

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLÓGICAS



**TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA**

**“PROSPECCIÓN – EXPLORACIÓN REGIONAL DE  
DEPÓSITO SEDIMENTARIO DE COBRE ESTRATIFORME  
EN EL SECTOR ORIENTAL DEL DORSO DE LOS  
CHIHUIDOS, PROVINCIA DE NEUQUÉN”**

**VERA RUEDA, JUAN PABLO**

**REGISTRO: 17349**

**Asesor: Lic. Gustavo Pezzani**

**AÑO: 2023**

## ÍNDICE

RESUMEN.....	4
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	6
1.1- Metodología de trabajo.....	8
1.2- Motivos y objetivos.....	10
1.3- Ubicación y vías de acceso.....	11
1.4- Generalidades de la zona.....	13
1.4.1 Fisiografía.....	13
1.4.2- Hidrografía.....	13
1.4.3- Suelo y vegetación.....	15
1.5- Antecedentes.....	18
1.5.1- Primeras exploraciones.....	18
1.5.2- Proyecto Neuquén.....	18
1.5.3- Proyecto Dorso De Los Chihuidos.....	21
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1- Depósitos tipo SSCU - Importancia y distribución.....	23
2.2- Descripción.....	24
2.3- Formación.....	26
2.4- Tipos de depósitos SSCU.....	27
2.4.1- Depósitos tipo Kupferschiefer (o de facies reducidas) .....	28
2.4.2- Depositos tipo “Red Beds” .....	28
2.5- La Cuenca Neuquina: Un ambiente favorable para la formación de depósitos tipo SSCU.....	30
CAPÍTULO 3: GEOLOGÍA REGIONAL.....	38
3.1- La Cuenca Neuquina.....	39
3.2- El Dorso De Los Chihuidos (DCh) .....	40
3.3- El Grupo Neuquén.....	42
CAPÍTULO 4: GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO .....	45
4.1- Distribución de la mineralización.....	46
4.2- Estilos de alteración.....	50
4.3- Modelo evolutivo del depósito.....	53

CAPITULO 5: TAREAS DE PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN REALIZADAS.....	55
5.1- Fase de prospección.....	55
5.1.1- Procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales.....	55
5.1.2- Muestreo de superficie.....	63
5.3- Fase de exploración avanzada.....	68
5.3.1- Perforaciones de diamantina.....	69
5.3.2- Perforaciones de aire reverso.....	71
CAPÍTULO 6: RESULTADOS FASE DE PROSPECCIÓN.....	77
6.1- Zona Norte.....	78
6.2- Zona Central.....	82
6.3- Zona Sur.....	85
6.4- Mapeo geoquímico / geológico.....	88
CAPITULO 7: RESULTADOS FASE DE EXPLORACIÓN AVANZADA.....	93
7.1- Sondajes gemelos de diamantina.....	93
7.1.1- Blanco Sapo Sur .....	93
7.1.2- Blanco Grillo Norte.....	96
7.1.3- Blanco Loro.....	98
7.1.4- Análisis geoquímicos: digestión con agua regia vs digestión multiácida..	101
7.2- Sondajes de aire reverso.....	104
7.2.1- Blanco Sapo Sur.....	104
7.2.2- Blanco Grillo Norte.....	107
7.3.3- Blanco Loro.....	108
7.3.4- Blanco Carranza.....	110
7.2.5- Análisis estadístico univariado / multivariado.....	111
7.3- Programa QA/QC.....	125
CAPÍTULO 8: DISCUSIONES.....	129
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES.....	132
CAPÍTULO 10: RECOMENDACIONES.....	135
CAPÍTULO 11: BIBLIOGRAFÍA.....	139
AGRADECIMIENTOS.....	148
ANEXO: MAPAS.....	149

## RESUMEN

*El Dorso De Los Chihuidos es un importante pliegue braquianticlinal de 70 km de longitud de eje con orientación NO-SE, ubicado en el Centro-Norte de la Provincia de Neuquén. El mismo es un elemento estructural generado a partir del Neógeno. A lo largo de su flanco oriental afloran estratos sedimentarios del Gp. Neuquén, con numerosas manifestaciones someras de mineralización económica de Cu-V (Ag-U) que, de acuerdo a sus características, permiten clasificarlo como un depósito sedimentario de cobre estratiforme (SSCU). Este depósito ha sido explorado desde hace dos décadas, incluyendo numerosas campañas de mapeo, muestreo de superficie y perforaciones de aire reverso.*

*En el presente trabajo se describen las tareas de prospección y exploración regional llevadas a cabo entre los años 2018 y 2020 a lo largo del flanco oriental del Dorso De Los Chihuidos. Las mismas involucraron un procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales, un programa regional de muestreo de superficie con mapeo de alteraciones, y posteriormente un programa de perforaciones de definición en blancos antiguamente explorados, usando métodos de diamantina y aire reverso. Se llevó a cabo también un subsecuente análisis estadístico univariado y multivariado en muestras extraídas de las perforaciones.*

*Los resultados permitieron definir 4 nuevos blancos de exploración con potencial de aumentar los recursos de Cu y V del depósito, y numerosos sectores para continuar con trabajos de prospección. Asimismo, se delimitaron los recursos en 3 de los blancos que ya habían sido explorados antiguamente, aumentando la categoría de los mismos de inferidos a indicados. La distribución geoquímica de elementos metálicos e indicadores permitió proponer nuevos métodos de prospección basados en la combinación de métodos geofísicos, que permitirían identificar potenciales niveles alterados con mineralización económica.*

*La distribución regional de los niveles alterados y mineralizados en las sedimentitas del Gp. Neuquén, ha permitido definir un frente redox regional a lo largo de más de 70 km, vinculado a la génesis del depósito de Cu-V del Dorso De Los Chihuidos. A su vez, tres diferentes niveles de erosión han sido identificados exponiendo los niveles*

*con mineralización metálica a distintas profundidades: un nivel de erosión superficial, un nivel de erosión intermedio y un nivel de erosión profundo.*

## **ABSTRACT**

*The Dorso De Los Chihuidos is an important brachyanticlinal fold with a 70 km length of its axis oriented NW-SE, located in the Central-North part of the Neuquén Province. It is a structural element generated from the Neogene. Along its eastern flank, sedimentary strata from the Neuquén Group outcrop, with numerous shallow manifestations of economic Cu-V (Ag-U) mineralization, which, according to their characteristics, can be classified as a sediment-hosted stratiform copper deposit (SSCU). This deposit has been explored for two decades, including numerous mapping campaigns, surface sampling, and reverse air drilling.*

*This paper describes the prospecting and regional exploration tasks carried out between 2018 and 2020 along the eastern flank of the Dorso De Los Chihuidos. These activities involved the processing of multispectral satellite images, a regional surface sampling program with alteration mapping, and subsequently a definition drilling program in previously explored targets, using diamond drilling and reverse air methods. Subsequent univariate and multivariate statistical analysis was also conducted on samples extracted from the drill holes.*

*The results allowed for the definition of 4 new exploration targets with the potential to increase the Cu and V resources of the deposit, as well as numerous areas for ongoing prospecting work. Furthermore, resources were delineated in 3 of the targets that had previously been explored, upgrading their category from inferred to indicated. The geochemical distribution of metallic and indicator elements suggested new prospecting methods based on the combination of geophysical methods, which could identify potential altered levels with economic mineralization.*

*The regional distribution of altered and mineralized levels in the sedimentites of the Neuquén Group has allowed for the definition of a regional redox front extending over more than 70 km, linked to the genesis of the Cu-V deposit of the Chihuidos Ridge. In addition, three different erosion levels have been identified, exposing the levels with metallic mineralization at different depths: a shallow erosion level, an intermediate erosion level, and a deep erosion level.*

## CAPITULO 1: INTRODUCCION

Los depósitos sedimentarios de cobre estratiforme (SSCU) son conocidos a nivel mundial por aportar más del 20% del cobre que ha sido descubierto, siendo también una fuente muy importante de cobalto, vanadio, plata y uranio. Son depósitos minerales alojados en rocas sedimentarias, mayormente areniscas y pelitas, vinculados siempre a grandes volúmenes de estratos rojizos (*“red beds”*) por donde circulan fluidos cuencales que lixivian los metales de estas rocas y se tornan químicamente oxidantes en el contacto con estas. Estos fluidos, al encontrar niveles ricos en materia orgánica (químicamente reductores) depositan los metales que transportan, producto de reacciones redox.

Depósitos de este tipo se conocen en la Cuenca Neuquina de Argentina desde el año 1927. En ese contexto, el Dorso De Los Chihuidos, ubicado en la Provincia De Neuquén, ha sido explorado desde el año 2005 por sus importantes manifestaciones de cobre y vanadio en areniscas y conglomerados.

El Dorso De Los Chihuidos (DCH) corresponde a un gran pliegue braquianticlinal de más de 80 km de extensión, con su eje principal orientado NO-SE. Este alto estructural ha sido interpretado como producto de inversión tectónica de hemi-grábenes triásicos en una cuenca de antepaís (Maretto y Pángaro, 2005), y los últimos episodios compresivos habrían ocurrido durante el Cenozoico (Mosquera y Ramos, 2006).

Las ocurrencias más importantes de cobre y vanadio se encuentran distribuidas irregularmente a lo largo de más de 80 km en el flanco oriental del Dorso De Los Chihuidos, asociado a un frente redox regional mapeado por Rainoldi et al., (2014) en el extremo norte del braquianticlinal, y por Testi y Giusiano (2020) en su extremo sur. Las mayores concentraciones minerales ocurren a lo largo de paleocanales fluviales de la Formación Huincul (correspondiente al Grupo Neuquén), orientados NO-SE, que se encuentran a profundidades someras y presentan espesores variables. Estos paleocanales forman parte de un sistema fluvial meandroso y comprenden capas de grano medio a grueso (conglomerados y areniscas), lo que sugiere que la porosidad y permeabilidad de la roca huésped ocupan un rol fundamental en la formación de la mena. Estas rocas presentan una alteración conocida como *“bleaching”*, que genera una decoloración en las areniscas rojizas originales (tornándolas de color blanco a

amarillento) por lixiviación de hematita, depositación de pirita y la asociación clorita-esmectita. En varias de las ocurrencias de V-Cu del DCh se han encontrado evidencias de migración de hidrocarburos y las mineralizaciones de alta ley de Cu-V, así como la alteración tipo *bleaching*, poseen relación directa con la circulación de hidrocarburos en la Formación Huincul (Rainoldi et al., 2017). Esto se explica por la ruptura de sellos de trampas de hidrocarburos jurásicas durante los Movimientos Ándicos (Oligoceno Superior-Mioceno), que disparó la remigración de hidrocarburos y salmueras hacia estratos superiores, alcanzando a la Formación Huincul, que actuó en esta etapa como un “*carrier bed*” y la Formación Lisandro como el sello de los hidrocarburos que circularon desde el eje del anticlinal (Cevallos et al., 2014). La circulación de estos fluidos ricos en hidrocarburos habría generado la alteración tipo *bleaching* o decoloración en las zonas más permeables de la Fm. Huincul. Posteriores pulsos de migración de fluidos generaron el ingreso de salmueras cuencales ricas en Cu, que se tornaron oxidantes en contacto con los estratos rojizos. Los hidrocarburos alojados en las areniscas más intensamente decoloradas (areniscas blancas), actuaron como trampa reductora para la precipitación de los sulfuros que se encuentran asociados a bitumen (Rainoldi et al., 2017), principalmente calcosina-djurleita. Un evento de exhumación póstumo generó la exposición y erosión parcial del sistema. El ingreso de aguas meteóricas favoreció la formación de los sulfatos, carbonatos y silicatos de cobre, tales como crisocola, malaquita, azurita y brochantita, promoviendo también la precipitación de volbortita como principal producto oxidado de vanadio.

Trabajos de exploración llevados a cabo entre los años 2005 y 2012 a lo largo del flanco oriental del Dorso De Los Chihuidos, que implicaron más de 10.000 metros de perforaciones de aire reverso, permitieron definir cuatro blancos denominados Sapo Norte, Sapo Sur, Grillo y Loro, con mineralización de cobre y vanadio en niveles someros (aflorantes y hasta los 35 metros de profundidad) de espesores entre 1 a 5 metros. Estos blancos presentan recursos de Cu-V estimados (en categoría de inferidos) y hoy se encuentran en etapa de exploración avanzada.

En el presente escrito se describen los trabajos realizados a nivel regional, a lo largo del margen oriental del Dorso De Los Chihuidos durante el periodo 2019-2021. Estos se pueden dividir en 2 etapas; una primera etapa de prospección en sectores que no

habían sido previamente explorados, a fines de hallar nuevos recursos para sumar a los ya conocidos; y una segunda etapa de exploración avanzada en tres de los blancos donde ya se han estimado recursos, a fines de confirmar, delimitar estos y aumentar su categoría de confianza, de inferidos a indicados.

## 1.1 Metodología de trabajo

La etapa de prospección comenzó con un estudio de imágenes satelitales multiespectrales Aster y Landsat para definir sectores de interés. Este estudio involucró un análisis espectral de las rocas con alteración tipo *bleaching* (vinculadas en general a la mineralización de Cu-V), y la generación de un índice a partir de la sumatoria de bandas con alta respuesta de reflectancia, para resaltar zonas de alteración. El método de clasificación supervisada permitió generar un mapa geológico en el que se diferencian las rocas de la Fm. Huincul con posible alteración, de aquellas inalteradas. Para este estudio se utilizó el *software* ENVI 5.3.

Las tareas de prospección subsiguientes fueron en el campo e involucraron un programa de muestreo regional de superficie, con la aplicación de un método que consiste en extraer polvo de roca con un taladro de mano, y la realización de un análisis geoquímico in situ por medio de un analizador de elementos livianos que utiliza fluorescencia de rayos X (XRF). El muestreo también involucró un relevamiento de litología, alteración y mineralización. La información fue posteriormente procesada en gabinete, donde se generaron mapas de alteración y geoquímica de las zonas de mayor interés. Esto se realizó con los *softwares* ArcGis Pro 2.9, y Surfer 8.0.

La etapa de exploración avanzada consistió en la realización de pozos de definición (infill y delimitación) enfocado en los principales blancos con recursos de Cu y V calculados (Sapo Sur, Grillo, Loro), así como algunos pozos exploratorios en un nuevo blanco de interés (Carranza). Se efectuó primeramente un programa de 9 sondajes gemelos de diamantina totalizando 275 metros. Estos se realizaron a un metro de viejos pozos de aire reverso, a los fines de corroborar la mineralización de cobre y vanadio de estos pozos que se utilizaron para estimar los recursos del depósito. Los testigos de roca extraídos fueron logueados describiendo litología, alteración y mineralización; y posteriormente se tomaron muestras a intervalos de entre 0,3 y 1 metro, respondiendo directamente a la geología observada. Las muestras se enviaron



al laboratorio de Alex Stewart International (con sede en la provincia de Mendoza), donde se les realizó dos tipos de análisis químicos: ICP con digestión por agua regia e ICP con digestión por medio de cuatro ácidos. Los resultados geoquímicos fueron analizados y comparados por medio de gráficos ley vs profundidad entre pozo original y pozo gemelo. Asimismo, los resultados obtenidos por ambos métodos de análisis se compararon en forma numérica y por medio de gráficos de dispersión, para definir el método más apropiado a utilizar en el depósito. Este análisis comparativo se llevó a cabo con el *software* Microsoft Excel 2016.

La siguiente tarea en la etapa de exploración avanzada consistió en la ejecución de 842 metros de perforación con el método de aire reverso, distribuidos en 37 sondajes someros formando grillas de 200 metros, complementarias a los pozos de aire reverso existentes de antiguas exploraciones. Las muestras de tipo *cutting* se logearon y muestrearon metro a metro, para ser posteriormente enviadas al laboratorio de Alex Stewart, donde se les realizó el análisis químico. Con los resultados de estos análisis se confeccionó una base de datos en Microsoft Excel 2016, en los que se integró la descripción geológica con la geoquímica de cada metro de perforación, de incluyendo también los sondajes de campañas de exploración anteriores (años 2007 a 2012). A partir de esta base de datos se identificaron los intervalos de cada pozo con leyes de Cu y V por encima del valor de corte o *cutoff* del depósito. Los sondajes con intervalos de alta ley fueron volcados sobre una imagen satelital de la zona del depósito, por medio del *software* QGIS 3.20. Con ello se dibujó un contorno de la mineralización económica de Cu y V en planta, para cada uno de los blancos que se perforaron.

A partir de los datos geoquímicos de las muestras de perforaciones de aire reverso (884 en total) se efectuó un análisis exploratorio de datos aplicando estadística univariada y multivariada. Las variables consideradas fueron los 42 elementos que entregan los análisis de laboratorio. La estadística univariada involucró el cálculo de las medidas resumen para cada elemento analizado, confección de histogramas de distribución de datos, cálculo de valores atípicos (*outliers*) y confección de gráficos de dispersión. Para ello se utilizaron los *softwares* de uso libre Infostat 2020 y R Project. La estadística multivariada consistió en la confección de una matriz con los coeficientes de correlación de Pearson para todos los pares de elementos analizados, y un análisis de componentes principales (PCA) para la identificación de grupos de

elementos afines. Consecuentemente se efectuaron gráficos de valor medio y cajas y bigotes para una selección de elementos de interés (Cu, V, Fe, K) en función de la intensidad de la alteración descrita en el logeo geológico, así como gráficos de ley vs profundidad integrados. Para el análisis multivariado se utilizó el software Infostat 2020, mientras que los gráficos fueron confeccionados con una versión de prueba gratuita del software loGAS 7.4.2.

La integración regional de los datos analizados permitió confeccionar un mapa regional del frente redox asociado a la mineralización de Cu-V del depósito de Los Chihuidos, así como un perfil esquemático regional del depósito, de orientación NO-SE.

## **1.2 Motivos y Objetivos**

El presente trabajo e informe de Trabajo Final de Licenciatura tiene por finalidad dar cumplimiento al último requisito del plan de estudios de la carrera Licenciatura en Ciencias Geológicas, perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, a fin de optar por el título de grado correspondiente. El trabajo se realizó en el marco del proyecto de exploración “Dorso De Los Chihuidos”, de la compañía Orión Del Sur SA.

El objetivo general de este trabajo es contribuir al conocimiento de los recursos no renovables de la región del Dorso De Los Chihuidos en la Provincia de Neuquén, con la finalidad de definir los metalotectos a escala local y regional que permitan generar guías para orientar la exploración de este tipo de depósitos en la Cuenca Neuquina.

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- A partir de un programa de prospección regional, definir zonas anómalas con potencial de hallar nuevos recursos de interés económico en el área del Dorso De Los Chihuidos.
- Confirmar, caracterizar y delimitar los recursos minerales de cobre y vanadio en áreas de exploración avanzada, mediante un programa de perforaciones de tipo *infill* y de delimitación.
- A partir de estudios geoquímicos, identificar posibles elementos indicadores o trazadores de la mineralización metálica de este tipo de depósitos, que puedan servir como guías para futuras campañas de exploración a nivel regional y local.

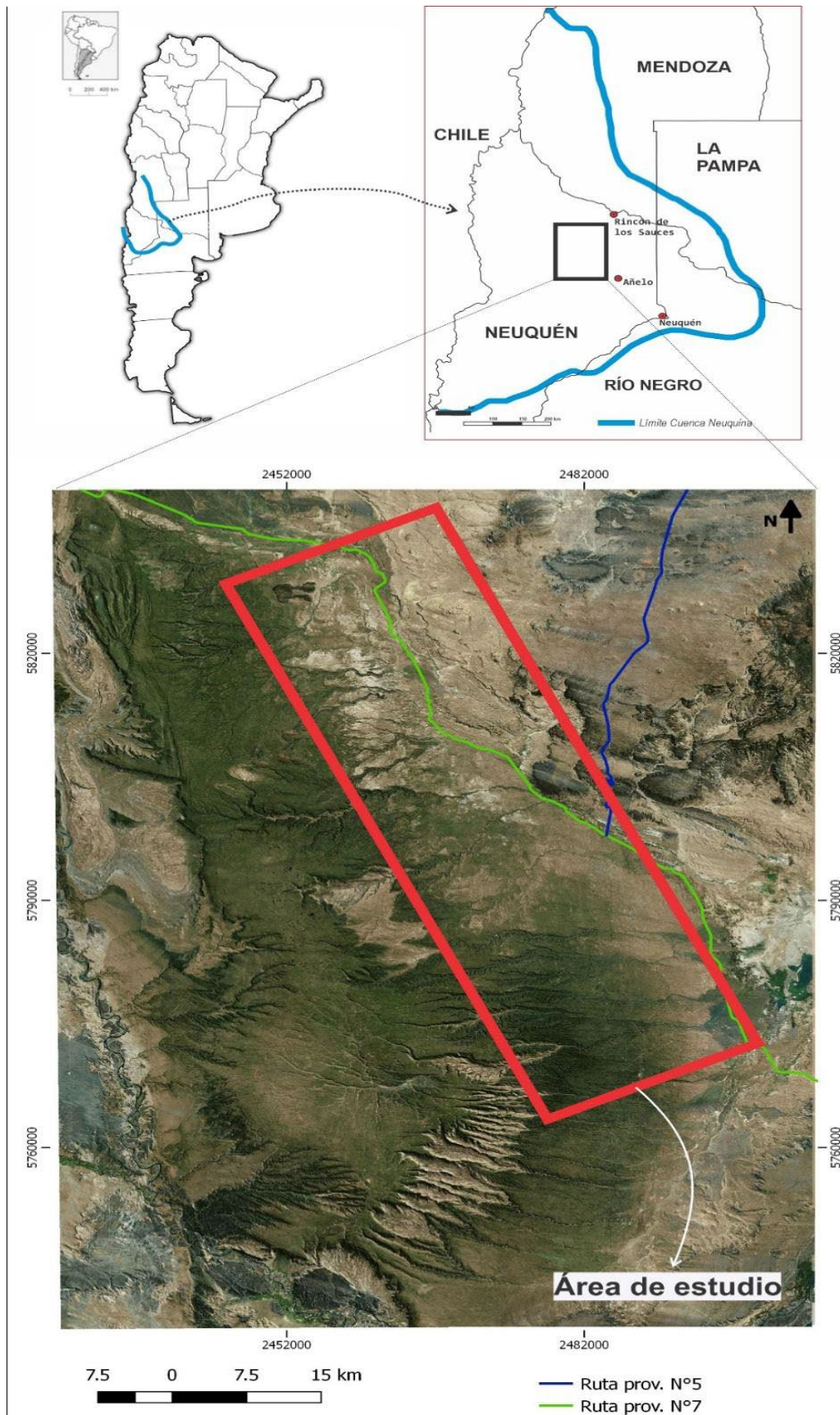
- Definir una posible extensión hacia el sur del frente redox regional vinculado a la mineralización metálica, descrito por Rainoldi et al (2014) en el sector norte del Dorso De Los Chihuidos (en su flanco oriental), así como una posible conexión con el frente redox mapeado por Testi Y Giusiano (2020) en su extremo sur.

Como objetivo adicional, se pretende con este trabajo aportar conocimientos teóricos sobre los Depósitos Sedimentarios de Cobre Estratiforme (SSCU). Dado que hay muy poca literatura disponible sobre este tema en idioma español, en el presente trabajo se han resumido los aspectos más importantes de estos yacimientos, tanto en general, como en el ámbito de la Cuenca Neuquina. Se espera que este trabajo sea una fuente de información útil para quienes deseen estudiar o adquirir conocimientos sobre este tipo de depósitos.

### **1.3 Ubicación y Vías de acceso**

La zona de trabajo se encuentra en el sector centro-oriental de la provincia de Neuquén, dentro del Departamento de Añelo. Geológicamente se ubica en el sector centro-occidental de la Cuenca Neuquina, en la denominada región del Engolfamiento Neuquino (Alonso et al., 2011), dentro de una unidad morfoestructural correspondiente a un amplio pliegue braquianticlinal conocido como Dorso de los Chihuidos (Fig. 1). La zona de trabajo abarca el flanco oriental de este gran pliegue, a lo largo de aproximadamente 65 km de extensión.

Las localidades más cercanas al proyecto son la ciudad de Añelo, ubicada aproximadamente a 50 kilómetros hacia el sureste; la localidad de Rincón de los Sauces, que se ubica a unos 70 kilómetros al noreste; y la localidad de Chos Malal, que se encuentra a 90 kilómetros hacia el noroeste. Se accede a la zona de trabajo por medio de la Ruta Provincial N° 7, y a partir de la misma se debe ingresar por medio de caminos secundarios (muchos actualmente en desuso) o líneas sísmicas, en su mayoría sólo transitables por vehículos de doble tracción.



**Fig.1:** Ubicación de la zona de trabajo, en el flanco oriental del Dorso De Los Chihuidos

## 1.4 Generalidades de la zona

### 1.4.1 Fisiografía

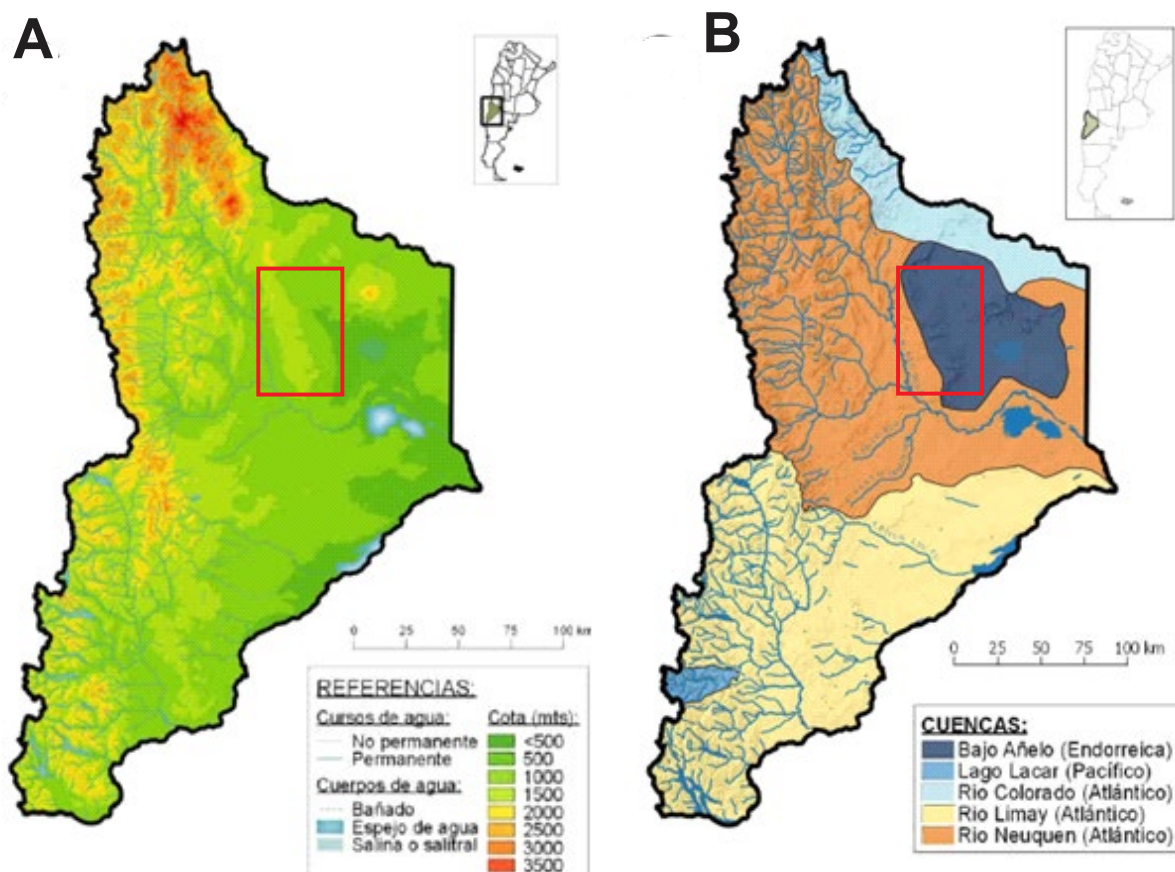
La provincia de Neuquén presenta variaciones tanto altitudinales como de forma, longitud e inclinación de las pendientes. Casi un tercio de la superficie provincial se halla comprendida entre los 1.000 y 1.500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y algo más de la mitad del territorio se localiza entre 750 y 1.500 msnm. El 91% de la superficie provincial queda limitada a alturas que no superan los 2.000 msnm. Las mayores elevaciones, superiores a 2.000 metros, no alcanzan a cubrir el 8%. En la zona de trabajo correspondiente al Dorso de los Chihuidos, predominan cotas con valores entre 500 y 700 m (Fig. 2).

### 1.4.2 Hidrografía

La hidrografía de la provincia de Neuquén se compone de cinco cuencas, de las cuales cuatro son de carácter exorreico, drenando tanto hacia el Océano Atlántico (cuencas de los Ríos Neuquén, Limay y Colorado), como al Océano Pacífico (cuenca del lago Lacar). Una última cuenca es la del Bajo de Añelo, que tiene carácter endorreico y además es el área más baja de la provincia de Neuquén. Dentro de esta cuenca se localiza el área de trabajo en el Dorso de Los Chihuidos (Fig. 2).

Los ríos más importantes de la provincia de Neuquén son el Río Neuquén, el Río Limay y el Río Colorado. El Río Neuquén, con un caudal 310 m<sup>3</sup>/s, presenta oscilaciones muy dispares en relación a años secos o húmedos. Nace en el norte de la provincia, y recorre una distancia aproximada de 540 km hasta su confluencia con el Río Limay. Este último, con un caudal de 650 m<sup>3</sup>/s, tiene su nacimiento en el lago Nahuel Huapi, es alimentado por alrededor de 42 lagos y tiene un régimen pluvio-nival. El Río Neuquén y el Río Limay conforman el Río Negro, con un caudal aproximado de 960 m<sup>3</sup>/s, constituyendo el sistema hidrográfico más importante de todos los que están comprendidos en el territorio argentino. El Río Colorado se origina de la confluencia de los Ríos Grande y Barrancas, en la localidad de Buta Ranquil. Desde su nacimiento, en la Cordillera de los Andes, hasta su desembocadura en el Océano Atlántico los Ríos Grande, Barrancas y Colorado recorren 1.200 km en dirección noroeste-sureste. Sus aguas son compartidas por las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires. El régimen hídrico del Río Colorado es fuertemente estacional, producto de su alimentación

preponderantemente nival. Posee un módulo de  $149 \text{ m}^3/\text{seg}$  y drena un área de  $48.000 \text{ km}^2$ .



**Fig.2:** Fisiografía (A) e hidrografía (B) de la provincia de Neuquén, donde se indica con un recuadro rojo la ubicación del Dorso de Los Chihuidos. Modificación de imagen elaborada por el ETR-FAO-Neuquén y Río Negro con base en datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria e Instituto Geográfico Nacional.

La provincia del Neuquén presenta una importante heterogeneidad climática natural, la que se debe principalmente a los gradientes climáticos asociados a las temperaturas y a las precipitaciones. En el primer caso, se relaciona con la altimetría, con menores temperaturas a medida que la altura es mayor y, en el segundo caso, a la variación en sentido oeste-este que presentan las precipitaciones, las cuales son abundantes en la zona cordillerana, disminuyendo su intensidad abruptamente hacia el este, presentando además desigual distribución a lo largo del año.

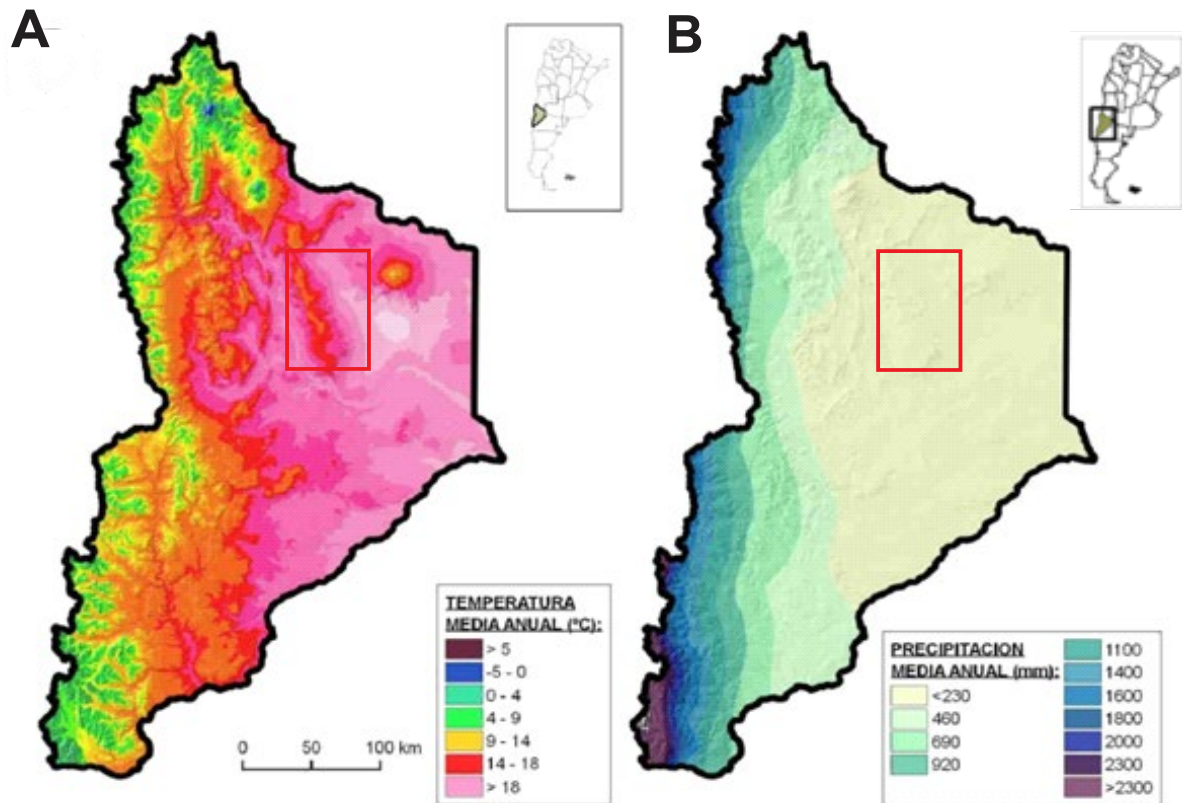
En la Región Andina, el sector oeste de la provincia, el clima varía de Húmedo y Perhúmedo a Subhúmedo-Húmedo, mediando entre la ocurrencia de los dos primeros, distancias entre 20 a 30 km. Las precipitaciones se incrementan en dirección al límite internacional, desde los 800 mm hasta superar los 2.500 mm anuales, con

gradientes de 40 a 70 mm por kilómetro en la dirección citada. Con respecto a la temperatura media anual varía entre 11°C y 8°C. El período libre de heladas es inferior a 90 días.

En la Región Extrandina, donde se encuentra ubicada la zona de trabajo, el clima varía de subhúmedo seco a árido, las precipitaciones anuales varían de 300 mm a 150 mm y la temperatura media anual entre 10°C y 14°C (Fig. 3), mientras que las máximas medias varían entre 16°C y 23°C. Esta amplitud anual está también acompañada de una gran amplitud diurna. Ambas son características propias de regiones continentales. Las temperaturas extremas van de una máxima absoluta de 42,3°C en verano a una mínima de -12,8°C en invierno. A ello se suma también una importante variabilidad interdiurna, propia de las latitudes medias.

#### **1.4.3 Suelo y vegetación**

De acuerdo a los estudios realizados por Farrar et al. (2006), se ha dividido a la provincia de Neuquén en dos regiones, teniendo en cuenta la distribución y los procesos pedogenéticos. Estas son la Región Andina y la Región Extrandina. La primera se ubica en el borde occidental de la provincia, asociada al límite político con Chile. Se caracteriza por su relieve montañoso modelado por la acción glaciaria, el relieve es abrupto y las pendientes en los faldeos varían entre 30% y 70% de inclinación. Dicha región ha sido fraccionada en dos subregiones: Húmeda montañoso y Subhúmeda montañoso. Los suelos presentan un régimen térmico Mésico, de zonas altas y frías cuya temperatura media anual a los 50 cm de profundidad es superior a los 8°C pero inferior a los 15°C.



**Fig.3:** Clima de la provincia de Neuquén, donde se muestra la temperatura media anual de las distintas regiones (A) y las precipitaciones medias anuales (B). Con un recuadro rojo se indica la ubicación del Dorso de Los Chihuidos. Modificación de imagen elaborada por el ETR-FAO-Neuquén y Río Negro con base en datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria e Instituto Geográfico Nacional.

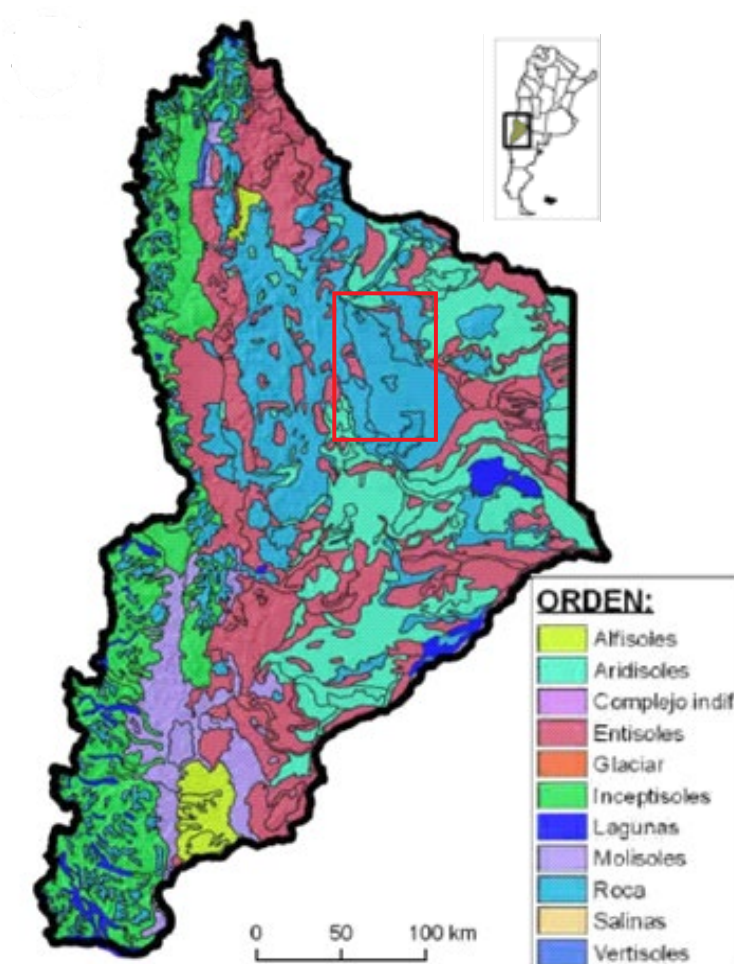
hacia el sector oriental predominan extensas mesetas, cuyas pendientes van de 0 a 8%. Solo en las bardas de relieve en gradería, las pendientes alcanzan entre 16% y 30%. Esta se subdivide en tres subregiones: Subhúmeda de planicies, colinas y serranías, Árida Serrana y Árida Mesetiforme. El régimen térmico de los suelos de dicha zona es Térmico, que caracteriza a aquellos suelos con una temperatura promedio superior a los 15 °C pero inferior a los 22 °C, y la diferencia entre las medias de verano e invierno es superior a los 5 °C a 50 cm de profundidad.

En una transecta perpendicular de las regiones (en sentido suroeste-noreste) desde la Subregión Húmeda Montañosa hacia la Árida Mesetiforme, se aprecia un conjunto de variaciones en los suelos, las que en síntesis se manifiestan en una disminución del contenido de materia orgánica y la atenuación de la melanización en su expresión y espesor; al mismo tiempo el complejo de intercambio se exhibe progresivamente más saturado, y el pH adquiere paulatinamente valores más elevados, como consecuencia del incremento de concentraciones salinas, yesosas y calcáreas,



acorde a un régimen hídrico cada vez más deficitario. Teniendo en cuenta la clasificación de suelos (Soil Taxonomy, USDA), estos varían en orden, siguiendo la misma transecta, de Andosoles a Entisoles y Aridisoles.

De manera particular, en el área de trabajo ubicada en el Dorso de Los Chihuidos predomina la presencia de afloramiento rocoso (ausencia de suelos), y en menor proporción pueden reconocerse suelos del orden de los Entisoles (Fig. 4). Con respecto a la vegetación, están involucrados dos dominios florísticos conocidos como “estepas subarbustivos de *Grindelia Chiloensis*, *Senecio* spp. y *Cassia Kurtzii*”, y otro denominado “estepas arbustivas medias a altas” de *Larrea divaricata*, *Larrea cuneifolia*, *Prosopidastrum globosum*, *Schinus polygamus*, *Ephedra ochreatea* y *Stipa* spp.



**Fig.4:** Mapa con los distintos tipos de suelos en la provincia de Neuquén. Se puede observar que en la zona del Dorso de Los Chihuidos (indicada con un recuadro rojo) predominan los afloramientos rocosos, con participación menor de suelos de tipo entisoles. Modificación de imagen elaborada por el ETR-FAO-Neuquén y Río Negro con base en datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria e Instituto Geográfico Nacional.

## **1.5 Antecedentes**

### **1.5.1 Primeras exploraciones**

Depósitos de tipo SSCU (Sediment-hosted Stratiform Copper) se conocen en la Cuenca Neuquina desde el año 1927. Una compañía local realizó trabajos de exploración en áreas mineralizadas denominadas como Barda González, Cerro Granito, Tordillos y Cerro Mesa durante los años '30.

Durante los años '50, los propietarios de Cerro Granito y Tordillos exploraron las propiedades mediante una grilla regular de calicatas de 1m x 1m x 2m, con resultados negativos.

El primer programa de exploración sistemático fue llevado a cabo por Polimet/Yamana Resources y luego continuado por Mount Isa Mines entre los años 1992 y 1998. Se identificaron 22 proyectos, de los cuales 11 fueron perforados. Se efectuaron en total 22.352 metros de sondajes por el sistema de rotación/rotopercusión por Aire Reverso. En el año 2002, Río Tinto realizó algunos trabajos esporádicos en la zona, sin mayores resultados. En el año 2004, Northern Orión, a través de Minera Agua LLC se encontraba revisando algunas propiedades en proximidades de Chos Malal como parte de un programa de reconocimiento regional, cuando se advirtió la existencia de mineralización de cobre reemplazando troncos y materia orgánica en paleocanales. En el año 2006, la empresa Orión del Sur SA adquiere los derechos de exploración de estas propiedades, obteniendo la concesión de derechos mineros sobre un total de 327.950 hectáreas, de las cuales 146.839 corresponden a concesiones de explotación (minas), mientras que los 178.956 restantes son exclusivamente para exploración (cateos). Con esto la empresa diseñó un programa de exploración integral de toda la Cuenca Neuquina, bajo la denominación de Proyecto Neuquén.

### **1.5.2 Proyecto Neuquén**

Orión del Sur S.A. comenzó actividades de exploración de depósitos tipo SSCU en la Cuenca Neuquina en junio de 2006.

El proyecto tuvo dos objetivos principales. Por un lado, avanzar con la estimación de recursos existentes en proyectos ya conocidos y que previamente habían sido explorados por otras empresas, tales como Barda González, Tordillos y el Porvenir. En segundo lugar, ubicar más recursos dentro de la cuenca, a través del descubrimiento de nuevas ocurrencias mediante un programa de exploración integral.

En ese contexto se inició la exploración del Dorso de los Chihuidos, donde se delinearon numerosos objetivos o “targets” de interés (Fig. 5).

El trabajo en estas zonas consistió fundamentalmente en un mapeo geológico de los sectores alterados, muestreo y relevamientos a través de perfiles. Entre los años 2005 y 2008 se extrajeron un total de 957 muestras de superficie sólo en la región del Dorso de los Chihuidos. A continuación de este trabajo, se desarrolló un programa de perforación. Entre los años 2007 y 2008 se realizaron un total de 283 sondajes, de los cuales 118 fueron en el Dorso de los Chihuidos. Estos 118 sondajes se realizaron con el método de circulación normal, con recuperación de polvo, con un total de 12.520 metros perforados (Tabla 1). Los otros 165 sondajes restantes fueron del tipo de circulación reversa.

La región del Dorso de los Chihuidos destacó sobre el resto por presentar leyes más importantes, con espesores y distribución areal de la mineralización más significativas que el resto de los proyectos. Tal es así que en el año 2012 se realizó un segundo programa de perforación, sólo en dicha región. Se realizaron 190 nuevos sondajes con método de circulación común, sumando un total de 6786 metros perforados (Tabla 2). Los sondajes fueron logueados metro a metro, y las muestras extraídas se enviaron a laboratorio para su análisis químico.

El Proyecto Neuquén permitió definir, en el Dorso De Los Chihuidos, cuatro sectores con acumulaciones de cobre (y otros metales, tales como vanadio y plata) suficientemente importantes como para ser considerados blancos de exploración avanzada. Estos se denominaron Sapo Norte, Sapo Sur, Grillo y Loro (Fig. 6). Todos ellos tienen potencial para convertirse en minas de explotación a cielo abierto.

- En el blanco Sapo Norte se estimó un tonelaje del orden de 10 Mt para la zona de mineralización, con una ley de 0,3% Cu, y con valores moderados de Ag.
- En el blanco Sapo Sur Se estimó un total de 15 Mt con 0,4% Cu.
- Para el blanco Grillo se calcularon recursos de 9,5 Mt y un promedio de 0,42 % de Cu, que luego fueron incrementados a partir de la campaña realizada en el año 2012, donde se definieron leyes variables entre 0,1 y 1 % Cu, con anomalías de V y U para los cuerpos mineralizados.
- En el blanco Loro se estimó un contenido de 10 Mt de mineralización de cobre, con un grado de 0,27 % Cu



Fig.5: Principales proyectos (prospectos o blancos de exploración) de Orión Del Sur en la provincia de Neuquén, indicados con círculos azules. Con un recuadro rojo se indican los ubicados en el sector del Dorso de Los Chihuidos.

Proyecto	Sondajes	Tipo	Metros perforados
Cantera Grande	48	CRV	2528
Tordillo	50	CRV	2514
El Porvenir	24	CRV	994
Barda González	43	CRV	3404
Loro	65	CC	1456
Sapo Sur	27	CC	919
Sapo Norte	26	CC	705
	<b>283</b>		<b>12520</b>

**Tabla 1:** Sondajes y metros perforados entre los años 2007 y 2008 en los distintos blancos de exploración de Orión Del Sur, dentro de la provincia de Neuquén. Con recuadro rojo se indican los blancos ubicados en el Dorso de Los Chihuidos. CC= Circulación normal. CRV= Circulación reversa.

Proyecto	Sondajes	Tipo	Metros perforados
Sapo Norte	38	CC	1451
Sapo Sur	56	CC	1865
Grillo	96	CC	3470
	<b>190</b>		<b>6786</b>

**Tabla 2:** Sondajes y metros perforados en el año 2012 en los distintos blancos de exploración de Orión Del Sur ubicados en el Dorso de Los Chihuidos. CC= Circulación normal.

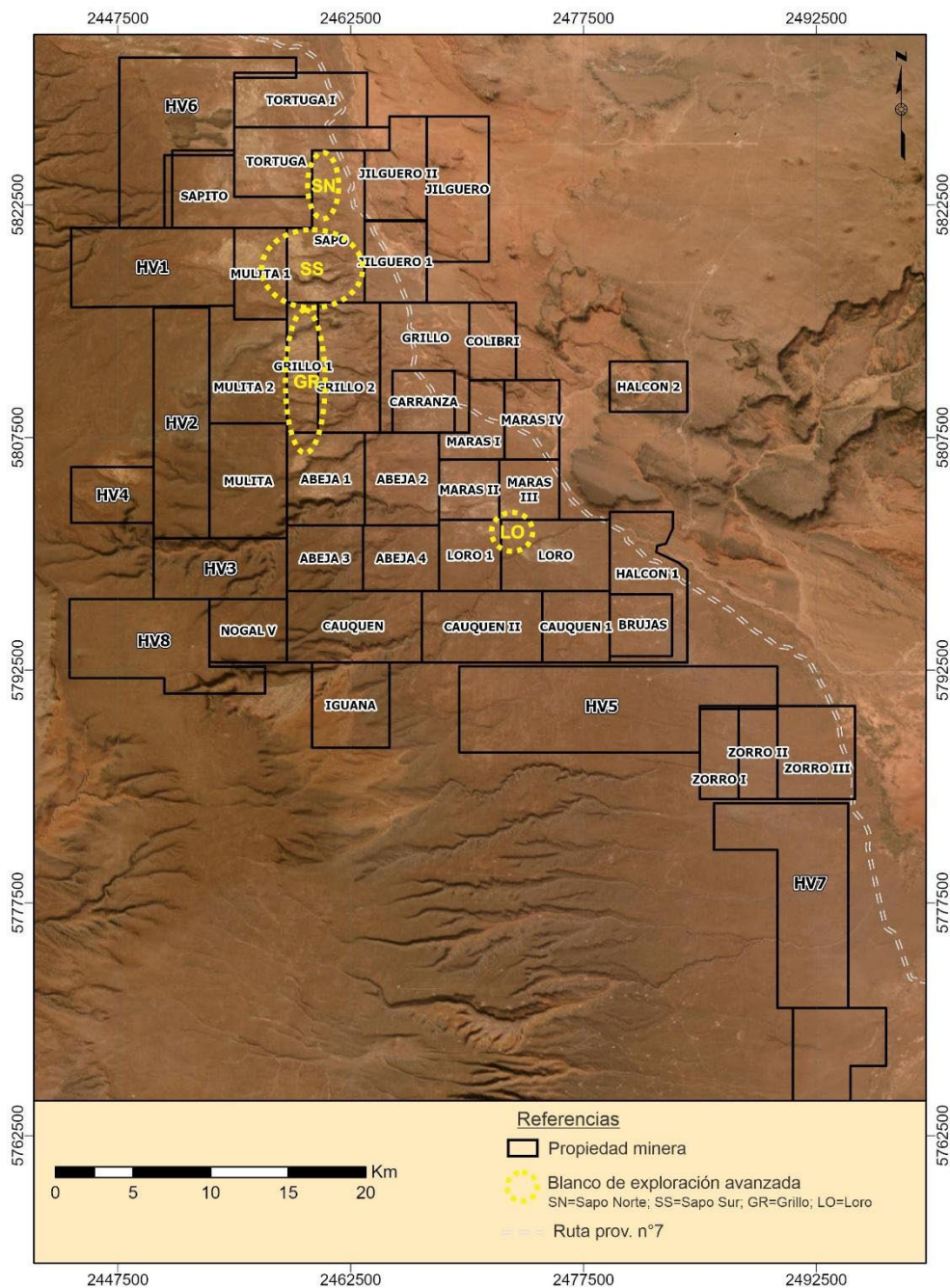
### 1.5.3 Proyecto Dorso De Los Chihuidos

En el año 2018, Orión Del Sur S.A. se asocia con la compañía HV Mining, adquiriendo la concesión de derechos mineros de un total de 52.010 hectáreas en el Dorso de los Chihuidos, distribuidas entre 9 propiedades mineras localizadas hacia el sur-sureste y hacia el oeste de los blancos de exploración avanzada de Orión Del Sur en dicha región (Fig. 6). Ese año se iniciaron tareas de prospección en el marco del proyecto Dorso De Los Chihuidos, tanto en las propiedades adquiridas ese mismo año como en las que ya pertenecían a Orión Del Sur y que no fueron estudiadas anteriormente, con el objetivo de identificar una posible extensión de las ocurrencias de cobre y vanadio en las zonas aledañas a los blancos con recursos ya estimados, y de esa forma ampliar dichos recursos en la región del Dorso de los Chihuidos.

En el año 2021 se diagramó un nuevo programa de perforaciones, que se llevó a cabo entre los meses de mayo y agosto de dicho año. El mismo consistió en la realización de 9 sondajes gemelos de diamantina y 41 sondajes de aire reverso, ejecutados en sectores de 3 de los blancos ya conocidos y anteriormente perforados dentro del

depósito (Sapo Sur, Loro y Grillo) y sumando dos nuevos blancos denominados Carranza y Maras I, que no se habían perforado y que resultaron del programa de prospección realizado a partir del año 2018.

Tanto el programa de prospección de los años 2018-2020 como el programa de exploración avanzada mediante sondajes realizado en el año 2021 constituyeron la base para desarrollar el presente trabajo.



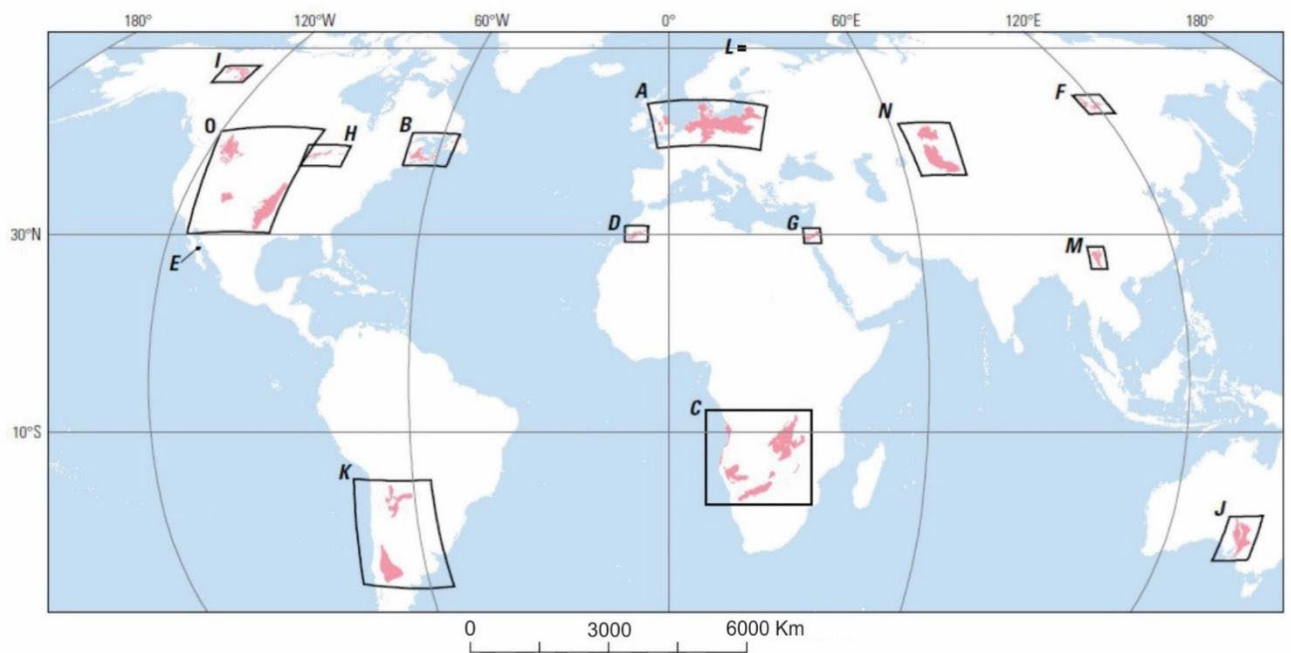
**Fig. 6:** Distribución de concesiones mineras de Orión Del Sur SA en el Dorso de Los Chihuidos. Se muestran también los blancos de exploración avanzada, que fueron perforados entre los años 2007 y 2012 y que poseen recursos estimados.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Depósitos tipo SSCU. Importancia y distribución**

Los depósitos sedimentarios de cobre estratiforme (SSCU, por sus siglas en inglés Sediment-hosted Stratiform Copper) son los segundos más importantes a nivel mundial en términos de producción de cobre, por detrás de los pórfidos cupríferos (Singer, 1995), contando con un porcentaje superior al 20% del cobre que ha sido descubierto. Estos depósitos también representan la principal fuente de cobalto a nivel mundial, y ocupan el segundo puesto entre los depósitos más ricos en vanadio y el tercer puesto como fuente de plata, siendo también muy significativos para la extracción de uranio. A pesar de que son muy comunes a lo largo del mundo, rara vez son económicamente significativos (Hizman et al., 2005).

Depósitos tipo SSCU han sido hallados en todos los continentes, con excepción de la Antártida (Fig. 7). Sin embargo, dos áreas son las que concentran más del 80% de los recursos conocidos en estos depósitos (Taylor et al., 2013). Estas son el Cinturón Cuprífero de Kupferschiefer, en la Cuenca Zechstein (Polonia y Alemania), y el Cinturón Cuprífero Centro Africano (CACB), en la cuenca Katanga (Zambia y la República Democrática del Congo). En Argentina se han encontrado depósitos de este tipo en las cuencas paleozoica y mesozoica de la provincia de Salta, y en la cuenca Neuquina, principalmente en la provincia de Neuquén.



