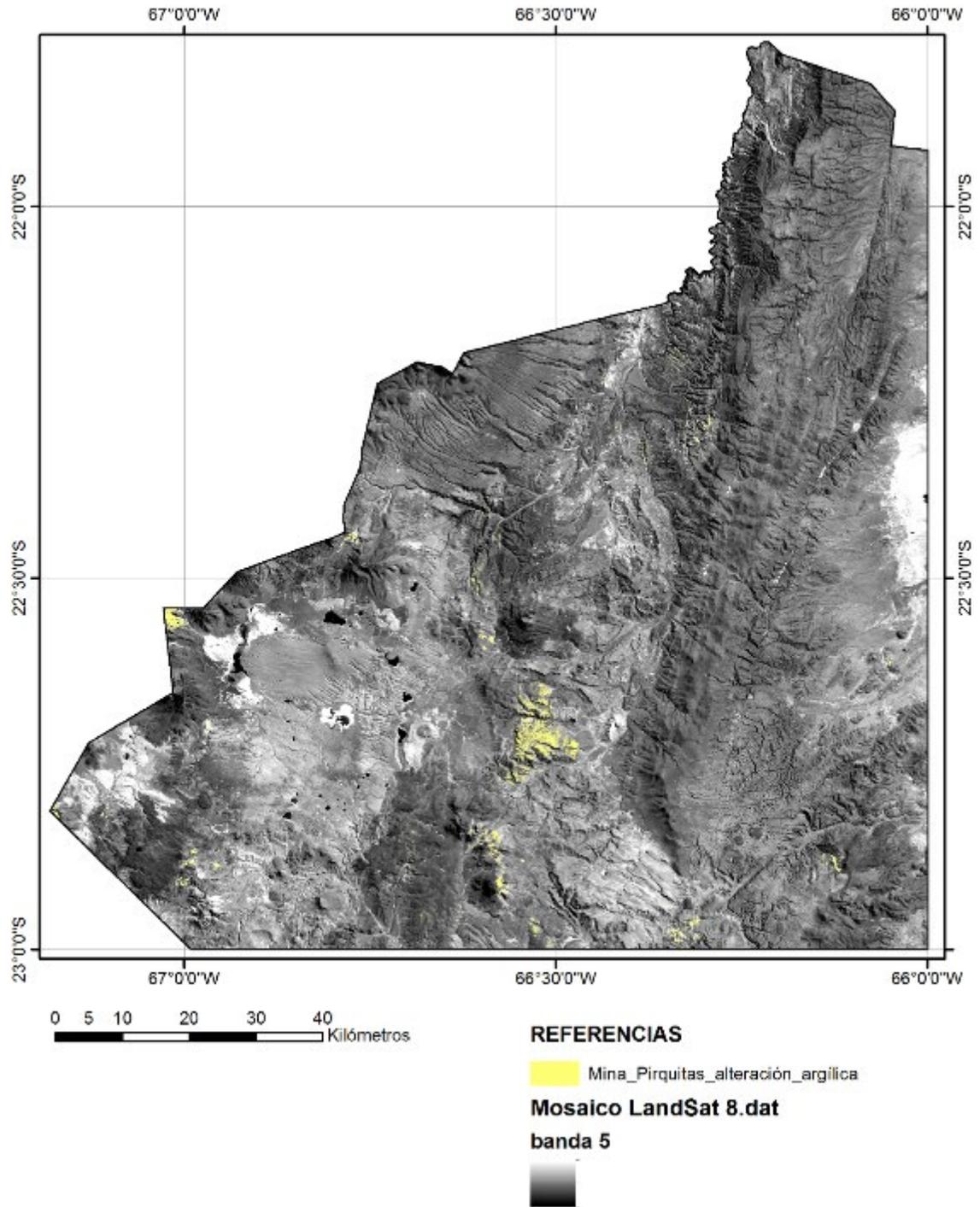
- **Procesamiento de Imágenes LandSat 8**

Se realizó un mosaico que cubre la Hoja a partir de 2 imágenes LandSat 8 232/075 y 232/076 (Path/Row) (figura 6).

- **Procesamiento de imágenes SRTM**

Se realizó un mosaico que cubre la Hoja a partir de modelos de elevación digital SRTM. Posteriormente, y a partir del mosaico, se realizó un sombreado de relieve de azimut 90° y elevación 30° que fue utilizado para la interpretación de lineamientos topográficos (figura 7).

Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy



*Figura 2. Alteración argílica interpretada a partir de datos ASTER.*

Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy

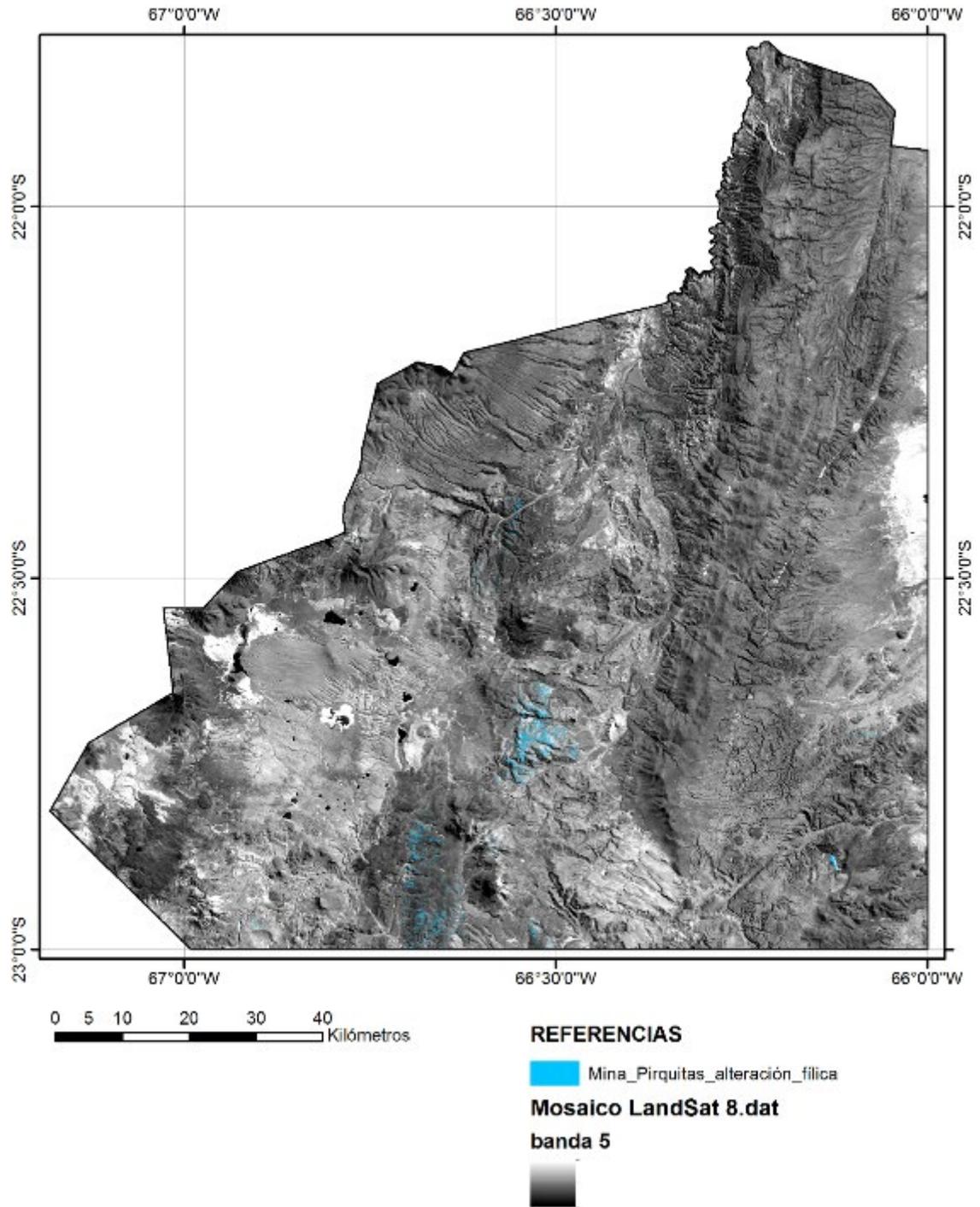
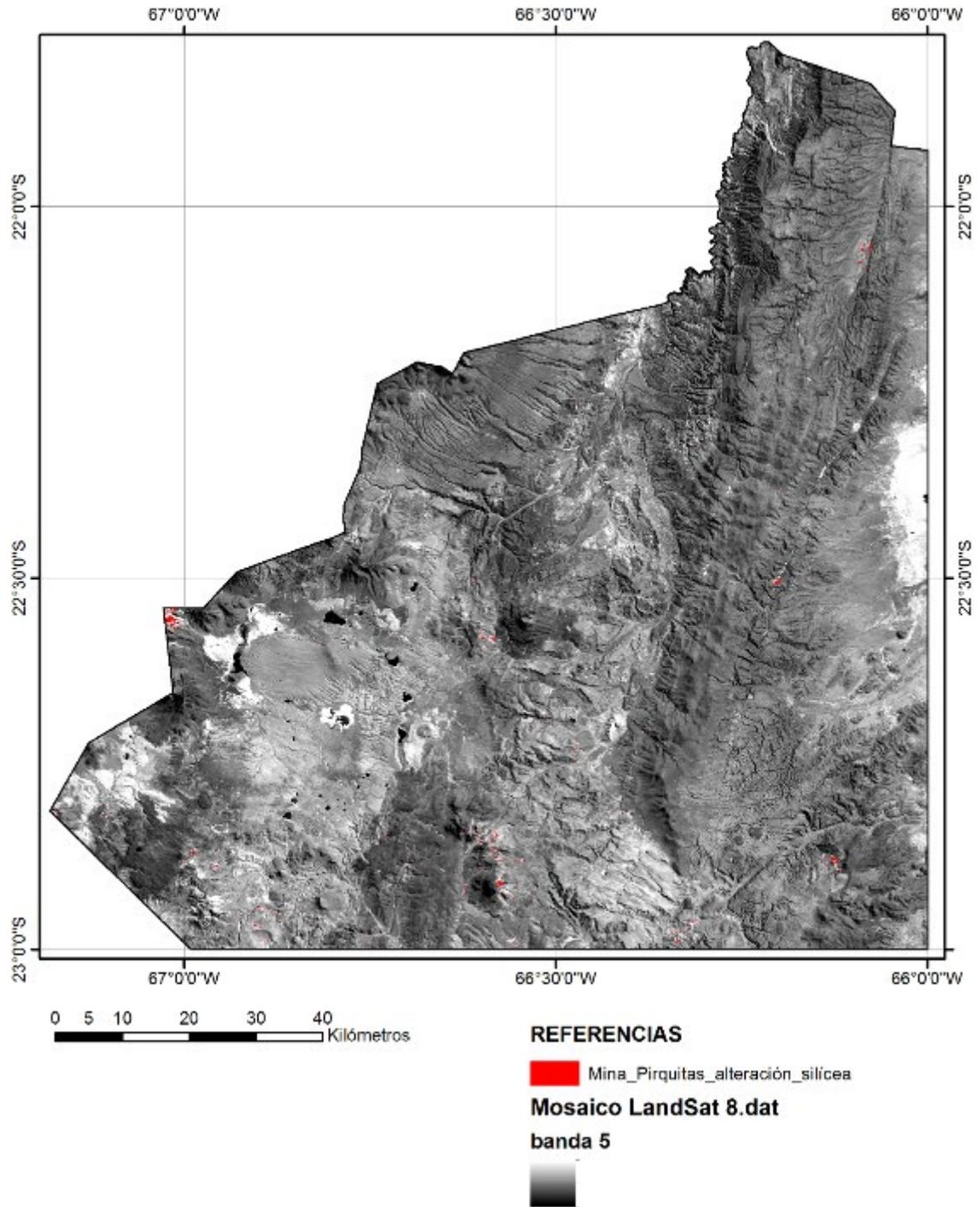


Figura 3. Alteración filica interpretada a partir de datos ASTER.

Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy



*Figura 4. Alteración silícea interpretada a partir de datos ASTER.*

Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy

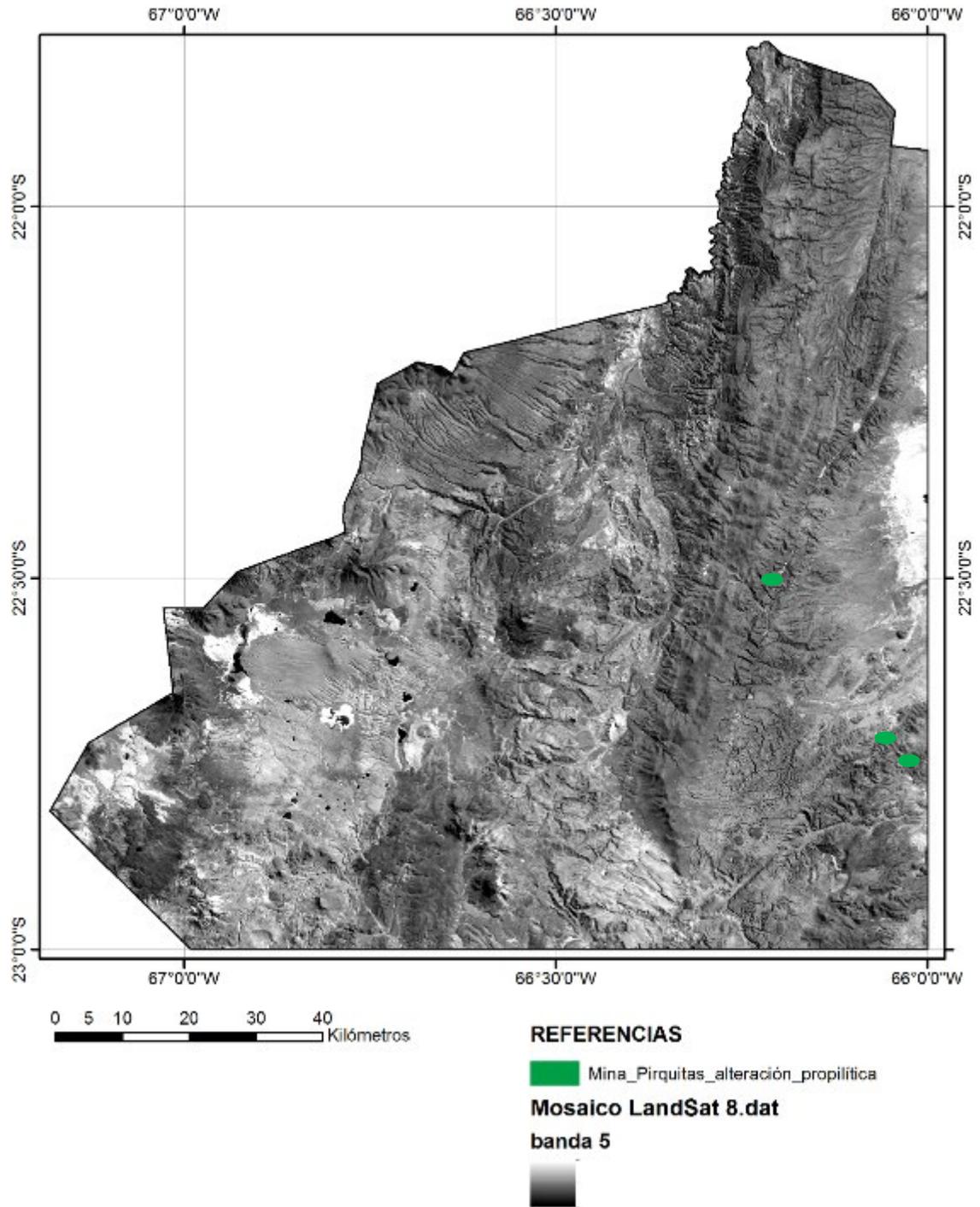
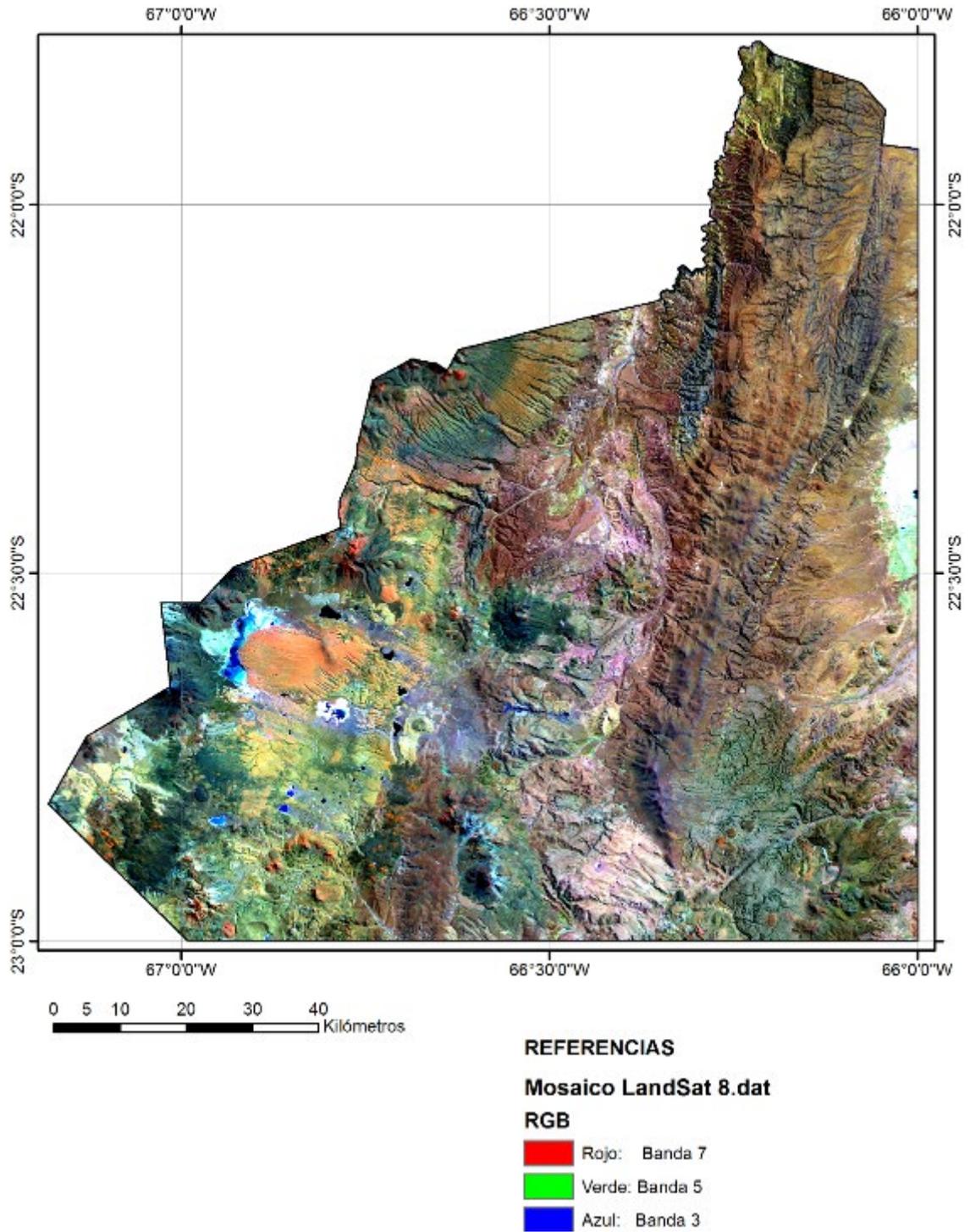


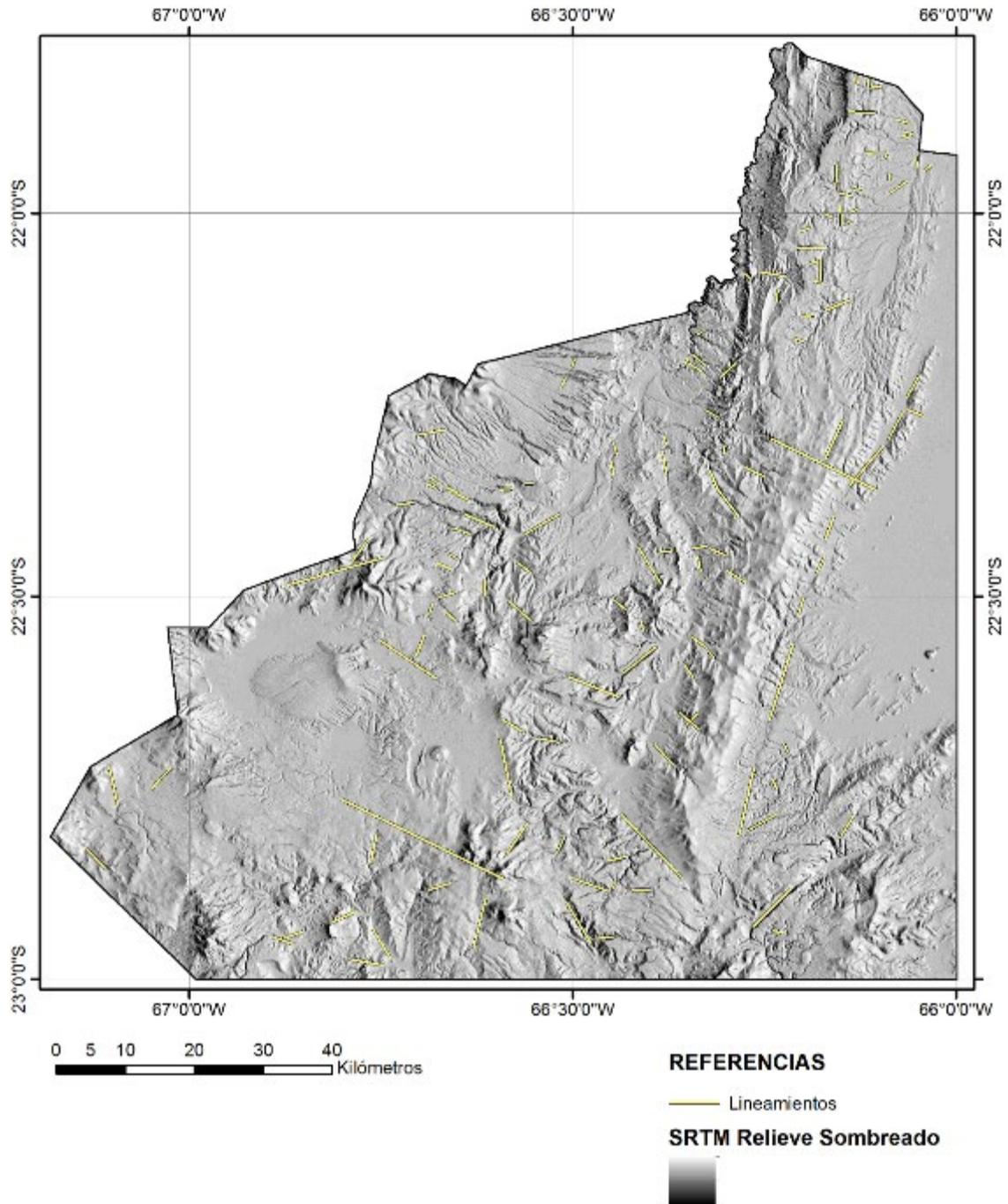
Figura 5. Alteración propilítica interpretada a partir de datos ASTER.

Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy



*Figura 6. Mosaico LandSat 8 combinación de bandas 7-5-3 (R-G-B).*

Evaluación del Potencial Minero de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy



**Figura 7.** Lineamientos interpretados a partir del Modelo de elevación Digital SRTM sobre mosaico de la banda pancromática de LandSat 8.

#### 2.2.4. GEOFÍSICA

- **Origen de los datos aeromagnéticos**

La Hoja Mina Pirquitas 2366-I / 2166-III tiene cobertura total de datos aeromagnetométricos, correspondientes al siguiente relevamiento:

N° de Bloque	Nombre	Fecha de relevamiento	Contratista	Kilómetros lineales volados	Separación entre líneas de vuelo	Altura nominal de vuelo
<b>Bloque 5</b>	Puna	Dic. 1995 a	Sial	12100 km	1000 m.	137 m.
	Norte	May. 1996	Geoscience			

*Tabla IV. Características de los datos aeromagnetométricos.*

- **Procesamiento de datos aeromagnéticos**

A partir de la grilla intensidad de **campo magnético total (TMI)** se realizaron los siguientes procesados:

**Reducción al Polo (RTP):** se recalcula el campo magnético de inclinación y declinación observadas a las correspondientes a los polos norte o sur. Este procesado 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 procesado tiende a realzar las componentes residuales de longitud de onda media a corta y a delinear áreas de gradiente vertical elevado asociado con anomalías de origen relativamente somero.

**Señal Analítica (o Gradiente Total) (SA):** es la suma vectorial de los gradientes horizontales y el gradiente vertical del campo magnético. 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.

