



UNIVERSIDAD **DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, METALOGÉNICA Y GEOQUÍMICA DEL PROYECTO IMANXITO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE”.

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de geólogo”

Profesor guía: Dr. Wolfgang Griem

Co-guía: Mg. Camila Requena

Diego Bastián Vega Vega

Copiapó, Chile 2026

Agradecimientos

En primera instancia, quiero agradecer profundamente a mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo en cada etapa de mi vida. En los momentos buenos y en los difíciles siempre estuvieron ahí, dándome fuerzas cuando yo mismo dudaba y recordándome por qué vale la pena seguir adelante.

Quiero dedicar unas palabras muy especiales a mi abuelo Lorenzo Vega. Desde pequeño me llevó con él a las minas y me mostró con orgullo el mundo de la pequeña minería. Fue allí, caminando a su lado, donde nació mi interés por esta profesión. Él me enseñó a valorar el trabajo, a ser responsable y a entender que las cosas importantes requieren esfuerzo y dedicación.

Agradezco también a mis compañeros, quienes se convirtieron en buenos amigos e hicieron que este camino fuera más ameno y enriquecedor.

Por último, expreso mi más sincero agradecimiento al Dr. Jaime Araya, al Dr. Wolfgang Griem y a la Mg. Camila Requena, por su orientación, dedicación y constante apoyo, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Resumen

El Proyecto Imanxito se localiza en la región de Atacama dentro del dominio geológico de la Cordillera de la Costa. El objetivo principal de esta tesis es la caracterización litológica, geoquímica y metalogénica de un depósito tipo placer de magnetita, además de evaluar el potencial económico alojado en sedimentos aluviales y coluviales. Se reconoce una clara influencia estructural del Sistema de Fallas de Atacama, específicamente de su subestructura denominada Falla Oriental, la cual favoreció el ascenso de cuerpos intrusivos de composición granodiorítica, tonalítica, cuarzodiorítica y diorítica, además de la formación sin-tectónica de milonitas y diques de composición diorítica. La concentración de magnetita en los aluviales responde a procesos de meteorización mecánica, transporte gravitacional y fluvial episódico, con posterior acumulación en ambientes de abanico aluvial. Las condiciones climáticas áridas han favorecido la preservación de las partículas de magnetita al evitar su oxidación. Durante el desarrollo del proyecto se realizó un muestreo geoquímico sistemático de sedimentos, cuyos análisis mediante espectrometría portátil de fluorescencia de rayos X (XRF) revelaron contenidos promedio de hasta 16.2 % de Fe_2O_3 . Estos resultados sugieren un potencial de explotación de hierro, aunque corresponde aún a una etapa preliminar de exploración geoquímica. El modelo metalogénico propuesto integra una fuente derivada tanto de los cuerpos plutónicos como de las milonitas, diques, vetas mineralizadas de hierro y cobre presentes en el sector. El transporte mecánico y la concentración hidráulica evidencian un sistema eficiente para la formación de depósitos placer de magnetita en ambientes áridos.

Palabras clave: Placer de magnetita, Geoquímica de sedimentos, Caracterización litológica, Modelo metalogénico.

Abstract

The Imanxito Project is located in the Atacama Region within the geological domain of the Coastal Cordillera. The main objective of this thesis is the lithological, geochemical, and metallogenic characterization of a magnetite placer deposit, as well as the assessment of the economic potential hosted in alluvial and colluvial sediments. A clear structural influence of the Atacama Fault System is recognized, specifically its substructure known as the Eastern Fault, which favored the ascent of intrusive bodies of granodioritic, tonalitic, quartz dioritic, and dioritic composition, as well as the syn-tectonic formation of mylonites and dioritic dikes. The concentration of magnetite in the alluvials results from mechanical weathering, gravitational and episodic fluvial transport, followed by accumulation in alluvial fan environments. The arid climatic conditions have favored the preservation of magnetite particles by preventing their oxidation. During the development of the project, a systematic geochemical sampling of sediments was carried out, whose analyses by portable X-ray fluorescence spectrometry (XRF) revealed average contents of up to 16.2% Fe_2O_3 . These results suggest a potential for iron exploitation, although the project is still at a preliminary stage of geochemical exploration. The proposed metallogenic model integrates a source derived from both the plutonic bodies and the mylonites, dikes, and iron- and copper-mineralized veins present in the area. Mechanical transport and hydraulic concentration demonstrate an efficient system for the formation of magnetite placer deposits in arid environments.

Keywords: Magnetite placer, Sediment geochemistry, Lithological characterization, Metallogenic model.

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Problema de investigación	1
1.2 Hipótesis de trabajo.....	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Ubicación y accesos	2
Capítulo 2. Marco Teórico	4
2.1 Minerales pesados	4
2.1.1 Procedencia de minerales pesados.....	4
2.2. Caracterización geológica de los depósitos placer.....	5
2.2.1 Generalidades	5
2.2.2 Propiedades físicas y químicas los minerales pesados.....	5
2.3 Clasificación de depósitos placer	7
2.3.1 Placeres residuales	7
2.3.2 Placeres eluviales	8
2.3.3 Placeres eólicos	8
2.3.4 Placeres de playas	8
2.3.5 Placeres fósiles o paleoplaceres	9
2.3.6 Placeres aluviales hospedados en abanicos aluviales.....	10
Capítulo 3 Marco Geológico.....	12
3.1 Geología Regional.....	12
3.2 Marco Morfoestructural	13
3.3 Unidades geológicas formales.....	14
3.3.1 Depósitos no consolidados	15
3.3.2 Plutón Remolino	15

3.3.3 Plutón Sierra Dieciocho	16
3.4 Marco Metalogénico	16
3.5 Marco Climático.....	18
3.6 Marco Geomorfológico	19
Capítulo 4. Metodología	21
4.1 Etapa de Pre-Gabinete.....	21
4.1.1 Recopilación de antecedentes	21
4.1.2 Confección de mapa base de mapeo	21
4.2 Etapa de terreno.....	22
4.2.1 Mapeo litológico y de alteración- mineralización.....	22
4.2.2 Muestreo.....	22
4.3 Etapa Post-Gabinete	25
4.3.1 Confección de secciones y microscopía óptica.....	25
4.3.2 Geoquímica de exploración temprana.....	25
Capítulo 5. Resultados	27
5.1 Extracto mapa metalogénico del Proyecto Imanxito.	27
5.2 Unidades geológicas.....	28
5.2.1 Depósitos aluviales	28
5.2.2 Depósitos coluviales inactivos	30
5.2.3 Unidad intrusiva.....	31
5.2.4 Unidad metamórfica.....	34
5.2 Alteraciones.....	35
5.3 Mineralización.....	37
5.4 Geología estructural	39
5.5 Petrología microscópica.	40

5.5.1 Cortes transparentes	40
5.5.2 Briquetas pulidas	41
5.6 Geoquímica de exploración superficial.....	47
5.6.1 Geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial.....	47
5.6.2 Geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas	51
5.6.3 Geoquímica superficial del depósito Proyecto Imanxito	55
Capítulo 6. Discusión	59
6.1 Correlación entre unidades litológicas y sistemas estructurales	59
6.2 Geoquímica de exploración superficial.....	60
6.2.1 Comportamiento geoquímico de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial.	60
6.2.2 Comportamiento geoquímico de las unidades litológicas, diques y vetas	61
6.2.3 Geoquímica del depósito tipo placer del Proyecto Imanxito	61
6.4 Propuesta de modelo metalogénico.....	63
6.5 Potencial económico	66
Capítulo 7. Conclusiones	68
Recomendaciones.....	69
8.Referencias bibliográficas.....	72
9. Anexos	76

Índice de figuras.

Figura N° 1.1 Mapa de ubicación Proyecto Imanxito.....	3
Figura N°2.1 Indicadores de procedencia según sus minerales pesados. Modificado de Nichols, G. (2009).....	4
Figura N°2.2 Esquema de formación de placer residual en la parte izquierda y en la parte derecha de un placer eluvial. Modificado de Evans (2009).	7
Figura N°2.3 Sección esquemática para ilustrar algunos lugares de formación de placeres de playa, los que se muestran por el punteado grueso. Modificado de Selley (1976).	9
Figura N°2.4 Mapa que muestra la distribución del Grupo Central Rand, que contiene la principal mineralización de Au-U, dentro de los campos auríferos de Witwatersrand. Extraído de Minter et al., (1988).	10
Figura N°2.5 Perfil esquemático de depósitos de placeres aluviales desarrollado en zonas áridas. Modificado de Portigliati (1999).	11
Figura N°3.1 Relaciones temporales del tectonismo Mesozoico, actividad relacionada con el arco (plutonismo y vulcanismo), sedimentación y mineralización. Modificado de Grocott y Taylor (2002).	12
Figura N°3.2 Mapa general del SFA en el norte de Chile y la ubicación del Proyecto Imanxito. Modificado de Taylor et al., (1998).	13
Figura N°3.3 Extracto de la carta geológica Quebrada Salitrosa, mostrando el área de estudio y las unidades geológicas representadas en la leyenda. Coordenadas UTM, datum WGS 1984. Modificada de Lara y Godoy (1998).	14
Figura N°3.4 Mapa mostrando la ubicación de los principales depósitos minerales cretácicos tipo IOCG e IOA. Las líneas negras representan el Sistema de Fallas de Atacama. La estrella roja señala la ubicación del Proyecto Imanxito. Modificado de Maksaev (2002).	17
Figura N°3.5 Tipos climáticos de la región de Atacama. Clima desértico con nublados abundantes (BWn). Clima Desértico Transicional (BWt). Clima Desierto Frío de Montaña (BWk'G). Clima de Tundra de Alta Montaña (EB). El Proyecto Imanxito es la estrella en rojo. Modificado de Juliá et al., (2008).	18
Figura N°3.6 Esquema planimétrico idealizado de un abanico aluvial aislado con la distribución de los principales sectores diferenciados: 1) Cabecera (zona apical) del abanico. 2) Cuerpo del abanico. 3) Pie del abanico. Modificado de Arche, (2010).	20
Figura N°4.1 Base de mapeo realizado en el software QGIS. Elaboración propia.	22
Figura N°4.2 Mapa de las mallas de muestreo regular para encontrar la fuente.	23
Figura N°4.3 (a) Codificación de las muestras tomadas en terreno. (b) Procedimiento de cuarteo aplicado a los sedimentos, donde los círculos azules indican las fracciones seleccionadas para conformar la submuestra, mientras que los círculos rojos corresponden al material descartado durante el proceso de reducción de la muestra	24
Figura N°4.4.-Mapa de la malla de muestreo de para evaluar el potencial económico...	24

Figura N°4.5 a) Pistola de fluorescencia de rayos x. b) Escritorio de laboratorio donde se realizaban las tomas de muestras con la pistola.	26
Figura N°5.1 Extracto adaptado (más detalle ver Anexó N°21) del Mapa metalogénico del Proyecto Imanxito.	27
Figura N°5.2 Fotografías de terreno indicando los depósitos aluviales y coluviales inactivos.	28
Figura N°5.3 a) Fotografía de terreno donde se observa un bloque de aproximadamente 1–2 metros de diámetro con magnetismo acompañado de fragmentos de roca provenientes del plutón. b) Se aprecia el lápiz geológico en la zona del imán cubierta por partículas de magnetita.	29
Figura N°5.4 a) Columna estratigráfica en terreno de los depósitos aluviales. b) Columna estratigráfica digitalizada con el software Sedlog.....	30
Figura N°5.5 a) Fotografía de terreno de la ubicación del Proyecto Imanxito sobre los depósitos coluviales inactivos. b) Se observa el lápiz geológico en la zona del imán cubierta por partículas de magnetita.	31
Figura N°5.6 a) Muestra de mano de la roca granodiorítica. b) Fotografía de microscopio con cristales de cuarzo (Qz), hornblenda (Hmb), plagioclasa (Plg) y ortoclasa (Or) de la roca granodiorita.	32
Figura N°5.7 a) Fotografía de microscopio los cristales de cuarzo (Qz), hornblenda (Hmbl), plagioclasa (Plg) y biotita (Bt) de la roca tonalítica. b) Fotografía de afloramiento en terreno.....	32
Figura N°5.8 a) Muestra de mano de la roca cuarzodiorítica. b) Fotografía de la roca en microscopio con cristales de cuarzo (Qz), hornblenda (Hmbl) y plagioclasa (Plg).....	33
Figura N°5.9 a) Muestra de mano de la roca diorítica. b) Fotografía de la roca en microscopio.	33
Figura N°5.10 a) Fotografía de muestra de mano de la roca milonítica. b) Fotografía de la roca en microscopio.	34
Figura N°5.11 a) y b) Fotografías de afloramientos con planos de foliación. c) Fotografía de microscopio del protolito.....	34
Figura N°5.12 a)Fotografía de microscopio de la alteración argílica intermedia afectando a plagioclasas. b) Fotografía de campo de la alteración argílica en los bordes de una veta de óxidos de cobre.....	35
Figura N°5.13 Fotografía de microscopio de la roca cuarzodiorítica que está siendo alterada a clorita en las hornblendas.	36
Figura N°5.14 a) Fotografía de terreno del área de las milonitas con alteración de epidota. b) Fotografía de afloramiento de veta de epidota.....	36
Figura N°5.15 a) Fotografía de muestra de mano de la alteración potásica. b) Fotografía de microscopio donde se observa la alteración potásica y epidota.	37
Figura N°5.16 a) Muestra de mano de mineralización crisocola y malaquita. b) Se observa la roca milonítica la que podría estar asociada a la mineralización. c) Fotografía de terreno de una veta de óxidos de cobre. d) Laboreo minero asociado a la zona milonítica.	37

Figura N°5.17 a) Fotografía de un afloramiento que contiene una veta de magnetita en forma de bolsón siendo afectada por una falla en dirección 70/85(Mano derecha). b) Se observa en terreno una veta de magnetita orientada 325/83.	38
Figura N°5.18 Labores mineras asociadas a la zona de las milonitas.....	38
Figura N°5.19 Traza de la Falla Oriental en imagen satelital de Google Earth.....	39
Figura N°5.20 Fotografía de terreno del criterio de petit indicando un movimiento sinistral.	39
Figura N°5.21 Mosaico de cortes transparentes (NP y NC) correspondientes a diversas litologías del área de estudio. Las muestras presentan mineralogía compuesta principalmente por plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz), biotita (Bt), hornblenda (Hb), clorita (Chl), actinolita (Act) y ortoclasa (Or), con titanita (Ti) como fase accesorio frecuente. Se reconocen minerales opacos subhedrales a anhedrales con hábito cúbico, interpretados como magnetita.	40
Figura N°5.22 Cortes transparentes bajo nicoles paralelos y cruzados mostrando foliaciones S–C y un porfiroclasto sigmoidal de titanita (Ti), cuyas colas asimétricas indican un sentido de cizalle sinistral. La paragénesis está compuesta por plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz), hornblenda (Hb) y biotita (Bt).	41
Figura N°5.23 Imágenes en luz reflejada de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR1(4)-PA-FIC. A la izquierda (X5), se observan granos irregulares de magnetita (Mt), de tono gris oscuro, junto con hematita (Hm) gris claro. A la derecha (X10), se distingue un cristal elongado de magnetita siendo reemplazado por hematita.....	42
Figura N°5.24 Imágenes en luz reflejada de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR1(11)-PA-FIC. A la izquierda (X10), se observa un agregado de magnetita (Mt) con hematita (Hm) disseminada, junto a una partícula de oro nativo (Au). A la derecha (X5), se identifica una distribución heterogénea de magnetita y hematita.....	43
Figura N°5.25 Imágenes en luz reflejada de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR2(12)-PA-FIC. A la izquierda (X5), se observa un gran agregado de hematita (Hm) de alto brillo, parcialmente rodeado por magnetita (Mt) de tonalidad más oscura. A la derecha (X10), se distinguen fragmentos dispersos de hematita y granos de magnetita, en una matriz rica en óxidos de hierro.....	44
Figura N°5.26 Imágenes en luz reflejada (X5) de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR2(16)-PA-FIC. Ambas imágenes muestran un cristal elongado de magnetita (Mt), de tonalidad gris oscura y menor reflectancia, con numerosos granos finos de hematita (Hm) disseminados en su interior. La hematita se distingue por su mayor brillo y tonalidad blanco-plateada, generando un contraste óptico claro con la magnetita.	45
Figura N°5.27 Microfotografías de la muestra MR2(16)-PI-FIC. (a) En luz transmitida se observa la heterogeneidad granulométrica y presencia de fragmentos opacos atribuibles a magnetita. (b) En luz reflejada se distingue un fragmento con minerales opacos de alta reflectancia, identificados como magnetita (Mt) y hematita (Hm).	46
Figura N°5.28.-Microfotografías de la muestra MR1(11)-PA-FIC. (a) En luz transmitida se aprecian fragmentos opacos dentro del sedimento. (b) En luz reflejada se observan magnetita (Mt), hematita (Hm) y una partícula de oro (Au).	46

Figura N°5.29 Mapa de anomalías geoquímicas de Fe_2O_3 (ppm) en sedimentos superficiales del abanico aluvial del Proyecto Imanxito. Los puntos corresponden a las muestras analizadas y están clasificados según rangos de concentración. El polígono negro delimita el área de estudio, mientras que el polígono rojo indica la ubicación del depósito tipo placer.	47
Figura N°5.30 Gráficos de boxsplot de muestras de sedimentos en pie, cabeza y cuerpo del abanico aluvial.....	48
Figura N°5.31 Mapa de anomalías geoquímicas de Fe_2O_3 de unidades litológicas, diques y vetas.	51
Figura N°5.32 Gráficos de boxsplot de muestras de roca de unidades litológicas, vetas y diques.	52
Figura N°5.33 Mapa de anomalías geoquímicas de Fe_2O_3 del depósito placer Imanxito.	55
Figura N°5.34 Gráficos de boxsplot de los sedimentos superficiales del depósito placer del Proyecto Imanxito.	56
Figura N°6.1 Modelo digital de elevación (MDE) del área de estudio con dirección de flujos superficiales interpretados. Las quebradas convergen hacia el sector del Proyecto Imanxito, actuando como canales de transporte y concentración mecánica de minerales pesados.	64
Figura N°6.2 Modelo esquemático del sistema metalogénico propuesto. Se observa la evolución desde la meteorización mecánica de las unidades fuente (intrusivo, diques, milonitas y vetas), el transporte gravitacional e intermitente y la depositación en ambientes aluviales. El depósito tipo placer se localiza en la zona distal, donde se concentran las partículas de hierro.	65
Figura N°6.3 Modelo volumétrico del depósito tipo placer generado en Leapfrog Geo, basado en la interpolación de datos geoquímicos. El modelo delimita el cuerpo mineralizado estimado, utilizado para el cálculo del volumen total (224,740,200 m ³) y tonelaje del depósito.....	66
Figura N°7.1 Mapa superficial de anomalías geoquímicas de oro en sedimentos.....	70
Figura N°7.2 Mapa de targets de exploración para el Proyecto Imanxito.	71

Índice de tablas

Tabla N°2.1 Minerales pesados de depósitos placer ordenados por gravedad específica (de mayor a menor densidad) con su respectiva composición química ideal. Los minerales pesados tienen una gravedad específica superior a 2.85. Modificado de Van Gosen et al. (2014).	6
Tabla N°5.1 Estadísticos descriptivos de las concentraciones de elementos seleccionados (ppm), incluyendo el valor máximo, la mediana (Q2), los cuartiles (Q1 y Q3), el rango intercuartílico (IQR) y la identificación de posibles valores atípicos.	49
Tabla N°5.2 Tabla de coeficiente de correlación de los elementos de las muestras de sedimentos los colores azules indican una fuerte, mediana y débil fuerza de correlación mientras que los que están de colores rojos muestran relaciones negativas.	49
Tabla N°5.3 Tabla que muestra los elementos de los sedimentos que a partir de la mediana y los valores de concentración (Ridley,2013) se puede calcular su factor de enriquecimiento.	50
Tabla N°5.5 Tabla de coeficiente de correlación de los elementos de las muestras de mano los colores azules indican una fuerte, mediana y débil fuerza de correlación mientras que los que están de colores rojos muestran relaciones negativas.	53
Tabla N°5.6 Se muestran los elementos de las muestras de mano que a partir de la mediana y los valores de concentración (Ridley,2013) se puede calcular su factor de enriquecimiento.	54
Tabla N°5.7 Estadísticos descriptivos de las concentraciones de elementos seleccionados (Fe, Ti, V, Sr, Ba y S) en muestras de sedimentos, expresados en partes por millón (ppm). Se presentan los valores de mediana, máximo, primer cuartil (Q1), tercer cuartil (Q3), el rango intercuartílico (IQR) y los posibles valores atípicos.	57
Tabla N°5.8 Se observa el coeficiente de correlación de los elementos de las muestras de sedimentos para evaluar el potencial económico, los colores azules indican una fuerte, mediana y débil fuerza de correlación mientras que los que están de colores rojos muestran relaciones negativas	57
Tabla N°5.9 Se presentan los factores de enriquecimiento obtenidos a partir de la razón entre la concentración promedio de cada elemento y su valor de referencia reportado por Ridley (2013).	58

Anexos

Anexo N°1 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento bario.	76
Anexo N°2 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento vanadio.....	76
Anexo N°3 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento rubidio.....	77
Anexo N°4 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento estroncio.....	77
Anexo N°5 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento níquel.	78
Anexo N°6 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento titanio.	78
Anexo N°7 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento estroncio.	79
Anexo N°8 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento níquel.	79
Anexo N°9 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento rubidio.....	80
Anexo N°10 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento titanio.....	80
Anexo N°11 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento vanadio.	81
Anexo N°12 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento bario.	81
Anexo N°13 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento estroncio.	82
Anexo N°14 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento azufre.....	82
Anexo N°15 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento vanadio.	83
Anexo N°16 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento titanio.	83
Anexo N°17 Geoquímica de exploración superficial deposito placer Imanxito.....	84
Anexo N°18 Geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial.	87
Anexo N° 19 Geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas.....	90
Anexo N°20 Descripción petrológica de muestras. Diagrama de Streckeisen extraído del sitio www.geovirtual2.cl	93
Anexo N°21. Mapa metalogénico del Proyecto Imanxito.	99

Capítulo 1. Introducción

1.1 Problema de investigación

La pequeña y mediana minería en Chile cumple un rol fundamental dentro del sector minero nacional. Participando en la producción de diversos recursos minerales como cobre, oro, plata, hierro, manganeso, plomo y zinc, entre otros (SONAMI, 2014). El Departamento de Geología de la Universidad de Atacama, en conjunto con la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), desarrolló el proyecto denominado “Expansión de zonas de explotación y aumento de reservas minerales en la pequeña minería artesanal mediante prospección magnética hiperespectral”, financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad Regional (FIC-R) del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR).

El presente trabajo de investigación se enmarca en la primera etapa del proyecto y tuvo como objetivo caracterizar la litología, metalogenia y geoquímica del Proyecto Imanxito, ubicado aproximadamente a 30 km al suroeste del poblado de Inca de Oro. El área de estudio se ubica en la Cordillera de la Costa, caracterizada por una importante metalogenia a escala regional, asociada al desarrollo de depósitos tipo óxidos de hierro-cobre-oro (IOCG) y óxidos de hierro-apatita (IOA) (Sillitoe, 2003). Numerosos yacimientos Fe-Cu-Au de pequeña y mediana minería, dispuestos en vetas, brechas y cuerpos irregulares, se encuentran emplazados en rocas intrusivas y volcano-sedimentarias del Jurásico–Cretácico Inferior, controlados estructuralmente por el Sistema de Fallas de Atacama (Espinoza et al., 1999).

El depósito Imanxito corresponde a un depósito tipo placer. Estos tipos de depósitos no son estudiados típicamente, por ende, existe poca información. Sin embargo, los depósitos placer aluviales auríferos han sido ampliamente estudiados (Portigliati, 1999). Debido a que estos son mayormente rentables. Si bien ambos tipos de depósitos presentan un comportamiento sedimentario general similar, difieren en propiedades físicas y mineralógicas como la gravedad específica, la dureza y la estabilidad química de los minerales involucrados, las cuales influyen directamente en su comportamiento durante los procesos de transporte y depositación (Gary et al., 1972).

La generación de información geológica mediante estudios litológicos, geoquímicos y metalogenéticos resulta clave para reducir la incertidumbre geológica y apoyar la toma de decisiones técnicas en distritos de pequeña minería. La caracterización integrada del área de estudio permitirá identificar unidades fuente, asociaciones geoquímicas y controles geológicos relevantes, aportando una base preliminar para evaluar el potencial económico del Proyecto Imanxito y orientar futuras actividades de exploración.

1.2 Hipótesis de trabajo

En el área de estudio se han identificado partículas de magnetita cuya procedencia es desconocida, las cuales se encuentran hospedadas en un abanico aluvial. Estas partículas habrían sido transportadas y concentradas mediante procesos de erosión y sedimentación, facilitando su acumulación en áreas de menor relieve. Dado el contexto deposicional y la asociación geológica observada, se propone que el depósito de magnetita corresponde a un depósito tipo placer, resultado de la erosión, el transporte y la posterior concentración de minerales pesados en un ambiente aluvial.

1.3 Objetivos

Objetivo general.

- Determinar la procedencia de las partículas de magnetita y el potencial económico del depósito placer del Proyecto Imanxito.

Objetivo específico.

- Caracterizar la geología y metalogenia del área de estudio.
- Identificar anomalías geoquímicas.
- Proponer un modelo metalogénico del depósito.

1.4 Ubicación y accesos

El área de estudio se encuentra en el Proyecto Imanxito (Ver Figura N°1.1), aproximadamente 30 kilómetros hacia el suroeste del pueblo Inca de Oro, comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama. La extensión de la zona de estudio es de 98 km². Para llegar al área de estudio partiendo desde la Universidad de Atacama se debe tomar la Avenida Copayapu (Ruta 5) y se siguen unos 9 km en dirección norte. Luego, se

llega a una intersección de la Ruta C-17 y la Ruta C-35. Se toma la Ruta C-17 y se siguen unos 58 kilómetros hasta llegar a la intersección con la Ruta C-261. Se toma la Ruta C-261 y se recorren aproximadamente 52 kilómetros hasta llegar a la intersección con la Ruta C-225. Al tomar la Ruta C-225 restan 2 kilómetros al área de estudio.

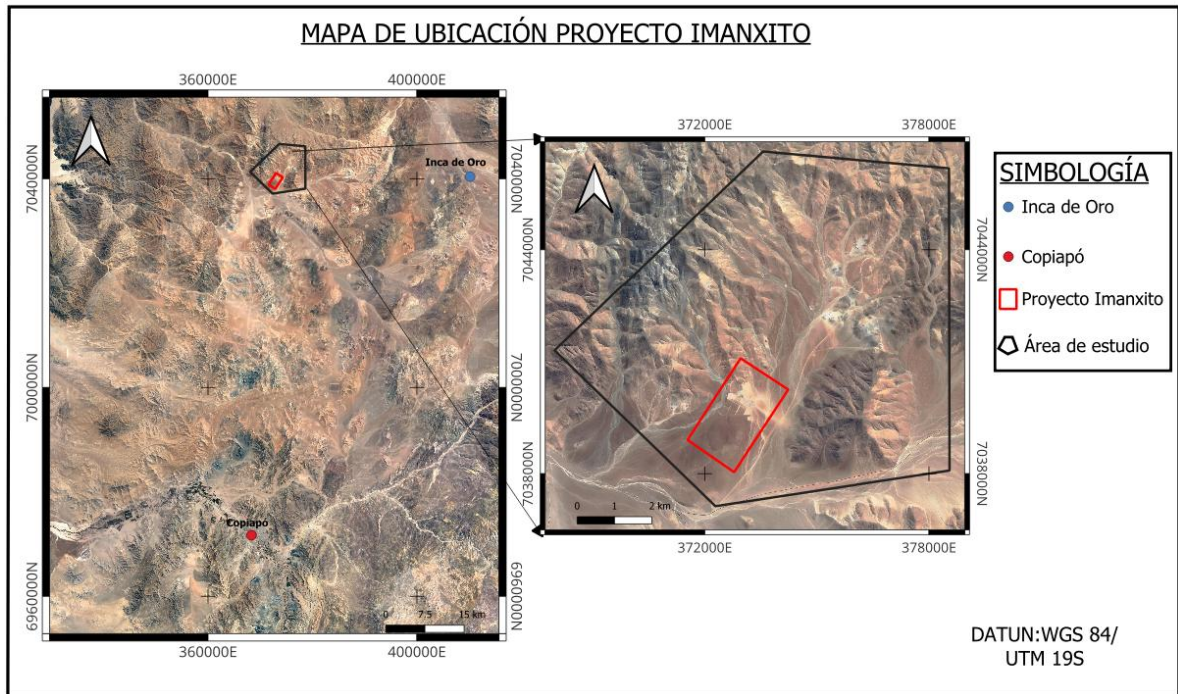


Figura N° 1.1 Mapa de ubicación Proyecto Imanxito.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Minerales pesados

2.1.1 Procedencia de minerales pesados en los sedimentos

La identificación de la fuente de los sedimentos es posible mediante el análisis de los tipos de clastos presentes (Pettijohn, 1975). Los sedimentos pueden incluir clastos característicos de un área específica, definida por su petrología, lo que permite establecer su origen o procedencia (Ver Figura N°2.1). En los sedimentos clásticos que contienen clastos de tamaño grueso, es más fácil reconocer la litología de la roca madre erosionada. En cambio, resulta más complicado determinar la procedencia de sedimentos cuando los clastos son del tamaño de arena, ya que estos pueden estar compuestos por minerales individuales provenientes de diversas fuentes. En ocasiones, se puede establecer la ubicación paleogeográfica de un área y los procesos de erosión en zonas elevadas (Dickinson y Suczek, 1979).