**Fig 7:** Algunas de las principales cuencas y regiones con depósitos tipo SSCU en el mundo (de Taylor et al, 2013). A) Cuenca de Cheshire-Worcester, Reino Unido y Cuenca Pérmica de Zechstein, norte de Europa. B) Cuenca Paleozoica Maritimes, en Canadá. C) Cuenca Mesozoica de Kwanza, rocas proterozoicas de la tierra montañosa de Otavi (Otavi Mountain Land, OTV), Rift del Noroeste de Botswana, Cuenca de Katanga y Grupo Dewaras, en África. D) Rocas sedimentarias paleozoicas en la cadena montañosa del Anti Atlas, en Marruecos. E) Rocas sedimentarias mesozoicas en la Cuenca de Santa Rosalía, México. F) Rocas sedimentarias proterozoicas del Distrito de Kodar-Udokan, Rusia. G) Rocas carbonáticas cámbricas en las cuencas de Jafr-Tabuk-Sinai, en Egipto, Israel y Jordania. H) Rocas sedimentarias proterozoicas asociadas al Rift Keweenawan, en Canadá y Estados Unidos. I) Rocas sedimentarias proterozoicas asociadas al Cinturón de Cobre Redstone (Redstone Copperbelt), en las montañas Mackenzie, Canadá. J) Rocas sedimentarias proterozoicas asociadas al Complejo Adelaide Rift, sur de Australia. K) Cuenca Mesozoica y Cenozoica de Salta y Cuenca Neuquina, Argentina. L) Rocas proterozoicas asociadas al Cinturón de Rocas Verdes de Komagfjord-Reppafjord, en Noruega. M) Cuenca Mesozoica de Chuxiong y rocas proterozoicas asociadas al área de Dongchuan, en China. N) Cuencas Paleozoicas y Mesozoicas de Chu-Sarysu y Teniz, Kazajistán. O) Cuenca Paleozoica Pérmica, Cuenca Proterozoica Belt-Purcell y Cuenca Paleozoica y Mesozoica Paradox, en Estados Unidos.

## 2.2 Descripción

Los depósitos de tipo SSCU son concentraciones o acumulaciones de minerales de cobre en rocas sedimentarias usualmente negras, grises, verdes o blancas; de forma subconcordante con la estratificación. En general se encuentran asociados a una sucesión de estratos rojizos o *red beds* (ya sea dentro o sobreyaciendo a estos), los que pueden tener de cientos a miles de metros de espesor. La mineralización es de tipo diseminada y ocurre como cemento o reemplazo y rara vez en venillas. Estos depósitos se caracterizan por una zonación de los minerales de mena lateralmente a



lo largo y ancho de la estratificación, desde pirita a calcopirita a bornita a calcosina a hematita (Taylor et al., 2013). La calcosina y la bornita comprenden típicamente las zonas de mena, aunque es frecuente que la exposición por erosión y la meteorización de los depósitos generen productos oxidados de cobre, con minerales tales como crisocola, malaquita y azurita, entre otros. Las rocas hospedantes pueden ser de ambiente marino, lacustre o continental, y suelen contener abundante materia orgánica de diversa naturaleza, ya sea amorfa, o bien remanentes de hidrocarburos o restos fósiles de plantas y animales.

A pesar de que la ocurrencia de depósitos tipo SSCU de interés económico es poco común, estos tienden a poseer grandes tonelajes, debido a su amplia extensión lateral a lo largo de unidades estratigráficas de preferencia. Así mismo, las leyes de cobre frecuentemente son altas en relación a otro tipo de depósitos, tales como los pórfidos de cobre. La ley promedio de cobre en estos depósitos varía entre <1% hasta aproximadamente 5%, aunque la mayoría se encuentran en el rango de 2-4% (Misra, 2000).

Depósitos tipo SSCU se han reconocido en rocas que van desde el Paleoproterozoico (ej. Udokan, Rusia: Volodin et al., 1994) hasta el Cenozoico (ej. Corocoro, Bolivia: Flint, 1989; Liunggren y Meyer, 1964).

Si bien los SSCU varían considerablemente en tamaño, grado y asociación mineral, existen una serie de características distintivas que proveen un vínculo en común entre los depósitos de esta clase y permiten diferenciarlos de otros tipos de depósitos de cobre (Misra, 2000). Estas características se listan a continuación.

1 - La mena se localiza en horizontes sedimentarios químicamente reducidos, usualmente en el límite entre facies oxidadas y facies reducidas, dentro de rocas clásticas (pelitas y/o areniscas) con materia orgánica y en ocasiones pirita de grano fino, o bien en rocas carbonáticas. Como rocas sedimentarias asociadas se incluyen estratos rojos (*red beds*) y, en muchos casos, evaporitas (o al menos evidencia de condiciones hipersalinas durante la sedimentación).

2 - La mineralización es predominantemente estratiforme, en cuanto a que las zonas de mena se encuentran típicamente confinadas a horizontes específicos, que comúnmente están interestratificados con estratos cupríferos sub-económicos, o bien con zonas de ganga. Esto resulta en zonas de mena de tipo mantiforme, de espesor

relativamente pequeño (desde menos de un metro hasta decenas de metros) y gran continuidad lateral (a menudo medida en kilómetros).

3 - Las menas se componen de sulfuros de Cu (principalmente calcosina, bornita y calcopirita, con cantidades variables de digenita, djurleita y anilita) diseminados que ocurren como cemento o reemplazo en las rocas, y en algunas ocasiones en venillas. Elementos como Pb-Zn, Co, Ag, V y U son importantes constituyentes en algunos depósitos, mientras que unos pocos tienen concentraciones económicamente significativas de Au y elementos del grupo del Pt (Hitzman et al., 2005).

4 - Los depósitos se caracterizan por una evidente zonación lateral y vertical de los sulfuros metálicos, con la secuencia general: hematita (estéril) – calcosina – bornita – calcopirita – (galena-esfalerita) – pirita.

5 - Existe poca evidencia directa de actividad magmática / volcánica contemporánea con la depositación de los sedimentos hospedantes o la mineralización metálica. Sin embargo, detritos volcánicos en las secuencias clásticas o cuerpos ígneos sepultados a niveles más profundos son una posible fuente para los metales.

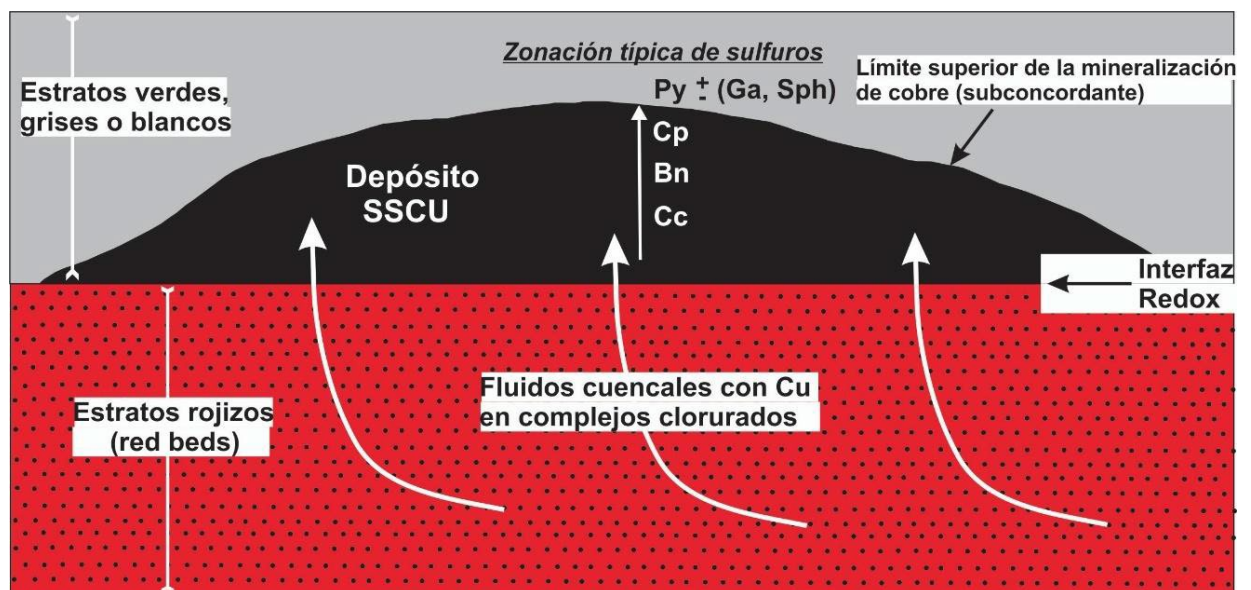
### 2.3 Formación

Los depósitos tipo SSCU son producto de sistemas de circulación de fluidos a escala de cuenca o sub-cuenca. De manera análoga a otras clases de sistemas mineralizados, estos depósitos pueden pensarse como el resultado de una serie de factores, que involucran una o más fuentes de metales y azufre, una o más fuentes de fluidos capaz de transportar metales, vías de migración y un sistema de “bombeo” o movilización de los fluidos, además de factores físicos y químicos que permitan la precipitación (entrampamiento) de los sulfuros (Hitzman et al., 2010).

La fuente de cobre en los depósitos de tipo SSCU se atribuye comúnmente a la lixiviación de cobre de grandes volúmenes de estratos rojizos (*red beds*) infrayacentes (incluyendo también posibles rocas volcánicas y de basamento) (Rose, 1976; Boyle et al., 1989; Borg, 1991; Hitzman et al., 2005). En ese contexto, una componente clave para la formación de estos depósitos es la presencia de estas grandes masas de rocas oxidadas, capaces de llevar a los fluidos cuencales a un estado químicamente oxidante, además de proveer el cobre y otros metales (Fig. 8). Este tipo de rocas aparece en el registro estratigráfico a partir del límite Arqueano – Paleoproterozoico, de forma coincidente con la oxigenación de la atmósfera (Knoll y Holland, 1995;

Holland 2005a, 2006). Los fluidos cuencales, que pueden ser formacionales o aguas meteóricas, son generalmente salmueras de baja temperatura y ricas en cloro, de forma tal que el cobre pueda ser transportado a través de estas en complejos clorurados. Adicionalmente, es necesaria la presencia de estratos con agentes químicamente reductores estratigráficamente por encima de los estratos rojizos, de forma tal que actúen como trampas químicas que permitan la precipitación de los sulfuros de cobre, ya que ésta ocurre a partir de reacciones redox en la interfaz entre los fluidos oxidantes y los agentes reductores suprayacentes. Estos reductores consisten en materia orgánica formada in situ (por ejemplo, material carbonoso en pelitas o restos de plantas fósiles) o bien puede ser material reductor que ha migrado al área de entrapamiento (como hidrocarburos o salmueras ricas en ácido sulfhídrico).

La mineralización de estos depósitos puede producirse en un estadio temprano de la historia diagenética de las rocas sedimentarias hospedantes, o bien generarse en etapas tardías de diagénesis o post-diagénesis (Hitzman et al., 2010).



**Fig. 8:** Modelo básico general de depósitos sedimentarios de cobre estratiforme (Modificado de Brown, 2009). Cc= calcosina, Bn= bornita, Cp= calcopirita, Py= pirita, Ga= Galena, Sph= esfalerita.

## 2.4 Tipos de depósitos SSCU

La litología de las rocas hospedantes y la naturaleza de la materia orgánica que ellas contienen han permitido clasificar los depósitos SSCU en dos tipos principales (Kirkham, 1989): Depósitos tipo Kupferschiefer y depósitos tipo "Red Beds" (Fig.9).

### **2.4.1 Depósitos tipo Kupferschiefer (o de facies reducidas)**

En este tipo de depósito las rocas hospedantes son facies reducidas de ambiente marino o lacustre, tales como lutitas verdes, negras o grises, limolitas, facies tidales finamente laminadas, rocas carbonáticas o pelitas dolomíticas. Contienen comúnmente materia orgánica amorfa, carbono orgánico y pirita finamente diseminada (Cox et al., 2003).

Estas rocas hospedantes en general sobreyacen secuencias de estratos rojos que contienen conglomerados, areniscas y pelitas portadoras de hematita, de ambiente continental deltaico, fluvial o eólico. Es común la presencia de diques y sills máficos formados en una etapa de rifting. En algunos casos, la presencia de basaltos es importante como fuente de cobre. Estratos de evaporitas son de gran importancia como fuente de salmueras para muchos depósitos. En secuencias metamorfizadas, intervalos faltantes en la secuencia estratigráfica constituyen una evidencia de la presencia original de evaporitas.

Estos depósitos se forman frecuentemente en cuencas con sedimentos continentales clásticos tipo “red beds” que luego son transgredidos por depósitos marinos someros o lacustres, ampliamente distribuidos y ricos en materia orgánica, lo que los hace químicamente reductores. Esto sucede principalmente en cuencas de rift intracontinentales, o bien aulacogénicas que se formaron dentro de los 20 a 30 grados del paleoecuador, donde las condiciones de aridez favorecen la formación inicial de red beds junto con evaporitas (Taylor et al., 2013), estas últimas importantes como fuentes de salmueras.

Fenómenos como diapiros salinos, grandes fallas de crecimiento, acuñaamiento de unidades sedimentarias y disconformidades pueden tener influencia en la localización de los depósitos, al focalizar el paso de los fluidos.

Los depósitos SSCU más importantes del mundo son de este tipo, y en general son los que presentan mayores leyes y tonelajes de cobre. Algunos ejemplos a nivel mundial incluyen Kupferschiefer (Alemania y Polonia), el Cinturón Cuprífero Centro Africano (CACB), White Pine y Creta (Estados Unidos) y Dongchuan (China).

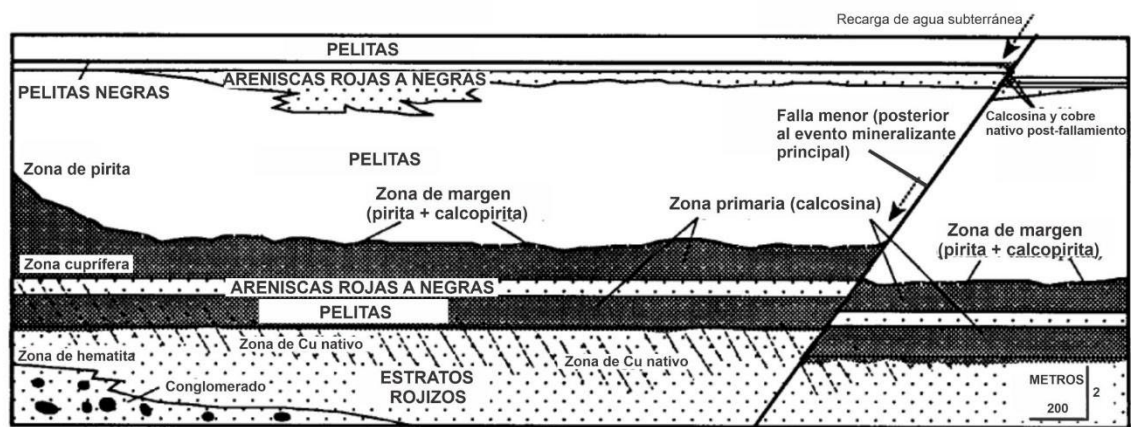
### **2.4.2 Depósitos de tipo “Red Beds”**

La roca huésped característica para este tipo de depósito es una secuencia de estratos rojizos (red beds) continentales, que contiene zonas con areniscas grises o

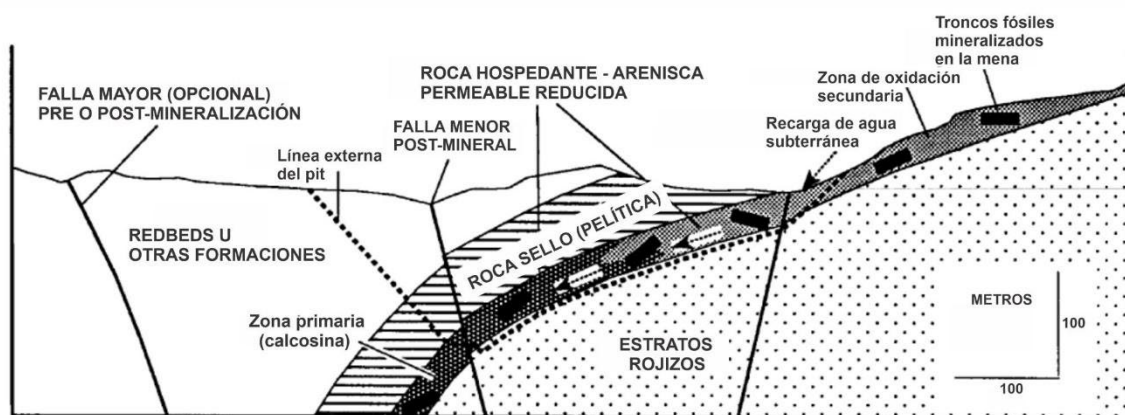
blancas producto de una alteración por lixiviación de los estratos rojos, o bien niveles con pelitas negras, verdes o grises de carácter reductor (Cox et al., 2003). La materia orgánica en el caso de rocas devónicas o más jóvenes, puede tratarse de acumulaciones de plantas fósiles, que actúan como trampas reductoras para la acumulación de cobre y otros metales. Estas, sin embargo, son de limitada extensión lateral, por lo que los depósitos de este tipo son generalmente pequeños (Eugster, 1989). En otros casos, los agentes reductores (materia orgánica) no son fijos y controlados por la estratigrafía (como es el caso de los depósitos tipo Kupferschiefer y Red Beds con acumulaciones fósiles), sino que son móviles. Se trata de depósitos en donde los reductores son hidrocarburos o salmueras ricas en H<sub>2</sub>S, que pueden migrar y entramparse en los estratos rojizos más permeables posterior a su formación (depósitos tipo Revett, Cox et al., 2003). En estos casos, la presencia de bitumen y residuos de petróleo son comunes y son indicadores de las vías de migración de fluidos e hidrocarburos.

Este tipo de depósitos se puede desarrollar en distintos tipos de cuencas limitadas por fallas, ya sea de tipo rift, intermontanas, en zonas extensionales amplias e incluso en cuencas de antepaís, en general dentro de los 30 grados del Ecuador (Kirkham, 1989). Las rocas son resultado de la depositación por sistemas aluviales variando desde abanicos a sistemas de canales meandriformes, en una variedad de ambientes continentales, usualmente costeros. Los sedimentos depositados en estos ambientes son huéspedes favorables para fluidos salinos oxidantes capaces de lixiviar y transportar cobre.

Los depósitos SSCU de tipo Red Beds en general poseen menores leyes y tonelajes que los de tipo Kupferschiefer. Algunos ejemplos a nivel mundial incluyen Corocoro (Bolivia), Nacimiento (New México, USA), Dzhezkazgan (Kazakhstan), y Redstone (NWT, Canadá). En Argentina, la Cuenca Neuquina posee depósitos de este tipo, siendo el Dorso De Los Chihuidos un ejemplo.



**A**  
**MODELO KUPFERSCHIEFER**  
 (tipo White-Pine, modificado de Mauk et al, 1992;  
 variaciones incluyen ausencia de fallas, sin mineralización  
 post-fallamiento, presencia de carbonatos y evaporitas)



**B**  
**MODELO TIPO REDBED**  
 (modificado de Talbott, 1974; Woodward et al, 1974;  
 variaciones incluyen ausencia de fallas, estratos subhorizontales,  
 cuerpos minerales "apilados", pocos o nulos troncos mineralizados)

**Fig.9:** Secciones simplificadas de depósitos tipo SSCU. A- Modelo tipo Kupferschiefer o de facies reducidas. B- Modelo tipo Red Beds. Nótese las variaciones en la escala y exageración vertical. Modificado de Lindsey et al (1995).

## 2.5 La Cuenca Neuquina: Un ambiente favorable para la formación de depósitos tipo SSCU

Los SSCU son similares a muchos otros depósitos en cuanto a que dependen de una suma de distintos factores para producir un yacimiento (es decir, un depósito de interés económico). La interpretación de numerosos investigadores expertos en esta área es que se deben cumplir varias condiciones para producir un depósito significativo de tipo SSCU en un ambiente sedimentario con rocas clásticas de tipo "red beds" (Hitzman et al., 2005). La Cuenca Neuquina de Argentina cumple muy enfáticamente con todas las condiciones necesarias para formar estos depósitos.

Dichas condiciones pueden ser resumidas de la siguiente manera:

a- Rocas fuente de cobre

La cuenca debe contener un espesor considerable de rocas oxidadas (en general, al menos 300 metros, Taylor et al., 2013), estables a hematita y permeables, donde los fluidos acuosos puedan penetrar y lixiviar cobre y otros metales. Estas rocas en general consisten en estratos rojizos (red beds) sedimentarios, derivados primariamente de rocas volcánicas. En estas rocas, que deben su coloración rojiza a la presencia de hematita, la oxidación ha liberado metales desde estructuras minerales de silicatos u óxidos. En sedimentos hematíticos o limoníticos, metales tales como Cu, Ag, Co, Pb y Zn son débilmente sostenidos en las superficies de los óxidos de hierro terrígenos (Rose, 1989). Desde estos sitios los metales pueden ser fácilmente despojados por soluciones ricas en ácido clorhídrico. Una fuente alternativa de cobre pueden ser rocas basálticas u otras volcánicas máficas. El basamento cristalino también es considerado como una posible fuente de metales en los depósitos tipo SSCU (Koziy et al., 2009).

*La Cuenca Neuquina presenta grandes espesores de estratos rojizos, entre los que se destaca el Grupo Neuquén, una sucesión de “red beds” continentales cretácicas de ambiente aluvial y fluvial principalmente, y un espesor que alcanza hasta 1500 metros (Borghi et al., 2019). Tanto estas rocas como todas las clásticas jurásicas y cretácicas de la Cuenca Neuquina han sido derivadas en gran parte de rocas Permo-Triásicas de basamento correspondientes al Grupo Choiyoi, compuesto por rocas volcánicas fuertemente alteradas. Fragmentos volcánicos alterados y limoníticos son comunes en clastos de rocas conglomerádicas jurásicas y cretácicas, y las areniscas son fundamentalmente arcosas que contienen cantidades considerables de magnetita y minerales ferromagnesianos. La alteración diagenética de estas rocas clásticas en estratos del Grupo Neuquén habría liberado los metales contenidos en granos triturados del Choiyoi, haciéndolos susceptibles a ser lixiviados por fluidos acuosos ácidos.*

#### b- Salmueras

Debe existir dentro de la cuenca una fuente de salmueras capaces de lixiviar y transportar cobre y otros metales. El cobre es lixiviado de minerales lábiles detríticos autigénicos (por ejemplo, el cobre débilmente sostenido en la superficie de óxidos de hierro) y transportado como complejos clorurados (Koziy et al., 2009). Es importante, por lo tanto, que los fluidos acuosos tengan elevadas concentraciones de cloro. Rocas de ambiente marino como fuente de fluidos podría ser una explicación suficiente, ya que la concentración de cloro en el agua de mar es de aproximadamente 35000 ppm (Warren, 1999). Sin embargo, la asociación de depósitos SSCU a nivel mundial muestra que la presencia de espesores significativos de evaporitas ricas en sulfatos y halita es de gran importancia para la formación de estos depósitos. La disolución de las evaporitas, o bien las aguas residuales generadas durante la formación de éstas, producen salmuera densas, altamente salinas y con concentraciones muy altas de cloro, capaces de lixiviar metales de las secuencias oxidadas de estratos rojizos.

Las salmueras capaces de disolver y transportar cobre en solución podrían ser fluidos porales o formacionales desarrollados dentro de la cuenca (salmueras de agua de mar evolucionadas, salmueras residuales hipersalinas, salmueras derivadas de la disolución de evaporitas o fluidos formados por reacciones de deshidratación durante la diagénesis) o bien aguas meteóricas, cuyas elevadas salinidades son generadas por la disolución de evaporitas (Hitzman et al., 2005).

En cuanto a su relación con las rocas hospedantes de la mineralización, las evaporitas pueden encontrarse estratigráficamente por debajo, dentro de los estratos rojizos o en secuencias marinas o lacustres sobreyacentes (Taylor et al., 2013).

*La Cuenca Neuquina posee tres formaciones que contienen una gran proporción de minerales evaporíticos: la Fm. Tábanos (Jurásico medio); la Fm. Auquilco (Jurásico superior); y la Fm. Huitrín (Cretácico inferior tardío). Varias otras formaciones presentan cantidades menores de yeso.*

#### c- Materia orgánica

La cuenca debe poseer estratos químicamente reductores capaces de generar la precipitación de cobre y otros metales a partir de las salmueras. Los agentes reductores pueden estar presentes desde la depositación sedimentaria original de la



roca, como materia orgánica leñosa, algal o bacteriogénica, o bien pueden ser físicamente introducidos por fluidos de petróleo, tornando favorables a los estratos para la precipitación de metales. Este tipo de reductores móviles requiere una roca madre de hidrocarburos en la secuencia estratigráfica y una historia de la cuenca que haya permitido la maduración y migración de los fluidos de hidrocarburos. Evidencias del paso de fluidos de petróleo en niveles hospedantes de depósitos SSCU incluyen la presencia de inclusiones fluidas portadoras de petróleo y bitumen recubriendo granos detríticos, como manchas en minerales autigénicos y localmente formando cementos. Estudios de isótopos de carbono en minerales carbonáticos asociados a la mena resultan en valores de C bajos. Estos valores bajos de C reflejan la oxidación de la materia orgánica sólida o el petróleo para proveer carbono para la depositación de carbonatos (Sweeney y Binda, 1989; Bechtel et al., 2001; Hitzman et al., 2005).

*La Cuenca Neuquina posee tres horizontes de roca madre de petróleo (Formaciones Los Molles, Vaca Muerta y Agrio) que comenzaron a generar hidrocarburos móviles en el Cretácico Inferior, Cretácico Superior y Eoceno, respectivamente (Parnell y Carey, 1995).*

*Los estratos prospectivos portadores de metales en la Cuenca Neuquina contienen bitumen, material leñoso o huesos parcial o totalmente silicificados, y cantidades menores de pirita. Estos reductores son comúnmente reemplazados por minerales de cobre y vanadio, entre otros metales. El bitumen es muy común en rocas del grupo Neuquén y se presenta en distintas formas: diseminado, en forma de tubos horizontales y verticales, alrededor de restos leñosos fosilizados y en rocas pelíticas alteradas, y constituye una evidencia de migración de hidrocarburos hacia la superficie, la cual se habría producido en el Terciario (Cevallos et al., 2014).*

#### d- Flujo de fluidos y vías de migración

Es necesaria la existencia de un sistema de flujo o circulación que transporte el cobre desde las rocas fuente hacia las rocas hospedantes por medio de salmueras sedimentarias. La cuenca debe haber sido sometida a flujos de fluidos a escala de subcuenca que hayan permitido la disolución parcial o total de las evaporitas, la formación de salmueras, y la migración ascendente de las mismas a través de los estratos (Taylor et al., 2013). Algunas causas posibles para la migración de salmueras

incluyen el flujo de fluidos inducido por compactación (Swenson et al., 2004), flujo inducido por la topografía (White, 1971; Garven, 1985; Brown, 2005, 2009), convección termohalina (por flotabilidad) inducida por disolución de sales (Evans y Nunn, 1989), y convección inducida térmicamente (Jowett, 1986; Cathles et al., 1993). Estudios recientes han demostrado otra posible causa de circulación, relacionada a contrastes de densidad influenciados por diferencias de salinidad (Koziy et al., 2015). Eventos tectónicos-térmicos tales como el emplazamiento de rocas magmáticas, tectonismo asociado a cuerpos salinos o inversiones de cuenca, serían capaces de iniciar la convección de salmueras sedimentarias subsuperficiales (Hitzman et al., 2005). Sin embargo, la asociación temporal con eventos magmáticos aún no ha sido demostrada para ningún depósito de tipo SSCU.

Las fallas sin-sedimentarias y post-depositacionales habrían sido críticas en muchos sistemas SSCU sirviendo como vías de migración de fluidos a través de los estratos (Hitzman et al., 2005). Muchos depósitos de cobre estratiforme parecen haberse formado en bordes de cuencas, o bien en cuencas con irregularidades geométricas que permitieron la focalización del flujo de fluidos a través de los estratos rojizos y de forma ascendente hacia las rocas hospedantes. Dicha focalización podría deberse al acuífero de los paquetes de estratos rojizos en un borde de cuenca, fallas, contrastes de permeabilidad entre unidades sedimentarias específicas, paleotopografía dentro de la misma cuenca (por ejemplo, altos de basamento, o anticlinales), o incremento del flujo de fluidos en los márgenes de diapiros salinos (Jackson et al., 2003). Los patrones de alteración de las rocas son indicadores de las vías de migración de las salmueras metalíferas.

Por otro lado, también es necesaria la presencia de estructuras de contención, tales como acuíferos estratigráficos o trampas en anticlinales con estratos confinantes, para focalizar el flujo de las salmueras portadoras de cobre hacia las rocas que contienen materia orgánica, de forma que ocurra la precipitación de sulfuros metálicos. En muchos casos, los estratos confinantes son capas de evaporitas o pelitas que sobreyacen unidades permeables capaces de hospedar depósitos de cobre. Muchos tipos de trampas estructurales y estratigráficas capaces de acumular hidrocarburos en cuencas sedimentarias pueden también focalizar la depositación de minerales de cobre. Estas incluyen el “*onlap*” de rocas hospedantes favorables sobre rasgos paleotopográficos (trampa estratigráfica de acuífero con buzamiento

ascendente), disconformidades, cambios de facies, acuñamientos, anticlinales, y combinaciones complejas de trampas producidas por un fallamiento y plegamiento pre-mineralización (Hitzman et al., 2005, 2010).

*En la Cuenca Neuquina, las salmueras se focalizan a lo largo de grandes estructuras principales. La cuenca en general parece estar dominada por dos conjuntos ortogonales de estructuras de basamento reactivadas. Uno de ellos tiene una orientación oeste-noroeste, mientras que el otro se orienta norte-noreste. El flujo de fluidos se encontraría mayormente controlado por el conjunto de estructuras de orientación oeste-noroeste, lo cual se debe probablemente a que estas estructuras limitan y cortan el cinturón de Los Andes (Devaux, 2007). Los principales ríos que drenan los Andes se encuentran controlados por estas estructuras.*

*Además de migrar a través estructuras principales, las salmueras ricas en cloro son canalizadas a través de estratos de areniscas porosas que limitan con las estructuras. Por otro lado, los fluidos rara vez migran a través de litologías pelíticas o areniscas de muy baja porosidad. Los fluidos son inicialmente movilizados a través de las estructuras principales, y luego penetran los estratos de areniscas porosas, alterando las rocas con las que entran en contacto y disolviendo y transportando cobre y otros metales conforme van migrando.*

*La Cuenca Neuquina es una cuenca productora de hidrocarburos, por lo que contiene abundante petróleo. A medida que las salmueras se van movilizando a través de los estratos, interactúan con trampas de petróleo o con sectores que presentan fluidos ricos en hidrocarburos. Donde interaccionan ambos fluidos se produce una mezcla y el cobre es expulsado de la solución, precipitando en las rocas.*

*La cuenca posee numerosas trampas de hidrocarburos de tipo estratigráficas y estructurales, lo que también favorece el “entrampamiento” de la mineralización. Por otro lado, en los estratos del Grupo Neuquén alternan rocas de permeabilidad considerable (areniscas y areniscas conglomerádicas) con niveles finos de baja permeabilidad (limolitas y arcilitas). Estos últimos podrían haber actuado como sello del sistema mineralizado en algunos sectores.*

e- Magnitud del depósito

Para la formación de un depósito de tipo SSCU de interés económico, es importante la presencia de una cuenca sedimentaria lo suficientemente amplia, con rocas fuente capaces de generar fluidos móviles y una historia de subsidencia indicativa de que esas rocas hayan sido sometidas a condiciones de enterramiento y diagénesis tan intensas como para generar grandes volúmenes de fluidos acuosos. Estos mismos procesos son los que generan hidrocarburos, a partir de rocas madre ricas en materia orgánica. A su vez, es necesario que los fluidos circulen ampliamente dentro de la cuenca.

Probablemente el mejor indicador de la generación y circulación de fluidos en una cuenca es la alteración de los sedimentos. Una alteración muy extendida de las rocas indica que grandes cantidades de fluidos acuosos fueron generados y circularon ampliamente en la cuenca. Para el caso de los estratos rojizos, la alteración característica frecuentemente es una lixiviación (“*leaching*”) de granos minerales químicamente inestables y una decoloración (“*bleaching*”) particularmente en estratos porosos y permeables, que torna a las rocas de coloraciones rojizas a colores verdosos, grises, amarillentos o blancos. Minerales como calcita, dolomita y feldespatos son disueltos, y la hematita presente en los *red beds* se reduce a pirita. Las arcillitas rojizas ricas en hematita se alteran a coloraciones verdosas, producto de una recombinación del hierro. La extensa alteración y decoloración, tanto geográfica como estratigráfica, es evidencia de que grandes volúmenes de fluidos químicamente agresivos se generaron a partir de rocas fuente en la cuenca. Estos fluidos son los responsables de la preparación de la roca (“*Rock Preparation*”), transporte y acumulación de metales.

*La porción Argentina de la Cuenca Neuquina, que posee dimensiones aproximadas de 400 km x 650 km, es mucho más amplia que muchas cuencas productoras de depósitos tipo SSCU de clase mundial, por ejemplo, el Cinturón Cuprífero de Zambia, en África; Kupferschiefer, en Alemania y Polonia; y Whitepine, en Michigan, USA (Hitzman, 2000). La Cuenca Neuquina posee horizontes de roca madre de petróleo que han generado grandes volúmenes de hidrocarburos. La generación de petróleo de estas rocas vino acompañada de grandes cantidades de fluidos acuosos, cuyo volumen, según se estima, sería unas 10 veces mayor al volumen de petróleo (Surdam*

*et al., 1984, 1989). Algunos sectores de la cuenca han generado hidrocarburos móviles tan recientemente como hace 1 millón de años. La historia de la cuenca y los 10.000 metros de profundidad de subsidencia son suficientes para involucrar a las secciones de "red beds" en procesos diagenéticos capaces de liberar metales a los fluidos acuosos generados junto a los hidrocarburos.*

*Cientos de metros cúbicos de roca en la Cuenca Neuquina han sido alterados. Vastas áreas de areniscas alteradas y decoloradas en los Grupos Rayoso y Neuquén indican la amplia circulación de fluidos en la cuenca, y contienen todas las ocurrencias significativas de metales de interés económico. Las zonas decoloradas generalmente están rodeadas por volúmenes aún más amplios de rocas de coloración roja (red beds) y morada. Este color morado es probablemente el resultado de un enriquecimiento en hematita, por la depositación de los óxidos de hierro removidos de las zonas lixiviadas (Devaux, 2007).*

*Metales como cobre, plata, uranio y vanadio, entre otros, son muy comunes y se encuentran ampliamente distribuidos en la Cuenca Neuquina, confinados principalmente a estratos de rocas sedimentarias alteradas (decoloradas).*

## CAPITULO 3: GEOLOGIA REGIONAL

### 3.1 La Cuenca Neuquina

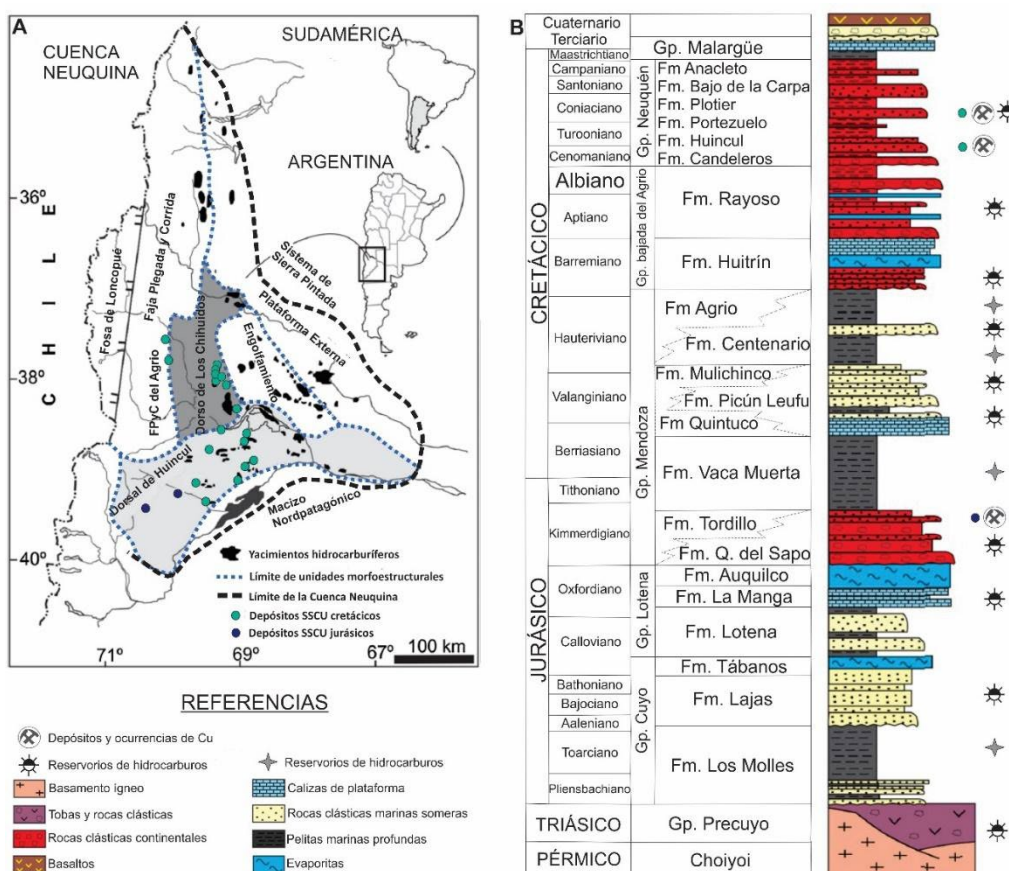
La Cuenca Neuquina se localiza en las estribaciones de la Cordillera de los Andes. Esta cuenca se formó inicialmente como un sistema de rift en el Triásico Superior, y evolucionó hacia un sistema de cuenca de retro-arco durante el Jurásico temprano, para culminar en un sistema de antepaís desde el Cretácico Superior (Vergani et al., 1995). Esta evolución tectónica está reflejada en los 220 Ma de registro estratigráfico de subsidencia de la cuenca, con más de 7000 m de relleno preservado desde el Triásico al Cenozoico (Rainoldi et al., 2018), representado por sedimentitas marinas, continentales y evaporíticas, además de rocas volcanoclásticas (Fig. 10).

El primer episodio de sedimentación en la Cuenca Neuquina está representado por una asociación de rocas volcánicas, volcanoclásticas y clásticas del Grupo Precuyo, depositadas en depocentros aislados de tipo hemi-graben. A partir del Jurásico Inferior y hasta el Cretácico Medio, se depositaron las rocas de los grupos Cuyo, Lotena, Mendoza y Agrio, durante sucesivos ciclos transgresivos-regresivos desde el Océano Pacífico, previo al levantamiento de la Cordillera de los Andes (Mosquera y Ramos, 2006). El Grupo Cuyo, de edad Pliensbaquiano – Calloviano, incluye lutitas ricas en materia orgánica de ambiente marino profundo, areniscas marinas someras a deltaicas y depósitos evaporíticos. El Grupo Lotena, del Calloviano-Oxfordiano, se depositó durante la inversión tectónica de la cuenca (Vergani et al., 1995), y consiste en depósitos clásticos deltaicos a marinos someros y calizas de plataforma, culminando con niveles evaporíticos. El Grupo Mendoza depositado en el Kimmeridgiano-Barremiano, comienza con depósitos arenosos eólicos, fluviales y lacustres, seguidos por lutitas marinas profundas ricas en materia orgánica, calizas de plataforma y depósitos continentales a marinos someros, culminando con una intercalación de pelitas marinas y areniscas eólicas. El Grupo Agrio, del Barremiano-Albiano, comprende una serie de depósitos clásticos y evaporíticos, y representa la última conexión con el Océano Pacífico.

En el Cenomaniano, la contracción de la faja plegada y corrida de los Andes produjo una deformación y resultante discordancia intra-Cenomaniana, de bajo ángulo, en el techo del Grupo Agrio, y la depositación de 1300 m de sedimentos sin-orogénicos, representados por “red beds” de ambientes fluvial, lacustre y eólico, correspondientes

al grupo Neuquén. Este grupo se subdivide en siete formaciones (Ramos, 1981). La sedimentación sin-orogénica persistió hasta el Campaniano, el cual es seguido por la primera transgresión del Atlántico en la región, y la depositación de areniscas y limólitas de ambiente marino somero junto con calizas fosilíferas, correspondientes al Grupo Malargüe, de edad maastrichtiana-paleocena. Durante el Neógeno, la Cuenca Neuquina fue afectada por numerosos períodos sucesivos de deformación y subsidencia, relacionados con el empuje Andino proveniente del oeste (Vergani et al., 1995).

La actividad tectónica y la deformación en la Cuenca Neuquina se han mantenido activas desde el Triásico. Esta deformación ha variado en intensidad y localización, resultando en un complejo mosaico de unidades morfo-estructurales modernas: La Cordillera de los Andes, la faja plegada y corrida del Agrio, la depresión de Loncopué, la dorsal de Huincul, el dorso de Los Chihuidos, el engolfamiento y la plataforma exterior (Rainoldi et al., 2019) (Fig 10).



**Fig. 10:** Marco geológico regional. A) Mapa de la Cuenca Neuquina, donde se muestran las principales unidades morfoestructurales, localización de yacimientos de hidrocarburos y los depósitos y ocurrencias más importantes de cobre tipo SSCU. B) Columna cronoestratigráfica de la Cuenca Neuquina, con la posición de rocas madre y reservorios de hidrocarburos, y depósitos y ocurrencias de cobre (Modificado de Rainoldi et al, 2019).

### 3.2 El Dorso de los Chihuidos (DCh)

Los depósitos de cobre de tipo estratiforme se encuentran muy distribuidos en la Cuenca Neuquina, pero las ocurrencias más importantes se encuentran en los altos de Los Chihuidos y Huincul. El Dorso de los Chihuidos consiste en un amplio braquianticlinal asimétrico con núcleo de basamento, de unos 70 km de longitud (Fig. 11). El mismo presenta un flanco occidental fuertemente inclinado y un flanco oriental suavemente extendido (Mosquera y Ramos, 2006). Este alto estructural ha sido interpretado como producto de inversión tectónica de hemi-grábenes triásicos en una cuenca de antepaís (Maretto y Pángaro, 2005), y los últimos episodios compresivos habrían ocurrido durante el Neógeno (Mosquera y Ramos, 2006).

Maretto y Pángaro (2005) proponen la ocurrencia de un evento tectónico compresivo Berriasiano - Valanginiano que se asocia con la deformación de la Dorsal de Huincul, representado en el Dorso de Los Chihuidos por un marcado adelgazamiento de las formaciones Quintuco y Vaca Muerta. Mosquera y Ramos (2006) interpretaron una inversión transpresiva vinculada a una subducción oblicua durante el Jurásico al Cretácico temprano (Sinemuriano – Valanginiano), asociada a un cambio en los vectores de convergencia en la zona de subducción entre placas oceánica y continental.

El estadio del Cretácico Superior estuvo caracterizado por un pulso de reactivación con una contracción hacia el oeste de la Faja Plegada y Corrida del Agrio, lo que produjo una discordancia intra-cenomaniana de bajo ángulo al tope de la Fm. Rayoso, y la depositación de 1300 metros de estratos rojizos sinorogénicos del Grupo Neuquén (Cazau y Uliana, 1973). La edad de la parte inferior de la secuencia sinorogénica se ha estimado por medio de trazas de fisión en circones y en apatitos, resultando la edad de la Fm. Huincul en 88 Ma y 90 Ma, respectivamente (Corbella et al., 2004; Zamora Valcarce et al., 2009). La edad U/Pb de circones detríticos en la Fm. Candeleros (98 Ma, Tunik et al., 2008) sugiere que la deformación de la Faja Plegada y Corrida del Agrio comenzó hace 98 Ma. Este evento ha sido explicado por la migración hacia el este del arco magmático, hacia el antepaís, y su restablecimiento en la parte occidental de la Faja Plegada y Corrida del Agrio, lo que se habría vinculado a una disminución del ángulo de subducción de la placa de Nazca (Ramos y Folguera, 2005; Ramos y Kay, 2006). La deformación habría comenzado en la parte interior de la Faja Plegada y Corrida del Agrio durante el Cretácico tardío, migrando



luego hacia el antepaís para afectar la actual zona de Los Chihuidos en el Cretácico Superior – Paleoceno Inferior. (Zamora Valcarce et al., 2009).

Durante el Maastrichtiano – Eoceno (70-50 Ma), el levantamiento habría generado la erosión de 1000 m de depósitos sedimentarios (Zamora Valcarce et al., 2009). La presencia de depósitos sinorogénicos miocenos deformados en el Dorso de Los Chihuidos es evidencia de que el bloque fue nuevamente levantado por inversión tectónica de fallas normales durante el Mioceno tardío (Mosquera y Ramos, 2006). Estudios de trazas de fisión en apatito de las formaciones Rayoso, Agrio y Mulichinco han permitido identificar eventos de exhumación y enfriamiento de 25-20 Ma y 14 Ma, los cuales habrían resultado en la erosión de 700 y 750 m de sedimentos, respectivamente (Zamora Valcarce et al., 2009). Estos datos coinciden con el segundo evento tectónico de edad neógena propuesto por Maretto y Pángaro (2005), que sería responsable de la actual configuración del Dorso de Los Chihuidos.

Eventos volcánicos post-tectónicos se encuentran representados por diques subvolcánicos radiales correspondientes a la Formación Desfiladero (Ramos y Barbieri, 1989), emplazados en zonas extensionales transversales a los principales ejes de pliegues (Ardolino y Franchi, 1996). Ramos (1981) infirió una edad de 9 Ma para los diques de la Fm. Desfiladero, con base en las edades de diques similares en Aguada San Roque (Ugarte, 1976), considerablemente más jóvenes que las edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de 25 Ma del dique de la Dorsal de Desfiladero Negro (Kay y Copeland, 2006).

Durante el Plioceno, una reactivación extensional de las fallas invertidas durante el Mioceno es coincidente con la erupción de los pequeños conos basálticos alcalinos de intraplaca de Parva Negra (edad K/Ar de 4,5 Ma según Ramos y Barbieri, 1989) y Cerro La Horqueta. Finalmente, un episodio de fallamiento normal en el Pleistoceno – Holoceno junto con volcanismo de intraplaca (Kay et al., 2004) formaron el volcán monogénico de Auca Mahuida hacia el este (1,38-1,78 Ma; Kay et al., 2004). Movimientos cuaternarios fueron descritos por Cristallini et al. (2005) y Messenger et al. (2010), en este último caso apoyado por estudios geomorfológicos de terrazas del Río Neuquén.

### 3.3 El Grupo Neuquén

En el Dorso de Los Chihuidos afloran rocas sedimentarias del Cretácico Superior (Formación Rayoso y Grupo Neuquén) y unidades volcánicas neógenas subordinadas (formaciones Parva Negra, La Horqueta y Desfiladero) (Fig. 11). El Grupo Neuquén aloja la mayor parte de los depósitos conocidos de cobre sedimentario en la Cuenca Neuquina. Este Grupo se depositó en una cuenca de antepaís en el Cretácico Superior, durante la formación de la Faja Plegada y Corrida del Agrio. Está constituido por una sucesión sedimentaria de 1300 metros de espesor, y se divide en tres subgrupos y siete formaciones, de base a techo: formaciones Candeleros, Huincul y Lisandro del Subgrupo Río Limay; formaciones Portezuelo y Plottier del Subgrupo Río Neuquén; y las formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto del Subgrupo Río Colorado (Ramos, 1981). El Subgrupo Río Limay (De Ferrariis, 1968), compuesto por 350 m de depósitos fluviales del Cenomaniano a Turoniano Medio, es el que se encuentra mayormente distribuido en el Dorso de los Chihuidos y en la zona de trabajo, siendo el portador de la mineralización de interés económico. A continuación, se describen las principales características de las formaciones que lo componen.

#### Formación Candeleros

La Fm. Candeleros constituye la base del grupo Neuquén, y está compuesta principalmente por areniscas rojizas oscuras de grano fino interestratificadas con arcilitas rojas. Las areniscas muestran frecuentemente una matriz arcillosa, por lo que su porosidad es baja. Estos niveles incluyen una sucesión de conglomerados de grano grueso depositados en sistemas fluviales meandriformes y anastomosados, con desarrollo de paleosuelos y ambientes pantanosos (Leanza y Hugo, 2001; Sánchez y Cardozo, 2002). Dada su baja porosidad general, esta formación no es considerada prospectiva para ocurrencias importantes de cobre diseminado

#### Formación Huincul

La Fm. Huincul (Keidel en Herrero Ducloux, 1946) (Cenomaniano tardío-Turoniano temprano, Legarreta y Gulisano (1989) está compuesta por areniscas de grano medio a grueso con estratos conglomerádicos intraformacionales dispersos. Presenta acumulaciones locales de abundantes troncos fósiles. Su depositación habría ocurrido en un ambiente fluvial de mayor energía que la infrayacente Formación Candeleros.

La Formación Huincul se divide en tres unidades internas (o miembros): Inferior, Medio y Superior, siendo el miembro Medio el más importante en cuanto a ocurrencias de cobre y vanadio.

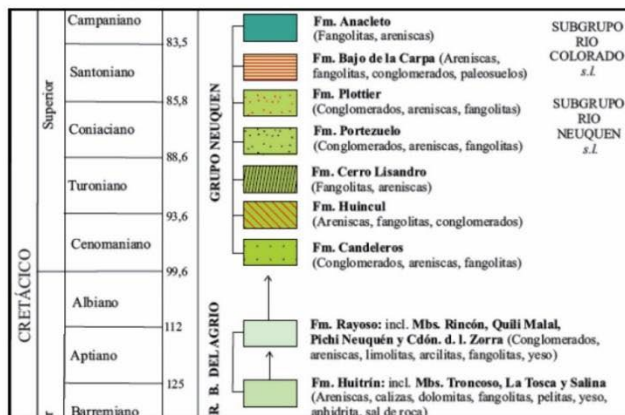
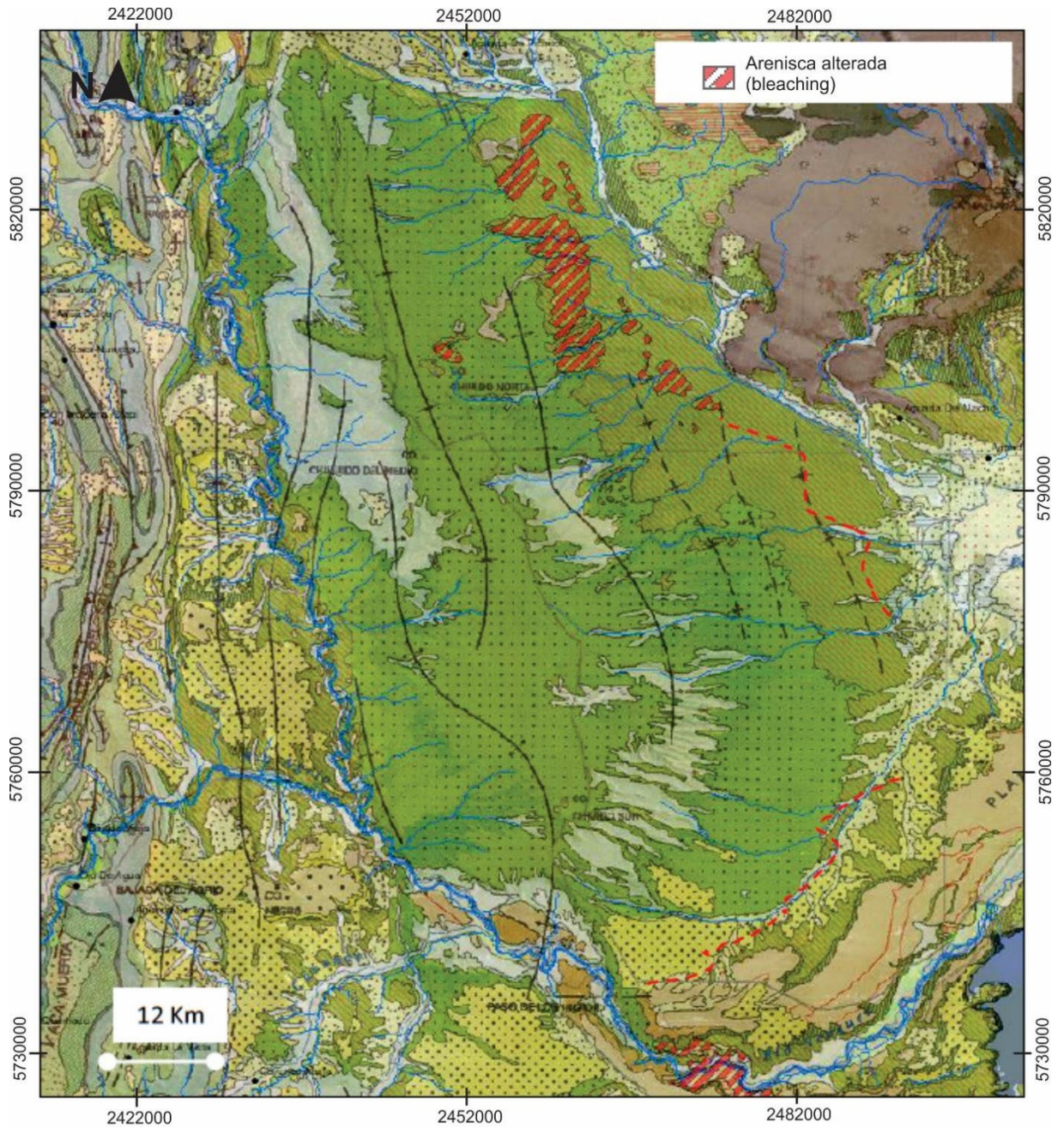
- Miembro Inferior: Consiste en areniscas amarillentas a verdosas de grano medio, con matriz arcillosa. Posee una mala selección y una porosidad en general baja. No se han hallado cantidades significativas de cobre en esta unidad, por lo que se considera menos prospectiva que el miembro Medio.

- Miembro Medio: Consiste en areniscas medias a gruesas intercaladas con unidades pelíticas delgadas. Ocasionalmente se pueden observar microconglomerados. Esta unidad posee una porosidad significativa, y contiene la mayor parte de las ocurrencias de cobre en el Dorso de Los Chihuidos. Entrecruzamientos de gran escala y barras arenosas gruesas son frecuentes.

- Miembro Superior: Consiste en areniscas blancas a rojas de grano fino a medio, intercaladas con arcilitas y limolitas rojizas. Se encuentra mal seleccionada y con frecuencia se pueden observar nódulos formados por micas. El contacto con la suprayacente Formación Cerro Lisandro es transicional y generalmente está definido por la ocurrencia del primer paquete grueso de arcilitas rojas.

### Formación Lisandro

La Fm. Lisandro (Herrero Ducloix, 1939) se encuentra por encima de la Fm. Huincul. Consiste en una potente sucesión de paquetes pelíticos rojizos con intercalaciones de areniscas de grano fino y limolitas rojizas y verdosas. Durante la depositación de esta formación habría ocurrido un marcado descenso en la energía del medio, evidenciado por amplias planicies de inundación (Leanza y Hugo, 2001). Variaciones en el aporte de sedimentos y el espacio de acomodación vinculado a cambios en la tasa de subsidencia constituyen el principal control de la acumulación del Subgrupo Río Limay (Garrido, 2010).



**Fig. 11:** Mapa geológico del Dorso de Los Chihuidos, donde predominan las unidades estratigráficas del Cretácico Superior, correspondientes al Grupo Neuquén. Se destacan las areniscas con alteración tipo bleaching de la Fm. Huincul, que alojan la mayor parte de la mineralización en la región. De Brandão Silva (2018).