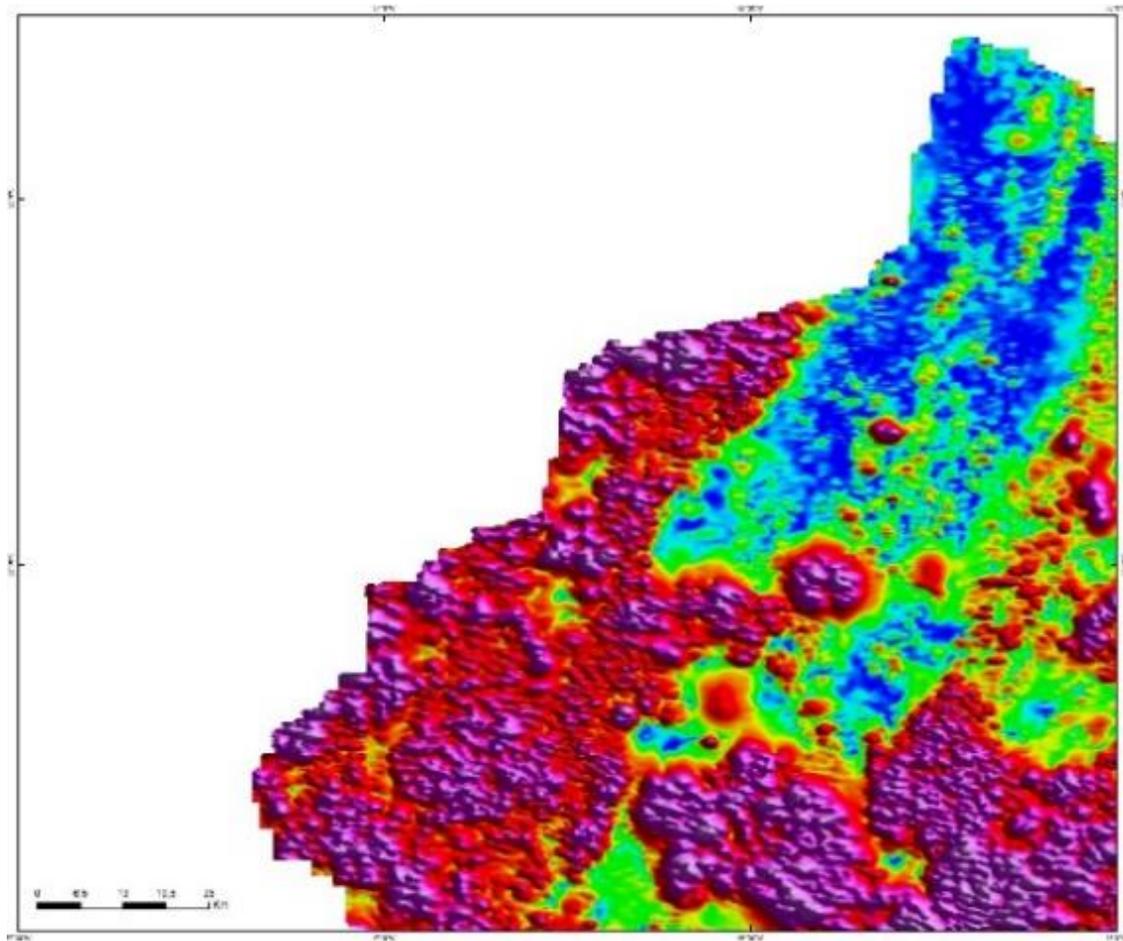
**Inclinación de la señal analítica o “TILT”:** se basa en la variación entre el gradiente vertical y el gradiente horizontal, tiene valores positivos sobre el cuerpo que lo origina, pasa por cero sobre o cerca del borde y es negativo fuera de la región de la fuente. Como no tiene una fuerte relación con la profundidad permite la identificación de fuentes someras y profundas igualmente bien.

Por último se recortaron las grillas según los límites la Hoja Mina Pirquitas en escala 1:250000.

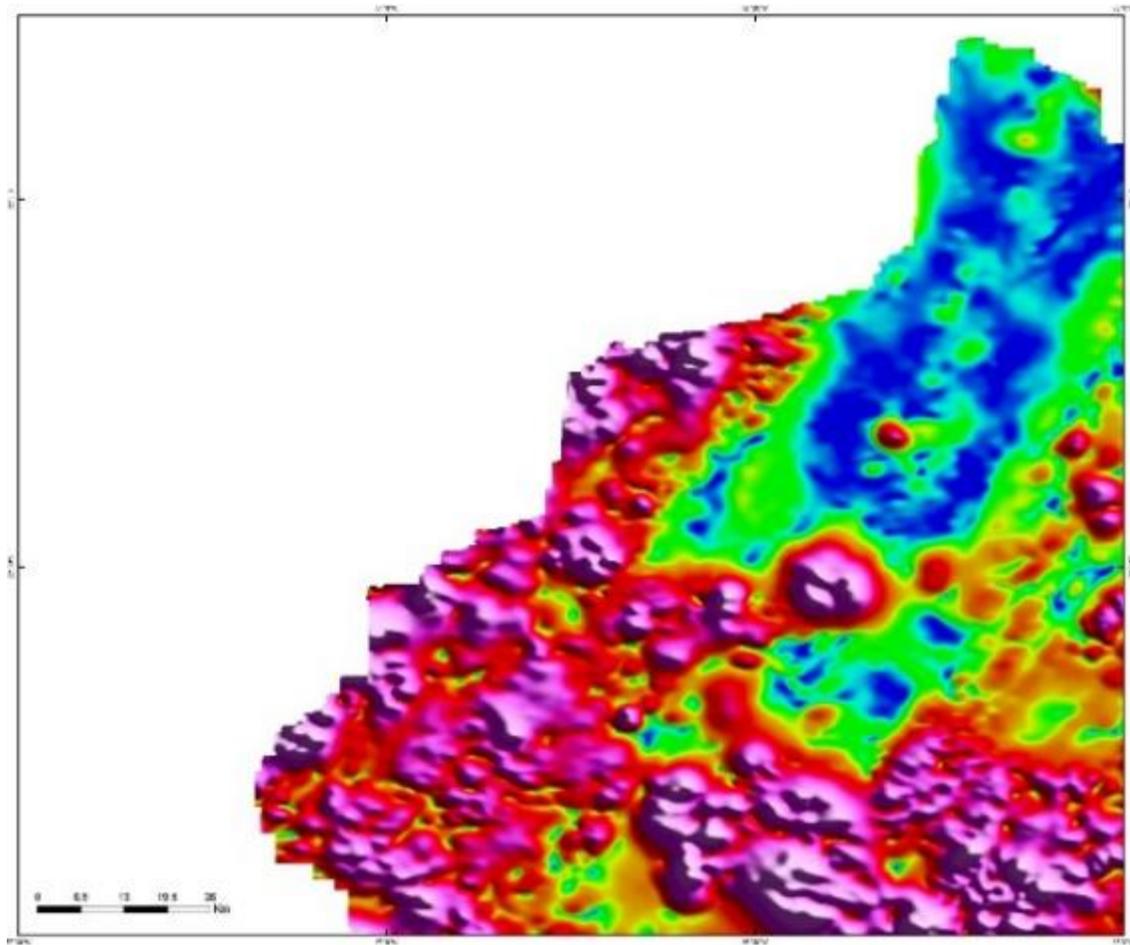
- **Interpretación**

A partir de las cinco grillas obtenidas se digitalizaron lineamientos magnéticos, estos lineamientos corresponden a rasgos lineales, que pueden deberse a distintas causas (estructuras, contactos litológicos, variaciones en el basamento magnético, entre otras). Se delimitaron también las principales anomalías individuales, utilizando la **señal analítica** para determinar la posición de las fuentes que las generan. Para identificar las anomalías individuales de fuentes ubicada a una profundidad mayor que la cobertura volcánica superficial, se realiza el procesado conocido como **continuación ascendente**, que permite obtener una grilla equivalente a la que se obtendría si se hubiera volado a 1000 metros de altura, en lugar de los 137 m a los que se realizó el relevamiento. Este procesamiento atenúa la señal proveniente de las fuentes más superficiales y permite identificar las anomalías de fuentes más profundas.

Con esta información se generó un “shapefile” de líneas para los lineamientos y una de polígonos para las anomalías, que se utilizaron posteriormente para la determinación y evaluación de las áreas de interés.



*Figura 8. Señal analítica del campo magnético total.*



*Figura 9. Señal analítica del campo magnético total con continuación ascendente de 1000 metros.*

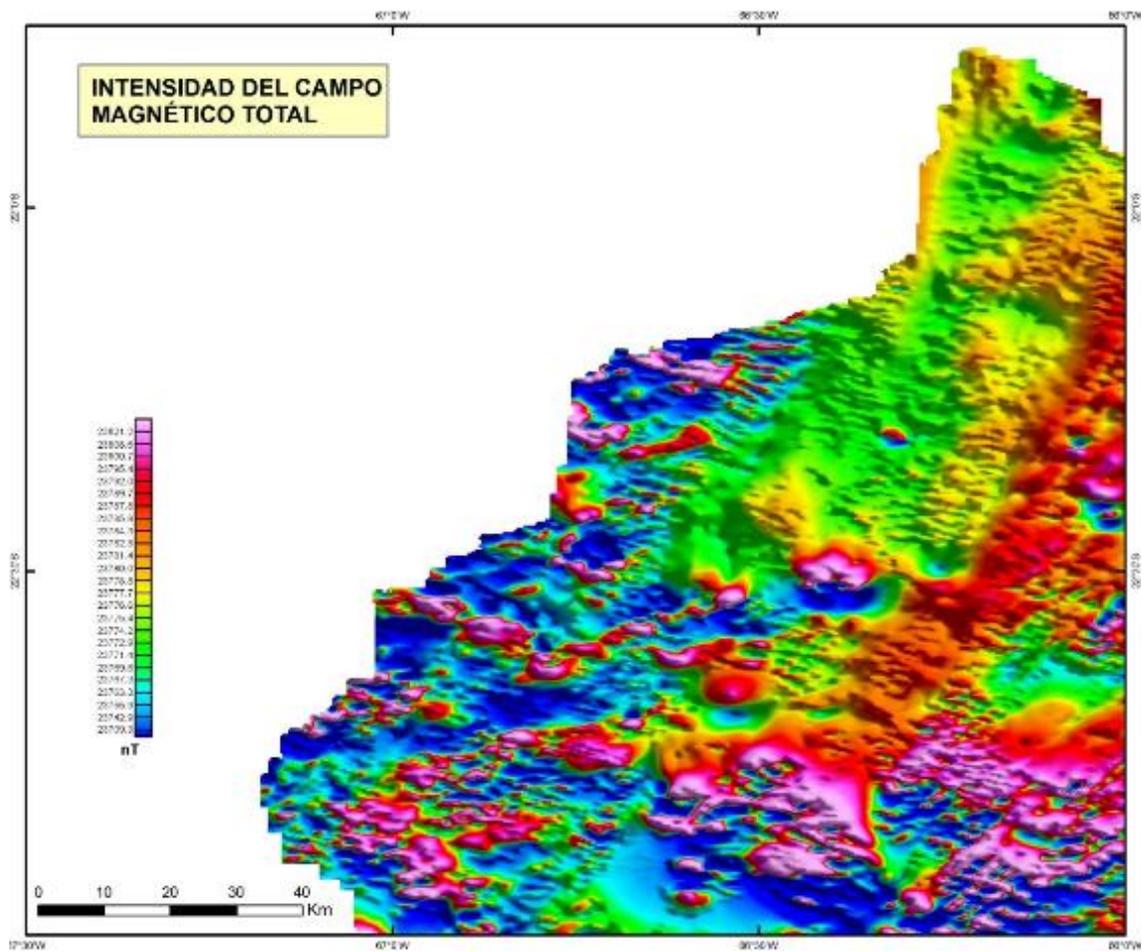


Figura 10. Intensidad del campo magnético total.





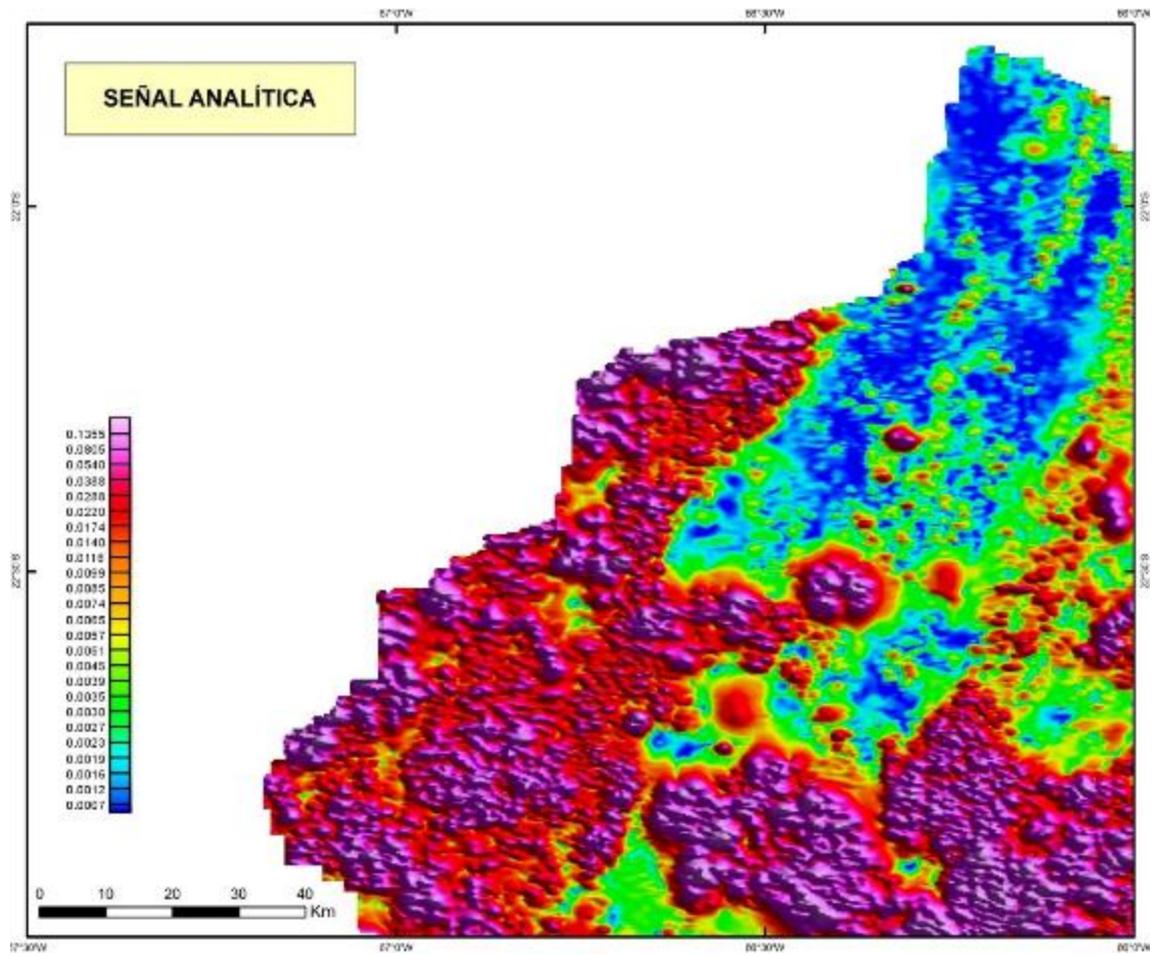


Figura 13. Señal analítica.

### 2.2.5. GEOQUÍMICA

Los datos geoquímicos utilizados provienen del Atlas Geoquímico de Sedimentos de corriente en el área de la Hoja Mina Pirquitas, Noroeste de Argentina (Carilla et al. 2016), resultado del proyecto de investigación geoquímico del Noroeste Argentino llevado a cabo en conjunto por el Servicio Geológico Chino y el Servicio Geológico Minero Argentino. La base de datos geoquímica cuenta con **2.470 muestras** con sus respectivas concentraciones de 39 elementos (Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, La, Li, Mo, Mn, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, Na<sub>2</sub>O y SiO<sub>2</sub>).

#### • PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Las muestras fueron tomadas a lo largo de cauces activos o del fondo de los lechos de canales fluviales modernos. Para asegurar la representatividad se tomaron muestras múltiples (3-5), en un radio de 30 a 50 metros de cada punto de muestreo. Las muestras fueron empaquetadas en bolsas de telas individuales, rotuladas con el número de muestra identificatoria. Asimismo se completó una ficha por muestra, detallando las características del muestreo.

#### • PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras fueron secadas al sol, frotándolas regularmente para evitar la formación de terrones. Una vez secas las muestras fueron tamizadas en tamices de acero inoxidable, limpiando el tamiz luego de cada pasada. Cada muestra fue conformada por 300 g de la fracción granulométrica pasante de la malla #10 (2mm) y retenida por la malla #60 (0,25 mm). Luego cada muestra fue cuarteada en dos muestras iguales de 150 g y empaquetadas en bolsas de papel.

#### • PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

En el laboratorio se molieron alrededor de 100 g de cada muestra hasta obtener partículas pasantes por el tamiz #200 (0,074mm). De estos 100 g se separaron:

- 5 g para análisis por fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar concentraciones de Ba, Cu, La, Mn, Nb, Ni, P, Pb, Sr, Ti, Y, Zn, Zr, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO y Na<sub>2</sub>O.
- 5 g para espectroscopia de fluorescencia atómica (AFS) para As, Hg y Sb.
- 20 g para análisis de oro mediante espectroscopía de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS) y para el análisis de flúor mediante el método del electrodo selectivo de iones (ISE).
- 5 g para espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para la determinación de Be, Bi, Cd, Co, Cr, Li, Mo, Ni, Th, U, V y W.
- 5 g para espectroscopía de emisión atómica (AES) para la cuantificación de Ag, B y Sn.

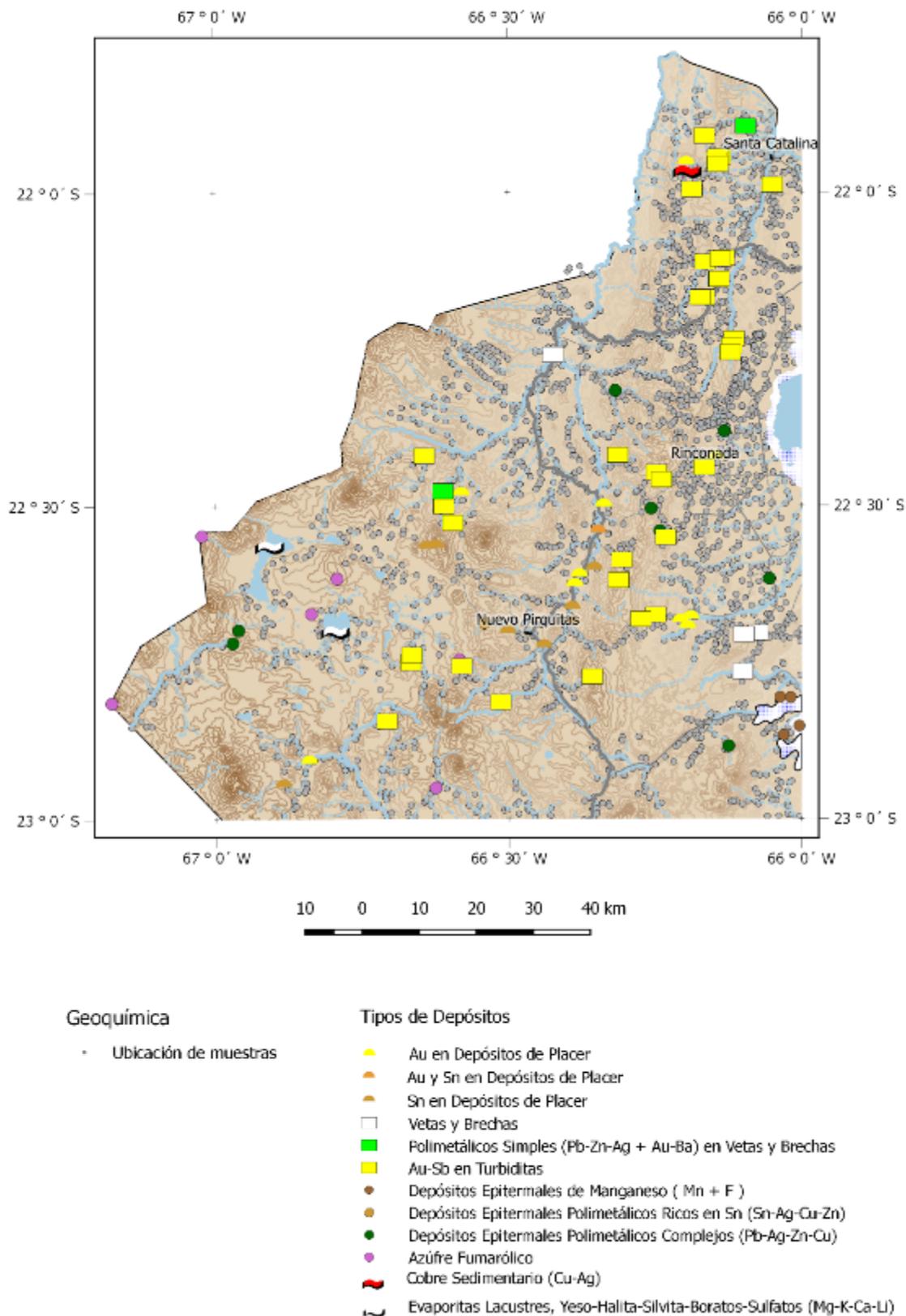
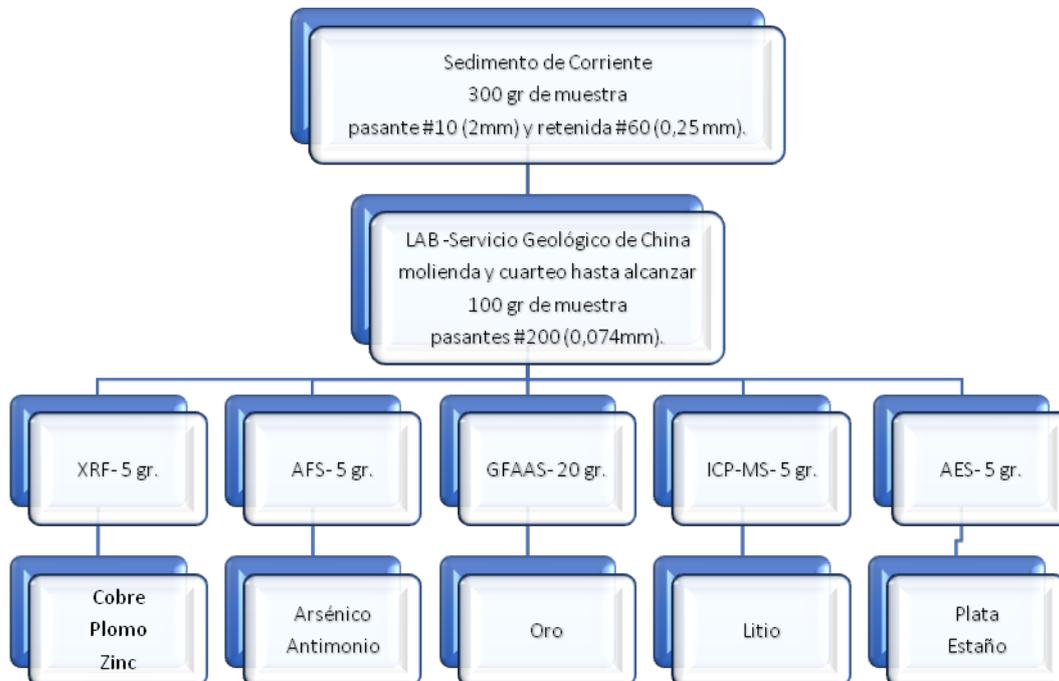


Figura 14. Mapa de ubicación del muestreo geoquímico de sedimento de corriente.

## PROCEDIMIENTO ANALÍTICO

Las muestras fueron analizadas en el Centro de Inspección y Supervisión de Recursos Minerales de Changchun, dependiente del Ministerio de Tierra y Recursos de la República Popular de China. Todos los parámetros de calidad utilizados se ajustan a los requerimientos de la Norma de Exploración Geoquímica Regional DZ/T0167-2006 de la República Popular de China. El detalle de los procedimientos analíticos, controles de calidad y límites de detección se encuentran descriptos en Carilla et al 2016.



*Diagrama 1. Flujo del muestreo, procedimiento y ensayos geoquímicos.*

### • PROCESAMIENTO DE DATOS

De los 39 elementos con los que se dispone ensayos geoquímicos, se realizó un análisis exploratorio de datos para los elementos Oro, Plata, Cobre, Plomo, Zinc, Estaño, Antimonio, Arsénico y Litio.

Para definir los valores anómalos de cada uno de ellos, se consideró al valor obtenido del percentil 90 como valor umbral de las anomalías, ajustando bajo una distribución logarítmica en base 10.

Posteriormente, las anomalías fueron volcadas en mapas temáticos, representando esferas de tamaño creciente en función de la concentración metálica.

Las poblaciones de datos anómalos, fueron divididas en cinco rangos, siguiendo el criterio de clasificación de Jenks o de división natural.