Sin embargo, los granos de cuarzo tienen poco valor para determinar su procedencia, ya que pueden derivar de una amplia variedad de fuentes, como una roca madre ígnea, diferentes rocas metamórficas o areniscas re TRABAJADAS. Los estudios de procedencia se llevan a cabo separando los minerales pesados del resto de los granos y luego identificándolos individualmente (Mange y Maurer, 1992). Este procedimiento, conocido como análisis de minerales pesados, puede ser un método eficaz para determinar la fuente del sedimento (Morton y Hallsworth, 1994; Morton, 2003).

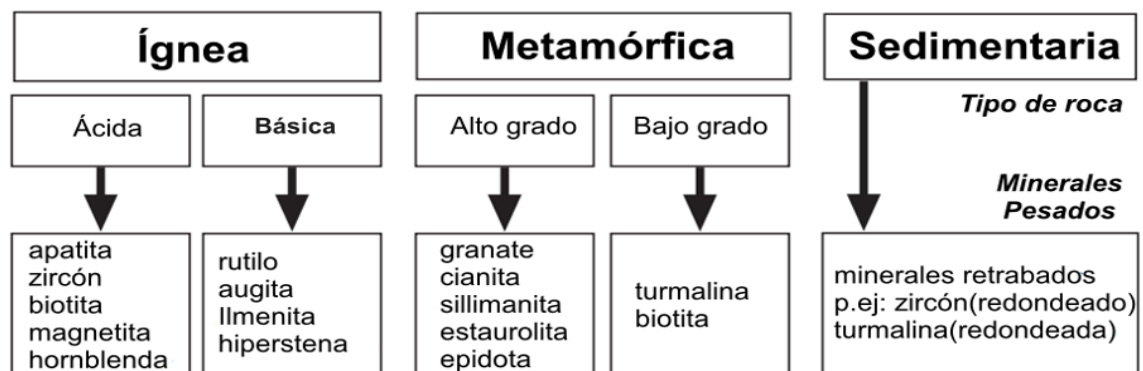


Figura N°2.1 Indicadores de procedencia según sus minerales pesados. Modificado de Nichols, G. (2009).

2.2. Caracterización geológica de los depósitos placer

2.2.1 Generalidades

Los depósitos placer han sido de interés geológico y económico a lo largo de la historia debido a su contenido de minerales valiosos. Los placeres son depósitos minerales alóctonos formados por la acumulación de partículas valiosas generadas por procesos geológicos de meteorización, erosión, transporte y depositación. Su extensión no suele abarcar grandes áreas y su valorización económica dependerá tanto del tipo de mineral concentrado como de su cantidad. Un placer se define como un depósito sedimentario de interés económico, formado a partir de la liberación total o parcial de partículas de minerales pesados presentes en rocas, depósitos minerales o depósitos preexistentes, que luego son transportadas, concentradas y depositadas mediante procesos principalmente mecánicos (Portigliati et al., 1988). La formación de un depósito de placer requiere un conjunto de condiciones geológicas, climáticas, físicas y químicas específicas (Portigliati, 1999).

Las partículas de minerales pesados deben contener propiedades principales que faciliten la creación de depósitos de placeres, estas pueden ser la densidad, la durabilidad química y mecánica de los granos resistentes, tomando en consideración el tamaño y la forma de los granos que también juegan roles importantes (Youngson y Craw, 1999). Según Patyk-Kara (2002), la lista de minerales que pueden concentrarse en placeres contiene aproximadamente 40 especies, incluyendo 30 minerales que pueden formar depósitos individuales.

2.2.2 Propiedades físicas y químicas los minerales pesados

Las propiedades físicas y químicas de las partículas valiosas en un depósito placer son fundamentales (Ver Tabla N°2.1) para comprender su formación, depositación y potencial de extracción. Según Gary et al. (1972), las principales propiedades relevantes son la densidad, la dureza y la estabilidad química, definiéndolas de la siguiente manera:

-Densidad o gravedad específica: Esta propiedad es probablemente la más importante, ya que juega un papel crucial en la separación de minerales valiosos de los no económicos.

La diferencia en densidad entre estos minerales permite su separación parcial durante procesos de concentración, facilitando la extracción de los minerales de interés.

-Dureza: La dureza de un mineral de placer influye en su resistencia a la abrasión y la pérdida de masa durante el transporte. Según el principio de Sternberg, se prefiere que los minerales de placer tengan una dureza superior a la del cuarzo para garantizar una alta resistencia a la abrasión. Sin embargo, al analizar las durezas de los minerales de placer, se observa que solo el diamante supera la dureza del cuarzo. Minerales como el oro y el platino, que son relativamente blandos y maleables, tienden a deformarse plásticamente durante el transporte, lo que produce granos de forma irregular y puede ocultar su origen detrítico.

-Estabilidad química: La estabilidad química, en particular la resistencia a la oxidación es una característica muy deseable en los minerales de placer. Esta propiedad es especialmente relevante para aquellos minerales que, al ser alterados, pueden formar productos no óptimos en términos de recuperación mineral.

Tabla N°2.1 Minerales pesados de depósitos placer ordenados por gravedad específica (de mayor a menor densidad) con su respectiva composición química ideal. Los minerales pesados tienen una gravedad específica superior a 2.85. Modificado de Van Gosen et al. (2014).

Gravedad específica	Composición química	Mineral pesado
5.2	Fe_3O_4	Magnetita
5.0	FeS_2	Pirita
4.6 - 5.4	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th})\text{PO}_4$	Monacita
4.7	FeTiO_3	Ilmenite
4.7	$(\text{Zr}, \text{Hf}, \text{U}) \text{SiO}_4$	Zircón
4.4 - 5.1	YPO_4	Xenotime
4.2 - 4.3	TiO_2	Rutilo
4.0	Al_2O_3	corindón
3.8- 4.2	FeTiO_3 to mostly TiO	Leucoxene
3.7- 3.8	$\text{Fe}_2\text{Al}_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O}, \text{OH})_2$	Estaurolita
3.4 - 3.6	$\text{CaTiO} (\text{SiO}_4)$	Esfena

2.3 Clasificación de depósitos placer

Los depósitos placer pueden clasificarse de diversas maneras; no obstante, en este estudio se adoptará una clasificación genética simple y tradicional.

Diversos autores han contribuido al desarrollo de las clasificaciones tradicionales, entre los que se destaca Lindgren W. (1922), McKinsty (1948), Bateman (1950), Routhier (1963), Lamey (1966) y Jensen y Bateman (1979). Para este estudio, se utilizarán las bases de la clasificación de Macdonald (1983), que fue adaptada por Edward y Atkinson (1986) y complementada por Portigliatti (1999), Makshev (2001) y Evans (2009).

2.3.1 Placeres residuales

Los depósitos placer residuales se forman sobre las rocas madres o fuentes, como vetas de oro o casiterita, debido a su descomposición química y a la eliminación de materiales rocosos más ligeros. Generalmente, estos depósitos se desarrollan en áreas donde la superficie del terreno es relativamente plana (Ver Figura 2.2) y es posible encontrar minerales ligeros y químicamente resistentes, como el berilo. Un ejemplo destacado son los placeres residuales productores de apatita ubicados en Finlandia (Notholt, 1979) y Uganda (Reedman, 1984).

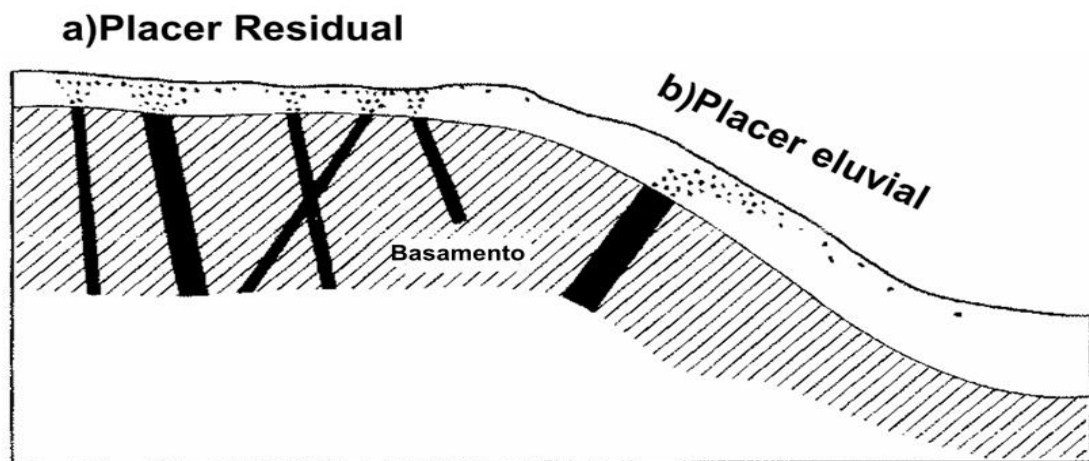


Figura N°2.2 Esquema de formación de placer residual en la parte izquierda y en la parte derecha de un placer eluvial. Modificado de Evans (2009).

2.3.2 Placeres eluviales

Los depósitos placer eluviales se forman en las laderas de las colinas a partir de minerales liberados de una roca fuente (Ver Figura N°2.2). Los minerales pesados tienden a acumularse por encima y justo debajo de la roca fuente, mientras que los minerales más ligeros y menos resistentes son disueltos o arrastrados hacia abajo por el agua de las precipitaciones o dispersados por el viento. Este proceso genera una concentración parcial debido a la reducción de volumen, que continúa de manera gradual conforme los materiales se deslizan pendiente abajo (Maksaev, 2001).

2.3.3 Placeres eólicos

En los placeres eólicos, las acumulaciones de minerales pesados se deben a la acción del viento, un proceso conocido como deflación (Jenkins, 1964). Estos depósitos suelen originarse por el retrabajo de placeres de playa, donde el viento juega un papel fundamental en la generación de dunas. En los sectores costeros, las dunas se forman por el movimiento de materiales clásticos, siendo los más livianos transportados más fácilmente, lo que favorece la concentración o reconcentración de minerales pesados (Maksaev, 2001). Las dunas costeras se clasifican en tres tipos principales: dunas frontales, dunas transgresivas y dunas estacionarias (Evans, 2005). El mecanismo de concentración en este tipo de depósitos se basa en la acción del viento, que remueve y transporta los granos más livianos, enriqueciendo el depósito con los minerales más pesados (Harraz, 2013).

2.3.4 Placeres de playas

El oleaje y las corrientes costeras concentran minerales pesados en las playas (Ver Figura N°2.3). Las olas remueven los materiales más livianos, dejando los minerales pesados en la costa, especialmente durante tormentas. Las mareas también desempeñan un papel importante, ya que, al exponer una mayor área de playa, permiten que las olas actúen más extensamente. Estos procesos ocurren en costas donde los vientos y las corrientes son paralelos a la línea costera, como en Australia y África, lo que da lugar a significativas concentraciones de minerales pesados (Maksaev, 2001). Entre los minerales más

importantes presentes en los placeres de playa se encuentran: casiterita, diamante, oro, ilmenita, magnetita, monacita (un mineral portador económicamente importante de tierras raras), rutilo, xenotima y circón (Evans, 2009).

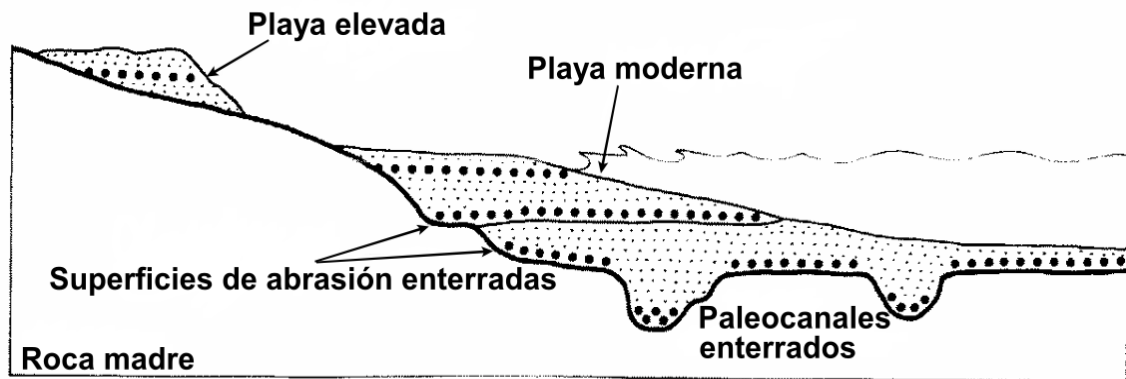


Figura N°2.3 Sección esquemática para ilustrar algunos lugares de formación de placeres de playa, los que se muestran por el punteado grueso. Modificado de Selley (1976).

2.3.5 Placeres fósiles o paleoplaceres

Estos depósitos, conocidos como placeres fósiles o paleoplaceres, son yacimientos formados hace millones de años que han sido preservados a lo largo del tiempo. Uno de los ejemplos más destacados es el depósito aurífero de Witwatersrand, ubicado en Sudáfrica, compuesto por conglomerados auríferos y uraníferos que datan del Arcaico tardío al Proterozoico medio. Las rocas huésped en Witwatersrand son conglomerados oligomícticos, caracterizados por guijarros de cuarzo lechoso, con una matriz rica en pirita (o más raramente hematita), sericita y cuarzo. Los minerales de oro y uranio, principalmente uraninita, se encuentran en la matriz junto con otros numerosos minerales detríticos.

En esta zona aurífera (Ver Figura N°2.4), los cuerpos minerales parecen haberse formado en torno a la periferia de un lago intermontano intracratónico o un mar interior de aguas poco profundas. La deposición ocurrió en la interfaz entre sistemas fluviales, que arrastraban sedimentos y minerales pesados desde áreas fuente al norte y al oeste, y un sistema litoral lacustre, que retrabajaba los materiales transportados (Pretorius, 1975, 1981).

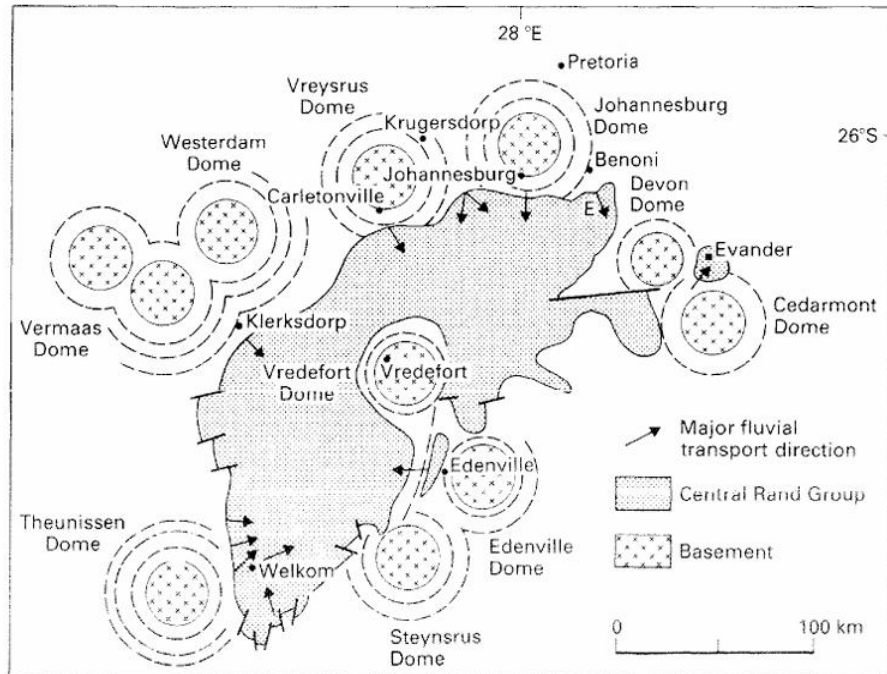


Figura N°2.4 Mapa que muestra la distribución del Grupo Central Rand, que contiene la principal mineralización de Au-U, dentro de los campos auríferos de Witwatersrand. Extraído de Minter et al., (1988).

2.3.6 Placeres aluviales hospedados en abanicos aluviales

Los placeres que contienen sedimentos gravitacionales son producto de la meteorización, facilitada por la acción del agua. En regiones desérticas y semiáridas, las precipitaciones son ocasionales, de intensidad variable y espaciadas en el tiempo; estas pueden actuar como la fuente de agua necesaria para generar desplazamientos laterales o diagonales, formando placeres aluviales. Entre estos procesos se incluyen deslizamientos de bloques, derrames, arrastres, conos de deyección, solifluxión, gelifluxión, flujos de barro y avalanchas. Estos eventos implican el transporte y redepositación de materiales sedimentarios previamente acumulados (Ver Figura N°2.5). Cuando las precipitaciones son moderadas, pueden generar derrames laterales con desplazamientos lentos, movilizandobloques desde un punto de origen y haciéndolos flotar sobre una zona plástica o licuefactible (Chorley et al., 1984). Por el contrario, cuando el contenido de agua es bajo, predominan fenómenos de remoción en masa diagonales, que provocan deslizamientos de rocas, detritos y suelos. En condiciones de mayor saturación, los

materiales tienden a experimentar procesos como solifluxión (flujos de detritos), flujos de barro y avalanchas.

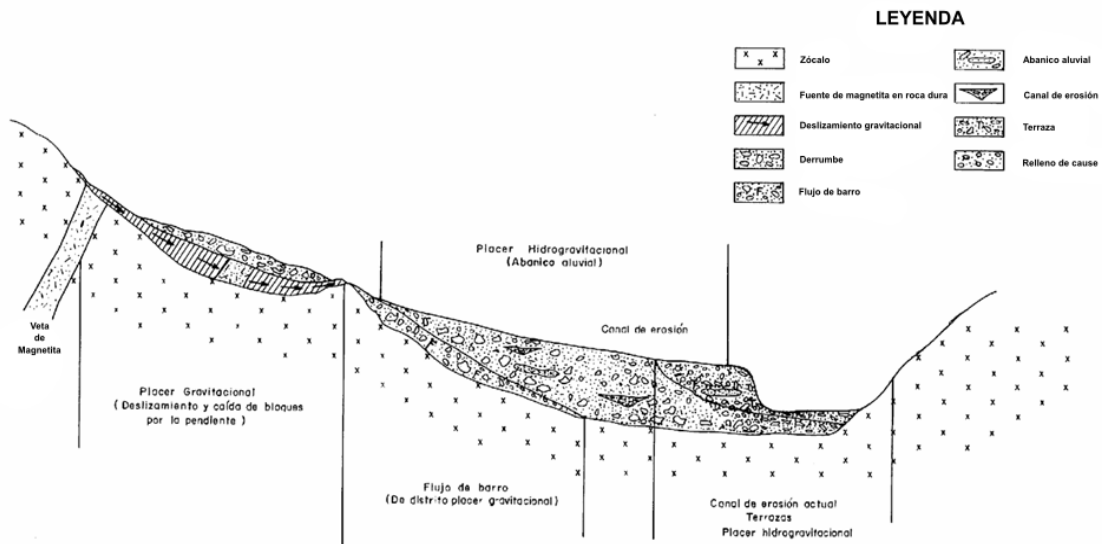


Figura N°2.5 Perfil esquemático de depósitos de placeres aluviales desarrollado en zonas áridas. Modificado de Portigliati (1999).

El contenido de agua tiene una relación directa tanto con el tipo de movimiento generado como con la concentración y deformación de los minerales pesados involucrados. La viscosidad del material influye en procesos de atrición y abrasión, que deforman las partículas libres y los fragmentos de roca. En condiciones de mayor contenido de agua, predominan movimientos de flujo, incluyendo flujos de roca, detritos, escombros y suelos, lo que aumenta la concentración de minerales pesados y amplifica los fenómenos de atrición y abrasión entre partículas. Una característica distintiva de estos depósitos sedimentarios formados por procesos hidrogravitacionales es su mala selección, con una matriz abundante en arcilla y clastos de tamaño variable, que van de angulosos a subangulosos.

Capítulo 3 Marco Geológico

3.1 Geología Regional

La Cordillera de la Costa representa el contexto regional donde se emplaza el área de estudio y por ende se describe la geología aflorante de este segmento cordillerano (Ver Figura N°3.1). Según estudios previos, el basamento está compuesto por rocas metasedimentarias de edad Devónico-Carbonífero, depositadas en una cuenca de antearco y posteriormente incorporadas a la evolución tectónica de la Cordillera de la Costa (Bahlburg & Breitzkreuz, 1993). Posteriormente, estas rocas fueron deformadas en un cinturón de empuje durante el Carbonífero Tardío, desarrollando pliegues de inclinación suave y una intensa anisotropía de cizallamiento-estratificación (Bell, 1984). La secuencia presenta características de una mélange al suroeste de Chañaral, la cual podría formar parte de un prisma de acreción del Paleozoico (Bell, 1987).

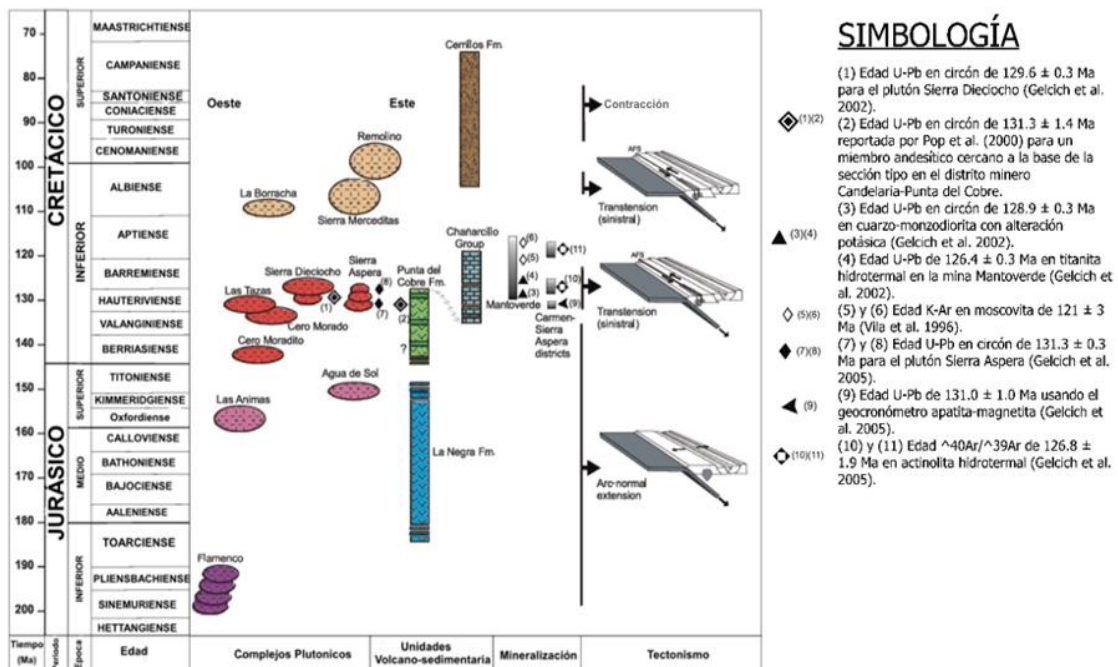


Figura N°3.1 Relaciones temporales del tectonismo Mesozoico, actividad relacionada con el arco (plutonismo y vulcanismo), sedimentación y mineralización. Modificado de Grocott y Taylor (2002).

Los complejos plutónicos del arco magmático del Pérmico, Triásico, Jurásico y Cretácico Temprano fueron emplazados en este basamento metasedimentario (Berg et al., 1983; Brown, 1991). La geocronología ha demostrado que las rocas intrusivas y las zonas de

cizallamiento dúctil sinplutónicas se hicieron más jóvenes hacia el este (Berg y Breitzkreuz, 1983; Dallmeyer et al., 1996). En las partes occidentales del área, la Formación La Negra, los cuerpos plutónicos y las unidades de basamento están cortadas por enjambres de diques dioríticos y/o andesíticos con rumbos norte-sur, noroeste y noreste (Lara y Godoy, 1998).

3.2 Marco Morfoestructural

El Proyecto Imanxito se encuentra ubicado en la Cordillera de la Costa. Las principales estructuras tectónicas del área están asignadas al sistema de fallas de Atacama (SFA), de orientación norte-sur, el cual se extiende por más de 1.000 km desde Iquique hasta La Serena (Naranjo, 1987; Thiele y Pincheira, 1987; Brown et al., 1993) (Ver Figura N°3.2). El SFA se expone en la parte occidental del área como tres fallas sub-paralelas, de orientación norte-sur y sub-verticales, conocidas como las ramas occidental, central y oriental (Brown et al., 1993). La deformación dúctil se asoció con la colocación de complejos plutónicos del Cretácico Temprano entre aproximadamente 132 y 106 Ma (Grocott et al., 1994; Dallmeyer et al., 1996).

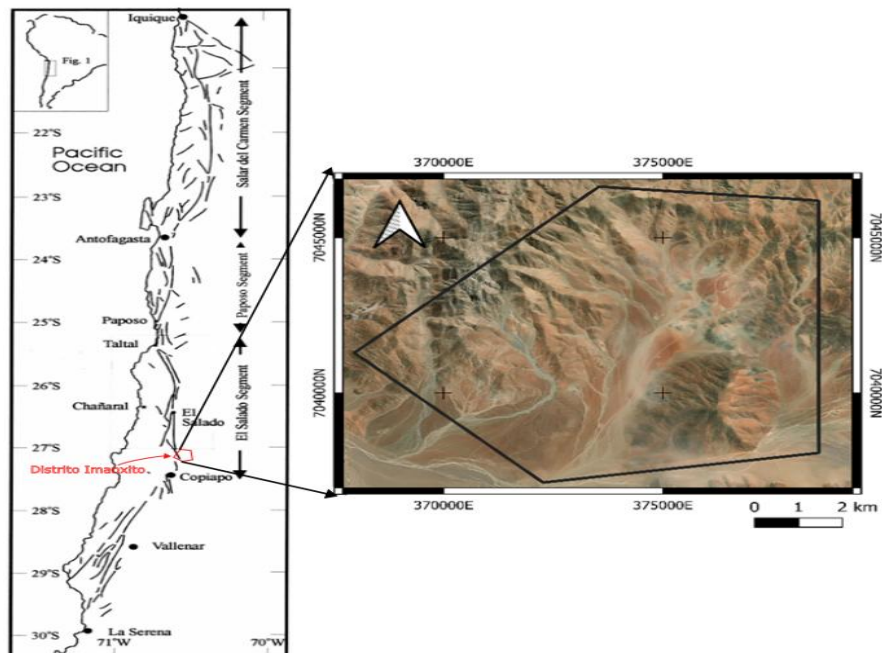


Figura N°3.2 Mapa general del SFA en el norte de Chile y la ubicación del Proyecto Imanxito. Modificado de Taylor et al., (1998)

La geocronología, utilizando diversas técnicas, ha demostrado que las edades de los complejos plutónicos y de las rocas miloníticas asociadas son idénticas dentro del margen de error, lo que ha llevado a concluir que el enfriamiento fue rápido tras el emplazamiento del plutón (Dallmeyer et al., 1996). Este enfriamiento rápido implica que los complejos plutónicos fueron emplazados a un nivel cortical alto y que el calor necesario para la deformación de alta temperatura en las envolturas tectónicas asociadas a estos plutones fue transferido hacia la corteza superior fría mediante fluidos hidrotermales que fluyeron a lo largo de los sistemas de fallas, por delante del avance del magma (Brown et al., 1993).

3.3 Unidades geológicas formales

Las unidades geológicas descritas en este estudio fueron extraídas principalmente de la carta geológica *Quebrada Salitrosa* (Lara y Godoy, 1998), correspondiente a la Región de Atacama (Ver Figura N°3.3).