Escala del mapa 1:400.000 (ver anexo al final del trabajo)

## CAPITULO 4: GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

El Dorso de Los Chihuidos presenta al menos 4 zonas con mineralización de cobre localizadas a lo largo de un tren de 30 km en el flanco este del braquianticlinal. Estos se denominan Sapo Norte, Sapo Sur, Grillo y Loro. La estratigrafía basal del área se compone de areniscas finas, pelitas y rocas evaporíticas de la Formación Rayoso. La sucesión sedimentaria tiene un leve buzamiento de 2°-5° hacia el este, con las formaciones Candeleros, Huincul, Cerro Lisandro, Portezuelo, Plottier y Bajo de la Carpa, pertenecientes al Grupo Neuquén, aflorando de oeste a este. La Formación Candeleros yace de forma discordante sobre la Formación Rayoso y consiste en areniscas rojizas intercaladas con fangolitas rojizas y conglomerados depositados en un sistema fluvial con desarrollo de paleosuelos y pantanos (Leanza y Hugo, 2001). La Formación Huincul sobreyace a la Formación Candeleros y consiste en areniscas de grano medio a grueso con escasos conglomerados intraformacionales, correspondiente a un ambiente fluvial meandriforme de alta energía. Las fangolitas rojizas de la Formación Cerro Lisandro se habrían depositado en amplias planicies aluviales (Leanza y Hugo, 2001), y son sucedidas por areniscas fluviales y limolitas de la Formación Portezuelo, limolitas lacustres de la formación Plottier, y areniscas y pelitas eólicas de la Formación Bajo de la Carpa. Esta sucesión Cretácica tardía es intruida por un sistema radial de diques basálticos subvolcánicos de la Formación Desfiladero Negro, de edad neógena. Pequeños conos basálticos de intraplaca de la formación Parva Negra (4,5 Ma; Ramos y Barbieri 1989) y el plateau basáltico Auca Mahuida (1,78 a 1,38 Ma, Kay et al., 2004) completan el registro geológico local. Durante los eventos tectónicos compresivos ocurridos en el Neógeno, responsables de la configuración del Dorso de los Chihuidos, fallas inversas de basamento cortaron la sucesión sedimentaria de la región. Por medio de líneas sísmicas se han identificado zonas verticalmente alineadas con características reflectivas caóticas y en ocasiones de baja amplitud, que se han interpretado como chimeneas de gas (Cevallos et al., 2014). Estas chimeneas están relacionadas a las mencionadas fallas de basamento, mostrando la misma disposición vertical a subvertical, y habrían actuado como pasajes de migración de los hidrocarburos desde las formaciones Los Molles y Vaca Muerta (rocas madre que se encuentran en ventana de generación de petróleo y gas desde el Cretácico, Chebli et al., 2011) hacia los reservorios en la Formación Mulichinco y el Grupo Neuquén, durante estos episodios de levantamiento

tectónico. La interacción entre los fluidos hidrocarburíferos de carácter reductor, con las areniscas rojizas oxidadas del grupo Neuquén, generaron un sistema redox de carácter regional, de orientación N-S a NNO-SSE, controlado por las estructuras de basamento que poseen esa orientación. Este frente redox fue descrito por Rainoldi et al. (2014) en el sector norte del Dorso De Los Chihuidos (en su flanco oriental), y posteriormente mapeado por Testi y Giusiano (2020) en el extremo sur del braquianticlinal, en un sector ubicado más de 70 km al S-SE. La mineralización metálica de la región está directamente vinculada a este frente redox, ya que elementos como el Cu y el V son sensibles a cambios en las condiciones de Eh (potencial oxidación-reducción) y tienden a depositarse en estas zonas.

#### **4.1 Distribución de la mineralización**

En estos depósitos, importantes concentraciones de Cu ocurren a lo largo de paleocanales fluviales de la Formación Huincul, orientados mayormente NO-SE. Estos paleocanales comprenden capas de grano medio a grueso (conglomerados y areniscas, Fig. 13A), lo que sugiere que la porosidad y permeabilidad de la roca huésped ocupan un rol fundamental en la formación de la mena (McGowan et al., 2006). Se han realizado secciones OSO-ENE perpendiculares a los paleocanales, que muestran mayores concentraciones de Cu en las zonas medias y profundas de estos, con concentraciones progresivamente disminuyendo hacia los flancos. Las mayores anomalías de V se localizan generalmente por debajo de las zonas con mayores concentraciones de Cu (Rainoldi et al., 2019), aunque en ocasiones se han observado junto al Cu o por encima de este.

La mineralización se encuentra casi exclusivamente en estratos con alteración tipo bleaching intensa (facies de areniscas blancas) y frecuentemente se asocia a estratos con materia orgánica. Es común hallar restos de bitumen macroscópicamente visibles, ya sea diseminado, en tubos horizontales o verticales, fracturas o diaclasas, entre planos de estratificación o laminación (en pelitas), o como parches en areniscas gruesas a conglomerádicas (Fig 12). Las mayores concentraciones de mineralización metálica se han hallado en niveles asociados con restos de troncos fosilizados, ya sea diseminada en areniscas y pelitas con abundantes restos fósiles, o bien en moldes de troncos impregnados con minerales de cobre y vanadio (Fig. 13B), en ocasiones acompañados de plata y otros metales.

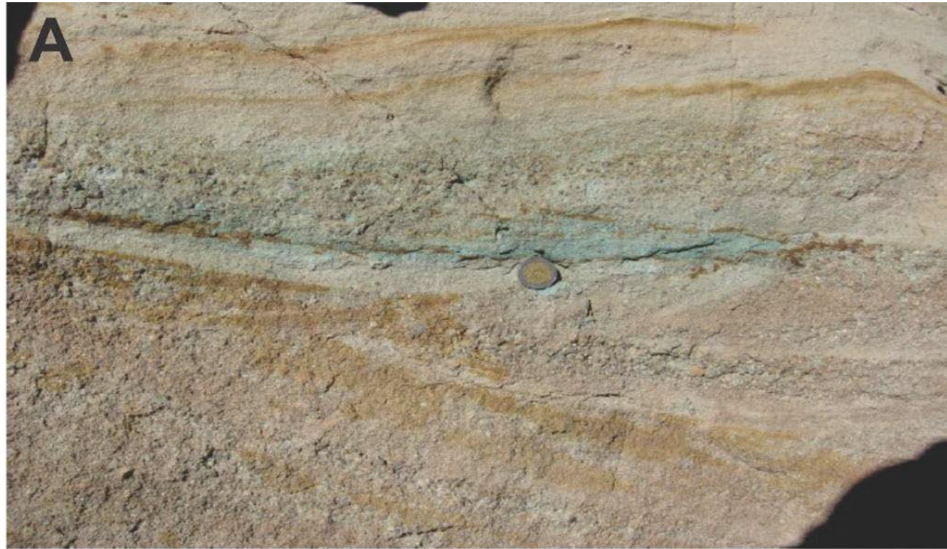
Los depósitos están afectados por alteración supergénica de la mena, con lo cual los minerales predominantes son carbonatos, sulfatos, silicatos y óxidos de cobre. En orden de abundancia decreciente se encuentran crisocola, malaquita, brocantita, azurita y atacamita, con cantidades menores de covelita. Los sulfuros hipogénicos son escasos y se encuentran mayormente en profundidad, siendo los principales calcosina y djurleita. Se ha observado pirita, aunque esta es muy escasa.

Respecto a los minerales de vanadio, las mayores concentraciones suelen hallarse en niveles con alteración transicional (facies de areniscas grises) y asociadas a altas concentraciones de bitumen (Fig 13C). Los minerales de vanadio que se han reconocido son volbortita:  $\text{Cu}_3(\text{V}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y roscoelita:  $\text{K}(\text{V}^{+3}, \text{Al})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ . Rainoldi et al. (2018) describen, además, para estas mismas rocas la presencia de arcillas ricas en V, en particular montmorillonita.



**Fig. 12:** Bitumen en rocas sedimentarias de la Fm. Huincul. A) Diseminado e interestratificado en niveles de areniscas. B) Rellenando tubos y fracturas en areniscas finas. C) Ocupando planos de laminación en areniscas finas. Nótese la coloración verdosa de la roca, indicativa de mineralización de carbonatos de cobre diseminados. D) Como parches en arenisca de grano grueso.



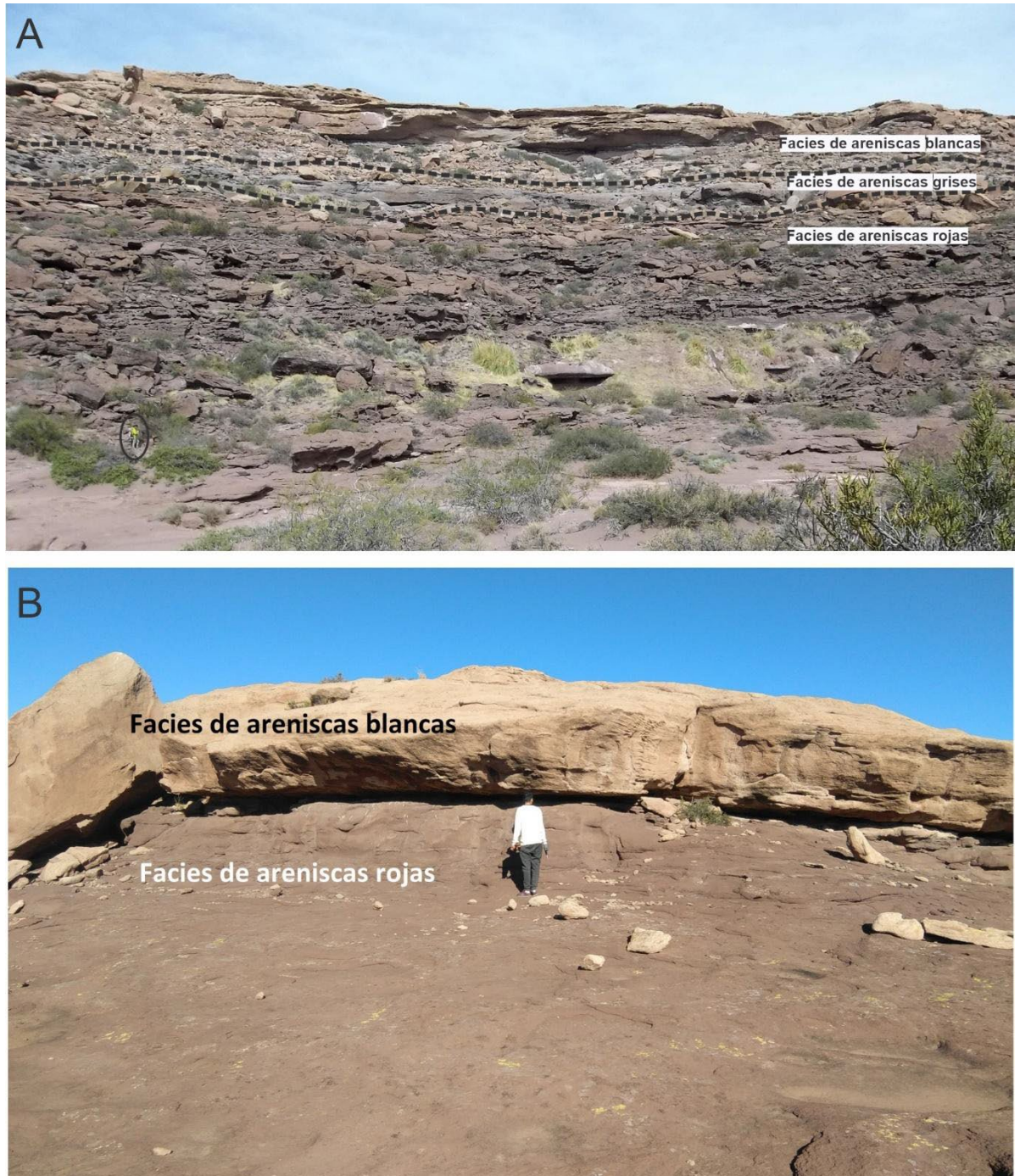


**Fig. 13:** Mineralización de Cu-V en el Dorso De Los Chihuidos. A- Silicatos y carbonatos de Cu (crisocola-malaquita) en areniscas gruesas a conglomerádicas con estratificación entrecruzada (paleocanales). B- Molde de tronco fósil impregnado con bitumen y mineralización de Cu y V (. C= Arenisca con alta concentración de bitumen, asociado a concentraciones de V de alta ley.

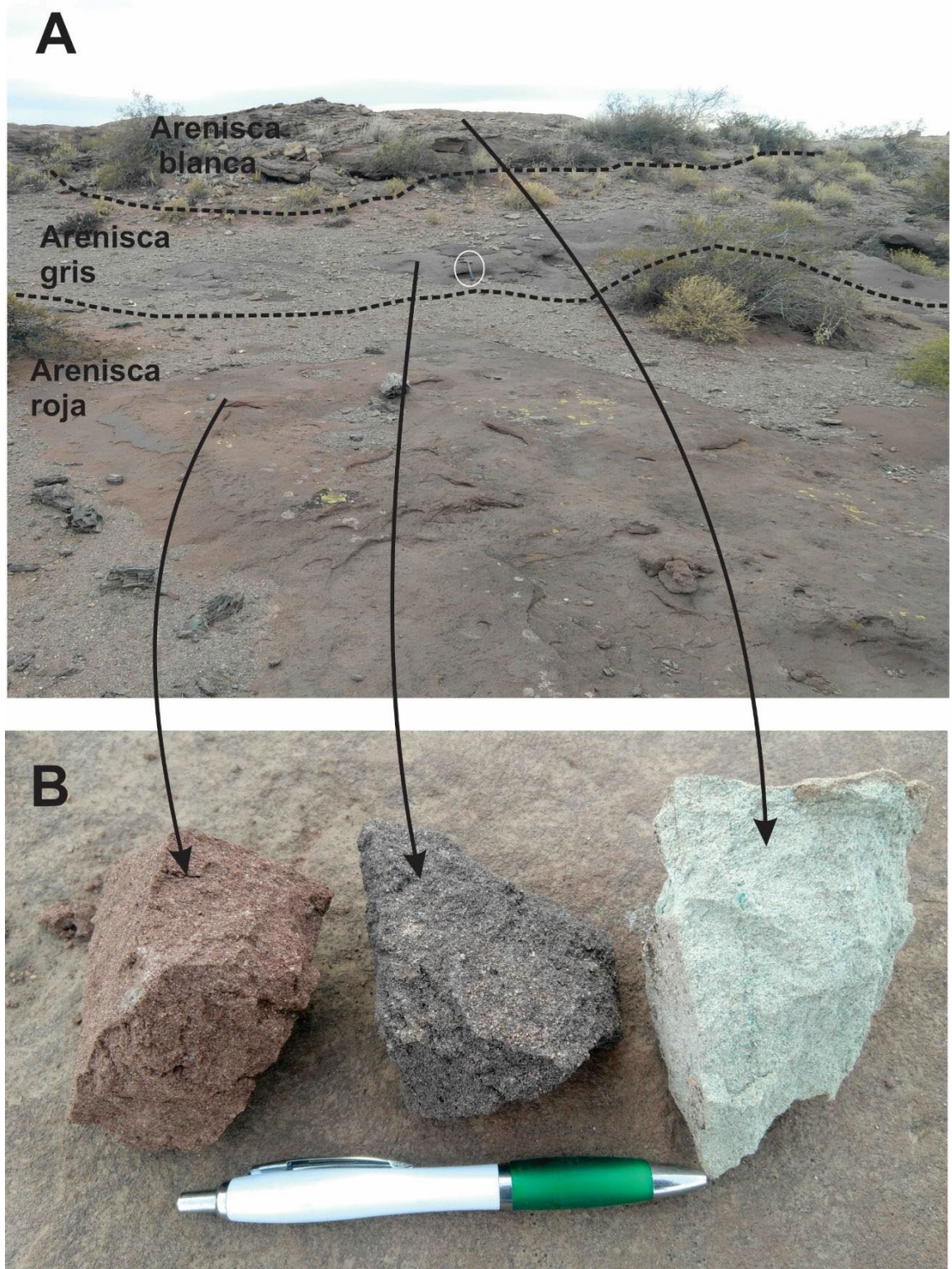
## 4.2 Estilos de alteración

Las formaciones Candeleros y Huincul consisten en litoarenitas y litoarenitas feldespáticas con selección moderada a buena y texturalmente inmaduras, con intercalación de capas conglomerádicas y pelíticas. Estas rocas presentan una coloración original rojiza. Sin embargo, es frecuente observar áreas donde éstas se encuentran decoloradas (alteración tipo “bleaching”), con una amplia gama de colores que van de marrón en las rocas menos alteradas, gris, amarillento, hasta coloraciones blancas en las rocas más intensamente alteradas. Estas variaciones cromáticas, observadas principalmente en la Fm. Huincul, fueron interpretadas por Rainoldi *et al.* (2014) como alteraciones de estratos rojos relacionadas a la migración de hidrocarburos. De acuerdo al cambio en la coloración y en los minerales autigénicos de estas areniscas, los autores reconocen cuatro facies diagenéticas, que en orden creciente en la intensidad de la alteración son: facies de areniscas rojas, facies de areniscas grises, facies de areniscas marrones y facies de areniscas blancas. La facies de areniscas rojas es considerada como la original dentro de una sucesión sedimentaria de estratos rojos, mientras que las facies de areniscas grises, marrones y blancas son facies de alteración. Las facies de areniscas rojas y blancas presentan la mayor distribución areal, mientras que las facies de areniscas grises y marrones son menos frecuentes y están subordinadas al contacto entre las dos anteriores, estando ausentes en ocasiones (Fig. 14, 15). Las areniscas rojas se caracterizan por la presencia de hematita como recubrimiento (“*coating*”) de los clastos y por parches de caolinita que rellenan los poros. Los feldespatos y los fragmentos líticos volcánicos están parcialmente alterados a clorita e illita. Las areniscas blancas carecen de los recubrimientos de hematita y se caracterizan por una intensa disolución de los clastos de feldespatos y de fragmentos volcánicos cuyo resultado es un notorio incremento en la porosidad de la roca (Rainoldi *et al.*, 2014). Tanto los detritos lábiles como la caolinita intergranular presentan una fuerte alteración y reemplazo por esmectita (montmorillonita). Se observa un cemento carbonático tardío que obtura parte de la porosidad secundaria y que presenta impregnaciones de bitumen recubriendo clastos y relleno de fracturas intragranulares. Las areniscas grises y marrones presentan los mismos fenómenos de disolución y alteración que las areniscas blancas, pero con menor intensidad. Además, contienen abundante esmectita (montmorillonita)  $\pm$  interestratificado clorita/esmectita y hematita secundaria. Todos estos minerales

suelen estar enriquecidos en vanadio. Cuando el interestratificado clorita/esmectita predomina, las areniscas se vuelven de color pardo, definiendo de este modo la facies de areniscas marrones.



**Fig. 14:** Alteración tipo bleaching de areniscas de la Fm. Huincul. A- Se observa el contacto entre las facies de areniscas rojas y las sobreyacentes facies de areniscas blancas, con las facies de areniscas grises subordinadas al contacto entre las dos anteriores. B- Contacto entre areniscas rojas inalteradas y areniscas blancas, con ausencia de facies transicionales (areniscas grises o marrones).



**Fig. 15:** Alteración tipo bleaching de areniscas de la Fm. Huincul. A) Contacto entre areniscas rojas, areniscas grises (zona de transición) y areniscas blancas. B) Detalle de muestras extraídas de cada uno de los niveles, donde se puede apreciar la coloración de las distintas facies.

### 4.3 Modelo evolutivo del depósito

La génesis y evolución del depósito de Cu-V del Dorso de los Chihuinos propuestas por Rainoldi et al. (2017) se puede resumir en 4 etapas o estadios:

- 1- El primer estadio comienza con la depositación y el “enrojecimiento” de las rocas sedimentarias de las Formaciones Huincul y Candeleros. Luego de la depositación de los sedimentos en el Cretácico Superior, la infiltración de aguas meteóricas habría dado lugar a la oxidación de los minerales ferromagnesianos que liberaron  $Fe^{2+}$ , y en condiciones oxidantes precipitó como coberturas (coatings) de hematita, dando lugar al enrojecimiento de los mismos. Con el incremento del soterramiento precipitaron caolinita, crecimientos secundarios de cuarzo, albita y calcita primaria. Estudios de isótopos de  $^{13}C$  en la calcita primaria sugieren un origen meteórico del carbono (Allan y Mathews, 1982).
- 2- En un segundo estadio habría ocurrido la decoloración o “bleaching” de las rocas. En el Neógeno, el levantamiento Andino habría generado la estructuración del Dorso de los Chihuinos, favoreciendo la reactivación de fallas antiguas y generando la expulsión de hidrocarburos desde las rocas madre y reservorios profundos hacia las areniscas rojas de la Formación Huincul (Cevallos et al., 2014). La Formación Cerro Lisandro actuó como un sello para que estos fluidos fueran almacenados en la Formación Huincul. El ingreso de hidrocarburos en esta Formación ocasionó cambios físico-químicos promoviendo el desarrollo de un sistema redox, dando lugar a la disolución de clastos y cementos, generando la decoloración (bleaching) de las areniscas rojas por disolución de la hematita y dando lugar a las areniscas blancas, con un notorio incremento en la porosidad. El hierro liberado fue reducido y precipitó como pirita, esmectita y clorita/esmectita, mientras que los hidrocarburos fueron oxidados, dando lugar a la precipitación de calcita secundaria con composiciones isotópicas mucho más livianas, típicas de una fuente de carbono orgánica (Macaulay et al., 2000). Grandes concentraciones de vanadio se habrían depositado en esta etapa, asociadas a los fluidos ricos en hidrocarburos, que en el contacto entre la arenisca blanca (químicamente reducida) y la arenisca roja (químicamente oxidada) alcanzaron condiciones redox intermedias, favoreciendo la desestabilización de los complejos solubles generados durante la alteración (decoloración) de las areniscas, y la

precipitación de minerales arcillosos ricos en V, tales como montmorillonita, illita-esmectita y clorita-corrensita, a lo largo de este frente redox (Rainoldi et al., 2018).

- 3- En un tercer estadio habría ocurrido la mineralización hipogénica de cobre. Nuevos pulsos de migración de fluidos generaron el ingreso de salmueras cuencales ricas en Cu. Los hidrocarburos alojados en las areniscas más intensamente decoloradas (areniscas blancas), actuaron como trampa reductora para la precipitación de los sulfuros que se encuentran asociados a bitumen, principalmente calcosina-djurleita. Las fangolitas de la Formación Lisandro aún actuaban como sello del sistema. Calcita neógena incorporó carbono orgánico generado por la oxidación de los hidrocarburos (Macaulay et al., 2000), y posiblemente de la calcita secundaria.
  
- 4- El cuarto estadio corresponde a la exhumación del sistema. El levantamiento final del área dio lugar a la erosión de las fangolitas de la Formación Lisandro y el ingreso de las aguas meteóricas en las areniscas mineralizadas de la Formación Huincul, dando lugar a un intenso evento de oxidación con la formación de los sulfatos, carbonatos y silicatos de cobre (Rainoldi et al, 2017), tales como crisocola, malaquita, azurita y brochantita, promoviendo también la precipitación de volbortita como producto oxidado de vanadio en el frente redox.

## **CAPITULO 5: TAREAS DE PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN REALIZADAS**

### **5.1. Fase de prospección**

La etapa de prospección en un proyecto minero es la fase inicial del proceso de exploración, cuyo objetivo es identificar y localizar anomalías o indicios de la presencia de depósitos minerales en una determinada área geográfica. Durante esta etapa, se llevan a cabo diversas actividades para recopilar información de distinta naturaleza (geológica, geoquímica y/o geofísica) que permita determinar si existe la presencia de minerales y si su potencial justifica una exploración más detallada.

En el Dorso De Los Chihuidos, si bien estudios previos han definido 4 sectores mineralizados donde se han delimitado recursos de Cu y V (Fig.6), hay extensas áreas que aún no han sido exploradas. Por ello se efectuó un trabajo de prospección regional en zonas aledañas a los blancos ya conocidos, con el objetivo de hallar zonas con potenciales recursos adicionales en la región. Los trabajos llevados a cabo en esta etapa se describen a continuación.

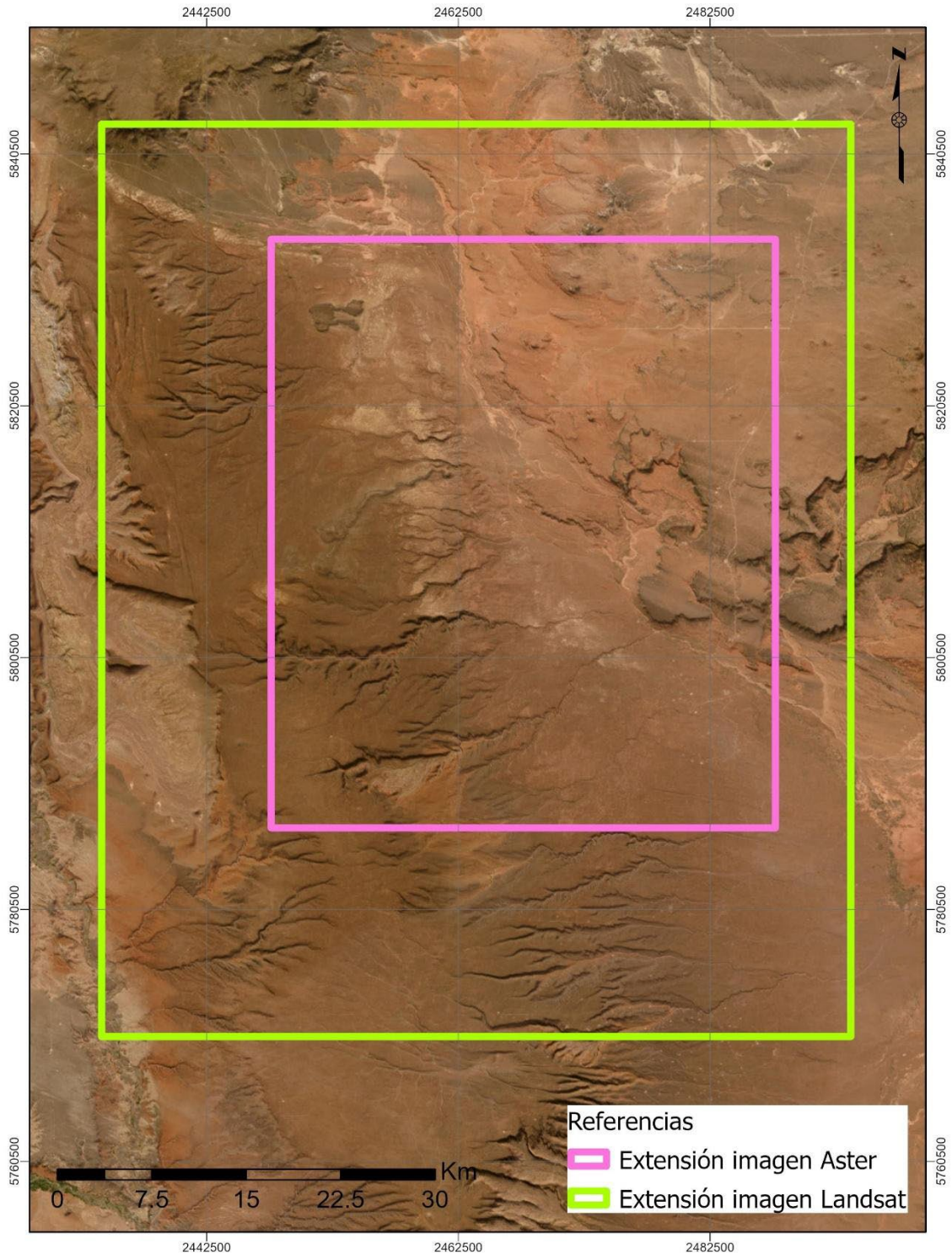
#### **5.1.1. Procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales**

En una etapa previa a la visita al terreno se aplicó la técnica de procesamiento de imágenes satelitales ópticas multiespectrales para la definición de áreas de interés o blancos en los cuales poner énfasis en el trabajo de campo.

En primer lugar, se descargaron imágenes satelitales desde el explorador denominado EarthExplorer perteneciente al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Se seleccionaron los satélites Landsat 8 OLI/TIRS y Aster Level 1T. Luego de aplicar una serie de filtros, tales como nubosidad inferior al 20% e imagen tomada durante el día, se seleccionaron y descargaron las imágenes Landsat y Aster de mayor nitidez y fecha más reciente, que abarcaran el área de interés.

Las imágenes se cargaron en el software ENVI 5.3 y se aplicaron las correcciones correspondientes. Se realizó una calibración radiométrica para convertir la información de la imagen original (bruta) de cada pixel, de Niveles Digitales -ND- a Niveles de Reflectancia captada por el sensor en el tope de la atmosfera, es decir, sin los efectos de la misma, permitiendo disminuir los efectos de dispersión o absorción causados por la presencia de partículas en la atmósfera. En este proceso también se redujo el

tamaño de las imágenes para abarcar sólo el área del Dorso De Los Chihuidos, ya que las imágenes originales tienen una extensión mucho mayor. La imagen Landsat alcanzó una cobertura más extensa que la imagen Aster (Fig.16) si bien ambas llegan a cubrir el área de interés.

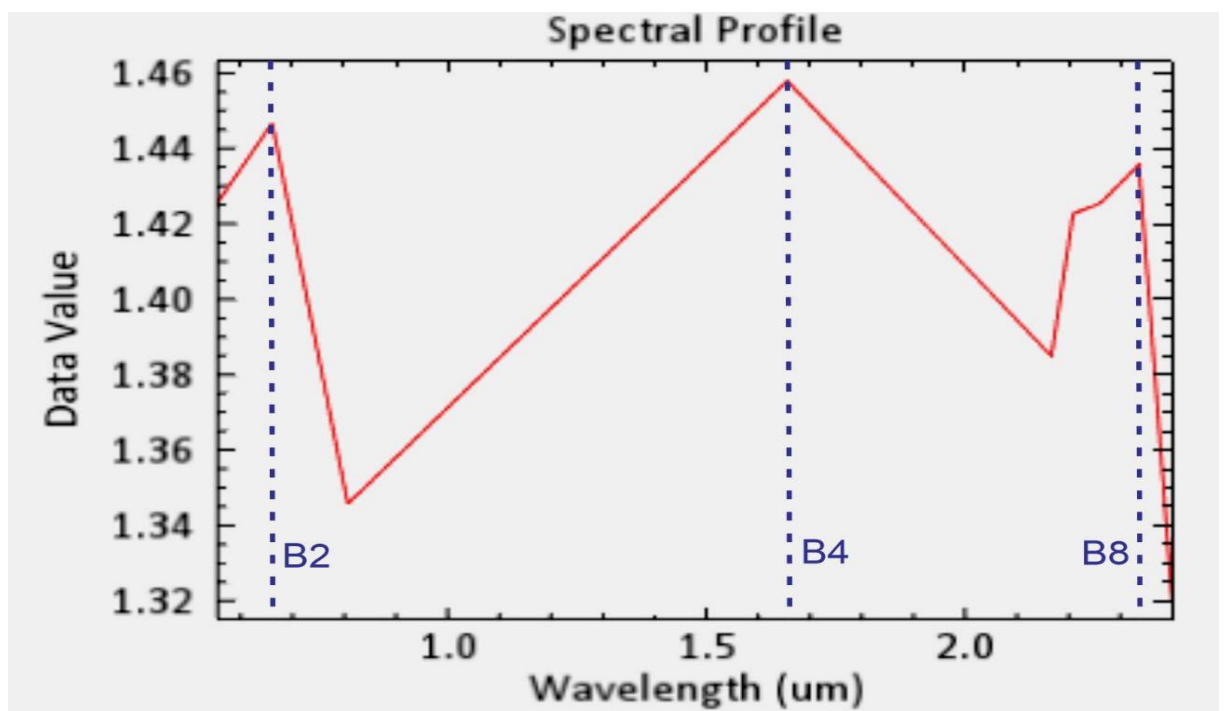


**Fig. 16:** Cobertura espacial de las imágenes Aster y Landsat en el Dorso De Los Chihuidos



Luego se realizó para cada imagen una corrección atmosférica, con la cual se obtuvo una imagen en valores de reflectancia con mejoras en la separabilidad espectral de los objetos presentes en la imagen corregida (coberturas de la Tierra) respecto a la imagen original, lo que permitió mejorar los resultados finales del proceso de clasificación digital.

Con la imagen Aster, de mayor resolución espacial que la imagen Landsat (15x15 m de tamaño de pixel) se obtuvo la curva espectral promedio de la litología de areniscas con alteración tipo *bleaching*, rocas más favorables para albergar mineralización de interés económico. Esto se hizo seleccionando numerosos pixeles en la imagen en donde se sabe que hay rocas con fuerte grado de alteración (tomando como referencia los mapas geológicos realizados en viejas campañas de exploración, sobre los blancos ya conocidos). Con esto se obtuvo una serie de curvas espectrales correspondientes a las areniscas alteradas, que en general mostraron tendencias muy similares. Estas luego se promediaron para obtener una curva espectral representativa de estas rocas (Fig. 17). Los resultados mostraron altos valores de reflectancia en las bandas 2 (rojo), 4 y 8 (infrarrojo medio o de onda corta), característica distintiva de las rocas alteradas en relación a las zonas aledañas.



**Fig. 17:** Curva espectral promedio de las rocas con alteración tipo *bleaching* en imágenes ASTER procesadas. Se observa un valor de reflectancia alto en las bandas 2, 4 y 8.

Considerando el promedio de las curvas espectrales de las areniscas alteradas se creó un índice para la detección de estas rocas aplicando una operación matemática de bandas, en la cual se sumaron las bandas 2, 4 y 8 del satélite Aster. El resultado fue una imagen en escala de grises, que luego se pasó a tonalidades de azul (Fig. 18B), en la que las zonas más claras son las de mayor reflectancia en la combinación de bandas 2+4+8. Estas zonas se interpretaron como areniscas con alteración tipo *bleaching* presentes en toda el área del Dorso de Los Chihuidos. Para resaltar aún más y de forma más precisa estas zonas, se aplicó la herramienta de Región De Interés (ROI), que consiste en filtrar los píxeles de la imagen que tienen un determinado rango de valores de reflectancia de una banda o combinación de estas, y transformar estos píxeles a formato vectorial (o en términos más simples "pintar" estos píxeles). En este caso, el filtro se aplicó para el índice anteriormente creado, con un rango de reflectancia de entre 3.6 y 5.2, considerando la suma de las reflectancias en las bandas 2, 4 y 8. Se debió excluir (con una herramienta de enmascarado del *software*) la zona ubicada al este del Dorso de Los Chihuidos, donde la imagen resaltó algunos cauces de ríos y algunas zonas de la Fm. Lisandro, con posible alto contenido de arcilla. Con esto se definieron los píxeles de la imagen (que en la práctica corresponden a porciones de terreno de 15 x 15 metros) con mayores probabilidades de tener areniscas con alteración tipo *bleaching* intensa (Fig18C). Por otro lado, los píxeles de la imagen con un rango de reflectancia entre 3.6 y 2.5 se consideraron como probables rocas con alteración transicional.

Posteriormente, se aplicó un método de Clasificación Supervisada para generar un mapa geológico regional preliminar (Fig18D), de alto detalle y que sirviera como base para el estudio de la zona. Este método implica el entrenamiento de un algoritmo de clasificación a partir de un conjunto de datos de referencia o "muestras" que se etiquetan manualmente con información sobre la clase a la que pertenecen. Estas muestras se seleccionan a partir de la imagen satelital (un píxel equivale a una muestra) y se etiquetan por el usuario como pertenecientes a una determinada clase. Una vez que se han etiquetado suficientes muestras, el *software* utiliza un algoritmo de clasificación supervisada para analizar la información espectral de cada píxel en la

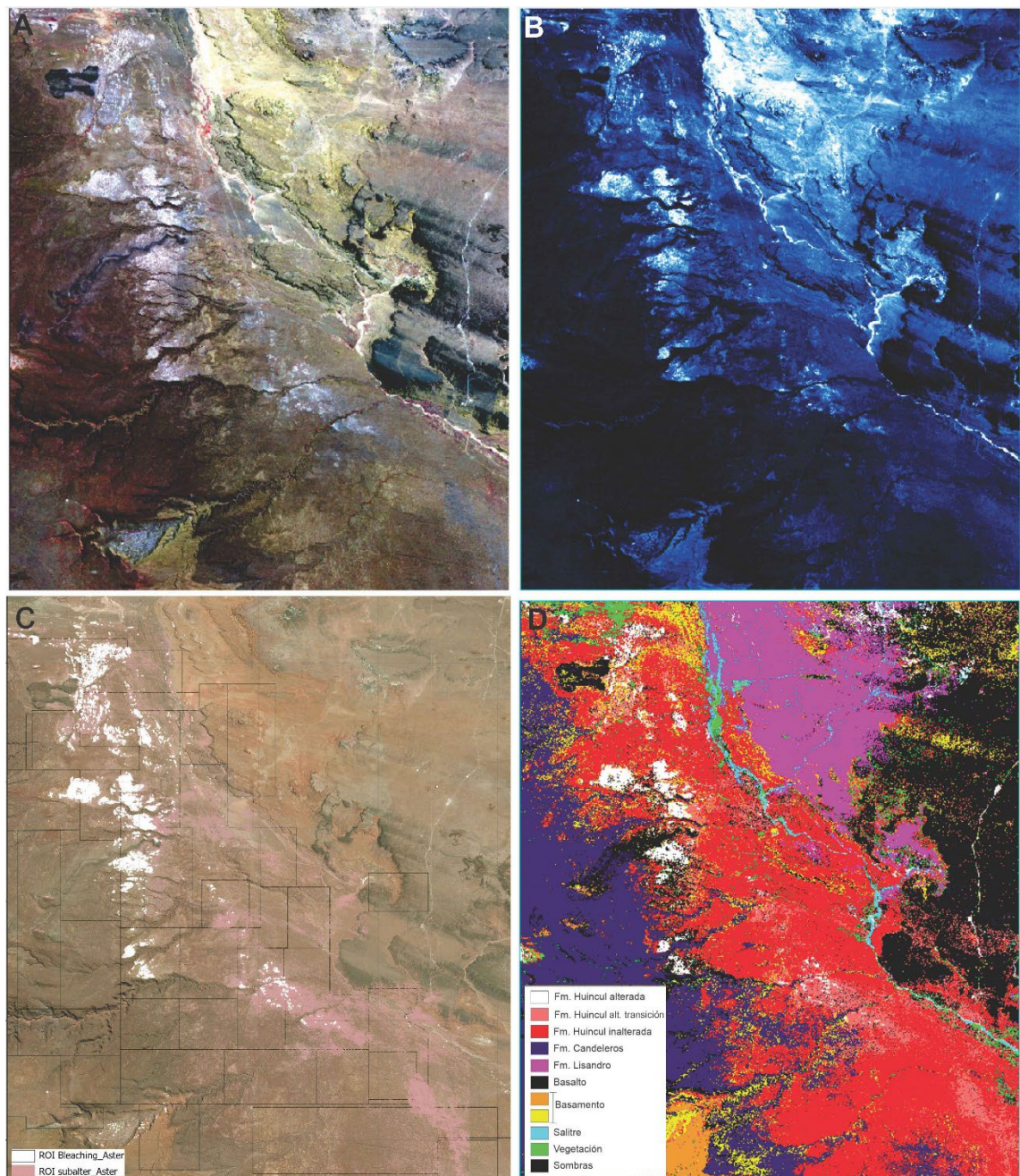
imagen y asignarlo a la clase correspondiente basándose en las características espectrales de las muestras de entrenamiento.

En este caso, se seleccionaron 257 muestras (píxeles) que se etiquetaron con las distintas litologías y otros rasgos presentes en el área, utilizando como referencia para ello la Hoja Geológica de Zapala (3969-I, SEGEMAR), y mapas regionales y locales generados en campañas de exploración anteriores; e incluyendo también las rocas con alteración tipo *bleaching* y con alteración transicional, ya definidas previamente a partir del proceso de ROI. Las categorías aplicadas fueron:

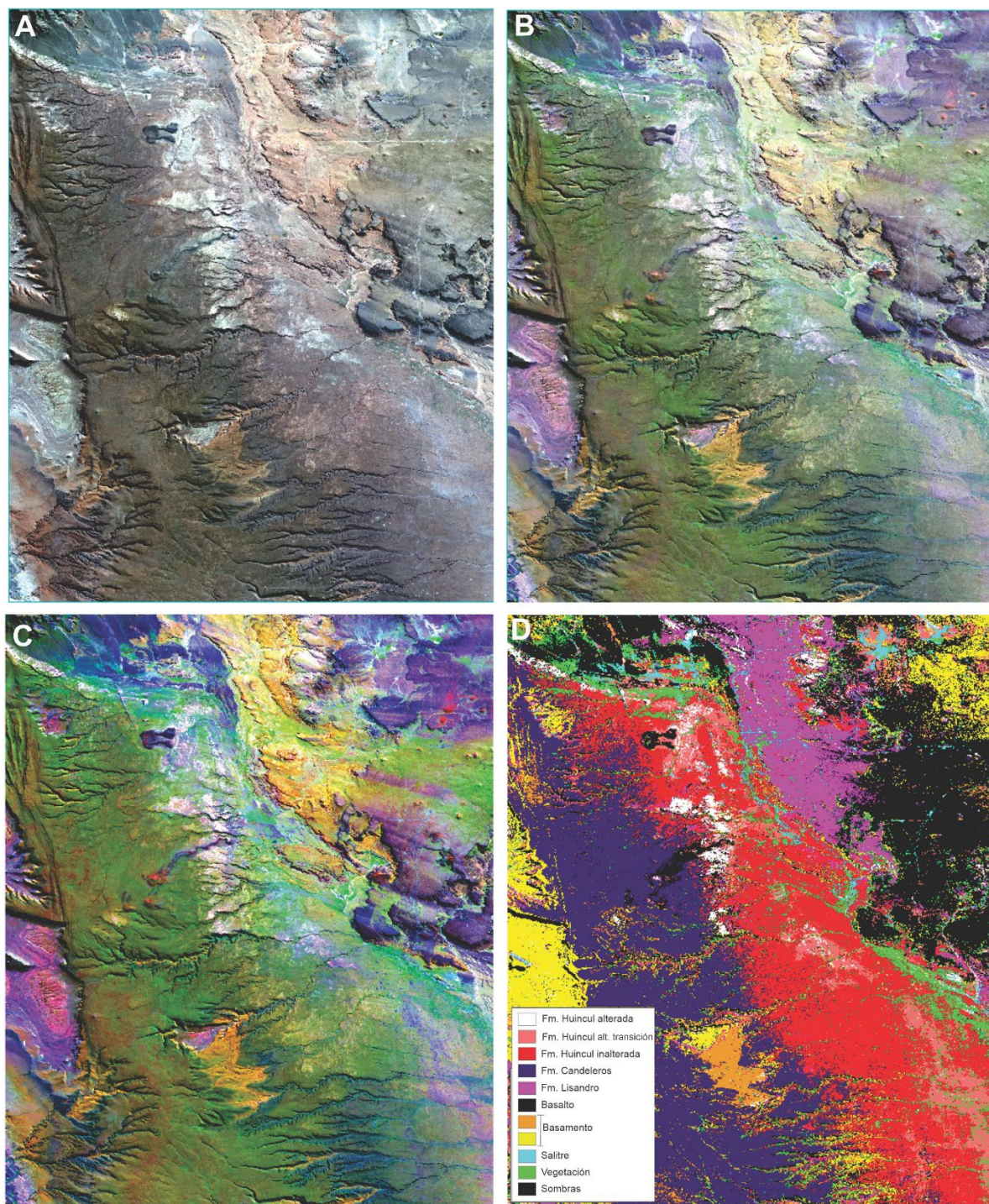
- Basamento (Gp. Rayoso);
- Fm. Huincul alterada
- Fm. Huincul con alteración transicional
- Fm. Huincul inalterada
- Fm. Candeleros
- Fm. Lisandro
- Basaltos
- Vegetación
- Salitre
- Sombras.

Por otro lado, con la imagen Landsat 8 se realizó una combinación de bandas 7-5-2 (Fig. 19B), asignando el canal rojo a la banda 7 (correspondiente al infrarrojo medio o SWIR 2), el canal verde a la banda 5 (correspondiente al infrarrojo cercano o NIR) y el canal azul a la banda 2 (correspondiente al color azul). Esta combinación permitió discriminar la litología entre las formaciones Candeleros, Huincul, Lisandro y basaltos cuaternarios. Además, se diferenciaron las rocas de la Formación Huincul con alteración tipo *bleaching*, aquellas inalteradas y se reconoció un halo de alteración secundario ubicado en torno a las rocas con *bleaching* o bien hacia el este de estas, lo cual se interpretó como la alteración transicional entre las dos primeras. Al aplicar una saturación a los colores de esta combinación de bandas se pudo diferenciar con mayor claridad algunas litologías (Fig. 19C).

Finalmente, se realizó sobre la imagen Landsat el mismo procedimiento de Clasificación Supervisada que se hizo anteriormente con la imagen Aster, utilizando las mismas categorías y las mismas muestras (píxeles) de referencia. El mapa geológico regional resultante de esta operación (Fig. 19D) se comparó con el mapa generado anteriormente, observando resultados muy similares.

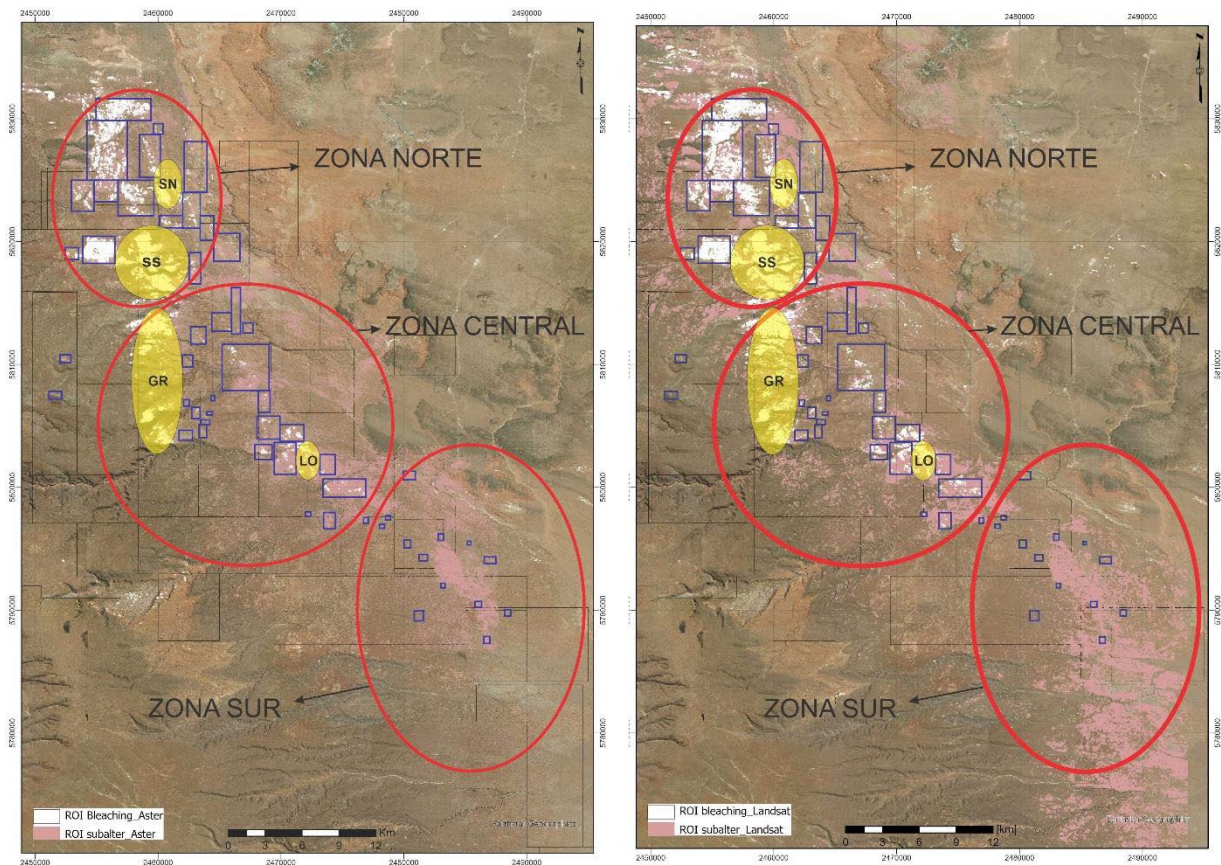


**Fig. 18:** Procesamiento de imagen multispectral ASTER en el Dorso de los Chihuidos. A- Combinación RGB 321, que se aproxima al color natural del terreno. B- Resultado de la operación matemática de bandas (suma 2+4+8) a cada píxel filtrada en tonalidades de azules, en donde los colores más claros corresponderían a la presencia de rocas con alteración tipo bleaching. C- Resultado del filtrado y extracción de píxeles interpretados como rocas con alteración bleaching (color blanco) y subalteración (color rosado) por medio de la herramienta ROI, superpuestos sobre la imagen satelital del área. D- Mapa geológico regional obtenido a partir de la técnica de Clasificación Supervisada, a escala 1:150.000 (ver anexo al final del trabajo)



**Fig.19:** Procesamiento de imagen multiespectral Landsat en el Dorso de los Chihuidos. A- Combinación de bandas RGB 321, que muestra el color natural del terreno. B- Combinación de bandas RGB 752, que permite discriminar las distintas litologías del área, incluso las rocas con alteración tipo bleaching y alteración transicional (o subalteración). C- Misma combinación RGB 752, en este caso aumentando la saturación de los colores, lo que resalta aún más las diferencias entre litologías. D- Mapa litológico obtenido a partir de una clasificación supervisada utilizando la curva de espectral de los píxeles de la imagen. Se destaca en color blanco las rocas con alteración tipo bleaching, y en color rosado las rocas con alteración transicional o subalteración.

Con este procesamiento de imágenes multispectrales se definieron 3 blancos regionales en el Dorso de Los Chihuidos (Fig.20), en función de la distribución y frecuencia de la posible alteración tipo *bleaching* en la Fm. Huincul, como también la presencia de rocas con posible alteración transicional, para enfocar el trabajo de campo: una Zona Norte, una Zona Central y una Zona Sur. Dentro de estos objetivos regionales se realizó un análisis de la distribución de la alteración a escala de semi-detalle, lo que permitió definir numerosas zonas objetivos o “*targets*” de prospección locales. Estos últimos fueron clasificados por orden de prioridad para el trabajo de campo. Se excluyeron de este análisis los blancos de exploración avanzada, ya conocidos y perforados (Sapo Norte, Sapo Sur, Grillo y Loro).



**Fig.20:** Imagen satelital del área del Dorso de los Chihuidos en donde se han superpuesto los pixeles correspondientes a posibles rocas con alteración tipo *bleaching* (color blanco) y rocas subalteradas (color rosado) obtenidos a partir del procesamiento de imágenes ASTER (izquierda) y Landsat (derecha). Se observan las 3 áreas regionales definidas para la prospección, en función de la abundancia y distribución de las rocas alteradas (Zona Norte, Zona Central, Zona Sur). Además, se observan las zonas objetivos o “*targets*” locales de prospección dentro de cada área, demarcadas con polígonos azules. Los blancos de exploración avanzada ya conocidos en la región (elipses amarillos) fueron exceptuados en la selección de áreas de prospección.

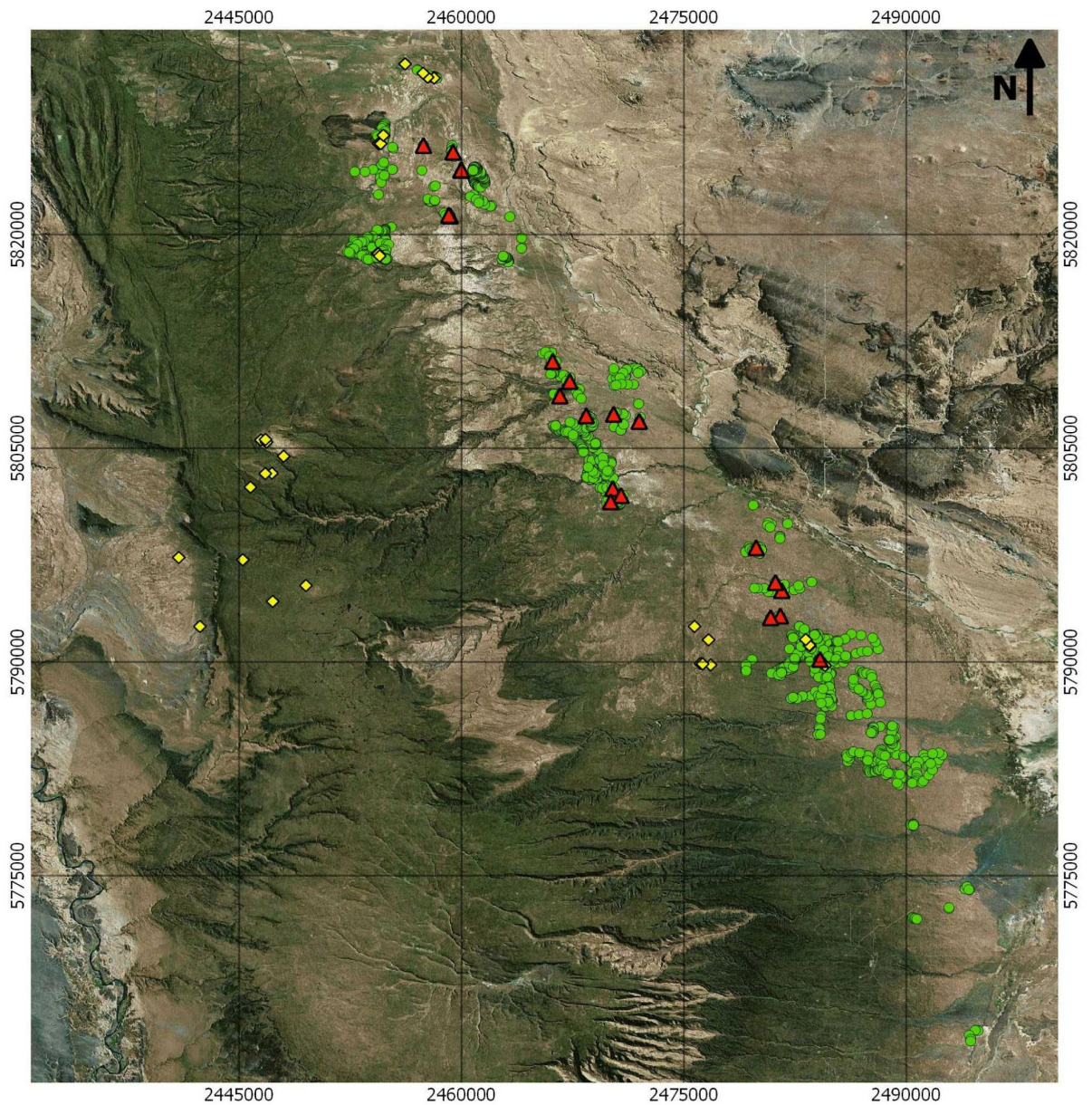
SN=Sapo Norte; SS=Sapo Sur; GR=Grillo; LO=Loro

### 5.1.2. Muestreo de superficie

Un muestreo se define como la acción de recoger muestras representativas de una porción de terreno seleccionada, o la técnica empleada en esta selección. Dicho de otra forma, consiste en la selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para inferir el valor de una o varias características de un conjunto. En este caso, el conjunto está constituido por todas las rocas existentes en las zonas de interés previamente definidas, de las cuales se extrajeron pequeñas cantidades (muestras) de peso variable y con distintos métodos para conocer sus características, principalmente su geoquímica.

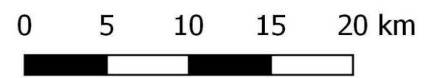
El muestreo se enfocó en las zonas previamente definidas en gabinete a partir de imágenes satelitales, y aledañas a los principales blancos conocidos en la región del Dorso De Los Chihuidos. Este no se hizo de forma sistemática, sino irregular y selectiva aplicando criterios geológicos, tomando muestras en aquellas rocas en las que se sospechaba que podría contener mineralización de cobre y/o vanadio, evidenciada fundamentalmente por la coloración de los minerales supergénicos de dichos elementos (principalmente de cobre, que son más fácilmente observables por hallarse en mayores concentraciones), o bien en zonas de evidente alteración tipo *bleaching*, muestreando sólo en la minoría de los casos rocas sin alguna de estas características. Se prestó especial atención a la coloración de la roca pulverizada (raya), que muchas veces es distintivo y diferente al color observado en la roca sin pulverizar. La presencia de bitumen y/o restos vegetales fosilizados constituyeron una importante guía de prospección. Aunque se priorizaron para el muestreo las zonas y puntos definidos previamente en gabinete, las observaciones de campo definieron nuevas zonas de interés. El muestreo incluyó un relevamiento litológico, de alteración y mineralización.