<i>Elemento</i>	<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Media</i>	<i>3er Cuartil</i>	<i>Máximo</i>	<i>Valor Umbral (log10)</i>
<i>Au (ppb)</i>	<i>0.269</i>	<i>0.5990</i>	<i>0.969</i>	<i>1.349</i>	<i>149.999</i>	<i>2,180</i>
<i>Ag (ppm)</i>	<i>0.020</i>	<i>0.0590</i>	<i>0.076</i>	<i>0.088</i>	<i>22.692</i>	<i>0.110</i>
<i>Cu (ppm)</i>	<i>2.099</i>	<i>8.199</i>	<i>14.461</i>	<i>26.157</i>	<i>91.727</i>	<i>31.821</i>
<i>As (ppm)</i>	<i>0.899</i>	<i>12.225</i>	<i>21.326</i>	<i>40.000</i>	<i>519.804</i>	<i>58.409</i>
<i>Sb (ppm)</i>	<i>0.150</i>	<i>0.789</i>	<i>1.743</i>	<i>3.250</i>	<i>192.796</i>	<i>6.580</i>
<i>Pb (ppm)</i>	<i>7.450</i>	<i>20.407</i>	<i>23.812</i>	<i>27.201</i>	<i>1073.742</i>	<i>31.504</i>
<i>Zn (ppm)</i>	<i>15.031</i>	<i>61.094</i>	<i>82.794</i>	<i>109.900</i>	<i>993.116</i>	<i>131.310</i>
<i>Sn (ppm)</i>	<i>1.000</i>	<i>2.999</i>	<i>3.684</i>	<i>4.400</i>	<i>219.988</i>	<i>5.199</i>
<i>Li (ppm)</i>	<i>13.001</i>	<i>38.815</i>	<i>47.533</i>	<i>57.676</i>	<i>273.526</i>	<i>66.487</i>

*Tabla V. Estadísticos. Definición de los umbrales geoquímicos.*

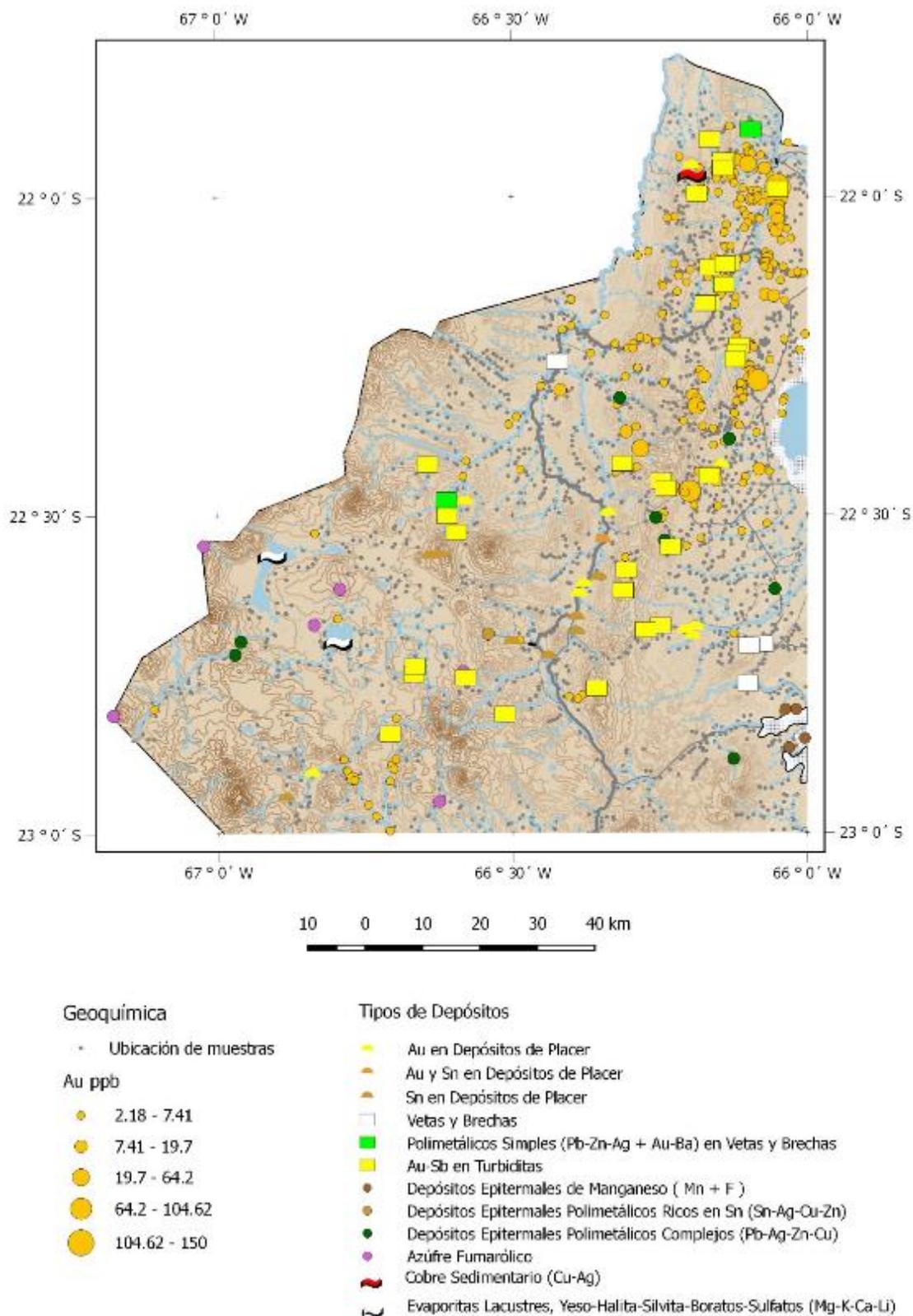


Figura 15. Anomalías geoquímicas de Oro en muestras de sedimentos de corriente.

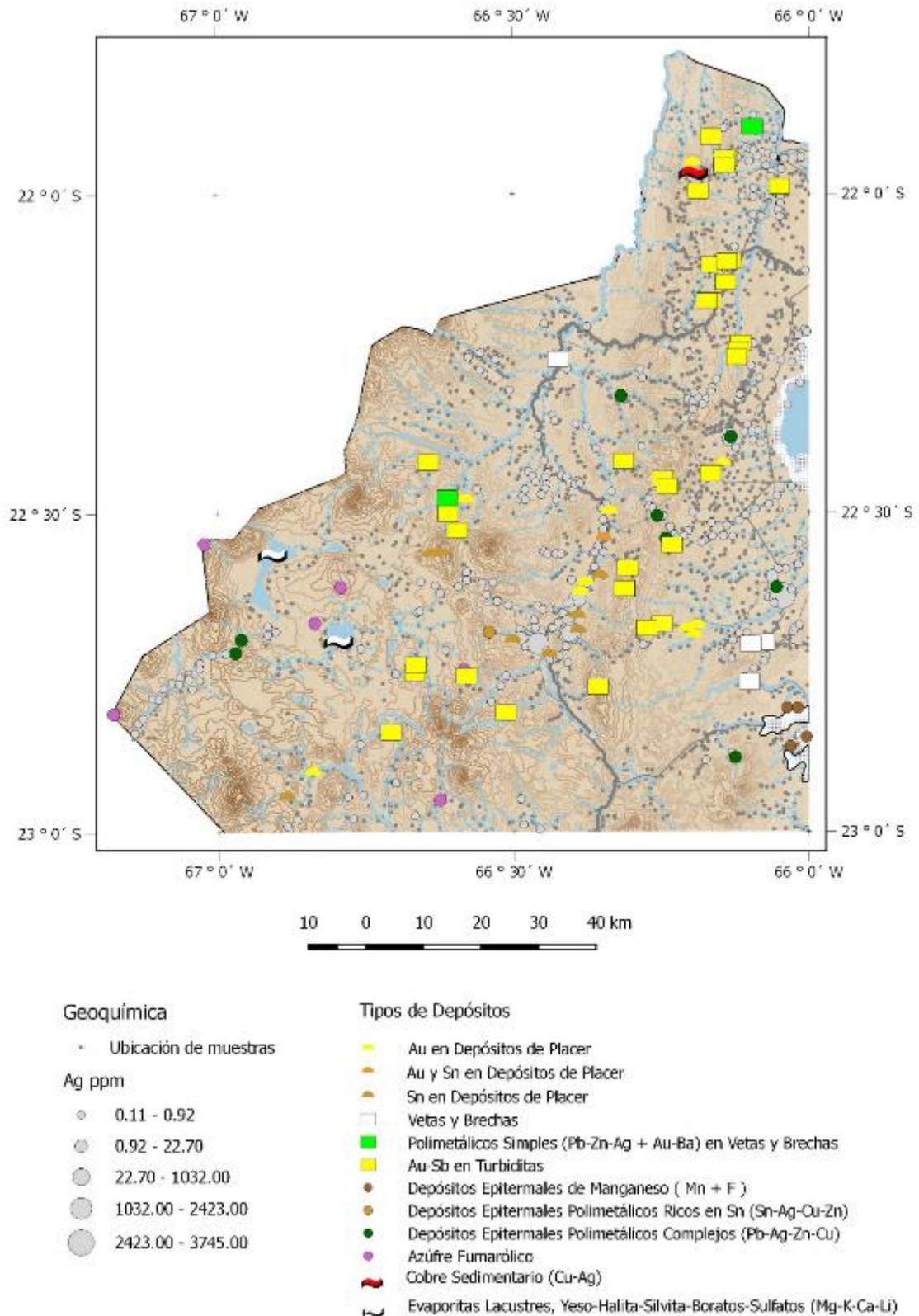


Figura 16. Anomalías geoquímicas de Plata en muestras de sedimentos de corriente.

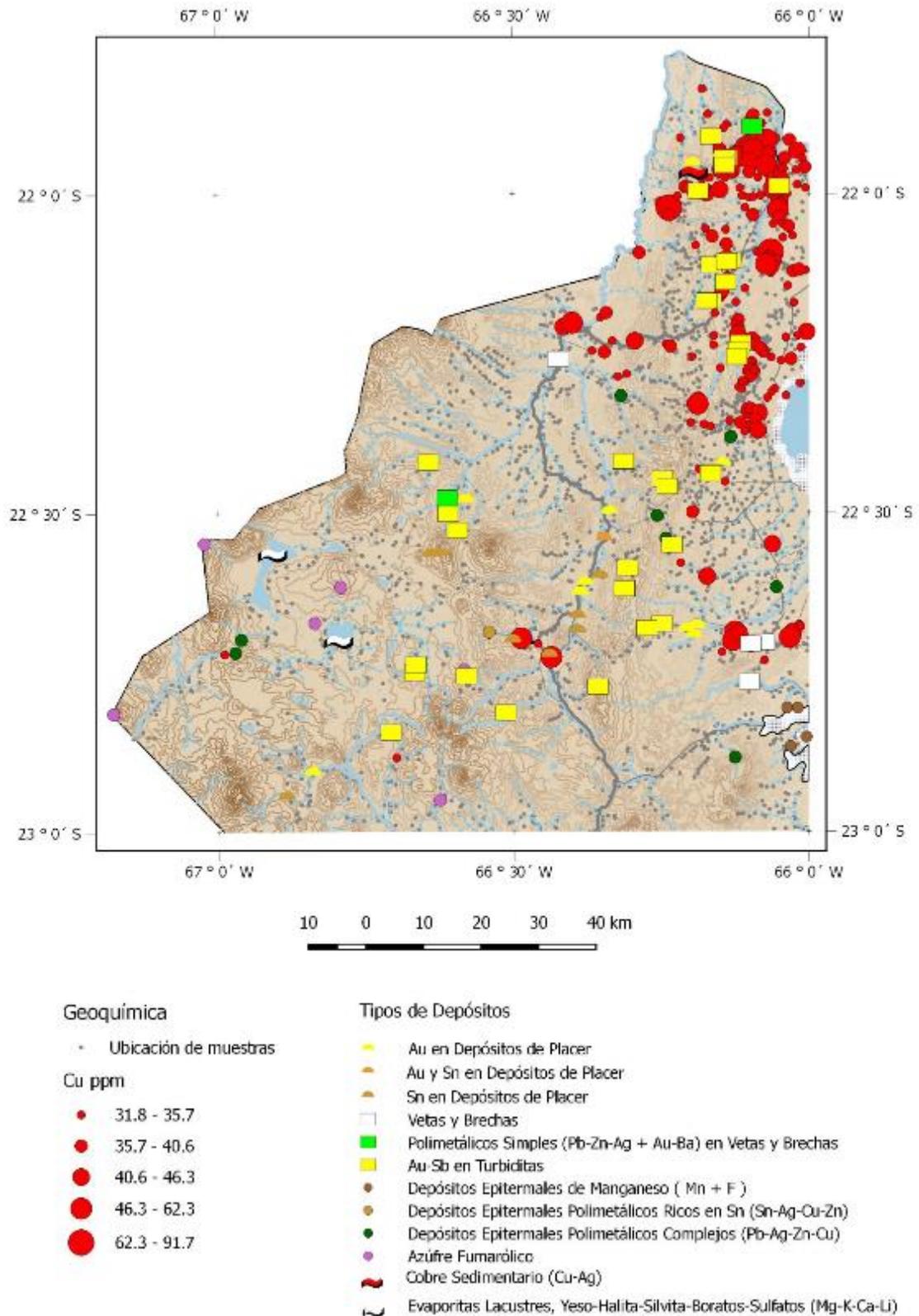
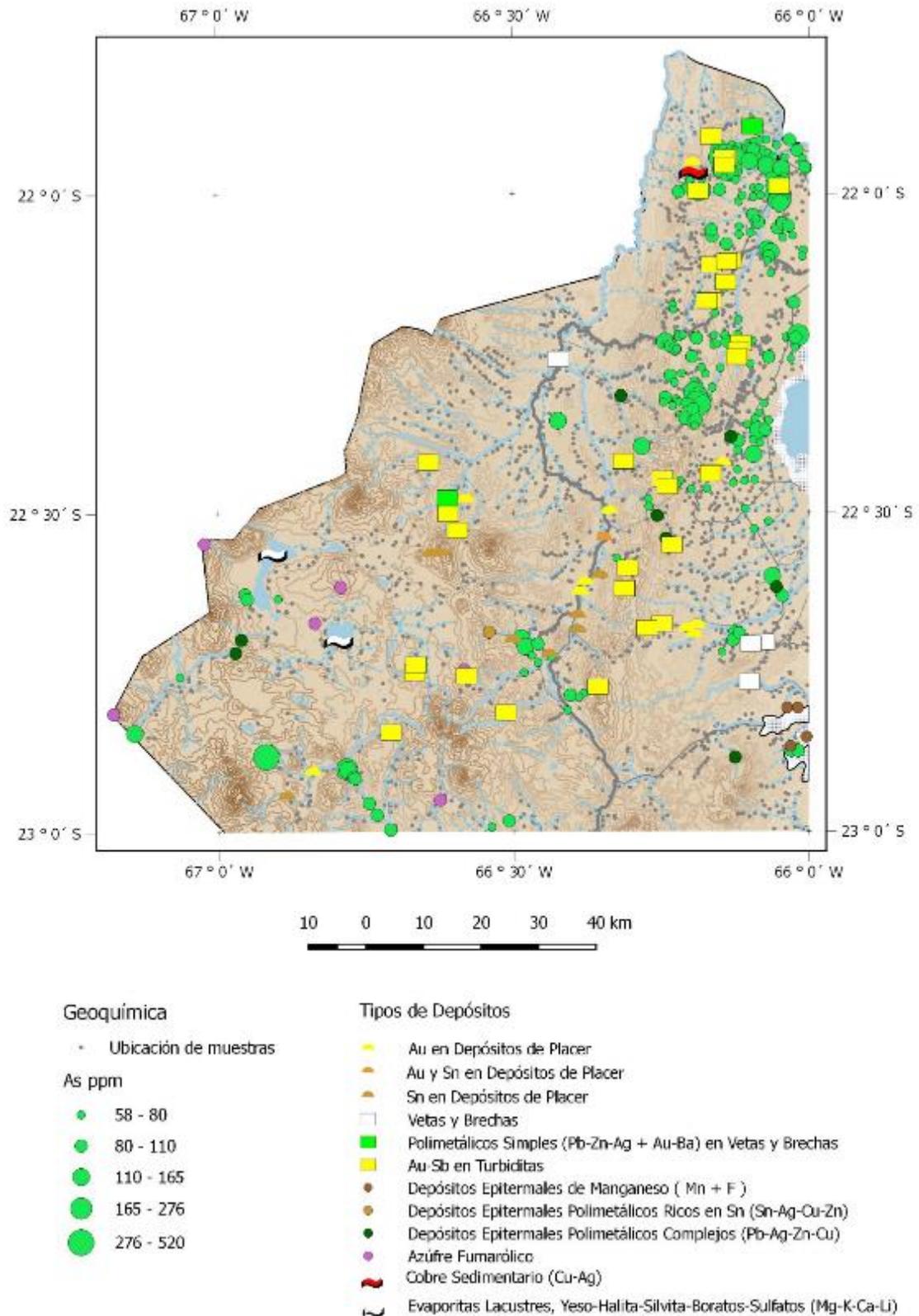


Figura 17. Anomalías geoquímicas de Cobre en muestras de sedimentos de corriente.



**Figura 18. Anomalías geoquímicas de Arsénico en muestras de sedimentos de corriente.**

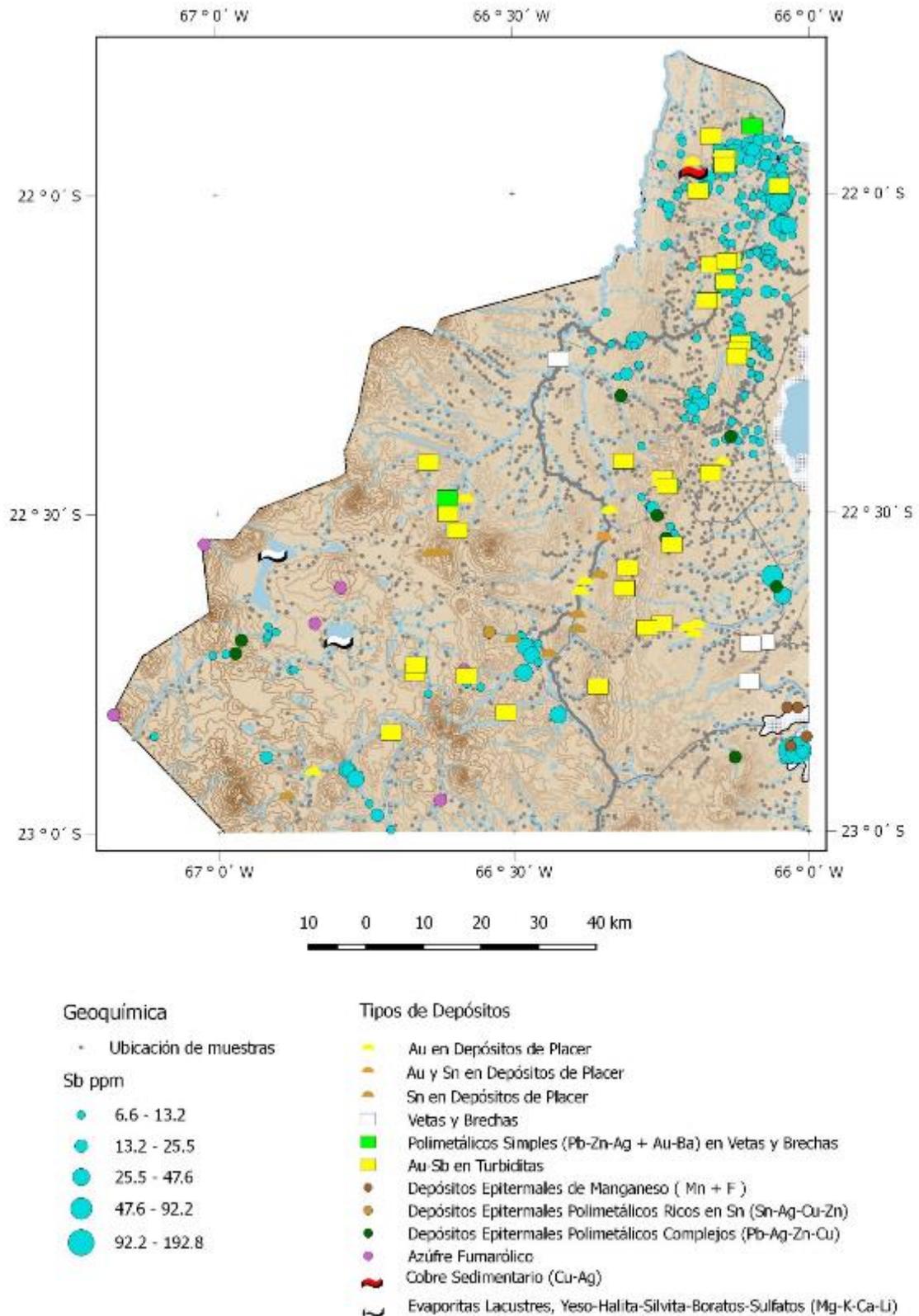


Figura 19. Anomalías geoquímicas de Antimonio en muestras de sedimentos de corriente.

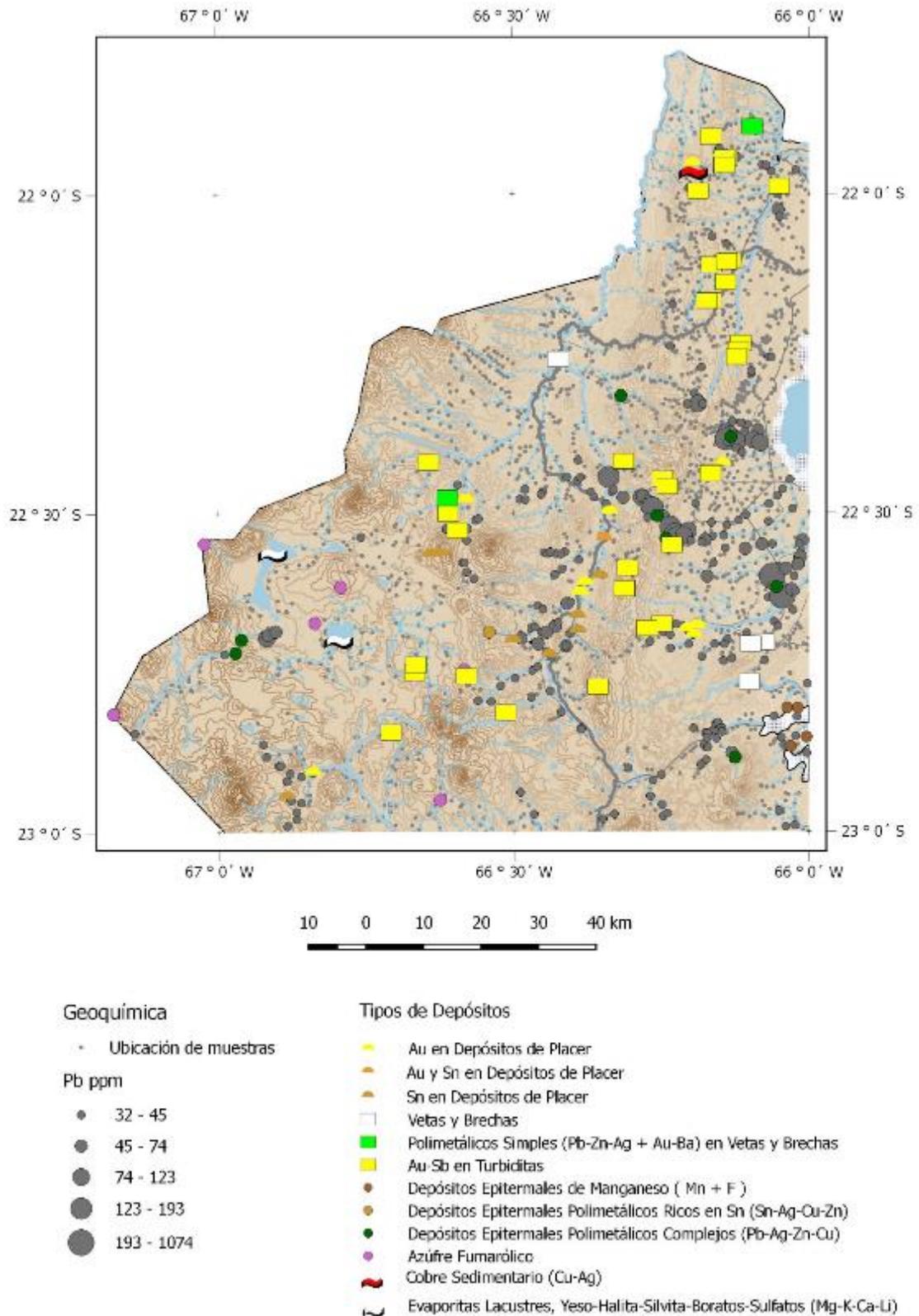


Figura 20. Anomalías geoquímicas de Plomo en muestras de sedimentos de corriente.

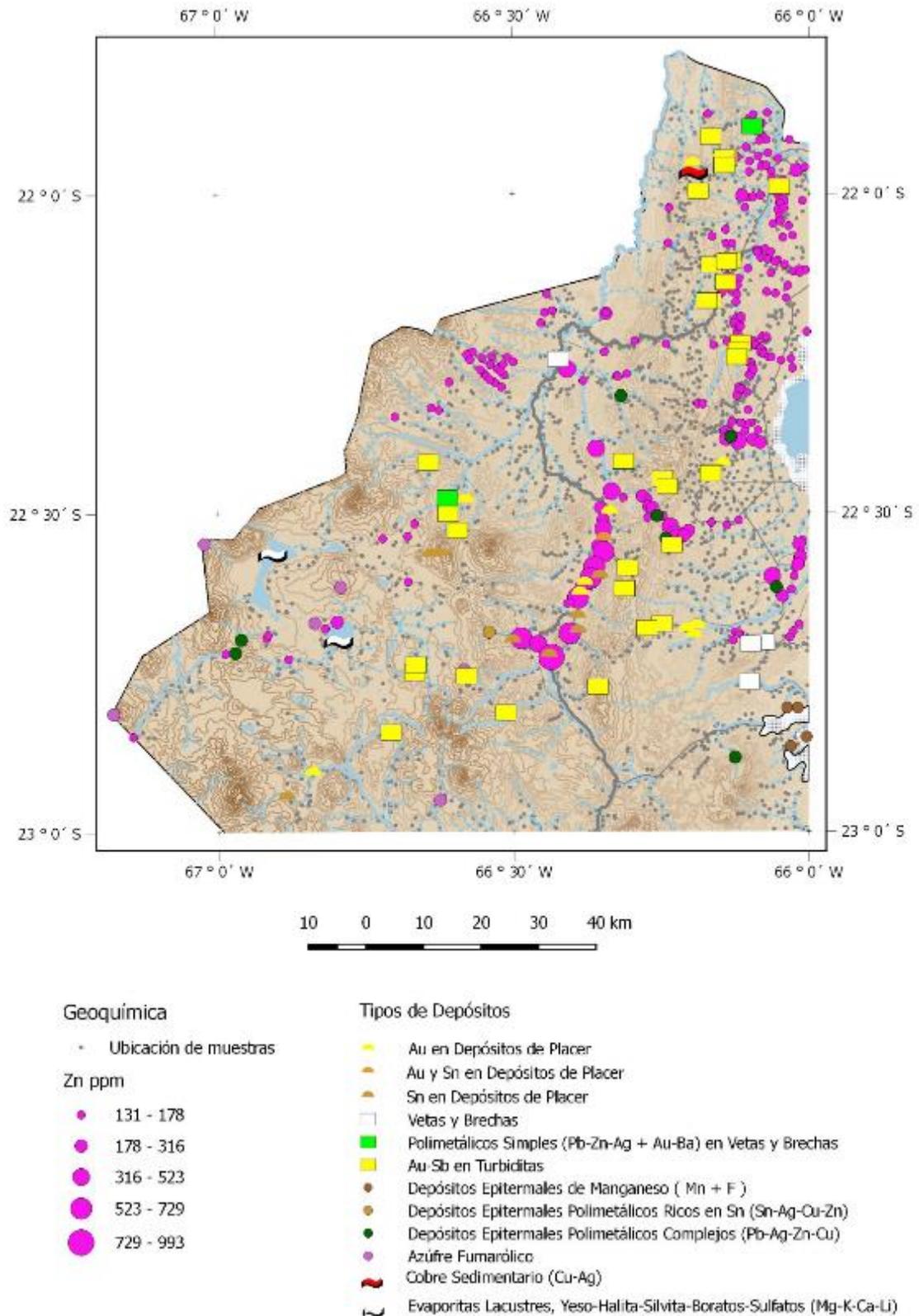


Figura 21. Anomalías geoquímicas de Zinc en muestras de sedimentos de corriente.