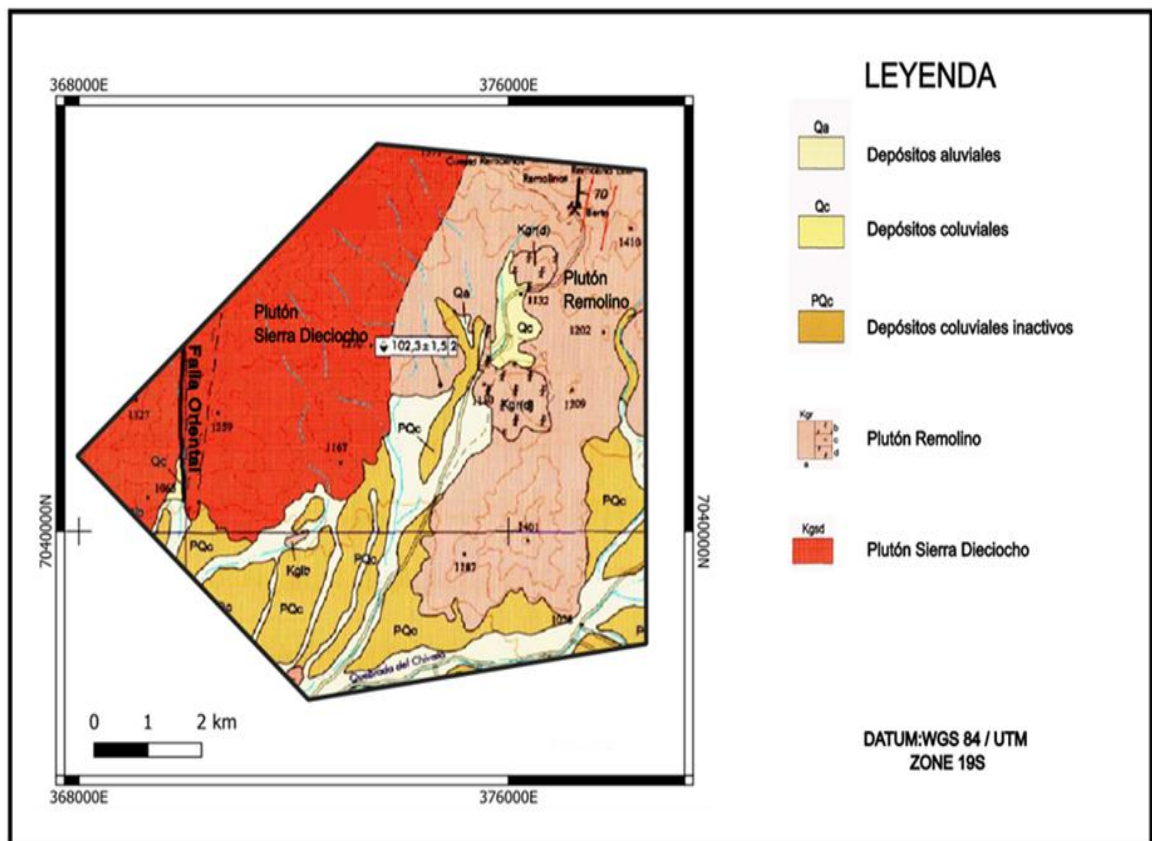


Figura N°3.3 Extracto de la carta geológica Quebrada Salitrosa, mostrando el área de estudio y las unidades geológicas representadas en la leyenda. Coordenadas UTM, datum WGS 1984. Modificada de Lara y Godoy (1998).

3.3.1 Depósitos no consolidados

Depósitos aluviales

Depósitos Cuaternarios que están compuestos por gravas, arenas y limos de selección variable. Los sedimentos son de origen fluvial, depositados en llanuras y abanicos aluviales, y la morfología actual está asociada a quebradas.

Depósitos coluviales

Depósitos Cuaternarios coluviales monomícticos están formados por clastos subangulosos y de mala selección, que conforman conos coluviales activos.

Depósitos coluviales inactivos

Depósitos del Plioceno-Cuaternario que están compuestos por gravas, arenas y bloques monomícticos, expuestos como abanicos coluviales estables. En la región costera de las hojas Chañaral y Diego de Almagro, estos depósitos alcanzan una edad pliocena, presentando intercalaciones de cenizas datadas en $2,9 \pm 0,4$ Ma mediante el método K-Ar en biotita (Lara y Godoy, 1998).

3.3.2 Plutón Remolino

Cuerpo intrusivo elipsoidal de 15 km de longitud, con un eje mayor en el noreste. En su borde oriental presenta una zona deformada que enmarca el núcleo de tonalitas de anfíbolitas cloritizadas, de grano grueso, que incluyen variedades de anfíbola y biotita de grano medio. Las facies de microdioritas afloran en las zonas norte del intrusivo, mientras que en quebrada Chivato afloran granodioritas de anfíboles y biotita, leucocráticas, de grano medio, con manteo subvertical y foliación magnética en rumbo nor-noreste, constituida por anfíboles. El tercio meridional del plutón está formado por dioritas cuarcíferas de hornblenda y biotita, con una fábrica isótropa de grano medio. El borde oriental del plutón corresponde a una franja de milonitas que presentan foliación nor-noreste, subvertical y fuertemente inclinada hacia el este. La presencia de porfiroclastos sigma de plagioclasas, cuarzo en cintas, superficies S-C y sombras de presión asimétricas indican un cizalle sinistral (Grocott et al., 1994).

En el núcleo tonalítico se ha obtenido una edad K-Ar en biotita de 107 ± 3 Ma, concordante con la edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en gas total, en hornblenda de $102,3 \pm 1,5$ Ma, reportada por Dallmeyer et al., (1996). En las facies granodioritas se obtuvo una edad mínima de 93 ± 3 Ma de K-Ar en biotita. Aunque no se disponen de edades radiométricas en las milonitas de la zona de cizalla, se sugiere, por las relaciones de contacto, que habrían sido formadas durante el emplazamiento del plutón.

3.3.3 Plutón Sierra Dieciocho

Cuerpo tabular de 20 km de longitud, elongado en dirección norte-sur, al este de la falla oriental del SFA (Ver Figura N°3.3). Compuesto por granitoides foliados que se vuelven isótopos en el extremo norte, con facies dioríticas cuarcíferas y granodioritas que presentan piroxeno relictos, hornblenda y biotita. Al oeste, se encuentra en contacto por falla con la Formación La Negra y al este, es intruido por tonalitas del Plutón Remolino. La foliación magnética, con rumbo nor-noreste y manteo subvertical, contiene una lineación de estiramiento horizontal, observada en agregados elongados de cuarzo, hornblenda y biotita. En el borde occidental del plutón se desarrolla una faja de cizalla caracterizada por superficies S-C y una fábrica milonítica compuesta por cuarzo, hornblenda, biotita, epidota y albita. Esta asociación mineral indica condiciones metamórficas de facies esquistos verdes a anfibolita. Asimismo, la elongación y orientación preferencial de los granos de cuarzo definen una lineación de estiramiento subhorizontal, consistente con una cinemática de cizalla sinistral (Brown et al., 1993).

La edad de este plutón ha sido determinada a través de diferentes métodos. Dallmeyer et al., (1996) reportaron dos edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ para anfíbol $126,8 \pm 0,5$ Ma y $125,7 \pm 0,4$ Ma, entre las quebradas Las Ánimas y Carrizalillo. Estos resultados son coherentes con la edad de $123,7 \pm 2,7$ Ma obtenida por Berg y Breitzkreuz (1983) mediante el método Rb-Sr para roca total y con las edades K-Ar recalculadas por Zentilli (1974), que son de 120 ± 4 Ma en anfíbol y 115 ± 3 Ma en biotita.

3.4 Marco Metalogénico

El Proyecto Imanxito se localiza dentro de la franja metalogénica de la Cordillera de la Costa (Ver Figura N°3.4), caracterizada por depósitos de tipo hierro-óxido-cobre-oro (IOCG, por sus siglas en inglés) y depósitos de hierro-óxidos-apatito (IOA), los cuales se

hospedan en rocas que abarcan desde el Jurásico hasta el Cretácico Temprano. El vulcanismo de arco, ocurrido desde el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Temprano, se desarrolló a lo largo del flanco oriental de la Cordillera de la Costa, entre las latitudes 26° y 29°S, y está representado por las rocas volcánicas del Grupo Punta de Cobre (Lara y Godoy, 1998), que alberga importantes distritos IOCG como Candelaria-Punta del Cobre (Marschik y Fontbote, 2001).

Los complejos plutónicos de la Cordillera de la Costa, entre las latitudes 26° y 27°30'S, fueron emplazados de manera sintectónica durante el Jurásico Temprano a Medio, formando cuerpos en forma de lámina con inclinación suave y varios kilómetros de espesor, controlados por sistemas de fallas extensionales orientadas al este (Grocott et al., 1994; Grocott y Taylor, 2002). Los depósitos IOCG presentan una relación estrecha con los complejos plutónicos y los sistemas de fallas coetáneos (Sillitoe, 2003).

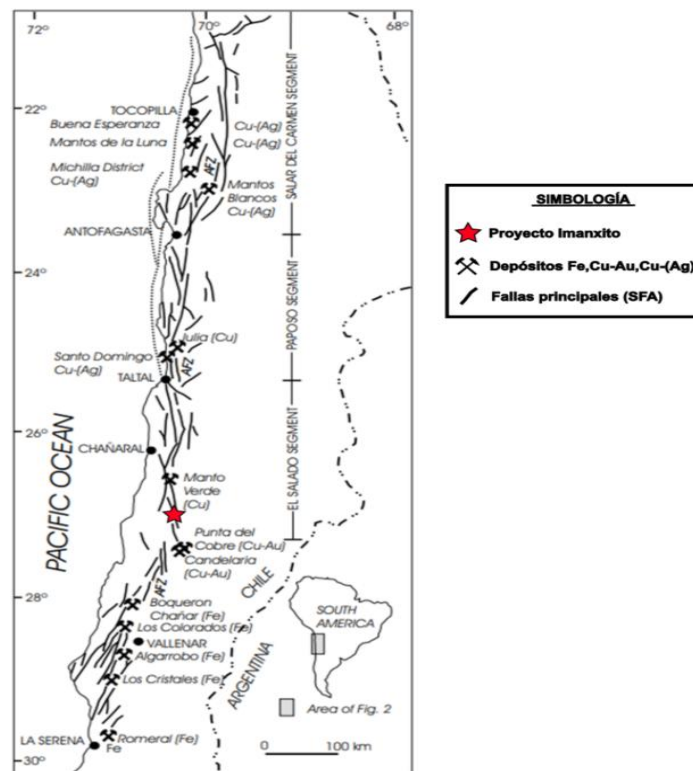


Figura N°3.4 Mapa mostrando la ubicación de los principales depósitos minerales cretácicos tipo IOCG e IOA. Las líneas negras representan el Sistema de Fallas de Atacama. La estrella roja señala la ubicación del Proyecto Imanxito. Modificado de Maksaev (2002).

3.5 Marco Climático

Un aspecto relevante dentro del presente estudio corresponde al clima del área de estudio, el cual presenta condiciones desérticas características de la Región de Atacama. Este clima se caracteriza por precipitaciones extremadamente bajas, escasa humedad y alta amplitud térmica, lo que limita los procesos de meteorización química y oxidación. Estas condiciones resultan favorables para la preservación de minerales ricos en hierro para el Proyecto Imanxito, permitiendo la conservación de magnetita sin alteraciones significativas. Según Köppen (1948), el área de estudio se caracteriza por un clima desértico transicional (BWi). Este clima se encuentra en el límite de la zona con influencia de la nubosidad costera (BWN), en un rango altitudinal de 1200 a 1500 msnm, en una franja de ancho variable (Ver Figura N°3.5). La región se ve sometida a la influencia del anticiclón del Pacífico, que desempeña un papel crucial en la regulación de las condiciones climáticas (Rutllant y Sippa, 1971).

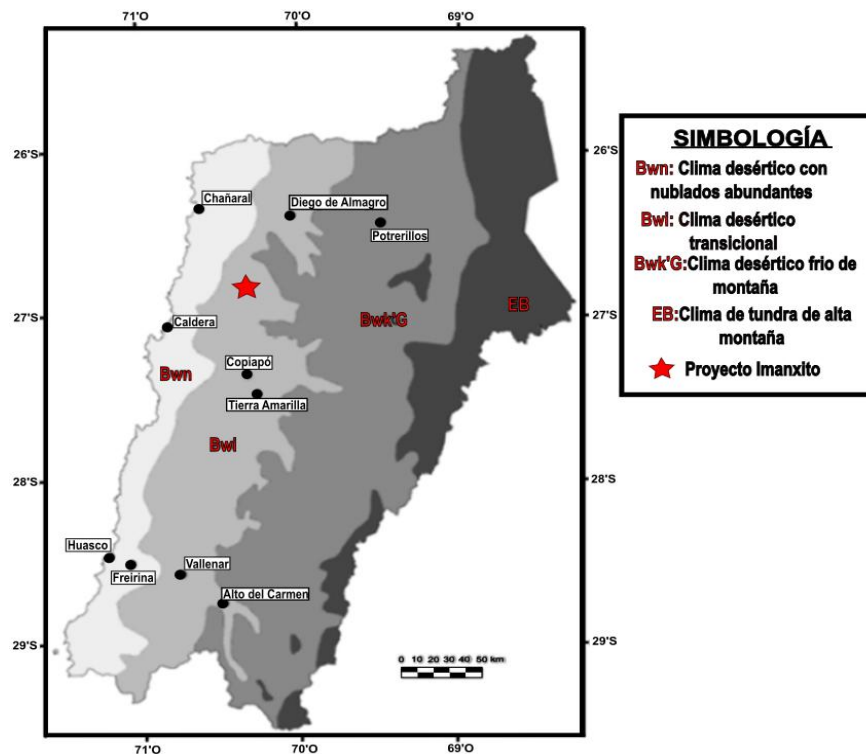


Figura N°3.5 Tipos climáticos de la región de Atacama. Clima desértico con nublados abundantes (BWN). Clima Desértico Transicional (BWi). Clima Desierto Frío de Montaña (BWK'G). Clima de Tundra de Alta Montaña (EB). El Proyecto Imanxito es la estrella en rojo. Modificado de Juliá et al., (2008).

3.6 Marco Geomorfológico

La geomorfología regional influye directamente en la acumulación y concentración de sedimentos en ambientes continentales. En zonas áridas con alto relieve, los abanicos aluviales representan formas clave de depositación, al formarse por la pérdida de energía de flujos que descienden desde sectores elevados. Este trabajo se enfoca en un depósito placer de magnetita alojado en un abanico aluvial, por lo que resulta esencial contextualizar brevemente la morfología de estas geoformas para comprender el ambiente de acumulación.

Los abanicos aluviales presentan una morfología cónica y están formados por la acumulación de materiales detríticos que se originan en áreas montañosas. Estos abanicos se forman principalmente en zonas de ruptura de pendiente, donde las corrientes pierden su confinamiento y depositan sedimentos clásticos (Blissenbach, 1954). El flujo principal, al perder velocidad, se dispersa radialmente, acumulando materiales clásticos de granulometría variada, generalmente mal seleccionados y angulosos, debido a la rápida deposición.

En regiones áridas, los abanicos aluviales suelen tener un tamaño reducido y una morfología radial más definida, ya que se forman mediante flujos masivos no newtonianos, como coladas de detritos y de fango, con intercalaciones ocasionales de depósitos acuosos (Bull, 1972). En contraste, en climas húmedos, los abanicos se generan principalmente por corrientes tractivas acuosas de comportamiento newtoniano, capaces de transportar grandes cantidades de sedimento (Pye, 1994).

La morfología, distribución granulométrica y distribución de facies del abanico aluvial se subdividen en tres partes (Ver Figura N°3.6):

1. Cabecera del abanico: Caracterizada por la acumulación de detritos de granulometría gruesa y muy gruesa, transportados por flujos no confinados (arroyada en manto, *sheet flood*) y/o flujos masivos (*debris flows*).
2. Cuerpo del abanico: Caracterizado por el transporte de materiales de granulometría media a gruesa mediante cursos acuosos de tipo trenzado (*braided*).
3. Pie de abanico: Caracterizado por la acumulación de materiales de granulometría fina mediante la expansión por pérdida del encajamiento de diversos tipos de

corrientes tractivas. En las zonas más alejadas se produce el tránsito a otros sistemas deposicionales.



Figura N°3.6 Esquema planimétrico idealizado de un abanico aluvial aislado con la distribución de los principales sectores diferenciados: 1) Cabecera (zona apical) del abanico. 2) Cuerpo del abanico. 3) Pie del abanico. Modificado de Arche, (2010).

Capítulo 4. Metodología

La metodología empleada en este estudio fue diseñada para responder directamente a los objetivos planteados. En particular, el mapeo geológico y la caracterización litológica y de alteración realizados en terreno permitieron abordar el objetivo de caracterizar la geología y metalogenia del área de estudio. Las mallas de muestreo MR1 y MR2, distribuidas a lo largo del abanico aluvial, se orientaron a cumplir el objetivo de determinar la procedencia de las partículas de magnetita. Por su parte, la malla de muestreo M1P, con una separación regular de 500 m, fue aplicada para evaluar de manera preliminar el potencial económico del depósito. Finalmente, los análisis geoquímicos mediante XRF permitieron identificar posibles anomalías geoquímicas, mientras que el estudio petrográfico microscópico permitió identificar la composición mineralógica de las muestras.

4.1 Etapa de Pre-Gabinete

4.1.1 Recopilación de antecedentes

Se recopiló la información de la carta geológicas con el fin de obtener antecedentes generales sobre el ambiente en el que se sitúa el Proyecto Imanxito.

4.1.2 Confección de mapa base de mapeo

Para la confección del mapa base se utilizó el software QGIS. Se instaló un complemento *QuickMapServices* que ofrece una diversidad de imágenes satelitales, seleccionándose la imagen satelital *Big Satellite*. Luego, la imagen fue editada para generar una base de mapeo a escala 1:14.000, con grillas de coordenadas WGS 84 / UTM zone 19S (Ver Figura N°4.1). Además, se realizó una fotointerpretación de la zona para obtener información previa sobre posibles cambios de litología, estructuras geológicas, laboreos mineros y alteraciones.

MAPA BASE DEL PROYECTO IMANXITO

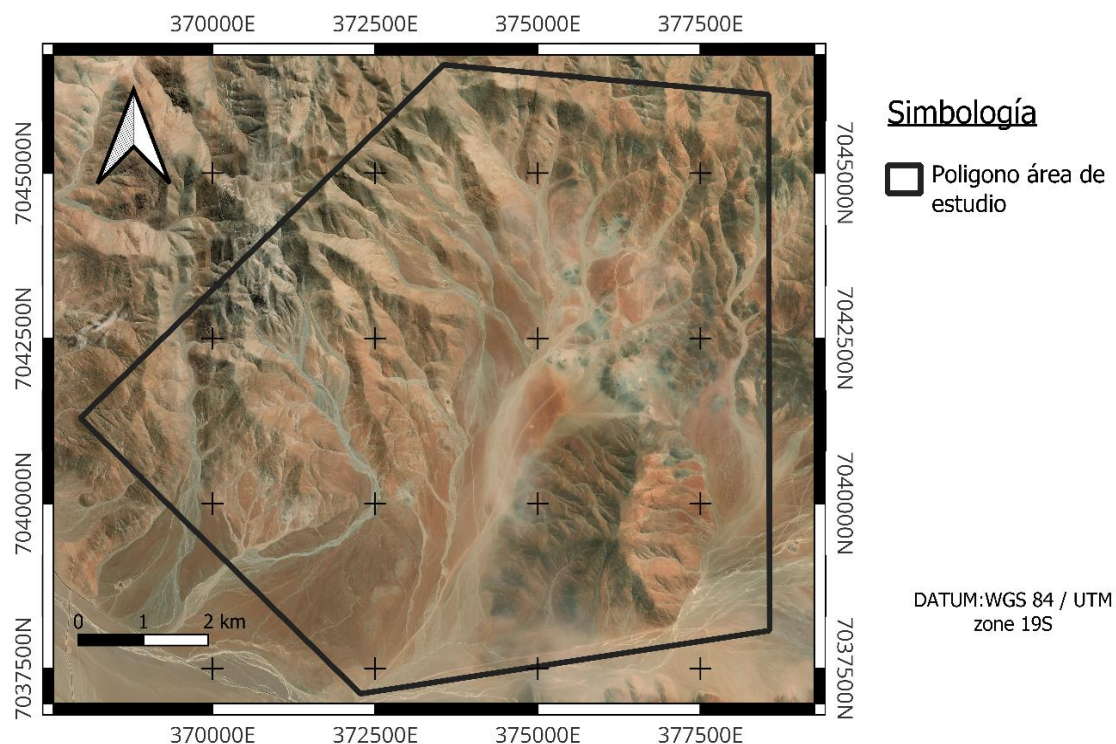


Figura N°4.1 Base de mapeo realizado en el software QGIS. Elaboración propia.

4.2 Etapa de terreno

4.2.1 Mapeo litológico y de alteración- mineralización

El mapeo geológico de la zona se basó en la identificación de las litologías presentes, los contactos entre las diferentes unidades geológicas, la presencia de mineralización, las alteraciones observadas y el análisis del control estructural del área. Este proceso se llevó a cabo mediante el reconocimiento y la cartografía de las unidades geológicas en el terreno, utilizando herramientas como brújula y GPS. Además del mapeo, se procedió a la recolección de muestras de mano en varios puntos representativos del área de estudio. Estas muestras fueron posteriormente analizadas en el laboratorio para realizar una descripción macroscópica detallada de su composición y características petrográficas.

4.2.2 Muestreo

Se realizaron dos mallas de muestreos sistemáticos, obteniéndose un total de 38 muestras. La primera malla se separa en dos sectores MR1 que se ubica en la zona del pie del

abanico, donde se tomaron 14 muestras, por su parte la malla MR2, se situó en la zona del cuerpo y cabecera del abanico recolectándose 24 muestras (Ver Figura N°4.2) las muestras fueron codificadas como MR1(N°)-PA-FIC y MR2(N°)-PA-FIC.

Mapa de muestreo geoquímico orientado a la identificación de la fuente de hierro.

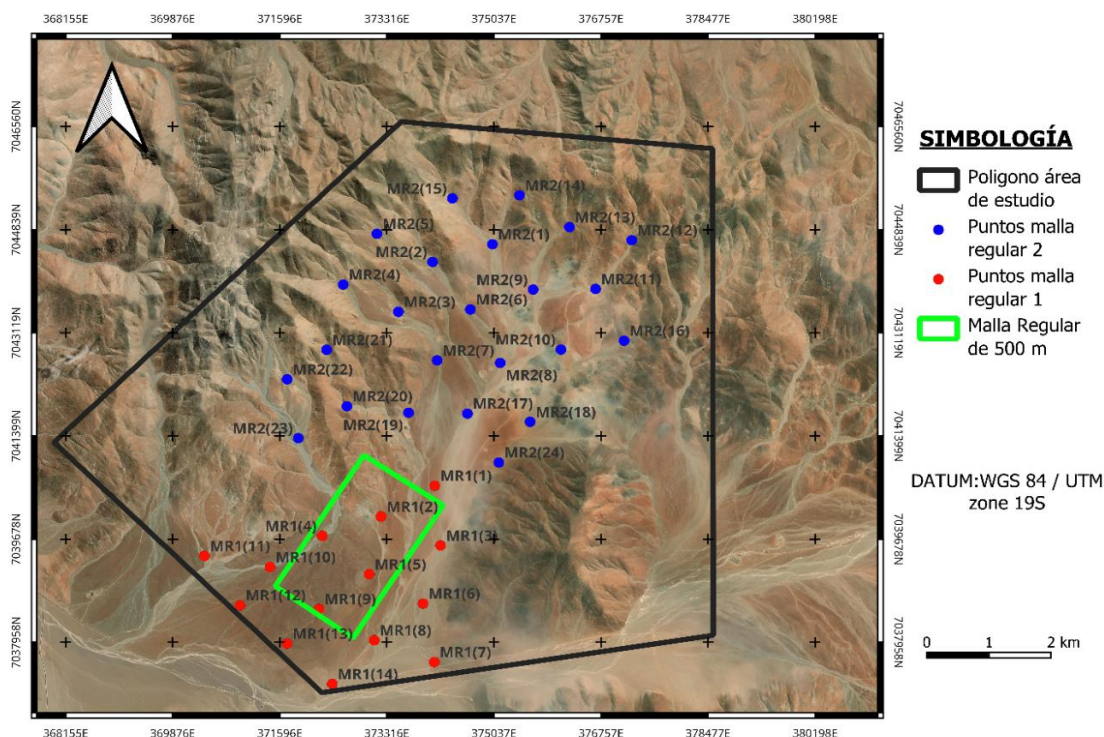


Figura N°4.2 Mapa de las mallas de muestreo regular para encontrar la fuente.

Cada muestra, con un peso entre 3 y 5 kg de sedimentos no consolidados (Ver Figura N°4.3a), fue recolectada en intervalos regulares de aproximadamente 1 km. Posteriormente, a cada muestra se le aplicó un proceso de cuarteo, con el objetivo de obtener una fracción representativa del material recolectado.

El cuarteo consistió en extender la muestra sobre una lona limpia, homogenizar completamente el sedimento y dividirlo en cuatro partes iguales. Posteriormente, se seleccionaron las fracciones opuestas destinadas a conformar la submuestra (indicadas con círculos azules Ver Figura N°4.3b), mientras que las fracciones restantes (círculos rojos) fueron descartadas. Este procedimiento se repitió hasta obtener el peso requerido para el análisis, asegurando que la submuestra mantuviera una composición representativa del material original.

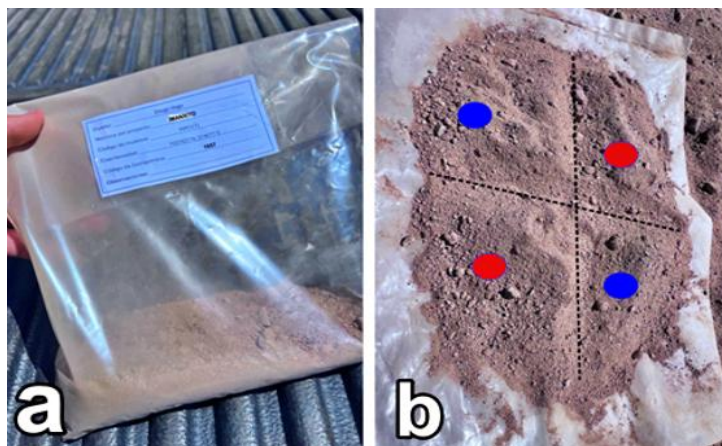


Figura N°4.3 (a) Codificación de las muestras tomadas en terreno. (b) Procedimiento de cuarteo aplicado a los sedimentos, donde los círculos azules indican las fracciones seleccionadas para conformar la submuestra, mientras que los círculos rojos corresponden al material descartado durante el proceso de reducción de la muestra

Para evaluar el potencial económico del Proyecto Imanxito se realizó una malla de muestreo cada 500 metros (Ver Figura N°4.4), tomando un total de 25 muestras para tener una mayor representatividad del depósito. Se codificaron las muestras como FIC-MI-M(N°) P.

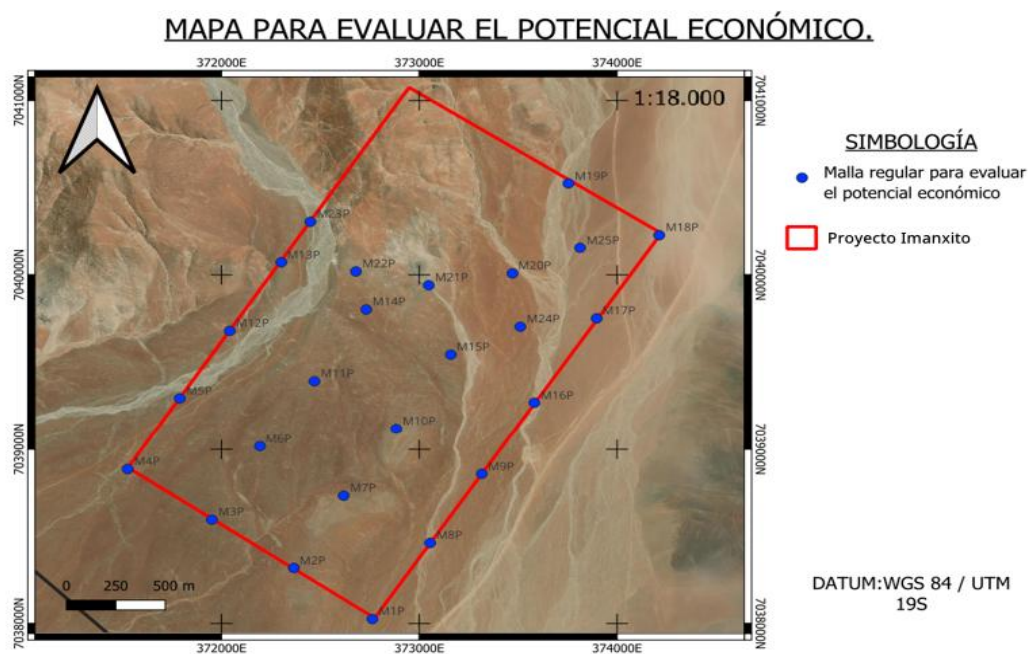


Figura N°4.4 Mapa de la malla de muestreo para evaluar el potencial económico.

4.3 Etapa Post-Gabinete

4.3.1 Confección de secciones y microscopía óptica

Se llevó a cabo la confección de secciones delgadas de muestras seleccionadas, las cuales fueron preparadas para su observación mediante microscopía óptica. Las secciones se elaboraron utilizando un corte preciso que permite observar la textura, estructura y mineralogía de las rocas y minerales presentes en las muestras. Se realizaron seis cortes transparentes en las diferentes litologías encontradas en el área de estudio, con el fin de garantizar una mayor certeza en la identificación de minerales y permitir la observación de características ópticas distintivas.

En cuanto a las muestras analizadas con luz reflejada, se utilizaron cuatro briquetas pulidas para estudiar los minerales opacos. La luz reflejada resalta las características superficiales de los minerales, facilitando la identificación de minerales metálicos. Ambas técnicas de microscopía son fundamentales para caracterizar los materiales estudiados y proporcionar información valiosa sobre su composición mineral y las condiciones de formación.