En total se tomaron 1240 muestras de tipo polvo de roca, 34 muestras de esquirlas de roca y se realizaron 21 trincheras (Fig.21) A continuación, se detallan los métodos de muestreo mencionados:



**Muestras de superficie**

- Muestras de polvo de roca
- ◆ Muestras de esquirlas de roca
- ▲ Muestras de trincheras



**Fig.21:** Muestras de superficie de tipo esquirlas, polvo de roca y trincheras tomadas en el Dorso De Los Chihuideos durante la etapa de prospección.

- Esquirlas de roca: El muestreo de esquirlas consiste en extraer fragmentos de roca/mena, recolectados a intervalos aproximadamente regulares a lo largo de una línea o de algún otro diseño apropiado en una superficie de roca o en una pila de material triturado. El procedimiento de muestreo consistió primero en seleccionar un



afloramiento de roca a muestrear, y luego establecer una línea de aproximadamente 2 metros de longitud, orientada lo más perpendicular posible a la estratificación de las rocas, utilizando una cinta métrica. A lo largo de dicha línea se fueron extrayendo esquirlas de roca a intervalos de 30-40 cm, golpeando el afloramiento con una piqueta o martillo geológico. Los fragmentos obtenidos se seleccionaron de acuerdo a un tamaño adecuado (de no más de 10-15 cm de diámetro) y se colocaron en bolsas de polietileno de 250 micrones de espesor, las cuales fueron selladas, embaladas y correctamente etiquetadas, para luego ser enviadas al laboratorio que realizó los análisis geoquímicos.

- Polvo de roca: Este tipo de muestreo es poco convencional por la poca cantidad de muestra que se obtiene, pero resulta de gran utilidad cuando se cuenta con un método de análisis geoquímico "in situ", tal como un analizador portátil de elementos livianos. El método consistió en "pulverizar" la roca, perforándola con un rotomartillo percutor a batería, utilizando una mecha tal que se introdujera unos 10 cm. El polvo que resultó de dicha perforación, acumulado alrededor del hoyo, se extrajo con un cepillo o pincel y una pala pequeña y se colocó en pequeñas bolsas de plástico tipo ziploc (con cierre hermético) de tamaños de 5x5 cm o 5x10 cm, las que luego se etiquetaron con el número de muestra correspondiente (Fig.22) .

Para perforar se utilizaron martillos rotomartillos percutores eléctricos e inalámbricos (a batería recargable) de las marcas Einhell y Makita, de 18V de voltaje y potencias de golpe de entre 2 y 2,2J. Estas herramientas son livianas (2kg de peso aproximadamente) y de fácil manejo en el campo. Se utilizaron 2 baterías por cada martillo, de capacidades de 3.0Ah y 5.2Ah, con las que se obtuvo un rendimiento promedio de entre 30 y 50 muestras (15 a 25 con cada batería con carga completa). Se perforó con mechas de diámetros variables entre 10 mm y 16 mm.

A medida que se extrajeron las muestras, éstas se fueron llevando a una estación cercana a la zona de muestreo, en donde un operario realizó un análisis geoquímico de cada muestra utilizando un analizador de elementos livianos XRF Thermo Fisher Scientific, modelo Niton XL3. Esto permitió ir conociendo la geoquímica de las muestras *in situ*, lo cual fue ventajoso a la hora de descartar algunas zonas y densificar el muestreo en otras donde las anomalías geoquímicas fueron más importantes.



**Fig.22:** Metodología de muestreo de polvo de roca. A) Perforación en la roca utilizando un martillo roto-percutor. B) Extracción del polvo acumulado alrededor del hoyo. C) Guardado de la muestra en bolsa tipo ziploc de 5x5cm. D) Muestra ya extraída y etiquetada. E) Operario realizando análisis geoquímico in situ de una muestra de polvo de roca, con un analizador de elementos livianos Thermo Fisher Scientific modelo Niton XL3.

- Trincheras: Este método consiste en realizar zanjas o excavaciones en el terreno a fines de obtener una gran cantidad de muestra, que por ende es más representativa que una muestra extraída con otros métodos; o bien cuando hay una cobertura de suelo que no permite el contacto directo con la roca.

Dado que la roca se encuentra en general aflorante y no se contaba con la maquinaria necesaria, se realizaron excavaciones de forma manual, utilizando picos y palas, con dimensiones de aproximadamente 1,5 m de largo x 1 m de ancho x 0,5 m de profundidad (Fig.23). Los sectores donde se excavaron las trincheras se definieron en función de la presencia de mineralización de cobre, buscando también que hubiera numerosas fracturas o planos de debilidad (lo cual es muy frecuente en zonas de alta ley) para poder extraer bloques de roca con mayor facilidad. Una vez excavada cada trinchera, se procedió a registrar fotográficamente, y posteriormente se extrajo una muestra de esquirlas y un duplicado de aproximadamente 5 kg a partir de los bloques removidos durante la excavación.



**Fig.23:** Muestreo de trinchera. A) Zona de muestreo previa a la realización de la trinchera, donde se observan abundantes planos de debilidad en la roca (estratificación y diaclasas). B) Trinchera excavada manualmente, utilizando picos, palas y barretas. C) Bloques de arenisca fina extraídos en la excavación de la trinchera, los cuales presentan mineralización de cobre diseminada visible.

Las muestras de superficie recolectadas se fueron ploteando sobre una imagen satelital de alta resolución, clasificando a las mismas de acuerdo a las leyes de Cu, V y Ag, en 5 categorías:

- Valor de fondo: valor por debajo de la media estadística
- Anomalía baja: valor entre la media y la media+1de (desviación estándar)
- Anomalía media: valor entre la media+1de y la media+2de
- Anomalía alta: valor entre la media+2de y la media+3de
- Anomalía muy alta: valor superior a la media+3de

Para ello se utilizó el software ArcGisPro.

A los datos de las muestras de superficie obtenidas se sumaron los datos geoquímicos históricos de 957 muestras de superficie de tipo esquirlas tomadas en la zona de trabajo entre los años 2005 y 2008. Con la totalidad de las muestras (actuales e históricas) y sus valores de laboratorio se generaron mapas geoquímicos de Cu y V. Mediante el *software* de uso libre Surfer 8.0, se generaron isosuperficies a partir de las anomalías de 1er orden de cada elemento, considerando como anomalías de primer orden aquellas definidas como anomalía alta y muy alta (valores por encima de la media+2de). Estos mapas, conjuntamente con las observaciones geológicas de campo y el procesamiento de imágenes Aster y Landsat, permitieron definir blancos de interés para continuar realizando trabajos de prospección o avanzar a una etapa de exploración. En estos últimos se realizó un mapeo de alteración, más lineamientos estructurales a escalas variables entre 1:12000 a 1:25000, dependiendo del tamaño del área de interés.

### **5.3 Fase de exploración avanzada**

La exploración en un proyecto minero corresponde a la etapa que sigue a la prospección, y se enfoca en realizar investigaciones más detalladas y exhaustivas para determinar la existencia, tamaño, calidad y viabilidad económica de los depósitos minerales identificados en la etapa de prospección. En esta fase se realizan perforaciones para obtener muestras más representativas del subsuelo y confirmar la presencia y/o continuidad de los cuerpos de mineral. Los primeros pozos se

denominan *pozos exploratorios* (o pozos de exploración) y sirven para confirmar la presencia y la extensión general de los depósitos minerales y recolectar información geológica básica, como la composición y las características de las rocas, la mineralogía y las estructuras geológicas presentes. Estos proporcionan datos iniciales para evaluar la viabilidad del proyecto y ayudan a guiar la planificación de perforaciones posteriores.

Una exploración se considera en etapa avanzada cuando se ha confirmado la presencia y extensión general de un recurso mineral mediante suficientes pozos exploratorios, y comienzan a realizarse *pozos de definición*. Estos últimos se perforan en ubicaciones específicas dentro del área objetivo y están diseñados para proporcionar una evaluación más precisa de las dimensiones, las características y la calidad de los depósitos. Los pozos de definición pueden incluir pozos de *infill* (relleno) y pozos de delimitación. Los pozos de *infill* se perforan entre los pozos de exploración existentes para obtener una mejor resolución espacial y recolectar muestras adicionales de rocas y minerales. Los pozos de delimitación se perforan en los límites del depósito para determinar su extensión y evaluar la continuidad de la mineralización. Los pozos de definición proporcionan datos más detallados para la estimación precisa de los recursos minerales y son esenciales para la planificación y el diseño de la explotación minera.

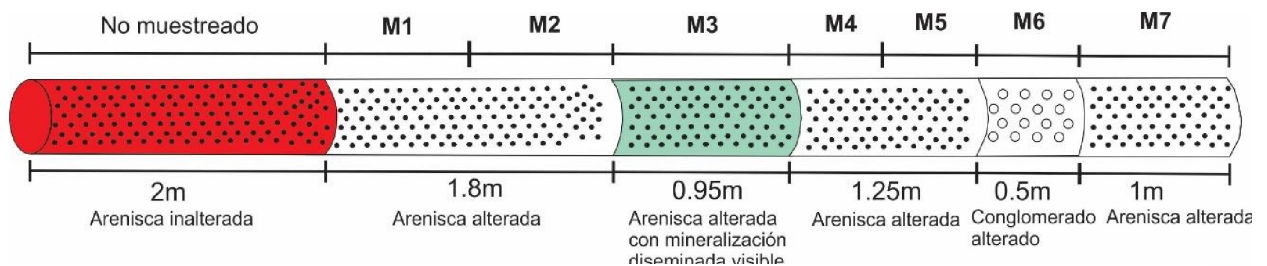
En la región del Dorso De Los Chihuidos se cuenta con 4 áreas en etapa de exploración avanzada (Fig.6), con recursos estimados a partir de campañas de exploración llevadas a cabo entre los años 2007 y 2012. En tres de estas áreas, denominadas Sapo Sur, Grillo y Loro, se llevó a cabo un programa de perforaciones de definición. En una cuarta zona denominada Carranza, definida a partir del trabajo de prospección previo, se efectuaron los primeros pozos exploratorios. Los trabajos realizados en esta etapa se describen a continuación.

### **5.3.1. Perforaciones de diamantina**

En primera instancia se llevó a cabo un programa de sondajes gemelos de diamantina, para validar los datos de las anteriores campañas de perforación, y contar con la información geológica que brindan los testigos de roca. Se ejecutaron en total 9 sondajes de este tipo (3 en Sapo Sur Central, 3 en Grillo norte y 3 en Loro), ubicados a una distancia de 1 metro de pozos de aire reverso seleccionados, de campañas

anteriores, y que mostraron buenos valores en leyes de Cu y/o V. Se realizaron en total 275 metros de perforación con este método.

A los testigos de diamantina que se fueron extrayendo a partir de las perforaciones se les realizó un control geotécnico *in situ*, y posteriormente un relevamiento geológico en una loguera instalada en la localidad de Rincón de Los Sauces. Luego de realizar el logueo geológico se definieron los intervalos para extraer muestras para análisis geoquímicos, y se procedió al corte longitudinal de los testigos, embolsado y etiquetado de las muestras para su envío al laboratorio. El muestreo se realizó a intervalos de no más de 1 metro, pero atendiendo directamente al relevamiento geológico. Donde se observaron cambios litológicos, de alteración y/o mineralización se tomaron diferentes muestras, buscando que cada una de ellas respondiera a un intervalo geológicamente homogéneo (Fig.24), para así tener bien acotados los intervalos mineralizados en función de la geología. En los casos en que los intervalos homogéneos superaron una longitud de 1 metro, se separaron en 2 o más intervalos. Por otro lado, se estableció una longitud mínima para muestreo de 0.3 metros, es decir que intervalos geológicamente homogéneos que tuvieron una longitud menor a esta, se incluyeron en los intervalos infra o suprayacentes para el muestreo. No se muestrearon los intervalos en los que no se observó alteración u otros indicios de mineralización (como la presencia de bitumen), ya que se sabe que la mineralización está íntimamente ligada a la alteración de tipo *bleaching*. Dado que los testigos muestreados se cortaron longitudinalmente por la mitad, la media caña no enviada al laboratorio y los testigos no muestreados quedaron en sus respectivas cajas conformando el respaldo o *backup* de cada pozo.



**Fig.24:** Ejemplo de la metodología de muestreo utilizada en los testigos de diamantina, respondiendo a criterios litológicos y a la longitud máxima definida (1 metro).

Los resultados geoquímicos de los sondajes gemelos de diamantina fueron analizados y comparados con los resultados de los sondajes originales de aire reverso, para validar estos últimos y proceder a la siguiente fase de perforaciones. Para ello se seleccionaron los elementos de mayor interés económico del depósito (Cu y V), y se plotearon en gráficos de ley vs. profundidad, comparando el sondaje original de aire reverso con su respectivo gemelo de diamantina. Para tratar los valores geoquímicos que superaron el límite de detección del laboratorio, se les asignó un valor fijo igual al límite máximo del laboratorio más un 25% de dicho valor, mientras que a los valores inferiores al límite inferior del laboratorio se les asignó un valor aleatorio mayor a 0 y menor a dicho valor. Los gráficos de ley-profundidad se realizaron con el *software* Microsoft Excel versión 2016. Además, se graficó la litología, alteración y mineralización de cada sondaje diamantino en columnas, para visualizar la relación que existe entre estas; para lo cual se utilizó el *software* de uso libre Inkscape.

### **5.3.1. Perforaciones de aire reverso**

Una vez obtenidos y validados los resultados de diamantina, se procedió a una siguiente etapa, que consistió en la ejecución de sondajes de aire reverso. Estos se efectuaron en sectores predefinidos dentro de los blancos Sapo Sur, Grillo y Loro, respetando una grilla de 200 x 200 m que se complementó a los sondajes exploratorios realizados en las campañas de perforación de los años 2007 a 2012, para tener una mayor densidad de sondajes en las zonas de recursos inferidos, y poder re categorizar estos recursos a indicados. Por otro lado, se realizaron las primeras perforaciones exploratorias en el blanco Carranza, que resultó del estudio de prospección anteriormente efectuado.

En total se realizaron 37 pozos de aire reverso, totalizando 842 metros perforados.

Para el caso de los sondajes de aire reverso, tanto el logueo geológico como el muestreo se realizaron *in situ* en boca de pozo y en simultáneo con la perforación. El muestreo se realizó metro a metro. El detrito extraído de cada metro se cuarteó utilizando un cuarteador de tipo rifle, realizando 3 pasadas para obtener una o dos muestras (en los casos en que se hizo duplicado) de entre 2 y 4 kg. El sobrante se juntó con el rechazo para conformar el *backup* de cada pozo. Se colocó además una muestra de detrito de cada pozo, metro a metro, en cajas porta *cutting*.

A continuación se presenta, para cada pozo perforado, la identificación (ID), tipo de perforación (DDH=diamantina; RC=aire reverso), blanco al que corresponde, coordenadas y profundidad alcanzada (tabla 3); y se complementa con una serie de figuras que muestran la ubicación de dichos sondajes (Fig. 26 y 27).

ID Sondaje	Tipo	Blanco de exploración	Coord. Este	Coord. Norte	Profundidad
G_SSRC053	DDH	Sapo Sur Central	2491860	5850826	39
G_SSRC059	DDH	Sapo Sur Central	2491911	5850604	45
G_SSRC062	DDH	Sapo Sur Central	2492210	5850789	39
G-GRCD-11	DDH	Grillo Norte	2490769	5844490	30
G_GRCD-22	DDH	Grillo Norte	2490759	5844068	30
G_GRCD-24	DDH	Grillo Norte	2491186	5844034	40
G_LOCD013	DDH	Loro	2504775	5834889	15
G_LOCD042	DDH	Loro	2504882	5835262	19
G_LOCD044	DDH	Loro	2505068	5835338	16
SSPC-63	RC	Sapo Sur Central	2492143	5850525	30
SSPC-26	RC	Sapo Sur Central	2491974	5850423	35
SSPC-47	RC	Sapo Sur Central	2491598	5850669	35
SSPC-22	RC	Sapo Sur Central	2491773	5850771	30
SSPC-59	RC	Sapo Sur Central	2491945	5850869	25
SSPC-76	RC	Sapo Sur Central	2491923	5851318	35
SSPC-20	RC	Sapo Sur Central	2491675	5850941	35
SSPC-57	RC	Sapo Sur Central	2491845	5851042	30
SSPC-18	RC	Sapo Sur Central	2491575	5851116	35
SSPC-52	RC	Sapo Sur Central	2491646	5851389	25
SSPC-16	RC	Sapo Sur Central	2491475	5851290	25
SSPC-55	RC	Sapo Sur Central	2491745	5851217	35
GRN-6	RC	Grillo Norte	2490767	5844663	25
GRN-52	RC	Grillo Norte	2491371	5844557	30
GRN-51	RC	Grillo Norte	2491364	5844364	20
GRN-48	RC	Grillo Norte	2491365	5843963	40
GRN-49	RC	Grillo Norte	2491321	5844150	35
GRN-17	RC	Grillo Norte	2490957	5843760	24
GRN-46	RC	Grillo Norte	2491365	5843762	40
GRN-19	RC	Grillo Norte	2490957	5843962	35
GRN-4	RC	Grillo Norte	2490760	5843962	30
GRN-20	RC	Grillo Norte	2490961	5844176	15
GRN-8	RC	Grillo Norte	2490770	5844166	15
LOR-23	RC	Loro	2504804	5835556	10
LOR-31	RC	Loro	2505060	5835235	10
LOR-36	RC	Loro	2505157	5835500	10
LOR-30	RC	Loro	2504986	5835405	12
LOR-19	RC	Loro	2504797	5835330	10



ID Sondaje	Tipo	Blanco de exploración	Coord. Este	Coord. Norte	Profundidad
LOR-20	RC	Loro	2504879	5835151	12
LOR-14	RC	Loro	2504831	5835017	10
LOR-03	RC	Loro	2504651	5834933	10
LOR-12	RC	Loro	2504915	5834837	10
LOR-05	RC	Loro	2504728	5834752	10
CARC-001	RC	Carranza	2500387	5841102	15
CARC-002	RC	Carranza	2499980	5841745	10
CARC-003	RC	Carranza	2500002	5841888	15
CARC-004	RC	Carranza	2500270	5841611	14

Tabla 3: Sondajes realizados en la etapa de exploración avanzada. Sistema de coordenadas utilizado: Gauss Kruger Posgar 94 – Argentina Zona 2 (CÓDIGO EPSG 22182)

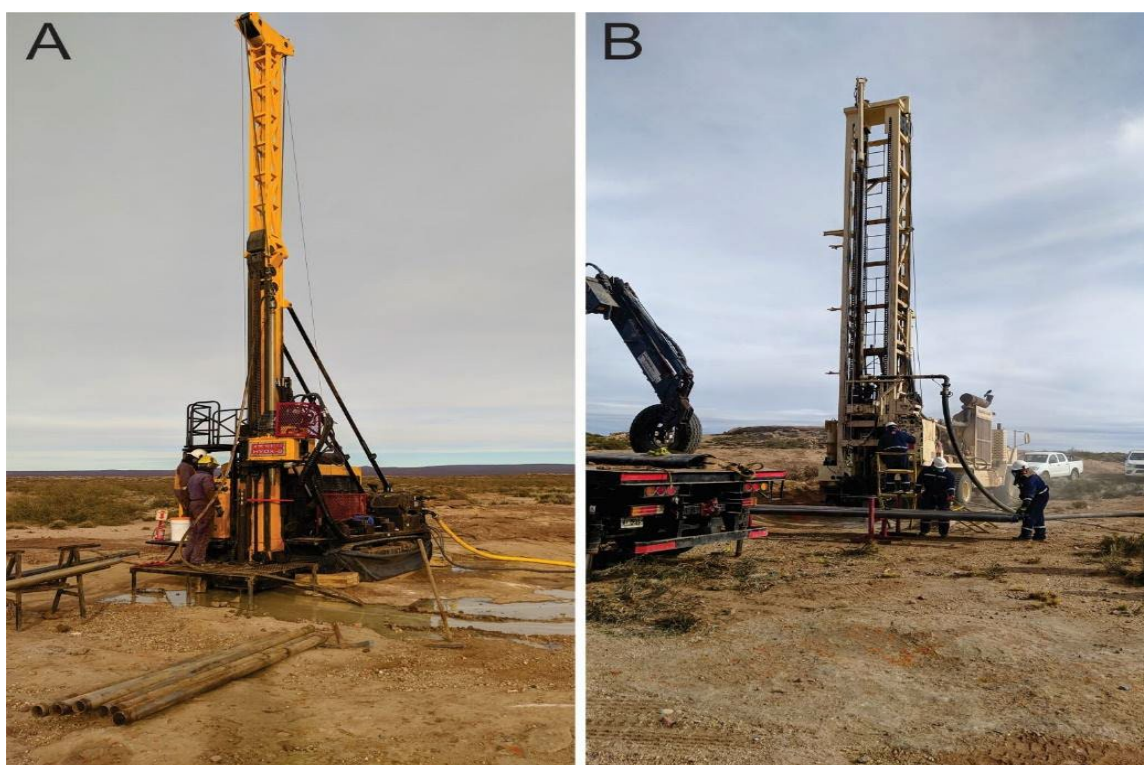
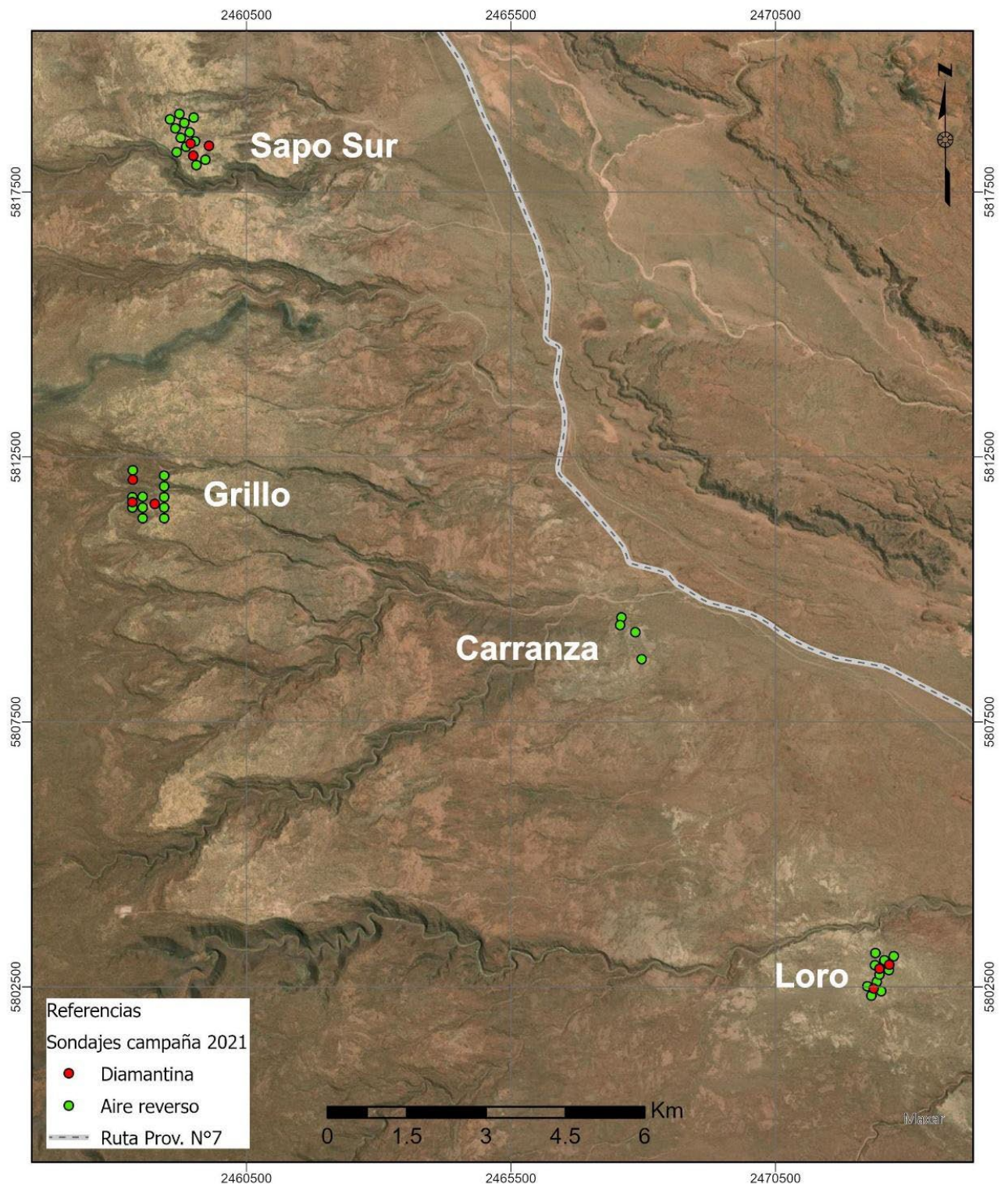
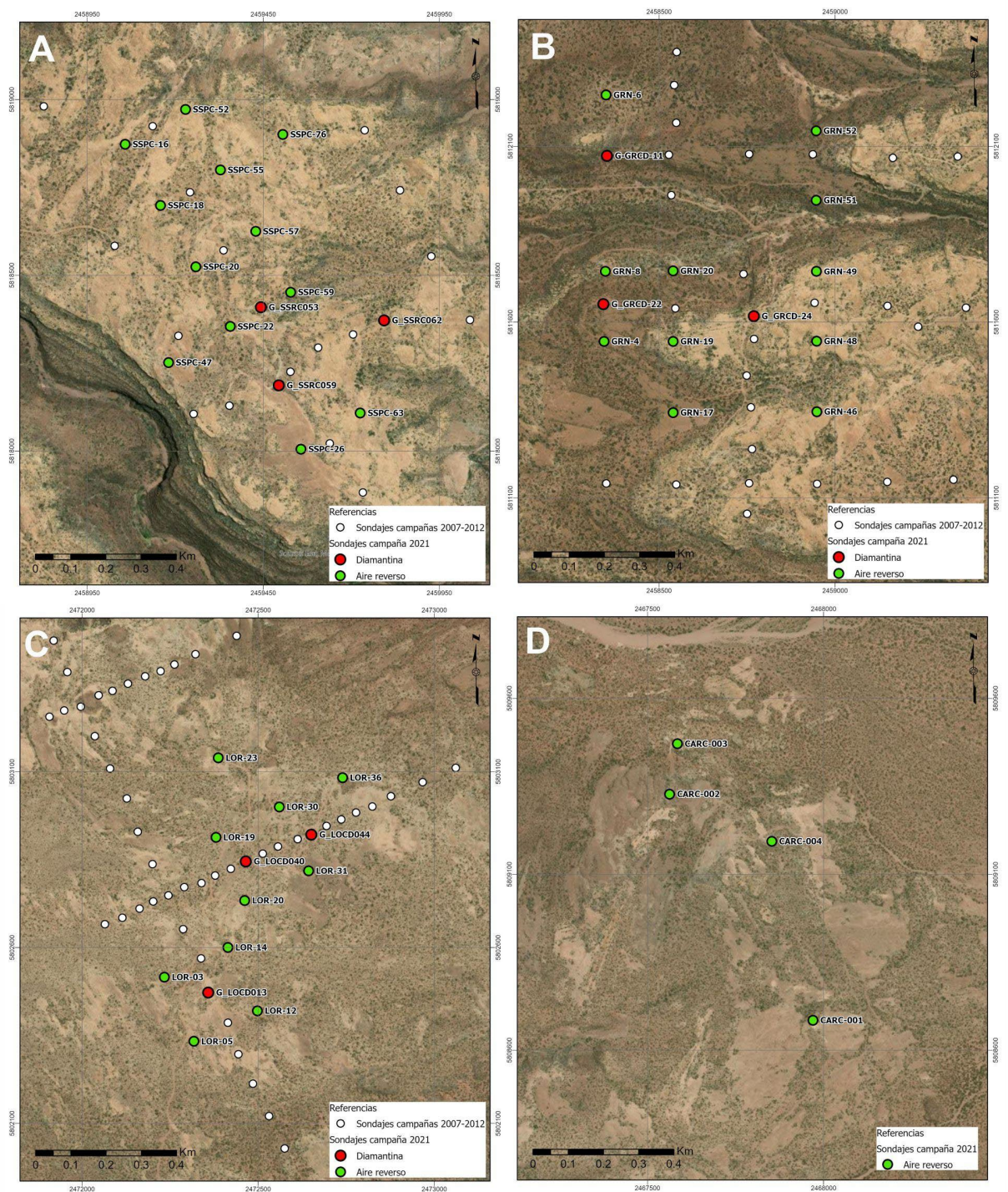


Fig.25: Perforaciones por método de diamantina (A) y método de aire reverso (B).



**Fig.26:** Ubicación de los sondajes realizados en la campaña del año 2021, en los distintos blancos de exploración en el Dorso de los Chihuidos. La escala utilizada es 1:100.000



**Fig.27:** Imagen satelital (a escala 1:7500) de cada uno de los sectores perforados en el año 2021, incluyendo los 3 blancos de exploración avanzada (A-B-C) y el blanco de exploración inicial (D). Se muestran los sondajes ejecutados en el año 2021, y aquellos correspondientes a las campañas de los años 2007 a 2012. A- Sapo Sur; B- Grillo; C- Loro; D- Carranza

A partir de los resultados de la geoquímica de las muestras en sondajes de aire reverso, se identificaron los intervalos de cada pozo con mineralización económica de Cu y V (recursos). Para ello se consideraron los valores que se encuentran por encima

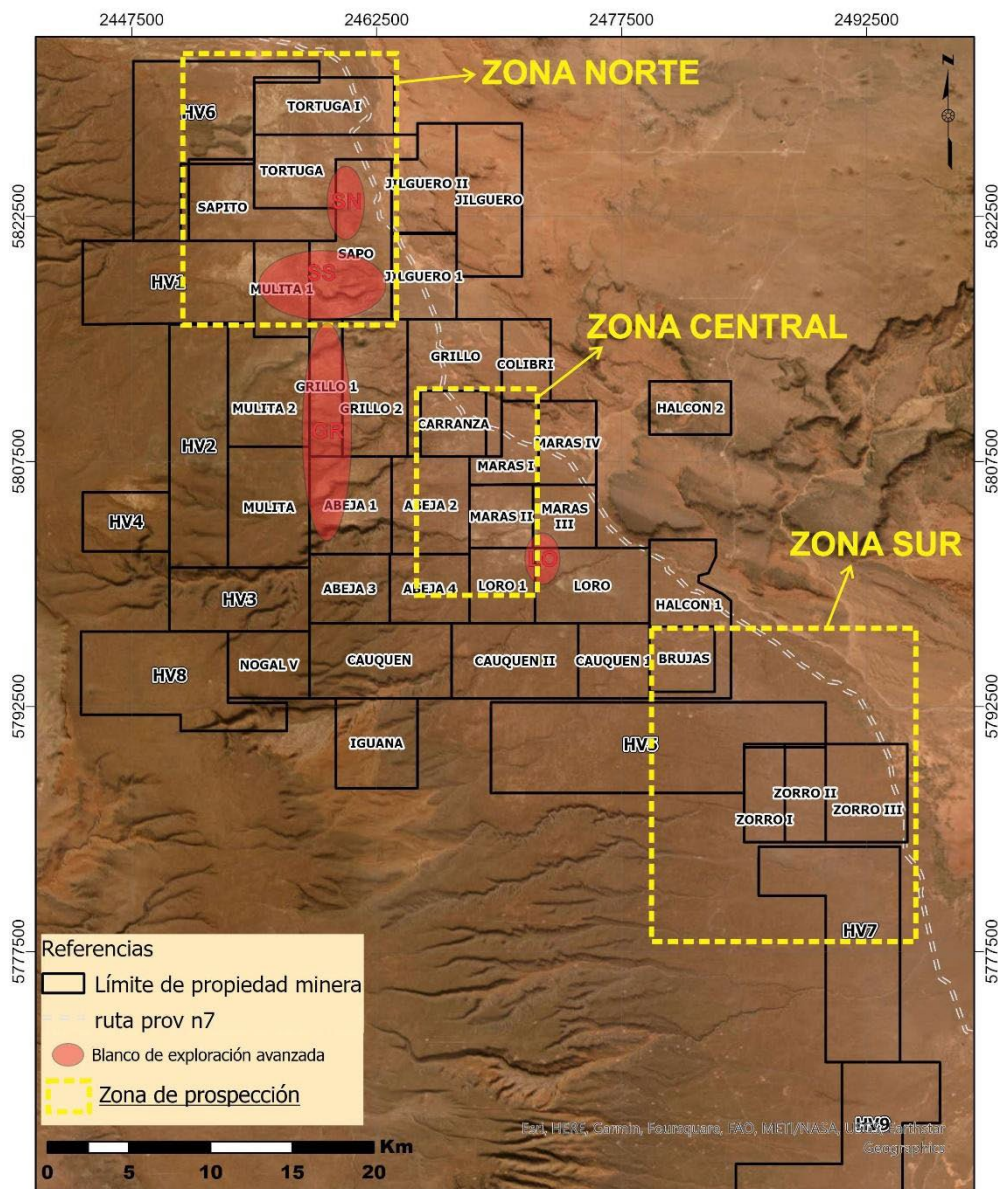
del valor de ley de corte o *cut-off* de cada blanco de exploración avanzada del depósito. Este valor fue provisto por la compañía Orion Del Sur SA, y su cálculo se encuentra fuera del alcance de este trabajo por razones de confidencialidad. Una vez identificados los intervalos con mineralización económica, se trazó el contorno en planta de los recursos de Cu y V actuales de cada sector perforado, para lo cual se consideró un radio de influencia de 200 metros a cada pozo. Esto se realizó con el *software* de mapeo QGIS versión 3.20.

Finalmente, y para identificar patrones geoquímicos que pudieran servir como guías de prospección / exploración, se realizó un análisis estadístico univariado y multivariado con los datos de laboratorio de las muestras de sondajes de aire reverso. Se realizó primeramente un análisis exploratorio de datos. Posteriormente, mediante la técnica de componentes principales (CP) se detectaron grupos de elementos afines. A partir de estos se buscó extraer una serie de elementos que puedan servir como indicadores o trazadores de la alteración / mineralización. Estos análisis se llevaron a cabo con los *softwares* de uso libre R Project e InfoStat, mientras que algunos gráficos se realizaron con una versión de prueba gratuita del *software* ioGAS 7.4.

Para corroborar la validez y confiabilidad del muestreo y los análisis químicos de laboratorio en los sondajes de aire reverso, durante el proceso de perforaciones se aplicó el método de control y aseguramiento de calidad en el muestreo, también conocido como QA / QC. Los resultados del mismo se plasmaron en gráficos realizados con Microsoft Excel.

## CAPITULO 6: RESULTADOS FASE DE PROSPECCIÓN

A fines prácticos se han separado los resultados de la prospección en las 3 grandes zonas definidas previamente a lo largo del Dorso de Los Chihuidos a partir del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales: una Zona Norte, una Zona Central y una Zona sur. La Fig. 27 muestra las áreas más prospectadas dentro de cada una de estas grandes zonas. Dada la gran extensión que estas abarcan, para exponer los resultados se toman como referencia geográfica las propiedades mineras (cateos) ubicadas en cada sector, cuyos nombres las hacen fácilmente identificables (Fig.27).



**Fig.27:** Imagen satelital de la zona de trabajo en el Dorso De Los Chihuidos, donde se marcan las 3 grandes áreas en las que se enfocó la prospección (Zona Norte, Zona Central, Zona Sur), además de las propiedades mineras, que se toman como referencia geográfica para exponer los resultados.

## 6.1 Zona Norte

Esta zona corresponde sector ubicado entre los blancos de exploración avanzada Sapo Norte y Sapo Sur, y también hacia el este y norte-noreste de éstos, abarcando los cateos denominados Sapo, Sapito, Tortuga, Tortuga 1, HV6 y HV1.

En esta zona aflora mayormente el miembro medio y superior de la Fm. Huincul, con extensos afloramientos afectados por alteración tipo *bleaching* ampliamente distribuidos en todo el sector. No obstante, la mineralización de Cu-V asociada a la alteración, disminuye paulatinamente hacia el norte y hacia el oeste de los blancos Sapo Norte y Sapo Sur.

Las ocurrencias más importantes de mineralización asociada a alteración se hallaron en dos sectores puntuales de aproximadamente 1km<sup>2</sup> cada uno, ubicados de forma adyacente a los blancos de exploración avanzada Sapo Norte y Sapo Sur. Estos son 1- el sector centro-norte del cateo Tortuga y 2- sector oriental del cateo Sapito.

El cateo Tortuga muestra una franja NNO-SSE de unos 500 metros de ancho, limitada por dos lineamientos estructurales que se extiende desde el sector central de este cateo hacia el SO en el cateo Sapo, donde se encuentra el blanco de exploración Sapo Norte. A lo largo de esta franja se observaron afloramientos intensamente alterados de la Fm. Huincul, que van de areniscas medias a gruesas y donde se ha observado mineralización de Cu principalmente, con V de forma más irregular. Estos niveles corresponden a facies de canal y se han interpretado como paleocanales orientados NO-SE de importante extensión e interconexión entre ellos. El Cu se halla mayormente como cemento en forma de crisocola, mientras que el V se encuentra principalmente como volbortita en forma de parches. Sectores puntuales de estos paleocanales presentan altas concentraciones de mineralización de Cu con abundante crisocola y brochantita visibles relleno de espacios intergranulares, además de bitumen diseminando (Fig. 28). En este sector, la geoquímica arrojada por el analizador portátil de elementos mostró valores anómalos muy altos, tanto de Cu como de V.

El sector oriental del cateo Sapito se ubica entre los blancos Sapo Norte y Sapo Sur. Este sector también está limitado por lineamientos estructurales orientados NO-SE a lo largo del cual se hallaron extensos afloramientos de areniscas finas a medias

correspondientes a la Fm. Huincul, con alteración tipo *bleaching*. Estructuras posteriores de orientación ONO cortan a las anteriores. El espesor de los estratos alterados en general supera el metro, llegando a 3-4 metros. La intensidad de la alteración varía de moderada a alta. Se observó bitumen diseminado y mineralización de Cu diseminada, actuando como cemento (principalmente crisocola, en menor medida malaquita) (Fig. 28). La geoquímica respaldó las observaciones realizadas , con anomalías muy altas de Cu y algunas anomalías altas de V, hallándose también algunas anomalías bajas de Ag. Estos niveles se han interpretado como facies de canal limitadas por estructuras subverticales, que habrían canalizado los fluidos reductores y mineralizantes.



**Fig.28:** Mineralización en el sector Norte del Dorso De Los Chihuidos. A- Imagen satelital donde se señalan los sectores de mayor interés en la Zona Norte. B-C: Sector E del cateo Sapito, donde se observan extensos estratos con alteración tipo *bleaching* intensa y mineralización de Cu (crisocola) diseminada. D-E: Sector centro-norte del cateo Tortuga, donde se hallaron niveles con alta concentración de Cu (crisocola-brochantita) como cemento en areniscas.

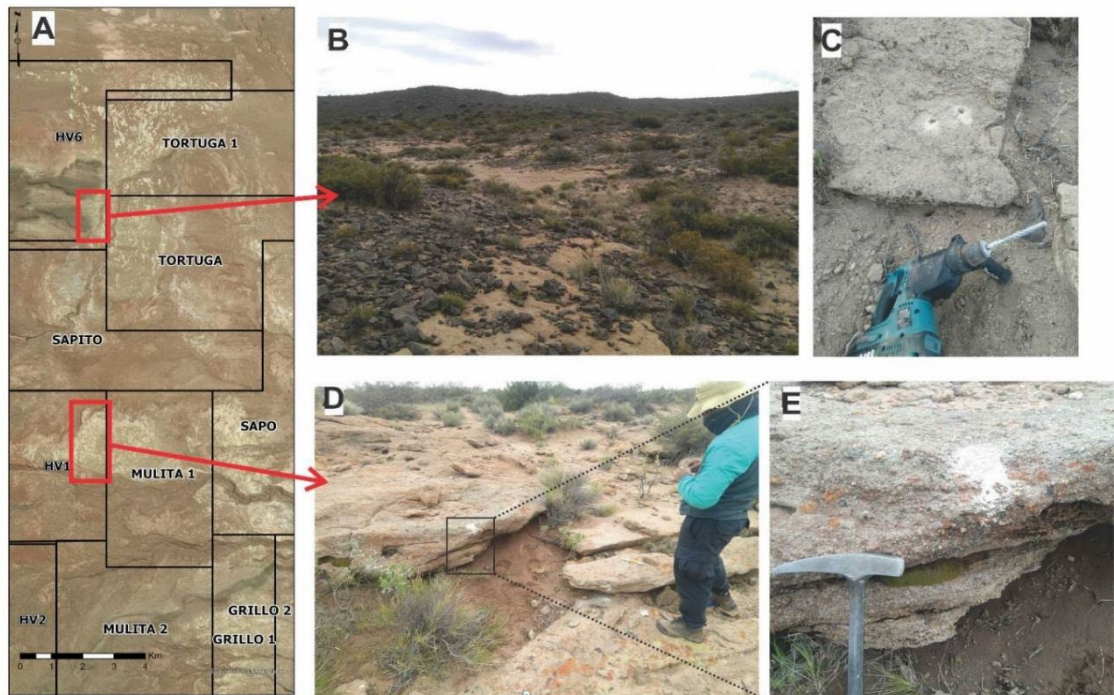
Hacia el oeste, se revisaron los cateos HV1 y HV6 en su extremo oriental. La mineralización en estos sectores es escasa a nula.

En el cateo HV1 se encontraron algunos niveles con mineralización de cobre visible. En general son pequeños niveles correspondientes a paleocanales de no más de 50 cm de espesor, compuestos por areniscas conglomerádicas cementadas con malaquita – crisocola (Fig. 29). Estos se encuentran pobremente interconectados, con lo que la continuidad lateral de la mineralización es muy limitada. Además del cobre, la geoquímica no arrojó valores anómalos de vanadio ni plata. Si bien no se descarta la presencia de niveles mineralizados en subsuelo, hay una serie de sondajes realizados en el año 2007 hacia el este de la zona que no cortaron mineralización de interés, lo cual indicaría que la mineralización del blanco Sapo Sur no tiene continuidad hasta este sector. Las evidencias geoquímicas de superficie tampoco son suficientes como para considerar a esta zona como un blanco de exploración.

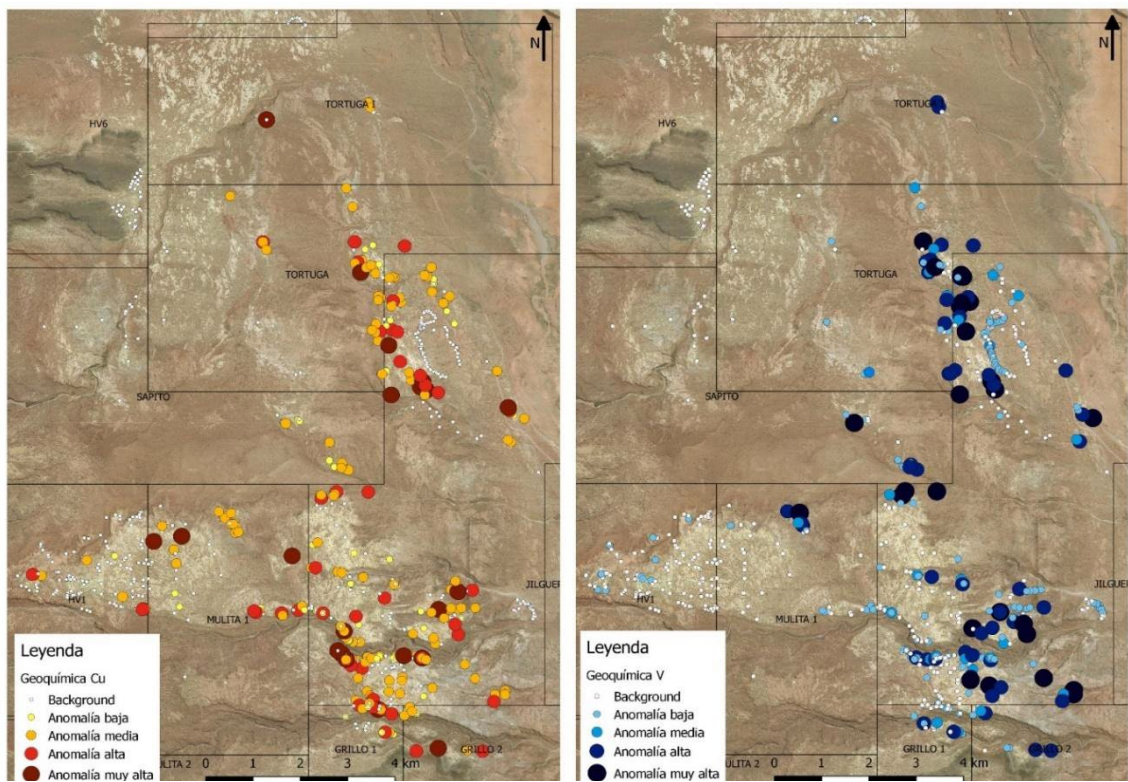
En el caso del cateo HV6, ubicado hacia el noreste del blanco Sapo Norte, se observaron abundantes rocas con alteración tipo *bleaching* en torno a un gran cuerpo basáltico de tipo colada (Fig.29), de las cuales se tomaron varias muestras. Sin embargo, no se detectaron evidencias ni indicadores de mineralización de cobre o vanadio, y los resultados de la geoquímica de las muestras recolectadas no muestran valores anómalos de estos elementos (sólo anomalías pequeñas en unos pocos casos). La disminución abrupta en la mineralización en el cateo HV6 respecto al cateo Tortuga, se interpreta como resultado de una estructura orientada NE que habría actuado como barrera frente a los fluidos mineralizantes (probablemente provenientes desde el este).

En el sector noroeste de la propiedad ocurre algo similar, ya que hay una zona de intensa alteración tipo *bleaching* fácilmente observable a través de imágenes satelitales que al observar en terreno no muestra evidencias de mineralización. Las rocas de esta zona son predominantemente areniscas medias a gruesas de color blanco a amarillento. La geoquímica de las muestras indica que las rocas alteradas del norte de HV6 son económicamente estériles, al menos en el sector muestreado. Sin embargo, esta zona presenta dificultades de acceso y circulación debido a la presencia de tranqueras colocadas por los propietarios de las tierras, por lo que no se pudo recorrer lo suficiente.





**Fig.29** : Alteración tipo bleaching en el sector norte del Dorso De Los Chihuidos, con escasa o nula mineralización. A- Imagen satelital donde se remarcan los sectores SE de HV6 y E de HV1. B-C: Sector SE del cateo HV6, donde se observan estratos alterados sin mineralización de Cu-V, parcialmente cubiertos por basaltos cuaternarios. D-E: Sector E de HV1, donde se observó mineralización de Cu diseminada pero limitada a pequeños paleocanales pobremente interconectados.



**Fig. 30:** Geoquímica de Cu (izquierda) y V (derecha) en la Zona Norte del Dorso De Los Chihuidos, generada a partir de las muestras de superficie recolectadas en la etapa de prospección. La clasificación se basa en el método de la media + 1, 2 y 3 veces la desviación estándar.

## 6.2 Zona Central

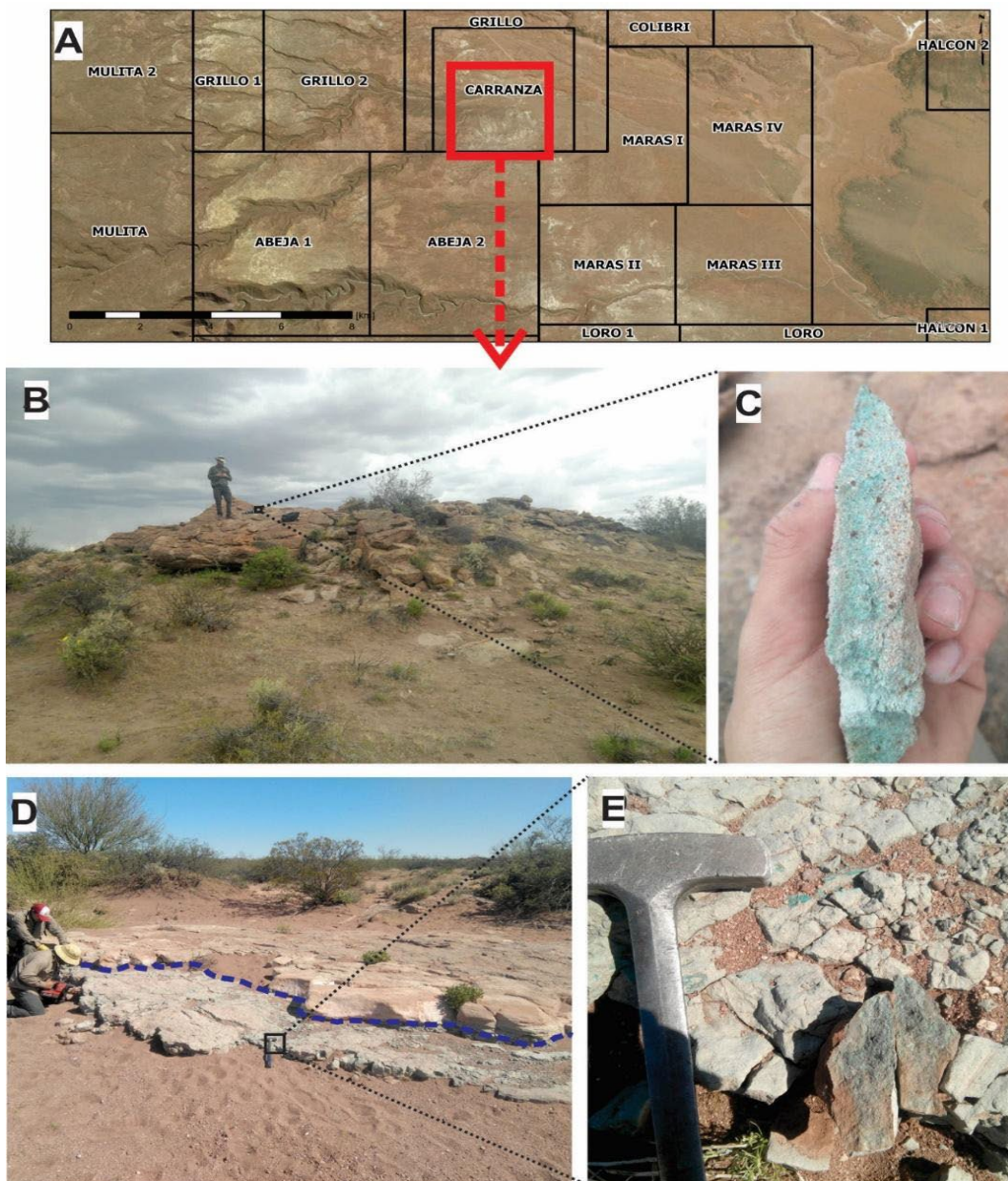
Corresponde a la zona ubicada hacia el noroeste del blanco de exploración avanzada Loro y al este – sureste del blanco Grillo, abarcando a lo largo de 12km los cateos denominados Carranza, Maras I, Maras II y Loro I. La alteración tipo *bleaching* es muy abundante en Carranza, sector occidental de Maras I, Maras II y sector norte de Loro I, y es muy frecuente hallar manifestaciones superficiales de óxidos de Cu. Las rocas alteradas corresponden a la sección media de la Fm. Huincul, y litológicamente se trata de areniscas finas a medias en su mayoría, con algunos paleocanales fluviales orientados NO-SE compuestos por areniscas conglomerádicas, también mineralizadas. La mineralización de Cu se encuentra como cemento y corresponde principalmente a crisocola y malaquita (Fig. 31). Es muy frecuente hallar bitumen diseminado, relleno de fracturas o planos de estratificación o laminación, asociado a la mineralización. Sin embargo, las mayores leyes minerales se hallan asociadas en la mayoría de los casos a sectores con acumulaciones de restos fósiles vegetales. Se ha observado también que la alteración / mineralización responde a lineamientos estructurales orientados mayoritariamente NO-SE, y en algunos casos N-S, NE-SO e incluso E-O. Los afloramientos mineralizados a menudo se encuentran intensamente fracturados, en ocasiones triturados. Probablemente en este sector el control estructural es muy importante y complementario al estratigráfico, y la mineralización se encuentra con una orientación general NO-SE comenzando en el norte de Carranza y continuando por casi 20 km hasta el blanco Loro I, donde la alteración en superficie es aún muy abundante.

La mineralización a menudo se encuentra aflorante y hasta a 2-3 metros de la superficie, evidenciando, pero en algunos casos se ha reconocido un segundo horizonte mineralizado. Tal es el caso del sector central del cateo Carranza, que se encuentra labrado por la llanura de un río que ha dejado parcialmente expuesto un nivel alterado y mineralizado (Fig.31D-E) y que, considerando la disposición subhorizontal de los estratos, ha permitido identificar dos niveles con mineralización de Cu-V, separados por aproximadamente 10 metros de roca inalterada.

En algunos casos la mineralización se encuentra canalizada en estructuras, como ocurre en el sector norte del cateo Loro I y sur del cateo Maras II, ubicado inmediatamente al oeste del blanco de exploración avanzada Loro. Allí se han

identificado altas concentraciones de Cu y V en forma de malaquita, brochantita y volbortita diseminadas y relleno de espacios intergranulares (Fig.32).

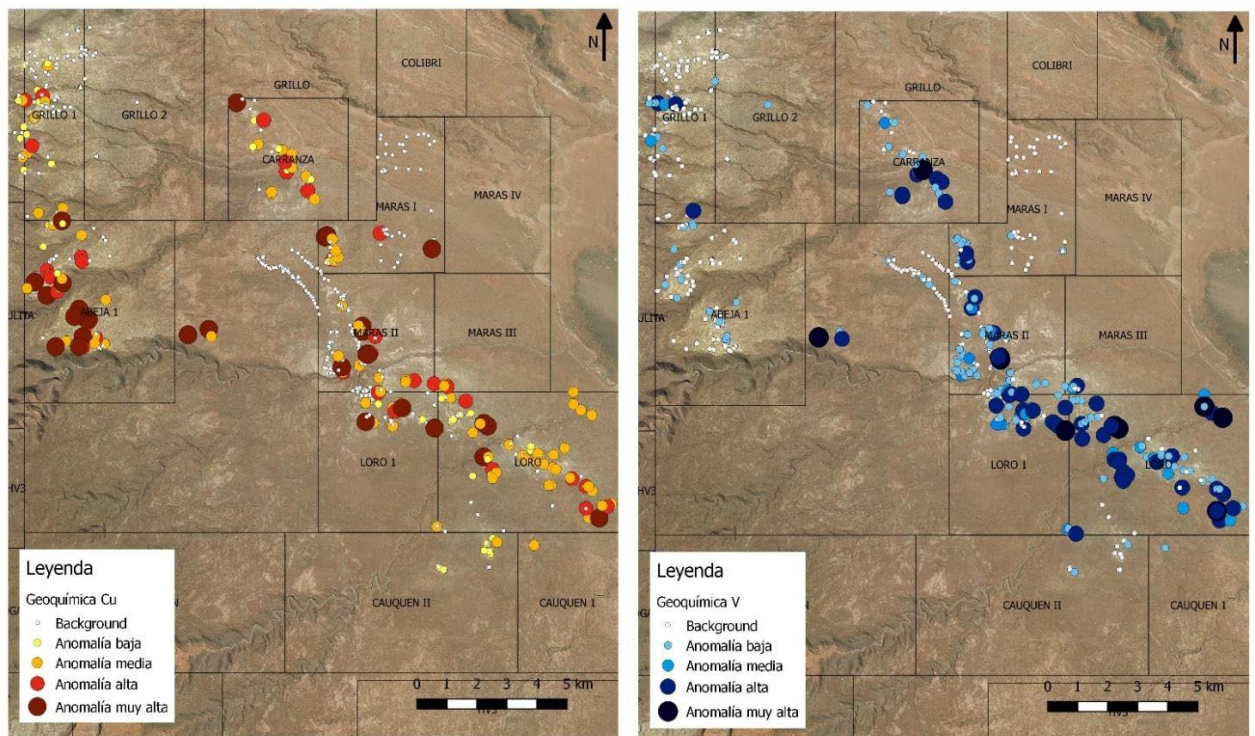
La geoquímica del sector central de Los Chihuidos muestra anomalías altas a muy altas tanto de Cu como de V (Fig.33), ampliamente distribuidas y en general entre o en la intersección de lineamientos estructurales, conjuntamente con anomalías bajas a medias de Ag. Se han detectado también algunos valores anómalos de U, aunque aislados.



**Fig.31** : Mineralización en la Zona Central del Dorso De Los Chihuidos, en el cateo Carranza (A). B-C: Afloramiento de arenisca gruesa con mineralización de Cu en forma de crisocola diseminada (cemento). D-E: Nivel mineralizado subaflorante en la llanura de inundación que atraviesa el sector central del cateo Carranza. La mineralización es diseminada en forma de crisocola-malaquita-azurita.