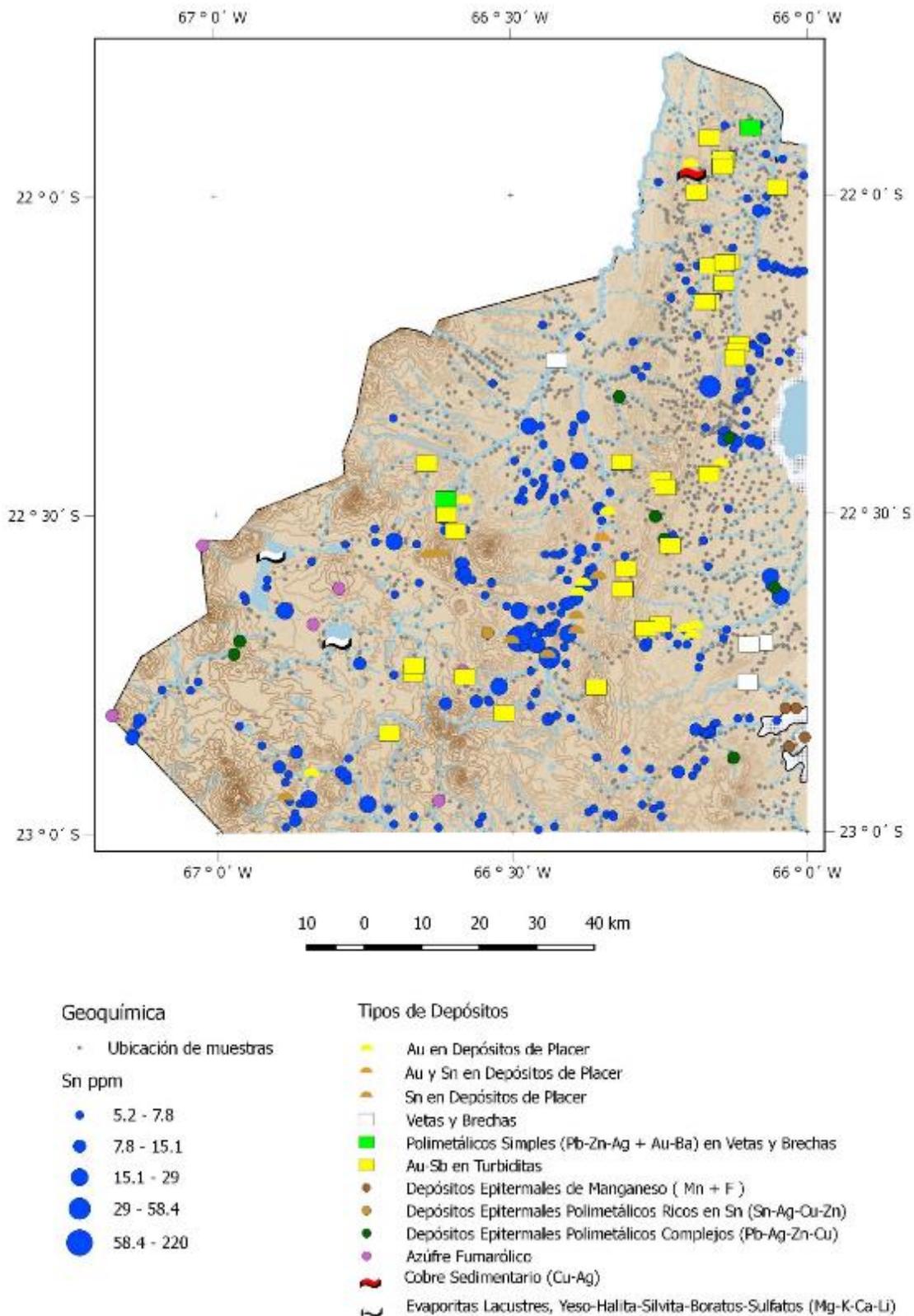


Figura 22. Anomalías geoquímicas de Estaño en muestras de sedimentos de corriente.

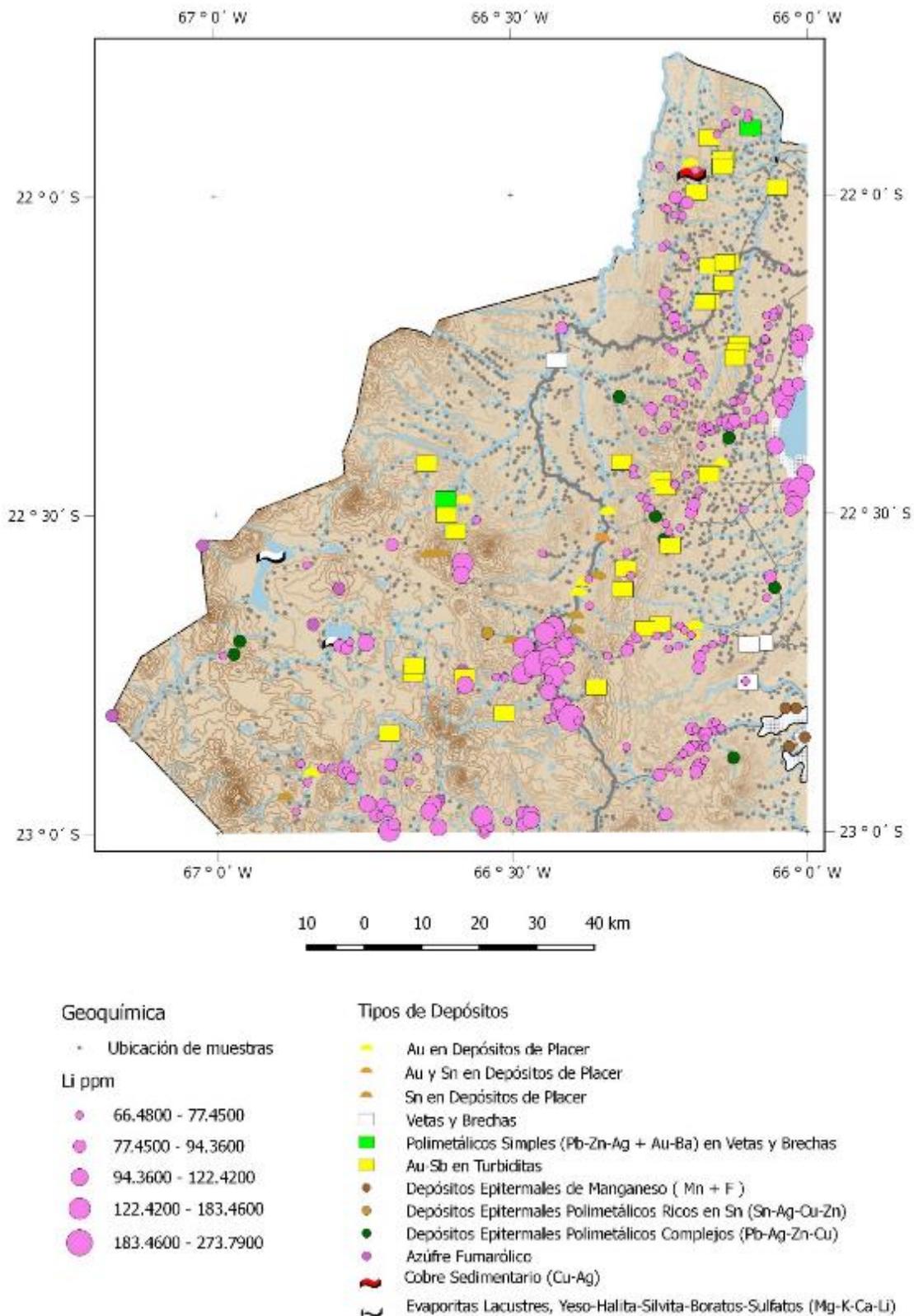


Figura 23. Anomalías geoquímicas de Litio en muestras de sedimentos de corriente.

### **3. MARCO GEOLÓGICO Y METALOGENÉTICO**

La Puna constituye la terminación austral de la alta plataforma de los Andes centrales mejor conocida a escala continental como Altiplano, directamente relacionado al arco volcánico cenozoico. El Altiplano- Puna constituye el más importante plateau en márgenes no-colisionales y por sus dimensiones es uno de los rasgos geológicos destacados de nuestro planeta.

La Puna, desarrollada fundamentalmente en territorio argentino, es claramente diferenciable del Altiplano propiamente dicho, el cual alcanza mejor representación en Bolivia y Perú. Como provincia geológica en el sentido de Turner (1972), fue dividida en dos regiones o sub- provincias, Puna Austral y Puna Septentrional según el mega- lineamiento de Calama- Olacapato- Toro, también conocido como "COT". Dicho lineamiento, responde a una mega- fractura regional, con rumbo ONO-ESE, formando parte de varias estructuras que se repiten a lo largo del eje cordillerano.

El sector comprendido en este estudio pertenece a la Sub- provincia Geológica Puna Septentrional. Los rasgos más sobresalientes son los cordones serranos de orientación casi N-S de Quichagua-Queta y Rinconada-Carahuasi. Tiene un relieve volcánico que alcanza los 4000 m de altura promedio en el sector occidental, en las regiones limítrofes con Chile y Bolivia, alcanzando su máxima altura en el Nevado de San Pedro con 5900 m. En contrapartida se destacan los bajos de Pozuelos y Vilama.

#### **3.1. ESTRATIGRAFÍA**

Los primeros registros geológicos se iniciaron con la Formación Acoite, en el Arenigiano-Llanvirniano. Conformada por potentes secuencias arenoso-pelíticas, donde tienen características de ambiente de talud proximal-plataforma distal, interpretadas como sistemas turbidíticos. A su vez tuvo lugar un volcanismo de carácter bimodal asociado a un régimen extensional que podría haberse dado por un ambiente de subducción oblicua (Coira, et. al., 1982). La representación de este volcanismo es el Complejo magmático-sedimentario Cochinoca- Escaya, comprendido por volcanitas y rocas sub-volcánicas dacíticas y espilíticas sin- depositacionales inter- estratificadas con potentes sucesiones areno-pelíticas acompañadas de sills y diques básicos alcalinos, diferenciándose de las secuencias exclusivamente sedimentarias ordovícicas que conforman las sierras de La Rinconada, Pirquitas y Rosario de Coyaguaima. La base del complejo es desconocida y el tope coincide con una gran discordancia regional que lo pone en contacto con las rocas mesozoicas del subgrupo Pirgua.

Durante el Ashgilliano, se desarrolló una faja de intensa deformación producto de los movimientos orogénicos de la Fase Oclóyica, coincidente con el Complejo magmático-sedimentario Cochinoca- Escaya.

Los registros geológicos continúan en el Cretácico inferior- Eoceno medio con el Grupo Salta, de origen continental y marino de aguas someras. El Subgrupo Pirgua, representa un estadio sinrift de la cuenca cretácica del noroeste argentino, está constituido por conglomerados morados que gradan a areniscas y limo- arcillitas, en sectores con intercalaciones de mantos lávicos traquiandesíticos.

La estratigrafía continúa con secuencias clástico- carbonático del Grupo Balbuena, que representan la ingresión marina de la cuenca y la colmatación de la misma.

Durante el Eoceno superior- Oligoceno inferior y con la Fase tectónica Incaica, comenzó la depositación de secuencias clásticas de la Formación Peña Colorada, siendo la unidad sedimentaria terciaria de mayor extensión areal en este ámbito. La sierra de la Rinconada actúo como un límite importante en la depositación de esta unidad, ya que hacia el este de la sierra no se observaron registros hasta el momento.

En el Oligoceno superior- Mioceno inferior, con la Fase Pehuenche tuvo lugar la formación de cuencas inter- montanas en donde se depositaron secuencias clásticas con volcanitas calcoalcalinas de la Formación Moreta.

La evolución de la Puna durante el Cenozoico estuvo dominado por un régimen tectónico compresional de subducción de bajo ángulo, que caracteriza la historia magmática neógena.

Las etapas iniciales del volcanismo neógeno temprano incluyen tanto eventos intrusivos como sub- aéreos, pero con amplio predominio de representantes volcánicos. Durante el Mioceno medio-superior tuvieron lugar los episodios más importantes de acortamiento y engrosamiento cortical en la Puna (Fase Quechua). En el Mioceno superior, durante el lapso 10 a 5 Ma. se instauró en la región un voluminoso e intenso volcanismo caracterizado por erupciones predominantemente ignimbríticas.

Su emplazamiento se desarrolló bajo un activo régimen de subducción de ángulo creciente en un margen compresional. Esfuerzos transcurrentes con extensiones de rumbo NNE-SSO y ejes de acortamiento con direcciones ONO-ESE, predominaron durante el Mioceno superior y facilitaron la localización de parte de los centros volcánicos megacaldéricos en condiciones transtensivas.

Estos centros caldéricos tuvieron una amplia distribución a lo largo de cadenas transversales de rumbo NO-SE, siendo grandes exponentes de ello, las megacalderas de Vilama (~9,5 Ma.), Panizos y Coranzuli (~7-6 Ma.) – Rachaite.

En el Cuaternario tuvo lugar un alzamiento isostático acompañado de erosión, donde condiciones distensivas favorecieron la depositación de aluvios y coluvios modernos y recientes, y posteriormente lagunares y evaporíticos.

Esta estratigrafía está basada en la Hoja Geológica Mina Pirquitas 2366-I / 2166-III, (Coira B., et. al., 2004)

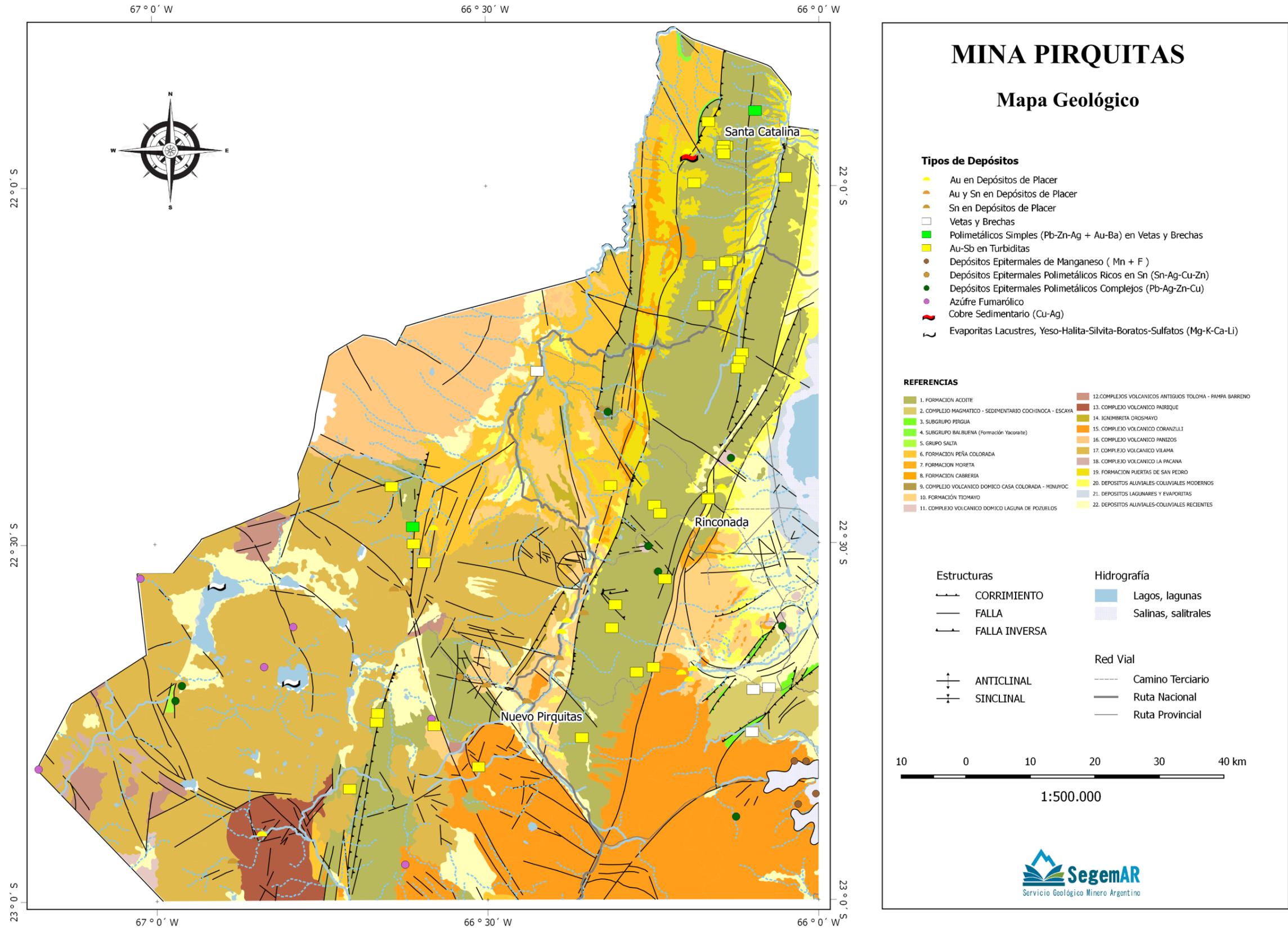


Figura 24. Estratigrafía de la Hoja Mina Pirquitas.

### **3.2. UNIDADES TECTONOESTRATIGRÁFICAS**

Para facilitar el análisis integrado de la geología y su vinculación con los depósitos minerales, las unidades estratigráficas fueron agrupadas siguiendo un criterio de clasificación tectonoestratigráfico (figura 25). De este modo las unidades asignadas corresponden a:

#### **3.2.1. Vulcanismo Bimodal sin- sedimentario Ordovícico**

Con posibilidad de alojar mineralización volcanogénica submarina de tipo Kuroko (aunque sin indicios aún en el área de estudio). Las evidencias de vulcanismo submarino sin- sedimentario se extienden en forma reducida en el extremo SE del área de estudio, en el Complejo Escaya-Cochinoca.

Unidad de interés: complejo magmático- sedimentario Cochinoca-Escaya

#### **3.2.2. Depósitos de Talud Ordovícico**

Deformados en la fase Oclóyica. Se define sobre unidades de sedimentitas de talud formadas en el ámbito del arco famatiniano en el Ordovícico medio, y afectadas por la fase diastrófica Oclóyica (Aschgilliano), con las cuales se asocian depósitos de Au de tipo orogénico, muy numerosos en el ámbito de trabajo, que aloja mineralización de oro-antimonio.

Unidad de interés: Formación Acoite

#### **3.2.3. Sedimentación Mesozoico- Terciario de Cuenca de Rift**

Esta unidad está compuesta por el Subgrupos Pirgua, Balbuena y Santa Bárbara, representando el régimen tectónico extensional de retroarco desarrollado entre el Cretácico inferior y el Eoceno. También incluye a las sedimentitas clásticas de la Formación Peña Colorada, del Oligoceno.

#### **3.2.4. Arco Magmático Neógeno**

La Faja del Arco Magmático Neógeno (Zappettini, 1999) fue definida a escala 1:2.500.000 a partir del extenso vulcanismo, areal y temporal, sucedido entre 13 y 3 Ma en Puna norte, la cual puede ser discriminada en dos unidades tectonoestratigráficas:

**1. Vulcanismo dómico del Oligoceno superior- Mioceno medio.** Con los complejos volcánicos de morfología dómica, la mayoría de ellos del Neógeno temprano (Oligoceno superior – Mioceno medio), se asocian numerosos depósitos epitermales polimetálicos de metales base (Pb, Zn, Cu) ricos en metales preciosos (Au-Ag) o con altos tenores de Sn (Caffe y Coira, 1999, 2008). El evento mineralizante temprano que sucedió en el Mioceno medio (13-11 Ma), lapso de gran significado en la evolución cenozoica superior de la Puna Norte, está representado por depósitos epitermales de metales básicos ricos en Ag o portadores de Au y Ag, asociados a sistemas dómicos extrusivos.

Unidad de interés: Complejo Volcánico Dómico Laguna de Pozuelos

**2. Vulcanismo Mioceno superior al Plioceno.** El Mioceno superior (10-6 Ma), período que incluye el climax del magmatismo ignimbrítico del Cenozoico superior en la región, el voluminoso volcanismo andino que construye gigantescos centros caldéricos desde los 20º a 23º sur, se manifiesta en el área de la Hoja Mina Pirquitas con las megacalderas de Vilama, Panizos y Coranzuli-Rachaite.

El magmatismo post-colapso se habría prolongado durante el Plioceno, en el lapso 5 a 3 Ma (Coira, 1999), y con él se asocian depósitos epitermales de metales básicos y preciosos, vetiformes o vinculados a brechas hidrotermales, además de manifestaciones de Azufre exhalativas, y posiblemente de Sn-Fe; aunque el potencial minero de la faja para este tipo de mineralizaciones es aún poco conocido.

Unidades de interés: desde el Complejo Volcánico Antiguo Toloma hasta Ignimbrita Atana

### **3.2.5. Depósitos Aluviales y Coluviales del Terciario- Cuaternario**

El área de dispersión y posible acumulación que define la faja para el modelo de depósito aurífero, es muy amplia, al abarcar los afloramientos de rocas ordovícicas (la totalidad de la Sierra de Rinconada-Carahuasi-Santa Catalina desde el límite norte hasta el límite sur de la Carta, y desde el borde oriental del mencionado cordón de sierras hasta los que alcanzan 66º 45' oeste) y los depósitos terciarios de la Formación Peñas Coloradas. La Sierra de Santa Catalina - Rinconada - Carahuasi es considerada un área con mineralización aluvional significativa. Aluviones auríferos se distribuyen en ambos flancos de la sierra, siendo más ricos los localizados aguas debajo de las vetas auríferas, entre los que se destacan los de Rinconada-El Cóndor y Santo Domingo, en el flanco oriental, y Ajedrez, Oros mayo y Eureka en el flanco occidental de la sierra.

El lapso que va del Mioceno Medio al Reciente se particulariza por una metalogénesis detrítica muy productiva en cuanto a oro y estaño se refiere. A este ciclo exógeno de degradación y agradación de materiales auríferos y estanníferos procedentes de afloramientos primarios de las distintas épocas, se debe un gran número de placeres, la mayoría fluviales, sobrenriquecidos por una neotectónica intensa y recurrente.

Unidades de interés: la totalidad de la sierra de Rinconada-Carahuasi-Santa Catalina, terciario y cuaternario sedimentarios. Formación Peñas Coloradas

### **3.2.6. Depósitos Evaporíticos del Holoceno.**

Los salares son el resultado de una larga evolución paleo- ambiental, que se inicia con la formación de lagos de agua dulce durante el Pleistoceno, los cuales se salinizan tempranamente hasta su desecación en el Holoceno (Igarzábal, 1984, 1991). El desarrollo congénito con el volcanismo llevó a una transferencia masiva de iones a las cuencas, cuyo resultado se expresa en importantes volúmenes de sales diversas, entre las que se destacan aquellas que contienen importantes concentraciones en metales alcalinos (Litio, Potasio y Magnesio).