4.3.2 Geoquímica de exploración temprana

Se realizó un análisis geoquímico a las muestras de roca, a las mineralizaciones y a los depósitos no consolidados utilizando un analizador portátil XRF S1 TITAN de fluorescencia de rayos X (Ver Figura N°4.5). Este dispositivo permite cuantificar la presencia de diversos elementos y su abundancia en porcentajes y/o partes por millón, basándose en la medición de los rayos secundarios emitidos o fluorescencia generada por los elementos. A partir de estos datos, se generaron gráficos estadísticos para calcular parámetros como la mediana, la moda y la desviación estándar, permitiendo caracterizar la variabilidad geoquímica de las muestras.

Para cuantificar el contenido de magnetita, se utilizó la concentración de hierro total reportada por el equipo en forma de óxidos (Fe_2O_3 total), empleándose como parámetro de referencia para estimar la proporción relativa de minerales ricos en hierro en las muestras analizadas. Cabe señalar que los resultados obtenidos mediante XRF portátil corresponden a estimaciones semicuantitativas, debido a limitaciones asociadas a la heterogeneidad de las muestras, efectos de matriz y variaciones mineralógicas, entre otros

factores. Por esta razón, los valores de hierro obtenidos no representan necesariamente una ley exacta de magnetita, sino que permiten reconocer variaciones relativas de enriquecimiento entre las distintas muestras. Aun así, los datos presentan suficiente consistencia para diferenciar tendencias geoquímicas y contrastes relativos en la concentración de hierro dentro del área de estudio.

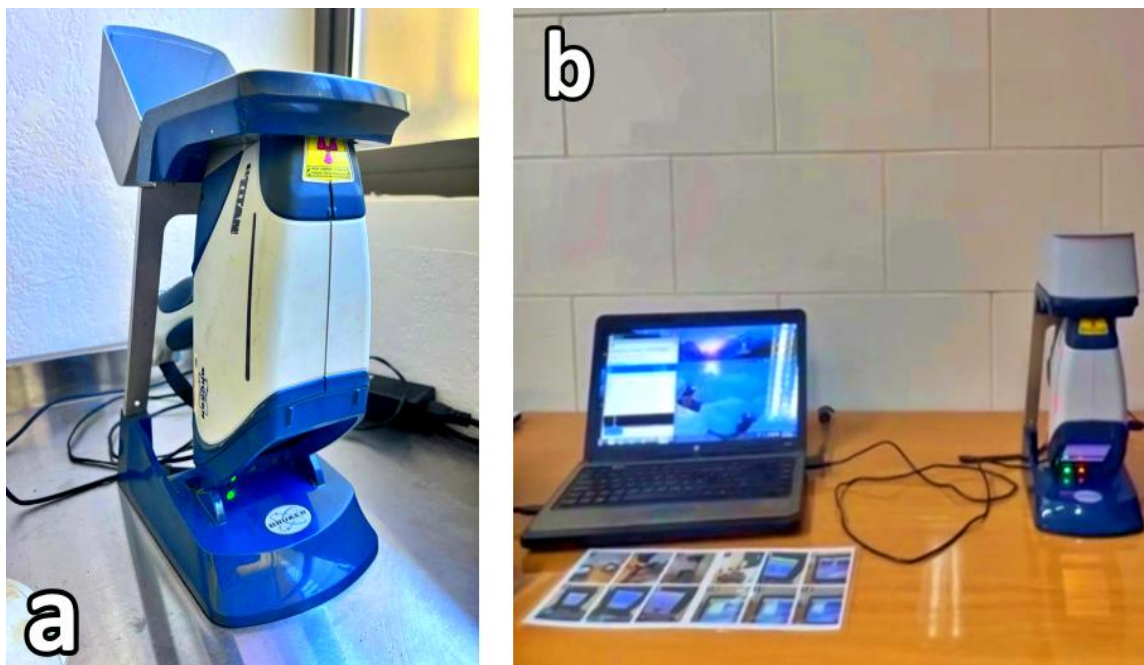


Figura N°4.5 a) Pistola de fluorescencia de rayos x. b) Escritorio de laboratorio donde se realizaban las tomas de muestras con la pistola.

Capítulo 5. Resultados

5.1 Extracto mapa metalogénico del Proyecto Imanxito

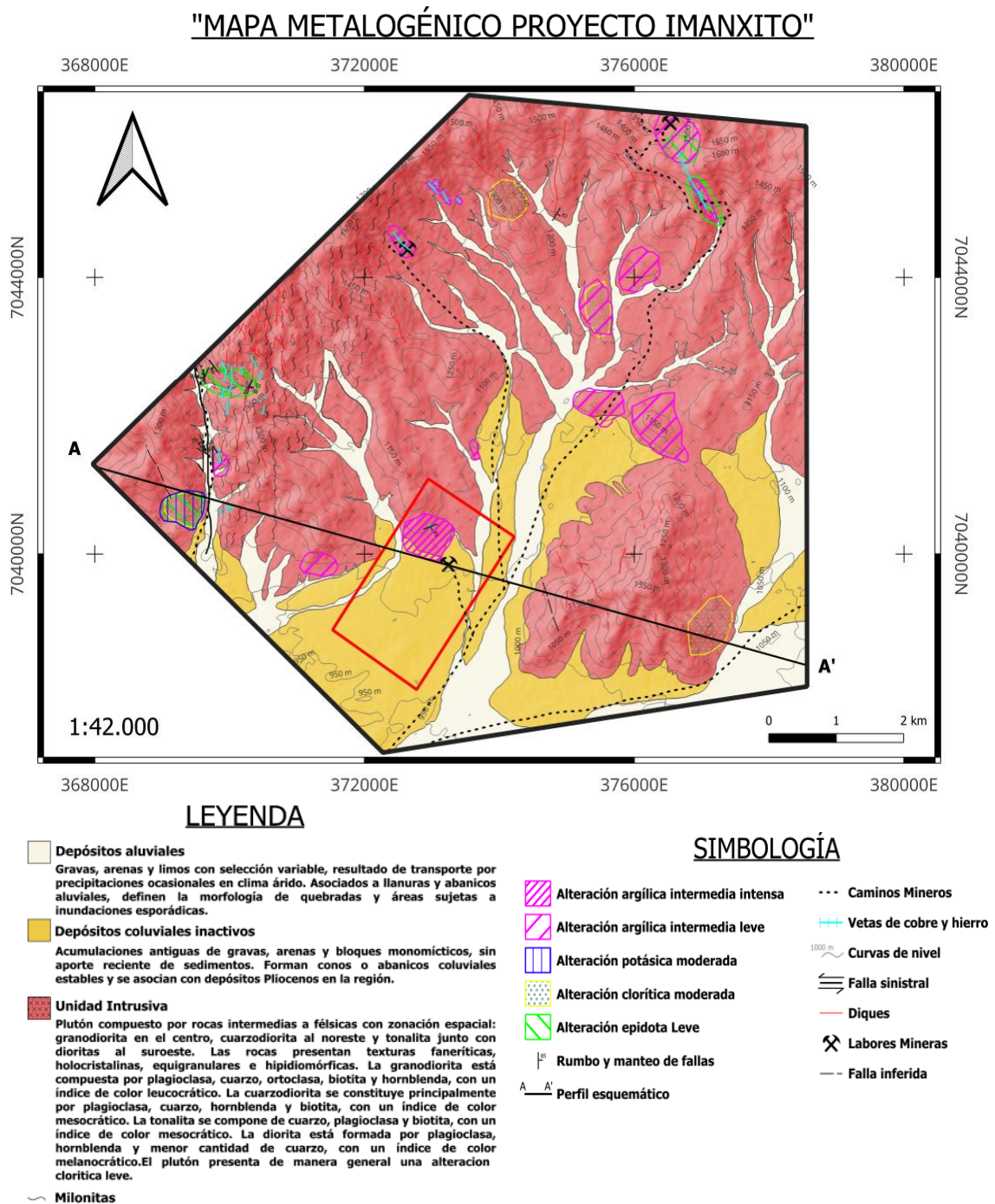


Figura N°5.1 Extracto adaptado (más detalle Ver Anexo N°21) del mapa metalogénico del Proyecto Imanxito.

5.2 Unidades geológicas

5.2.1 Depósitos aluviales

En esta unidad se reconocieron depósitos aluviales compuestos por gravas, arenas y bloques, desarrollados en un ambiente árido. Los sedimentos presentan una selección variable, evidenciada por la heterogeneidad granulométrica y la distribución irregular de los clastos. Estos depósitos corresponden a acumulaciones de origen aluvial (Ver Figura N°5.2), formando llanuras y abanicos aluviales que definen la morfología actual de quebradas y sectores planos, los cuales se ven ocasionalmente afectados por eventos de inundación.



Figura N°5.2 Fotografías de terreno indicando los depósitos aluviales y coluviales inactivos.

Se observaron diversos clastos provenientes de los plutones y zonas miloníticas. Cabe destacar que, dentro de los depósitos aluviales, se identificaron partículas de magnetita, así como bloques de aproximadamente 1 a 2 metros de diámetro que presentaban magnetismo (Ver Figura N°5.3).

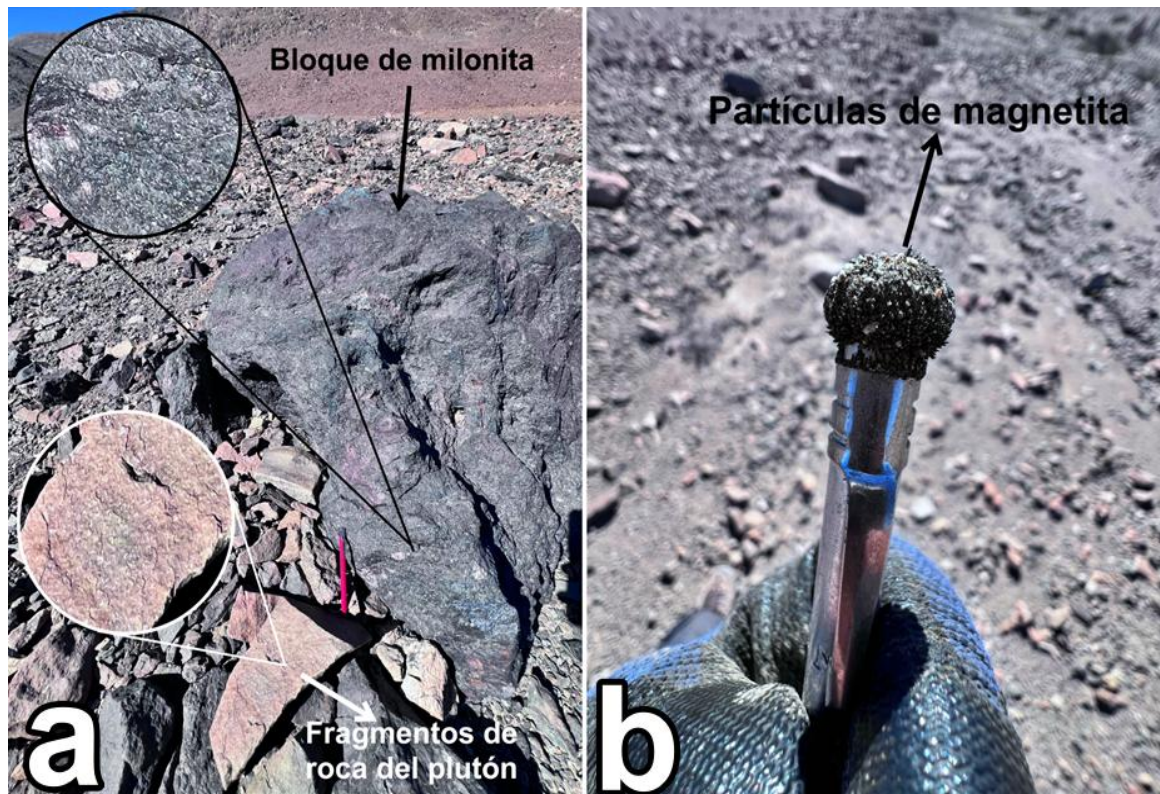


Figura N°5.3 a) Fotografía de terreno donde se observa un bloque de aproximadamente 1–2 metros de diámetro con magnetismo acompañado de fragmentos de roca provenientes del plutón. b) Se aprecia el lápiz geológico en la zona del imán cubierta por partículas de magnetita.

En terreno se reconoció una escasa exposición de columnas estratigráficas. No obstante, se identificó una columna ubicada fuera del depósito, con una altura aproximada de 1,5 metros (Ver Figura N°5.4). Esta presenta una textura clástica oligomítica, con clastos de tamaño variable entre 1 cm y 8 cm. Los clastos mostraban baja esfericidad y un grado de redondeamiento entre subangular y subredondeado. El empaquetamiento era predominantemente matriz-soportado y la fábrica observada era isótropa. Se reconocieron contactos de tipo gradual y erosivo. Las estructuras sedimentarias predominantes fueron de gradación normal e inversa. Los principales tipos de estratos identificados fueron gravas matriz-soportadas, arenas y gravas clasto-soportadas.

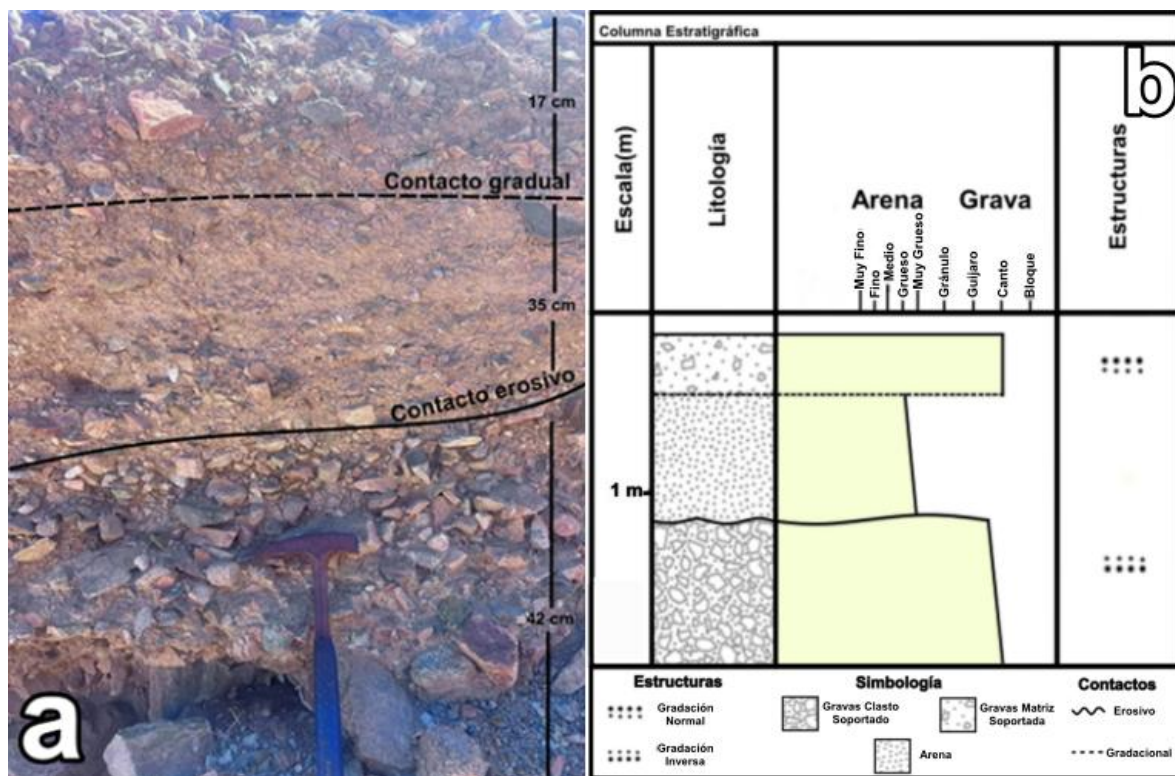


Figura N°5.4 a) Columna estratigráfica en terreno de los depósitos aluviales. b) Columna estratigráfica digitalizada con el software Sedlog.

5.2.2 Depósitos coluviales inactivos

En terreno se reconocieron acumulaciones antiguas sin actividad sedimentaria actual, compuestas principalmente por gravas y arenas, las cuales han permanecido relativamente estables en su posición original, sin evidencia de aporte reciente de material detrítico. El Proyecto Imanxito se emplaza directamente sobre estos sedimentos (Ver Figura N°5.5). Se identificó una alta concentración de partículas de magnetita, reconocibles por su color oscuro y atracción al imán además de una abundante presencia de fragmentos líticos derivados de las milonitas, del plutón y diques.

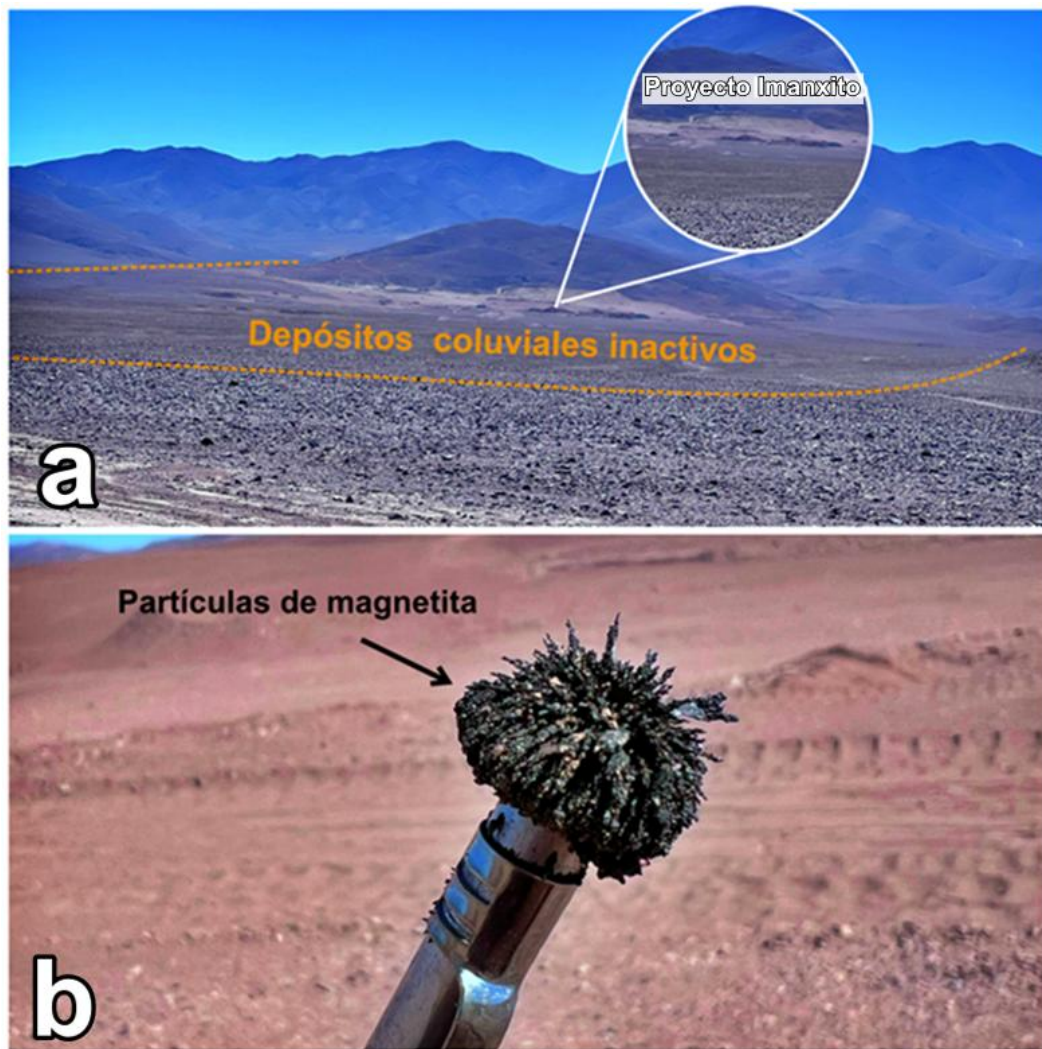


Figura N°5.5 a) Fotografía de terreno de la ubicación del Proyecto Imanxito sobre los depósitos coluviales inactivos. b) Se observa el lápiz geológico en la zona del imán cubierta por partículas de magnetita.

5.2.3 Unidad intrusiva

En terreno se reconoce una unidad intrusiva compuesta predominantemente por rocas de composición intermedia a félsica. Si bien se identificaron variaciones litológicas dentro del cuerpo intrusivo, estas no pudieron ser diferenciadas cartográficamente a la escala de trabajo empleada, por lo que fueron agrupadas dentro de una única unidad geológica. No obstante, se observó una zonación espacial distintiva, donde en el sector central afloran principalmente granodioritas, hacia el noreste predominan las cuarzodioritas y hacia el suroeste se reconocen tonalitas acompañadas por dioritas.

5.2.3.1 Granodiorita

La roca está constituida principalmente por plagioclasa, cuarzo, ortoclasa y hornblenda (Ver Figura N°5.6). Su textura es fanerítica, con cristales de tamaño medio a grueso. Desde el punto de vista de su cristalinidad, presenta una textura holocristalina. La distribución del tamaño de los cristales es equigranular y el desarrollo de las caras cristalinicas es subhedral, por lo que su textura es hipidiomórfica. El índice de color es leucocrático.

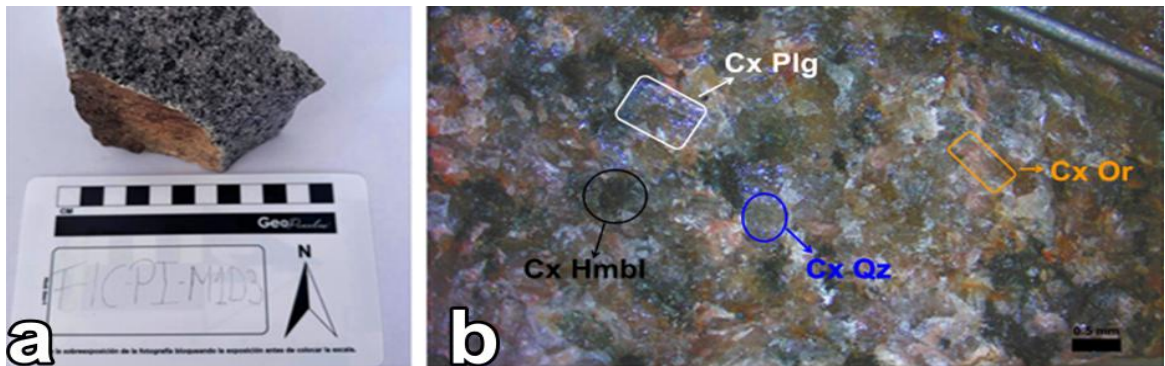


Figura N°5.6 a) Muestra de mano de la roca granodiorítica. b) Fotografía de microscopio con cristales de cuarzo (Qz), hornblenda (Hmb), plagioclasa (Plg) y ortoclasa (Or) de la roca granodiorita.

5.2.3.2 Tonalita

La roca se compone por plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita (Ver Figura N°5.7). La tonalita presenta una textura fanerítica, con cristales de tamaño medio a grueso. Tiene una textura holocristalina, equigranular e hipidiomórfica. El índice de color es mesocrático.

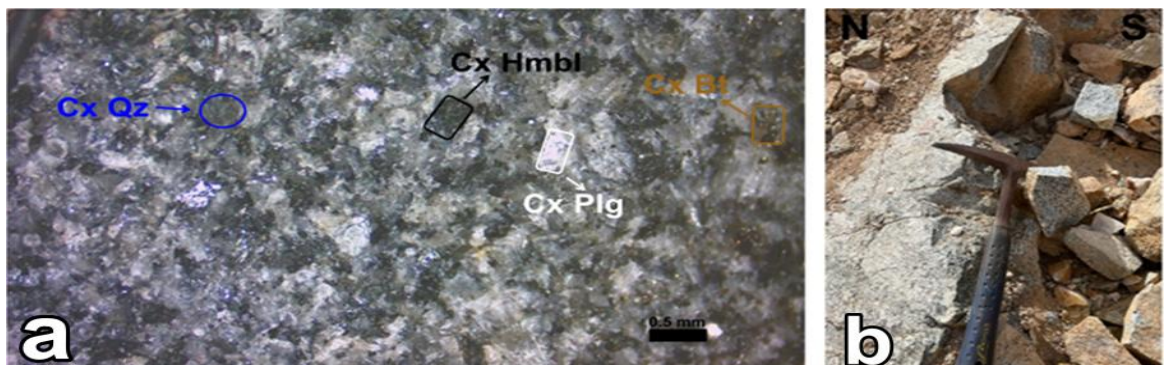


Figura N°5.7 a) Fotografía de microscopio los cristales de cuarzo (Qz), hornblenda (Hmb), plagioclasa (Plg) y biotita (Bt) de la roca tonalítica. b) Fotografía de afloramiento en terreno.

5.2.3.3 Cuarzodiorita

Esta roca está compuesta principalmente por plagioclasa, cuarzo y hornblenda (Ver Figura N°5.8). Su textura es fanerítica, con cristales de tamaño medio a grueso. Presenta una textura holocristalina, hipidiomórfica y equigranular. El índice de color es también mesocrático.

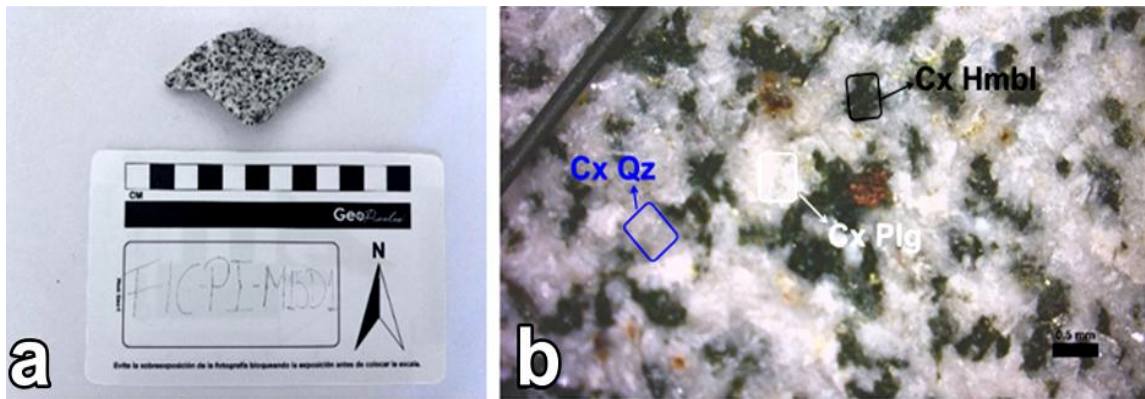


Figura N°5.8 a) Muestra de mano de la roca cuarzodiorítica. b) Fotografía de la roca en microscopio con cristales de cuarzo (Qz), hornblenda (Hmbl) y plagioclasa (Plg).

5.2.3.4 Diorita

Esta roca está compuesta por fases diorítica cuarcífera principalmente de plagioclasa, hornblendas y en menor proporción cuarzo (Ver Figura N°5.9). Su textura es fanerítica, con cristales de tamaño mediano. Presenta una textura holocristalina, hipidiomórfica y equigranular. Su índice de color es melanocrático.

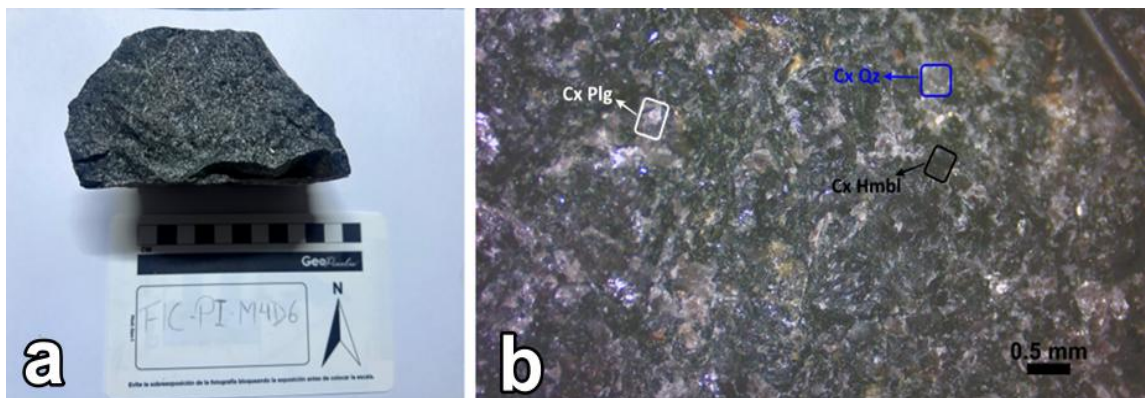


Figura N°5.9 a) Muestra de mano de la roca diorítica. b) Fotografía de la roca en microscopio.

5.2.4 Unidad metamórfica

La unidad metamórfica corresponde a una roca milonítica (Ver Figura N°5.10a), se encuentra ubicada en la zona suroeste del área de estudio (Ver anexo N°21). La roca varía de tonalidades grises claro y gris oscuro. Se observan bandas oscuras compuestas principalmente de micas de biotita y anfíboles, mientras que las bandas más claras están formadas por cuarzo y plagioclasa (Ver Figura N°5.10b).