**Fig.32:** Mineralización en la Zona Central del Dorso De Los Chihuideos, en los cateos Maras II – Loro I (A- imagen satelital). B- Estructura en arenisca con alteración tipo bleaching, por donde se ha canalizado bitumen y se ha concentrado mineralización de Cu y V. C- Detalle de las rocas observadas en la estructura, que presentan un cemento de malaquita (Mal) y brochantita (Brc) en un sector, y malaquita con volbortita (Vlb) en otro sector. En zonas puntuales hay volbortita relleno de espacios intergranulares (círculos negros).



**Fig.33:** Geoquímica de Cu (izquierda) y V (derecha) en la Zona Central del Dorso De Los Chihuidos, generada a partir de las muestras de superficie recolectadas en la etapa de prospección. La clasificación se basa en el método de la media + 1, 2 y 3 veces la desviación estándar.

### 6.3 Zona Sur

Abarca la zona de prospección localizada hacia el este del blanco Loro, desde donde se extiende a lo largo de 40 km sobre el borde suroriental del Dorso de Los Chihuidos. Incluye los cateos denominados (de norte a sur) Halcón I, Brujas, HV5, Zorro I, Zorro II, HV7 y HV9. Las zonas donde se realizaron mayor cantidad de tareas de prospección fueron el sector este de HV5 y norte de HV7, en función del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales. Por otro lado, el acceso a los otros cateos es muy limitado debido a las empresas petroleras que operan en la región y controlan los mismos.

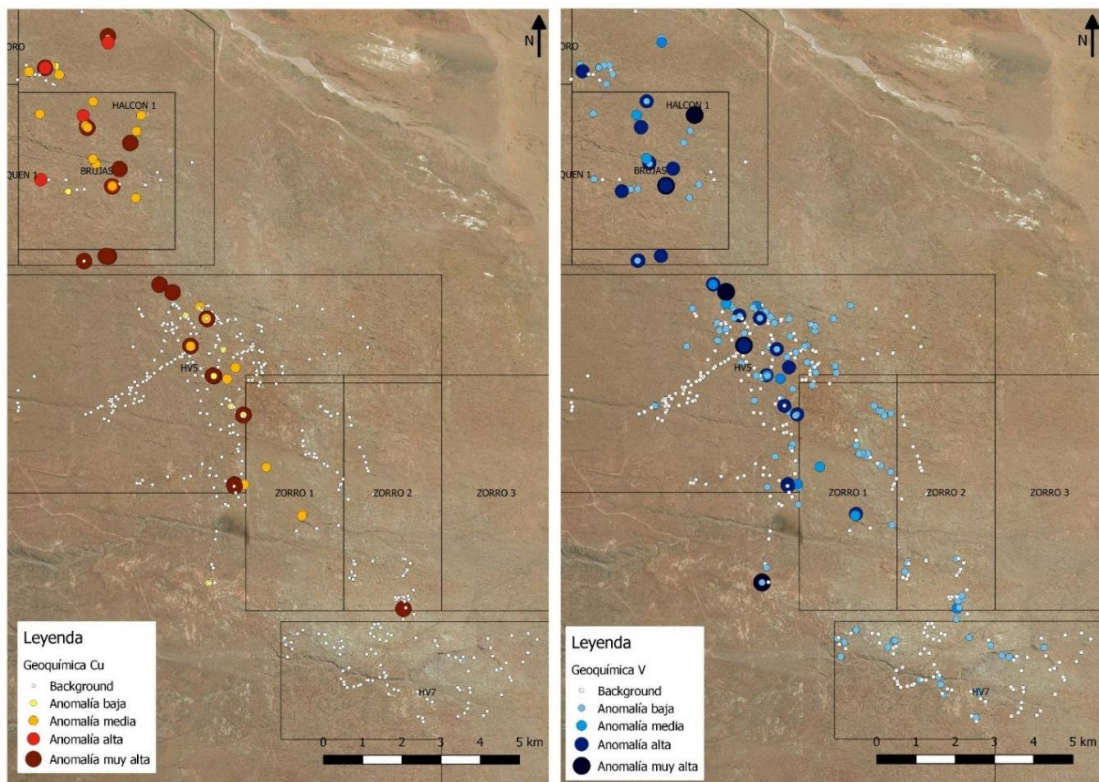
En esta zona predominan las rocas de la Fm. Huincul sin alterar. Estas son areniscas medias a gruesas, con algunos niveles pelíticos intercalados. Es frecuente la coloración pardo rojiza producto de la hematita que se encuentra como recubrimiento de los clastos. Se han observado estratos con alteración tipo *bleaching* incipiente, ya sea facies de areniscas marrones o grises, pero en general no contienen mineralización de interés, salvo por algunas anomalías pequeñas de V asociadas a restos de bitumen.

No obstante, se han encontrado algunos afloramientos y niveles con alteración tipo *bleaching* muy intensa y fuertemente mineralizados (Fig. 34). Estos son de dimensiones reducidas (hasta 40-50 m de extensión y 2-3 m de espesor en los mejores casos) y se componen en la mayoría de los casos de areniscas finas a medias. La mineralización predominante es crisocola y malaquita, y en menor cantidad azurita. Se han observado también trazas de carnotita. Ésta se encuentra asociada en la mayoría de los casos a restos de plantas fósiles. El bitumen también es muy frecuente. En este sector los lineamientos estructurales tienen 2 direcciones preferenciales: NO – SE y ONO – ESE. Estos lineamientos probablemente están condicionando la presencia de los afloramientos mineralizados, que en general tienen una tendencia NO-SE.

Esta zona parece haber sido más afectada por la erosión en relación a las zonas norte y central, quedando sólo algunos niveles del miembro medio y superior de la Fm. Huincul, con alteración y mineralización de escasa continuidad lateral y pocas probabilidades de continuidad en subsuelo. Sin embargo, cabe destacar que en esta zona se registraron las anomalías más altas de Cu, Ag y U, e incluso se han detectado algunas anomalías de Au y Pd. Es posible, por lo tanto, que este sector haya sido más cercano a la zona de aporte de fluidos mineralizantes. Los valores de V también son muy altos y en general están asociados al Cu.



**Fig.34:** Mineralización en la Zona Sur del Dorso De Los Chihuidos. A-B: Nivel alterado y mineralizado de escaso espesor y continuidad lateral, donde se observa abundante bitumen diseminado. C-D: Mineralización vinculada a restos de materia vegetal fósil, donde se concentra una importante cantidad de óxidos de Cu (crisocola-malaquita).



**Fig.35:** Geoquímica de Cu (izquierda) y V (derecha) en la Zona Central del Dorso De Los Chihuidos, generada a partir de las muestras de superficie recolectadas en la etapa de prospección. La clasificación se basa en el método de la media + 1, 2 y 3 veces la desviación estándar.

#### 6.4 Mapeo geoquímico / geológico.

El relevamiento geoquímico in situ conjuntamente con los datos de muestras históricas tomadas en el Dorso De Los Chihuidos permitió la elaboración de mapas geoquímicos regionales de Cu y V para cada sector (Norte, Central y Sur, Fig.27) a partir de la generación de isosuperficies correspondientes a valores anómalos de 1er orden (considerando éstas como las muestras con anomalías altas y muy altas, es decir a partir de la media + 2de).

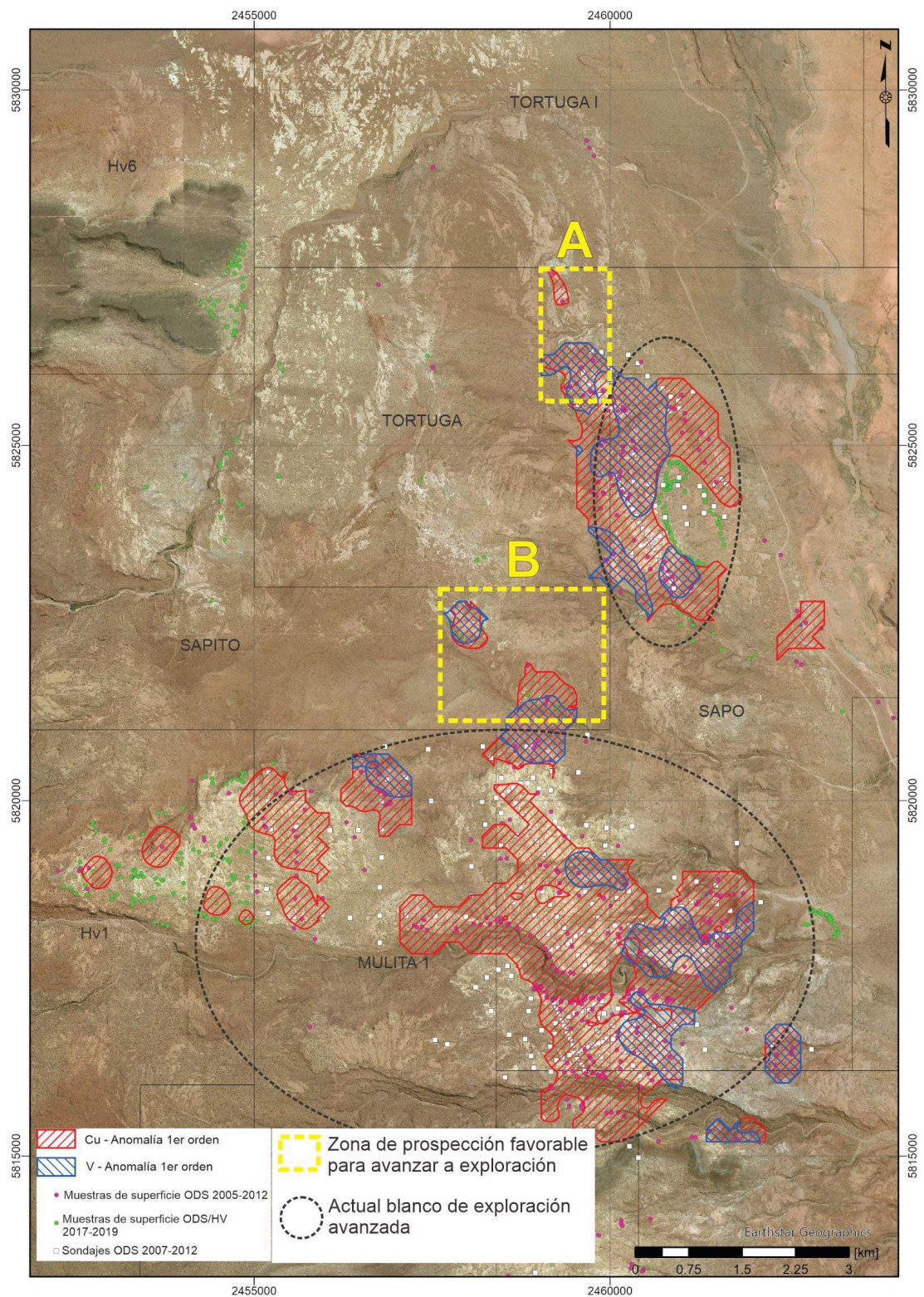
Con la información obtenida de los mapas geoquímicos más las observaciones de campo (en particular, la abundancia relativa y extensión de niveles alterados y mineralizados) se definieron áreas objetivo, para avanzar a una etapa de exploración, en las que se realizó un mapeo de los diferentes grados de alteración en estratos de la Fm. Huincul aflorantes(Fig.39), sumando también los lineamientos estructurales inferidos a partir de imágenes satelitales y en algunos casos observaciones de campo. Estos mapas se construyeron a escalas entre 1:8000 y 1:12000 debido al tamaño de las zonas mapeadas (de entre 3 a 16 km<sup>2</sup>) y al detalle del relevamiento, de naturaleza regional. No obstante, será importante como primer paso en una etapa de exploración de estas áreas, realizar un mapeo de detalle a escala 1:5.000 o menor, relevando facies sedimentarias y estructuras con alto nivel de detalle. Los sectores de interés para avanzar a una etapa de exploración son:

Zona Norte: A- Area centro-norte del cateo Tortuga y B- este del cateo Sapito (Fig.36)

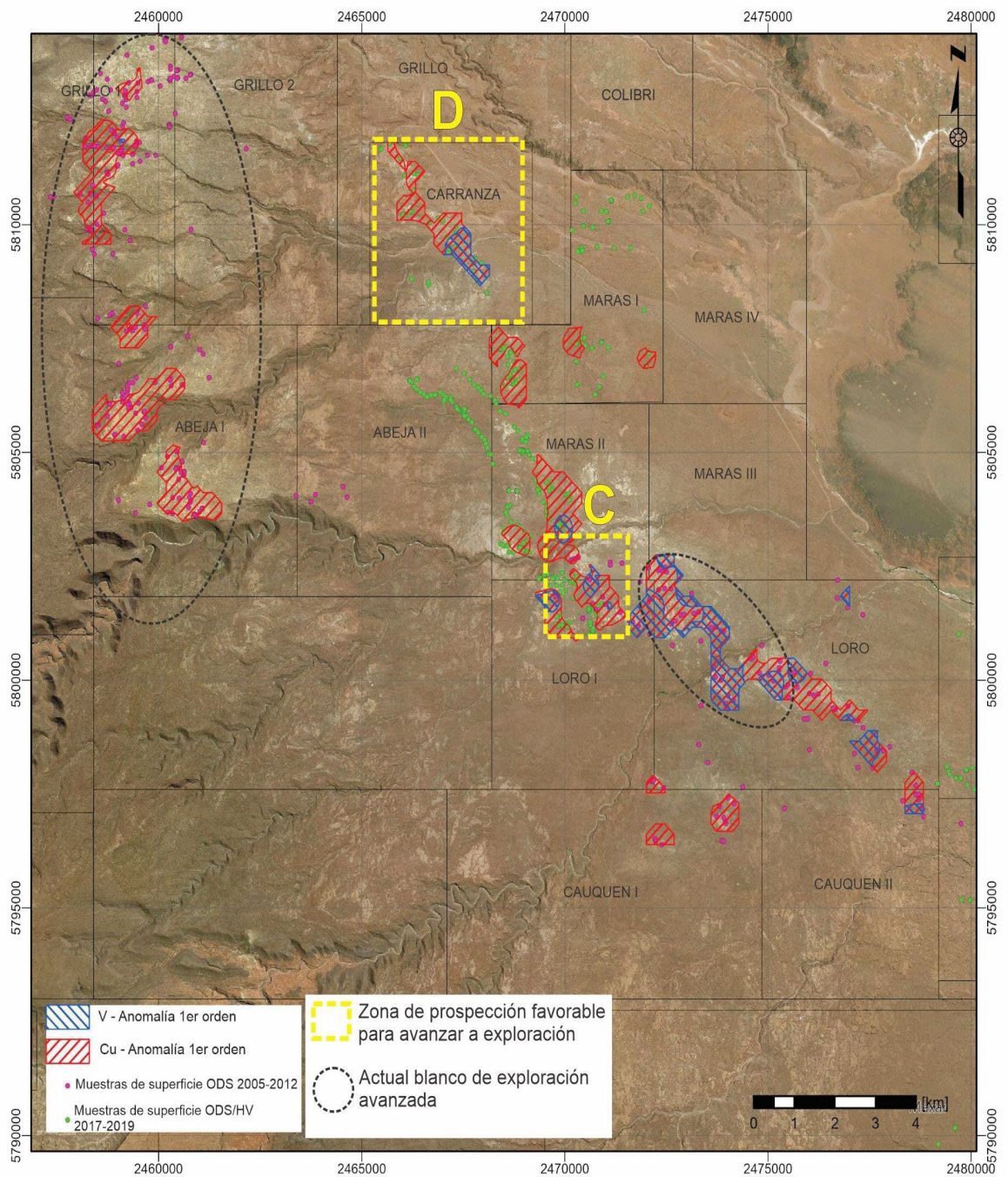
Zona Central: C- Zona sur del cateo Maras II y norte del cateo Loro y D- cateo Carranza (Fig.37)

Zona Sur: Si bien el mapa geoquímico (Fig.38) muestra sectores anómalos, estos en su mayoría representan sectores alterados y mineralizados de extensión muy limitada e irregular, motivo por el que no se definieron áreas para avanzar a una etapa de exploración, dada la falta de evidencia geológica. No obstante, se considera importante continuar con trabajos de prospección, por las altas leyes de Cu-V-U halladas en rocas de esta zona.

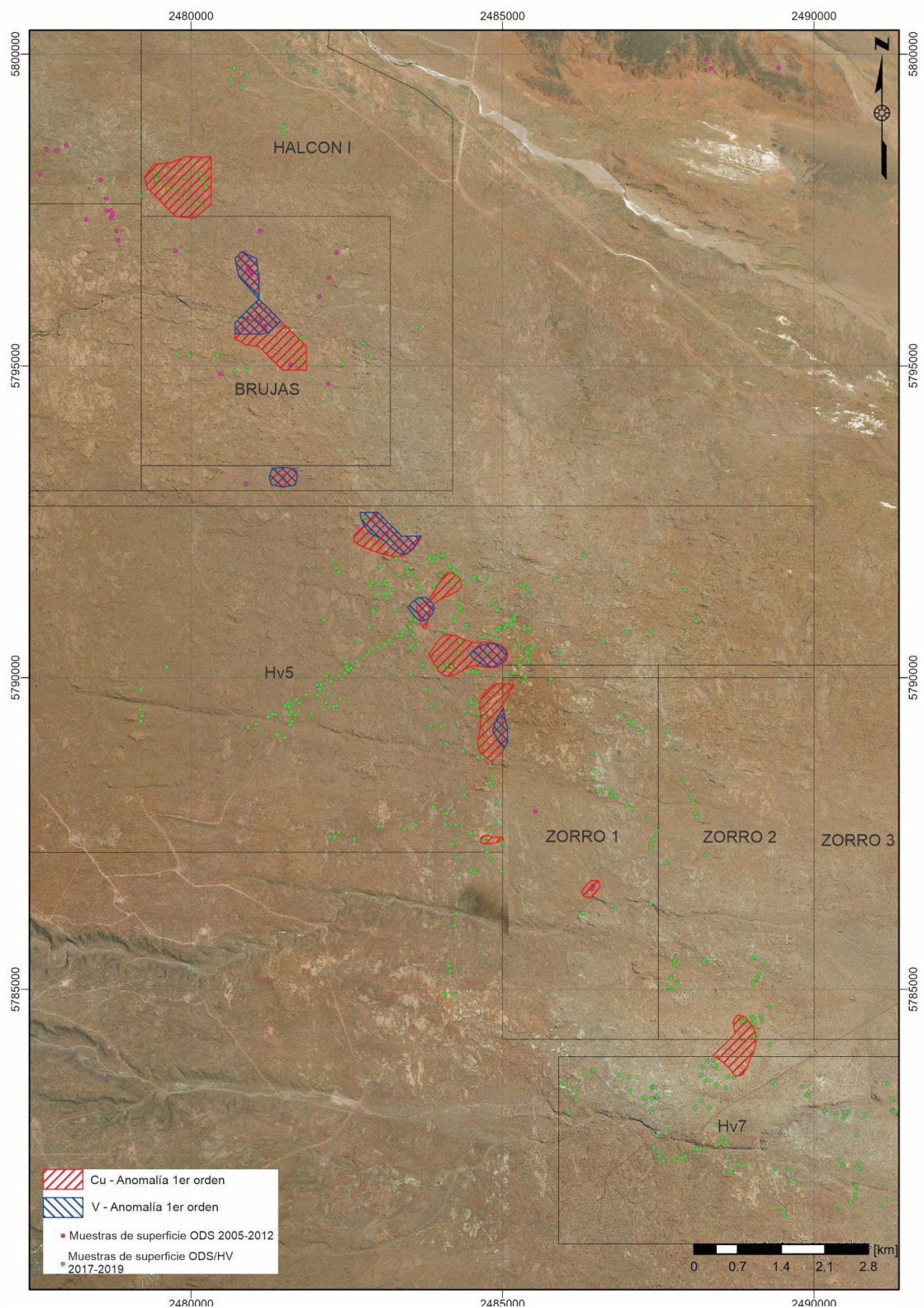




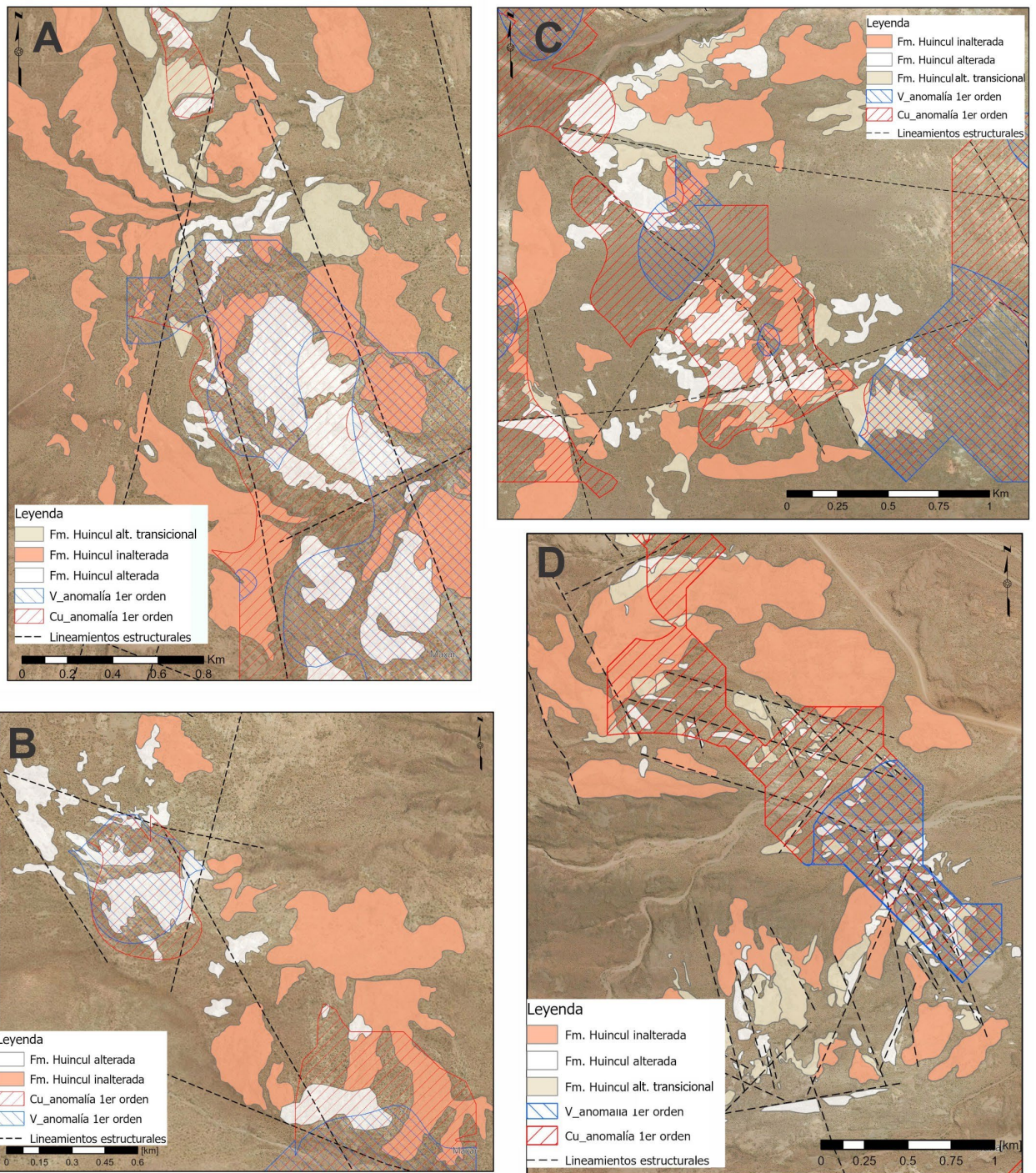
**Fig. 36:** Imagen satelital de la Zona Norte del Dorso de los Chihuideos, sobre la que se han superpuesto isosuperficies correspondientes a anomalías de 1er orden de Cu y V, generadas a partir de las muestras de superficie recolectadas en el área. Se marcan con rectángulos amarillos las zonas donde la prospección fue más favorable, en las que se realizó un mapeo geológico de alteraciones (ver Fig. 39).



**Fig.37 :** Imagen satelital de la Zona Central del Dorso de los Chihuidos, sobre la que se han superpuesto isosuperficies correspondientes a anomalías de 1er orden de Cu y V, generadas a partir de las muestras de superficie recolectadas en el área. Se marcan con rectángulos amarillos las zonas donde la prospección fue más favorable, en las que se realizó un mapeo geológico de alteraciones (ver Fig. 39).



**Fig.38:** Imagen satelital de la Zona Sur del Dorso de los Chihuidos, sobre la que se han superpuesto isosuperficies correspondientes a anomalías de 1er orden de Cu y V, generadas a partir de las muestras de superficie recolectadas en el área.



**Fig.39:** Mapas de alteración y geoquímica superficial de Cu-V junto con lineamientos estructurales, efectuados en las zonas en las que la prospección dio mejores resultados (ver Fig.36 y 37). A- Zona centro-norte del cateo Tortuga, a escala 1:10000. Zona este del cateo Sapito, a escala 1:8000. C- Zona sur del cateo Maras II y Norte del cateo Loro I, a escala 1:8000. D- Cateo Carranza, a escala 1:12000.

Los mapas completos se pueden ver anexados al final del presente trabajo

## CAPITULO 7: RESULTADOS FASE DE EXPLORACIÓN AVANZADA

### 7.1 Sondajes gemelos de diamantina

Al establecer una comparación entre los sondajes originales de aire reverso y los sondajes gemelos de diamantina se pudo observar que hay una coincidencia generalizada entre los intervalos mineralizados y las leyes de Cu y V entre ambos pozos. Se encontraron algunas diferencias propias de la contaminación inherente a los sondajes de aire reverso, que muchas veces resulta en una sobreestimación de la ley real, por encima o por debajo de un nivel mineralizado, mientras que para la diamantina no existe contaminación de este tipo, además de que los horizontes mineralizados se acotaron de forma precisa al muestrear con base en el logeo geológico. Por otro lado, en algunos casos puntuales sí se detectaron diferencias significativas entre las leyes Cu y V, sobre todo en casos de leyes muy altas. Esto da indicios de que, si bien la continuidad lateral de los niveles mineralizados es importante (al tratarse de un yacimiento estratiforme) es frecuente hallar variaciones laterales a escala métrica, relacionadas con la variación lateral de facies sedimentarias que trae aparejado un cambio en la permeabilidad original de la roca por la cual circularon los fluidos que produjeron la alteración y mineralización. Otra explicación para este fenómeno es la presencia de materia vegetal fósil, en particular troncos silicificados, en torno a los cuales se forma un halo que suele concentrar mineralización de muy alta ley (tipo bonanza), la cual aumenta conforme se aproxima al borde del resto vegetal.

A continuación, se exponen los resultados para cada uno de los 3 blancos de exploración avanzada que fueron perforados.

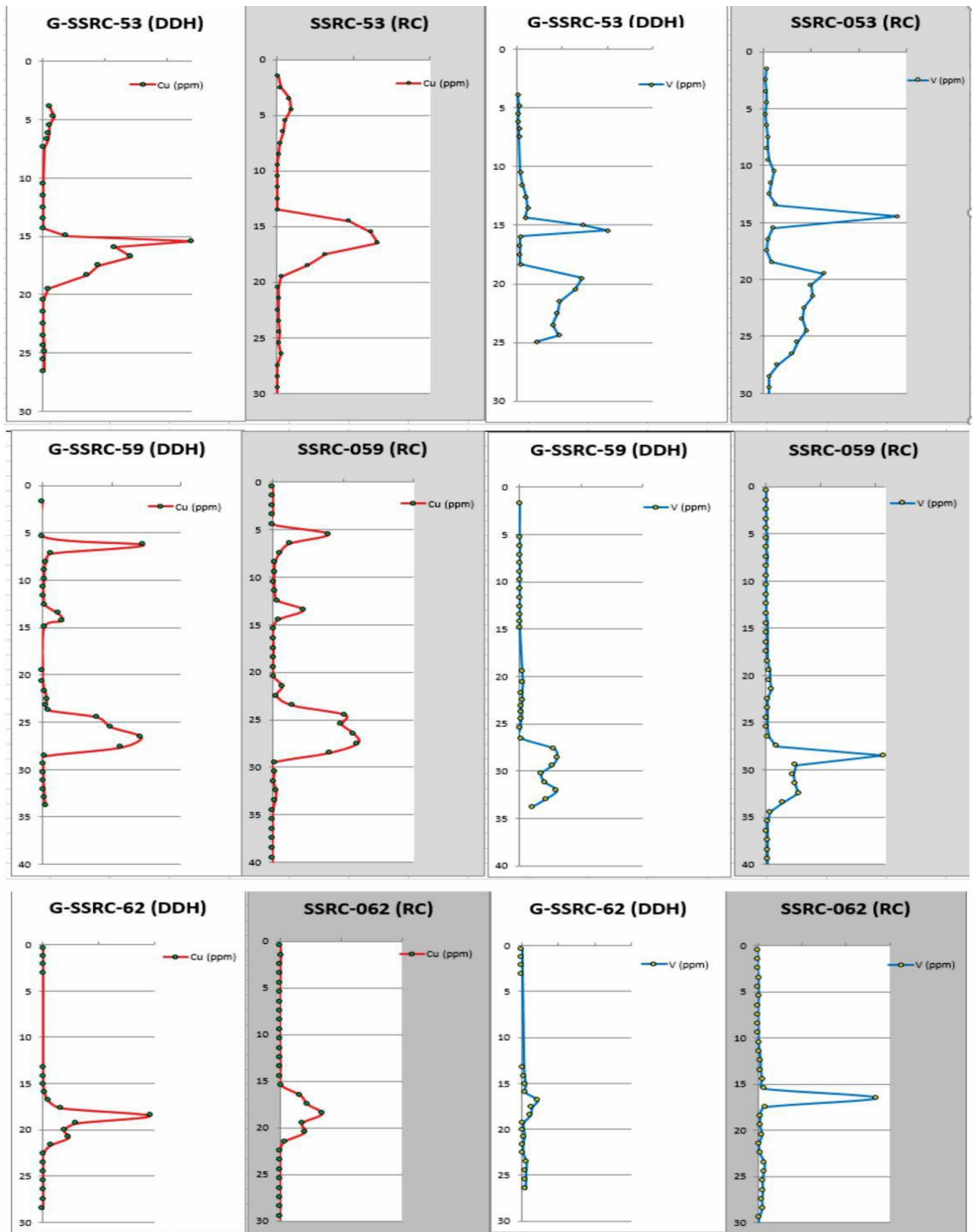
#### 7.1.1 Blanco Sapo Sur

En este sector se ejecutaron 3 sondajes gemelos de diamantina, correspondientes a las ID G-SSRC-53; G-SSRC-59 y G-SSRC-62.

En líneas generales se cortaron rocas sedimentarias correspondientes a una sucesión alternante de areniscas de granulometría variable entre finas y gruesas, y con algunas intercalaciones de niveles arcillosos delgados (Fig. 43). En algunos casos se observaron niveles guijarrosos a conglomerádicos correspondientes a posibles paleocanales, que no superan el metro de espesor. La alteración tipo *bleaching*

también es variable, en general de intensidad incipiente a moderada, siendo intensa en los niveles donde la mineralización de cobre es alta. En estos casos la arenisca adquiere un color blanco amarillento, que en ocasiones se torna verdoso por la presencia de minerales supergénicos de cobre (malaquita y crisocola, principalmente). En los casos de alteración moderada (transicional), en que la arenisca se observa de colores grisáceos, en ocasiones se han detectado leyes altas de vanadio (>1000 ppm). La mineralización de Cu y V se encuentra de forma diseminada o en parches acompañada de bitumen y si bien se halló mayormente en areniscas gruesas a guijarrosas, también se la ha observado en areniscas finas e incluso lutitas, donde los planos de laminación o fisilidad han actuado como zona de flujo de fluidos mineralizantes.

Los intervalos mineralizados en los pozos originales y gemelos muestran una gran coincidencia en el valor de las leyes de Cu y V (Fig. 40), con algunas diferencias puntuales que, como se explicó anteriormente, responden a la contaminación propia del sistema de aire reverso y a las variaciones laterales de la permeabilidad original de las facies sedimentarias. Se cortaron 3 niveles con alteración tipo *bleaching* intensa con excepción del sondaje G-SSRC-62, donde sólo se cortó un nivel. Sin embargo, la mineralización de Cu es significativa sólo en los niveles relativamente profundos (14.69 a 18.83 m en el pozo G-SSRC-53; 23.96 a 28.91 m en el pozo G-SSRC-59; y 17.25 a 21.22 m en el pozo G-SSRC-62). Respecto al V, es notable cómo las leyes altas se disponen en niveles que subyacen a los niveles con mineralización de Cu, excepto en el pozo G-SSRC-62, donde el nivel rico en V sobreyace al de Cu (si bien no es tan significativa su ley en comparación a los otros dos sondajes). Esto da indicios de una zonación Cu-V, que respondería probablemente a los distintos mecanismos en la depositación de estos dos elementos, producida en dos etapas diferentes de circulación de fluidos.



**Fig.40:** Gráficos de ley de Cu y V en función de la profundidad para los sondajes gemelos de diamantina (DDH) y su correspondiente sondaje original de aire reverse (RC) en el sector central del blanco Sapo Sur. Las escalas vertical y horizontal son las mismas en todas las comparaciones.

### 7.1.2 Blanco Grillo Norte

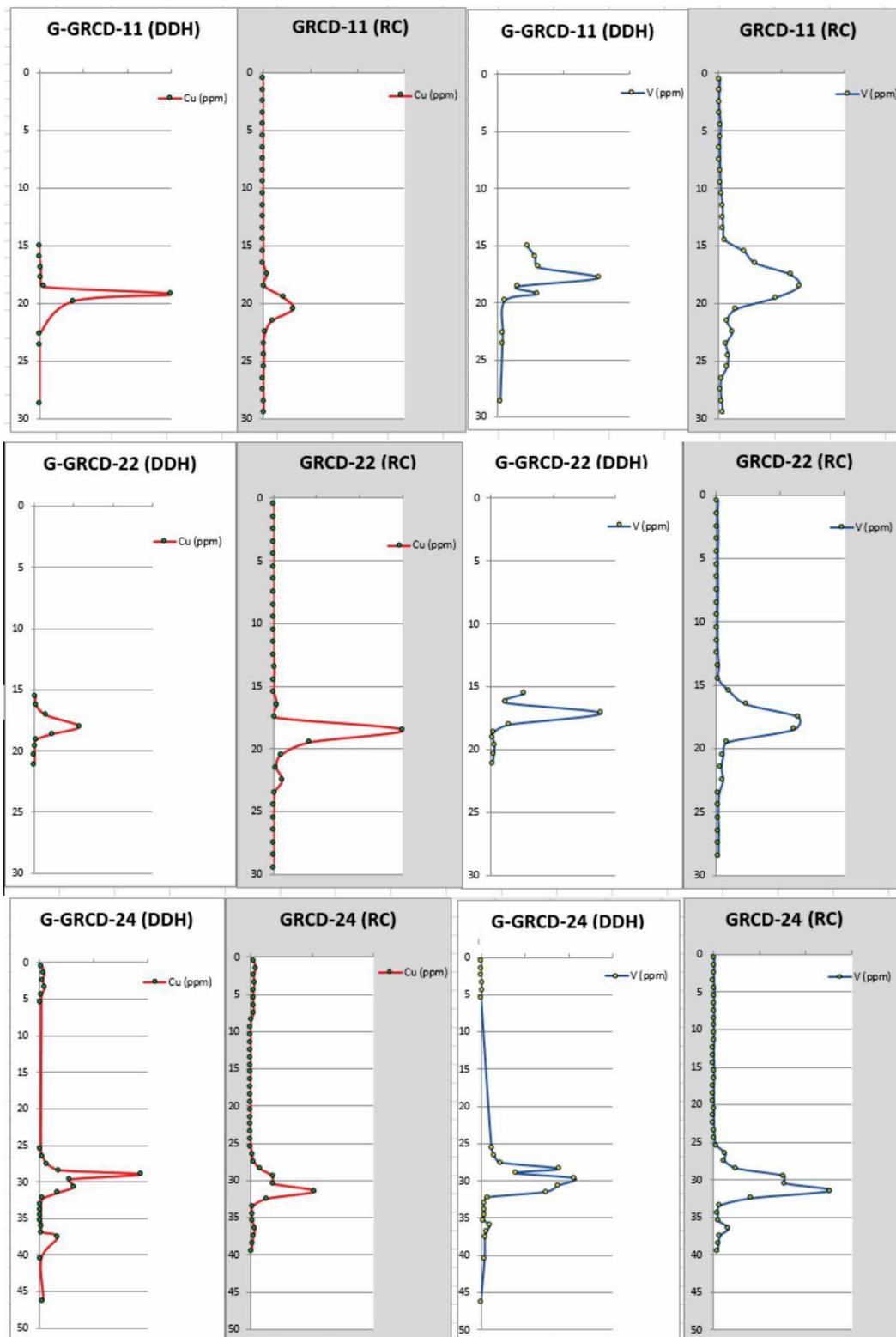
En este sector se ejecutaron 3 sondajes gemelos de diamantina, correspondientes a las ID G-GRCD-11; G-GRCD-22 y G-GRCD-24.

En general se interceptaron litologías similares a las observadas en Sapo Sur Central, aunque en este caso los espesores alterados y mineralizados son menores y están a mayor profundidad. Además, se observó una mayor proporción de arcillitas y areniscas inalteradas (Fig. 43). No se cortaron paleocanales de espesores significativos. La mineralización se encuentra en areniscas de granulometría media asociada a bitumen y en ocasiones se la ha observado en los planos de contacto entre distintas unidades litológicas (por ejemplo, entre niveles de arenisca y de arcillas). Respecto a niveles gruesos (conglomerádicos) solo se observó mineralización en un nivel muy delgado en el pozo G-GRCD-11.

La mineralización de cobre se aloja en niveles con espesores poco significativos en relación al blanco Sapo Sur Central y las leyes altas también se encuentran en niveles relativamente profundos (18.87 a 21.1 m en el pozo G-GRCD-11; 16.69 a 18.77 m en el pozo G-GRCD-22; y 28.8 a 29.22 m en el pozo G-GRCD-24), mientras que el V se dispone en niveles con espesores más importantes que los ricos en Cu, y con leyes más altas que en Sapo Sur Central. La zonación entre estos dos elementos se mantiene de la misma forma, estando las leyes altas de V por encima o por debajo de los horizontes con Cu.

La comparación de las leyes de Cu y V entre los sondajes originales de aire reverso y los sondajes de diamantina muestra una gran coincidencia, con diferencias puntuales cuyas posibles causas ya se explicaron (Fig 41).





**Fig.41:** Gráficos de ley de Cu y V en función de la profundidad para los sondajes gemelos de diamantina (DDH) y su correspondiente sondaje original de aire reverso (RC) en el sector norte del blanco Grillo. Las escalas vertical y horizontal son las mismas en todas las comparaciones.

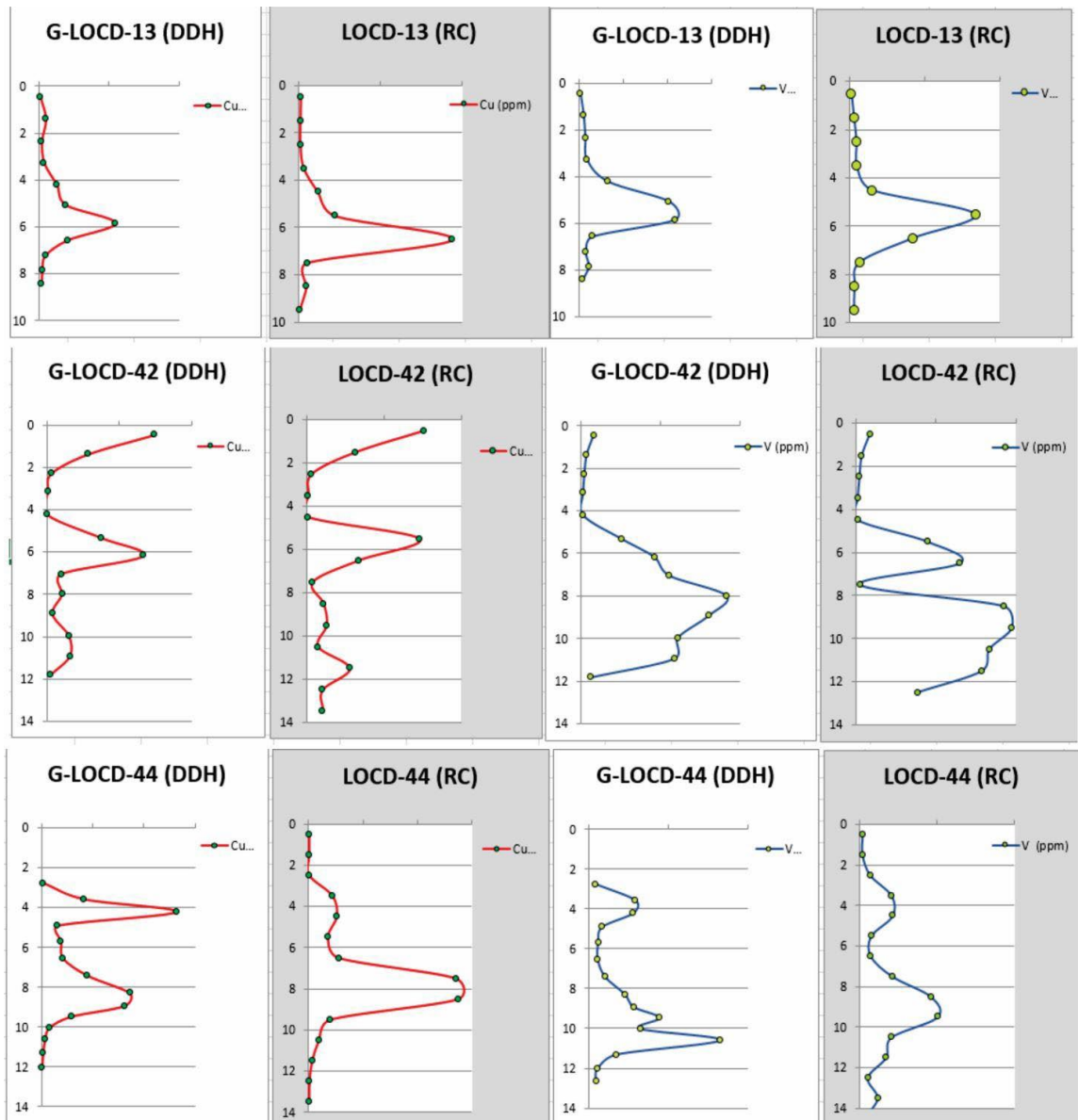
### 7.1.3 Blanco Loro

En este sector se ejecutaron 3 sondajes gemelos de diamantina, cuyas ID son G-LOCD-13, G-LOCD-42 y G-LOCD-44. Los niveles de alteración y mineralización se encuentran en niveles someros, casi superficiales, en sectores erosionados por completo, motivo por el que los sondajes se hicieron a menores profundidades. La litología se asemeja a la descrita en los blancos anteriores, con predominio de areniscas fluviales de granulometría variable, aunque en este caso hay mayor participación de areniscas guijarrosas y conglomerádicas, que alojan mineralización de Cu o Cu-V (Fig. 43).

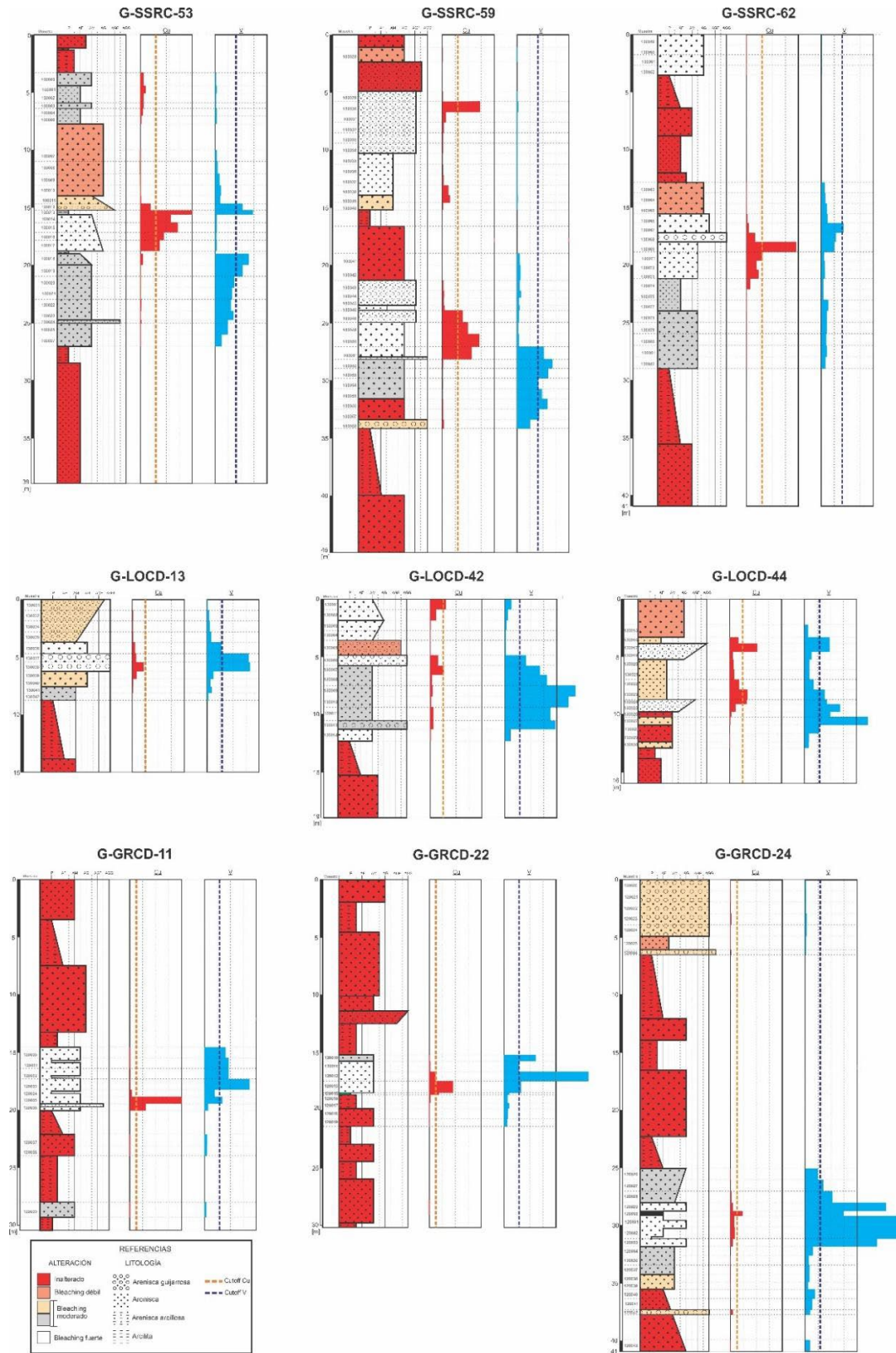
Los espesores de Cu son variables entre 1 y 4 metros y en el caso del sondaje G-LOCD-42 se encontraron 2 horizontes separados por 3 metros de roca estéril. Los espesores de los niveles ricos en V también son variables, aunque en general de mayor espesor que el Cu (entre 1.5 y 6 metros). Si bien se mantiene la relación de subyacencia del V respecto al Cu, los niveles que presentan leyes altas de Cu en general también presentan V en cantidades significativas.

Una característica importante de este sector es que los valores de plata en general superan el límite de detección y en ocasiones presentan anomalías interesantes, no solamente en rocas con ley alta de Cu (como ocurre en los otros blancos, donde la correlación Ag-Cu es cercana a 1), sino en rocas con leyes de V, incluso se han detectado en rocas con leyes bajas de Cu y V. Algo similar ocurre con el U, cuyo valor medio es mucho más alto que en los blancos Sapo Sur Central y Grillo Norte.

Al igual que en los otros dos blancos, las leyes obtenidas en los sondajes de diamantina coinciden en gran medida con los de los pozos originales de aire reverso, con algunas diferencias puntuales (Fig. 42).



**Fig.42:** Gráficos de ley de Cu y V en función de la profundidad para los sondajes gemelos de diamantina (DDH) y su correspondiente sondaje original de aire reverso (RC) en el blanco Loro. Las escalas vertical y horizontal son las mismas en todas las comparaciones.



**Fig.43:** Columnas gráficas de los 9 sondajes de diamantina realizados, donde se muestra la relación entre litología, alteración y mineralización de Cu-V en función de la profundidad. La escala vertical representa la profundidad del sondaje y es igual en todos los casos. La escala horizontal representa la granulometría de la roca, y es igual en todos los casos. Los valores en la escala de la mineralización se han omitido por razones de confidencialidad, y sólo se muestra una línea de trazo discontinuo indicando la ley de corte o cutoff del depósito.

#### 7.1.4 Análisis geoquímicos: digestión con agua regia vs digestión multiácida

Durante las campañas de perforación de aire reverso llevadas a cabo durante los años 2007, 2008 y 2012, todas las muestras que se extrajeron fueron analizadas por el laboratorio Alex Stewart SA, con sede en la provincia de Mendoza, y el método que se utilizó para los análisis fue el de código ICP-AR-42, que consiste en el análisis mediante la técnica de ICP-OES (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, por medio de un espectrofotómetro de emisión óptica) previa disolución de la muestra utilizando agua regia, que arroja la concentración de 42 elementos incluyendo los de interés en el depósito trabajado (Cu, V, Ag).

Para esta última campaña del año 2021 las muestras se enviaron al mismo laboratorio, pero se decidió utilizar el método de código ICP-MA-42, que tiene el mismo fundamento que el anteriormente mencionado y arroja los mismos elementos, con la diferencia de que la disolución de la muestra se realiza con 4 ácidos: fluorhídrico, perclórico, nítrico y clorhídrico. Esto se realizó considerando la premisa de que las leyes de V puedan haber sido subestimadas con el primer método, ya que el agua regia no disuelve totalmente a dicho elemento.

Para corroborar esto, todas las muestras de diamantina enviadas al laboratorio se analizaron por los dos métodos descriptos anteriormente: ICP-AR-42 e ICP-MA-42. Los resultados se compararon para los elementos de interés económico (Cu, V y Ag), en la totalidad de las muestras y en aquellas que superan la ley de corte (cutoff) de cada elemento (en el caso de la Ag, para las muestras que superaron el límite de detección inferior). Se observó lo siguiente:

- Los valores de Cu difieren muy poco entre ambos métodos y, si bien los valores aumentan con el método ICP-MA-42 respecto al ICP-AR-42, la diferencia es muy poco significativa (Fig.44). Se detectó un aumento promedio de 24.7% para la totalidad de las muestras, pero este valor no es representativo ya que en muestras con baja ley una diferencia pequeña representa un porcentaje muy alto. Para ello se calculó la diferencia utilizando sólo las muestras con leyes por encima del cutoff (que entre los 3 blancos perforados es, en promedio, 2300 ppm). En este caso la diferencia promedio entre ambos métodos es de 1.35%. De esto se deduce que tanto el agua regia como

los 4 ácidos utilizados en el método ICP-MA-42 son efectivos para la disolución del Cu, presente mayormente en óxidos

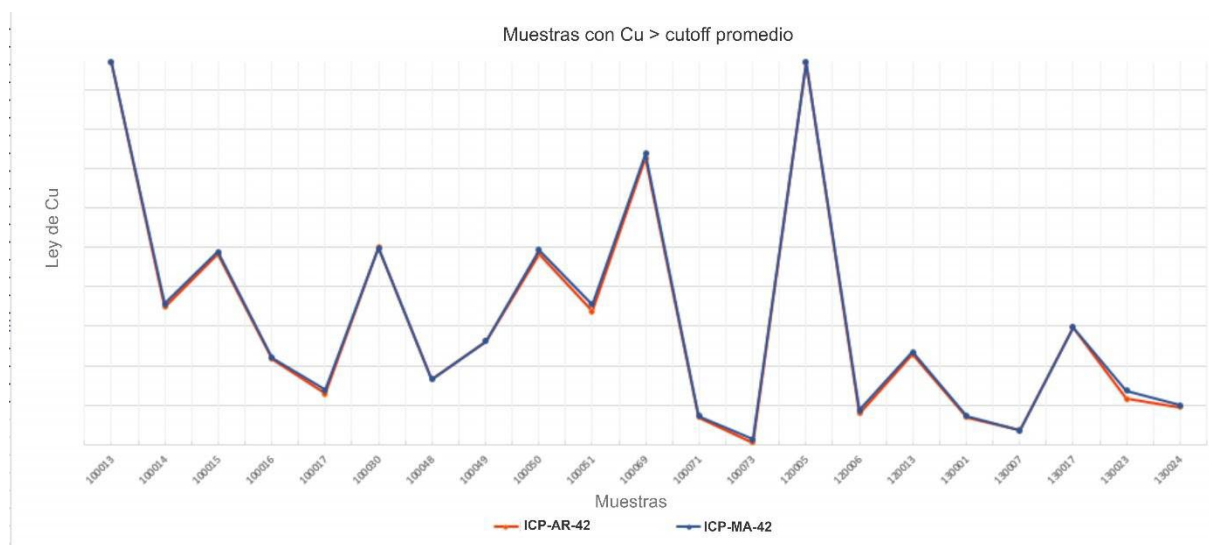
- Para el caso del V se encontró que la diferencia de los resultados entre los dos métodos de análisis es considerable, aumentando con el método ICP-MA-42 (Fig. 45), y puede tener una influencia significativa en el cálculo de recursos. Se observaron muestras con diferencias de hasta 500-600 ppm, llegando en casos particulares hasta 1000 ppm. Para la totalidad de las muestras, el aumento promedio con el método ICP-MA-42 respecto al ICP-AR-42 es de 31.7%. Si se utilizan sólo las muestras con leyes por encima del cutoff (en promedio 950 ppm), esta diferencia es de 22%. Con esto se deduce que el agua regia es menos efectiva que los 4 ácidos para la disolución del V. Esto probablemente se debe a que el V se encuentra en gran parte en minerales como roscoelita y arcillas ricas en V. En estos casos, el V se encuentra dentro de la estructura de silicatos donde reemplaza parcialmente al Al. El agua regia es ineficiente para romper la estructura de silicatos, a diferencia del método multiácido.

- Respecto a la Ag, la diferencia entre los dos métodos es sustancial. Si bien en general las leyes de Ag son bajas, los valores con el método ICP-MA-42 son mucho mayores que con el método ICP-AR-42 (Fig. 46). La diferencia promedio utilizando la totalidad de las muestras es de 75%. Dado que muchas muestras tienen valores por debajo del límite de detección (<0.5), que se consideraron iguales en ambos métodos, se realizó el cálculo utilizando sólo las muestras que superan este límite. La diferencia promedio obtenida es de 182%. En este caso, dado que la plata se encuentra en concentraciones bajas, no se han identificado los minerales que contienen este elemento, por lo que se desconoce el motivo de esta diferencia entre ambos métodos.

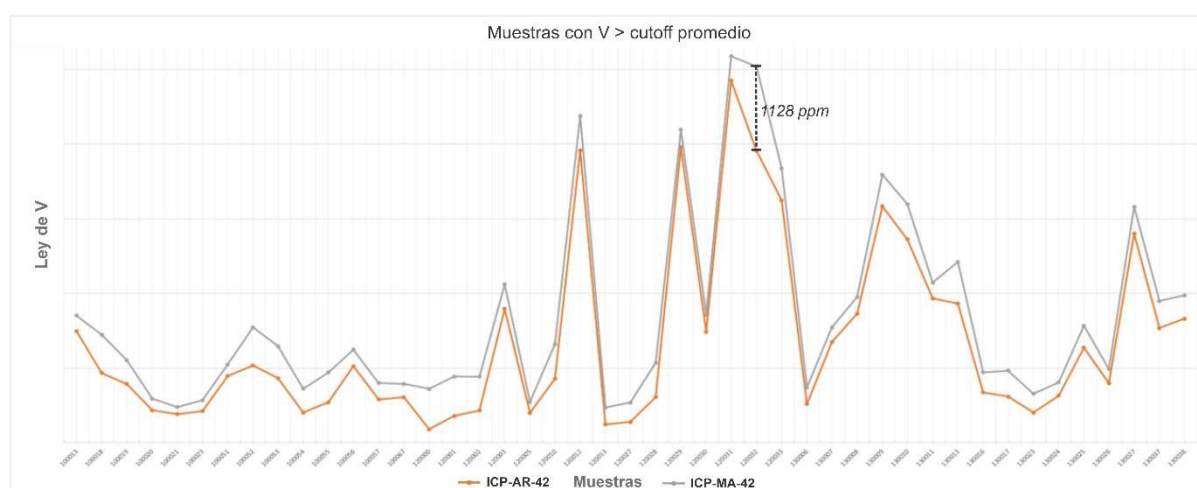
Esto permite deducir que en los recursos que se han calculado en los blancos de exploración a partir de las perforaciones de los años 2008 a 2012 se ha subestimado la ley de V, con lo cual se sugiere en principio realizar un ensayo de ICP-MA-42 sobre todos los rechazos del laboratorio de campañas anteriores que se utilizaron para recalcular los recursos. Considerando que esta información podría haberse perdido, como alternativa se aconseja sumar un cierto porcentaje al cálculo de recursos de V, tomando como referencia el valor obtenido con las muestras de diamantina (22%). Otra alternativa es utilizar un número significativo de muestras de aire reverse de la

campaña 2021 y realizar ambos análisis (ICP-MA-42 e ICP-AR-42) para tener un número representativo de muestras con el que se pueda calcular una diferencia promedio, y aplicar dicha diferencia al cálculo de recursos de las campañas anteriores.