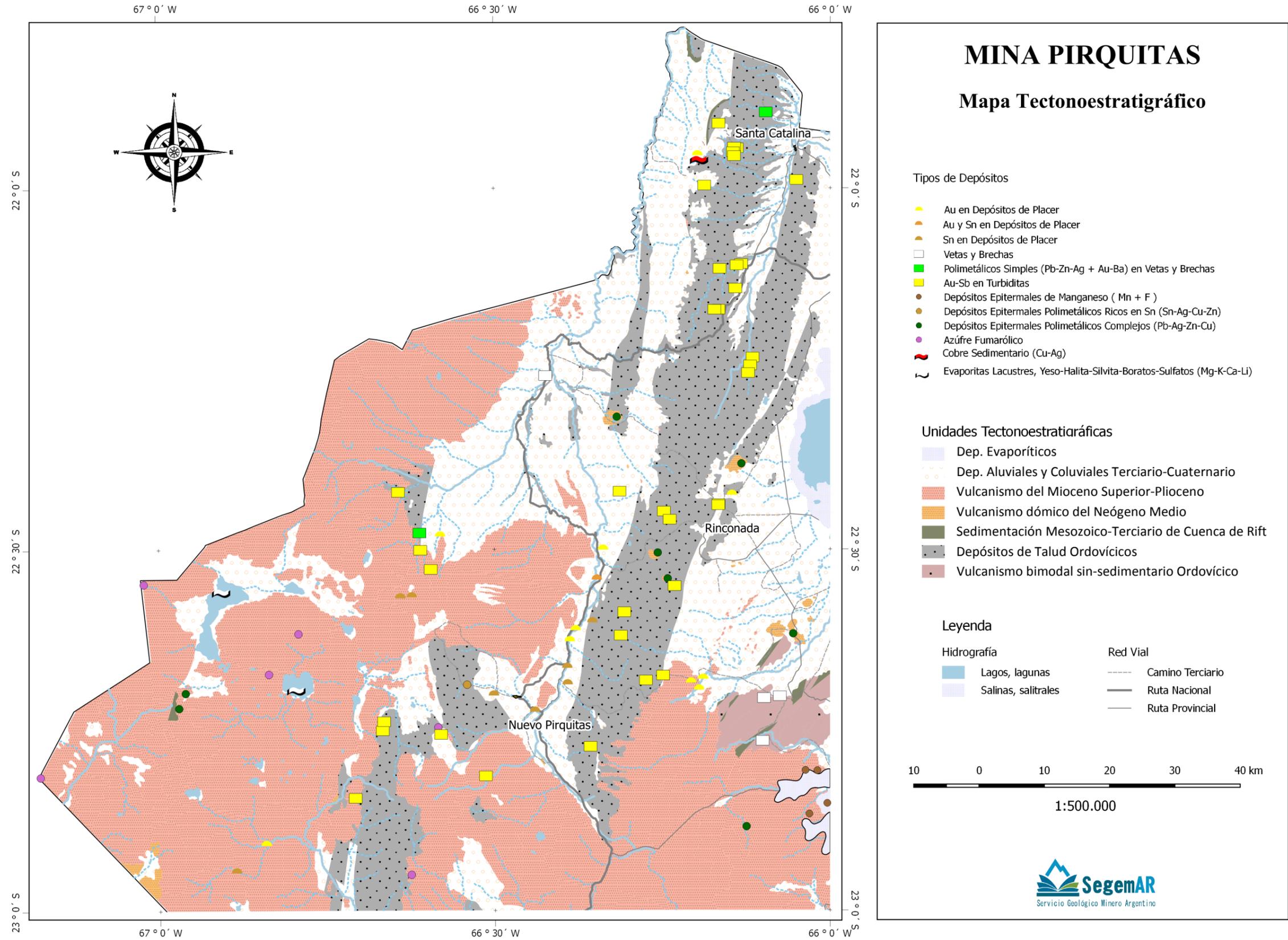
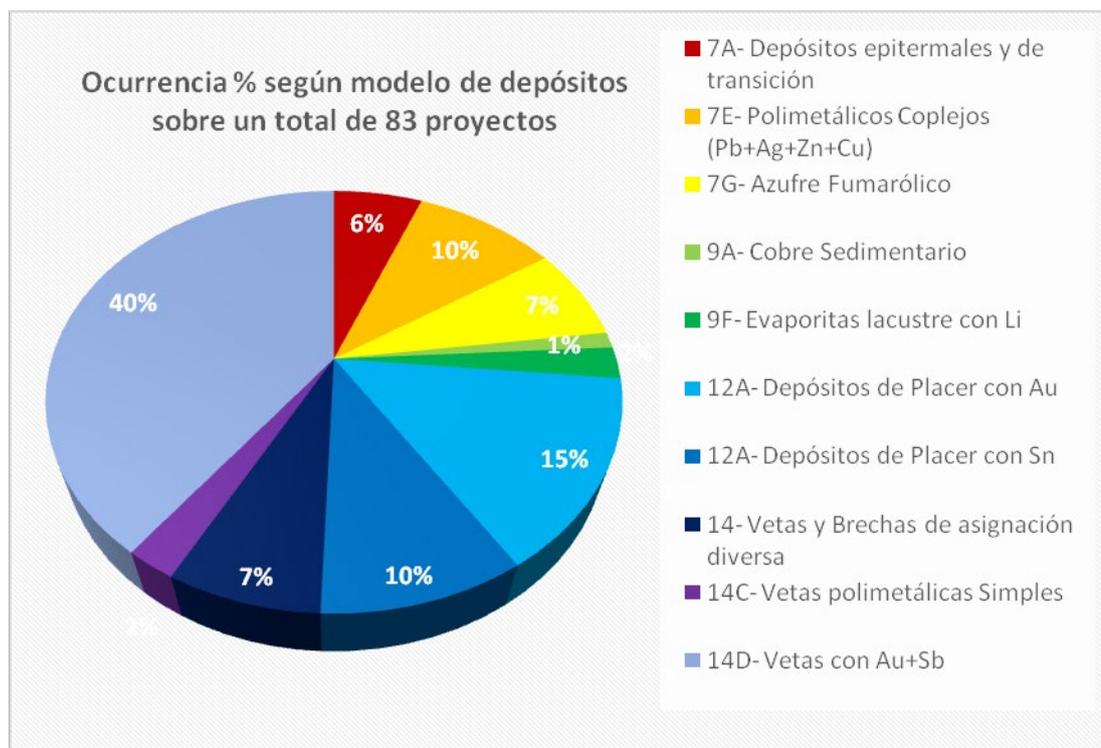


Figura 25. Mapa de unidades tectonoestratigráficas.

### 3.3. MODELOS DE DEPÓSITOS

Se identificaron en la Hoja Mina Pirquitas diez (10) modelos metalogénicos principales siguiendo la nomenclatura del SEGEMAR (1998), y que en orden de abundancia corresponde con: depósitos de “Vetas con Au-Sb en turbiditas”, que incluye treinta y tres (33) proyectos; depósitos de placer que incluye: “Aluvionales con Au”, con doce (12) proyectos y “Aluvionales con Sn”, con ocho (8) proyectos; seguido de ocho proyectos (8) “Polimetálicos Complejos”; seis proyectos (6) “Azufre Fumarólico”; cinco (5) proyectos correspondientes a “Epitermales” y otros seis (6) proyectos correspondientes a “Vetas y Brechas”; dos (2) “Polimetálicos Simple”, dos (2) “Evaporíticos de Litio” y un (1) proyecto tipo “Cobre Sedimentario”. A continuación se describe cada uno de ellos en orden de abundancia de ocurrencia:



**Diagrama 2. Ocurrencia porcentual de proyectos en función de los modelos de depósitos.**

#### 3.3.1. Vetas con Au-Sb en turbiditas

Los depósitos de Vetas con Au-Sb se desarrollan en los departamentos de Rinconada, Santa Catalina y Cochinocha; están asociados a rocas sedimentarias de la Fm Acoite, de edad Ordovícica, donde la mineralización de Oro-Antimonio se encuentra asociada principalmente a sistemas vetiformes relacionadas con silicificación, alteración argílica y sericítica. Rinconada, Santo Domingo, El Torno y Los Azules son los principales exponentes del modelo Au-Sb en vetas asociadas a turbiditas. Los depósitos consisten en vetas laminadas paralelas a la estratificación (ribbon quartz veins), vetas discordantes, vetas en zona de charnela (saddle reef) y oro diseminado con piritita y arsenopiritita. Frecuentemente se encuentran asociados a anticlinales, fracturas y zonas de cizalla brechizadas. La

mineralización hidrotermal consiste esencialmente en cuarzo con cantidades subordinadas de carbonatos, feldespatos, micas, pirita, arsenopirita, oro nativo, y sulfuros de Sb, Cu, Pb y Zn.

### **3.3.2. Aluviones de Au-Sn**

Los depósitos aluvionales de Au y Sn se presentan en los departamentos de Rinconada, Cochinoca y Santa Catalina donde la mineralización se hospeda en depósitos aluvionales y coluvionales conformando placeres de edad Plioceno-Pleistoceno. Sobresalen los depósitos de Santa Catalina, El Cóndor, Orosmayo (Au y Au-Sn) y Pircas (Sn), de tipo placer. La fracción de minerales pesados de las arenas contiene pirita hematitizada, magnetita, limonitas, granate, corindón, turmalina, monacita, oro y casiterita. Las pepitas de oro pueden alcanzar hasta 20 g en el material eluvial en cercanía a las vetas.

### **3.3.3. Polimetálicos Complejos**

Los depósitos Polimetálicos Complejos se encuentran principalmente en el departamento de Rinconada, y en menor medida en el departamento de Cochinoca. Los mismos están alojados en rocas sedimentarias del Subgrupo Balbuena del Cretácico, y rocas volcanoclásticas de la Fm Cerro Redondo, Fm Santo Domingo, Complejo Dómico Casa Colorada, Complejo Dómico Chinchillas y Complejo Volcánico Coranzuli, todos de edad Mioceno Medio. La mineralización de Ag -Pb-Zn conforma brechas, stockworks, vetas y diseminaciones, asociada a alteración feldespática, argílica, fílica, sílicea y propilítica.

Chinchillas exhibe un complejo dómico alojante del yacimiento que está constituido principalmente por piroclastitas (brechas, depósitos de flujos de bloques y ceniza, ignimbritas y tobas) que rellenan una depresión de origen magmático, de planta elíptica, elaborada sobre basamento ordovícico. La alteración hidrotermal afectó tanto a lavas dómicas como a las piroclastitas, aunque fue más importante en éstos últimos niveles, considerablemente más permeables. Se caracteriza por el desarrollo de una zona de alta temperatura, con neo- formación de adularia + cuarzo. En el sector central del complejo existe una zona coincidente con una fractura de rumbo E-O, brechada y silicificada -con menores proporciones de adularia. En profundidad, estas brechas de explosión hidrotermal están constituidos por rocas dacíticas e ignimbritas, así como fragmentos de sedimentitas del basamento ordovícico, mientras que su cemento está formado por cuarzo + mena polimetálica ± adularia. Otras brechas menos importantes se sitúan sobre Fm. Acoite, asociadas a fallas submeridionales y NE-SO, como también a fracturas de colapso de la estructura volcánica alojante. Sectores contiguos presentan sericitización y argilitización bastante intensas. Este tipo de alteración está sobrepuesto a la roca previamente feldespaticada y silicificada y respondería, junto al depósito de algunos carbonatos, a una etapa posterior y de menor temperatura de la alteración. Los episodios póstumos del sistema epitermal desarrollado en Chinchillas comprenden halos de Mn y Fe muy conspicuos y que afectan a la estructura de la brecha, a parte de las piroclastitas, como también al encajonante ordovícico del complejo. La mineralización de Chinchillas se asocia al episodio de mayor temperatura y de brechamiento hidrotermal incluye precipitación de pirita, calcopirita, blenda, oro, galena, pirargirita, proustita, freibergita, argentita, polibasita, jamesonita, antimonita y arsenopirita.

Cerro Redondo es un centro magmático de composición dacítica, implantado sobre basamento ordovícico en la margen oriental de la Sierra de Rinconada. Al igual que en el caso anterior, está compuesto por una base predominantemente piroclástica (brechas de explosiones hidromagmáticas), sobre la cual fueron extruidas lavas dómicas dacíticas. La alteración comprende una zona brechada central la cual es afectada por silicificación y turmalinización pervasiva, rodeada por un área feldespatizada, la cual fue casi totalmente obliterada por sericitización – argilitización y en posición distal un importante halo propilítico. La mena se depositó conjuntamente al brechamiento, turmalinización y silicificación, donde se distinguen al menos tres pulsos de mineralización.

1) Pirita, arsenopirita, menor magnetita y calcopirita, en asociación a la silicificación - turmalinización.

2) Precipitación de pirita y marcasita rellenando grietas, reemplazados luego por galena y esfalerita.

3) Tennantita y bournonita, con menores cantidades de proustita, sartorita, arsenopirita, marcasita<sup>2</sup>, pirita, greigita, enargita, calcopirita, bismutina, bismuto y oro nativo.

Pan de Azúcar es el más importante de los sistemas magmáticos mineralizados de la región. El yacimiento presenta al menos cinco cuerpos mineralizados, alojados en un intrusivo somero. La erupción fue controlada estructuralmente por fallas tensionales y por estructuras de origen magmático. Los estilos eruptivos sugieren presencia importante de agua como disruptora externa del magma. El criadero puede caracterizarse como un sistema epitermal polimetálico, con paragénesis de alteración hidrotermal del tipo adularia – sericita, y mena de Pb – Ag – Zn (Sn). Estudios de inclusiones fluidas realizados por Caffè sugieren la circulación de fluidos acuosos de origen magmático (salinos, con ~33% NaCl eq.) y fluidos diluidos de naturaleza meteórica (~1-7 % NaCl eq.) esencialmente a las mismas temperaturas (280<sup>o</sup>-260<sup>o</sup> C). Los mismos se habrían mezclado a profundidades propias de la mineralización económica.

El complejo dómico de Casa Colorada se vincula a una fractura N-S que eleva una escama de rocas ordovícicas a occidente de la Sierra de Rinconada. La unidad basal del complejo corresponde a tobas verdosas o moradas, producto de oleadas piroclásticas, seguidas de depósitos de flujos de bloques y cenizas de tonalidades rojizas. Por último se erupcionaron lavas dómicas dacíticas foliadas por flujo que construyeron un domo sub- circular. El complejo se apoya tanto sobre Fm. Acoite (Ordovícico) como sobre Fm. Peña Colorada (Terciario). La alteración hidrotermal está muy extendida, caracterizándose por la presencia de zonas brechadas de silicificación – feldespatización (cuarzo – adularia ± sericita), de forma elíptica y tamaño pequeño, alineadas en los bordes del domo lávico. Estas zonas rápidamente gradan hacia un halo propilítico de menor temperatura. Silicificación de menor temperatura (ópalo – tridimita – calcedonia) suele localizarse hacia el sector occidental del complejo, en la forma de enjambres de brechas, o bien como numerosas venillas y stockworks opalinos sin brechamiento hidrotermal. Sericitización y argilitizaciones menores generalmente se ven vinculadas a alteración supergénica en sectores fracturados del borde del domo. Episodios muy tardíos de circulaciones de aguas termales resultaron en depositación de boratos (bórax, ulexita, borcarita),

arcillas (caolinita) y travertinos alineados según una fractura ENE-OSO que margina por el sur al complejo. Los minerales de mena asociados son blenda, galena y pirita en pequeños stockworks, diseminadas en las tobas basales o en zonas de silicificación.

### **3.3.4. Depósitos epitermales de Mn y polimetálicos complejos ricos en Sn**

Los depósitos epitermales están integrados por manifestaciones ricas en Mn en el distrito minero de Rachaite, en el departamento de Cochinocha, y manifestaciones ricas en Sn en la Mina Pirquitas en el departamento de Rinconada.

En Rachaite, se asocian a rocas volcanoclásticas de la Fm Doncellas, Fm Vicuñaahuasi, Fm Alto Laguna y Complejo Volcánico Coranzuli, de edad Mioceno Superior. La mineralización se hospeda sobre lavas, brechas, tobas y piroclatitas que presentan una alteración argílica, silicificación y carbonatización. La mena está compuesta por psilomelano, criptomelano y óxidos de hierro formando vetillas, stockworks y brechas.

Por su parte Mina Pirquitas constituye un depósito polimetálico rico en Sn y Ag, con mineralización en vetas, vetillas, stockworks y diseminada, en caja de sedimentitas ordovícicas, fuertemente plegadas. La mineralización se ubica en varios juegos de fracturas, siendo las más importantes aquellas con orientaciones N 75° O y N 45° O. Se reconocen dos pulsos mineralizantes, el primero con minerales de altas temperaturas, representado por pirrotina, casiterita, pirita, arsenopirita y cuarzo, y un segundo de media a baja temperatura, como schalenblenda, galena, estannita, bismutina, calcopirita, sulfosales de Sb y Pb, teallita, cilindrita, sulfosales de bismuto, sulfosales de Ag y antimonita. El cuarzo cristalino, junto con la calcedonia en los niveles superiores del sistema, y la caolinita son los principales minerales de la ganga en las vetas y brechas mineralizadas. Los sulfuros principales, específicamente pirita, pirrotina, esfalerita y wurtzita, forman bandas coliformes paralelas a los márgenes de las venas y junto con las texturas de vetas crustiformes y drusas sugieren que la mineralización es de origen epitermal. Las texturas de la veta implican que la mineralización se depositó a partir de fluidos hidrotermales de temperatura relativamente baja a unos 500 m de la paleo- superficie. Asimismo, las evidencias mineralógicas sugieren que la temperatura inicial de los fluidos mineralizantes fue posiblemente superior a 400 ° C.

### **3.3.5. Azufre fumarólico**

Los depósitos de Azufre fumarólico se presentan en el Departamento de Rinconada, sobre unidades del Complejo Volcánico Vilama de edad Plioceno, alojados en lavas e ignimbritas de composición dacita a andesita. Los depósitos están integrados por una mineralización de Azufre nativo, yeso, hematita y casiterita como relleno de grietas y fisuras, en vetillas y como impregnaciones.

### **3.3.6. Cobre Sedimentario**

El depósito de cobre sedimentario de Eureka se encuentra en el departamento de Santa Catalina sobre los conglomerados de la Fm. Puertas de San Pedro de edad Mioceno superior, que integran una cuenca sedimentaria de 60 km de extensión N-S adosada al basamento ordovícico de la Puna. El Cu es de carácter secundario, epigénico, alojado en niveles de conglomerados permeables. En superficie se manifiestan siete blancos cupríferos y está conformado por una mineralización de malaquita, crisocola, cuprita, calcosita, cobre nativo y oro.

### **3.3.7. Vetas y Brechas de asignación genética diversa**

Se incluyen en este grupo a las brechas con hematita-goethita de El Sombrero y Peñas Negras, la veta argentífera de Peñasquina, las vetas con Pb-Zn-Ag de Tupiza y las vetas con antimonita de edad terciaria de Monserrat y Mina Coyaguaima. Estas se hospedan mayormente en rocas sedimentarias del Ordovícico con excepción de las vetas antimoníferas que también afectan a rocas terciarias.

### **3.3.8. Salmueras ricas en Litio**

Por último se presentan los depósitos relacionados con las salmueras ricas en Litio. La laguna Salina Vilama y Palar, con depósitos de evaporitas, se presenta como exponente potencial de esta mineralización, constituyendo un blanco exploratorio para mineralización del modelo en evaporitas lacustres.

El denominado informalmente “Triángulo del Litio” agrupa a los depósitos de salmueras ricas en Li asociadas a salares y lagunas salinas. Los vértices originales del triángulo estaban conformados por los salares de Uyuni (Bolivia), Atacama (Chile) y Hombre Muerto (Argentina) pero estudios prospectivos de los últimos años expandieron los límites del triángulo. En el Noroeste Argentino prácticamente todas las cuencas salinas de importancia de la Puna han sido y son prospectadas por Litio. El modelo de depósito es el mismo para todas las mineralizaciones: el litio lixiviado de las rocas volcánicas Neógenas o acarreado por fuentes termales asociadas a este volcanismo es llevado hasta el centro de cuencas endorreicas en regiones híper- áridas donde su alta solubilidad le impide precipitar en forma de sales, concentrándose así en las salmueras.

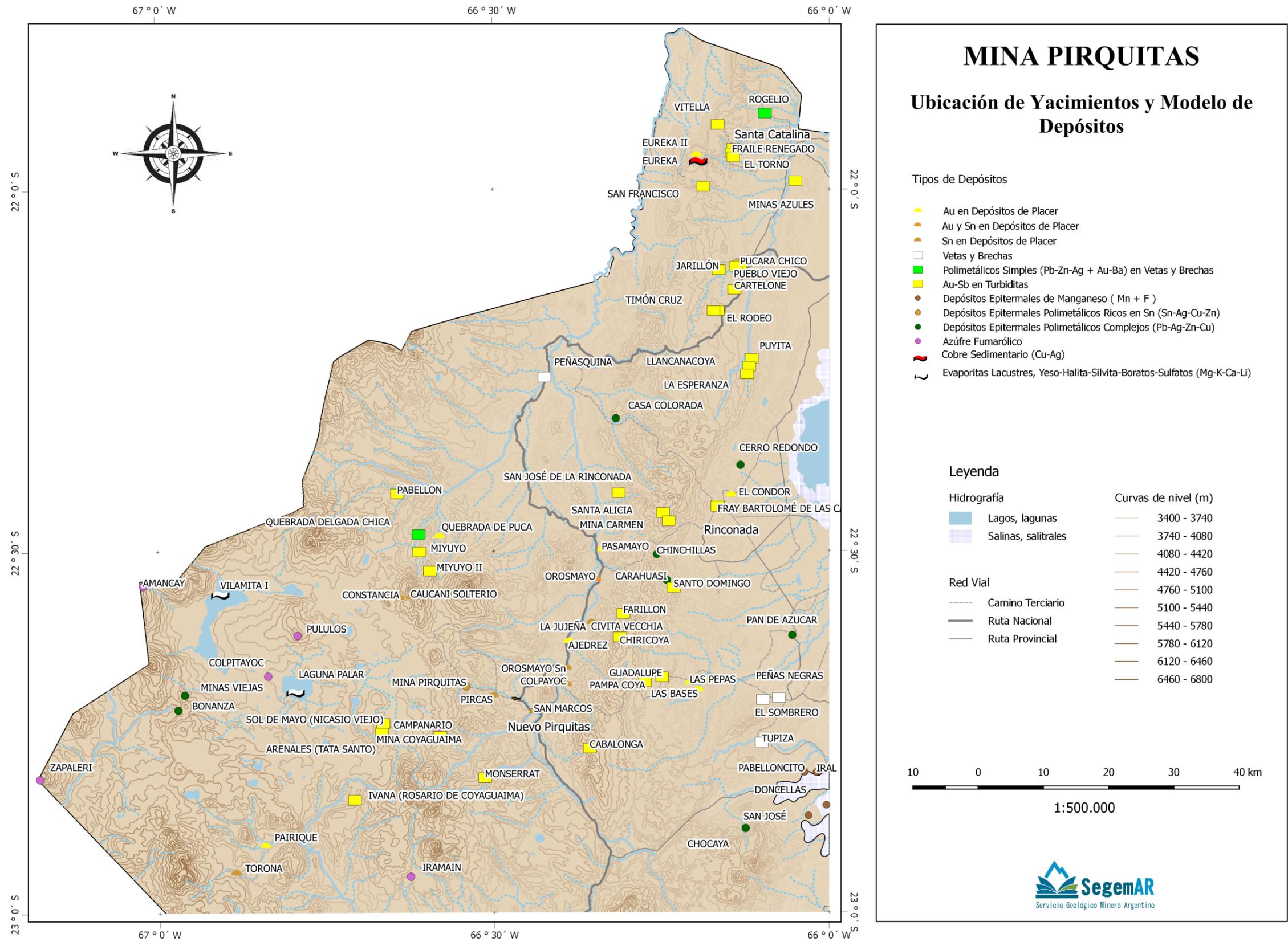


Figura 26. Clasificación de los depósitos conocidos en función del Modelos de depósitos.

### **3.4. METALOGENIA DE LA REGION FRONTERIZA ARGENTINA, CHILE, BOLIVIA, PERU**

La región de los Andes Centrales, posee significativos recursos minerales metalíferos e industriales. El noroeste de Argentina comparte con el oeste de Bolivia, el norte de Chile y el centro-sur de Perú una serie de fajas mineralizadas sub-meridianas originadas en el marco de la evolución geodinámica fanerozoica de los actuales Andes Centrales (Heuschmidt y Miranda-Angles, 2000). Esta parte de la cadena andina, que se extiende desde el norte de Lima hasta la latitud de Tucumán, se caracteriza por rasgos distintivos tanto orográficos como geotectónicos y metalogenéticos. Presenta una sucesión de oeste a este de arcos magmáticos subparalelos y, en relación con ellos, de fajas longitudinales amplias que se extienden hasta 600 km de la actual fosa de subducción.

Los recursos minerales metalíferos e industriales se pueden agrupar, en cuatro provincias metalogenéticas, caracterizadas cada una de ellas por uno o más tipos de yacimientos, los cuales se distribuyen en su interior y constituyen fajas metalogenéticas específicas de edad diversa, (Zappettini, et al., 2001):

- Provincia Cuprífera de La Precordillera
- Provincia Polimetálica del Altiplano – Cordillera Occidental
- Provincia Estannífera de La Cordillera Oriental
- Provincia Polimetálica Oriental

#### **3.4.1 Provincia Cuprífera de La Precordillera**

De importancia económica mundial, se distribuye en el sudoeste de Perú y norte de Chile y dentro de ella se reconocen tres fajas metalogenéticas vinculadas a arcos magmáticos extintos. Las edades disminuyen de oeste a este siendo los yacimientos más antiguos del Cretácico, continuando los del Paleoceno- Eoceno inferior y los del Eoceno Superior- Oligoceno inferior.

Cretácico inferior: corresponden a depósitos y ocurrencias minerales estratiformes y/o estratoligados, volcánico- exhalativos de cobre y cinc- baritina. Se localizan en el segmento central de Perú.

Los yacimientos más importantes son del Cretácico superior y se distribuyen al este de la franja de yacimientos del Cretácico inferior, en el sudoeste peruano y norte chileno. Se destacan importantes depósitos de tipo pórfido de cobre- molibdeno (oro) asociados a intrusivos, calderas y estratovolcanes formados durante el Cretácico superior- Paleoceno y Paleoceno- Eoceno inferior (63-52 Ma). Se disponen a lo largo de una faja de 1000 km y en Chile constituyen depósitos de tipo pórfido cuprífero de tamaño medio (< 10Mt). Ejemplos: Cerro Colorado, Spence, Sierra Gorda y Lomas Bayas.

Eoceno superior- Oligoceno inferior (42- 31 Ma): en este periodo se emplazaron a lo largo del eje de la cordillera de Domeyco un conjunto de pórfidos de cobre de clase mundial que concentran el mayor volumen de recursos cupríferos centroandinos con once megapórfidos. Ejemplos: Chiquicamata, La Escondida, Collahuasi, El Salvador, etc. Es importante destacar que estos pórfidos

muestran un importante perfil de oxidación-lixiviación- enriquecimiento supergénico, preservado por la extrema aridez y la baja tasa de erosión que caracterizaron a la región a partir del Mioceno medio.

En Argentina para esta faja hasta el momento, se incluye al pórfido Taca- Taca en la provincia de Salta.