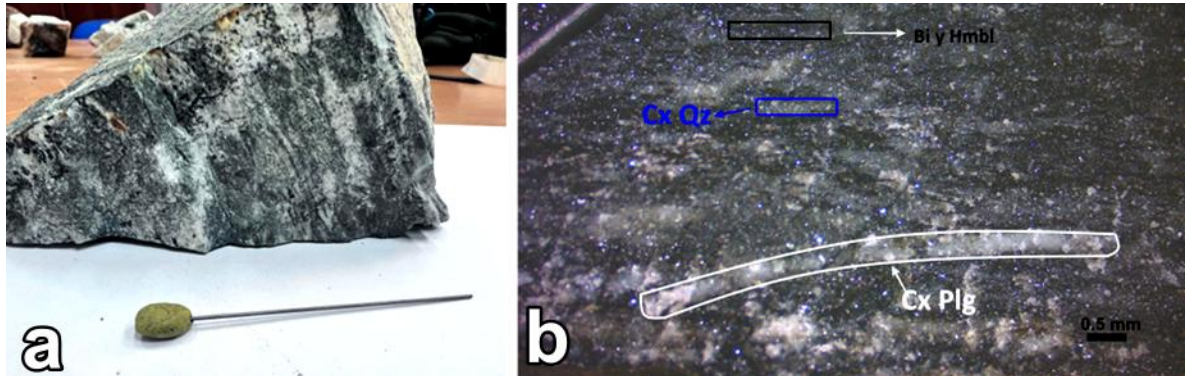


Figura N°5.10 a) Fotografía de muestra de mano de la roca milonítica. b) Fotografía de la roca en microscopio.

Se reconocen varias foliaciones acompañadas de un bandeamiento bien desarrollado y una fábrica lineal característica. El protolito de esta unidad corresponde a una roca ígnea plutónica de composición granodiorítica (Ver Figura N°5.11). La roca milonítica se encuentra espacialmente asociada a una estructura secundaria del Sistema de Fallas de Atacama denominada Falla Oriental (Brown et al., 1993).

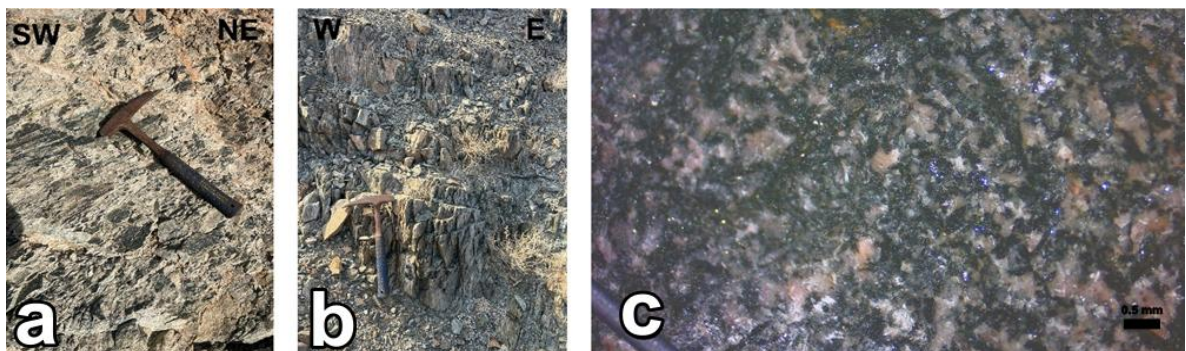


Figura N°5.11 a) y b) Fotografías de afloramientos con planos de foliación. c) Fotografía de microscopio del protolito.

5.2 Alteraciones

Durante el estudio geológico de campo realizado en el Proyecto Imanxito se reconocieron cuatro asociaciones principales de alteración mineral que afectan a las rocas del área de estudio, presentando variaciones en su intensidad y distribución espacial. Las alteraciones identificadas corresponden a alteración argílica intermedia, clorítica, epidótica y potásica.

La alteración argílica se reconoce tanto en los bordes de vetas (Ver Figura N°5.12b) como en la roca caja. Esta alteración también afecta a rocas del plutón (Ver Figura 5.12a), manifestándose principalmente por la transformación de plagioclasas a minerales arcillosos, con preservación local de cristales de feldespato potásico y sódico.

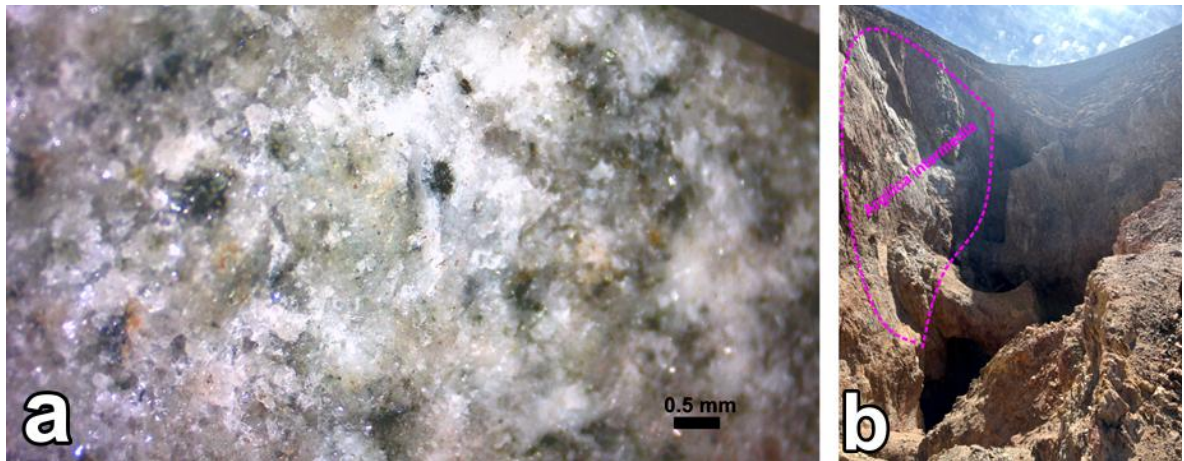


Figura N°5.12 a) Fotografía de microscopio de la alteración argílica intermedia afectando a plagioclasas. b) Fotografía de campo de la alteración argílica en los bordes de una veta de óxidos de cobre.

En ciertas zonas del área de estudio se observó alteración clorítica de intensidad moderada afectando principalmente a las rocas cuarzodioríticas y dioríticas. Sin embargo, la alteración predominante en los plutones corresponde a una cloritización leve. Los cristales de hornblenda muestran un reemplazo parcial por clorita dando la coloración verde característica (Ver Figura N°5.13).

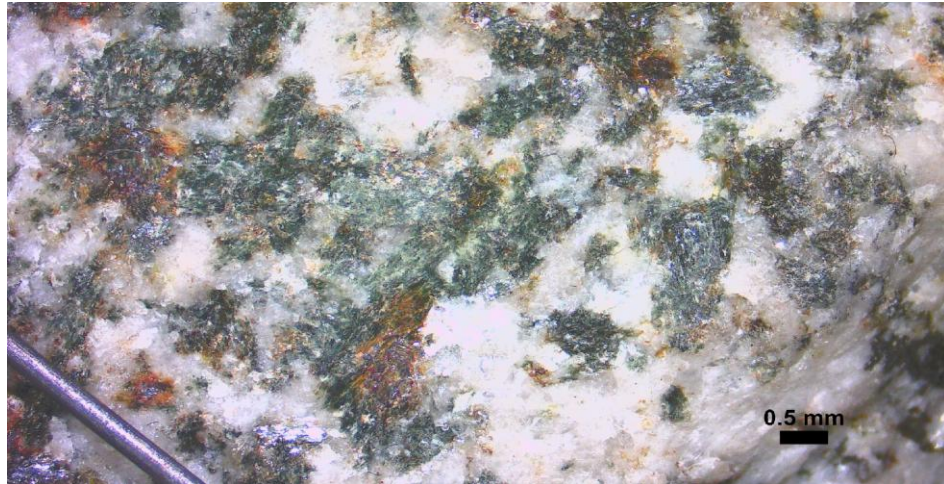


Figura N°5.13 Fotografía de microscopio de la roca cuarzodiorítica que está siendo alterada a clorita en las hornblendas.

Otra alteración observada en el área de estudio corresponde a la alteración de epidota, la cual presenta intensidad leve y afecta tanto a las rocas cuarzodioríticas, miloníticas y dioríticas. Esta alteración se encuentra distribuida en forma de vetas, vetillas y de manera diseminada a lo largo de la matriz de la roca. En las zonas afectadas se distingue por su tonalidad verdosa característica (Ver Figura N°5.14a y b).

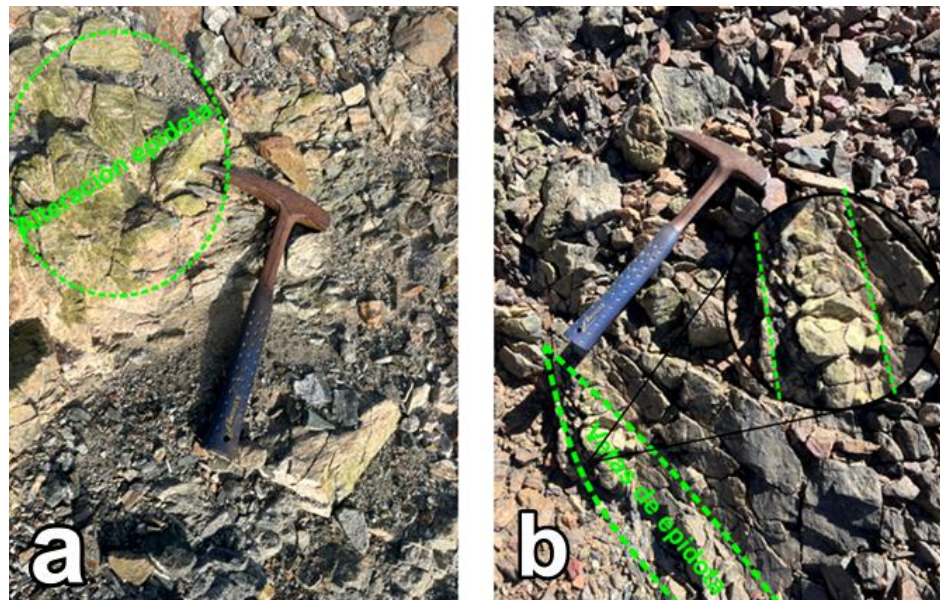


Figura N°5.14 a) Fotografía de terreno del área de las milonitas con alteración de epidota. b) Fotografía de afloramiento de veta de epidota.

La alteración potásica se observó en una zona específica del área de estudio ubicada al suroeste afectando a una roca diorítica y a las granodioritas siendo afectados los cristales de plagioclasas adicionando feldespato potásico (Ver Figura N°5.15).

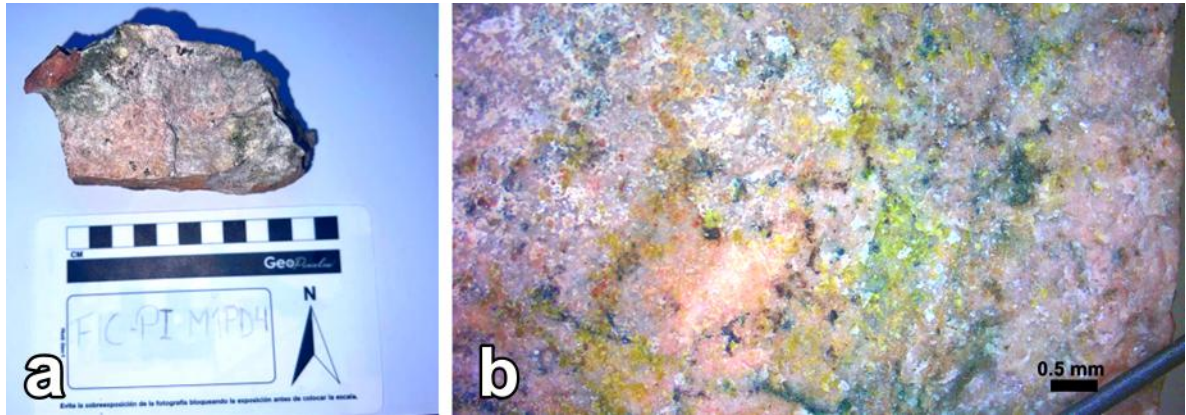


Figura N°5.15 a) Fotografía de muestra de mano de la alteración potásica. b) Fotografía de microscopio donde se observa la alteración potásica y epidota.

5.3. Mineralización

En el Proyecto Imanxito se han identificado labores mineras asociadas a mineralizaciones de óxidos de cobre y hierro. Estas se emplazan mayoritariamente en zonas topográficamente elevadas y se vinculan a un control vetiforme. La explotación se concentra en estructuras mineralizadas con óxidos de cobre, principalmente crisocola y malaquita (Ver Figura N°5.16 a y b).

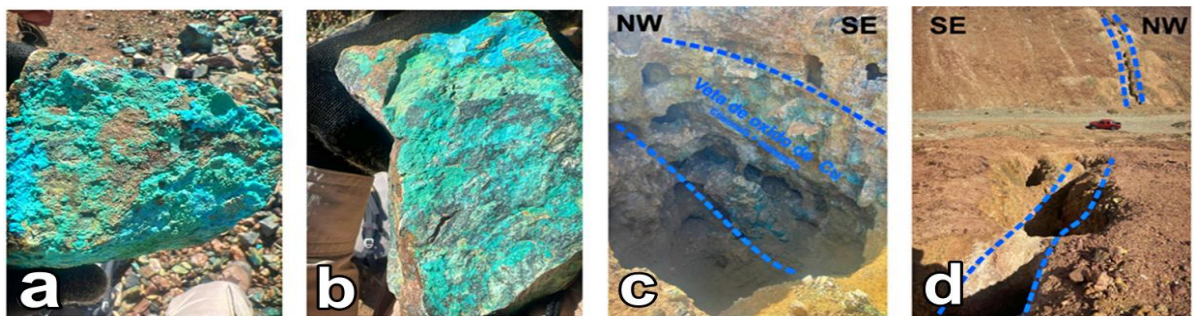


Figura N°5.16 a) Muestra de mano de mineralización crisocola y malaquita. b) Se observa la roca milonítica la que podría estar asociada a la mineralización. c) Fotografía de terreno de una veta de óxidos de cobre. d) Laboreo minero asociado a la zona milonítica.

Puntualmente se encontraron vetas de hierro que presentaban dos modos de ocurrencia: tipo bolsón, controlado de manera estructural, y vetiforme (Ver Figura N°5.17). Su

composición estaba constituida principalmente por minerales de magnetita, hematita y martita. En terreno, ambas ocurrencias se distinguieron por su geometría y disposición espacial dentro de la roca hospedante. El modo tipo bolsón se caracterizaba por presentar una forma más irregular y localizada, mientras que las vetas correspondían a cuerpos más continuos y tabulares.

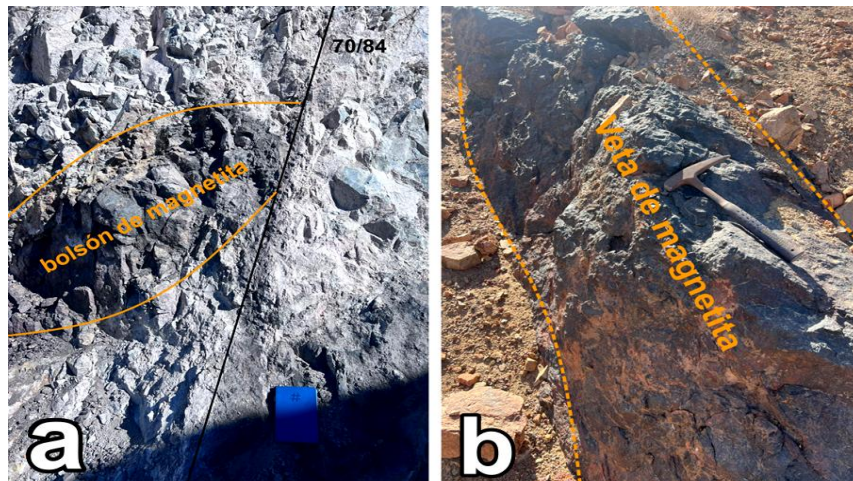


Figura N°5.17 a) Fotografía de un afloramiento que contiene una veta de magnetita en forma de bolsón siendo afectada por una falla en dirección 70/85(Mano derecha). b) Se observa en terreno una veta de magnetita orientada 325/83.

En la zona donde se encontraron las milonitas se encuentran diversas labores mineras (Ver Figura N°5.18) junto a traza de la falla secundaria del AFS denominada “Falla Oriental”. La mineralogía en las vetas no tenía una variación considerable segúan siendo minerales de óxidos de cobre y hierro.



Figura N°5.18 Labores mineras asociadas a la zona de las milonitas.

5.4 Geología estructural

En terreno se observó que la zona de mayor relevancia estructural se encuentra asociada a la traza de la falla secundaria del SFA, conocida como Falla Oriental. Esta estructura presenta un control litológico y estructural evidente sobre la mineralización. La traza de la falla se encuentra ubicada al NW de la zona de estudio en una quebrada (Ver Figura N°5.19).



Figura N°5.19 Traza de la Falla Oriental en imagen satelital de Google Earth.

En esta traza se identificaron cerca de 15 fallas geológicas, de las cuales una presenta un indicador cinemático. Se localiza en las coordenadas 7040591.96 m N; 369654.95 m E, y corresponde a un criterio de Petit que indica un movimiento sinistral (Ver Figura N°5.19).



Figura N°5.20 Fotografía de terreno del criterio de petit indicando un movimiento sinistral.

5.5 Petrología microscópica

5.5.1 Cortes transparentes

Se realizaron cortes transparentes representativos de las principales litologías del área de estudio, incluyendo granodioritas, tonalitas, dioritas, cuarzodioritas y diques microdioríticos.

En conjunto, se observaron en luz transmitida las láminas con mineralogía dominada por cuarzo (Qz), plagioclasa (Plg), biotita (Bt), clorita (Chl), actinolita (Act), sericita (Ser) y ortoclasa (Or), con presencia frecuente de titanita (Ti) (Ver Figura N°5.21). Las rocas presentan texturas faneríticas de grano medio a fino, holocristalinas e hipidiomórficas, generalmente inequigranulares. Algunas plagioclasas exhiben textura poiquilítica y alteración a sericita.

De manera recurrente, se observan minerales opacos subhedrales a anhedrales con hábito cúbico, por lo que podrían ser probables magnetitas.

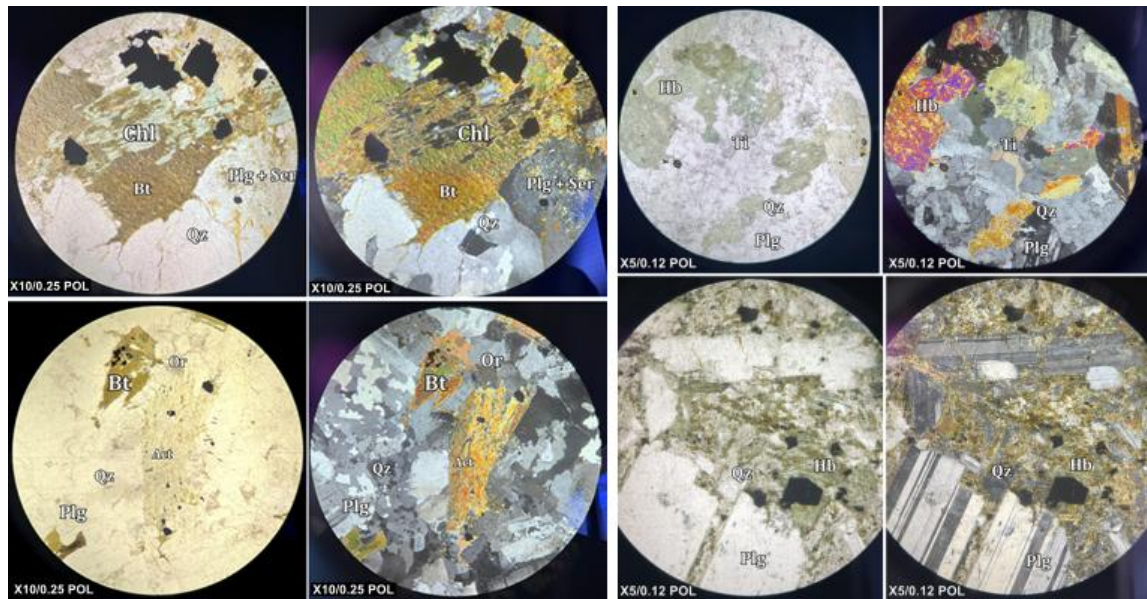


Figura N°5.21 Mosaico de cortes transparentes (NP y NC) correspondientes a diversas litologías del área de estudio. Las muestras presentan mineralogía compuesta principalmente por plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz), biotita (Bt), hornblenda (Hb), clorita (Chl), actinolita (Act) y ortoclasa (Or), con titanita (Ti) como fase accesoria frecuente. Se reconocen minerales opacos subhedrales a anhedrales con hábito cúbico, interpretados como magnetita.

Lo relevante de estos cortes es la presencia de microestructuras de deformación dúctil, expresadas por foliaciones S–C y un porfiroclasto con geometría sigmoidal (Ver Figura N°5.22), cuyas colas asimétricas (sombras de presión) indican un sentido de cizalle sinistral. La asociación mineral está compuesta por cuarzo, plagioclasa, titanita, hornblenda y biotita.

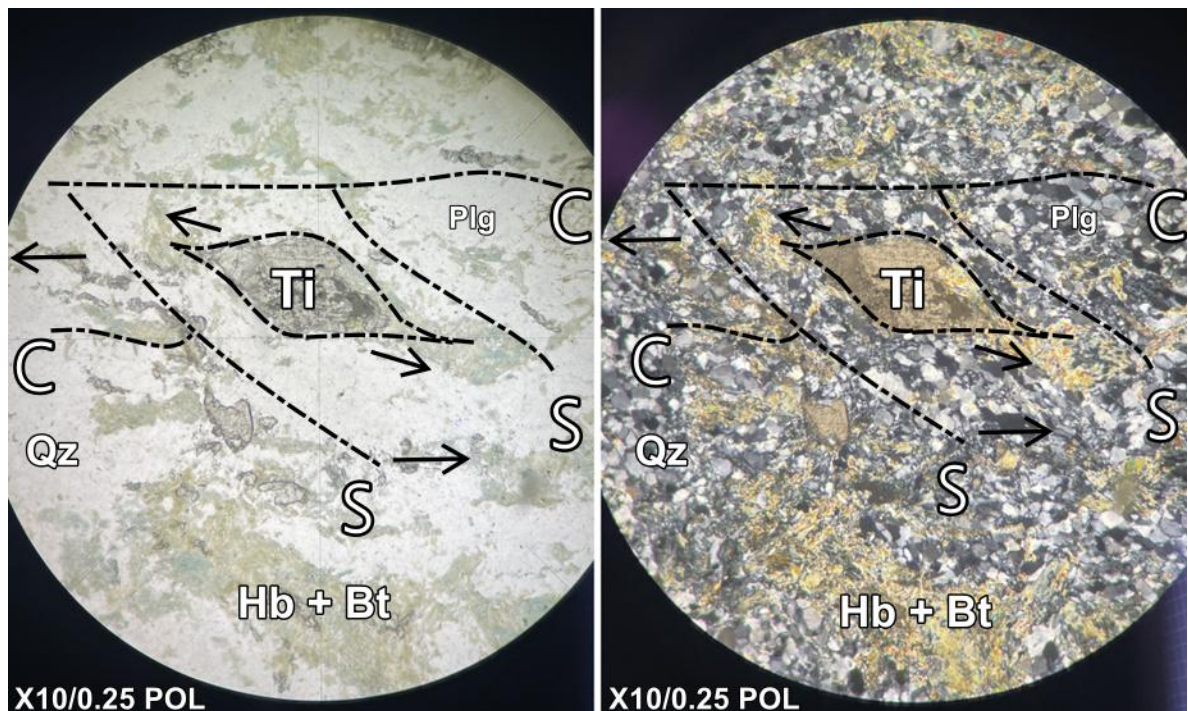


Figura N°5.22 Cortes transparentes bajo nicoles paralelos y cruzados mostrando foliaciones S–C y un porfiroclasto sigmoidal de titanita (Ti), cuyas colas asimétricas indican un sentido de cizalle sinistral. La paragénesis está compuesta por plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz), hornblenda (Hb) y biotita (Bt).

5.5.2 Briquetas pulidas

Se confeccionaron cuatro briquetas pulidas a partir de las muestras MR1(4)-PA-FIC, MR1(11)-PA-FIC, MR2(12)-PA-FIC y MR2(16)-PA-FIC, con el objetivo de identificar y evaluar la concentración de menas minerales ricas en hierro presentes en los sedimentos. Estas briquetas permitieron observar en detalle la textura, asociación mineralógica y proporción relativa de fases como magnetita y hematita.

La muestra MR1(4)-PA-FIC fue analizada en briqueta pulida bajo luz reflejada con aumentos de 5x y 10x (Ver Figura N°5.23). Se identificaron principalmente minerales de magnetita (Mt) y hematita (Hm). La magnetita presenta alto brillo metálico y tonalidad

gris, formando cristales de forma irregular y mayor tamaño relativo. La hematita, de menor reflectancia y tono gris más claro, se encuentra diseminada en la matriz y en contacto con la magnetita.

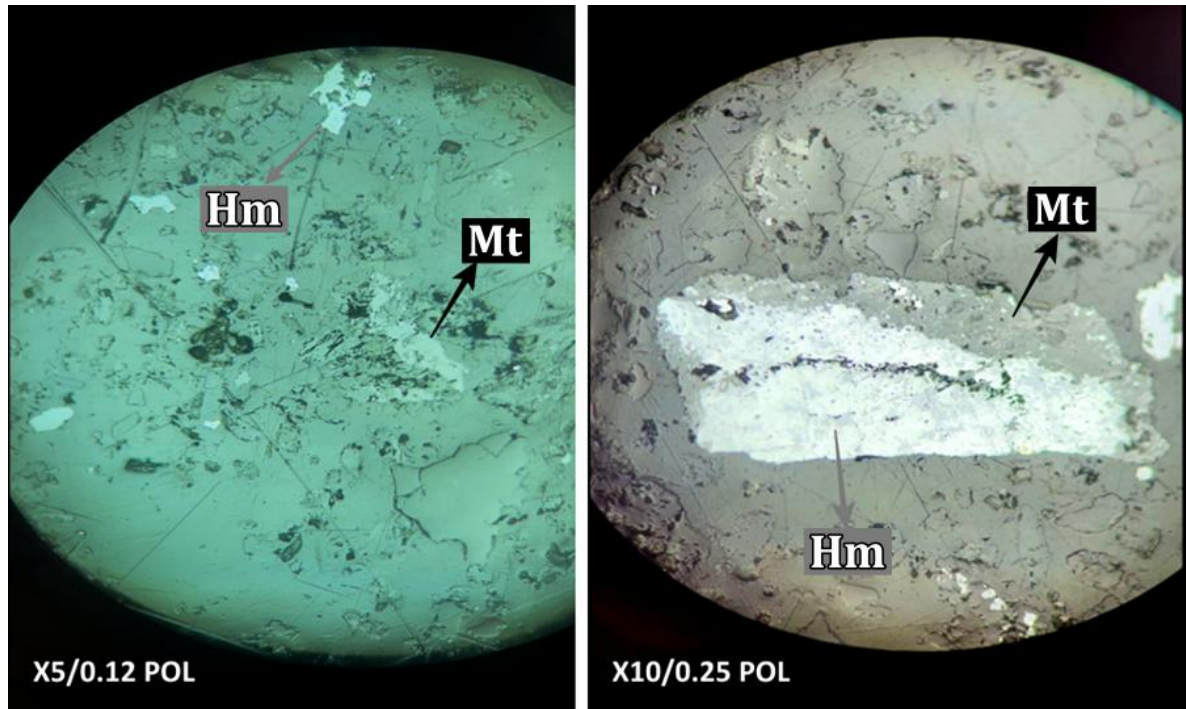


Figura N°5.23 Imágenes en luz reflejada de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR1(4)-PA-FIC. A la izquierda (X5), se observan granos irregulares de magnetita (Mt), de tono gris oscuro, junto con hematita (Hm) gris claro. A la derecha (X10), se distingue un cristal elongado de magnetita siendo reemplazado por hematita.

La muestra MR1(11)-PA-FIC fue analizada mediante microscopía óptica en luz reflejada con aumentos de 5x y 10x (Ver Figura N°5.24). Se identificaron como fases opacas principales la magnetita (Mt), la hematita (Hm) y una partícula de oro nativo (Au).

La magnetita se presenta con tonalidad gris oscura y baja reflectancia, mientras que la hematita se reconoce por su color blanco plateado y mayor brillo metálico. En el aumento X10, se observa un agregado compuesto por ambas fases, dentro del cual se alojan granos diseminados de hematita. En el borde superior del campo, destaca una partícula de oro de color amarillo intenso. En el aumento X5, se evidencia una distribución heterogénea de magnetita y hematita en la matriz, con tamaños y formas variables.