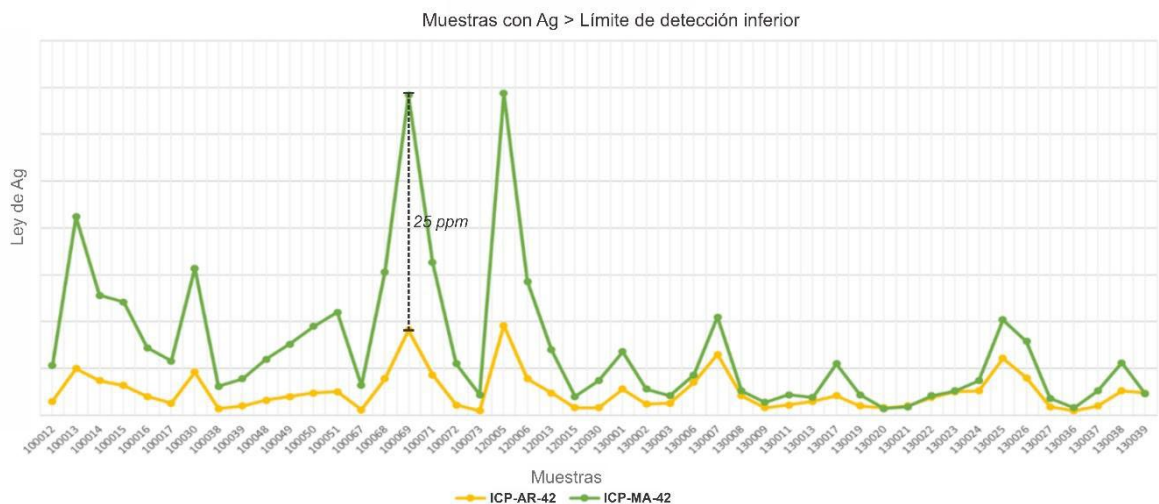
Respecto a la Ag, los ensayos ICP-MA-42 aumentaron mucho sus valores y, si bien siguen siendo bajos, podrían ser de utilidad para sumar a los recursos de Cu. Se sugiere proceder de la misma forma que para el V.



**Fig.44:** Gráfico comparativo entre las leyes de Cu obtenidas a partir del método de análisis ICP con digestión de agua regia (ICP-AR-42), y el método ICP con digestión a partir de 4 ácidos (ICP-MA-42). Sólo se han considerado las muestras con valor de ley por encima del cutoff promedio del depósito. Se observa una diferencia poco significativa entre los resultados con ambos métodos, que en promedio es de 1.35%. Los valores en la escala vertical se han ocultado por razones de confidencialidad.



**Fig.45:** Gráfico comparativo entre las leyes de V obtenidas a partir del método de análisis ICP con digestión de agua regia (ICP-AR-42), y el método ICP con digestión a partir de 4 ácidos (ICP-MA-42). Se observa un incremento en las leyes medidas a partir de este último método, cuya diferencia promedio es del 22 %. Para la comparación se consideraron solamente las muestras con valores por encima de la ley de corte o cutoff. Los valores en la escala vertical se han ocultado por razones de confidencialidad.



**Fig.46:** Gráfico comparativo entre las leyes de Ag obtenidas a partir del método de análisis ICP con digestión de agua regia (ICP-AR-42), y el método ICP con digestión a partir de 4 ácidos (ICP-MA-42). Se observa un incremento en las leyes medidas a partir de este último método, cuya diferencia promedio es del 182 %. Para la comparación se consideraron las muestras cuyos valores se encuentran por encima del límite de detección en ambos casos. Los valores en la escala vertical se han ocultado por razones de confidencialidad.

## 7.2. Sondajes de aire reverso

Los sondajes de aire reverso se ejecutaron siguiendo una grilla de 200 x 200 m, que se complementó a los sondajes realizados en campañas anteriores (2007, 2008, 2012) para densificar la información y tener un mayor nivel de confianza en la estimación de los recursos, además de poder delimitar su extensión con mayor precisión.

Se describen a continuación los resultados para cada blanco de exploración.

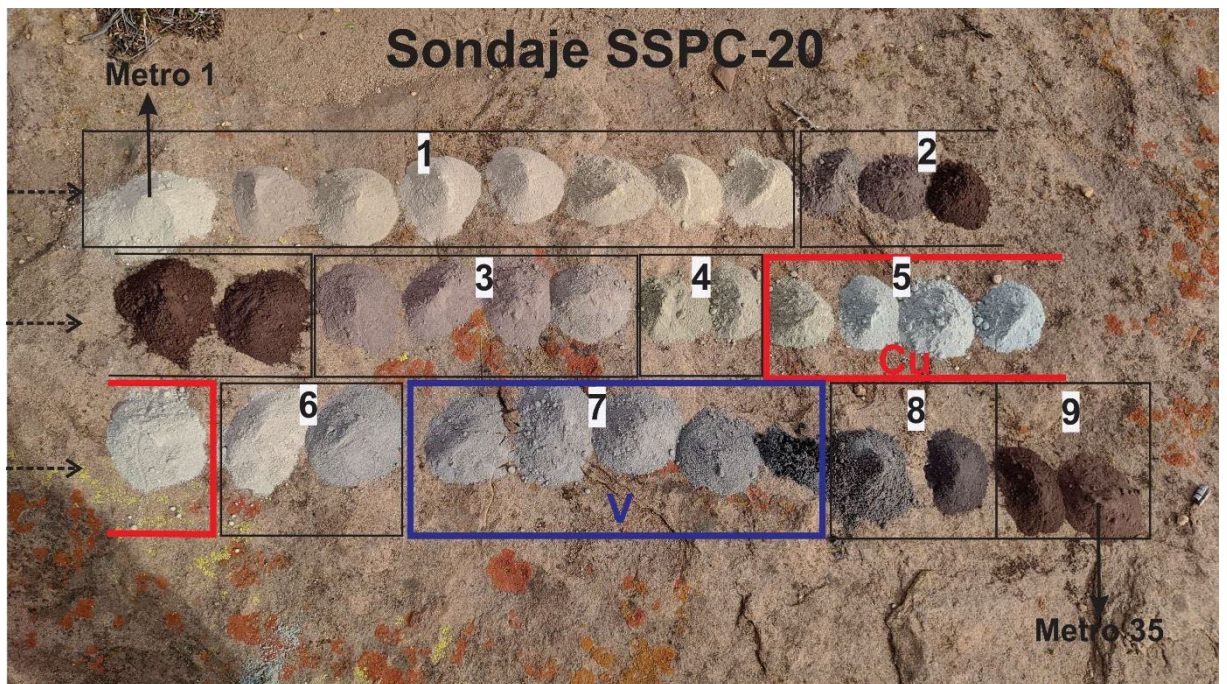
### 7.2.1 Blanco Sapo Sur

Se ejecutaron 12 sondajes de aire reverso que confirmaron la continuidad de un horizonte mineralizado en la zona central del blanco, con entre 3 y 5 metros de espesor de roca alterada con mineralización de Cu en forma de crisocola y malaquita (Fig.47), con cantidades menores de calcosina hipogénica. La ley de Cu supera el cutoff del depósito, llegando hasta 3 veces dicho valor. Este horizonte tiene dimensiones laterales de aproximadamente 800 x 1200 metros, buza ligeramente hacia el este y se encuentra a una profundidad variable de entre 17 a 28 metros de profundidad bajo boca de pozo, encontrándose a una cota promedio de 764 metros sobre el nivel del mar. Hacia el NO y al SE la mineralización parece disminuir, lo cual se ve reflejado en los pozos SSPC-52, SSPC-18 y SSPC-63 (Fig. 48), que, si bien cortaron niveles con anomalías altas, no llegan a superar la ley de corte. Los valores altos de Cu están

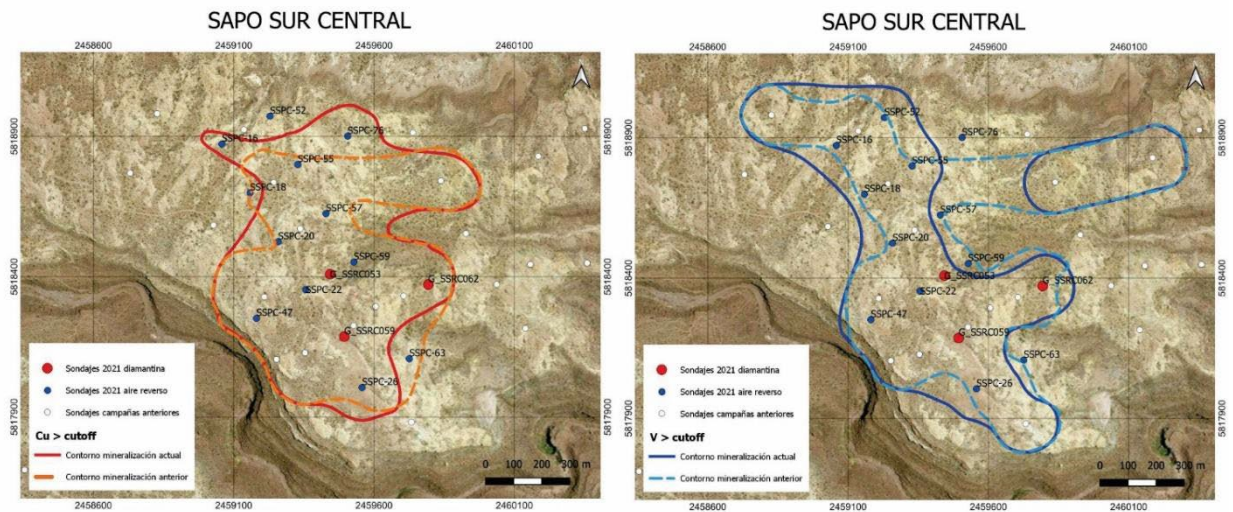


siempre acompañados de anomalías de Ag, que en este sector destacan por encima de la media general de todos los blancos de exploración.

Por debajo del horizonte cuprífero se intersectó mineralización de V asociada a bitumen, que claramente subyace a la mineralización de Cu (y en algunos casos la acompaña). Se reconoció volbortita y roscoelita como principales minerales de V. Este nivel tiene espesores variables de entre 1 a 4 metros y se encuentra a una cota promedio de 757 metros sobre el nivel del mar. Sus dimensiones laterales de aproximadamente 700 x 1200 metros y se extiende en el sector oeste del blanco perforado con leyes que superan el valor de cutoff (Fig.48), mientras que los pozos que se ubicaron hacia el este (SSPC-76, SSPC-57, SSPC-59 y SSPC-63) no superan este valor. Estos pozos, sin embargo, cortaron valores anómalos de V muy cercanos al cutoff, por lo que probablemente la mineralización de V se extiende hacia el este y podrían hallarse valores que superen el cutoff incluso en las zonas aledañas a dichos sondajes, teniendo en cuenta que el depósito se caracteriza por una importante variación lateral de las leyes incluso a escala de pocos metros.



**Fig.47:** Porción de cutting representativa de cada metro de perforación del sondaje SSPC-20, ubicado en Sapo Sur Central. 1= Intervalo de areniscas con alteración bleaching débil a moderada, sin mineralización. 2= Intervalo de arcillas a areniscas arcillosas. 3= Intervalo de areniscas finas inalteradas. 4= Intervalo de areniscas con alteración bleaching moderada, sin mineralización. 5= Intervalo de areniscas gruesas a guijarrosas con alteración bleaching fuerte (facies de areniscas blancas) rico en mineralización de cobre (crisocola+malaquita), entre los metros 20 y 24 de perforación. 6: Intervalo de areniscas con alteración fuerte, pero sin mineralización. 7= Intervalo de areniscas con alteración tipo bleaching moderada (transicional, facies de areniscas grises) con mineralización de vanadio, entre los metros 27 y 31 de perforación. 8= Intervalo de areniscas inalteradas. 9= Intervalo de arcillas a areniscas arcillosas.



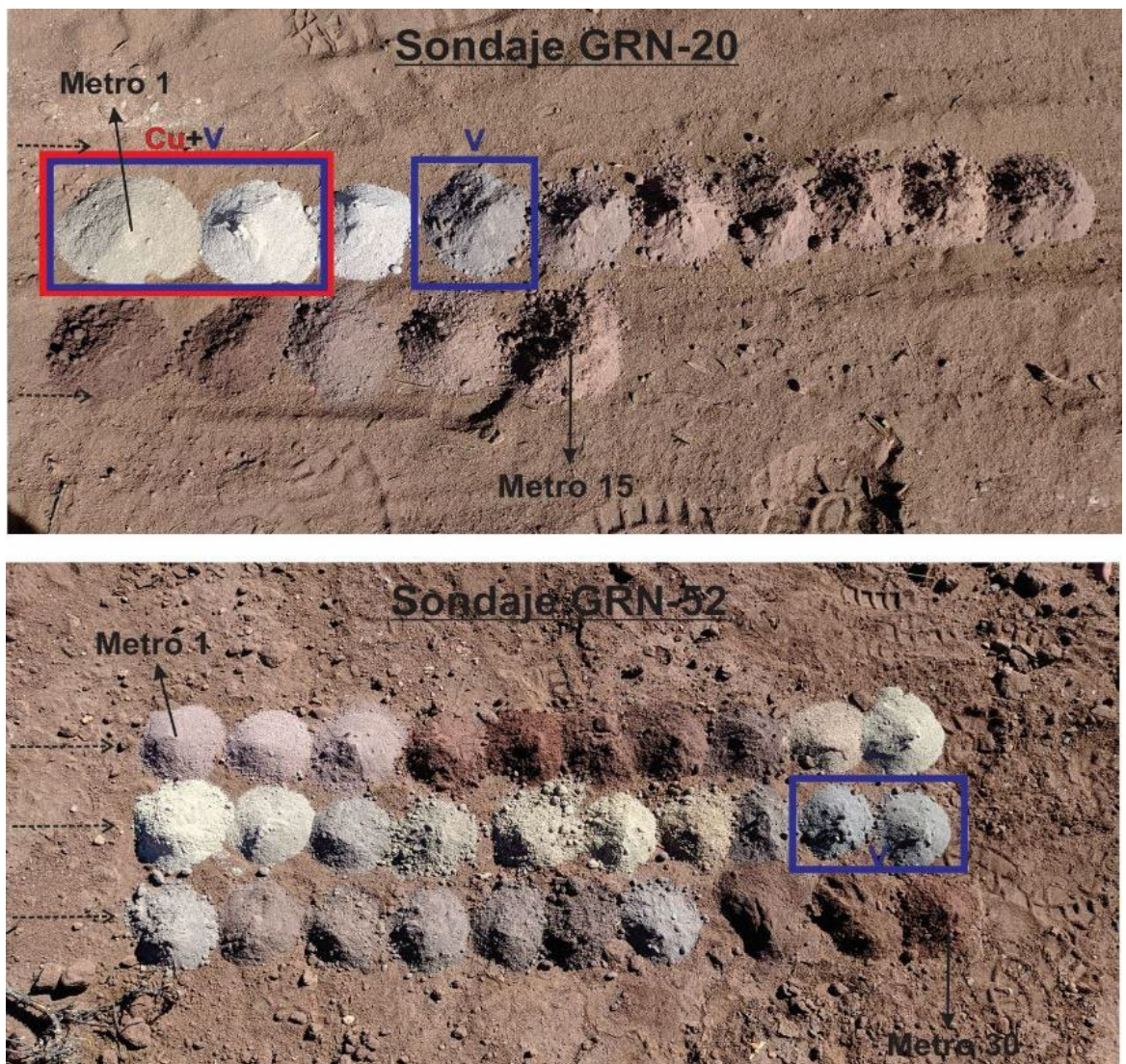
**Fig.48:** Proyección en planta de la extensión de los recursos de Cu (izquierda) y V (derecha) en el sector central del blanco Sapo Sur, obtenida a partir de los datos de las perforaciones del año 2021 en conjunción con las perforaciones históricas. Con línea de trazo discontinuo se delimita la extensión calculada previa a la campaña 2021, mientras que con línea de trazo continuo se marca la extensión calculada a partir de los nuevos datos.

## 7.2.2 Blanco Grillo Norte

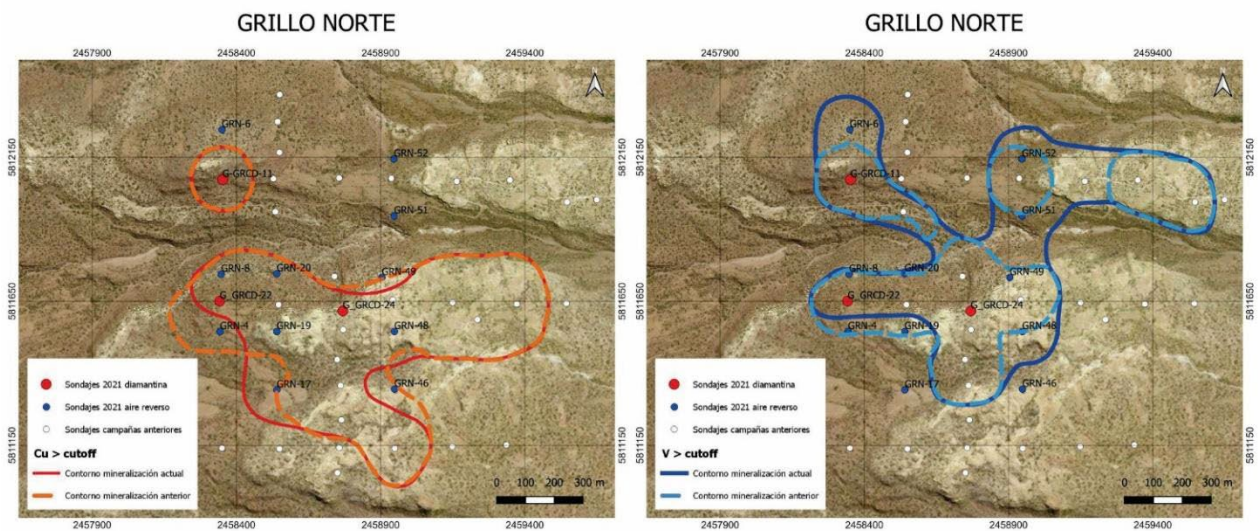
En este sector se realizaron 11 sondajes de aire reverso, que pusieron de manifiesto la continuidad de un horizonte cuprífero en el sector central y sur del blanco, de dimensiones de aproximadamente 1200 x 700 metros, y a profundidades variables según la ubicación del sondaje, desde unos pocos metros bajo boca de pozo en sectores donde aflora la mineralización (malaquita-crisocola-brocantita) hasta más de 30 metros en sondajes con una cobertura de roca inalterada; ubicándose a una cota promedio de 861 metros sobre el nivel del mar. Este horizonte es de menor espesor y ley que el de Sapo Sur Central, variando en general entre 1 a 2 metros (Fig.49) y con leyes de hasta 6 veces el valor de cutoff del blanco, acompañadas de valores anómalos de Ag. Los sondajes realizados en la zona norte del blanco (GRN-6, GRN-52 y GRN-51) no cortaron leyes significativas de Cu.

Por otro lado, el V se encuentra en mayor concentración que en Sapo Sur Central, alcanzando valores de hasta 10 veces el valor de cutoff, y en general subyace a la mineralización de Cu, aunque también se han observado sondajes con leyes muy altas de V que no interceptaron leyes de Cu (Fig.49). Estos niveles, de espesores variables entre 2 y 7 metros, presentan un gran contenido de bitumen, y el V se encuentra en forma de volbortita y otros minerales no identificados (probablemente arcillas ricas en V). En casos puntuales el V acompaña o sobreyace a la mineralización

de Cu. Respecto a la extensión de la mineralización de V, posee dimensiones laterales de 1200 x 1000 metros y se encuentra en la zona centro y norte del blanco a una cota promedio de 858 metros sobre el nivel del mar, atravesando probablemente la quebrada del río que discurre por la parte central del blanco en sentido O-E (Fig.50), por lo que se puede reconocer una zonación no solo vertical entre el Cu y V, sino también lateral, en dirección N-S.



**Fig.49:** Porción de cutting representativa de cada metro de perforación de los sondajes GRN-20 (arriba) y GRN-52 (abajo), ubicados en el sector norte del blanco Grillo, en los se marcan los intervalos con mineralización de Cu (color rojo) y V (color azul) con valores por encima de la ley de corte o cutoff. En el primer caso se observa al V asociado al Cu y subyaciendo al mismo, bajo la asociación mineral crisocola-malaquita-volbortita. En el segundo caso no se presenta mineralización de Cu, pero sí de V entre los metros 18 y 20 del pozo. En este caso la asociación mineral está dada por bitumen- volbortita-arcillas ricas en V.



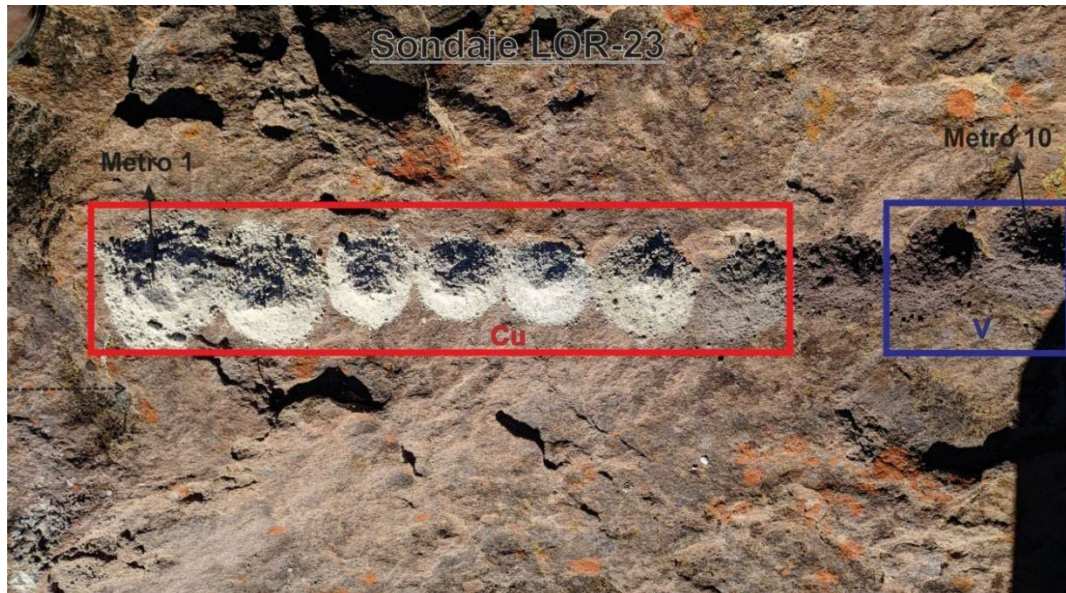
**Fig.50:** Proyección en planta de la extensión de los recursos de Cu (izquierda) y V (derecha) en el sector norte del blanco Grillo, obtenida a partir de los datos de las perforaciones del año 2021 en conjunción con las perforaciones históricas. Con línea de trazo discontinuo se delimita la extensión calculada previa a la campaña 2021, mientras que con línea de trazo continuo se marca la extensión calculada a partir de los nuevos datos.

### 7.2.3 Blanco Loro

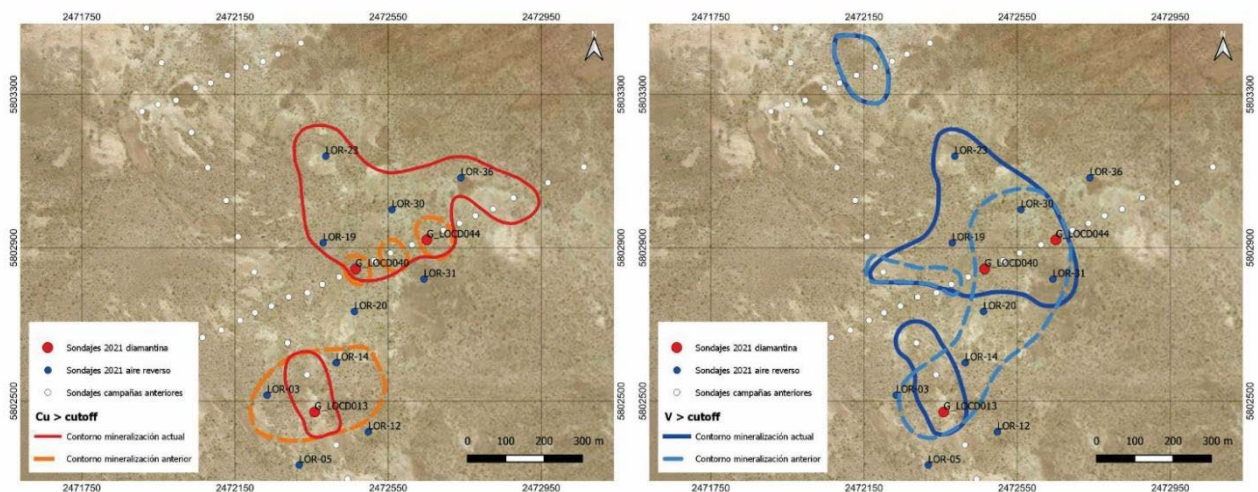
En este blanco la mineralización de interés se encuentra a menor profundidad que en los anteriores (en general no más de 10 metros bajo boca de pozo), y en sectores parcialmente expuesta (Fig.51), a una cota promedio de 479 metros sobre el nivel del mar para el Cu, y 475 metros para el V. Los 10 sondajes de aire reverso realizados demostraron que los recursos de Cu-V se extienden hacia el norte con respecto al modelo calculado con los sondajes de campañas anteriores, entre las dos líneas de sondajes orientadas ESE-WNO (Fig. 52), mientras que hacia el sur parece tener extensión limitada a niveles de escasa continuidad lateral, evidenciado por los sondajes LOR-20, LOR-03, LOR-14, LOR-05 y LOR-12 que no interceptaron leyes significativas, sino unas pocas anomalías bajas.

Los sondajes realizados al norte interceptaron leyes de Cu significativas en niveles de areniscas ricas en óxidos de Cu (crisocola-malaquita, en menor medida azurita), de hasta 4 veces el valor de cutoff del blanco, y de espesores entre 1 y 3 metros, en ocasiones separadas por niveles estériles. El V con frecuencia acompaña al Cu pero también se presenta en niveles subyacentes, encontrándose en niveles de 1 a 2 metros de espesor y con leyes que en general son inferiores a las observadas en Sapo Sur Central y Grillo Norte, con valores de hasta 2 veces el valor de cutoff. El V se

encuentra fundamentalmente como producto supergénico de oxidación, en forma de volbortita.



**Fig.51:** Porción de cutting representativa de cada metro de perforación del sondaje LOR-23, ubicado en el blanco Loro, en el cual se marcan los intervalos con mineralización de Cu (color rojo) y V (color azul) con valores por encima de la ley de corte o cutoff. Se observa una exposición de la mineralización de Cu en los primeros metros, dado el nivel de erosión presente en este blanco en relación a los anteriores; y de la mineralización de V respecto al Cu.



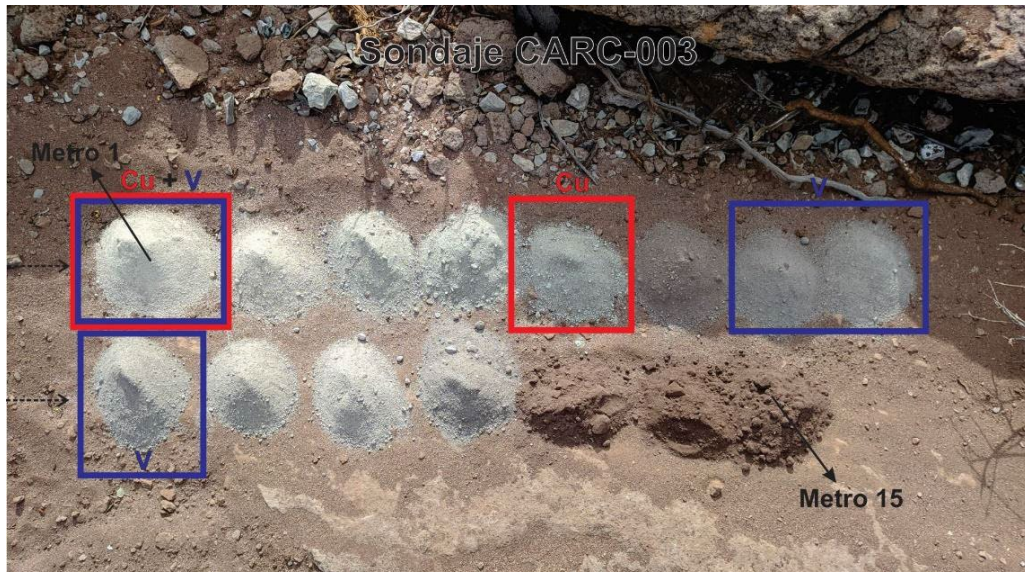
**Fig.52:** Proyección en planta de la extensión de los recursos de Cu (izquierda) y V (derecha) en el blanco Loro, obtenida a partir de los datos de las perforaciones del año 2021 en conjunción con las perforaciones históricas. Con línea de trazo discontinuo se delimita la extensión calculada previa a la campaña 2021, mientras que con línea de trazo continuo se marca la extensión calculada a partir de los nuevos datos.

#### 7.2.4 Blanco Carranza

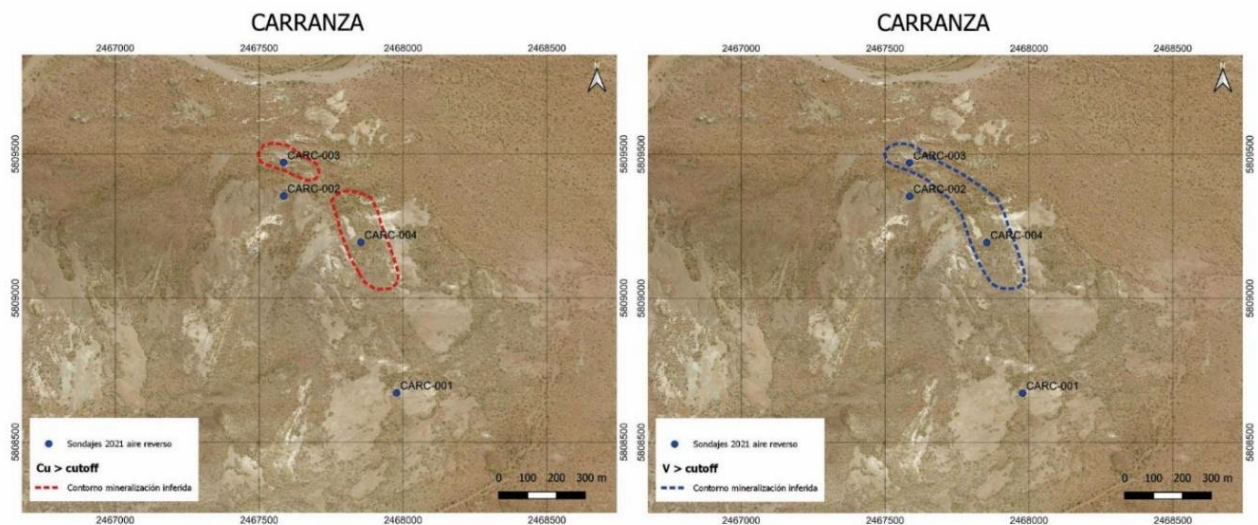
Este sector, ubicado a unos 7km al NO del blanco Loro y a aproximadamente 9 km al E-SE del blanco Grillo Norte, a diferencia de los anteriores no había sido perforado en años anteriores, pero dado que el trabajo de prospección realizado previamente definió a este sector como uno de los blancos de exploración de mayor potencial, se buscó comprobar la presencia de mineralización de interés económico en subsuelo.

Se ejecutaron 4 sondajes de entre 10 y 15 metros de profundidad en la porción sur del sector, de los que 2 sondajes interceptaron mineralización económica (Fig. 54). El sondaje CARC-003 cortó un horizonte relativamente superficial con 2 metros de espesor de mineralización con óxidos de Cu (con leyes de 2 veces el valor de cutoff) y subyaciendo a dicho horizonte, otro horizonte de 6 metros de espesor con mineralización de V, entre los 7 y los 12 metros de profundidad (Fig.55), con leyes que superan ligeramente el valor de cutoff del sector.

El sondaje CARC-004 cortó, entre los metros 7 y 12 de profundidad, un nivel con mineralización de Cu con leyes altas (entre 1 a 7 veces el valor de cutoff del blanco) y acompañado de mineralización de V con leyes muy altas (entre 4 y 25 veces el valor de cutoff). La asociación mineral observada es malaquita ± crisocola ± trazas de calcosina (hipógena) ± bitumen ± volbortita ± roscoelita? ± arcillas ricas en V. Si bien en este caso el Cu y el V se encuentran asociados (a diferencia de lo observado en general en los otros blancos), se observó que las leyes más altas de V se alojan en niveles supra e infrayacentes a los que contienen las leyes más altas de Cu.



**Fig.53:** Porción de cutting representativa de cada metro de perforación del sondaje CARC-003, ubicado en el blanco Carranza, en el cual se marcan los intervalos con mineralización de Cu (color rojo) y V (color azul) con valores por encima de la ley de corte o cutoff. De forma similar a lo que ocurre en el blanco Loro, la mineralización está parcialmente expuesta y a pocos metros de profundidad, y la mineralización de V subyace al Cu.



**Fig.54:** Proyección en planta de la extensión inferida de la mineralización de Cu (izquierda) y V (derecha) que supera la ley de corte o cutoff en el sector sur del blanco Carranza, obtenida a partir de los datos de las perforaciones del año 2021.

## 7.2.5 Análisis estadístico univariado / multivariado

A partir de la información geoquímica de las muestras de sondajes de aire reverse obtenida a través de análisis de laboratorio, se realizó un análisis estadístico. Este consistió primeramente en un análisis exploratorio de datos mediante métodos estadísticos univariados. El análisis se aplicó sobre una población total de 884 muestras. Las variables analizadas fueron los 42 elementos que entrega el laboratorio

con el método ICP-MA-42. De ese total, 3 elementos (Bi, Hg y W) fueron descartados del análisis por presentar más del 95% de los datos por debajo del límite de detección inferior del laboratorio. El grupo de variables (elementos químicos) analizadas quedó finalmente de la siguiente manera (Tabla 4):

Variable (elemento químico)	Ag	Al	As	Ba	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu
Unidad	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Variable (elemento químico)	Fe	Ga	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb
Unidad	%	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm
Variable (elemento químico)	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta
Unidad	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Variable (elemento químico)	Te	Th	Ti	Tl	U	V	Y	Zn	Zr	
Unidad	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	

**Tabla 4 :** Variables consideradas para el análisis estadístico, correspondientes a los 39 elementos del análisis del laboratorio, que exhibieron al menos un 5% de los datos por encima del límite de detección.

Para tratar los datos que se encuentran por debajo del límite de detección inferior del laboratorio, estos se sustituyeron por el 65% del valor del límite inferior. Respecto a los datos que se encuentran por encima del límite de detección superior, se consideró el valor del límite superior más un 25% de dicho valor

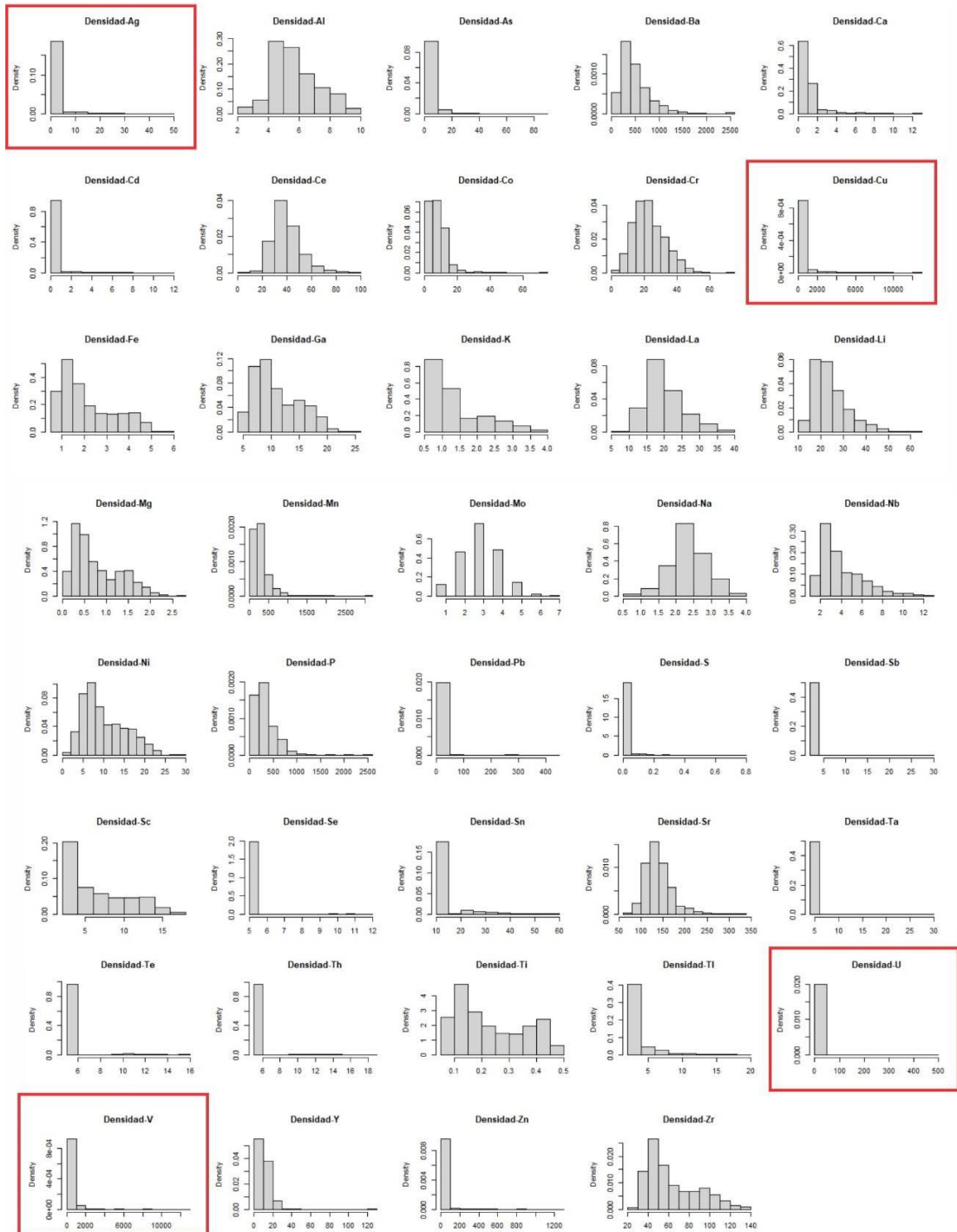
El análisis univariado consistió en calcular las medidas resumen de cada variable para la totalidad de las muestras (Tabla 5). Los parámetros considerados fueron: mínimo, máximo, 1er cuartil, 3er cuartil, mediana, media, varianza, desviación estándar, coeficiente de asimetría y coeficiente de curtosis. El objetivo de dicho análisis fue obtener una primera aproximación sobre la distribución de los datos, determinar los rangos y valores típicos de los elementos (en particular, de los de interés económico) y detectar posibles valores atípicos u “outliers”, que pueden tratarse de errores de medición.



Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	Kurtosis
<b>Ag ppm</b>	883	1.30	3.94	15.53	0.25	45.6	0.25	0.25	0.25	6.10	47.45
<b>Al pct</b>	883	5.70	1.51	2.29	2.11	9.87	5.43	4.66	6.62	0.43	-0.23
<b>As ppm</b>	883	4.85	5.04	25.37	2.5	83	2.5	2.5	6	7.83	99.77
<b>Ba ppm</b>	883	505.36	335.59	112618.86	83	2500	423	268	632	2.27	8.38
<b>Ca pct</b>	883	1.17	1.17	1.37	0.24	12.5	0.85	0.63	1.19	4.30	24.51
<b>Cd ppm</b>	883	0.68	0.90	0.82	0.5	12	0.5	0.5	0.5	7.39	66.09
<b>Ce ppm</b>	883	39.98	11.30	127.59	2.5	95	38	33	46	1.01	2.04
<b>Co ppm</b>	883	8.52	5.82	33.89	1	73	7	5	11	3.23	22.70
<b>Cr ppm</b>	883	23.59	9.72	94.52	2	72	22	17	30	0.74	1.01
<b>Cu ppm</b>	883	482.47	1375.96	1893255.25	0.5	12500	48	20	181	4.69	25.68
<b>Fe pct</b>	883	2.13	1.17	1.38	0.51	5.54	1.71	1.2	2.96	0.81	-0.53
<b>Ga ppm</b>	883	11.40	4.03	16.22	4	26	10	8	15	0.64	-0.49
<b>K pct</b>	883	1.40	0.72	0.52	0.59	3.88	1.05	0.91	1.72	1.41	0.94
<b>La ppm</b>	883	20.62	5.29	28.02	8	40	20	17	24	0.82	0.51
<b>Li ppm</b>	883	24.59	7.46	55.64	13	61	23	19	28	1.14	1.36
<b>Mg pct</b>	883	0.78	0.52	0.27	0.09	2.76	0.59	0.36	1.19	0.83	-0.29
<b>Mn ppm</b>	883	308.41	235.77	55586.68	82	3117	250	167	369	4.42	34.11
<b>Mo ppm</b>	883	3.07	1.09	1.19	0.5	7	3	2	4	0.11	0.23
<b>Na pct</b>	883	2.35	0.52	0.27	0.55	3.96	2.35	2.05	2.64	-0.02	0.42
<b>Nb ppm</b>	883	4.45	2.04	4.18	1	13	4	3	6	1.28	1.56
<b>Ni ppm</b>	883	10.61	5.17	26.71	0.5	29	9	7	14	0.66	-0.41
<b>P ppm</b>	883	333.43	227.66	51828.18	43	2462	258	182	432	2.81	15.72
<b>Pb ppm</b>	883	9.41	21.60	466.41	1	405	7	5	10	13.11	195.43
<b>S pct</b>	883	0.02	0.04	0.00	0.005	0.77	0.005	0.005	0.01	10.44	146.66
<b>Sb ppm</b>	883	2.53	0.89	0.80	2.5	29	2.5	2.5	2.5	29.72	878.00
<b>Sc ppm</b>	883	6.65	4.31	18.58	2.5	18	6	2.5	10	0.63	-0.86
<b>Se ppm</b>	883	5.05	0.52	0.27	5	12	5	5	5	11.32	127.15
<b>Sn ppm</b>	883	12.41	7.09	50.24	10	59	10	10	10	3.32	11.73
<b>Sr ppm</b>	883	139.28	30.89	954.14	69	335	135	119	155	1.34	4.20
<b>Ta ppm</b>	883	5.05	1.04	1.09	5	29	5	5	5	20.69	436.58
<b>Te ppm</b>	883	5.22	1.27	1.61	5	16	5	5	5	5.89	34.91
<b>Th ppm</b>	883	5.22	1.38	1.90	5	19	5	5	5	6.71	46.79
<b>Ti pct</b>	883	0.24	0.12	0.02	0.06	0.49	0.2	0.13	0.35	0.45	-1.22
<b>Tl ppm</b>	883	3.46	2.44	5.94	2.5	19	2.5	2.5	2.5	3.34	13.10
<b>U ppm</b>	883	5.80	15.56	242.27	5	462	5	5	5	28.65	834.67
<b>V ppm</b>	883	336.69	886.84	786481.76	20	12500	104	64	203	7.77	76.18
<b>Y ppm</b>	883	11.93	6.39	40.80	4	130	10	8	15	7.83	131.70
<b>Zn ppm</b>	883	52.43	86.23	7435.63	8	1290	35	23	57	7.59	74.92
<b>Zr ppm</b>	883	63.83	24.93	621.71	29	139	55	45	82	0.89	-0.20

*Tabla 5: Medidas resumen para los 39 elementos químicos considerados, en una población de 884 muestras de aire reverso.*

La variación de los elementos, plasmada en histogramas (Fig.55) muestra distribuciones mayormente de tipo log-normal. Los elementos de interés económico (Ag, Cu, V, U) muestran particularmente una tendencia fuertemente log-normal positiva. Esto responde a la disposición de estos elementos en las rocas sedimentarias hospedantes, en las cuales se encuentran enriquecidos en niveles particulares (paleocanales, contactos entre diferentes rocas, restos vegetales) de pequeño espesor relativo a la profundidad total de los sondajes (entre 1 a 5 metros, en general).



**Fig.55:** Histogramas de los 39 elementos químicos considerados, en una población de 884 muestras de aire reverso. Se recuadran los elementos de interés económico (Ag, Cu, V, U), que muestran una distribución log-normal fuertemente positiva.

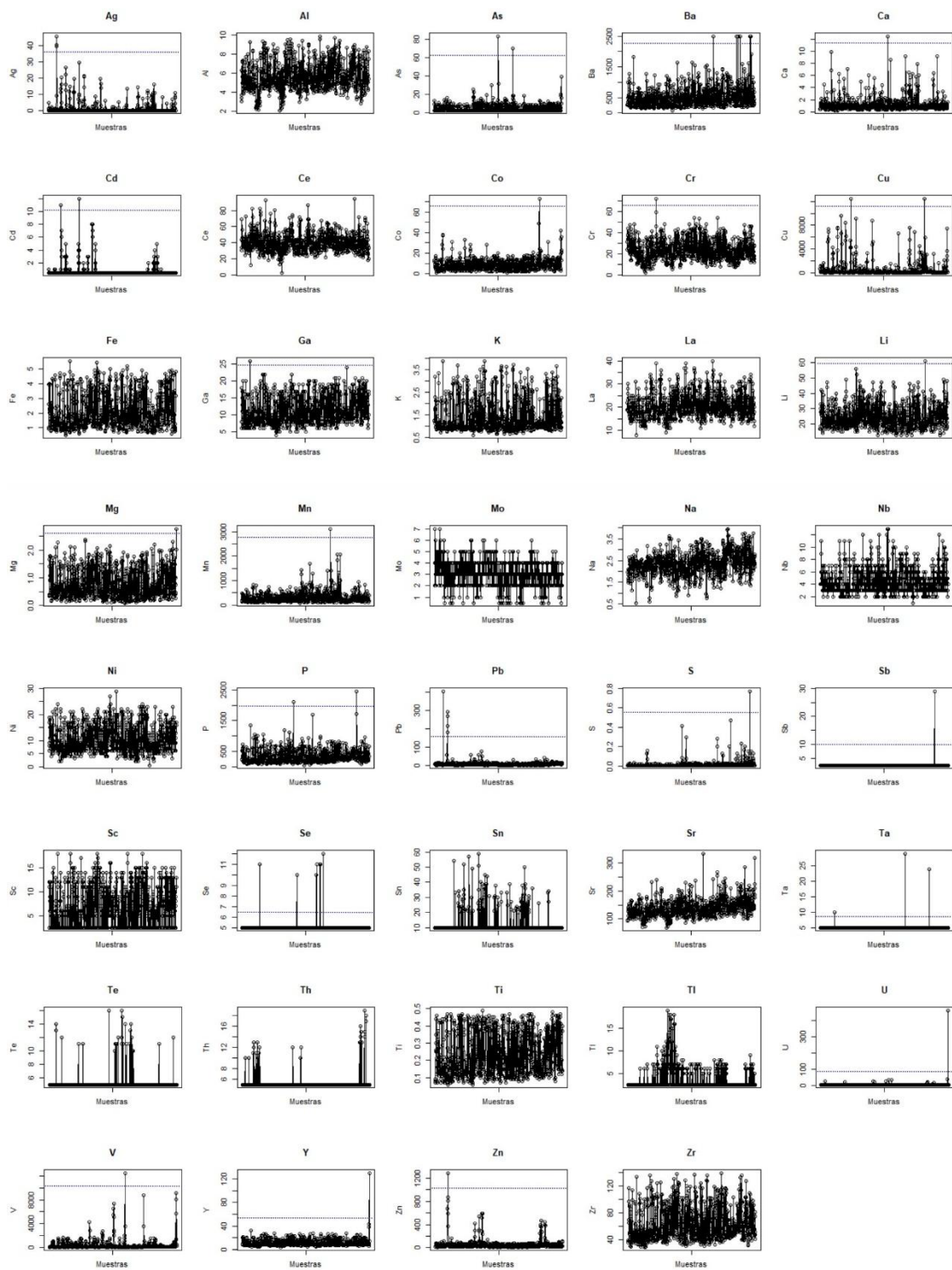
Como consecuencia de esta distribución, los elementos muestran un gran número de valores atípicos u “outliers”, cuando estos se calculan con métodos convencionales. Se calcularon los valores atípicos para cada elemento utilizando el método del rango intercuartílico (IQR) \* 1.5. Este método calcula los límites inferior y superior a partir de los cuales un valor se considera atípico, con las fórmulas  $Q1 - (IQR * 1.5)$  y

$Q3+(IQR*1.5)$  respectivamente, siendo Q1 y Q3 los cuartiles 1 y 3 de la distribución. Los resultados (Tabla 6) muestran a los elementos de interés económico Ag, Cu y V como los que tienen mayor cantidad de datos atípicos (entre 149 y 155, más del 15% del total de muestras). Otros elementos que mostraron muchos valores atípicos son S (posiblemente por la presencia de sulfuros en algunos niveles enriquecidos), Tl y Sn (estos dos en gran medida por su pobre variabilidad).

Para detectar *outliers* con mayor precisión se construyeron gráficos de dispersión para cada elemento (Fig.56), en los que se muestra el valor del elemento en el eje Y, y un eje X de escala adimensional donde se encuentra cada una de las muestras analizadas, igualmente espaciadas. Esto permitió detectar valores atípicos de forma manual, reduciendo drásticamente la cantidad de estos con respecto al método del rango intercuartílico. Los elementos de interés económico Cu, V y Ag resultaron en 2, 3 y 1 datos atípicos, respectivamente. Las muestras correspondientes se revisaron en el logeo geológico para corroborar si se trata de valores normales o errores de medición. Finalmente fueron considerados valores altos normales, por encontrarse en intervalos enriquecidos en mineralización metálica. Respecto al U, se halló un valor atípico muy alejado de la media que no se pudo corroborar con la descripción del logeo, motivo por el que se consideró como un valor errático y se eliminó. Para el resto de los elementos, se adoptó el criterio de eliminar los *outliers* sólo cuando estos se encuentren por encima del valor de la media + 10 veces la desviación estándar. Un total de 15 valores fueron eliminados de los elementos As, Co, Mn, Pb, S, Sb, Se, Ta y Y.

Columna	IQR	Limite_Superior	Limite_Inferior	Num_Outliers
Ag_ppm	0	0.25	0.25	149
Al_pct	1.955	9.5475	1.7275	4
As_ppm	3.5	11.25	-2.75	39
Ba_ppm	362.5	1174.25	-275.75	36
Ca_pct	0.56	2.03	-0.21	83
Cd_ppm	0	0.5	0.5	70
Ce_ppm	12.5	64.25	14.25	33
Co_ppm	6	20	-4	25
Cr_ppm	12.5	48.25	-1.75	6
Cu_ppm	161	422.5	-221.5	149
Fe_pct	1.75	5.575	-1.425	0
Ga_ppm	7	25.5	-2.5	1
K_pct	0.81	2.935	-0.305	53
La_ppm	7	34.5	6.5	14
Li_ppm	9	41.5	5.5	30
Mg_pct	0.825	2.4225	-0.8775	1
Mn_ppm	201.5	670.75	-135.25	54
Mo_ppm	2	7	-1	0
Na_pct	0.59	3.525	1.165	24
Nb_ppm	3	10.5	-1.5	15
Ni_ppm	7	24.5	-3.5	2
P_ppm	249.5	805.75	-192.25	30
Pb_ppm	5	17.5	-2.5	33
S_pct	0	0.01	0.01	206
Sb_ppm	0	2.5	2.5	1
Sc_ppm	7.5	21.25	-8.75	0
Se_ppm	0	5	5	7
Sn_ppm	0	10	10	109
Sr_ppm	35.5	207.75	65.75	27
Ta_ppm	0	5	5	3
Te_ppm	0	5	5	28
Th_ppm	0	5	5	24
Ti_pct	0.22	0.68	-0.2	0
Tl_ppm	0	2.5	2.5	164
U_ppm	0	5	5	15
V_ppm	138	409	-143	155
Y_ppm	7	25.5	-2.5	14
Zn_ppm	34	108	-28	36
Zr_ppm	37	137.5	-10.5	2

*Tabla 6.: Cálculo de los valores atípicos (outliers) para los 39 elementos considerados, utilizando el método del rango intercuartílico (IQR) \* 1.5. Se colorean los elementos con una gran cantidad de outliers (más del 15% del total de las muestras).*



**Fig.56:** Diagramas de dispersión para observar la variabilidad y detectar valores atípicos en los 39 elementos considerados. La línea de trazo horizontal en cada gráfico indica el límite inferior a partir del cual se consideraron los valores atípicos.

Una vez corregida la base de datos, se llevó a cabo un análisis estadístico multivariado, que incluyó un estudio de correlaciones por medio de los coeficientes de Pearson (Fig.57) y un análisis de componentes principales (Fig.58) sobre la totalidad de los 39 elementos considerados.

Los coeficientes de Pearson muestran, para los elementos de interés económico, una correlación lineal muy alta entre Cu y Ag, lo cual indica que ambos elementos responden al mismo proceso y evento de mineralización. El V, por otro lado, no muestra una correlación lineal apreciable con estos elementos, lo cual se atribuye a diferentes mecanismos de transporte y depositación para estos elementos, que además podrían haber ocurrido separados en el tiempo. Mientras que el Cu podría haber sido transportado como complejos clorurados en aguas formacionales de alta salinidad, el V habría sido transportado como  $V^{3+}$  a través de los fluidos que ingresaron al sistema, asociados a materia orgánica disuelta (Granger, oral communication, 1983 en Goldhaber et al., 1990). Esta diferencia en el comportamiento de dichos elementos se vió reflejada en los sondeos de diamantina y aire reverse, en los que se observó una zonación en sentido vertical, y en ocasiones lateral, entre los niveles ricos en mineralización de V respecto a los niveles ricos en minerales de Cu.