### **3.4.2 Provincia Polimetálica del Altiplano – Cordillera Occidental**

En esta provincia metalogenética se encuentran diversos depósitos de plata- plomo- cinc, cobre, oro, oro- plata, estaño, uranio- cobre y hierro, distribuidos en la Cordillera Oriental y Altiplano-Puna. Incluye además yacimientos de minerales industriales como litio, azufre, boratos y sales.

Dentro de esta provincia se pueden distinguir dos fajas metalogenéticas principales:

a) La Faja Occidental comprende principalmente yacimientos epitermales de oro- plata y pórfidos de oro, con edades entre el Oligoceno y Plioceno. Los yacimientos polimetálicos se encuentran en Perú, hacia el sur en el Altiplano, en esta faja predominan los yacimientos exhalativos de S, tipo pórfidos auríferos y yacimientos epitermales de oro asociados al vulcanismo del Mioceno superior (Bolivia: La Española, Serkhe, Maria Elena) y epitermales auro- argentíferos (Bolivia: Berenguela y Chile: Choquelimpie). En su límite transicional con la faja oriental más hacia el sur, en Argentina, hay manifestaciones cupro- auríferas (Taca- Taca I y II) asociadas al pórfido Taca- Taca.

En el extremo suroeste en Chile, se encuentra el distrito aurífero más importante de esta provincia metalogenética, en la Franja de Maricunga. Incluye yacimientos epitermales (vetiformes, diseminados y mantiformes) de oro y plata (La Coipa, Esperanza y Arqueros en Chile) y pórfidos auríferos (Marte, Refugio y Cerros Casale en Chile), que se asocian aparatos volcánicos y complejos dómicos e intrusivos hipabisales de edades comprendidas entre 24 y 12 Ma.

El Laco, en Chile, es un tipo particular de yacimiento de hierro, formado por diques, lavas y depósitos piro clásticos magnetita.

b) La Faja Oriental está caracterizada por yacimientos asociados a intrusivos sub volcánicos porfídicos, domos, estratovolcanes, lavas, flujos piroclásticos y calderas del Mioceno medio a Plioceno en la Cordillera Oriental y Altiplano. En Perú están bien representados y en el Altiplano y Cordillera Occidental de Bolivia y en la Puna Argentina, las mineralizaciones son del tipo polimetálicas (San Cristóbal, San Antonio de Lipez en Bolivia y Pan de Azúcar, Concordia y Antofalla en Argentina).

En esta faja se localizan también depósitos uraníferos (Bolivia), cupríferos y exhalativos de cobre, de menor importancia económica.

### **3.4.3 Provincia Estannífera de La Cordillera Oriental**

Esta provincia es una de las más importantes para el área de estudio, donde el estaño es el metal dominante. Se desarrolla por más de 1200 km de longitud NW-SE desde Perú hasta Mina Pirquitas en Argentina, alcanzando su mayor expresión en territorio boliviano con el yacimiento de LLallagua, la mayor acumulación de estaño hipogénico del mundo. Constituye una de las provincias estanníferas más grandes del mundo junto a la de Siberia oriental y Malasia. En ella se destacan además

importantes recursos de plata como Cerro Rico de Potosí, Bolivia (el mayor yacimiento argentífero conocido en el mundo), bismuto, wolframio, metales base y oro.

El origen de las altas concentraciones de estaño es explicado por Lehmann (1990) como el resultado de una diferenciación avanzada de los magmas corticales (subalcalinos, peraluminosos del tipo S) dentro de una corteza continental muy gruesa, asociada a una sobre-concentración del estaño en las fases magmáticas residuales e hidrotermales debido a la baja fugacidad de oxígeno de la roca encajante (lutitas eopaleozoicas). Los depósitos de esta faja se asocian a cuerpos porfídicos, breccia pipes, vetas y domos volcánicos (Heuschmidt y Miranda-Angles, 2000). También existen placeres estanníferos en donde la casiterita erosionada de los depósitos antedichos se acumula en virtud de su alto peso específico.

Se distinguen cinco épocas metalogenéticas de acuerdo a la edad de los eventos de mineralización.

La más antigua y de menor expresión es del Paleozoico superior- Triásico inferior, con pequeños depósitos vetiformes de Sn y W en la Cordillera Oriental de Perú.

El segundo evento se relaciona con la tectónica extensiva, de edad Triásico superior- Jurásico inferior, donde en el tramo norte del segmento boliviano se intruyeron una serie de batolitos vinculados a numerosos yacimientos de Sn- W- Au- Bi- Zn- Pb- Ag- Sb.

El tercer episodio mineralizante está vinculado al magmatismo del Oligoceno superior- Mioceno inferior, al sur de Perú y sector norcentral y central de Bolivia. La mineralización se asocia a intrusivos graníticos, stocks subvolcánicos, domos volcánicos dacíticos a riodacíticos, relacionados a yacimientos vetiformes, diseminados, estratoligados, polimetálicos telescopados (Sn- Ag- Zn- Pb- Bi- W) o principalmente estanníferos. Varios de ellos con altos contenidos en Sn, como por ejemplo LLallagua, Huanuni, Poopó entre otros.

Se encuentran además en esta provincia metalogenética, numerosas vetas de antimonio y oro emplazadas en secuencias arenoso-pelíticas ordovícicas cuya edad y génesis siguen siendo poco conocidas.

El cuarto episodio de mineralización se registra en el Mioceno medio y es el que incluye a Mina Pirquitas en la provincia de Jujuy. En los Andes Peruanos es de escasa importancia económica mientras que los principales yacimientos se encuentran en la Cordillera Oriental de Bolivia, donde la mineralización está asociada a pórfidos dacíticos, riodacíticos y cuarzo- latíticos de 16 a 11 Ma. Se les asocia generalmente a estos pórfidos, los yacimientos polimetálicos del "tipo boliviano". Ejemplos: Tasna, Cerro Rico de Potosí, Huari Huari, Ubina, Porco, San Vicente Monserrat, entre otros.

El quinto y último evento de mineralización estannífera ocurrió en el Mioceno superior- Plioceno y es de menor relevancia económica en la Provincia Polimetálica del Altiplano. Se extiende desde el sudeste peruano al sur de Bolivia con grandes escudos ignimbríticos. Pequeños depósitos epitermales de metales preciosos y base están vinculados a este voluminoso magmatismo así como algunos depósitos vetiformes, exhalativos y de uranio.

El Cuaternario fue propicio para la formación de placeres coluviales, fluvio- glaciares principalmente de estaño, como por ejemplo El Centenario, en Bolivia. También placeres de wolframio

y oro tuvieron lugar en este periodo, producto de fenómenos de alzamiento y erosión de los Andes, con la denudación de los yacimientos epigenéticos de la Provincia Estannífera.

#### **3.4.4 Provincia Polimetálica Oriental**

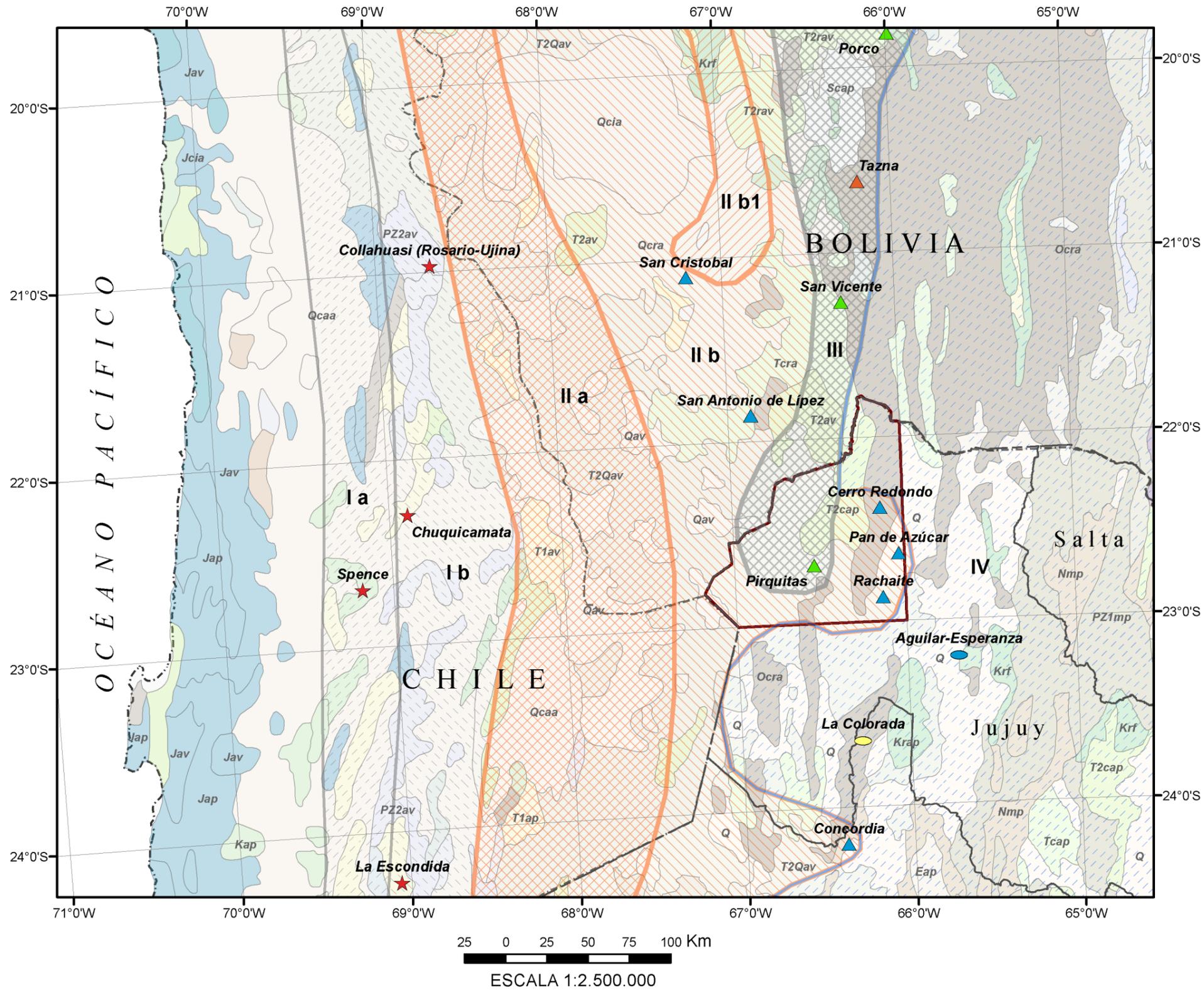
Se extiende 1800 km desde Cuzco hasta el sur de la provincia de Salta, con el desarrollo de yacimientos polimetálicos (Pb- Ag- Zn), de Au, Sb y U- Th- ETR, siendo la más externa de las provincias metalogenéticas de los Andes Centrales. Dentro de ella se incluye a la denominada “Provincia Metalogenética Quiaqueña” del noroeste argentino en la cual se destaca el yacimiento Mina Aguilar y La Colorada, del tipo “SEDEX” de Pb- Zn (Cu- Ag- Ba) del Ordovícico inferior.

Los depósitos de tipo “SEDEX” se asocian al volcanismo submarino e hidrotermalismo singenéticos a las rocas del Ordovícico. En el área de estudio este volcanismo es apreciable en el sector sudeste, en coincidencia con los afloramientos del Complejo magmático sedimentario de Cochino-Escaya.

Otro grupo de yacimientos está representado por vetas polimetálicas con Au-Sb ligadas al plegamiento de las rocas ordovícicas ocurrido durante el Paleozoico inferior con estructuras características en “silla de montar”. Este evento tectónico generó fluidos auríferos, derivados de reacciones metamórficas de bajo grado, los cuales depositaron vetas de cuarzo aurífero, a veces acompañadas con antimonio, generalmente en asociación con pliegues anticlinales (Rodríguez, G. A., et al., 2001). Las mineralizaciones de este tipo son más frecuentes en territorio argentino, siendo parte importante la Sierra de Rinconada y Santa Catalina (Zappettini, E. y Segal, S., 1994; 1999). En Bolivia se hace dominante el antimonio constituyendo uno de los cinturones más ricos del mundo en este metal.

También se pueden encontrar depósitos de carbonatitas y vetas asociadas a torio y tierras raras del Cretácico inferior, como los presentes en territorio argentino y boliviano en los distritos de Rangel y Chiarake, respectivamente.

Finalmente el Mioceno medio al Reciente, se caracteriza en esta provincia por la formación de importantes yacimientos detríticos de oro producto de la erosión de depósitos primarios.



### Mapa de Provincias Metalogénicas en la Región Fronteriza

Provincias Metalogénicas (Zappettini et al., 2001)

I - Provincia Cuprífera de la Precordillera

I a - Faja Paleoceno-Eoceno inferior

I b - Faja Eoceno superior-Oligoceno inferior

II - Provincia Polimetálica del Altiplano

II a - Faja Occidental

II b - Faja Oriental

II b1 - Faja Cuprífera

III - Provincia Estannífera

IV - Provincia Polimetálica Oriental

Tipos de Depósitos

△ Depósitos asociados a rocas volcánicas y subvolcánicas mesosilíceas a ácidas

☆ Depósitos tipo pórfiro

○ Depósitos asociados a vulcanismo submarino y secuencias volcanosedimentarias marinas (SEDEX)

Asociación metálica

● Pb-Ag-Zn-Au

● Cu-Zn-Pb

● Sn (Zn-Ag-Pb-Cu)

● Cu-Mo

● W-Bi-Sn



Figura 27. Mapa de Provincias Metalogénicas en la Región Fronteriza

#### **4. INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

A partir de la implementación de las herramientas geológicas y geocientíficas descritas precedentemente, y sus relaciones con los depósitos contenidos en la Base de Datos de la Hoja Mina Pirquitas, provincia de Jujuy, se definieron aquellos patrones que muestran estrecha relación con los eventos relacionados a las mineralizaciones conocidas. Dichos patrones se ajustan con la definición de metalotecto expresada por Laffitte *et al.*, 1965; ***“todo objeto geológico que contribuye a la constitución y emplazamiento de una concentración mineral”***.

A continuación se describen los metalotectos definidos en este Informe:

##### **4.1. METALOTECTOS RELACIONADOS CON LA ROCA HOSPEDANTE**

La secuencia clástica turbidítica en unidades de talud, formadas en el ámbito del arco famatiniano, en el Ordovícico medio, conforman uno de los metalotectos litológicos más favorables dentro de la región para la prospección de Au y Sb fundamentalmente.

También en el paleozoico inferior, el magmatismo submarino exhalativo es de interés para la exploración de mineralizaciones de plata, plomo y zinc, hierro, cobre y uranio.

La importantísima actividad magmática neógena resultó ser el fenómeno geológico de más importantes consecuencias metalogenéticas y económicas en la historia de los Andes Centrales.

Serán prospectivos para la búsqueda de mineralizaciones epitermales de metales base, preciosos y estaño, los stocks subvolcánicos porfídicos, domos, estratovolcanes, coladas lávicas, capas piroclásticas, escudos ignimbríticos y/o calderas volcánicas, de litología dominante dacítica, riodacítica y riolítica principalmente.

Por otro lado con potencial prospectivo son las salmueras enriquecidas en metales alcalinos aunque de poca extensión en esta región, para yacimientos de litio.

Los depósitos coluviales y aluviales generados a partir de la degradación durante el ciclo exógeno, de las mineralizaciones epigenéticas procedentes de afloramientos primarios de las distintas épocas, son de interés en la búsqueda de placeres auríferos y estanníferos.

##### **4.2. METALOTECTOS RELACIONADOS CON EL CONTROL ESTRUCTURAL**

Los patrones estructurales han sido configurados a partir de tres diferentes métodos. Como fuera mencionado, el primero ha respetado los patrones estructurales que provienen de las Cartas geológicas y metalogenéticas a escala 1:250.000 del SEGEMAR, el segundo tipo de patrones estructurales fue generado a partir del análisis de lineamientos morfológicos obtenidos mediante el procesamiento de Sensores Remotos descritos en el ítem 2.2.3., mientras que el tercero se ha

definido a partir del análisis de lineamientos magnéticos obtenidos del procesamiento de datos aeromagnéticos descritos en el ítem 2.2.4.

El análisis integral de los tres estudios mencionados permitió definir dos grupos de estructuras mayores: lineamientos de dirección NNE-SSO, que se reconocen en el sector septentrional del dominio paleozoico inferior, destacándose el lineamiento originado por el borde oriental de la sierra de Rinconada; y lineamientos de orientación ESE-ONO, que representan mega- lineamientos que se repiten a lo largo de todo el orógeno andino. Asimismo se presentan estructuras menores con orientación NE, ENE y NW, todos ellos estos encargados de controlar las mineralizaciones del área de estudio.

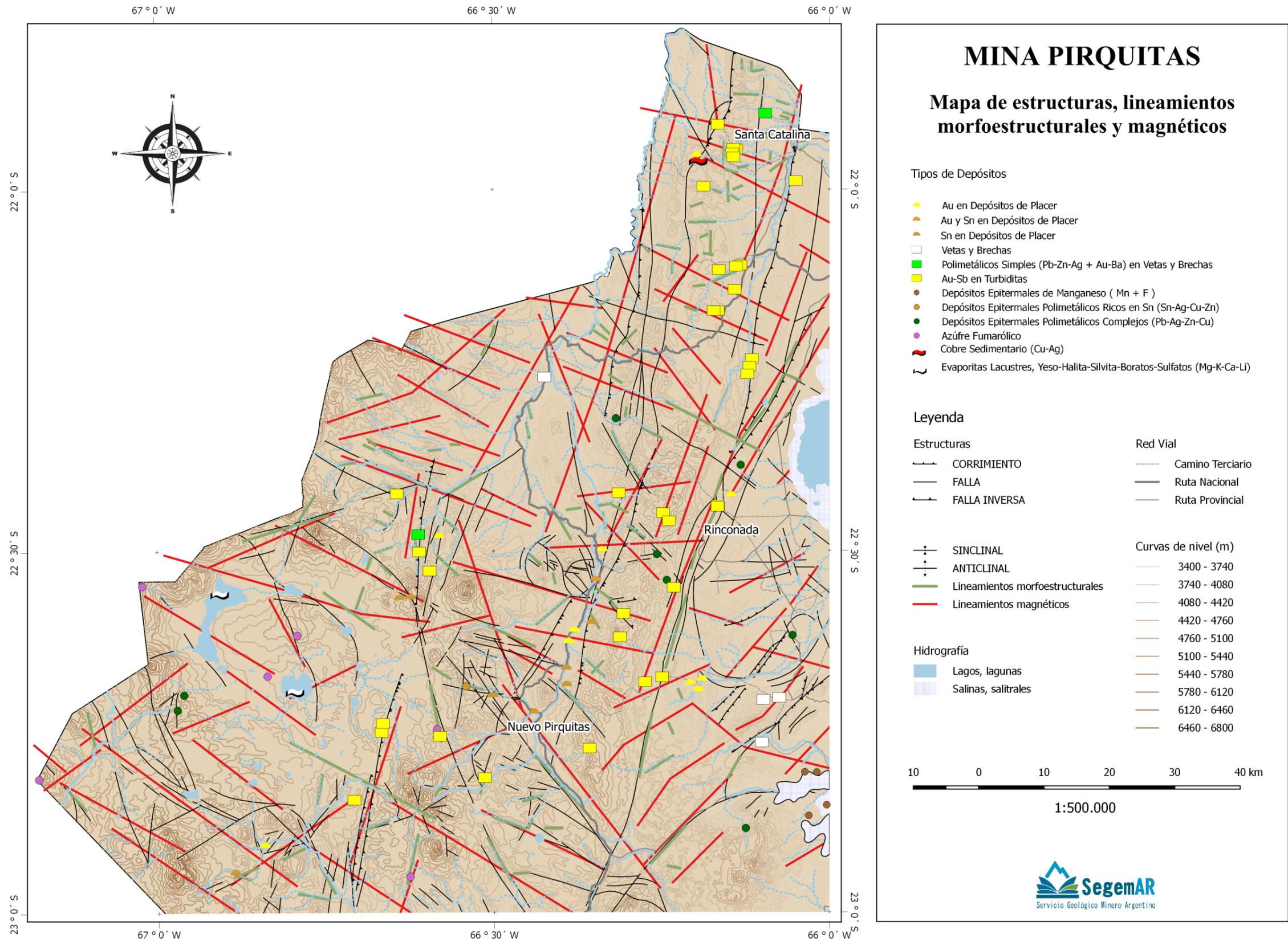


Figura 28. Mapa de estructuras, lineamientos morfoestructurales y lineamientos magnéticos.

#### **4.3. METALOTECTOS RELACIONADOS CON LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL**

La alteración hidrotermal del tipo argílica avanzada está relacionada a las zonas de volcanes y fumarolas, generalmente es la del tipo sulfato ácido, identificada con las imágenes ASTER a partir de índices espectrales que discriminan zonas con minerales de alteración como alunita y caolinita principalmente.

La alteración del tipo argílica y/o fílica tiene una notoria respuesta espectral en los afloramientos de mina Pirquitas. Su patrón espectral fue utilizado para la identificación de nuevos blancos de interés, vinculando el mismo con los afloramientos de rocas de caja receptivos de mineralización, como por ejemplo la formación Acoite.

También tienen expresión las alteraciones argílica y/o fílica en la sierra de La Rinconada pero no son muy extensas, más bien se localizan zonas puntuales acompañadas por silicificación. En algunos casos la respuesta espectral de la silicificación copia la geomorfología de los estratos.

La alteración propilítica se distribuye en posición distal al resto de las alteraciones, no siendo determinante para la selección de blancos de exploración; sin embargo debe ser considerada cuando se la encuentra con otros metalotectos, ya que podrían representar porciones distales de depósitos situados en profundidad.

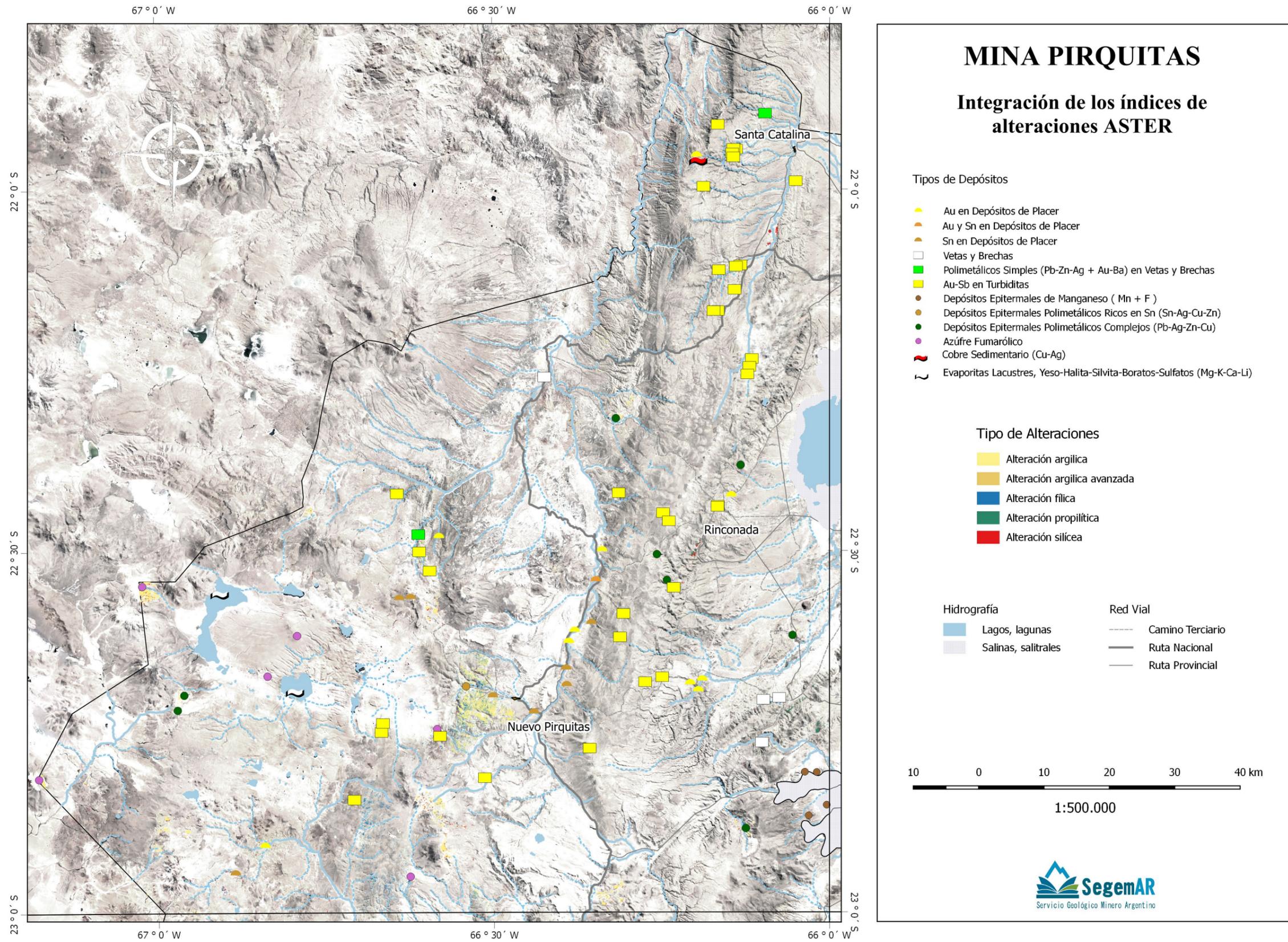


Figura 29. Integración de los índices de alteraciones ASTER

#### 4.4. METALOTECTOS RELACIONADOS CON DATOS DE ANOMALÍAS GEOFÍSICAS

A partir del análisis de los datos geofísicos y su relación espacial con los depósitos minerales conocidos, se definieron dos tipos de anomalías:

**LINEAMIENTOS MAGNETICOS:** a partir de las cinco grillas obtenidas se digitalizaron lineamientos magnéticos, estos lineamientos corresponden a rasgos lineales que pueden deberse a distintas causas, tales como estructuras, contactos, variaciones en la respuesta del basamento, entre otras.