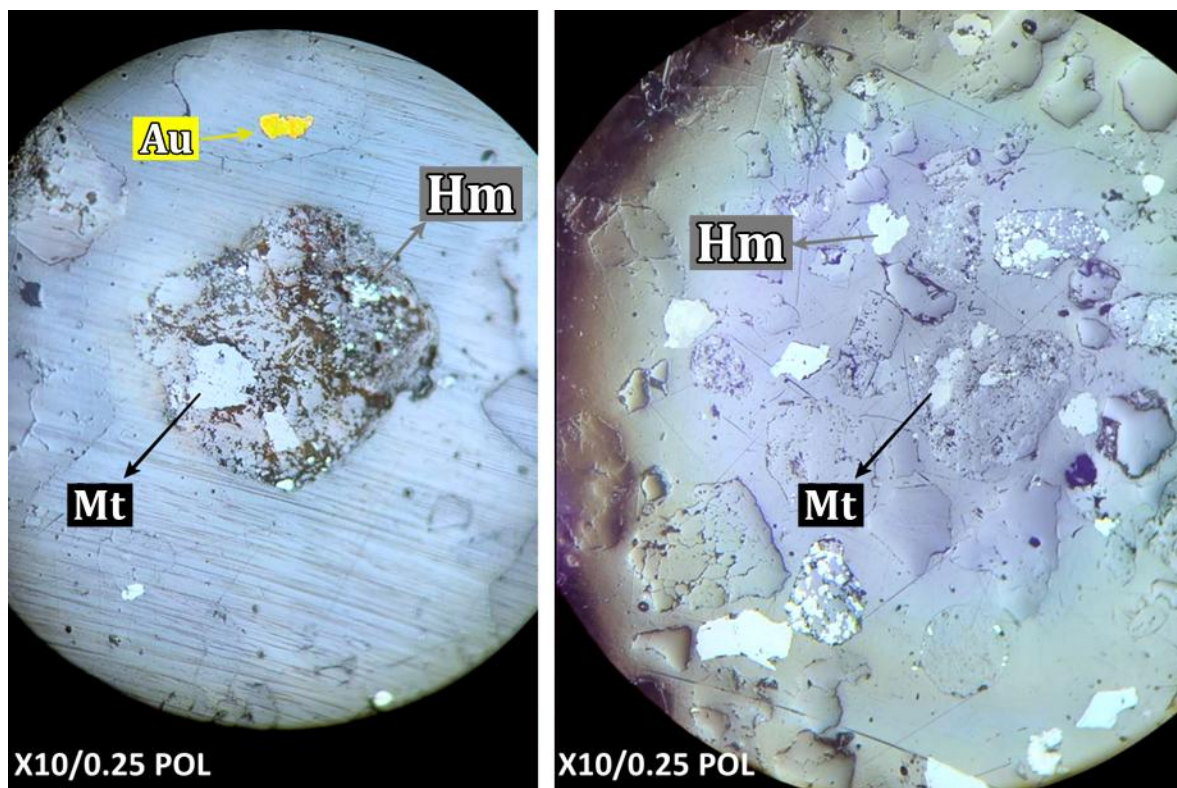


Figura N°5.24 Imágenes en luz reflejada de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR1(11)-PA-FIC. A la izquierda (X10), se observa un agregado de magnetita (Mt) con hematita (Hm) diseminada, junto a una partícula de oro nativo (Au). A la derecha (X5), se identifica una distribución heterogénea de magnetita y hematita.

La muestra MR2(12)-PA-FIC fue analizada en briqueta pulida bajo luz reflejada con aumentos de X5 y X10 (Ver Figura N°5.24). Se identificaron como principales fases opacas la hematita (Hm) y la magnetita (Mt). En el aumento X5 se observa un gran cristal de magnetita que está siendo reemplazado casi parcialmente por hematita. En el aumento X10 se reconocen fragmentos dispersos de hematita y granos aislados de magnetita, con formas irregulares y distribución heterogénea.

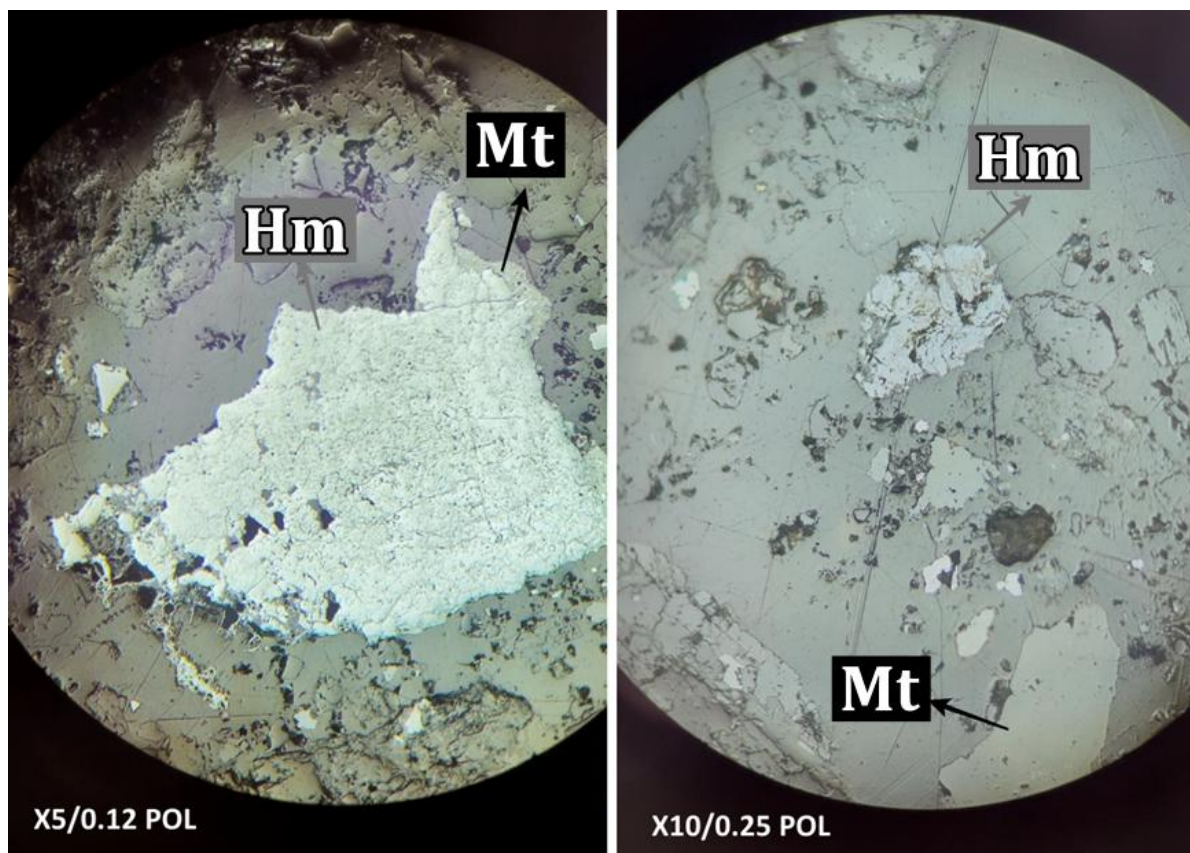


Figura N°5.25 Imágenes en luz reflejada de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR2(12)-PA-FIC. A la izquierda (X5), se observa un gran agregado de hematita (Hm) de alto brillo, parcialmente rodeado por magnetita (Mt) de tonalidad más oscura. A la derecha (X10), se distinguen fragmentos dispersos de hematita y granos de magnetita, en una matriz rica en óxidos de hierro.

La muestra MR2(16)-PA-FIC fue analizada mediante microscopía óptica en luz reflejada con aumento de 5x (Ver Figura N°5.26). En ambas imágenes se observa un cristal elongado e irregular de magnetita (Mt), de tonalidad gris oscura y baja reflectancia. En su interior se identifican numerosos granos finos de hematita (Hm), de mayor reflectancia y color blanco plateado, diseminados de forma heterogénea. La imagen de la izquierda muestra con claridad la forma general del cristal de magnetita y la distribución periférica de los granos de hematita, mientras que la imagen derecha destaca la concentración interna de hematita y el contraste óptico entre ambas fases. El contacto entre magnetita y hematita es difuso, y la textura sugiere una relación directa entre ambas especies minerales.

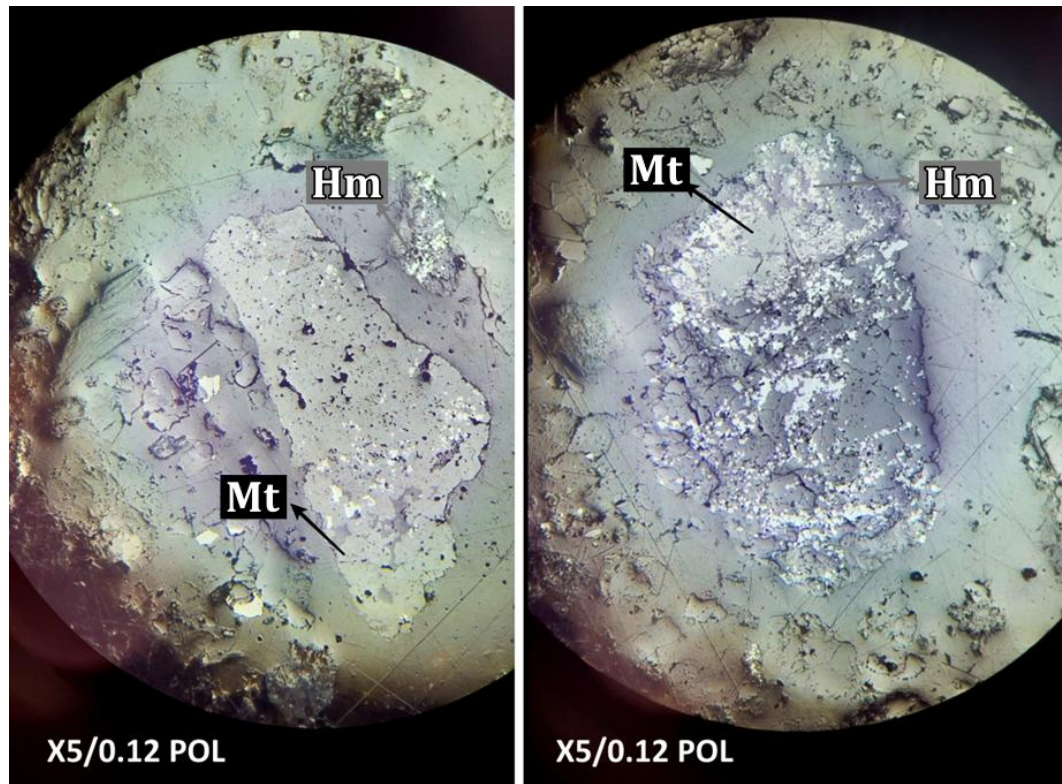


Figura N°5.26 Imágenes en luz reflejada (X5) de la briqueta pulida correspondiente a la muestra MR2(16)-PA-FIC. Ambas imágenes muestran un cristal elongado de magnetita (Mt), de tonalidad gris oscura y menor reflectancia, con numerosos granos finos de hematita (Hm) diseminados en su interior. La hematita se distingue por su mayor brillo y tonalidad blanco-plateada, generando un contraste óptico claro con la magnetita.

Se realizó un análisis microscópico de las briquetas tanto en microscopio óptico convencional (luz transmitida) como en microscopio de luz reflejada.

La muestra MR2(16)-PI-FIC corresponde a un sedimento con granos de tamaño variable, compuesto por fragmentos líticos, minerales y partículas opacas. A simple vista se observa una heterogeneidad granulométrica significativa, con clastos angulosos a subredondeados. Se distinguen fragmentos opacos de color negro, los cuales podrían corresponder a minerales de magnetita (Ver Figura N°5.27).

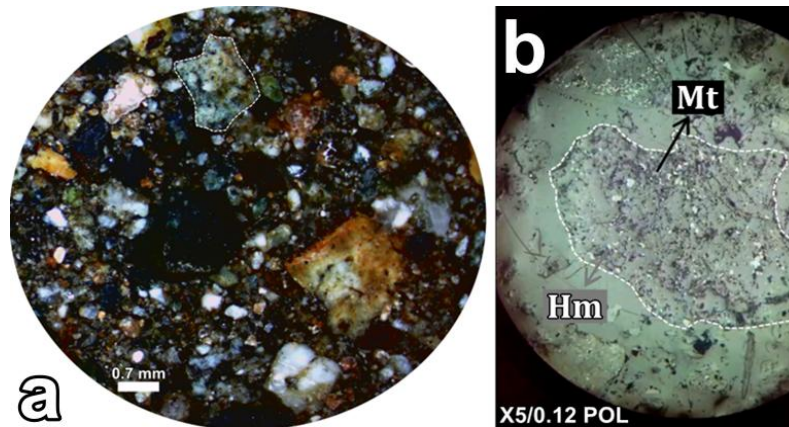


Figura N°5.27 Microfotografías de la muestra MR2(16)-PI-FIC. (a) En luz transmitida se observa la heterogeneidad granulométrica y presencia de fragmentos opacos atribuibles a magnetita. (b) En luz reflejada se distingue un fragmento con minerales opacos de alta reflectancia, identificados como magnetita (Mt) y hematita (Hm).

La muestra MR1(11)-PA-FIC presenta fragmentos líticos y minerales de tamaño variable (Ver Figura N°5.28). Se observan partículas opacas en luz transmitida y, en luz reflejada, magnetita (Mt), hematita (Hm) y una partícula de oro (Au) con alta reflectancia.

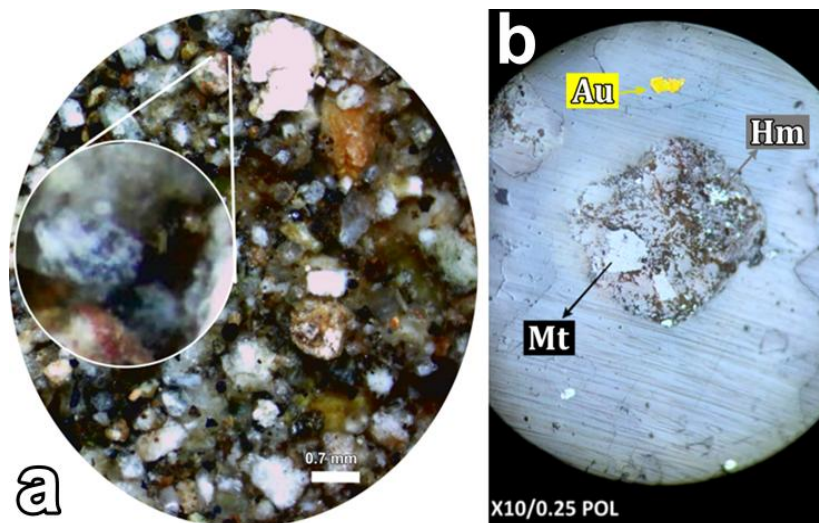


Figura N°5.28.-Microfotografías de la muestra MR1(11)-PA-FIC. (a) En luz transmitida se aprecian fragmentos opacos dentro del sedimento. (b) En luz reflejada se observan magnetita (Mt), hematita (Hm) y una partícula de oro (Au).

Las briquetas pulidas evidencian clastos detríticos de magnetita y hematita con indicios de oxidación parcial. La morfología de los granos y sus relaciones texturales confirman su carácter detrítico, sugiriendo una procedencia desde una roca fuente preexistente.

5.6 Geoquímica de exploración superficial

Se obtuvieron datos geoquímicos de muestras de sedimentos y rocas del área de estudio mediante fluorescencia de rayos X (XRF). Los resultados se organizan en tres apartados:

5.6.1 Geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial

Se presentan los resultados del análisis geoquímico de 38 muestras de sedimentos distribuidas a lo largo del abanico aluvial. La distribución del hierro (ppm) se representa mediante un mapa de distribución geoquímica superficial (Ver Figura N°5.29).

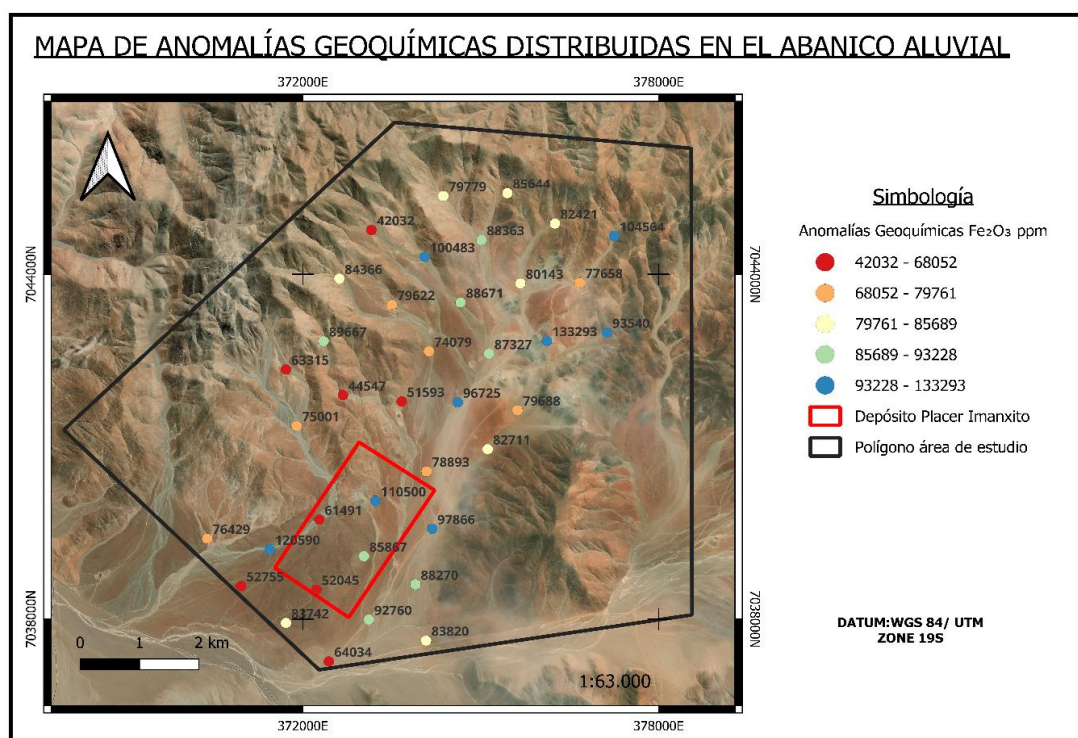


Figura N°5.29 Mapa de anomalías geoquímicas de Fe_2O_3 (ppm) en sedimentos superficiales del abanico aluvial del Proyecto Imanxito. Los puntos corresponden a las muestras analizadas y están clasificados según rangos de concentración. El polígono negro delimita el área de estudio, mientras que el polígono rojo indica la ubicación del depósito tipo placer.

Los valores de Fe_2O_3 varían entre 42.032 ppm y 133.293 ppm, evidenciando una variabilidad en la concentración del elemento a lo largo del abanico aluvial. Esta variabilidad se manifiesta en una distribución espacial heterogénea de los valores dentro del área de estudio.

Para su análisis estadístico, se elaboraron diagramas de boxplot (Ver Figura N°5.30), considerando muestras provenientes de depósitos aluviales y coluviales. El análisis se centró en los elementos Fe, Ti, Sr, Rb, Ba, V y Ni, con el objetivo de evaluar la dispersión, tendencia central y posibles valores atípicos en sus concentraciones.

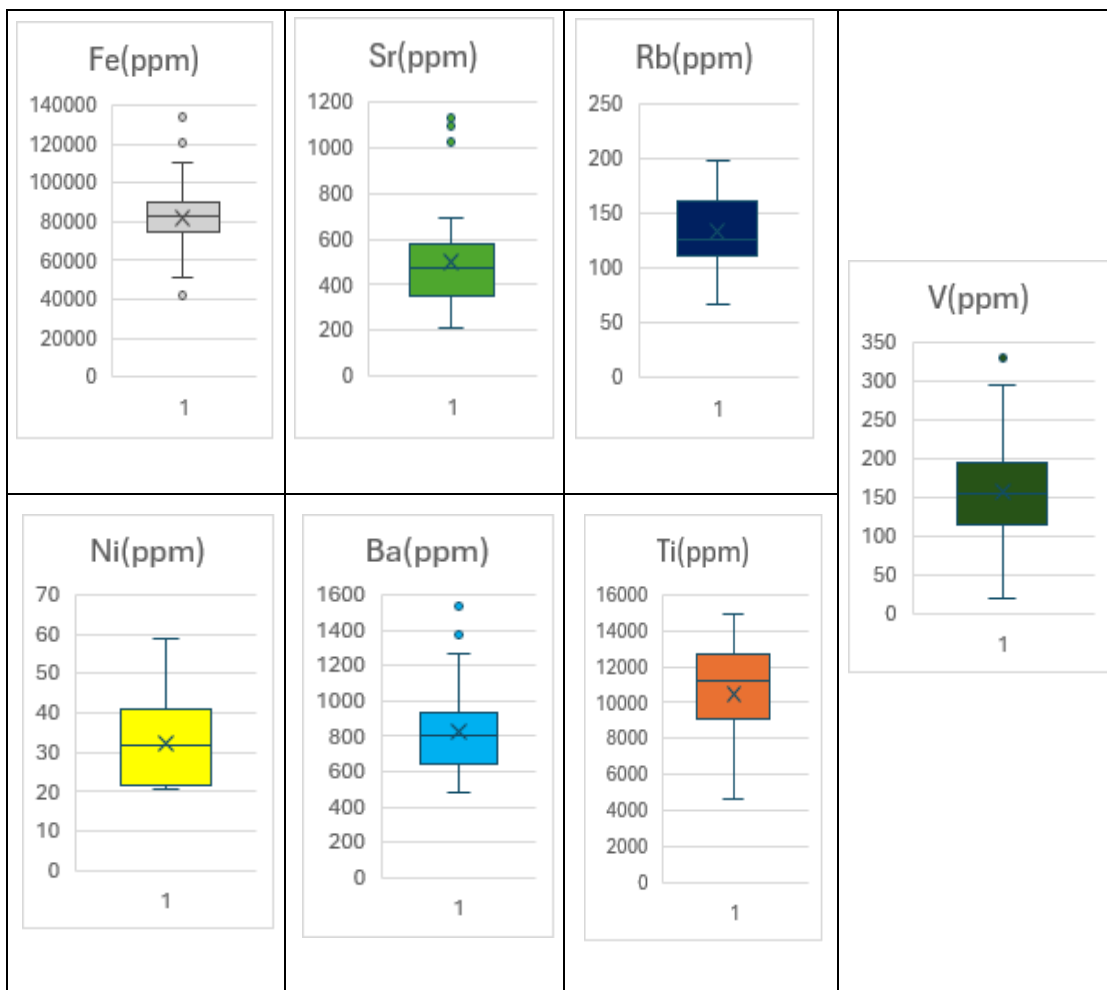


Figura N°5.30 Gráficos de boxplot de muestras de sedimentos en pie, cabeza y cuerpo del abanico aluvial.

Los datos de concentración (ppm) de los elementos analizados (Fe, Ti, V, Sr, Ba, Rb y Ni) se resumieron mediante estadísticos descriptivos (Ver Tabla N°5.1), incluyendo el valor máximo, la mediana (Q2), los cuartiles (Q1 y Q3) y el rango intercuartílico (IQR).

Tabla N°5.1 Estadísticos descriptivos de las concentraciones de elementos seleccionados (ppm), incluyendo el valor máximo, la mediana (Q2), los cuartiles (Q1 y Q3), el rango intercuartílico (IQR) y la identificación de posibles valores atípicos.

Elemento	Fe(ppm)	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Ba(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Ni(ppm)
Mediana	83.227	126	470	803	11.188	156	32
Máximo	133.293	198	1.133	1.533	14.976	329	59
Q1	74.770	111	353	642	9.104	114	22
Q3	90.440	160	581	934	12.648	196	41
IQR	15.670	50	227	291	3.544	81	19
Valores Atípicos	Valores atípicos sobre 114.000 ppm	No se observan valores atípicos evidentes	Valores atípicos sobre 922 ppm	Valores atípicos sobre 1.370 ppm	No se observan valores atípicos evidentes	Valores atípicos sobre 318 ppm	No se observan valores atípicos evidentes

Se calculó el coeficiente de correlación para los elementos analizados. Los resultados muestran correlaciones positivas y negativas de distinta intensidad entre los elementos evaluados. Las correlaciones positivas más relevantes involucran a Ti, Ba, V y Ni (Ver Tabla N°5.2, colores azules), mientras que las correlaciones negativas se asocian principalmente a Ba, Rb y V (Ver Tabla N°5.2, colores rojos).

Tabla N°5.2 Tabla de coeficiente de correlación de los elementos de las muestras de sedimentos los colores azules indican una fuerte, mediana y débil fuerza de correlación mientras que los que están de colores rojos muestran relaciones negativas.

Elemento	Fe	Rb	Sr	Ba	Ti	V	Ni
Fe	1						
Rb	-0.167	1					
Sr	0.125	-0.799	1				
Ba	-0.340	0.177	-0.133	1			
Ti	0.808	-0.233	0.500	-0.185	1		
V	0.524	-0.219	-0.095	0.388	0.203	1	
Ni	0.164	-0.064	0.500	-0.269	0.219	-0.127	1

Los elementos más enriquecidos en los depósitos aluviales y coluviales corresponden al hierro, rubidio, estroncio, bario, talio y vanadio. Esto se observó a partir del cálculo del factor de enriquecimiento (Ver Tabla N°5.3) de los elementos que reflejan una concentración significativa.

Tabla N°5.3 Tabla que muestra los elementos de los sedimentos que a partir de la mediana y los valores de concentración (Ridley,2013) se puede calcular su factor de enriquecimiento.

Elemento	Ridley (2013)	Mediana	Factor de enriquecimiento
Fe	56.000	81.955,09	1,46
Ti	5.700	10.518,09	1,85
Ni	75	23,84	0,32
Rb	90	132,17	1,47
Sr	375	502,97	1,34
Ba	425	821,89	1,93
V	35	119,38	3,41

5.6.2 Geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas

Se presentan los resultados del análisis geoquímico de 32 muestras de roca, correspondientes a granodiorita, diorita, cuarzodiorita, tonalita, diques y vetas del área de estudio. Mediante un mapa superficial de anomalías geoquímicas (Ver Figura N°5.31) podremos observar las diversas concentraciones de hierro principalmente.

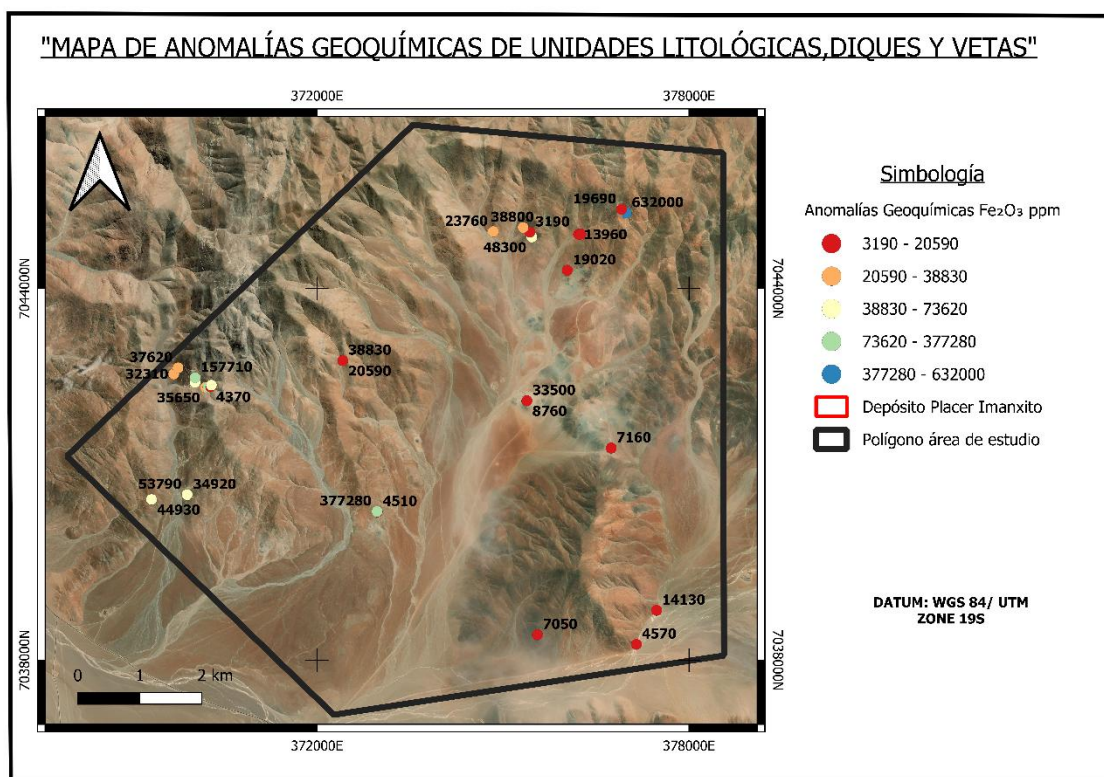


Figura N°5.31 Mapa de anomalías geoquímicas de Fe_2O_3 de unidades litológicas, diques y vetas.