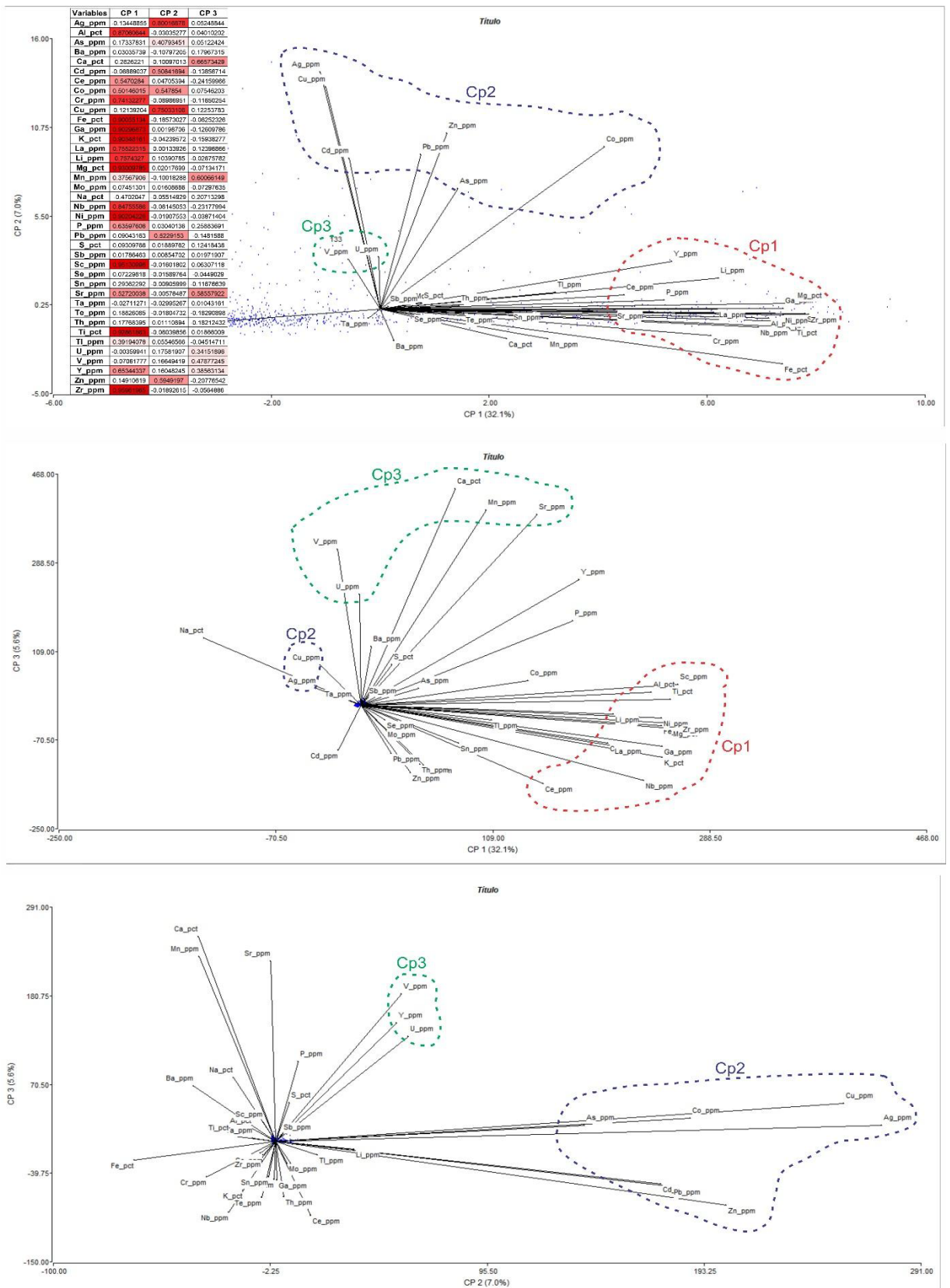
	Ag	Al	As	Ba	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	U	V	Y	Zn	Zr													
Ag	1.00																																																		
Al	-0.13	1.00																																																	
As	0.21	0.09	1.00																																																
Ba	-0.06	0.04	0.02	1.00																																															
Ca	-0.07	0.22	0.01	0.01	1.00																																														
Cd	0.20	-0.04	0.09	-0.05	-0.04	1.00																																													
Ce	-0.01	0.45	0.08	0.02	0.15	0.03	1.00																																												
Co	0.42	0.40	0.28	-0.03	0.07	0.13	0.15	1.00																																											
Cr	-0.12	0.60	0.11	0.05	0.11	-0.12	0.37	0.31	1.00																																										
Cu	0.88	-0.11	0.22	-0.05	-0.04	0.21	-0.04	0.31	-0.12	1.00																																									
Fe	-0.25	0.61	0.08	0.03	0.21	-0.14	0.37	0.38	0.67	-0.27	1.00																																								
Ga	-0.12	0.78	0.11	0.05	0.11	-0.05	0.47	0.47	0.64	-0.08	0.82	1.00																																							
K	-0.13	0.76	0.11	0.00	0.19	-0.09	0.56	0.38	0.65	-0.13	0.84	0.65	1.00																																						
La	-0.05	0.65	0.15	0.05	0.22	-0.07	0.72	0.27	0.58	-0.04	0.58	0.64	0.76	1.00																																					
Li	-0.07	0.63	0.16	-0.04	0.07	0.02	0.23	0.53	0.56	-0.03	0.67	0.72	0.52	0.37	1.00																																				
Mg	-0.15	0.79	0.14	-0.03	0.18	-0.04	0.42	0.53	0.65	-0.12	0.84	0.69	0.82	0.62	0.46	1.00																																			
Mn	-0.08	0.29	0.06	0.04	0.28	-0.07	0.17	0.13	0.24	-0.05	0.29	0.21	0.23	0.26	0.24	0.27	1.00																																		
Mo	0.01	0.09	0.06	-0.05	0.02	0.01	0.04	0.02	0.10	0.01	0.08	0.03	0.04	0.03	0.08	0.06	0.04	1.00																																	
Na	0.02	-0.28	-0.11	0.22	-0.18	0.05	-0.41	-0.19	0.29	0.02	0.36	0.36	0.62	0.53	-0.23	-0.50	-0.16	-0.04	1.00																																
Nb	-0.13	0.66	0.12	0.02	0.11	-0.08	0.60	0.34	0.66	-0.13	0.74	0.79	0.84	0.76	0.57	0.75	0.21	0.06	-0.43	1.00																															
Ni	-0.13	0.77	0.15	0.01	0.19	-0.07	0.37	0.48	0.75	-0.13	0.84	0.81	0.79	0.60	0.75	0.86	0.30	0.10	-0.42	0.72	1.00																														
P	-0.09	0.49	0.11	0.02	0.35	-0.03	0.29	0.35	0.40	-0.07	0.53	0.52	0.53	0.44	0.45	0.58	0.36	0.01	-0.31	0.43	0.57	1.00																													
Pb	0.21	0.06	0.13	-0.02	-0.03	0.24	0.12	0.15	0.03	0.12	0.04	0.08	0.10	0.05	0.04	0.07	-0.03	0.03	-0.08	0.04	0.05	0.09	1.00																												
S	0.02	0.01	0.04	0.21	0.08	-0.03	0.06	0.05	0.09	0.04	0.04	0.11	0.08	0.10	0.06	0.06	0.03	0.01	0.02	0.09	0.08	0.07	0.01	1.00																											
Sb	-0.01	-0.03	0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.04	0.05	0.02	-0.01	-0.01	0.08	0.00	-0.03	0.06	0.05	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.02	-0.01	-0.01	0.17	1.00																										
Sc	-0.13	0.68	0.14	0.04	0.26	-0.08	0.43	0.47	0.67	-0.11	0.90	0.67	0.84	0.64	0.75	0.88	0.35	0.05	-0.35	0.70	0.66	0.58	0.08	0.06	0.01	1.00																									
Se	-0.01	0.05	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.02	0.04	0.05	-0.02	0.08	0.07	0.07	0.02	0.06	0.07	0.00	0.02	-0.03	0.07	0.07	0.04	0.00	-0.01	0.00	0.07	1.00																								
Sn	-0.05	0.30	0.02	0.00	0.05	0.09	0.26	0.07	0.23	-0.04	0.24	0.22	0.26	0.18	0.19	0.22	0.11	0.08	-0.08	0.22	0.21	0.10	0.01	0.05	-0.01	0.27	0.08	1.00																							
Sr	-0.08	0.60	0.12	0.19	0.48	-0.05	0.17	0.31	0.32	-0.03	0.45	0.42	0.33	0.33	0.39	0.44	0.42	0.02	0.09	0.29	0.43	0.37	-0.02	0.16	0.02	0.55	0.00	0.13	1.00																						
Ta	-0.01	0.00	-0.02	0.03	-0.01	0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02	0.05	-0.02	-0.03	-0.01	-0.02	0.00	0.00	-0.02	0.00	-0.01	0.01	1.00																						
Te	-0.03	0.13	0.01	0.01	0.00	-0.03	0.13	0.07	0.21	-0.05	0.18	0.18	0.16	0.13	0.13	0.16	0.02	-0.04	-0.08	0.20	0.19	0.06	0.05	-0.03	-0.01	0.15	-0.01	0.11	-0.02	-0.01	1.00																				
Th	-0.01	0.09	0.05	-0.06	-0.04	-0.02	0.20	0.06	0.15	-0.02	0.13	0.18	0.19	0.20	0.11	0.15	0.00	0.06	-0.08	0.25	0.12	0.02	0.02	0.09	0.00	0.14	-0.01	-0.05	0.04	-0.01	-0.02	1.00																			
Ti	-0.15	0.62	0.13	0.08	0.21	-0.10	0.36	0.45	0.71	-0.13	0.83	0.87	0.78	0.60	0.78	0.87	0.33	0.03	-0.24	0.56	0.58	0.54	0.04	0.08	0.04	0.07	0.23	0.58	-0.01	0.16	0.16	1.00																			
U	-0.06	0.29	0.10	0.02	0.01	0.01	0.10	0.18	0.23	-0.04	0.34	0.33	0.35	0.20	0.36	0.37	0.07	-0.06	-0.11	0.32	0.31	0.24	0.06	-0.01	-0.01	0.40	0.00	0.20	0.13	-0.02	0.05	0.05	0.43	1.00																	
Tl	0.07	-0.02	0.02	0.05	0.00	-0.01	-0.07	0.04	-0.03	0.04	-0.04	-0.03	-0.02	-0.07	-0.04	-0.03	-0.02	-0.03	0.06	-0.06	-0.03	-0.01	0.13	0.01	0.00	0.01	-0.01	-0.02	0.07	0.00	-0.01	-0.02	0.07	1.00																	
V	0.07	-0.06	0.03	-0.06	0.02	-0.02	-0.19	0.04	-0.12	0.15	-0.18	-0.12	-0.11	-0.15	-0.01	-0.07	0.03	-0.09	0.05	-0.14	-0.07	0.02	-0.01	-0.03	-0.01	0.02	0.00	-0.08	0.22	-0.01	-0.05	-0.04	-0.05	0.08	0.24	1.00															
Y	-0.01	0.54	0.19	0.02	0.34	-0.05	0.37	0.38	0.39	0.03	0.49	0.52	0.59	0.55	0.38	0.55	0.34	0.03	-0.40	0.49	0.53	0.58	0.11	0.08	-0.01	0.60	0.03	0.12	0.44	-0.02	0.07	0.10	0.51	0.20	0.49	0.25	1.00														
Zn	0.19	0.13	0.17	-0.04	-0.03	0.47	0.15	0.29	0.03	0.12	0.05	0.12	0.10	0.09	0.18	0.16	-0.02	0.00	-0.07	0.09	0.12	0.08	0.60	0.00	0.00	0.12	0.00	0.08	0.04	-0.01	0.07	0.02	0.09	0.11	0.01	-0.05	0.08	1.00													
Zr	-0.14	0.67	0.15	0.04	0.22	-0.05	0.51	0.45	0.68	-0.13	0.83	0.88	0.79	0.70	0.60	0.31	0.08	-0.42	0.51	0.68	0.66	0.08	0.08	0.01	0.08	0.35	0.49	-0.01	0.18	0.15	0.40	-0.02	-0.08	0.56																	

Por medio del análisis de componentes principales se definieron 3 grupos de elementos afines en función de la correlación de cada elemento con las variables originales (Fig.58). Estos grupos se pudieron interpretar como vinculados a tres grados de intensidad de la alteración tipo *bleaching*, lo que se comprobó al analizar el contenido de dichos elementos y compararlo con la intensidad de la alteración descrita en el logeo geológico. Estos grupos son:

Componente principal 1: Al, Ce, Cr, Fe, Ga, K, La, Li, Mg, Na, Nb, Ni, P, Sc, Sn, Ti, Tl, Y, Zr. Este grupo explica la mayor parte de la variabilidad del conjunto con un 32.1% y se interpreta vinculado a las rocas que no han sufrido alteración por circulación de fluidos reductores (facies de areniscas rojas o red beds).

Componente principal 2: Ag, As, Cd, Co, Cu, Pb, Zn. A este grupo se asocian los elementos metálicos vinculados a la mineralización en rocas con alteración tipo *bleaching* intensa (facies de areniscas blancas).

Componente principal 3: Ba, Ca, Mn, Sr, U, V. Asociado a zonas de transición entre rocas inalteradas y rocas con alteración *bleaching* intensa (facies de areniscas grises), donde se concentra la mineralización de V-U vinculada a niveles con alto contenido de hidrocarburo.



**Fig.58:** Análisis de componentes principales (CP) en sondajes de aire reverso. Se muestra la tabla de correlaciones de cada elemento con la variable original, y los gráficos CP1-CP2, CP1-CP3 y CP2-CP3.



Con base en lo antes expuesto, y considerando que las asociaciones de elementos obtenidos en el análisis de componentes principales se relaciona con el grado de alteración de las rocas, se realizó una comparativa entre valores medios y mínimos, máximos, medianas y percentiles de una selección de elementos incluyendo los de interés económico (Cu, V, Ag, U), algunos elementos mayoritarios como Al, Ca, Fe, K y Mg, y otros elementos metálicos presentes en el depósito en cantidades bajas (Ba, Co, Pb, Zn), todo ello en relación con el grado o intensidad de alteración de la roca descrita en el logueo de los sondajes. Esto se plasmó en gráficos de líneas y diagramas de cajas y bigotes (Fig.59).



**Fig.59:** Diagrama de valor medio escalado (arriba) y cajas y bigotes (abajo) de una selección de elementos de interés, clasificados por el grado de alteración de la roca, tomado del logueo geológico de los sondajes.

Se observó una tendencia del Cu (y Ag) a aumentar proporcionalmente conforme aumenta la intensidad de la alteración tipo bleaching, con los mínimos valores en roca inalterada y los máximos en roca con alteración tipo bleaching intensa. Respecto al V, muestra los valores más altos en roca con alteración transicional (bleaching débil a moderado en el logueo geológico).

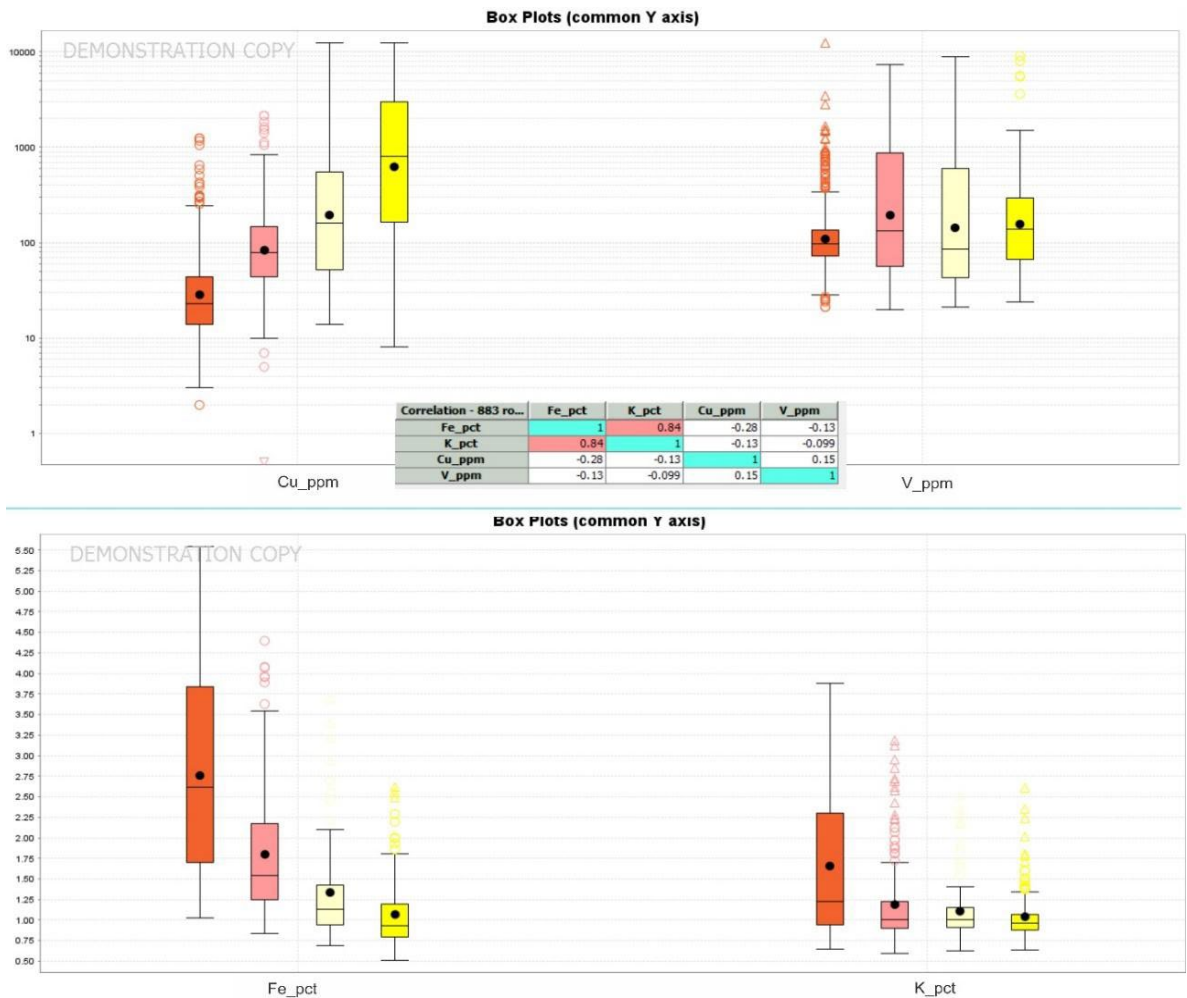
En cuanto al resto de los elementos analizados, se destaca como interesante el comportamiento de dos elementos mayoritarios que se encuentran en gran proporción en las rocas del depósito: Fe y K. Para ambos elementos se observó un comportamiento inverso al del Cu, es decir una tendencia a disminuir conforme aumenta la intensidad de la alteración (Fig.60), con los valores más elevados en roca inalterada y valores mínimos en roca con alteración intensa.

El comportamiento del Fe se explica por la elevada cantidad de este elemento en areniscas inalteradas (red beds) en forma de recubrimientos o "coatings" de hematita, como mineral diagenético. La circulación de los fluidos reductores que generan la alteración tipo *bleaching*, disuelven la hematita reduciendo el  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ . El  $Fe^{2+}$  es lixiviado de las rocas, generando la decoloración de éstas (Surdam et al., 1993). Conforme aumenta la intensidad de alteración, el grado de lixiviación de la hematita es mayor.

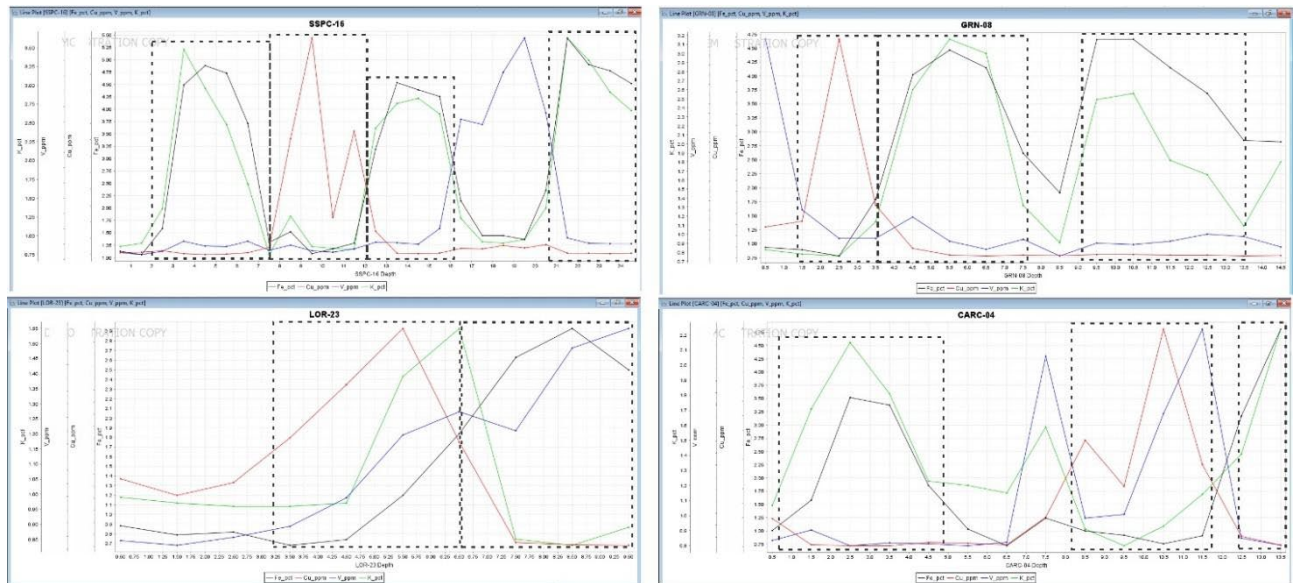
Respecto al K, se encuentra presente en areniscas inalteradas en forma de clastos de feldespato potásico. Considerando que las rocas de la Fm. Huincul son mayormente arcosas o litoarenitas feldespáticas, la proporción de este mineral es importante. No obstante, en rocas con alteración el feldespato es destruido y reemplazado por esmectita (montmorillonita), con una proporción que aumenta con la intensidad de la alteración.

El comportamiento mencionado de los elementos Cu, Fe y K se traduce en un coeficiente de correlación muy alto para Fe y K (0.84) y una correlación negativa entre Cu y Fe-K (Fig.60). El V también muestra correlación negativa con Fe y K, pero con valores mucho más bajos.

Considerando lo anterior, se plotearon los elementos Cu, Fe, K y V en gráficos de ley vs profundidad para distintos sondajes de aire reverso (Fig.61). Se observa con mucha frecuencia que los “picos” generados por valores elevados de Cu coinciden con bajos o “depresiones” en los valores de Fe y K, y viceversa, generándose en los gráficos sectores de “expansión” (Fig.61). El V, por otro lado, es más errático y en general sus picos se observan adyacentes a los de Cu.



**Fig.60:** Diagrama de cajas y bigotes de Cu y V en escala logarítmica (arriba) y Fe y K en escala normal porcentual (abajo). Se observa para el primer caso una tendencia creciente con el grado de alteración, mientras que en el Fe y K se observa un comportamiento opuesto. En el centro de la imagen se encuentra la matriz de coeficientes de correlación entre los elementos en analizados.



**Fig.61:** Gráficos de línea de contenido de elementos de interés (Cu-V-Fe-K; eje vertical) en función de la profundidad (eje horizontal) en una selección de 4 sondajes de aire reverso (SSPC-16, GRN-08, LOR-23 y CARC-04). Se observa en los gráficos varios sectores de “expansión”, en donde altos de Cu (línea roja) coinciden con bajos de Fe (línea negra) y K (línea verde), y viceversa. Estos sectores se han marcado con rectángulos de línea discontinua, de color negro. El V (línea azul) es más errático y sus valores suelen encontrarse adyacentes a los altos de Cu. Los valores de Cu y V se han ocultado en la escala vertical, por razones de confidencialidad.

Esto hace de los elementos Fe y K dos importantes indicadores de zonas de alteración-mineralización, en las que sus valores disminuyen abruptamente. Considerando que son elementos propensos a ser detectados mediante técnicas geofísicas, su aplicación puede ser útil para detectar potenciales zonas mineralizadas en subsuelo. Si se tiene en cuenta que la hematita (mineral portador de la mayor parte del Fe del depósito) tiene propiedades de conductividad eléctrica y el K (presente en feldespatos) es un elemento radioactivo (a través de su isótopo K-40), la aplicación de una combinación de métodos geofísicos de tomografía eléctrica y radimetría será especialmente útil, en aquellas zonas que muestren resistividades altas (entre 300 y 6000 ohm.m, de acuerdo a Bregman y Lazzari, 2012) con bajos en la concentración de K, que podrían constituir importantes blancos de exploración, al reflejar posibles zonas con alteración tipo *bleaching* intensa (Fig. 62), donde se aloja la mineralización de Cu. Las zonas inalteradas, por otro lado, deberían mostrar valores de resistividad relativamente bajos (por la naturaleza conductiva de la hematita) y altas concentraciones de K (por el gran contenido de clastos con feldespato potásico en las areniscas del Grupo Neuquén).

Los niveles ricos en mineralización de V no podrían ser detectados de forma directa con este método, pero sí de forma indirecta; ya que suelen hallarse por debajo de los niveles más intensamente alterados. El U, que en ocasiones se encuentra asociado al V en niveles de alteración transicional, también puede ser detectado a través de radimetría y podría ser un complemento en la búsqueda de zonas mineralizadas a través de geofísica.



*Fig.62: Muestras de mano de areniscas de la Fm. Huincul, en las que se observa un aumento en la intensidad de la alteración de izquierda a derecha, con la consiguiente disminución en el contenido de hematita (por lixiviación) y destrucción de los feldespatos (que se alteran a esmectita). El resultado es un aumento en la resistividad y una disminución en la concentración de K de la roca, rasgos que pueden ser detectados por métodos geofísicos.*

### 7.3 Programa QA / QC

A efectos de realizar un control y aseguramiento de la calidad de las muestras enviadas al laboratorio, se insertaron muestras de control, tanto duplicados como estándares y blancos, para corroborar respectivamente la precisión, exactitud y contaminación en el proceso de muestreo y de análisis del laboratorio.

Las muestras duplicado se insertaron con una frecuencia de cada 20 muestras regulares. Para el caso de las muestras de diamantina, no se introdujeron en el proceso de muestreo, sino que se encargó al laboratorio realizar duplicados gruesos

con la frecuencia anteriormente mencionada. Se hizo de esta forma para asegurarse de que las muestras mantengan una buena representatividad y además conservar un respaldo de medio testigo de todas las muestras enviadas, en sus respectivas cajas. Respecto a las muestras de aire reverso, los duplicados se obtuvieron en el proceso de cuarteo y se introdujeron sistemáticamente cada 20 muestras regulares.

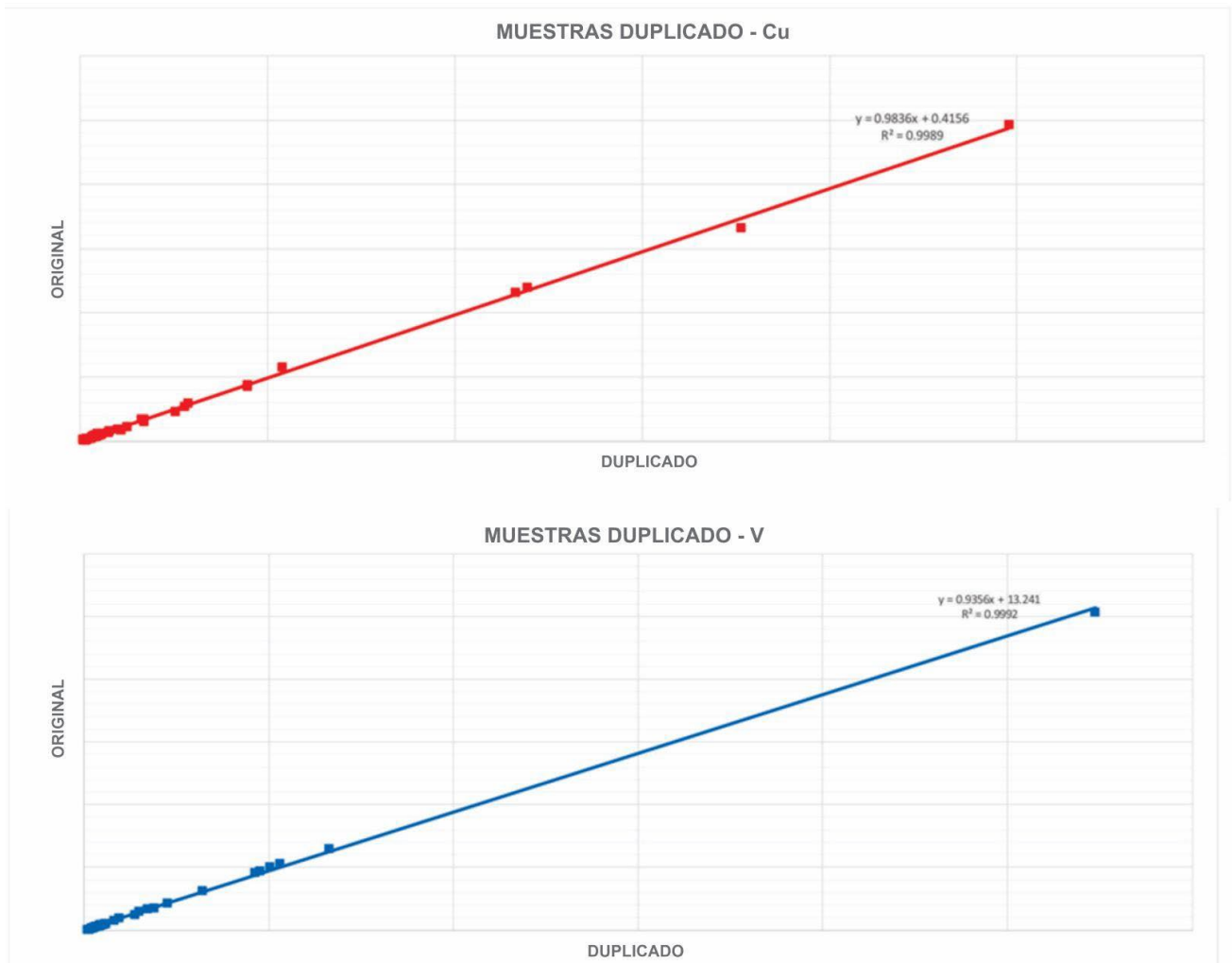
Los resultados de las muestras duplicado muestran una precisión aceptable en el muestreo y el análisis de laboratorio (Fig.63). Para el caso del Cu se consideraron las muestras con leyes de más de 100 ppm, ya que, en muestras con valores muy bajos, diferencias de unos pocos ppm representan un error porcentual muy grande, lo que sesga el análisis. Se tienen en total 14 muestras, en las que el error obtenido es en promedio 4% y en general inferior al 10%, con sólo una muestra superando dicho porcentaje (de 170 ppm la original y 151 ppm el duplicado, con un error del 11%). Cuanto mayor es la ley, menor es el error, con la muestra de mayor valor mostrando un error de 0.5% (2478 ppm la original y 2464 ppm el duplicado). Respecto al V, el error es aún menor. Incluso si se consideran las muestras con valores de ley menores a 100ppm, de un total de 46 muestras sólo una presenta un error superior a 10% (de 86 ppm la original y 95 ppm el duplicado, con un error de 10.5%), siendo el promedio de error total de 2%.

Las muestras estándar se insertaron sistemáticamente cada 20 muestras regulares, tanto en muestras de diamantina como de aire reverso. Se utilizó un material certificado adquirido a la compañía australiana OREAS, de código "OREAS 903", con una ley de Cu de 0,671% y una desviación estándar de 0.02, empaquetada en sobres de 60 gramos de peso.

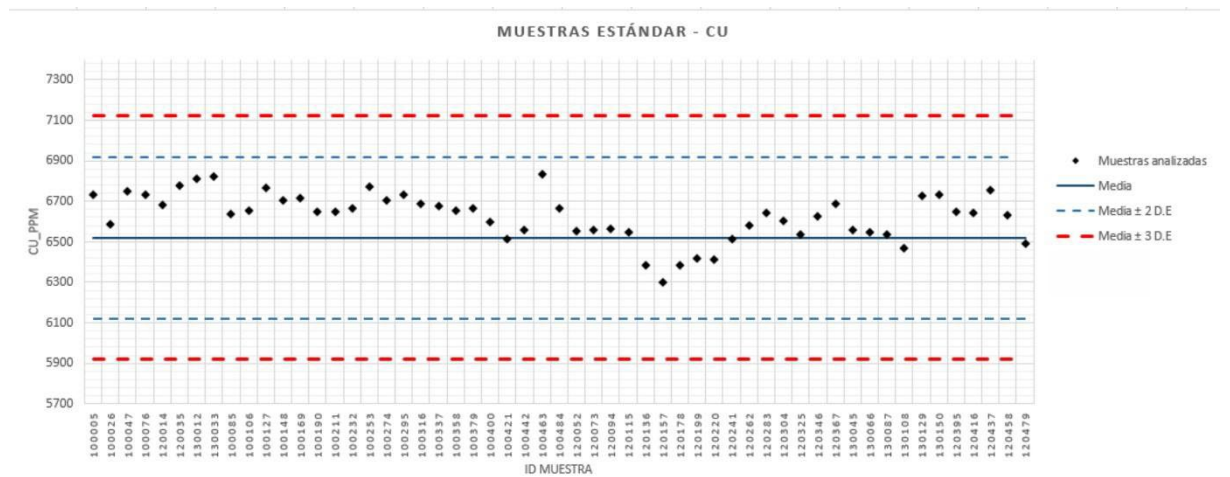
Los resultados muestran una tendencia por parte del laboratorio a sobreestimar los valores por encima de la media (Fig.64). Sin embargo, la precisión del análisis es aceptable, ya que ninguna muestra posee un valor que exceda la media  $\pm 2$  veces la desviación estándar. Por otro lado, de un total de 56 muestras estándar, solo 14 exceden el valor de ley de la media  $\pm 1$  desviación estándar.

Las muestras blanco se insertaron sistemáticamente con una frecuencia de cada 70 muestras regulares. Se utilizaron esquirlas de cuarzo blanco puro adquirido en una cantera en la provincia de San Juan. Los resultados de laboratorio de estas muestras

fueron aceptables, no habiendo en ningún caso valores de ley que supongan una posible contaminación en el proceso de análisis (Fig.65).

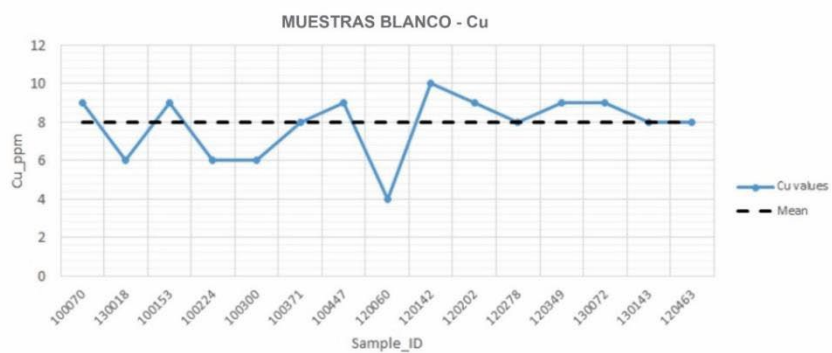


**Fig.63:** Gráfico de control de precisión por medio de muestras duplicado, tanto para Cu como para V.



**Fig.64:** Gráfico de control de exactitud, por medio de muestras estándar.

Sample_ID	Cu	V	Ag
100070	9	<1	<0.5
130018	6	4	<0.5
100153	9	<1	<0.5
100224	6	<1	<0.5
100300	6	<1	<0.5
100371	8	<1	<0.5
100447	9	<1	<0.5
120060	4	<1	<0.5
120142	10	<1	<0.5
120202	9	<1	<0.5
120278	8	<1	<0.5
120349	9	<1	<0.5
130072	9	<1	<0.5
130143	8	<1	<0.5
120463	8	<1	<0.5

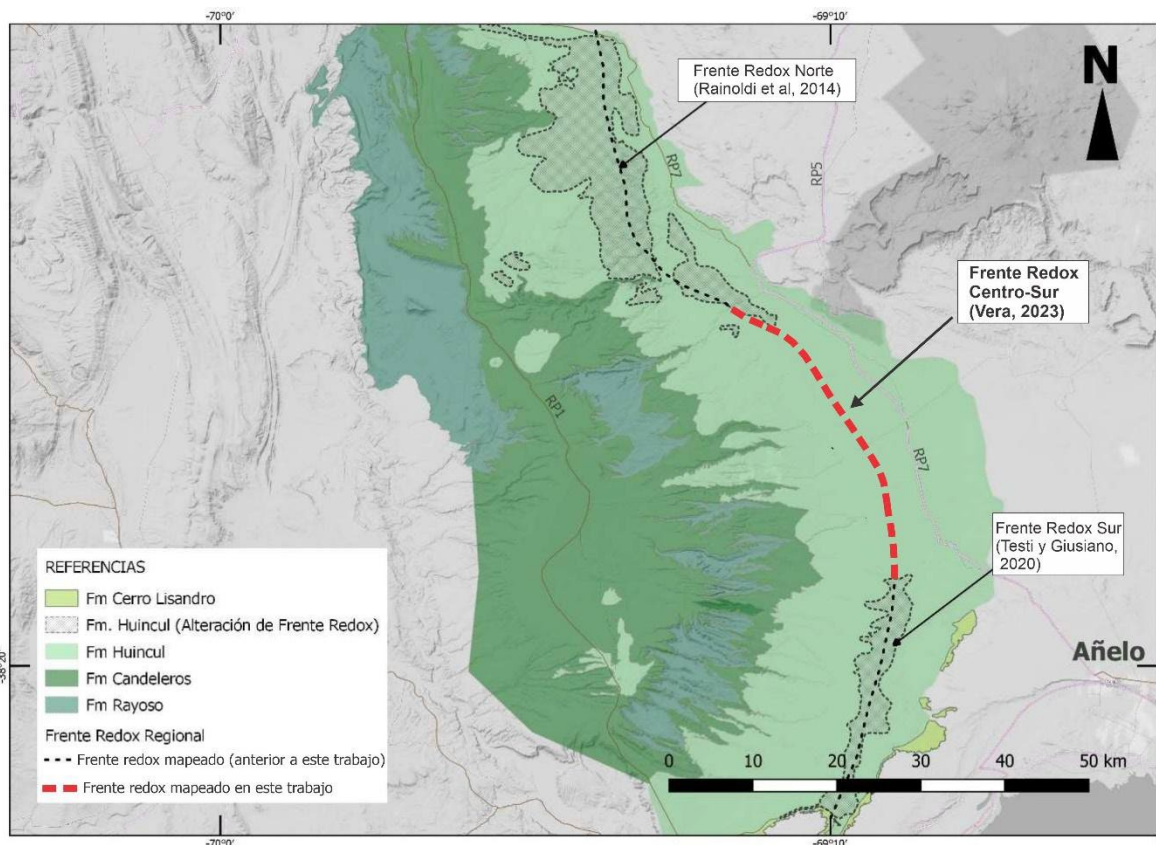


**Fig.65:** Planilla y gráfico de control de contaminación por medio de muestras blanco.



## CAPITULO 8: DISCUSIÓN

1- Tanto el relevamiento de superficie como los sondajes realizados en el flanco oriental del DCh permitieron confirmar la presencia de una faja mineralizada asociada a un frente redox regional a lo largo del flanco oriental del braquianticlinal. Este frente, de orientación paralela al eje del pliegue (NNO-SSE) ya había sido definido por Rainoldi et al. (2014) en el sector norte del Dch, mientras que Testi y Giusiano (2020) confirmaron su presencia en el extremo sur del Dch. Este trabajo ha permitido definir la extensión del frente redox en la zona centro-sur del Dch (Fig.66), mediante la presencia de estratos alterados y mineralizados con presencia de bitumen asociado. Esto permite actualmente mapear este frente redox a lo largo de más de 100 km, lo que implica que hubo una gran circulación de fluidos hidrocarbúferos en la región. El frente redox constituyó una gran trampa reductora a nivel regional para depositación de mineralización metálica. Con ello, y considerando las ocurrencias históricas de Cu-V (U) en la Cuenca Neuquina, será de gran importancia mapear los frentes de oxidación-reducción en distintas áreas de la cuenca, a partir de la alteración de las rocas hospedantes y los remanentes de hidrocarburos, para descubrir nuevos depósitos con potencial económico.

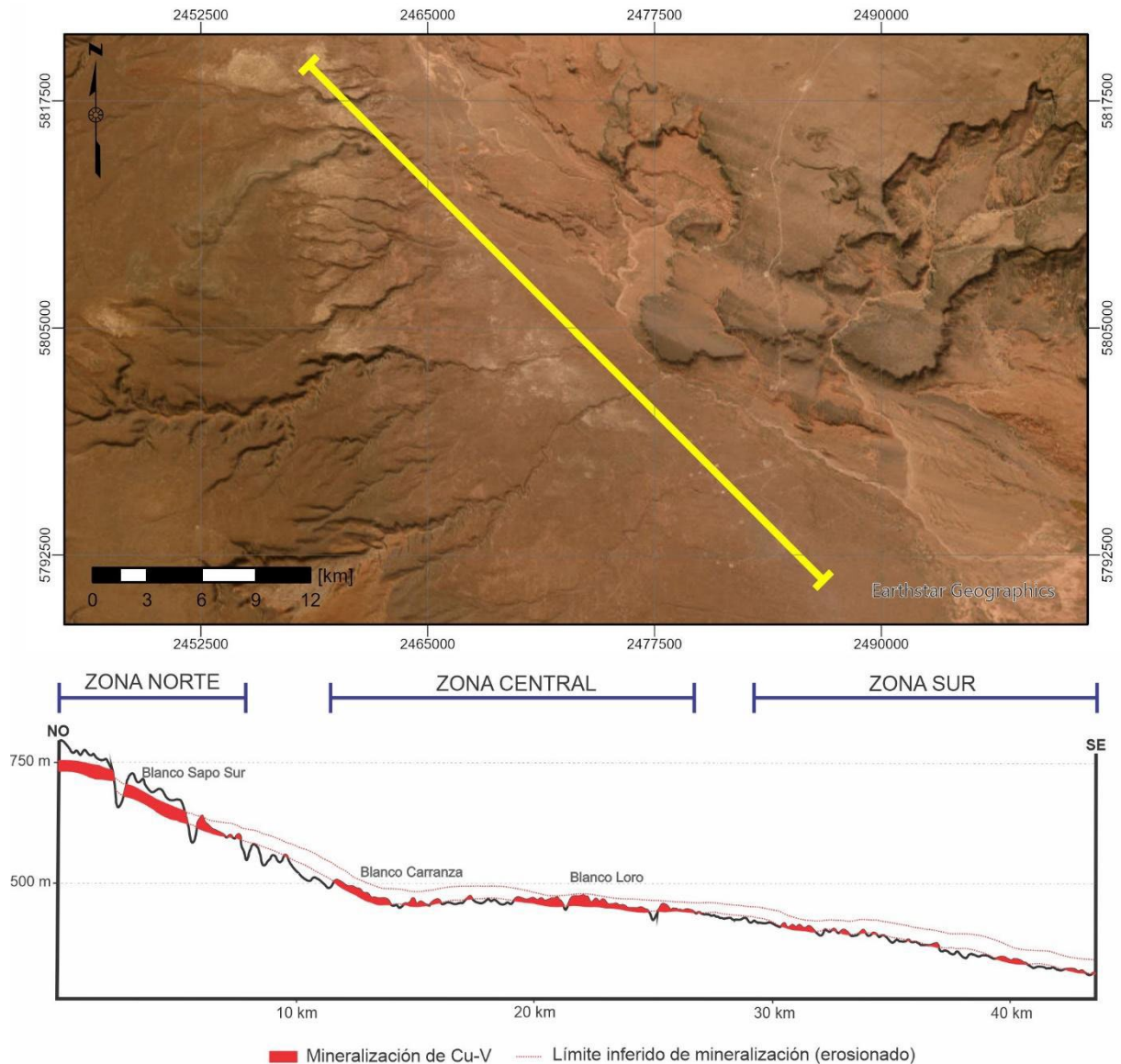


**Fig.66:** Mapa del Dorso De Los Chihuidos con el frente redox regional mapeado en trabajos anteriores (Rainoldi et al, 2014 y Testi & Giusiano, 2020) y en este trabajo. Modificado de Testi & Giusiano, 2020.

- 2- A lo largo del flanco oriental del DCh se han reconocido diferentes zonas en las que la erosión ha actuado en mayor o menor magnitud sobre el miembro medio de la Fm. Huincul, afectando el espesor y la profundidad a la que se encuentran los niveles mineralizados. En ese contexto, se pueden distinguir al menos 3 distintos niveles de erosión (Fig.67):
- Un nivel de erosión superficial, en el que se han conservado los estratos alterados de la formación Huincul con una gran continuidad lateral, y donde la mineralización se encuentra a profundidades variables de entre 15 a 35 metros de profundidad. Este nivel se encuentra en la porción norte y corresponde a la zona que abarca los blancos Sapo Norte, Sapo Sur y Grillo, y sectores de los cateos prospectados Sapito y Tortuga.
  - Un nivel de erosión intermedio, en el cual los estratos alterados tienen menor continuidad lateral y la mineralización se encuentra en sectores expuesta y hasta a 10 - 15 metros de profundidad. Este nivel se encuentra en la zona

central y abarca los sectores correspondientes a los blancos Loro, Carranza y posiblemente los cateos prospectados Maras I, Maras II y Loro I.

- Un nivel de erosión profundo, donde probablemente se han removido los estratos mineralizados de la formación Huincul, quedando sólo algunos remanentes superficiales. Esta zona se encuentra hacia el sur y corresponde a los cateos prospectados Halcón 1, Brujas, HV5 y HV7.



**Fig. 67:** Perfil regional esquemático (simplificado) donde se ilustran los 3 distintos niveles de erosión a lo largo del flanco oriental del Dorso De Los Chihuidos, correspondientes a la Zona Norte, Zona Central y Zona Sur. Para tener una correcta visualización, la escala vertical se ha exagerado 20 veces, mientras que el espesor de la mineralización de Cu-V se ha exagerado 5 veces.

## CAPITULO 9: CONCLUSIONES

- El procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales, específicamente mediante el uso del índice creado a partir de las bandas 2, 4 y 8 en imágenes Aster, se ha demostrado eficaz para identificar rocas con alteración tipo bleaching, relacionadas con la mineralización de Cu-V en el Dorso De Los Chihuidos. Este método se podría extrapolar a otros sectores de la Cuenca Neuquina. En el sector de trabajo, esta técnica permitió distinguir 3 targets regionales de prospección según la abundancia y distribución de las rocas con potencial alteración. Estas se clasificaron como Zona Norte, Zona Central y Zona Sur.
- La prospección en las Zonas Norte y Central reveló extensas áreas de rocas alteradas con mineralización y valores anómalos altos de Cu y V, principalmente asociados a tendencias estructurales en dirección NO-SE.
- En la Zona Sur, se encontraron evidencias de mineralización en niveles superficiales someros, pero con una distribución más irregular, posiblemente debido a una erosión intensa en esta región. Las anomalías más altas de Cu y V han sido identificadas en esta zona, con anomalías puntuales de Au y Pd. Esto la hace interesante para continuar con la prospección.
- El mapeo geoquímico y las observaciones geológicas permitieron identificar cuatro áreas prometedoras de entre 3 a 5 km<sup>2</sup> para avanzar a una etapa de exploración, siendo Carranza el primer blanco en iniciar trabajos de perforación con el método de aire reverso. Además, múltiples sectores muestran potencial para continuar con trabajos de prospección (Fig.68).
- Los análisis de sondajes gemelos de diamantina contribuyeron a acotar la extensión y a aumentar la confianza en los niveles con mineralización de Cu-V en tres de los blancos de exploración avanzada.
- La mineralización de Cu-V se observó principalmente en areniscas de facies de canal en sistemas fluviales meandriformes del Grupo Neuquén, así como en el contacto entre paquetes de areniscas compactas y pelitas friables, y rellenando fracturas. Los minerales de Cu se observaron mayormente como productos oxidados (crisocola>malaquita>brocantita>atacamita>azurita), y en algunos casos se observó calcosina hipógena. La mineralización de V se observó fundamentalmente como

volbortita y roscoelita, y otros minerales arcillosos no identificados, en general asociados a bitumen.

- La diferencia entre los análisis de laboratorio (ICP-AR vs. ICP-MA) sugiere que los recursos de V han sido subestimados en estudios anteriores, debido a la ineffectividad del agua regia para diluir completamente al V, que se hallaría dentro de la estructura de silicatos.

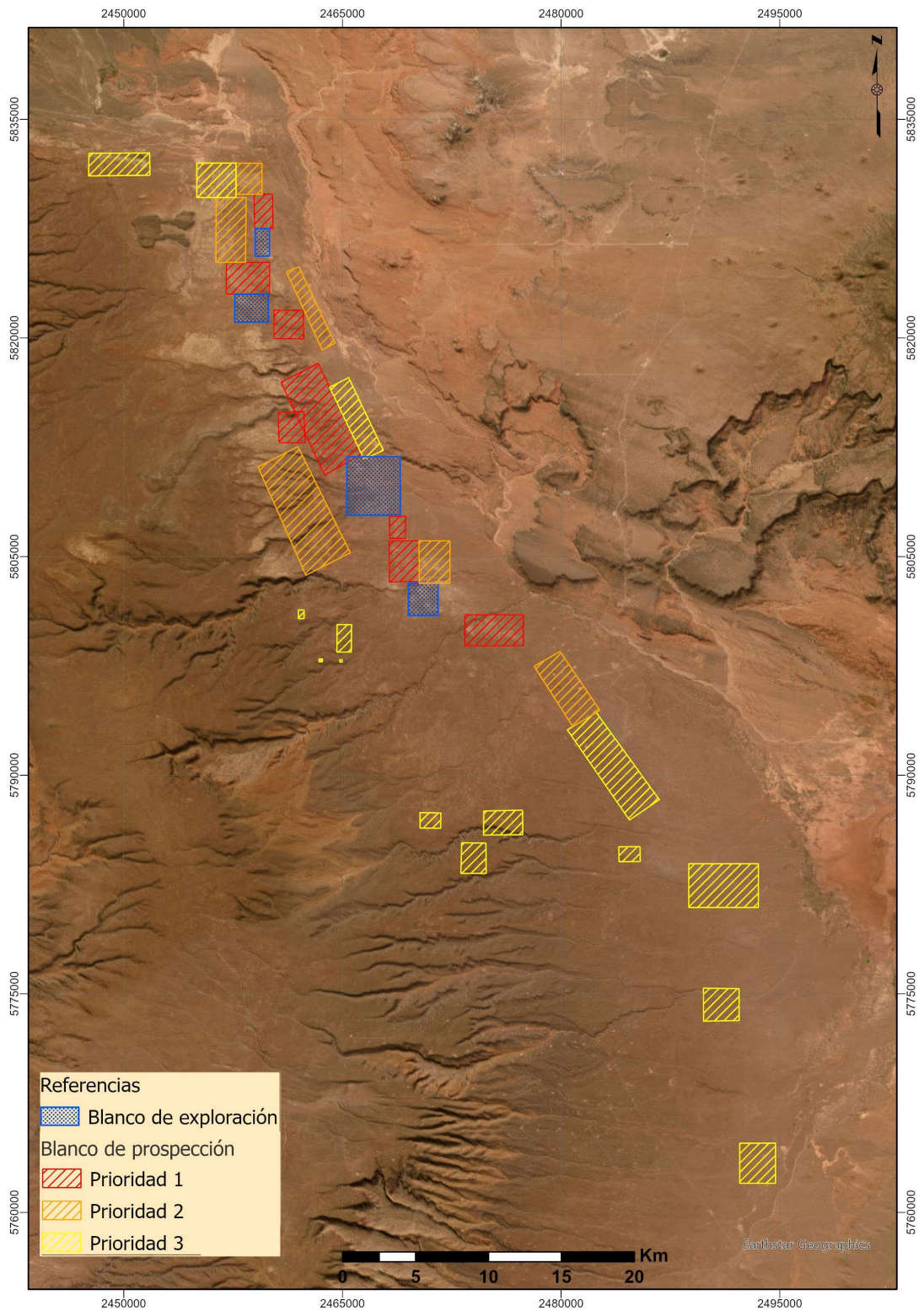
- Los sondajes de aire reverso permitieron acotar la extensión lateral y vertical de los niveles con mineralización de Cu-V y aumentar el nivel de confianza de estos, en 3 de los blancos de exploración avanzada ubicados en el Dorso De Los Chihuidos (Sapo Sur, Grillo Norte, Loro).

- Los análisis multivariados realizados sobre la geoquímica de muestras de aire reverso revelaron una correlación lineal significativa entre los elementos Cu y Ag, y una correlación muy baja entre Cu-Ag y V, indicando dos mecanismos de transporte y depositación diferentes para estos elementos.

- El contenido de Cu en las rocas analizadas del Gp. Neuquén es directamente proporcional al grado o intensidad de la alteración de estas; mientras que los elementos mayoritarios Fe y K tienen un comportamiento inversamente proporcional al grado de alteración.

- Los niveles de roca más ricos en mineralización de Cu presentan un empobrecimiento en los elementos Fe y K. La aplicación de métodos geofísicos propensos a detectar estos elementos, como resistividad y radiometría, podría constituir un método de prospección eficaz para la detección de potenciales niveles mineralizados, buscando sectores con una combinación de alta resistividad y bajos de K radiométrico.

- El programa de control de calidad (QA-QC) mostró que los procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio son precisos y exactos, lo que garantiza la integridad de los datos obtenidos en las perforaciones.



**Fig.68:** Áreas definidas en el Dorso De Los Chihuidos en función de los trabajos de prospección regional, con potencial para avanzar a una etapa de exploración o continuar con tareas de prospección. En este último caso se han clasificado en orden de prioridad, de acuerdo a las probabilidades de hallar potenciales recursos de Cu-V.

## CAPITULO 10: RECOMENDACIONES

Se propone una serie de recomendaciones para futuras campañas en el Dorso De Los Chihuidos:

- Para las áreas de interés definidas a partir de la etapa de prospección en la Zona Norte y Zona Central, se recomienda hacer un mapeo de detalle (escala 1:5000 o menor), poniendo énfasis en el reconocimiento de facies sedimentarias y estructuras que puedan haber canalizado fluidos mineralizantes; junto con una densificación del muestreo de superficie. Posteriormente se debería realizar un programa de sondajes someros de aire reverso, cuya ubicación dependerá del trabajo anterior, aunque en principio se recomienda hacer líneas de sondajes orientadas NO-SE (de acuerdo a la orientación de los paleocanales y de la mayoría de las estructuras observadas) con una distancia entre pozos de no más de 200 metros.
- Se recomienda continuar con trabajos de prospección (mapeo litológico y de alteraciones, mineralización, muestreo selectivo) principalmente en las Zonas Norte y Central, en sectores donde el procesamiento de imágenes multiespectrales ha demostrado la presencia de potenciales rocas alteradas, y que aún no se han podido recorrer.
- La Zona Sur no mostró niveles mineralizados de extensión significativa. No obstante, la presencia de niveles de limitada extensión y muy alta ley de Cu-V (con anomalías de Ag, Au, Pd) a lo largo de más de 20 km despierta el interés en continuar con la prospección en este sector. En particular, se recomienda aplicar métodos geofísicos de resistividad y radimetría, para detectar posibles niveles mineralizados a mayor profundidad. Para el caso de la resistividad, se sugiere hacer perfiles geofísicos orientados primeramente E-O a ligeramente SO-NE.
- También se recomienda aplicar geofísica en las propiedades ubicadas hacia el este del frente redox del Dorso De Los Chihuidos, en sectores donde aflora la Fm. Lisandro y los basaltos cuaternarios del Auca Mahuida; a los fines de hallar posibles niveles alterados y mineralizados en profundidad en estratos de la Fm. Huincul que no han sido exhumados.