**ANOMALIAS MAGNETICAS:** se delimitaron también las principales anomalías individuales, utilizando la señal analítica para determinar la posición de las fuentes que las generan.

Con esta información se digitalizó una “shapefile” (archivo de forma de ArcGIS) de líneas para los lineamientos y una de polígonos para las anomalías, que se utilizaron posteriormente para la determinación y evaluación de los **Blancos de Exploración** (figura 32).

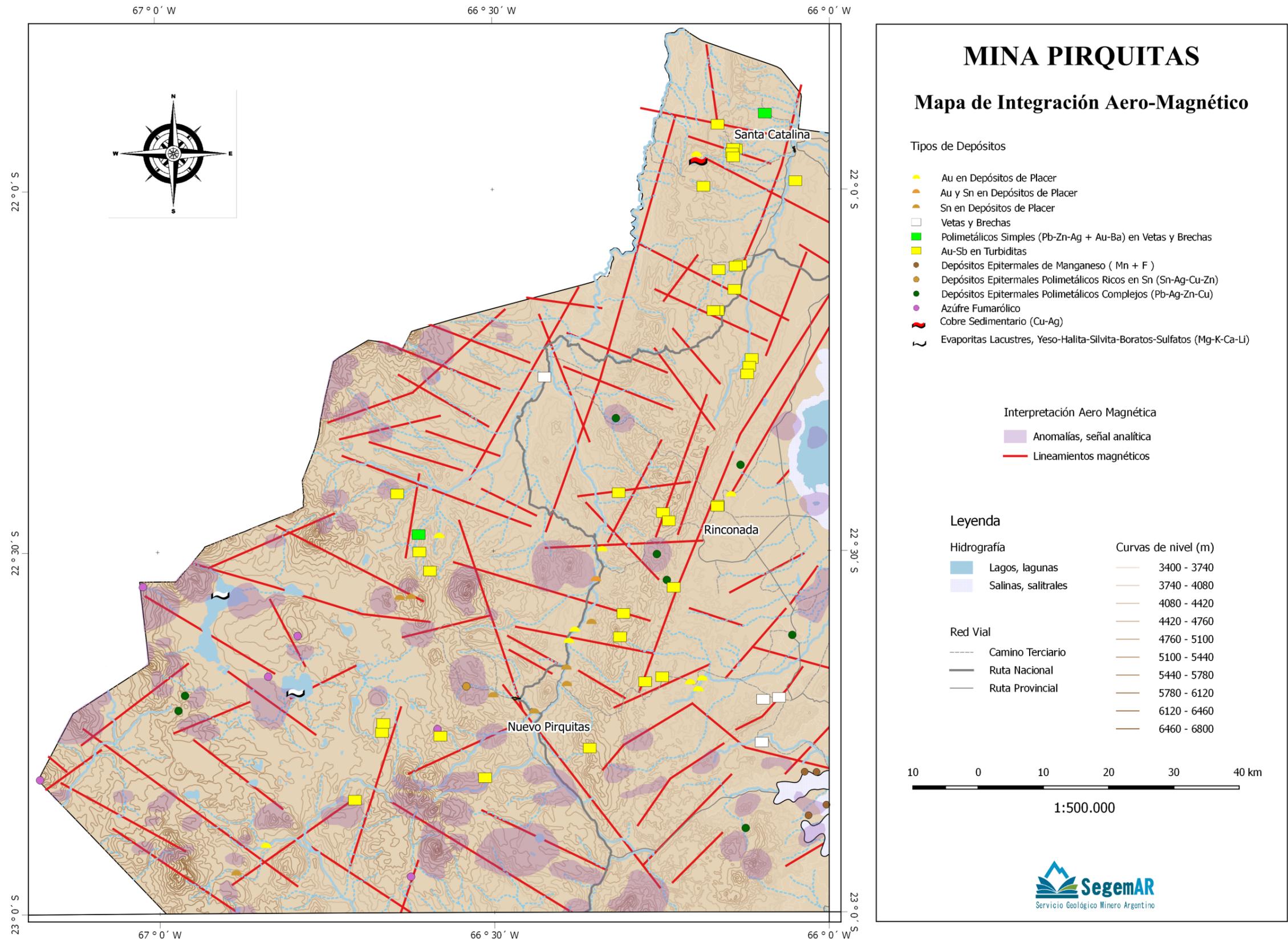


Figura 30. Integración de lineamientos magnéticos y anomalías individuales.

#### 4.5. METALOTECTOS RELACIONADOS CON DATOS DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS

Algunos de los depósitos conocidos del área de estudio se asocian con anomalías geoquímicas detectadas aguas abajo de ellos. Estas anomalías se dan en un grupo de elementos característico del tipo de depósito y se utilizaron para detectar la presencia de blancos de exploración potenciales en zonas donde se presentan estas anomalías grupales sin que exista un depósito conocido asociado. Los principales grupos de elementos son:

**As-Sb-Au-Cu:** este grupo de anomalías se asocia con los depósitos de Au-Sb en vetas de cuarzo alojadas dentro de las secuencias turbidíticas de la Formación Acoite. Anomalías de este tipo se presentan en muchas muestras cercanas al Distrito el Torno, a Minas Azules y a las minas del distrito Puyita, y en menor cantidad y/o importancia en las cercanías de las minas Cabalonga, Rosario de Coyaguaima, Carmen y Santa Domingo.

**Pb-Ag-Zn (As-Sb):** este grupo se asocia a los depósitos epitermales miocenos. Está presente en las cercanías de la mina Pirquitas, Chinchillas, Pan de Azúcar y de los depósitos de Cerro Redondo y Chocaya.

**Litio:** si bien el mayor potencial de Litio se encuentra asociado a las cuencas salinas, estos sectores no fueron incluidos en el presente muestreo por tratarse de muestras en sedimento de corriente. Sin embargo se observa abundantes anomalías que se pueden interpretar como roca fuente. De este modo las sedimentitas ordovícicas así como también las volcanitas neógenas, presentan abundantes anomalías en Litio. Asimismo las anomalías responden a los dos grupos de estructuras mayores; lineamientos de dirección NNE-SSO, destacándose el lineamiento originado por el borde oriental de la sierra de Rinconada; y lineamientos de orientación ESE-ONO, mega- lineamientos transversales al orógeno andino.

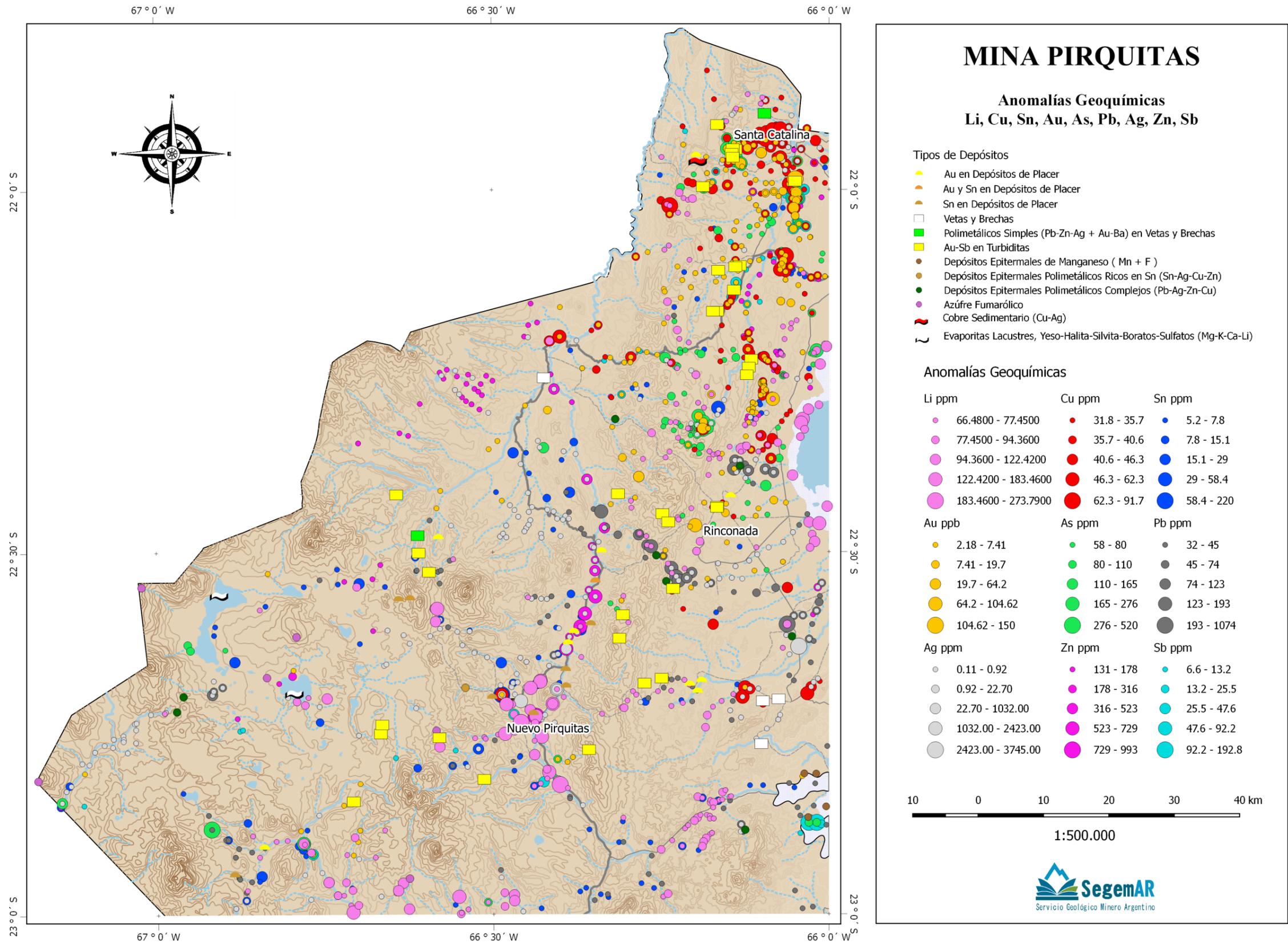


Figura 31. Integración de las anomalías geoquímicas utilizadas.

#### 4.6. GENERACIÓN DE DATOS Y CARTOGRAFÍA INÉDITA

La información mencionada precedentemente se organizó en una plataforma ArcGIS de ESRI. El sistema de coordenadas utilizado corresponde al sistema de Referencia POSGAR 94 Gauss-Krüger, Faja3 y ha permitido generar cartografía de salida a escala 1:250.000 que consiste en siete diferentes mapas, los que se describen a continuación:

**MAPA GEOLÓGICO:** con la integración de unidades tectonoestratigráficas y estructuras, basados en las Cartas Geológicas y Metalogenéticas del SEGEMAR.

**MAPA DE ALTERACIONES:** generadas a partir de Imágenes ASTER.

**MAPA GEOFÍSICO:** con las principales anomalías aeromagnéticas puntuales y lineamientos magnéticos.

**MAPA ESTRUCTURAL:** con la integración de los tres estudios estructurales.

**MAPA GEOQUÍMICO:** integrando las anomalías geoquímicas de interés (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn, As, Sb y Li).

**MAPA DE METALOTECTOS CON BLANCOS DE EXPLORACIÓN:** con la definición de las áreas a partir del método de superposición de metalotectos.

**MAPA DE SUPERPOSICIÓN SIMPLE:** categorización de blancos de exploración detectados a partir del modelo numérico de metalotectos por superposición simple

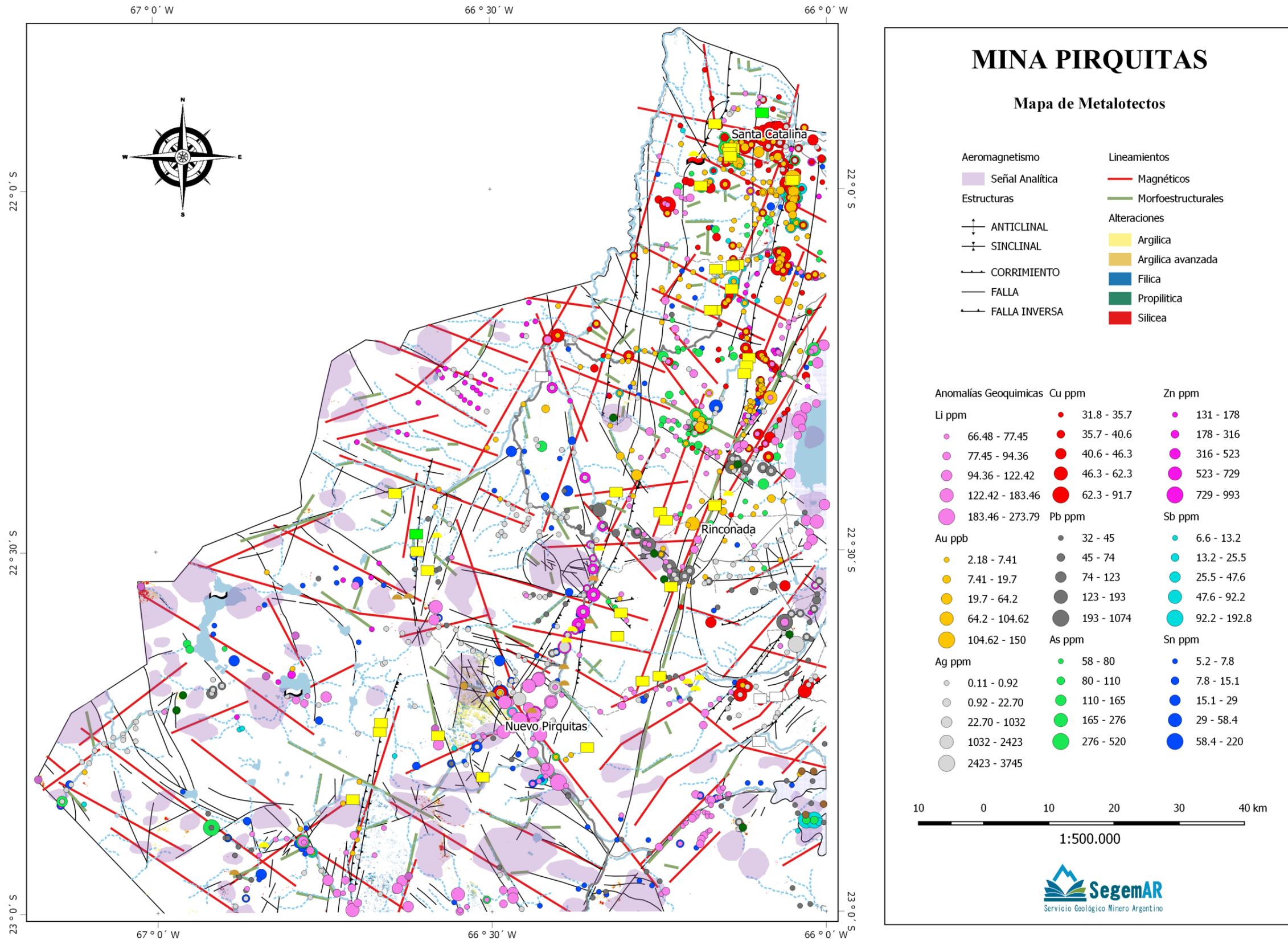


Figura 32. Mapa de Metalotectos que incluye lineamientos estructurales, alteraciones ASTER, anomalías geoquímicas y anomalías magnéticas.

## 5. RESULTADOS

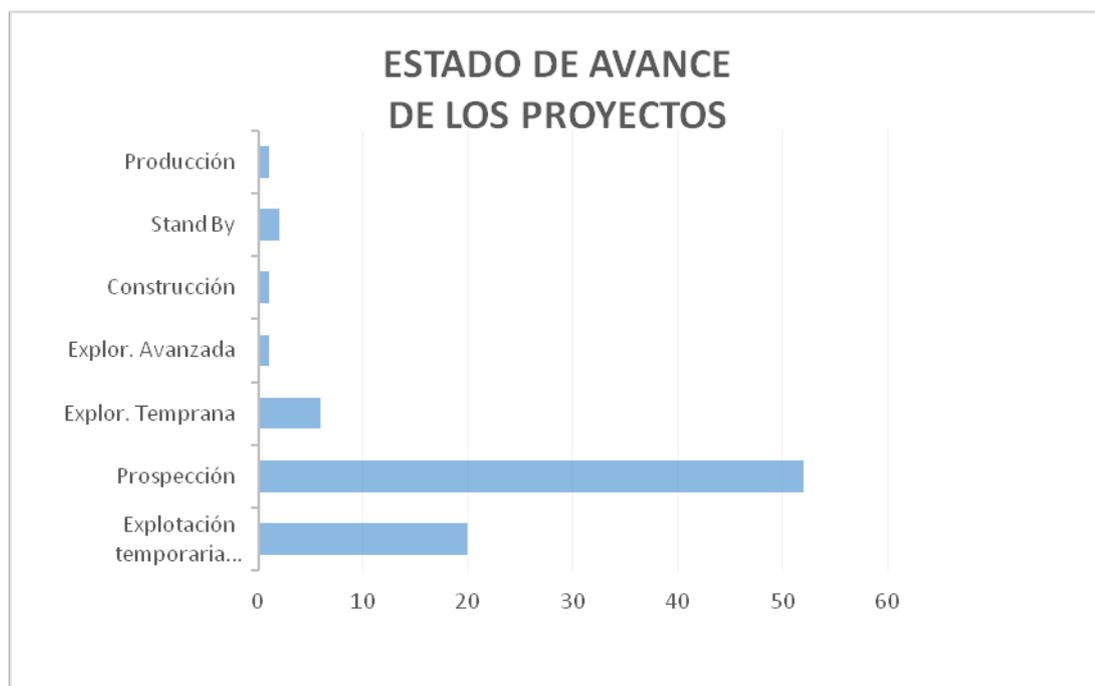
### 5.1. PROYECTOS EN DESARROLLO

La Hoja Mina Pirquitas comprende seis (6) fajas mineralizadas caracterizadas por la existencia de uno o varios tipos de modelo de depósito mineral. Los límites geográficos entre éstos no son estrictos, y el propósito de su identificación es mostrar las áreas de influencia de cada uno de ellos.

Dichas fajas incluyen en el área de estudio ochenta y tres (83) proyectos mineros en desarrollo que integran la Base de Datos de Mina Pirquitas, de los cuales se ha podido adquirir información.

Entre ellos existen: un (1) proyecto en etapa producción (Mina Pirquitas), dos (2) proyectos en Stand By (Pabellón y Pan de Azúcar), uno (1) en etapa de construcción (Chinchillas), uno (1) en exploración avanzada (Eureka), seis (6) en exploración temprana (Carahuasi, Tupiza, San José, Chocoya, Cerro Redondo y Azules), cincuenta y dos (52) en etapa de prospección y veinte (20) proyectos que corresponden a explotaciones temporarias o esporádicas sobre depósitos aluvionales de Oro y Estaño.

Mina Pirquitas y Chinchillas cuentan a la fecha con estudios avanzados y certificados bajo estándares internacionales de estimación de recursos y reservas, en sus diferentes categorías (Tabla XIV). En el caso de Pirquitas, que comenzó con su producción en el año 2008, los recursos y reservas reportados se encontrarían prácticamente agotados, quedando un remanente para ser explotados mediante explotación subterránea (Mina Pirquitas UG) y otro poco en las escombreras (Mina Pirquitas stock pile).



**Diagrama 3. Ocurrencia de proyectos en función de su estado de avance.**

Las reservas y recursos conocidas y certificadas bajo estándares internacionales (reservas probadas-posibles y recursos medidos-indicados) en los proyectos Mina Pirquitas y Chinchillas totalizan un tonelaje mineralizado del orden de los 54,97 millones de toneladas, conteniendo 164,20 millones de onzas de plata, 1207,17 millones de libras de zinc y 830,21 millones de libras de plomo, hasta diciembre de 2017.

Proyecto	Commodity	Modelo de Depósito	Estado	Tonelaje (Mt)	Ley Ag g/t	Ley Zn %	Ley Pb %	CF Ag M Ozz	CF Zn M Lbs	CF Pb M Lbs
MINA PIRQUITAS UG	Ag-Sn-Zn	Epitermal con Sn	Producción	3,71	267,26	5,26	—	31,98	430,18	—
MINA PIRQUITAS Stock Pile	Ag-Sn-Zn	Epitermal con Sn	Producción	1,05	90,0	0,69	—	3,05	15,97	—
CHINCHILLAS	Ag-Pb-Zn	Polimetálico complejo	Construcción	50,21	79,75	0,69	0,75	129,17	761,02	830,21
<b>TOTAL</b>				<b>54,97</b>				<b>164,20</b>	<b>1207,17</b>	<b>830,21</b>

**Tabla VI. Reservas y Recursos estimados certificados en el ámbito de la Hoja Mina Pirquitas.**

## 5.2. ÁREAS DE INTERES MINERO - BLANCOS DE EXPLORACIÓN

A partir del análisis de cada uno de los metalotectos, se identificaron sectores de coincidencia espacial entre dos o más de ellos, y donde además se manifiestan con distinto grado de intensidad y desarrollado. ***Dichas áreas se definen como blancos de exploración, ya que no poseen ningún tipo de trabajo geológico minero previo a la fecha de este informe.***

Los **blancos de exploración** fueron categorizados en función de la calidad y cantidad de metalotectos involucrados, definidos en este informe como **“método de superposición de metalotectos”**. De este modo, se definieron **blancos de exploración con alta, media y baja potencialidad** de hallazgo de mineralización. Los parámetros que definen esta valoración se describe 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 Km<sup>2</sup>.

**POTENCIALIDAD MEDIA:** sectores que presentan patrones bien desarrollados en la mayoría de los metalotectos aplicados y que se extienden en superficies cercanas al 1 Km<sup>2</sup>.

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

Como resultado del análisis, se definieron treinta **(30) Áreas de Interés Minero**, con potencialidad para albergar mineralización de metales preciosos y metales base. Para el caso del Li se definieron **dos (2) sectores adicionales** que corresponden con las lagunas Palar y Vilamita.

Las características de cada uno de ellos se presentan en la *tabla XVI*.

Siguiendo los criterios de trabajo adoptados, y en función del grado de integración de los metalotectos presentes en cada sector identificado como anómalo, se han diferenciado **trece (13) áreas con alto potencial de hallazgo, diez (10) áreas con potencial medio o moderado y siete (7) con bajo potencial** de ocurrencia mineral.

Los blancos de exploración en todas sus categorías, ocupan una superficie de **242,96 Km<sup>2</sup>** y **representan el 2,48 % del total del área de trabajo**; de los cuales 174,83 km<sup>2</sup> corresponden a áreas definidas con un alto potencial (72 % del total de los blancos de exploración definidos).

Potencialidad	Ocurrencia	Superficie afectada (Km <sup>2</sup> ).	Representación Porcentual
<b>Alta</b>	<b>13</b>	<b>174,83</b>	<b>72 %</b>
<b>Media</b>	<b>10</b>	<b>47,22</b>	<b>19 %</b>
<b>Baja</b>	<b>7</b>	<b>20,91</b>	<b>9 %</b>
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>242,96</b>	<b>100 %</b>

*Tabla VII. Categorización de blancos de exploración detectados.*

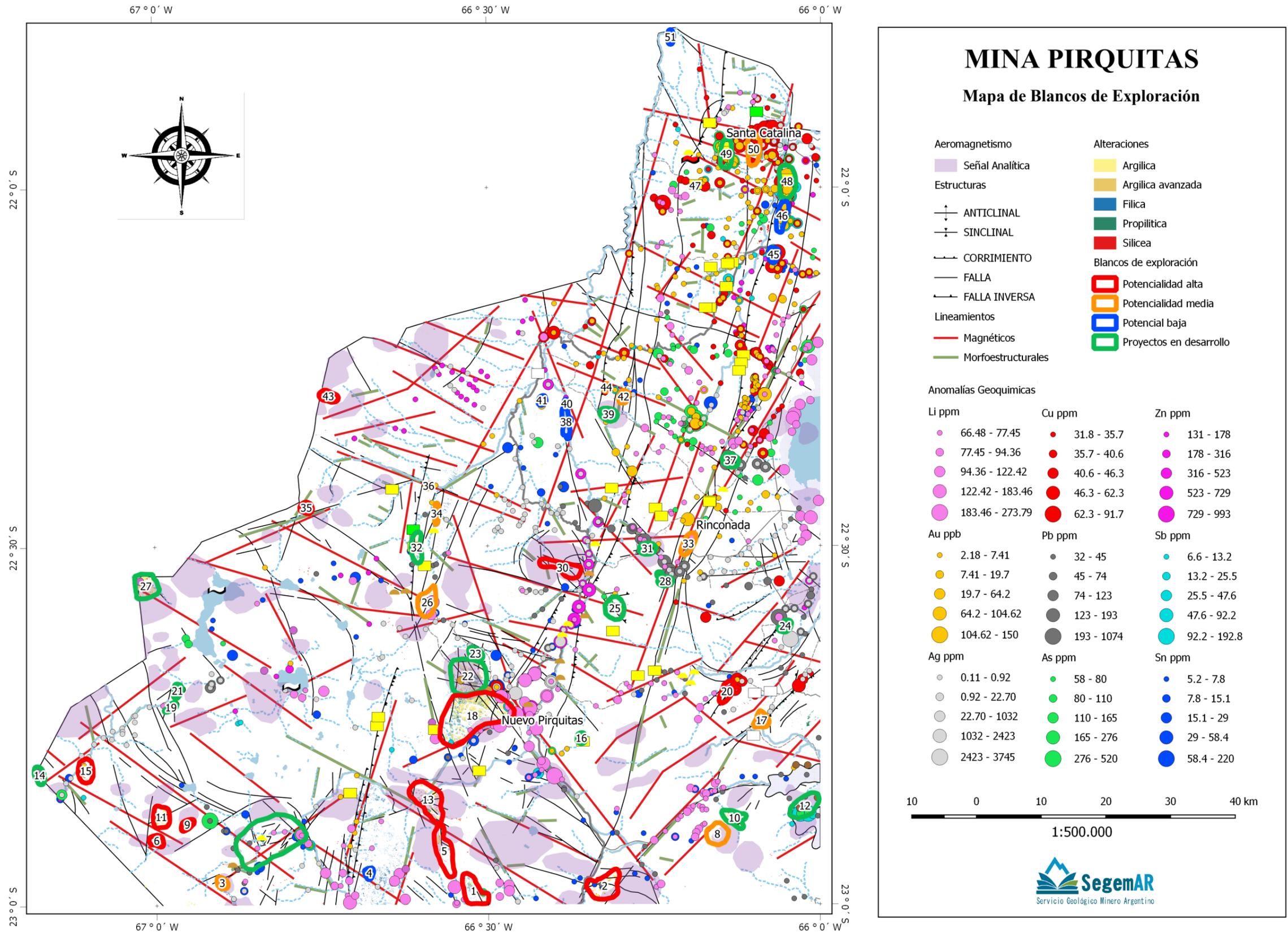


Figura 33. Blancos de Exploración detectados a partir del método de superposición de metalotectos.