Los valores de Fe_2O_3 (ppm) varían entre 3.190 ppm y 632.000 ppm. Las muestras corresponden a distintas unidades litológicas presentes en el área de estudio, incluyendo granodiorita, diorita, cuarzodiorita, milonitas, vetas y diques. Se observa una variabilidad en las concentraciones de Fe_2O_3 entre las diferentes litologías analizadas, lo que refleja una dispersión de las concentraciones dentro del conjunto analizado.

La distribución de los principales elementos analizados se representa mediante diagramas de caja (Ver Figura N°5.32). Los elementos considerados en este análisis corresponden a hierro (Fe), titanio (Ti), estroncio (Sr), níquel (Ni), rubidio (Rb), bario (Ba) y vanadio (V).

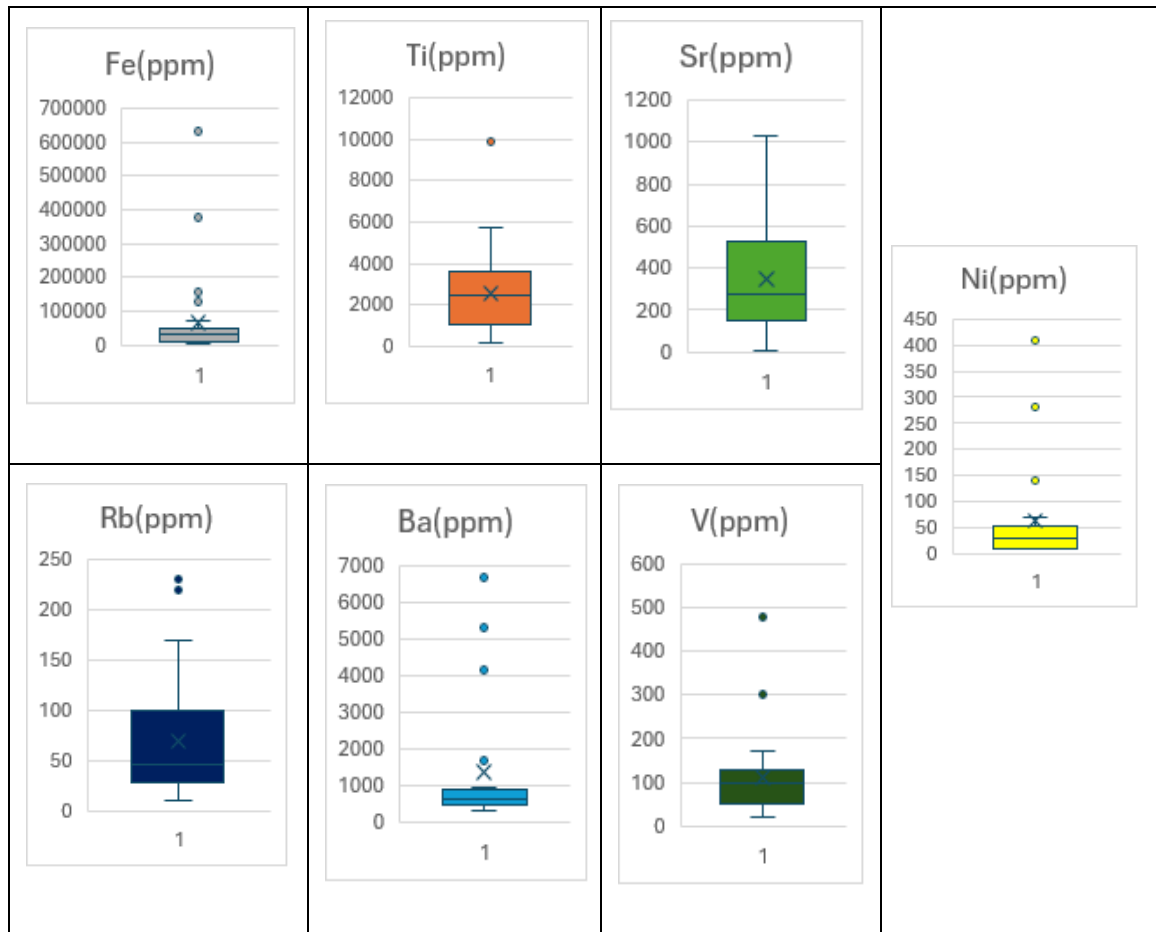


Figura N°5.32 Gráficos de boxplot de muestras de roca de unidades litológicas, vetas y diques.

Los datos de concentración (ppm) de los elementos analizados hierro (Fe), titanio (Ti), estroncio (Sr), níquel (Ni), rubidio (Rb), bario (Ba) y vanadio (V), se resumieron mediante estadísticos descriptivos (Ver Tabla N°5.4) que incluyen el valor máximo, la mediana (Q2), los cuartiles (Q1 y Q3) y el rango intercuartílico (IQR). Estos parámetros permiten evaluar la dispersión de los datos y detectar posibles valores atípicos dentro del conjuntos.

Tabla N°5.4 Estadísticos descriptivos de las concentraciones de elementos seleccionados (Fe, Ti, Ni, Rb, Sr, Ba y V) en muestras de roca, expresados en partes por millón (ppm). Se presentan los valores de mediana, máximo, primer cuartil (Q1), tercer cuartil (Q3) y el rango intercuartílico (IQR). En la última fila se indican los posibles valores atípicos. Estos valores atípicos representan concentraciones extremas que podrían estar asociadas a procesos de enriquecimiento local o variabilidad geoquímica del sistema analizado.

Elemento	Fe(ppm)	Ti(ppm)	Ni(ppm)	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Ba(ppm)	V(ppm)
Mediana	29.090	2.490	30	45	280	630	100
Máximo	632.000	9.880	410	230	1.030	6.660	480
Q1	10.232,5	1.020	10	27,5	155	460	50
Q3	47.457,5	3.630	52,5	100	530	870	130
IQR(Q3-Q1)	3725	2.610	42,5	72,5	375	410	80
Valores Atípicos	Valores atípicos altos sobre 103.295 ppm	Valores atípicos altos sobre 7.545 ppm	Valores atípicos altos sobre 116 ppm	Valores atípicos altos sobre 209 ppm	No se observan valores atípicos evidentes	Valores atípicos altos sobre 1.485 ppm	Valores atípicos altos sobre 250 ppm

Se realizó un coeficiente de correlación (Ver Tabla N°5.5) para los elementos de concentraciones significativas en muestras de mano; Los elementos que indicaron una fuerte a débil correlación fueron el hierro, titanio, estroncio, bario, níquel. Las relaciones negativas son de moderadas a débiles estando los elementos como el níquel, bario y rubidio.

Tabla N°5.5 Tabla de coeficiente de correlación de los elementos de las muestras de mano los colores azules indican una fuerte, mediana y débil fuerza de correlación mientras que los que están de colores rojos muestran relaciones negativas.

Elemento	Fe	Ti	Ni	Rb	Sr	Ba	V
Fe	1						
Ti	0,71	1					
Ni	0,26	0,08	1				
Rb	0,03	0,19	0,16	1			
Sr	0,05	0,10	0,33	-0,23	1		
Ba	0,38	0,27	-0,44	0,30	-0,13	1	
V	0,19	0,12	0,26	0,02	0,42	-0,29	1

Se calculó el factor de enriquecimiento para los elementos que contienen una concentración media superior a los valores de referencia de Ridley (2013). Los elementos que destacan (Ver Tabla N°5.6) son el hierro (Fe), bario (Ba) y vanadio(V).

Tabla N°5.6 Se muestran los elementos de las muestras de mano que a partir de la mediana y los valores de concentración (Ridley,2013) se puede calcular su factor de enriquecimiento.

Elemento	Ridley (2013)	Media	Factor de enriquecimiento
Fe	56.000	63.196,25	1,13
Ti	5.700	2.489,69	0,44
Ni	75	42,81	0,57
Rb	90	65,00	0,72
Sr	375	306,88	0,82
Ba	425	836,56	1,97
V	35	94,38	2,70

5.6.3 Geoquímica superficial del depósito Proyecto Imanxito

Se presentan los resultados geoquímicos correspondientes a 25 muestras de sedimentos superficiales distribuidas a lo largo del Proyecto Imanxito. A partir de estos datos, se elaboró un mapa de anomalías geoquímicas (Ver Figura N°5.33), el cual permite identificar las principales concentraciones de hierro en el área de estudio.

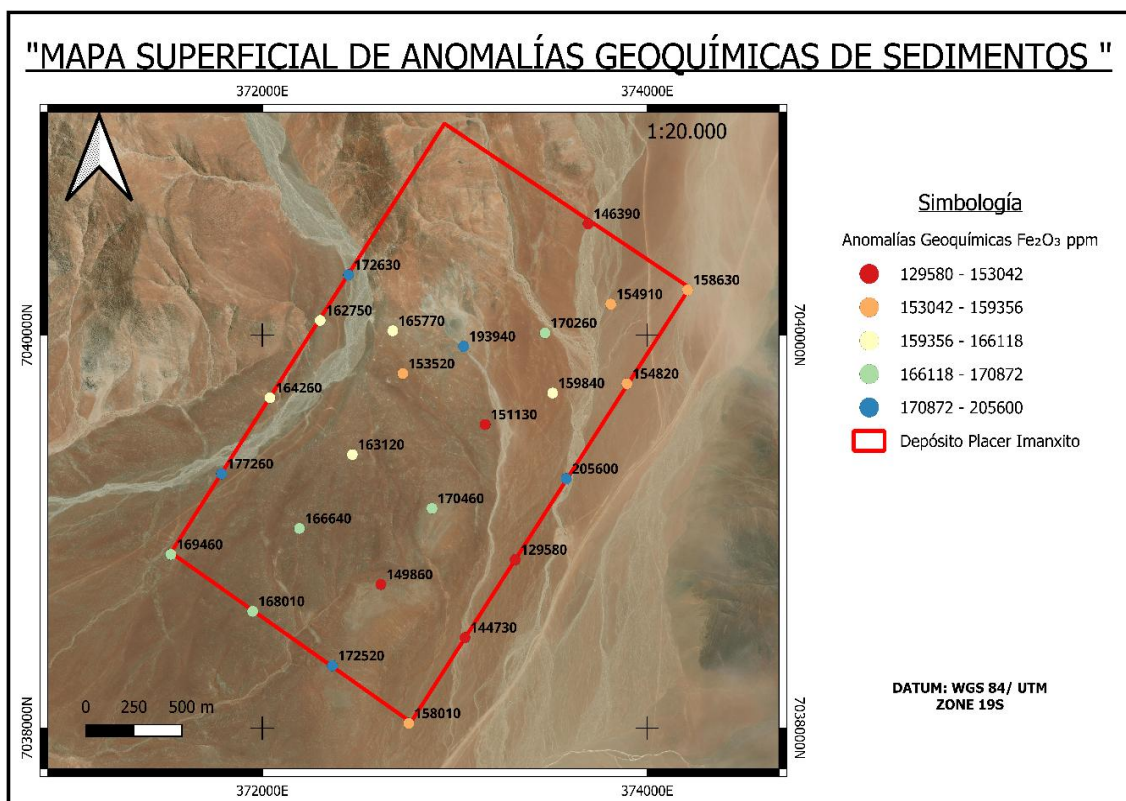


Figura N°5.33 Mapa de anomalías geoquímicas de Fe_2O_3 del depósito placer Imanxito.

El mapa evidencia la presencia de anomalías con valores que varían entre 129.580 ppm y 205.600 ppm de Fe_2O_3 , lo que indica concentraciones significativamente elevadas y coherentes con la presencia de un depósito tipo placer de magnetita en el sector.

Cabe destacar que las muestras corresponden a sedimentos superficiales, por lo que estas concentraciones podrían incrementarse en profundidad, producto de procesos de concentración hidráulica y enriquecimiento en niveles subsuperficiales.

Las concentraciones elementales obtenidas muestran valores relevantes de hierro (Fe), titanio (Ti), vanadio (V), estroncio (Sr), bario (Ba) y azufre (S), los cuales fueron considerados para su análisis estadístico (Ver Figura N°5.34).

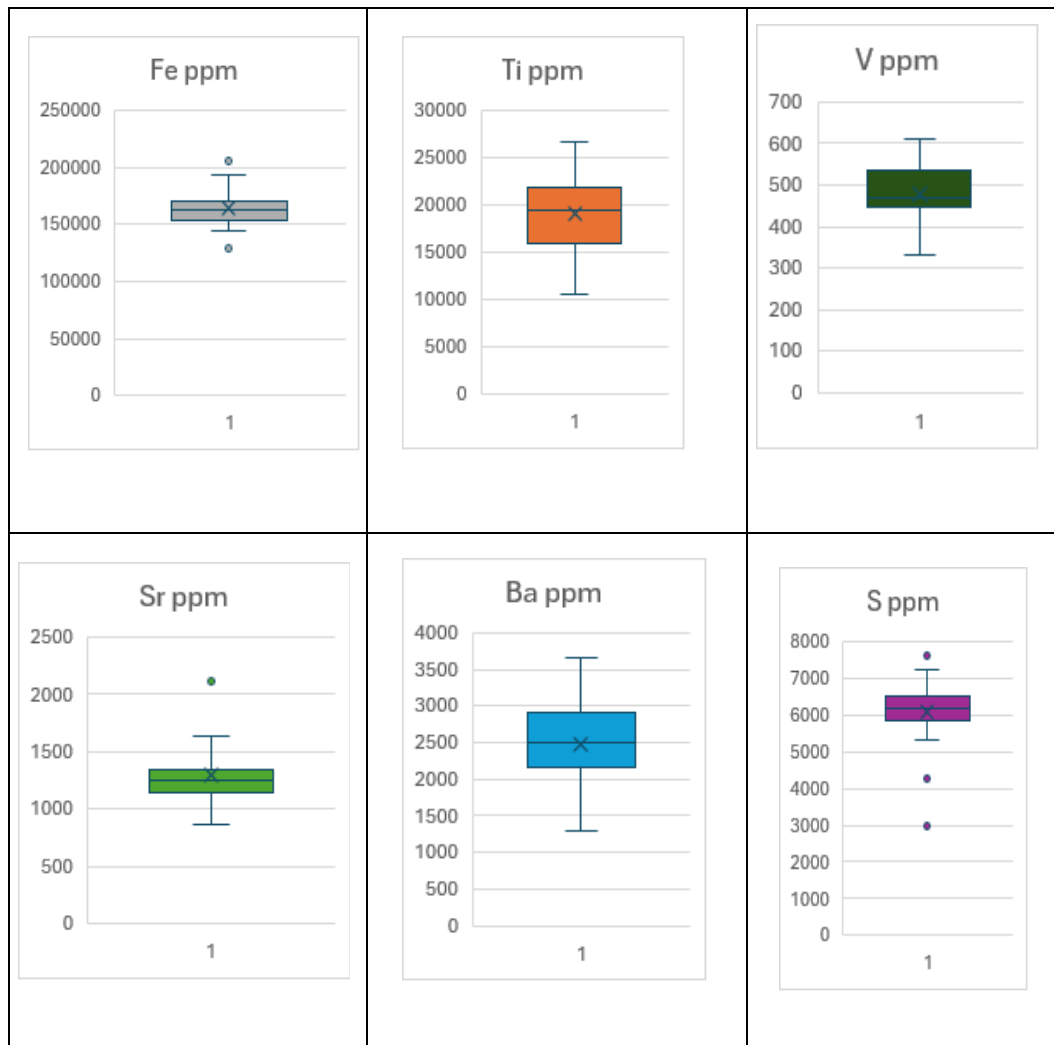


Figura N°5.34 Gráficos de boxplot de los sedimentos superficiales del depósito placer del Proyecto Imanxito.

Las concentraciones (en ppm) de los elementos analizados de hierro (Fe), titanio (Ti), estroncio (Sr), azufre (S), bario (Ba) y vanadio (V), fueron resumidas mediante estadísticos descriptivos (Ver Tabla N°5.7), los cuales comprenden la mediana (Q2), los cuartiles (Q1 y Q3), el rango intercuartílico (IQR) y posibles valores atípicos.

Tabla N°5.7 Estadísticos descriptivos de las concentraciones de elementos seleccionados (Fe, Ti, V, Sr, Ba y S) en muestras de sedimentos, expresados en partes por millón (ppm). Se presentan los valores de mediana, máximo, primer cuartil (Q1), tercer cuartil (Q3), el rango intercuartílico (IQR) y los posibles valores atípicos.

Elemento	Fe ppm	Ti ppm	V ppm	Sr ppm	Ba ppm	S ppm
Mediana	163.118	19.529	474	1.246	2.515	6.195
Máximo	205.599	26.720	611	2.120	3.650	7.619
Q1	154.168	15.998	443	1.145	2.170	5.831
Q3	170.357	21.762	533	1.354	2.920	6.533
IQR	16.189	5.764	91	208	750	702
Valores atípicos	Valores atípicos altos sobre 194.600 ppm	No se observan valores atípicos	No se observan valores atípicos	Valores atípicos sobre 1.666 ppm	No se observan valores atípicos	Valores atípicos sobre 7.586

Se realizó un coeficiente de correlación (Ver Tabla N°5.8) para los elementos de mayor concentración. Los valores representados en color azul indican correlaciones positivas de moderadas a fuertes, destacando las asociaciones de titanio (Ti), vanadio(V). Por su parte, los valores en color rojo corresponden a correlaciones negativas débiles a moderadas, observándose principalmente en estroncio (Sr), bario (Ba), Azufre(S).

Tabla N°5.8 Se observa el coeficiente de correlación de los elementos de las muestras de sedimentos para evaluar el potencial económico, los colores azules indican una fuerte, mediana y débil fuerza de correlación mientras que los que están de colores rojos muestran relaciones negativas.

Elemento	Fe	Ti	V	Sr	Ba	S
Fe	1					
Ti	0.160	1				
V	0.163	0.498	1			
Sr	-0.365	-0.058	-0.261	1		
Ba	-0.381	-0.039	0.001	0.126	1	
S	-0.247	-0.092	0.234	0.089	0.319	1

Se calculó el factor de enriquecimiento de los elementos analizados (Ver Tabla N°5.9), considerando aquellos que presentan una concentración media superior, observándose que todos los elementos superan los valores de referencia propuestos por Ridley (2013).

Tabla N°5.9 Se presentan los factores de enriquecimiento obtenidos a partir de la razón entre la concentración promedio de cada elemento y su valor de referencia reportado por Ridley (2013).

Elemento	Ridley (2013)	Mediana	Factor de enriquecimiento
Fe	56.000	163.363,17	2,92
Ti	5.700	19.101,20	3,35
V	35	479,63	13,70
Sr	375	1.290,22	3,44
Ba	425	2.485,71	5,85
S	260	6.068,82	23,34

Capítulo 6. Discusión

6.1 Correlación entre unidades litológicas y sistemas estructurales

La caracterización litológica del área de estudio permitió establecer una correlación general con las unidades previamente descritas por Lara y Godoy (1998) para el Proyecto Imanxito. En este contexto, se reconocieron los principales cuerpos plutónicos correspondientes al Plutón Sierra Dieciocho y al Plutón Remolino, los cuales presentan evidencias de un emplazamiento sintectónico asociado al Sistema de Fallas de Atacama (SFA) (Berg y Breitzkreuz, 1983; Dallmeyer et al., 1996). Sin embargo, no fue posible identificar con precisión el contacto litológico entre ambos plutones, debido a la alta similitud petrográfica y textural observada en terreno, lo que dificultó su diferenciación directa.

Los resultados obtenidos en terreno coinciden con las descripciones propuestas por Lara y Godoy (1998) para el Plutón Sierra Dieciocho. En este sector de la traza de falla se observó un importante control litológico y estructural sobre las vetas enriquecidas en cobre y hierro. Asimismo, Brown et al., (1993) interpretan un régimen de cizalla sinistral asociado al Sistema de Fallas de Atacama, el cual pudo ser corroborado mediante evidencia estructural observada en terreno, incluyendo microestructuras S-C y porfiroclastos sigmoidales.

No obstante, los datos recopilados indican que la zona milonítica posee una extensión superior a 2 kilómetros de ancho, contrastando con los valores entre 200 y 500 metros reportados por Lara y Godoy (1998). Esta diferencia podría estar asociada a una subestimación previa de la extensión real de la deformación dúctil-frágil en el área o a variaciones en los criterios cartográficos utilizados.

Si bien no se observaron las brechas de falla ni la mineralización de magnetita maciza descritas por Lara y Godoy (1998), se identificaron rodados de milonita con magnetismo leve a moderado. Esto podría indicar la existencia de una fuente mineralizada actualmente erosionada o no aflorante, cuyos materiales habrían sido posteriormente reabajados hacia depósitos coluviales y aluviales.

Por otra parte, para el Plutón Remolino la litología evidenciada en terreno muestra concordancia general con lo descrito por Grocott et al., (1994). Sin embargo, se detectó una discrepancia cartográfica importante, ya que la unidad previamente asignada como cuarzodiorita corresponde petrográficamente a una granodiorita, según los análisis realizados en este estudio.

Respecto a los depósitos coluviales y aluviales, en ambos se reconocieron clastos correspondientes a gravas, arenas y limos, aunque con diferencias en selección granulométrica y grado de consolidación. Esta caracterización concuerda parcialmente con lo reportado por Lara y Godoy (1998). Un hallazgo particularmente relevante fue la presencia sistemática de partículas de magnetita en estos depósitos, confirmada en terreno mediante pruebas simples con imán.

6.2 Geoquímica de exploración superficial.

6.2.1 Comportamiento geoquímico de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial

Estos patrones son coherentes con un sistema aluvial dinámico, en el cual la redistribución del hierro está controlada principalmente por procesos hidráulicos y gravitacionales, más que por procesos de enriquecimiento químico in situ. En este contexto, el hierro presenta una estrecha relación con el titanio y el vanadio, evidenciada por correlaciones positivas elevadas ($\text{Fe-Ti} = 0,808$; $\text{Fe-V} = 0,524$), lo que sugiere un comportamiento geoquímico conjunto durante los procesos de erosión, transporte y depositación, característico de fases minerales asociadas a óxidos de hierro.

Esta interpretación se ve respaldada por la evidencia petrográfica observada en briquetas pulidas, donde se identifican clastos detríticos compuestos por magnetita (Mt) y hematita (Hm), con relaciones texturales que sugieren posibles procesos de oxidación. Si bien este análisis corresponde a un enfoque cualitativo, las asociaciones mineralógicas observadas permiten inferir una posible procedencia de los sedimentos. En este contexto, diversos estudios han señalado que los clastos y minerales pesados constituyen herramientas útiles para la reconstrucción de áreas fuente (Pettijohn, 1975; Morton y Hallsworth, 1995; Morton, 2003).

De acuerdo con los criterios de procedencia basados en minerales pesados propuestos por Nichols, G. (2009), la presencia de minerales como magnetita se asocia comúnmente a fuentes ígneas, mientras que la hematita puede reflejar procesos de oxidación o retrabajo sedimentario. En este sentido, la coexistencia de magnetita y hematita en los clastos analizados es consistente con una fuente ígnea afectada por procesos supergénicos, sin que sea posible precisar la litología específica. Estas evidencias, junto con el carácter detrítico de los clastos, respaldan un modelo de transporte y concentración aluvial de minerales pesados.

6.2.2 Comportamiento geoquímico de las unidades litológicas, diques y vetas

Los boxplots de las muestras de roca (Ver Figura N°5.32) muestran una alta variabilidad en las concentraciones de los elementos analizados, lo que refleja una marcada heterogeneidad composicional, propia de un sistema ígneo–estructural complejo. En particular, el hierro presenta una distribución marcadamente asimétrica, con una mediana moderada (~29.090 ppm) y la presencia de valores atípicos elevados, que superan los 103.295 ppm y alcanzan concentraciones cercanas a 632.000 ppm. Estos valores indican concentraciones puntuales de Fe asociadas a zonas específicas de enriquecimiento.

Este comportamiento sugiere que el hierro no se distribuye de manera homogénea dentro de las unidades litológicas, sino que se concentra preferentemente en sectores particulares, tales como vetas, diques, zonas de alteración y dominios estructurales, evidenciando un claro control litológico y estructural sobre la mineralización primaria. Asimismo, la correlación positiva observada entre Fe y Ti sugiere una asociación geoquímica compatible con fases minerales de afinidad ígnea, como magnetita titanífera u otros óxidos de Fe–Ti, lo que respalda un origen magmático para el hierro presente en las rocas.

6.2.3 Geoquímica del depósito tipo placer del Proyecto Imanxito

Diversos estudios han caracterizado la composición química de granos de magnetita provenientes de distintos tipos de depósitos minerales con el objetivo de desarrollar diagramas de discriminación geoquímica capaces de diferenciar magnetitas asociadas a depósitos pórfidos, tipo Kiruna, Fe-Ti-V e IOCG (Dupuis y Beaudoin, 2011; Nadoll et al., 2014). Sin embargo, es importante destacar que dichos estudios se basan principalmente en análisis in situ de magnetita mediante espectrometría de masas con plasma acoplado

inductivamente y ablación láser (LA-ICP-MS), mientras que los resultados obtenidos en esta investigación corresponden a análisis geoquímicos de sedimentos a granel. Por esta razón, las comparaciones deben considerarse únicamente como una aproximación exploratoria.

Aun así, la asociación geoquímica observada entre Fe, Ti y V podría sugerir una contribución importante de magnetitas derivadas de fuentes ígneas, dado que estos elementos suelen encontrarse enriquecidos en magnetitas de afinidad magmática (Knipping et al., 2015). Asimismo, algunas muestras presentan bajos contenidos de Sn y concentraciones detectables de Cr, características que, según los criterios geoquímicos propuestos por Nadoll et al., (2014), podrían ser compatibles con la coexistencia de aportes de magnetitas de origen hidrotermal.

No obstante, debido a que los datos obtenidos corresponden a sedimentos detríticos y no a análisis directos de granos de magnetita individuales, estas interpretaciones deben considerarse preliminares.

6.4 Propuesta de modelo metalogénico

El depósito placer del Proyecto Imanxito se interpreta como el resultado de un sistema polifásico de aporte, transporte y concentración mecánica de hierro, en el que interactúan factores litológicos, estructurales, geomorfológicos y climáticos. El área de estudio se emplaza dentro de la franja metalogénica IOCG–IOA de la Cordillera de la Costa, lo que es consistente con la abundancia de cuerpos plutónicos y estructuras mayores descritas para este segmento del cinturón costero chileno (Brown et al., 1993; Grocott et al., 1994; Sillitoe, 2003). Sin embargo, las evidencias de terreno y laboratorio indican que el depósito de Imanxito no corresponde a la expresión superficial directa de un yacimiento primario, sino a un sistema sedimentario desarrollado a partir del retrabajo de unidades enriquecidas en hierro presentes en su entorno geológico.

En este contexto, el Sistema de Fallas de Atacama tuvo un rol fundamental al controlar el emplazamiento sintectónico de los cuerpos plutónicos y el desarrollo de zonas miloníticas asociadas (Brown et al., 1993; Grocott et al., 1994; Grocott y Taylor, 2002). En el área de estudio, la Falla Oriental constituye la principal estructura reconocida en terreno y presenta una cinemática predominantemente sinistral. La actividad de esta falla habría favorecido la exhumación de plutones, diques y zonas miloníticas con enriquecimientos locales en hierro, los cuales quedaron expuestos a procesos de erosión y posterior incorporación al sistema sedimentario.

Las unidades ígneas del área, incluyendo plutones, milonitas, diques y vetas, constituyen las principales fuentes del material detrítico ferroso. Estas unidades fueron sometidas a meteorización y erosión prolongadas bajo condiciones climáticas áridas a semiáridas, coherentes con un clima desértico transicional (Köppen, 1948).

La preservación del depósito se vio favorecida por la alta estabilidad química de la magnetita, que presenta una elevada resistencia a la oxidación en ambientes áridos, aunque con evidencias locales de oxidación parcial a hematita observadas en briquetas pulidas. El transporte gravitacional intermitente a través de quebradas de fuerte pendiente permitió la movilización del material ferroso hacia sectores topográficamente más bajos, concentrándose en el depósito placer del Proyecto Imanxito (Ver Figura N°6.1). Durante este proceso, la magnetita mostró un comportamiento hidráulico coherente con el esperado

para minerales pesados de alta densidad en sistemas de placer, favoreciendo su concentración por selección gravitacional e hidráulica (Van Gosen et al., 2014).