Respecto a los blancos de exploración avanzada:

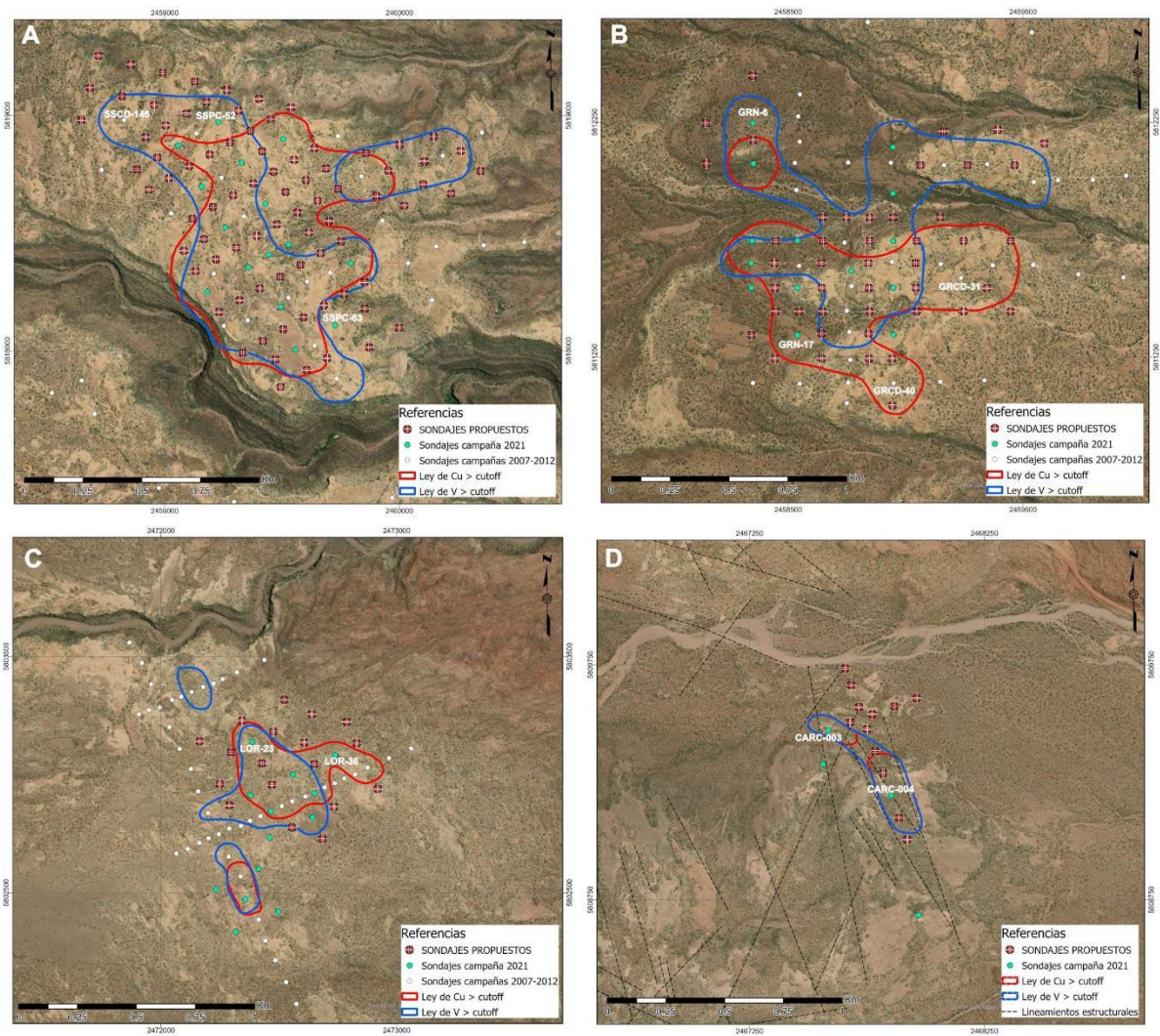
- Considerando que los recursos de Cu y V en estos sectores se han calculado a partir de datos de muestras analizadas en laboratorio con métodos de disolución con agua regia (que subestiman la ley de V), se recomienda realizar un re análisis por el método ICP-MA-42 (digestión con 4 ácidos) de las viejas muestras que se utilizaron para el cálculo de los recursos, o en caso de no poder recuperarlas, realizar análisis ICP-AR-42 (agua regia) a un conjunto de muestras de la campaña 2021, lo suficientemente grande para tener una comparación representativa, y utilizar el valor promedio de las diferencias para hacer un nuevo cálculo de los recursos de V.
- Posteriormente se debería realizar un modelo de bloques con software especializado para obtener un nuevo cálculo de los recursos en función de los sondajes realizados en la última campaña de perforaciones del año 2021. Estos recursos, en los blancos de exploración avanzada Sapo Central, Grillo Norte y Loro, tendrán una categoría de entre indicados a inferidos.
- Para las próximas fases de exploración se propone, para el blanco Sapo Sur, densificar la grilla de sondajes (a 100 metros) dentro del área con recursos indicados, para pasar estos a categoría de medidos. Además, tener en cuenta una posible extensión de la mineralización de V hacia el SE (Fig.69A). Esto se debe a que el sondaje SSPC-63, que no se tuvo en cuenta para delimitar los recursos de V, interceptó leyes muy cercanas al cutoff. Los sondajes gemelos de diamantina demostraron que las leyes pueden variar lateralmente de forma apreciable incluso en el orden de 1 metro, con lo cual posiblemente en esta zona se hallen niveles que superen la ley de cutoff. Lo mismo ocurre con los sondajes SSPC-57 y SSPC-59, y la zona al E de éstos. Considerar también una posible extensión de la mineralización de V hacia el NO (sondajes SSPC-52 y SSCD-146). En zonas con posibilidad de expandir la mineralización, se proponen sondajes distanciados a 200 metros.
- En el caso del blanco Grillo Norte, se propone densificar la grilla de sondajes a 100 m en la zona centro-sur, para re categorizar los recursos a medidos. Esto Incluye la quebrada O-E que atraviesa la zona central, donde la mineralización de V debería encontrarse a poca profundidad (<10 metros). En sectores donde la mineralización se encuentra lateralmente abierta, se proponen sondajes a



200 metros. Esto es, hacia el O del sondaje GRN-17; al N y O del sondaje GRN-6, al SE del sondaje GRCD-31 y al S del sondaje GRCD-40 (Fig.69B).

- La extensión de la mineralización de Cu-V en el blanco Loro se encuentra abierta hacia el NO de los pozos LOR-23 y LOR-36, en la zona ubicada entre las dos líneas de pozos orientadas OSO-ENE. Se recomienda realizar una grilla de sondajes de 200 metros en esta zona (Fig.69C), comenzando por los pozos más cercanos a la zona de recursos delimitados, y expandiéndose luego hacia afuera.

- La mineralización interceptada en el blanco Carranza probablemente tenga continuidad en dirección NO-SE, acorde con una serie de lineamientos estructurales que parecen estar controlando la extensión de la mineralización. Con ello, se recomienda realizar una línea de sondajes a partir del pozo CARC-004, orientada NO-SE (Fig.69D) y a una distancia primeramente de 200 metros y luego de 100 metros; y una línea transversal de sondajes cuya ubicación dependerá de los resultados de la línea NO-SE. También se debería considerar el área al norte del río que atraviesa la parte central del cateo, adonde no se pudo llegar por dificultades de acceso. Será conveniente realizar un mapeo de detalle en este sector (escala 1:5000 o menor), sumando un estudio de detalle de las facies sedimentarias y las estructuras presentes.



**Fig.69:** Propuesta de sondajes para las próximas fases en los blancos de exploración avanzada (A-B-C), donde se propone una grilla de 100 metros para pasar los recursos a categoría de medidas, y una grilla de 200 metros para las zonas donde la mineralización de Cu-V se encuentra lateralmente abierta. A- Blanco Sapo Central; B- Blanco Grillo Norte; C- Blanco Loro. Para el caso del blanco Carranza (D), que se encuentra en una etapa de exploración inicial, se proponen dos líneas de sondajes exploratorios con una distancia de 100 metros entre pozos.

## CAPITULO 11: BIBLIOGRAFIA

Allan, J.R. y Matthews, R.K. (1982). Isotope signatures associated with early meteoric diagenesis. *Sedimentology* 29: 797-817.

Alonso, J. Giusiano, A. E., Chebli G. y Ibáñez G. (2011). "Shale Gas en la Provincia de Neuquén". Sec. de Hidrocarburos, Energía y Minería Neuquén & Phoenix Oil & Gas, S.A.

Ardolino, A., y Franchi, M. (1996). Geología y Recursos Naturales del Departamento de Añelo, provincia del Neuquén, República Argentina: Dirección Nacional del Servicio Geológico, *Anales* 25, p. 1–212.

Bechtel, A., Sun, Y., Püttmann, W., Hoernes, S. y Hoefs, J. (2001). Isotopic evidence for multi-stage base metal enrichment in the Kupferschiefer from the Sangerhausen Basin, Germany: *Chemical Geology*, v. 176, p. 31–49.

Borg, G., Frotzcher, M., y Ehling, B., 2005, Metal content and spatial distribution of Au and PGE in the Kupferschiefer of the Mansfeld/Sangerhausen mining district, Germany, in Mao, J., and Bierlein, F.P., eds., *Meeting the Global Challenge: Mineral Deposit Research*, Beijing, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Biennial SGA Meeting*, v. 2, 885–888.

Borghini, P., Fennell, L., Gómez Omil, R., Naipauer, M., Acevedo, E. y Folguera, A. (2019). The Neuquén group: The reconstruction of a Late Cretaceous foreland basin in the southern Central Andes (35–37°S), *Tectonophysics*, 767, 177-228.

Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett E.C., y Kirkham, R.V., eds., 1989, *Sediment-hosted stratiform copper deposits: Geological Association of Canada, Special Paper*, v. 36, 710 p.

Brandão Silva, S. (2018). Orion del Sur Sedimentary Cu-V Project, Neuquen, Argentina. Preliminary Data Analysis and Integration - Summary Report, November 2018 [Informe de exploración inédito]. Orión Del Sur SA.

Bregman, A. y Lazzari, A.D. (2012). Estudio de tomografía eléctrica multielectrodo (TEM), Proyecto Dorso De Los Chihuidos, Orión Del Sur SA [Informe de exploración inédito]. ADL Servicios Geológicos.

Brown, A.C. (2005). Refinements for footwall red bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model: *Economic Geology*, v. 100, no. 4, p. 765–771.

Brown, A.C. (2009). A process-based approach to estimating the copper derived from red beds in the sediment-hosted stratiform copper deposit model: *Economic Geology*, v. 104, p. 857–868.

Cazau, L. y Uliana, M.A. (1973). El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina: V Congreso Geológico Argentino, v. 3, p. 131–163.

Cevallos, M.F., Giusiano, A., Franchini, M., Rainoldi, A.L., Martínez, R.S., Carbone, O.C. y Alaimo, A.A. (2014). Evidencias de migración terciaria de hidrocarburos en el Dorso de Los Chihuidos, Cuenca Neuquina, Argentina. 9 Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Trabajos técnicos:133–154

Chebli, G., Mendiberri, H., Giusiano, A., Ibáñez, G. y Alonso, J. (2011). El shale gas en la Provincia del Neuquén. Trabajos técnicos 8 Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Trabajos técnicos:669–692.

Corbella, H., Novas, F.E., Apesteguía, S. y Leanza, H.A. (2004). First fission trackage for the dinosaur-bearing Neuquén Group (Upper Cretaceous) Neuquén Basin, Argentina: *Museo Argentino de Ciencias Naturales, Revista*, v. 6, p. 1–6.

Cox, D.P., Lindsey, D.A., Singer, D.A., Moring, Barry y Diggles, M.F. (2003). Sediment-hosted copper deposits of the world—Deposit models and database: U.S. Geological Survey Open-File Report 03–107, version 1.3, 5 p.

Cristallini, E.O., Martínez, J.M., Sanchez, E., Periale Gómez, S. y Loncarich, A. (2005). Evaluación estructural del bloque Bandurria (Provincia del Neuquén, Argentina): Yacimientos Petrolíferos Fiscales, (unpublished), 73 p.

De Ferrariis, C. (1968). El Cretácico del norte de la Patagonia: 3° Jornadas Geológicas Argentinas, v. 1, p. 121–144.

Devaux, C. (2008). Exploration potential for sediment-hosted stratiform copper deposits, Neuquen Basin, Argentina [Informe de exploración inédito]. Orión Del Sur SA.

Ferrer, J.A, Irisarri, J.A, Mendía, J.M (2006). Suelos de la provincia de Neuquén. Buenos Aires: INTA.

Eugster, H. P. (1989). Geochemical environments of sediment-hosted Cu-Pb-Zn deposits *in* Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., Sediment-hosted stratiform copper deposits, Geological Association of Canada Special Paper 36, p. 111-126.

Garrido, A.C. (2010). Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico: Museo Argentino de Ciencias Naturales, Revista, v. 12, p. 121–177.

Garven, G. (1985). The role of regional fluid flow in the genesis of the Pine Point deposit, western Canada sedimentary basin: *Economic Geology*, v. 80, p. 307–324.

Goldhaber, M.B., Reynolds, R.L., Campbell, J.A., Wanty, R.B., Grauch, R.I. y Northrop, R., 1990, Part II. Mechanism of ore and gangue mineral formation at the interface between brine and meteoric water, *in* Northrop, H.R., and Goldhaber,

M.B., eds., Genesis of the Tabular-Type Vanadium–Uranium Deposits of the Henry Basin, Utah: *Economic Geology*, v. 85, p. 236–250

Herrero Duclox, A. (1939). Estratigrafía y tectónica de los Estratos de Dinosaurios del Neuquén: *Boletín Informativo Petrolero*, v. 16, p. 16–17.

Herrero Ducloux, A. (1946). Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extrandino: *Boletín Informativo Petrolero*, v. 23, p. 1–39.

Hitzman, M. W. (2000). Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when, and why, in Porter, T. M., ed., *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits A Global Perspective*, 1: Adelaide, Australia, Australian Mineral Foundation, p. 9-26

Hitzman, M.W., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. y Selley, D., (2005) The sediment-hosted stratiform copper ore system, in Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P., eds., *Economic Geology—One hundredth anniversary volumen 1905-2005*: Boulder, Colorado, Society of Economic Geologists, p. 609–642.

Hitzman, M.W, Selley, D., Bull, S. (2010). Formation of Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits through Earth History. *Economic Geology* (2010) 105 (3): 627–639.

Holland, H.D., 2005a, Sedimentary mineral deposits and the evolution of Earth's near-surface environments: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 100, p. 1489–1509.

———2006, The oxygenation of the atmosphere and oceans: *Philosophical Transactions of the Royal Society*, sec. B., v. 261, p. 903–915.

Kay, S.M., Gorring, M. y Ramos, V.A. (2004). Magmatic sources, setting and causes of Eocene to Recent Patagonian plateau magmatism (36°S to 52°S latitude): *Asociación Geológica Argentina, Revista*, v. 59, p. 556–568.

Kay, S.M. y Copeland, P. (2006). Early to Middle Miocene backarc magmas of the Neuquén Basin: geochemical consequences of slab shallowing and the westward drift of South America, in Kay, S.M., and Ramos, V.A., eds., *Evolution of an Andean margin: A Tectonic and Magmatic View from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39°S lat)*: Geological Society of America, Special Paper 407, p. 185–213.

Kirkham, R. V. (1989). Distribution, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits *in* Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V. *Sediment-hosted stratiform copper deposits*, Geological Association of Canada Special Paper 36, p. 3-38.

Koziy, L., Bull, S., Large, R. y Selley, D. (2009) Salt as fluid driver, and basement as a metal source, for stratiform sediment-hosted copper deposits. *Geology* 37, 1107–1110.

Leanza, H. y Hugo, C. (2001). Cretaceous beds from southern Neuquén Basin (Argentina): age, distribution and stratigraphic discontinuities, in VII International Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems: Asociación Paleontológica Argentina, Special Publication 7, p. 117–122.

Legarreta, L. y Gulisano, C.A. (1989). Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior–Terciario Inferior, Argentina), in Chebli, G., and Spaletti, L., eds., *Cuencas Sedimentarias Argentinas: Serie Correlación Geológica* 6, p. 221–243.

Lindsey, D.A., Woodruff, L.G., Cannon, W. F., Cox, D.P., and Heran, W.D., 1995, *Sediment-hosted Cu Deposits*: in du Bray, E.A., ed., *Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models*, U.S. Geological Survey Open-File Report, 95-831, Chapter 28, p. 214-224.

Ljunggren, P. y Meyer, H.C. (1964). The copper mineralization in the Corocoro basin, Bolivia: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 59, p. 110–125.

Macaulay, C.I., Fallick, A.E, Haszeldine, R.S y Macaulay, G.E. (2000). Oil migration makes the difference: regional distribution of carbonate cement  $\delta^{13}\text{C}$  in northern North Sea Tertiary sandstones. *Clay minerals* 35: 69-76.

Maretto, H. y Pángaro, F. (2005) Edad de formación de algunas de las grandes estructuras del engolfamiento de la Cuenca Neuquina: Actividad tectónica durante la depositación de la Fm. Quintuco. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Book of abstracts, CD-ROM.

McGowan, R.R., Roberts, S. y Boyce, A.J. (2006). Origin of the Nchanga copper-cobalt deposits of the Zambian Copperbelt. *Mineral Deposita* 40:617–683.

Messenger, G., Nivie´Re, B., Martinod, J., Lacan, P. y Xavier, J.P. (2010). Geomorphic evidence for Plio-Quaternary compression in the Andean foothills of the southern Neuquén Basin, Argentina: *Tectonics*, v. 29, p.TC4003.

Misra K.C. (2000). Sediment-Hosted Stratiform Copper (SSC) Deposits. In: *Understanding Mineral Deposits*. Springer, Dordrecht.

Mosquera, A., Ramos, V.A. (2006). Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. In: Kay SM, Ramos VA (eds) *Evolution of an Andean margin: a tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S lat)*. *Geol Soc Amer Spec Pap* 407, Colorado, pp 97–123.

Parnell, J., Carey, R.E.(1995). Emplacement of bitumen (asphaltite) veins in the Neuquen Basin, Argentina. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 79, 1798-1816.

Rainoldi, A.L., Franchini, M.B., Cesaretti, N.N., Impiccini, A. y Pons, M.J. (2012a). Alteración y decoloración de areniscas rojas, Formación Huincul (Grupo Neuquén). Evidencias de la circulación de hidrocarburos en el Dorso de los Chihuidos (abstract): XIII Reunión Argentina de Sedimentología, p. 183–184.



Rainoldi, A.L., Limarino, C.O., Giusiano, A. y Bouhier, E. (2012b). Análisis estratigráfico de la Formación Huincul (Grupo Neuquén) en el prospecto Sapo Sur (37°47'S–69°27'O), Dorso de los Chihuidos, Neuquén (abstract): XIII Reunión Argentina de Sedimentología, p. 185–186.

Rainoldi, A., Franchini, M., Beaufort, D., Patrier, P., Giusiano, A., Impiccini, A. and Pons, J., (2014). Large-scale bleaching of red beds related to upward migration of hydrocarbons: Los Chihuidos High, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of Sedimentary Research*, 2014, v. 84, p. 373–393. Research Article. DOI: <http://dx.doi.org/10.2110/jsr.2014.31>

Rainoldi, A.L., Franchini, M., Giusiano, A., Pons, J. y Cesaretti, N. (2017). Depósitos de cobre estratiforme en el Dorso de los Chihuidos, análisis de inclusiones fluidas y de isótopos estables. XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán. Trabajos técnicos: 114-119.

Rainoldi, A.L., Franchini, M., Boyce, A., Giusiano, A., Cesaretti, N., Pons, J. y Ríos, F.J. (2019). Stable isotope and fluid inclusion study of sediment-hosted stratiform copper deposits from the Neuquén Basin, Argentina. *Mineralium Deposita*, 54(3), 415-436.

Ramos, V.A. (1981). Descripción geológica de la hoja 33c Los Chihuidos Norte, Provincia de Neuquén. Servicio Geológico Nacional, Boletín, v. 182, p. 1–103.

Ramos, V.A. y Barbieri, M. (1989). El volcanismo Cenozoico de Huantrairco: Edad y relaciones isotópicas iniciales, provincia del Neuquén. *Rev Asoc Geol Argent* 53:210–223.

Rose, A.W., 1976, The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 71, p.1036–1048.

Rose, A.W. (1989). Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environments. *Geological Association of Canada Special Paper* 36, 97-110.

Sánchez, M. y Cardozo, J. (2002). Sedimentología y paleoambientes sedimentarios de la Formación Candeleros (Subgrupo Río Limay), Cretácico Tardío, sudeste del Neuquén: V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, CD-ROM, 8 p.

Singer, D.A. (1995). World-class base and precious metal deposits—A quantitative analysis: *Economic Geology*, v. 90, no. 1, p. 88–104.

Surdam R. C., Boese S. W. y Crossey L. J. (1984). The chemistry of secondary porosity. In *Clastic Diagenesis* (Edited by McDonald D. A. and Surdam R. C.). Am. Assoc. Pet. Geol. Mere. 37, 127-149. AAPG, Tulsa, Okla.

Surdam, R. C., Dunn, T. L., Heasler, H. P. y MacGowan, D. B. (1989a). Porosity evolution in sandstone/shale systems. In *Short Course Notes: Burial Diagenesis* (Edited by Hutchinson I.), pp. 61-134. Mineral. Assoc. Can., Toronto.

Sweeney, M.A. y Binda, P.L. (1989). The role of diagenesis in the formation of the Konkola Cu-Co ore body of the Zambian Copperbelt, *in* Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., eds., *Sediment hosted stratiform copper deposits: Geological Association of Canada Special Paper 36*, p. 499–518.

Swenson, J.B., Person, M., Raffensperger, J.P., Cannon, W.F., Woodruff, L.G. y Berndt, M.E. (2004). A hydrogeologic model of stratiform copper mineralization in the Midcontinent Rift System, northern Michigan, USA: *Geofluids*, v. 4, p. 1–22.

Taylor, C.D., Causey, J.D., Denning, P.D., Hammarstrom, J.M., Hayes, T.S., Horton, J.D., Kirschbaum, M.J., Parks, H.L., Wilson, A.B., Wintzer, N.E., y Zientek, M.L. (2013). Descriptive models, grade-tonnage relations, and databases for the assessment of sediment-hosted copper deposits—With emphasis on deposits in the Central African Copperbelt, Democratic Republic of the Congo and Zambia: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–J, 154 p. and data files.

Testi, A., Giusiano, A. (2020). Mineralización de V-Cu-U en un frente redox en el Grupo Neuquén, prospecto Campesino Norte. Cuenca Neuquina, Neuquén, Argentina. XII Congreso Argentino De Geología Económica.

Ugarte, F.R.E. (1976). Teoría de la fracturación de un yacimiento fisurado de hidrocarburos (Aguada San Roque), Provincia del Neuquén: VI Congreso Geológico Argentino, no. 6, p. 307–317.

Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J. (1995). Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. In: Tankard AJ, Suárez SR, Welsink HJ (eds) Petroleum basins of South America: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62. Tulsa, pp 383–402.

Volodin, R.N., Chechetkin, V.S., Bogdanov, Yu. V., Narkelyun, L.F. y Trubachev, A.I. (1994). The Udokan cupriferous sandstones deposit (Eastern Siberia): Geology of Ore Deposits, v. 36, no. 1, p. 1–25.

Warren, J.K. (1999). Evaporites. Their evolution and economics.

White, W.S. (1971). A paleohydrologic model for mineralization of the White Pine copper deposit, northern Michigan: Economic Geology, v. 66, p. 1–13.

Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Ramos, V.A., Rodríguez, F. y Bernardo, L.M. (2009). Evolución tectónica del frente Andino en Neuquén. Revista Asociación Geológica Argentina 65:192–203.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de numerosas personas que de una u otra manera contribuyeron en el desarrollo del mismo.

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, a quienes les debo todo en la vida, incluyendo este logro. Gracias, mamá y papá. Este trabajo está dedicado a ustedes.

Agradezco a July, mi gran compañera, quien estuvo siempre conmigo a lo largo de todo este camino, en los buenos momentos como en los difíciles.

A toda mi familia por su continuo apoyo e incentivo a lo largo de toda mi vida. Agradezco mis hermanos, que son un gran soporte para mí. A mis abuelos por ser incondicionales, a mis queridos tíos y primos por estar siempre presentes.

Un agradecimiento especial se dirige a la compañía Orion Del Sur SA y al Ing. Hernán Vera, por brindarme la oportunidad de formar parte de este maravilloso proyecto, y permitirme compartir una parte de él en este trabajo.

Expreso mi gratitud al Departamento de Geología, Dra. Nilda Mendoza, Dra. Alejandra Pittaluga y María Elena Seva, por su constante apoyo y colaboración durante toda la carrera.

Al asesor de este trabajo, Lic. Gustavo Pezzani, le agradezco desde un inicio su disposición para orientarme y brindar sus valiosos conocimientos en la elaboración de este trabajo.

Un sincero agradecimiento al tribunal evaluador, conformado por la Dra. Lorena Previley, la Lic. Bárbara Nuñez y el Lic. Juan Pablo Ceballos, por dedicar su tiempo a la lectura, revisión y corrección de mi trabajo, lo que contribuyó de manera muy significativa a su mejora.

Quiero reconocer a los integrantes de las cátedras “Introducción a la Geología” y “Geología Estructural”, por permitirme formar parte de sus equipos, en donde obtuve mucha experiencia, aprendizaje y buenos momentos.

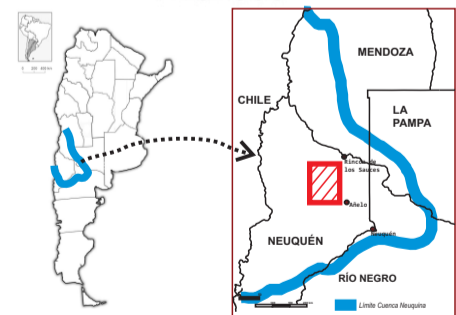
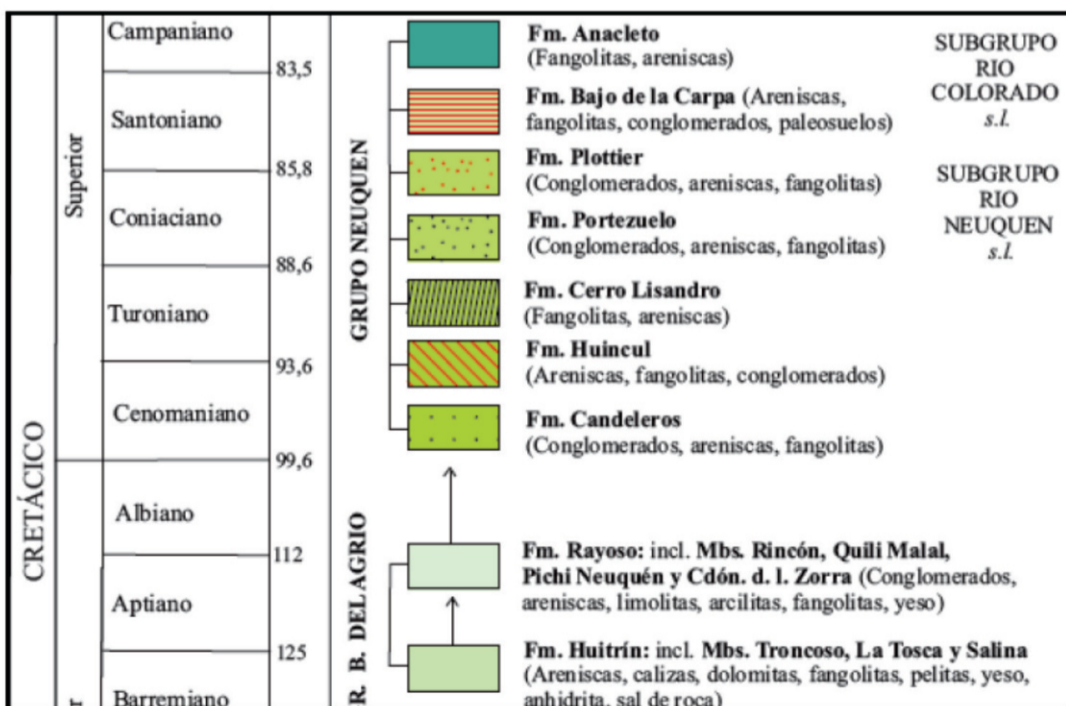
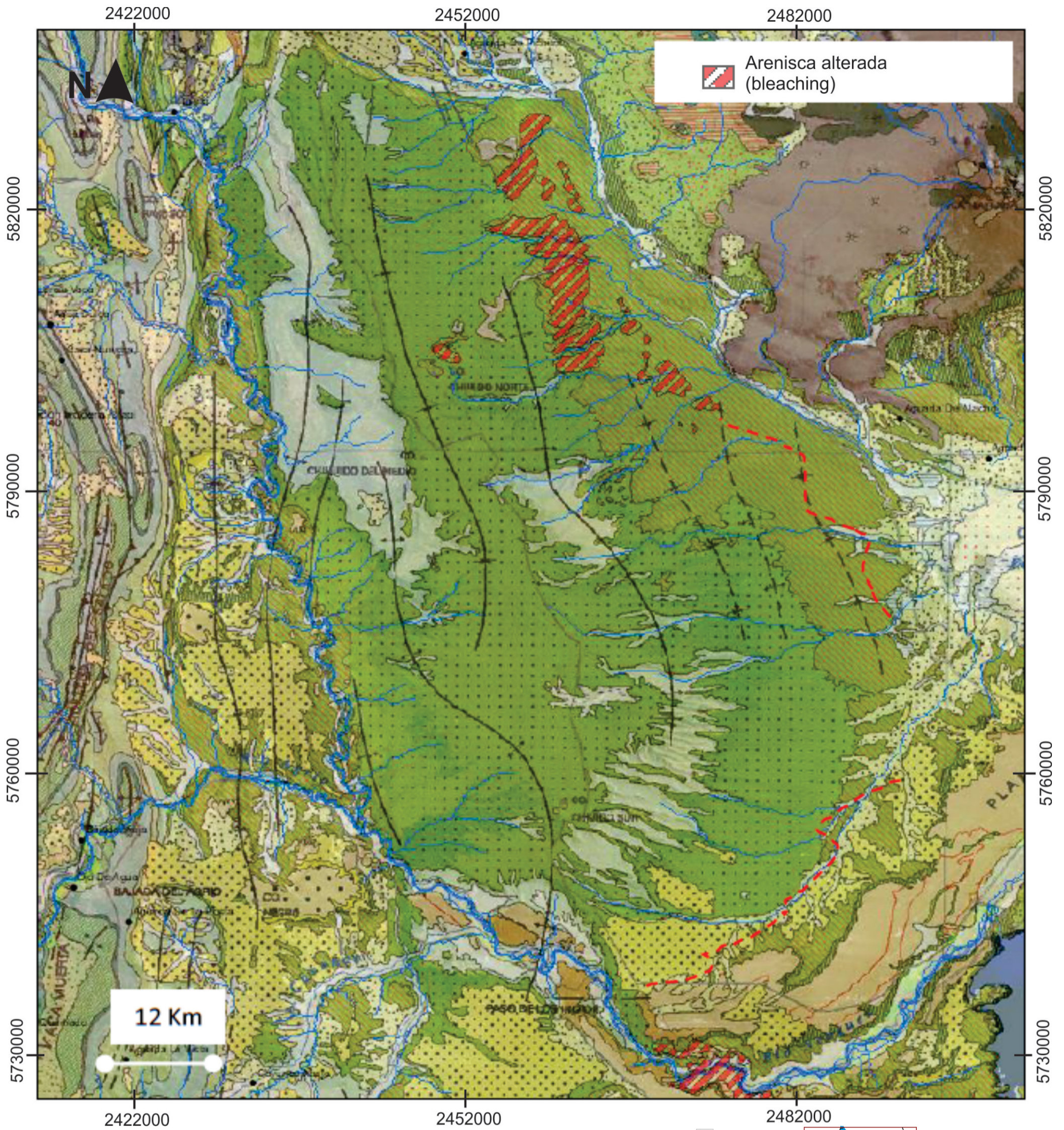
Agradezco a los grandes amigos que me dio la geología, con quienes disfruté transitar el camino estudiantil: Walter, Agustín, Octa, Cele, Fede O., Fede M., Leo, Belén, Dani, Adriel, Nahir, Flor, Rocío, Joni. Y muchos otros.

A mis amigos de toda la vida. Barza, Cami, Cristhian, Maru. Gracias por estar siempre que necesité un consejo o un momento de distensión.

Por último, un sincero agradecimiento a todas las personas que me acompañaron en las campañas de campo, desempeñando un papel crucial en la construcción de este trabajo.

*A TODOS ELLOS Y DE CORAZÓN, MUCHAS GRACIAS...*

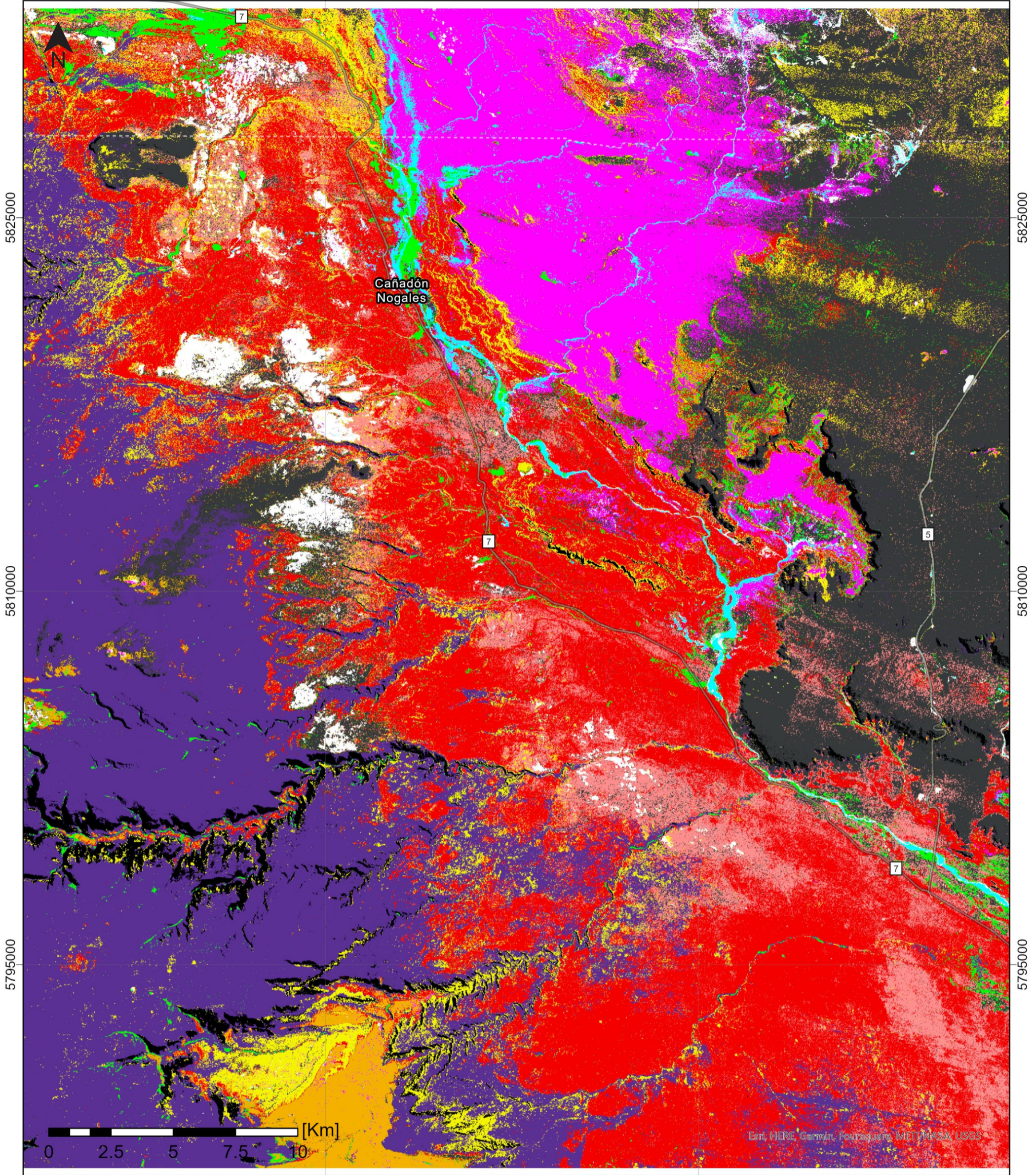
## *ANEXO: MAPAS*



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN</b> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Licenciatura en Ciencias Geológicas		
	<b>Mapa geológico regional del Dorso De Los Chihuidos</b>		
	<b>Escala: 1:400.000</b>		<b>Coordenadas: GK Posgar 94</b>
<b>Alumno: Juan Pablo Vera</b>		<b>Director: Gustavo Pezzani</b>	
2023			

2460000

2475000



2460000

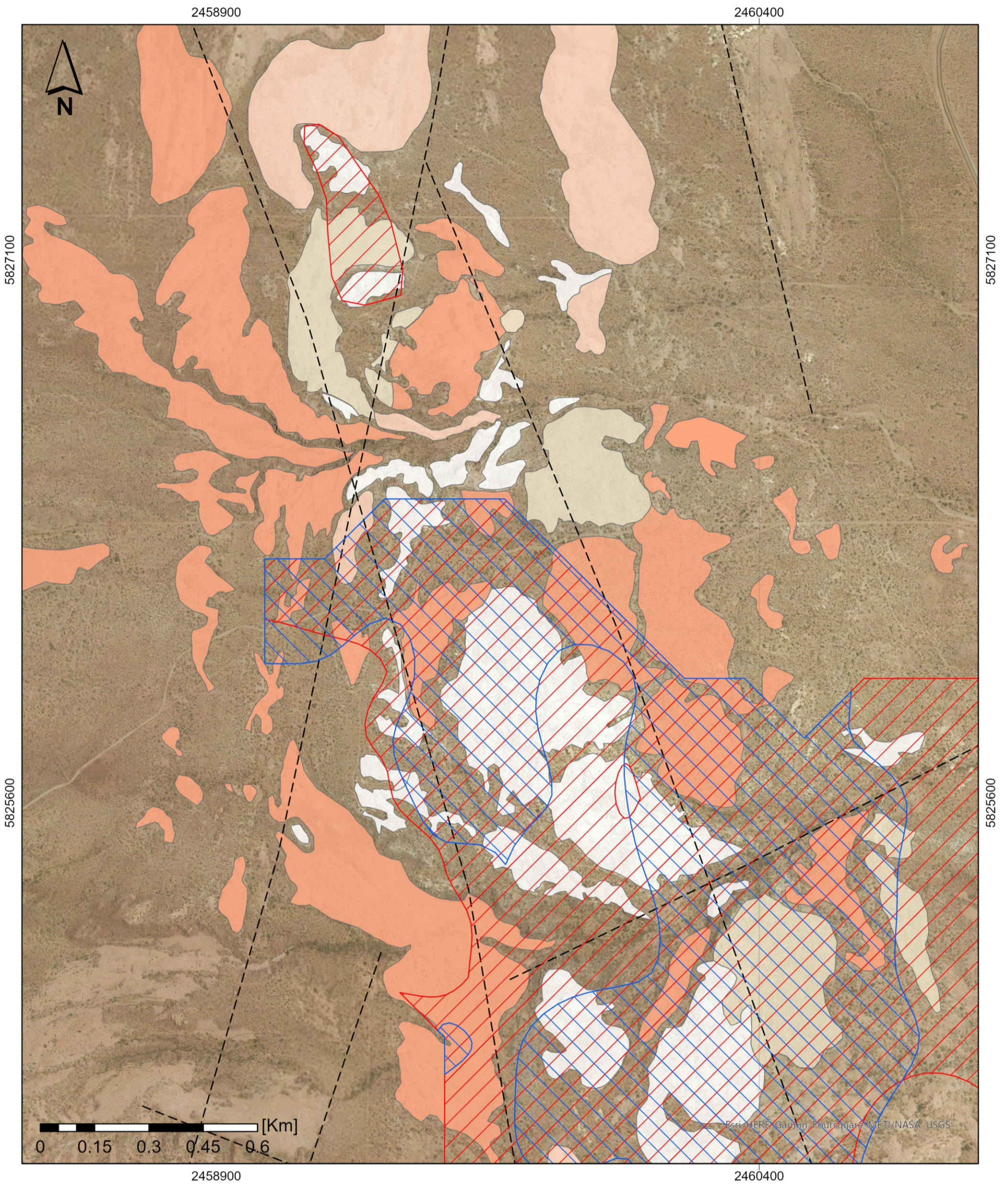
2475000

### Leyenda

Categorías de clasificación supervisada sobre imagen ASTER:

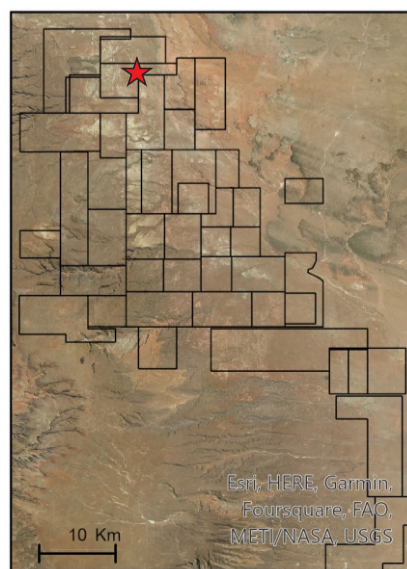
	Fm. Huincul - Alteración bleaching		Basamento (Gp. Rayoso)
	Fm. Huincul - Alteración transicional		Salitre
	Fm. Huincul - Sin alteración		Vegetación
	Fm. Candeleros		Sombras
	Fm. Lisandro		
	Basaltos		



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN</b>	
	Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales	
	Licenciatura en Ciencias Geológicas	
<b>Mapa geológico Dorso De Los Chihuidos (generado con imagen ASTER)</b>		
Escala: 1:150.000		Coordenadas: GK Posgar 94
Alumno: Juan Pablo Vera		Director: Gustavo Pezzani
2023		



**Leyenda**

- Fm. Huincul sin alteración
- Fm. Huincul con alteración bleaching
- Fm. Huincul con alteración transicional
- Lineamientos estructurales
- V\_anomalía 1er orden
- Cu\_anomalía 1er orden



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN</b> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Licenciatura en Ciencias Geológicas		
	<b>Mapa de alteraciones y geoquímica - Blanco Tortuga</b>		
	<b>Escala: 1:10.000</b>		<b>Coordenadas: GK Posgar 94</b>
<b>Alumno: Juan Pablo Vera</b> 2023		<b>Director: Gustavo Pezzani</b>	



2458000

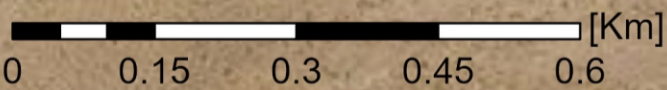
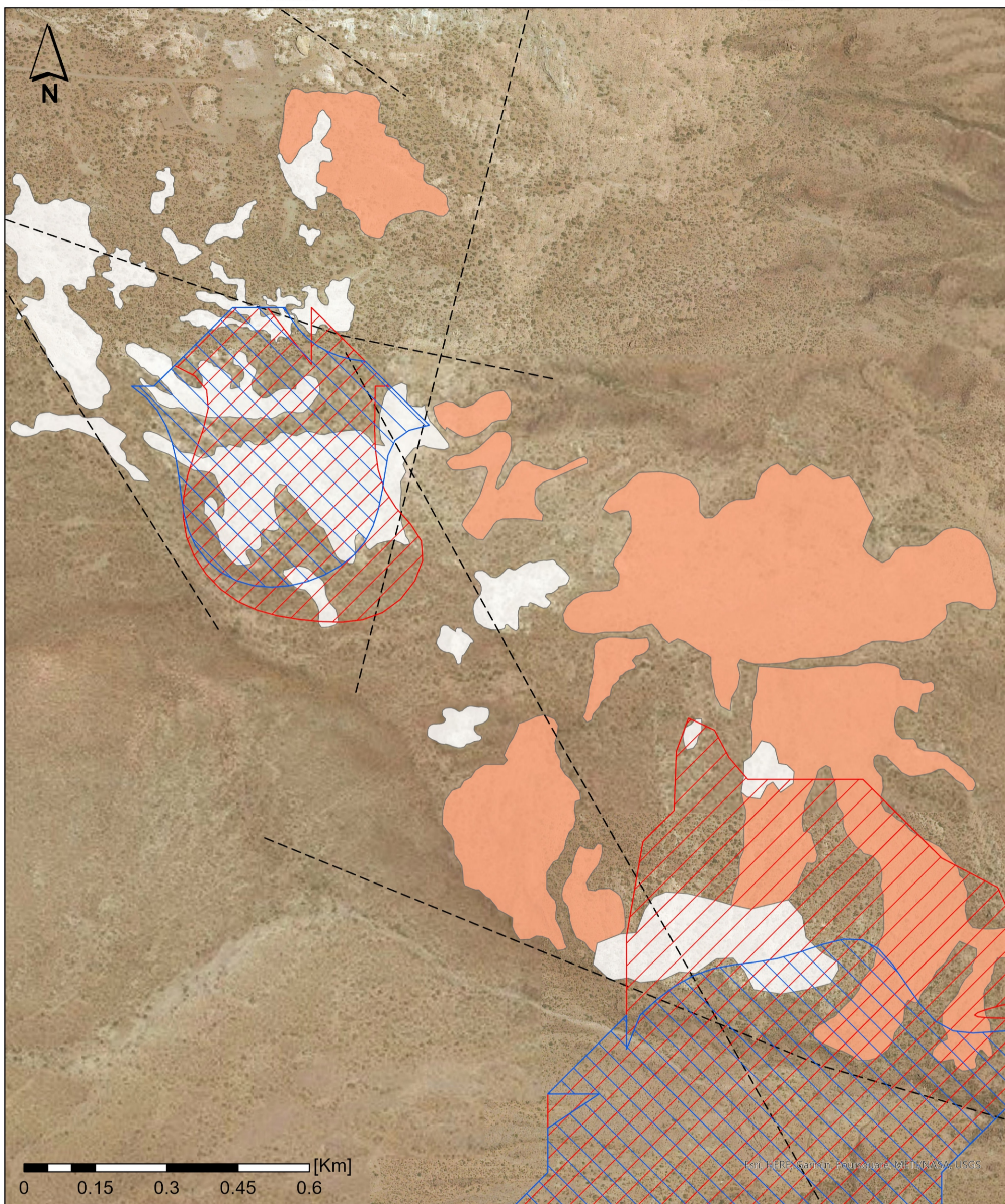
2459000

5822750

5822750

5821750

5821750

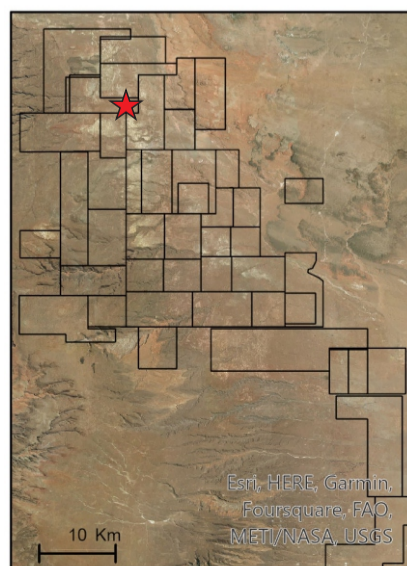


2458000

2459000

### Leyenda

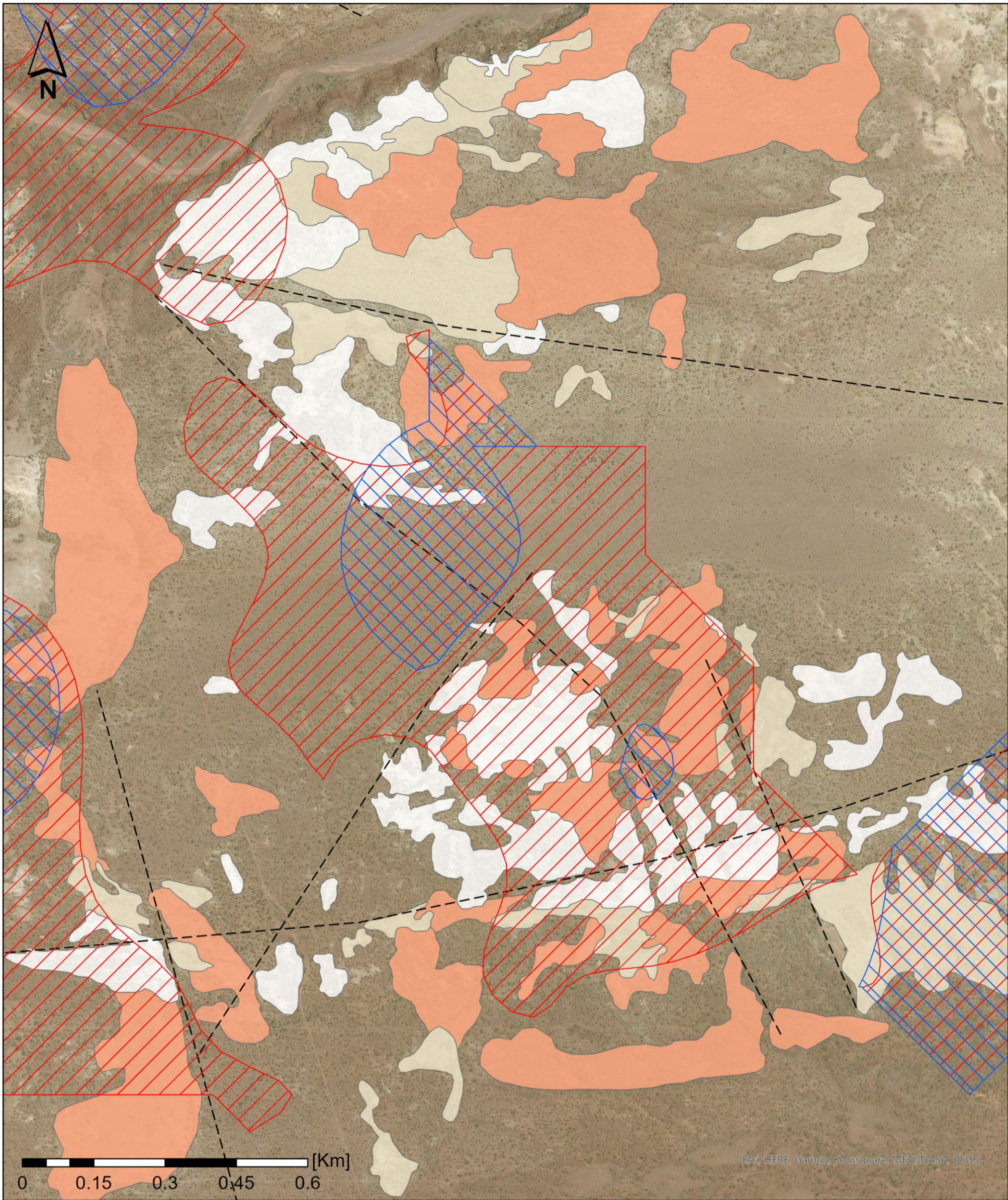
- Fm. Huincul sin alteración
- Fm. Huincul con alteración bleaching
- Fm. Huincul con alteración transicional
- Lineamientos estructurales
- V\_anomalía 1er orden
- Cu\_anomalía 1er orden



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN</b> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales		
	Licenciatura en Ciencias Geológicas		
	<b>Mapa de alteraciones y geoquímica - Blanco Sapito</b>		
<b>Escala: 1:8.000</b>		<b>Coordenadas: GK Posgar 94</b>	
<b>Alumno: Juan Pablo Vera</b>		<b>Director: Gustavo Pezzani</b> 2023	

2470250

2471250



5802500

5802500

5801500







5801500

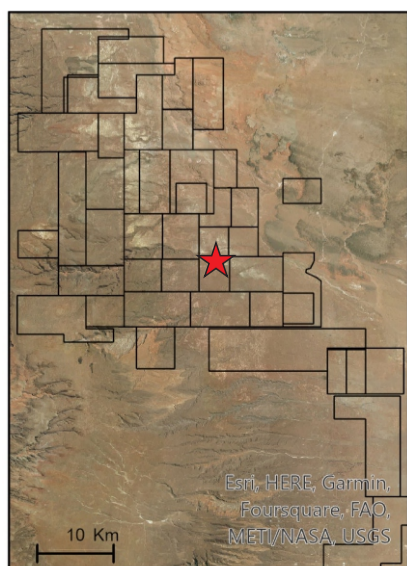




2470250

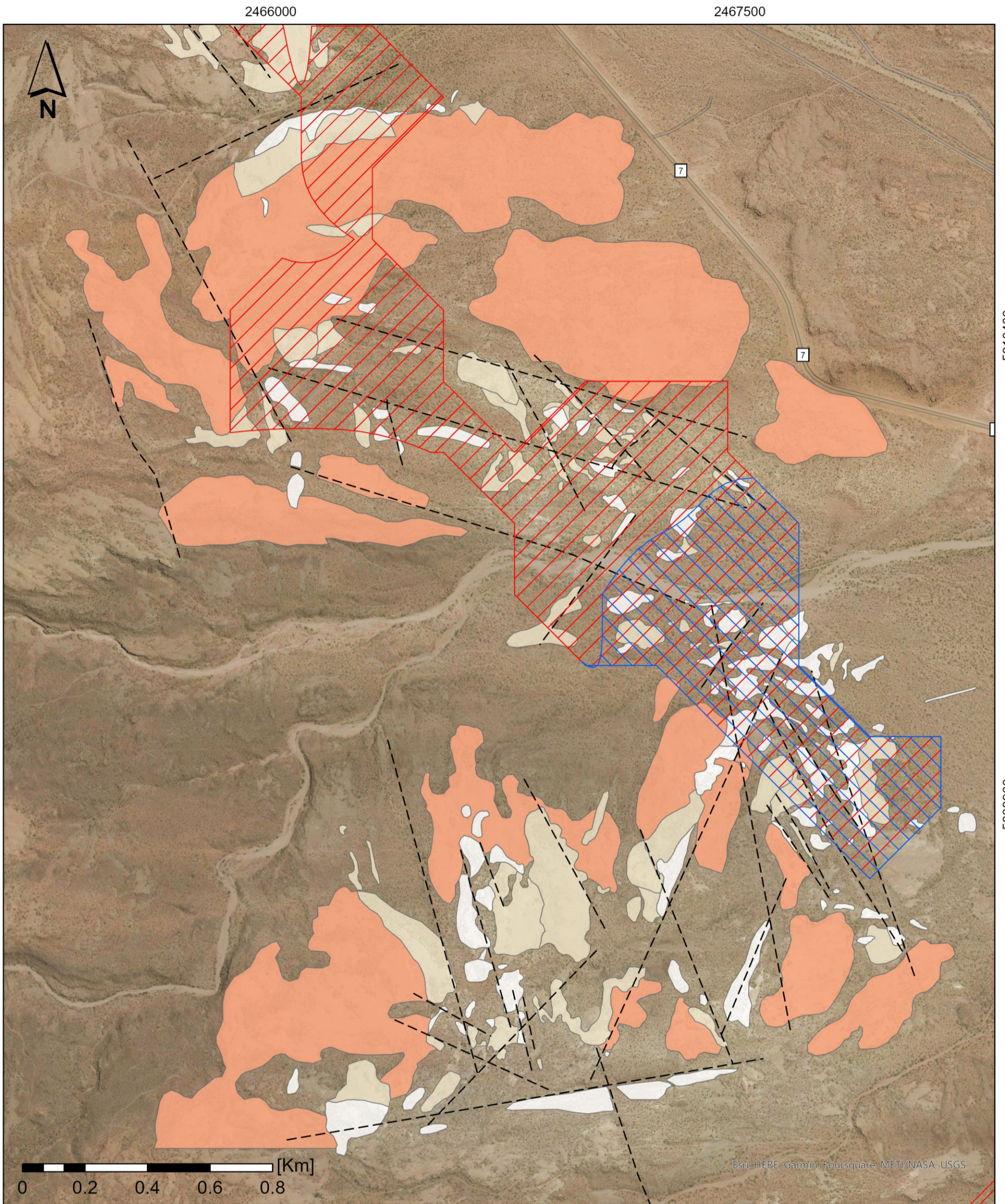
2471250

### Leyenda

-  Fm. Huincul sin alteración
-  Fm. Huincul con alteración bleaching
-  Fm. Huincul con alteración transicional
-  Lineamientos estructurales
-  V\_anomalía 1er orden
-  Cu\_anomalía 1er orden

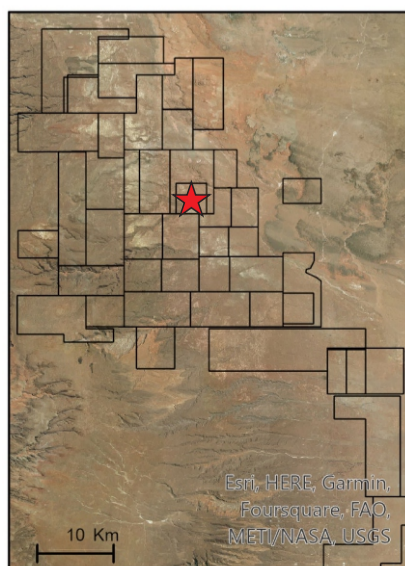


	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN</b>		
	Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales		
	Licenciatura en Ciencias Geológicas		
<b>Mapa de alteraciones y geoquímica - Blanco Loro I</b>			
Escala: 1:8.000		Coordenadas: GK Posgar 94	
Alumno: Juan Pablo Vera		Director: Gustavo Pezzani	
		2023	



**Leyenda**

- Fm. Huincul sin alteración
- Fm. Huincul con alteración bleaching
- Fm. Huincul con alteración transicional
- Lineamientos estructurales
- V\_anomalía 1er orden
- Cu\_anomalía 1er orden



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN</b> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales		
	Licenciatura en Ciencias Geológicas		
	<b>Mapa de alteraciones y geoquímica - Blanco Carranza</b>		
Escala: 1:12.000		Coordenadas: GK Posgar 94	
Alumno: Juan Pablo Vera		Director: Gustavo Pezzani	
		2023	