Tabla VIII. Base de Datos simplificada de Blancos de Exploración, en la Hoja Mina Pirquitas (No incluye las áreas de los Proyectos conocidos)

ID #	Prioridad	Map ID #	Lineamientos Estructurales	Alteración ASTER	Anomalía Magnética Puntual	Anomalías Geoquímicas Sedimento de Corriente	Observaciones	Superficie Km2
1	Alta	1	Lineamiento	Argílica, Fílica, Propilítica, Silíceo	Borde	Li, As,	Sur de Coyaguayma	13,081
2	Alta	2	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo	Señal analítica	Pb, Sn		16,784
3	Alta	5	Lineamiento	Argílica, Fílica, Propilítica, Silíceo	Señal analítica		Sur de Coyaguayma	15,545
4	Alta	6	Lineamiento	Argílica,	Señal analítica			3,385
5	Alta	9	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo	Señal analítica			2,68
6	Alta	11	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo	Señal analítica			8,03
7	Alta	13	Lineamiento	Argílica, Fílica, Propilítica, Silíceo	Señal analítica		Sur de Coyaguayma	21,282
8	Alta	15	Lineamiento	Argílica, Fílica, Propilítica, Silíceo	Borde	Ag,	Este de Zapaleri	7,634
9	Alta	18	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo	Señal analítica	Li, Ag, Pb, As, Sb, Sn	Sur de Pirquitas	63,674
10	Alta	20	Lineamiento		Borde	Li, Ag, Cu, Pb, As, Zn, Sn		5,647
11	Alta	30	Lineamiento	Argílica, Fílica,	Señal analítica		Oeste de Orosmayo	9,957
12	Alta	35	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo	Señal analítica			2,884
13	Alta	43	Lineamiento	Fílica, Silíceo	Señal analítica			4,25
14	Media	3	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo	Señal analítica		SW de Pairique	2,619
15	Media	8	Lineamiento	Propilítica, Silíceo	Señal analítica		SW de Chocaya	9,498
16	Media	17	Lineamiento	Fílica,		Ag,		4,586
17	Media	26	Lineamiento	Argílica, Fílica, Propilítica, Silíceo	Señal analítica	Li, Ag, Pb, Sn	Sur de Miyuyo	10,339
18	Media	33	Lineamiento	Propilítica, Silíceo		Li, Au, Pb,	Este de Carahuasi	5,376
19	Media	34	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo		Au,	NE de Miyuyo	1,933
20	Media	36	Lineamiento	Argílica, Fílica,		Au,		0,84
21	Media	42	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo	Señal analítica			2,71
22	Media	44	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo		Cu, Zn, Sb,	NE de Casa Colorada	0,868
23	Media	50	Lineamiento			Au, Ag, Cu, As, Zn, Sb,	Este del El Torno	8,446
24	Baja	4	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo			Este de Pairique	2,003
25	Baja	38	Lineamiento	Argílica, Fílica, Propilítica, Silíceo		Sn		4,833
26	Baja	40	Lineamiento	Argílica, Fílica, Silíceo		Zn,		0,854
27	Baja	41		Argílica, Fílica,		Au,		1,605
28	Baja	45				Au, Cu, As, Zn, Sb,		3,284
29	Baja	46	Lineamiento			Au, Ag, Cu, Pb, As, Zn, Sb, Sn		6,382
30	Baja	51		Propilítica,				1,946

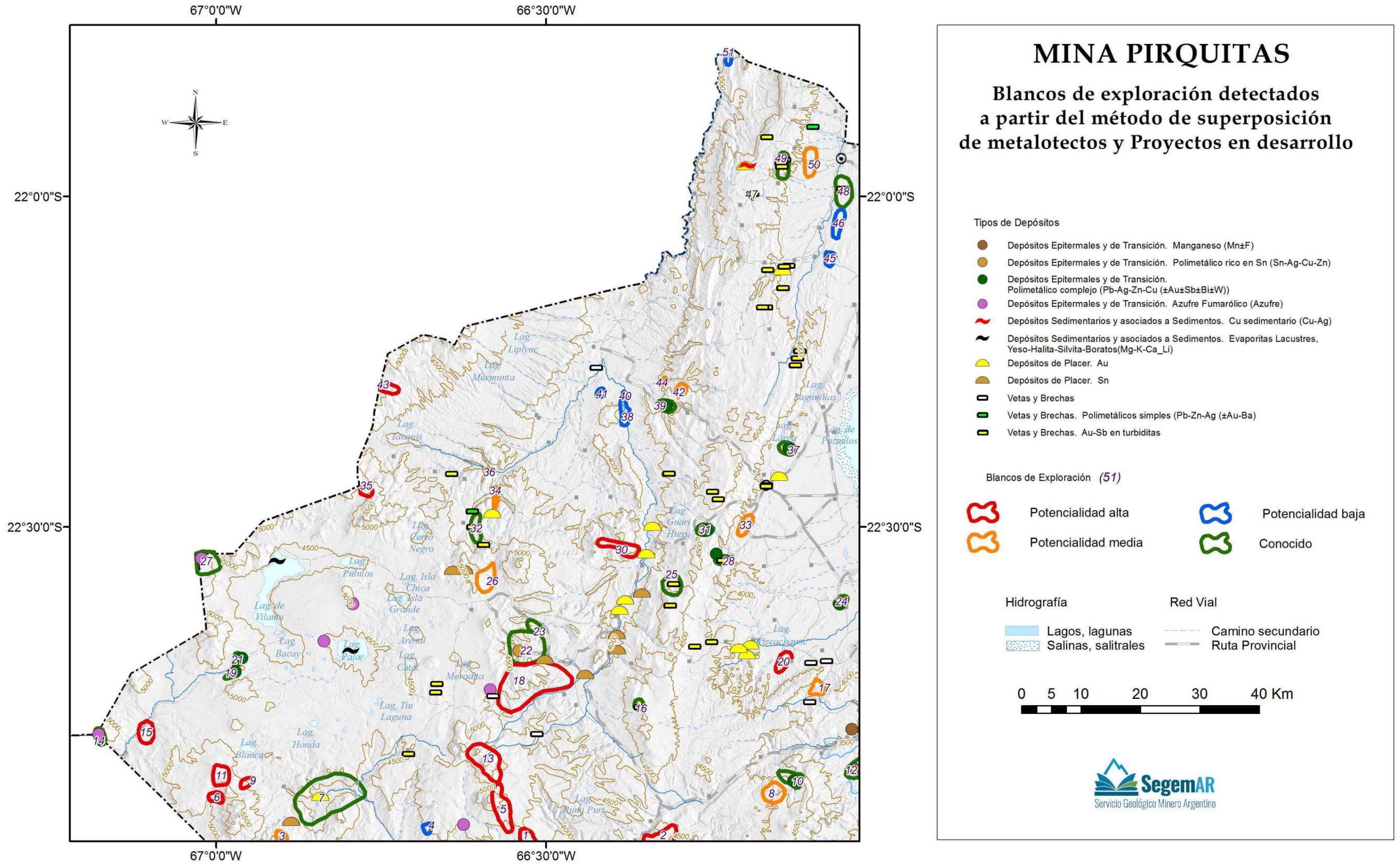


Figura 34. Blancos de exploración detectados a partir del método de superposición de metalotectos y Proyectos en desarrollo.

### 5.3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Los resultados obtenidos a partir del método de superposición de metalotectos, se lograron mediante un análisis de valoración, en aquellos sectores donde se encuentran los proyectos en desarrollo. Sólo fueron considerados aquellos parámetros definidos para blancos de exploración de alta potencialidad.

De este modo se detectaron apenas 25 de los 83 proyectos en desarrollo (30 % de eficacia); sin embargo, un análisis pormenorizado de los proyectos detectados mediante el método, muestra que los mismos se corresponden con solo 4 de los 10 modelos de depósitos presente (Vetas con Au-Sb, Polimetálicos Complejos, Epitermales con Sn y/o Mn, y Azufre fumarólico); es lógico esperar que en función de las características de cada modelo, alguno de ellos puede ser detectados más fácilmente que otros. La superficie afectada por la alteración hidrotermal de los 25 proyectos en desarrollo abarca una superficie de 191,06 Km<sup>2</sup>.

De este modo, y considerando los proyectos involucrados con los modelos mencionados (52 proyectos en total), vemos como el porcentaje de detección del método asciende a un promedio de 48% de eficacia, mostrando además una preferencia absoluta hacia los depósitos polimetálicos complejos (100 % de eficacia).

Modelo de depósito	Proyectos en Desarrollo	Proyectos Detectados	Eficacia del Método	Ejemplos
<b>Polimetálicos Complejos</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>100 %</b>	<b>Chinchillas, Pan de Azúcar, Chocoya-Rachaite, Carahuasi, Bonanza y Minas Viejas en Cerro Tinte, Cerro Redondo y Casa Colorada.</b>
<b>Epitermales con Sn y Mn</b>	5	3	60 %	Mina Pirquitas, San José y Doncellas
<b>Vetas con Au + Sb</b>	33	12	36 %	Azules, EL Torno, Palca-Ingenio, Puyita, Farillón, Santo Domingo, etc.
<b>Azufre Fumarólico</b>	6	2	42 %	Emma y Nazarena en Cerro Zapalari
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>52</b>	<b>25</b>	<b>48 %</b>	
<b>Otros Modelos</b>	31	0	0 %	---
<b>TOTAL</b>	<b>83</b>	<b>25</b>	<b>30 %</b>	

**Tabla IX. Proyectos en desarrollos detectados mediante el método de superposición de metalotectos (Blancos de exploración con alta potencialidad).**

En función de lo descripto, es de esperar que los blancos de exploración propuestos en este informe, se correspondan con alguno de los cuatro modelos mencionados, con una preferencia hacia los depósitos epitermales del tipo mina Pirquitas, y con más probabilidades aún, hacia los depósitos polimetálicos complejos del tipo Chinchillas, Pan de Azúcar, Rachaite, etc.

#### 5.4. **APLICACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO**

El método de superposición de metalotectos es una práctica muy útil y eficaz para definir blancos de exploración basados en herramientas de exploración básicas, sin embargo cuando se trabaja con un elevado volumen de datos, esta metodología se torna muy laboriosa, requiriendo un análisis exhaustivo del caso por caso, para una adecuada definición de los blancos.

Una forma más eficiente y sistematizada de generación de blancos de exploración se puede realizar a partir de la elaboración de un modelado científico numérico, el cual consiste en asignar un valor numérico y una ponderación a cada uno de los metalotectos involucrados. En este caso se utilizó un Ranking de Metalotectos por el método de superposición aritmética. Como resultado se elaboró un mapa temático de favorabilidad simplificado para el total de metalotectos involucrados en el análisis de estudio.

Los resultados arrojados por este método son muy satisfactorio, mostrando una alta correlación en aquellos sectores que afectan tanto a los proyectos en desarrollo como a los blancos de exploración definidos en el presente informe.

El método muestra además, sectores anómalos que no deben ser considerados como blancos de exploración; ya que los mismos corresponden con áreas de dispersión originadas principalmente por anomalías geoquímicas, y que por tratarse de sedimentos de corriente es lógico esperar que provengan de sectores aguas arriba de donde fueron recolectadas las muestras.

Asimismo, el modelo numérico puede genera sectores sobrevalorados, en especial cuando los elemento químicos considerados tienen una fuerte correlación, por lo que tampoco fueron considerados como blancos de exploración.

Estas falsas anomalías no solo son esperables sino además deseables, ya que generan una dispersión a partir de los depósitos, favoreciendo la detección de los mismos.

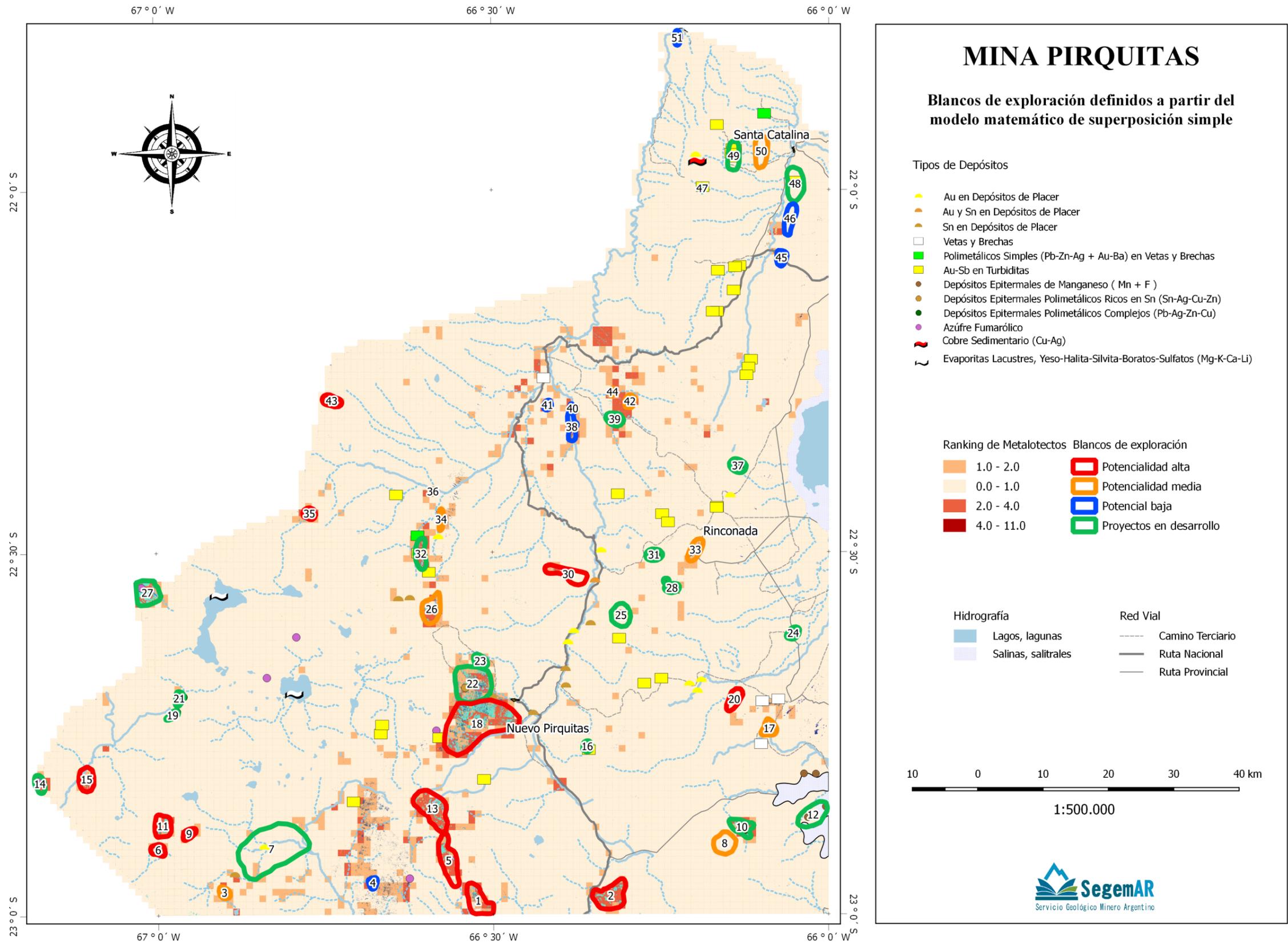


Figura 35. Blancos de exploración definidos a partir del modelo matemático de superposición simple

## CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se provee a la Secretaría de Minería e Hidrocarburos de la provincia de Jujuy información actualizada, sólida e integrada de los proyectos mineros en desarrollo y bases de datos de áreas con potencial minero a desarrollar en el nor-oeste de la provincia de Jujuy.

Esta región se destaca por la gran densidad de depósitos minerales y diversidad de mineralización. Los principales depósitos minerales son: el yacimiento Mina Pirquitas, polimetálico de Ag-Zn rico en Sn-; el yacimiento Pan de Azúcar y Chinchillas, ambos polimetálicos complejos; los yacimientos Rinconada, Santo Domingo, El Torno y Los Azules, principales exponentes del modelo Au-Sb en vetas asociadas a turbiditas; los aluviones de oro y estaño de Santa Catalina, El Cóndor, Oros mayo y Pircas, de tipo placeres; los depósitos de hierro y manganeso (Fe y Mn) y epitermales en Iral, Pabelloncito, El Sombrero y Peñas Negras; así como las mineralizaciones relacionadas al volcanismo más joven de la región que presentan depósitos de azufre fumarólico en Cerro Niño, Zapaleri y Campanario, así como los prospectos de Litio en salmueras en las Laguna Palar y Vilama.

En el área de estudio se pudieron relevar **ochenta y tres (83) proyectos mineros**, agrupados en diez modelos de depósitos y alojados en seis fajas mineralizadas mayores que comparte con los países de Chile y Bolivia. Entre ellos existen un (1) proyecto en etapa producción (Mina Pirquitas), dos (2) proyectos en Stand By (Pabellón y Pan de Azúcar), uno (1) en etapa de construcción (Chinchillas), uno (1) en exploración avanzada (Eureka), seis (6) en exploración temprana (Carahuasi, Tupiza, San José, Chocoya, Cerro Redondo y Azules), cincuenta y dos (52) en etapa de prospección y veinte (20) proyectos que corresponden a explotaciones esporádicas sobre depósitos aluvionales de Oro y Estaño.

Con **alto interés exploratorio** sobresalen los proyectos con mineralización de metales base y metales preciosos, relacionados al complejo volcánico dómico del Neógeno, explorados en superficie y profundidad como **Cerro Redondo, Pan de Azucar, Casa Colorada, Cerro Tinte, Chocoya, Rachaite y Carahuasi**. Otras áreas de interés son aquellas con mineralizaciones de plata y estaño **cercanas a la mina Pirquitas**; el potencial regional en la **Sierra de Rinconada** por contener mineralización aurífera-antimonífera orogénica como **Azules, El Torno, Farillón, Puyita, Santo Domingo, etc**; y la mineralización de cobre en sedimentos en **Eureka**.

Las **reservas y recursos** conocidos y certificados bajo estándares internacionales para las minas **Pirquitas y Chinchillas** totalizan un tonelaje mineralizado del orden de los **54,97 Mt**, conteniendo **164,20 MOzz de Ag, 1207,17 MLbs de Zn y 830,21 MLbs de Pb**, hasta diciembre de 2017.

Como resultado del trabajo se definieron treinta **(30) Áreas de Interés Minero**, con potencialidad para albergar mineralización de metales preciosos- metales base y **dos (2) áreas** para el caso del Litio. Entre las que se han diferenciado trece (13) áreas con alto potencial de hallazgo, diez (10) áreas con potencial medio o moderado y siete (7) con bajo potencial de ocurrencia mineral.

Los **blancos de exploración** en todas sus categorías, afectan una **superficie de 242,96 Km<sup>2</sup>** y representan el **2,48 % del total del área** de trabajo; de los cuales 174,83 km<sup>2</sup> corresponden a áreas definidas con un alto potencial (72 % del total de los blancos de exploración definidos).

El sector de estudio tiene **gran potencial** para continuar con el descubrimiento de depósitos minerales económicos como **estaño, oro, plata y metales base principalmente**. En este sector argentino **se identifica parte de la llamada "faja estannífera boliviana"** que tiene más de 1200 km de longitud, desde Bolivia hasta el sudeste peruano por un lado y el noroeste argentino por el otro. Se coloca entre las **tres provincias estanníferas más extensas del mundo** junto a aquellas de Malasia y de la cordillera de Sikhota Alin en Siberia oriental donde ocurren mineralizaciones polimetálicas parecidas. Además encierra cuantiosos recursos de plata, bismuto, wolframio, metales de base y oro.

Por ello, Jujuy es una de las provincias argentinas con mejor atractivo geológico, con una fuerte historia en exploración enmarcada en la minería de los Andes Centrales y además es una de las provincias con mejor aceptación de la actividad minera en Argentina.

## BIBLIOGRAFÍA

Carrilla, L., A. Jara, A. Turel y L. Moser. 2016. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de sitios de muestreo de sedimentos de corriente. Convenio SEGEMAR – SGCH Hoja 2366-I Mina Pirquitas, Provincia de Jujuy, República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas Geoquímica 127/D. IGRM. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. Argentina.

Chernicoff C.J., L. Ferpozzi, D. Knepper, G. Lee, G. Marín y E. Zappettini. 2000. Identificación de áreas con potencial minero en la Hoja 2366-I Mina Pirquitas, Jujuy. Modelación predictiva mediante el uso de funciones SIG. Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales 9/D. Segemar. Buenos Aires.

Coira B. 1999. Potencialidad minera de sistemas megacaldéricos miocenos en Puna Norte. En Zappettini E. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR. Anales 35: 1557-1567. Buenos Aires.

Coira B, P. Caffè, A. Ramírez, W. Chayle, A. Diaz, S. Rosas, A. Pérez, B. Pérez, O. Orozco y M. Martínez. 2004. Hoja geológica 2366-I/2166-III Mina Pirquitas 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Boletín N° 269. 123 p. Buenos Aires.

Coira, B., S. Mahlburg Kay y P.J. Caffè. 2008. Magmatismo neógeno tardío de la Puna Norte. En B. Coira y E. O. Zappettini (Eds): Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Jujuy, 17º Congreso Geológico Argentino – Relatorio: 313-321.

Herrmann, C. 2016. Carta Minero Metalogenética 2366/I-2166/III Mina Pirquitas, provincia de Jujuy. Boletín N° 432 del Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. 129 páginas y mapa escala 1:250.000.

Heuschmidt, B. y Miranda-Angles, V. 2000. SINOPSIS DE LA METALOGENIA DE BOLIVIA. BOLETIN DEL SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA  
No. 19

Heuschmidt, B. y Miranda-Angles, V. 2000. LAS PROVINCIAS Y EPOCAS METALOGENICAS DE BOLIVIA EN SU MARCO GEODINAMICO. En Compendio de la Geología de Bolivia. R. Soruco Editor. Revista Técnica de YPFB Volumen 18 N° 1-2.

Laffite, P., F. Permintheat, y Routhier P. 1965. Cartographie metallogénique, metallotecte et géochimie regionale. Bull. Soc. Franc. Miner. Paris, Crist. 88: 3-6. Paris

Lehmann, B. 1990. Metallogeny of Tin. Lecture Notes in Earth Sciences, 32, 211 p.

Rodríguez, G.A., F.I.J. De Azevedo, B. Coira y C. Brodie. 2001. Mineralizaciones auríferas en sedimentitas ordovícicas de la sierra de Riconada (Jujuy-Argentina): implicancias para la exploración minera. Revista Geológica de Chile. V.28 N° 1. Santiago-Chile.

Rodríguez, G.A. 2000. Control litológico sobre el emplazamiento de vetas laminadas en secuencias turbidíticas de la sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina). Congreso Geológico de Bolivia, No. 14, Actas, Vol. 1, p. 441-444. La Paz, Bolivia.

Turner, J.C.M. 1972. Cordillera Oriental. En A.F. Leanza (Ed.): Geología Regional Argentina. Publicación Especial Academia Nacional de Ciencias Córdoba 117-142.

Kuchling, K., Davis, B., Sim, R., Dance, A., Ebrahimi A. y Embree, K. 2017. NI 43-101 Technical Report. Pre-feasibility Study of the Chinchillas Silver-Lead-Zinc Project. Jujuy Province. Argentina. Puna Operations Inc. a Joint Venture between Silver Standard Resources Inc. and Golden Arrow Resources Corporation.

SSR Mining. 2017. Mineral Reserves and Mineral Resources December 31, 2017. [http://www.ssrmining.com/\\_resources/reserves\\_resources.pdf](http://www.ssrmining.com/_resources/reserves_resources.pdf).

Zappettini, E., Miranda- Angeles, V, Rodríguez, C., Palacios, O., Cocking, R., Godeas, M., Uribe- Zeballos, H., Vivallo, W., Paz, M. M., Seggiaro, R., Heuschmidt, B., Gardeweg, M., Boulanger, E., Korzeniewski, L., Mpodozis, C., Carpio, M., Rubiolo, D. 2001. Mapa Metalogénico de la Región Fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S- 28° S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No 2, 1mapa escala 1: 1.000.000. Santiago de Chile.

Zappettini E. y S. Segal. 1994. Metallogeny of gold in Sierra de la Rinconada, provincia of Jujuy, Argentina. 9th IAGOD Symposium. Beijing, China. Abstract Vol. 1.

Zappettini E. y S. Segal. 1999. Depósitos aluvionales auríferos de la Puna, Jujuy. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR. Anales 35: 1841-1844. Buenos Aires.