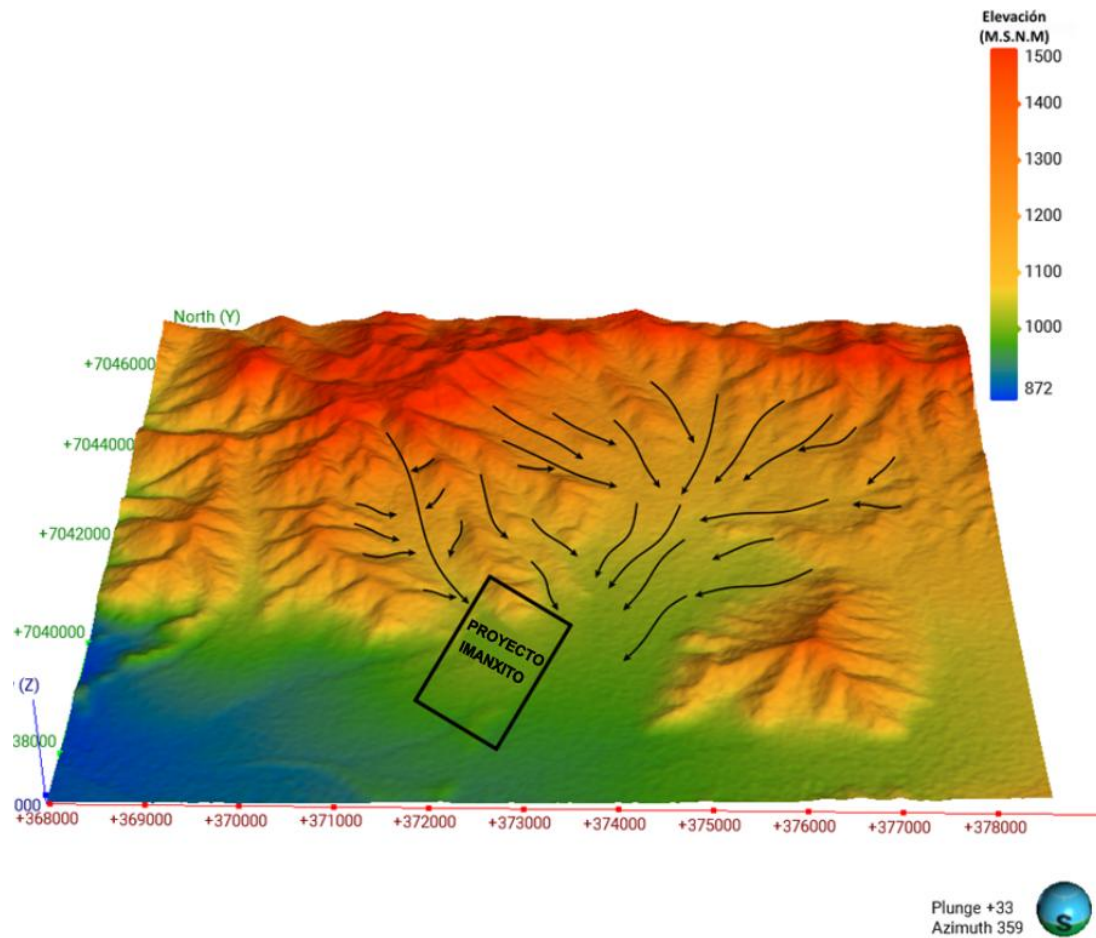


Figura N°6.1 Modelo digital de elevación (MDE) del área de estudio con dirección de flujos superficiales interpretados. Las quebradas convergen hacia el sector del Proyecto Imanxito, actuando como canales de transporte y concentración mecánica de minerales pesados.

En terreno se reconoce un abanico aluvial desarrollado bajo condiciones áridas, cuya morfología y mala selección granulométrica indican una sedimentación dominada por flujos gravitacionales no newtonianos (Bull, 1972). El modelo metalogénico propuesto es muy similar a el modelo de placeres aluviales de Portigliati et al., (1999), comparable con el sistema ferrífero del Proyecto Imanxito (Ver Figura N°6.2), el cual contempla cuatro unidades geológicas principales como responsables del aporte férrico:

1. Unidad intrusiva: cuerpos plutónicos de composición intermedia con sectores enriquecidos en magnetita y hematita, que constituyen la principal fuente metalogénica del sistema.
2. Zonas miloníticas: asociadas a cizalla dúctil-frágil, presentan bandas ferruginosas con mineralización discontinua y actúan como fuente secundaria de hierro.
3. Diques enriquecidos en hierro: presentan enriquecimientos locales en magnetita, posiblemente vinculados a pulsos magmáticos tardíos o a procesos de remobilización hidrotermal.
4. Vetas mineralizadas en hierro y cobre: Estructuras hidrotermales con enriquecimiento local de Fe-Cu, afectadas por procesos de meteorización y erosión, contribuyendo al aporte de partículas mineralizadas hacia los depósitos aluviales.

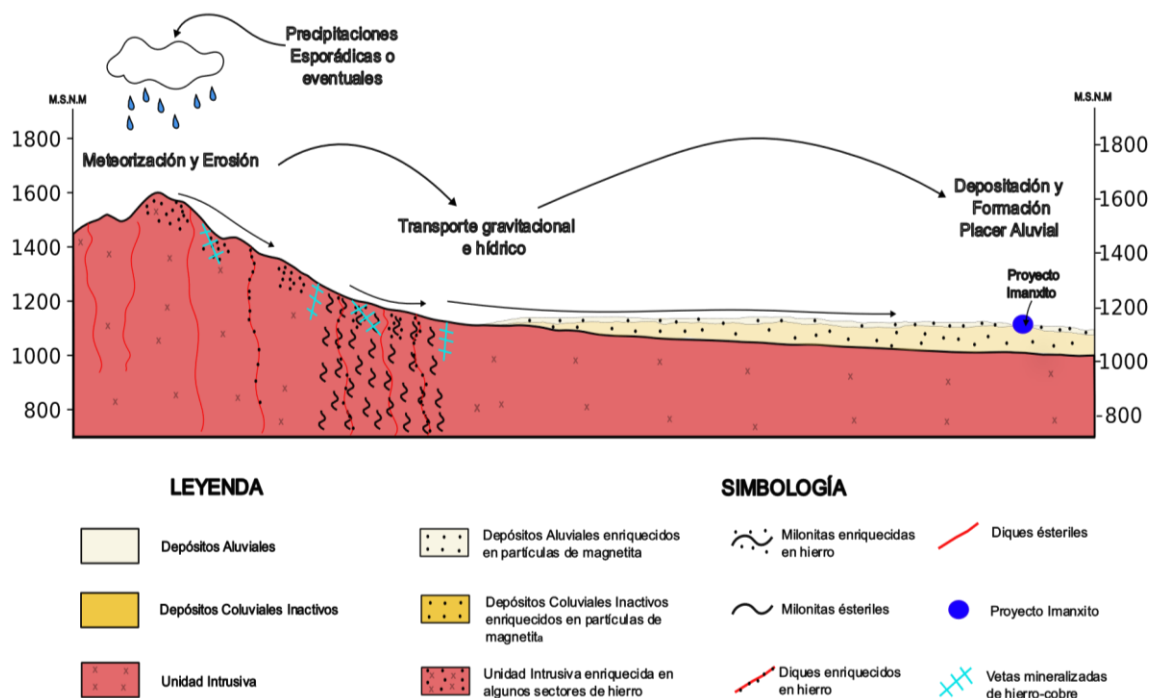


Figura N°6.2 Modelo esquemático del sistema metalogénico propuesto. Se observa la evolución desde la meteorización mecánica de las unidades fuente (intrusivo, diques, milonitas y vetas), el transporte gravitacional e intermitente y la deposición en ambientes aluviales. El depósito tipo placer se localiza en la zona distal, donde se concentran las partículas de hierro.

6.5 Potencial económico

Se construyó un modelo sólido tridimensional en Leapfrog Geo con el fin de estimar el volumen del depósito tipo placer, utilizando datos geoquímicos obtenidos mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX). Los resultados analíticos fueron reportados en términos de óxido férrico (Fe_2O_3), obteniéndose una ley promedio de 16.2% de Fe_2O_3 para las muestras de sedimentos recolectadas. El volumen modelado (Ver Figura N°6.3) fue definido entre la cota más alta de 1030 m y la cota más baja de 958 m.s.n.m., en función de la topografía vista en superficie y la distribución superficial de las muestras. Cabe señalar que esta geoquímica corresponde a una etapa de exploración superficial, ya que no se disponía de columnas estratigráficas ni de excavaciones profundas que permitieran conocer con precisión la litología portadora de la magnetita, es decir, si esta se encuentra contenida preferentemente en gravas, arenas o en fracciones más finas dentro del depósito.

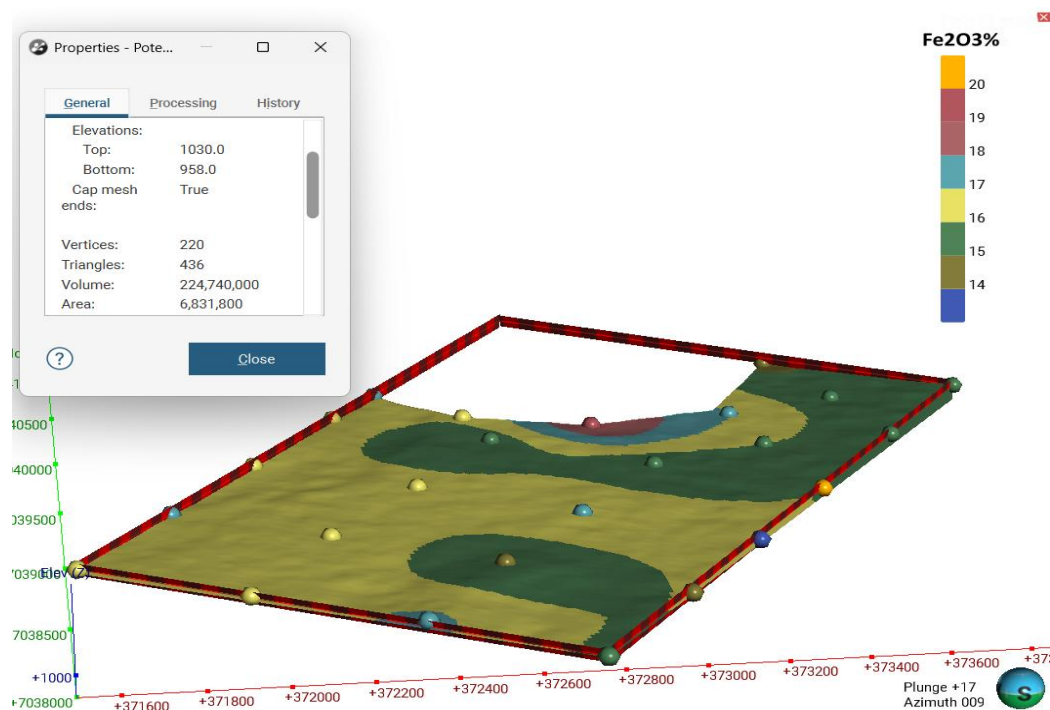


Figura N°6.3 Modelo volumétrico del depósito tipo placer generado en Leapfrog Geo, basado en la interpolación de datos geoquímicos. El modelo delimita el cuerpo mineralizado estimado, utilizado para el cálculo del volumen total (224.740.000 m³) y tonelaje del depósito.

Dado que la magnetita (Fe_3O_4) es el principal portador de hierro en este tipo de depósitos y que Fe_2O_3 contiene un 69.9% de Fe metálico en masa (según la relación estequiométrica entre masas molares):

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 &= 159.69 \text{ g/mol}; \text{Fe} = 2 \times 55.85 \text{ g/mol} = 111.70 \text{ g/mol} \\ &\rightarrow 111.70 / 159.69 \approx 0.699 \end{aligned}$$

Se procedió a convertir la ley de óxido a hierro metálico:

$$\text{Ley real de Fe} = 16.2\% \times 0.699 \approx 11.33\% \text{ de Fe metálico}$$

A partir de esta ley, se estimó la fracción de magnetita equivalente en el sedimento, considerando que la magnetita contiene 72.4% de Fe metálico por masa:

$$\text{Fracción de magnetita} = \frac{11.33}{72.4} \% \approx 0.1565 \text{ (15.65\%)}$$

Para estimar el tonelaje del depósito, se calculó una densidad aparente ponderada, en función de los dos componentes principales:

magnetita (5.1 g/cm^3) y matriz siliciclástica (1.9 g/cm^3):

$$\rho_{\text{aparente}} = (0.1565 \times 5.1) + (0.8435 \times 1.9) \approx 0.797 + 1.602 = 2.4 \text{ g/cm}^3$$

Dado que 1 g/cm^3 es equivalente a 1 t/m^3 la densidad aparente del depósito corresponde a 2.4 t/m^3 . Con esta densidad y el volumen modelado en Leapfrog, de $224.740.000 \text{ m}^3$, se estimó el siguiente tonelaje total:

$$\text{Tonelaje total} = 224,740,000 \text{ m}^3 \times \frac{2.4 \text{ t}}{\text{m}^3} \approx 53.760.000 \text{ toneladas}$$

Finalmente, al aplicar la ley de hierro metálico:

$$\text{Contenido total de Fe} = 53.760.000 \text{ t} \times 0.1133 \approx 7.166.208 \text{ toneladas de Fe}$$

Capítulo 7. Conclusiones

El estudio realizado en el Proyecto Imanxito permitió confirmar que el depósito identificado corresponde a un depósito tipo placer aluvial, hospedado en un abanico aluvial, cuya formación está asociada a procesos de erosión, transporte y concentración de minerales pesados. De esta manera, se valida la hipótesis planteada, según la cual las partículas de magnetita presentes en el área se concentran en un ambiente aluvial a partir de la meteorización, erosión y posterior depositación por las quebradas aledañas que van en dirección hacia el Proyecto Imanxito.

La caracterización geológica y metalogénica del área permitió identificar como principales fuentes de magnetita a unidades intrusivas de composición intermedia, rocas miloníticas asociadas a la Falla Oriental del Sistema de Fallas de Atacama, además de diques y vetas de óxidos de hierro. Estas unidades explican el enriquecimiento de hierro observado tanto en rocas como en sedimentos del abanico aluvial.

Las condiciones climáticas áridas a semiáridas favorecen la meteorización mecánica de las unidades fuente y la preservación de la magnetita, mientras que el transporte habría sido gravitacional y en ocasiones hídrico, concentrándose en sectores de menor energía dentro del abanico aluvial.

Los resultados geoquímicos obtenidos mediante análisis XRF muestran concentraciones elevadas de Fe_2O_3 , con valores de hasta 16,2 %, y asociaciones Fe–Ti–V coherentes con una procedencia magmática-hidrotermal. La distribución de estas concentraciones evidencia un control litológico, estructural y geomorfológico en la concentración de magnetita, cumpliéndose los objetivos específicos del estudio.

Finalmente, el potencial económico del Proyecto Imanxito debe considerarse preliminar, dado que los resultados corresponden a una etapa de exploración superficial. Para avanzar en su evaluación, será necesario realizar calicatas, sondajes, caracterizar estratigráficamente los sedimentos, ensayos metalúrgicos, posteriormente una estimación de recursos y evaluación económica.

Recomendaciones.

- Estudios geoquímicos y mineralógicos de magnetita

Si bien el presente estudio incorporó análisis geoquímicos mediante XRF en muestras de roca y sedimento, no se realizó una caracterización geoquímica específica de los granos individuales de magnetita. Por ello, se recomienda efectuar estudios complementarios orientados a la separación mineralógica de magnetita y su posterior análisis mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente y ablación láser (LA-ICP-MS).

La caracterización geoquímica de magnetita individual permitiría determinar con mayor precisión su procedencia, discriminar posibles aportes de fuentes magmáticas e hidrotermales y fortalecer el modelo metalogenético propuesto para el depósito placer del Proyecto Imaxito. Asimismo, proporcionaría criterios más robustos para futuras campañas de exploración y para la evaluación de las fuentes primarias responsables del aporte de hierro al sistema sedimentario.

- Análisis estructural avanzado (Modelo de Riedel).

Se recomienda desarrollar un modelo estructural tipo Riedel (1929) en el sector controlado por la Falla Oriental, debido a que se evidencia un claro control estructural de la mineralización dentro de las milonitas. Este análisis permitirá comprender la cinemática del sistema y su influencia en la concentración de óxidos de cobre, los cuales podrían representar un alto potencial económico.

- Evaluación de potencial aurífero.

Dada la naturaleza aluvial del depósito, se sugiere evaluar la posible presencia de oro fino o grueso asociado a los niveles ferruginosos. Esta recomendación se sustenta en la identificación de un grano de Au durante el análisis petrográfico y geoquímica de 3 muestras (Ver Figura N°7.1), lo que podría indicar la coexistencia de un placer aurífero siendo mejor en términos de rentabilidad.

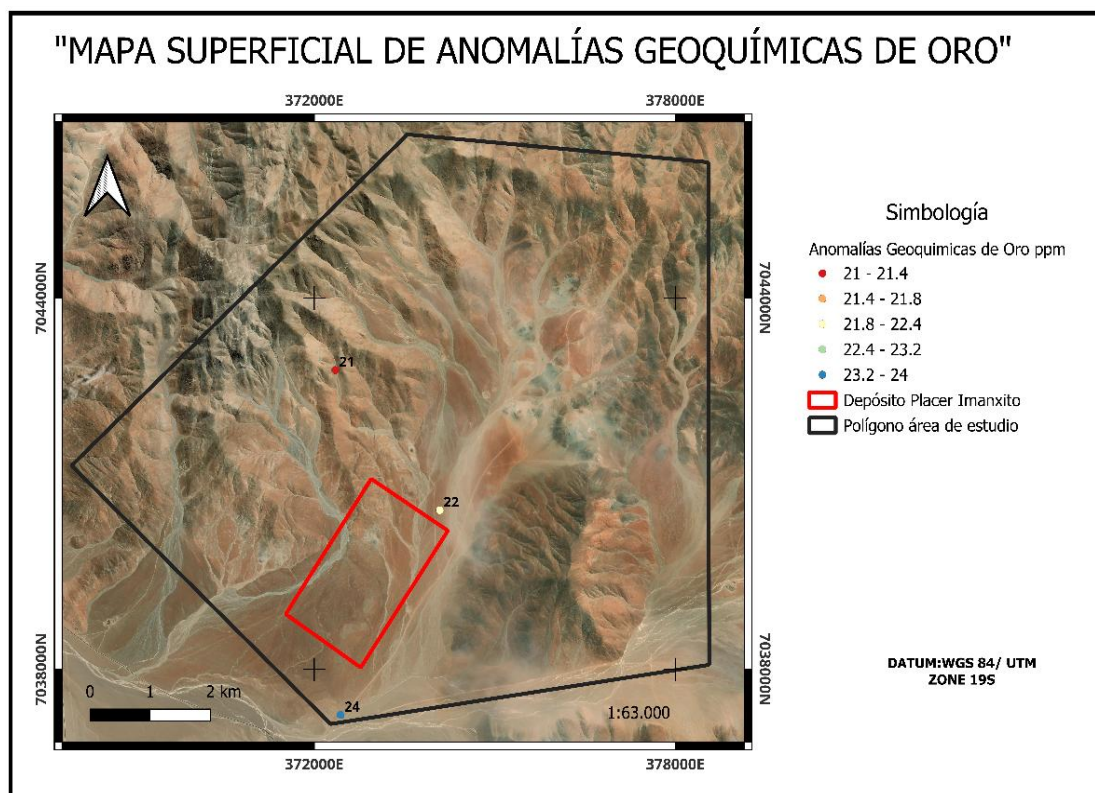


Figura N°7.1 Mapa superficial de anomalías geoquímicas de oro en sedimentos.

- Definición y justificación de targets de exploración

Los targets (Ver Figura N°7.2) se definen en función del Fe como elemento dominante del depósito placer del Proyecto Imanxito, incorporando además sectores con potencial cuprífero asociados a control estructural.

Target N°1: Corresponde al cuerpo principal del depósito placer de magnetita, donde se registran las mayores concentraciones de Fe del área de estudio. Se recomienda la ejecución de levantamientos magnetométricos con el objetivo de delimitar anomalías de susceptibilidad magnética asociadas a concentraciones de magnetita y definir la extensión del cuerpo mineralizado.

Target N°2: Corresponde a un abanico aluvial ubicado al sur de la Falla Oriental. La presencia de una muestra con 160.000 ppm de Fe sugiere un enriquecimiento significativo de minerales ferromagnéticos, por lo que se recomienda la aplicación de magnetometría para evaluar la continuidad lateral y en profundidad de posibles concentraciones de magnetita.

Target N°3: Corresponde a un sector con labores mineras antiguas y vetas con mineralización de cobre controladas estructuralmente. Se recomienda la aplicación de magnetometría con el fin de identificar lineamientos estructurales, zonas de fracturamiento e intersecciones favorables para la concentración de mineralización, contribuyendo a la definición de nuevos blancos de exploración.

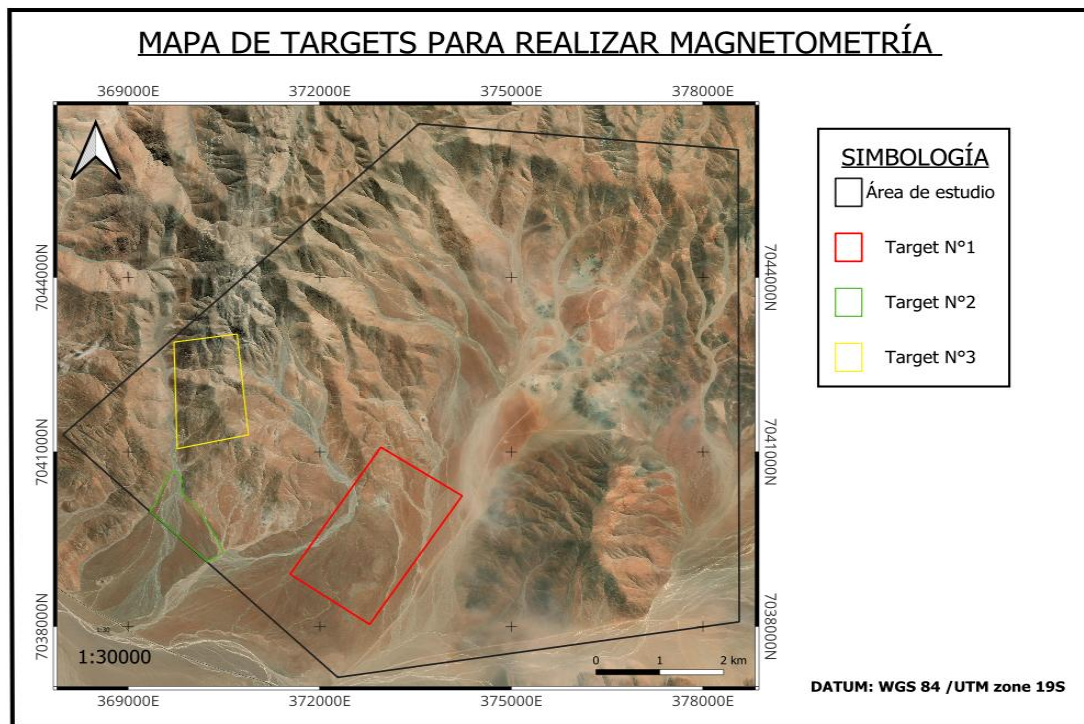


Figura N°7.2 Mapa de targets de exploración para el Proyecto Imanxito.

8. Referencias bibliográficas

- Arche, A. (2010). Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria (Vol. 46). Editorial CSIC-CSIC Press.
- Bahlburg, H. & Breitzkreuz, C. 1993. Differential response of a Devonian– Carboniferous platform–deeper basin system to sea-level change and tectonics, N. Chilean Andes. *Basin Research*, 5, 21–40
- Bateman, A. M. (1950). Economic mineral deposits. Wiley.
- Bell, C. M. (1984). Deformation produced by the subduction of a Palaeozoic turbidite sequence in northern Chile. *Journal of the Geological Society*, 141(2), 339–347.
- Bell, C. M. (1987). The origin of the Upper Palaeozoic Chañaral mélange of N Chile. *Journal of the Geological Society*, 144(4), 599–610.
- Berg, K. & Breitzkreuz, C. 1983. Mesozoische Plutone in der nordchilenischen Küstenkordillere: petrogenese, geochronologie, Geochemie und Geodynamik mantelbetonter Magmatite. *Geotektonische Forschungen*, 66, 1–107
- Blissenbach, E. (1954). Geology of alluvial fans in semiarid regions. *Geological Society of America Bulletin*, 65(2), 175–190. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1954\)65](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1954)65) [175: GOAFIS]2.0. CO.
- Brown, M. 1991. Comparative geochemical interpretation of Permian–Triassic plutonic complexes of the Coastal Range and Altiplano (258309–268309S), northern Chile. *Geological Society of America, Special Paper*, 265, 157–177.
- Brown, M.; Díaz, F.; Grocott, J. 1993. Displacement History of the Atacama fault system, 25°00' S – 27°00' S, Northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 105, pp. 1165–1174.
- Bull, W. B. (1972). Recognition of alluvial-fan deposits in the stratigraphic record.
- Chorley, R. J., Schumm, S. A., & Sugden, D. E. (1984). *Geomorphology*. Methuen.
- Dallmeyer, R.D., Brown, M., Grocott, J., Taylor, G.K. & Treloar, P.J.T. 1996. Mesozoic magmatic and tectonic events within the Andean plate boundary zone, 268–278309S, north Chile: constraints from ⁴⁰Ar/³⁹Ar mineral ages. *Journal of Geology*, 104, 19–40
- Dickinson, W. R., & Suczek, C. A. (1979). Plate tectonics and sandstone composition. *AAPG Bulletin*, 63, 2164–2182.
- Dupuis, C., & Beaudoin, G. (2011). Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. *Mineralium Deposita*, 46(4), 319–335.
- Edwards, R., & Atkinson, K. (1986). *Ore deposit geology*. Chapman & Hall.
- Espinoza, C., Gelcich, S., & Vivallo, W. (1999). Yacimientos Metalíferos de la Hoja Quebrada Salitrosa, Región de Atacama.

Evans, A. M. (2009). Ore geology and industrial minerals: An introduction. John Wiley & Sons.

Gary, M., McAfee Jr., R., & Wolf, C. L. (Eds.). (1972). Glossary of geology. American Geological Institute. Gerencia de Investigación y Desarrollo, Sociedad Nacional de Minería.

Griem, W. (2018). Diagrama Streckeisen o QAPF. Museo Virtual – Geología General.

Grocott, J., & Taylor, G. K. (2002). Magmatic arc fault systems, deformation partitioning and emplacement of granitic complexes in the Coastal Cordillera, north Chilean Andes (25°30'S to 27°00'S). *Journal of the Geological Society*, 159(4), 425–443.

Grocott, J., Brown, M., Dallmeyer, R. D., Taylor, G. K., & Treloar, P. J. (1994). Mechanisms of continental growth in extensional arcs: An example from the Andean plate-boundary zone. *Geology*, 22, 391–394.

Harraz, H. (2013). Placer mineral deposits. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3264.0886>

Jenkins, O. (1964). Geology of placer deposits. Division of Mines and Geology, Special Publication N° 34, 27 pp.

Jensen, M. L., & Bateman, A. M. (1979). Economic mineral deposits (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Juliá, C., Montecinos, S., & Maldonado, A. (2008). Características climáticas de la Región de Atacama. En Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama (Vol. 3, pp. 25–42).

Knipping, J. L., Bilenker, L. D., Simon, A. C., Reich, M., Barra, F., Deditius, A. P., ... & Munizaga, R. (2015). Trace elements in magnetite from massive iron oxide-apatite deposits indicate a combined formation by igneous and magmatic-hydrothermal processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 171, 15–38.

Köppen, W. (1948). Climatología con un estudio de los climas de la tierra.

Lamey, C. A. (1966). Metallic and industrial mineral deposits. McGraw-Hill.

Lara, L., & Godoy P, E. (1998). Hoja Quebrada Salitrosa, Región de Atacama.

Lindgren, W. (1922). A suggestion for the terminology of certain mineral deposits. *Economic Geology*, 17, 292–294.

Macdonald, E. H. (1983). Alluvial mining: The geology, technology and economics of placers. Chapman and Hall.

Maksaev, V. (2001). GL 54A Metalogénesis [Material de curso]. Universidad de Chile.

Maksaev, V. (2002). Chilean stratabound Cu-(Ag) deposits: An overview. In Porter, T. M. (Ed.), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective (Vol. 2, pp. 185–205). PGC Publishing.

Mange, M. A., & Maurer, H. F. W. (1992). Heavy minerals in colour. Chapman & Hall.

- Marschik, R., & Fontboté, L. (2001). The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile. *Economic Geology*, 96(8), 1799-1826.
- McKinstry, H. E. (1948). *Mining geology*. Prentice-Hall.
- Minter, W. E. L., Feather, C. E., & Glatthaar, C. W. (1988). Sedimentological and mineralogical aspects of the newly discovered Witwatersrand placer deposit that reflect Proterozoic weathering. *Economic Geology*, 83, 481–491.
- Morton, A. C. (2003). Heavy minerals. In G. V. Middleton et al. (Eds.), *Encyclopaedia of sediments and sedimentary rocks* (pp. 356–358). Kluwer Academic Publishers.
- Morton, A. C., & Hallsworth, C. (1994). Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90, 241–256.
- Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J. L., French, D., & Walshe, J. (2014). The chemistry of hydrothermal magnetite: A review. *Ore geology reviews*, 61, 1-32.
- Nahon, D. (1991). *Introduction to the petrology of soils and chemical weathering*. Wiley.
- Naranjo, J. A. (1978). Zona interior de la Cordillera de la Costa entre los 26°00' y 26°20' S, Región de Atacama. *Carta Geológica de Chile* 34, 48 p.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. John Wiley & Sons.
- Notholt, A. J. G. (1979). The economic geology and development of igneous phosphate deposits in Europe and the USSR. *Economic Geology*, 74, 339–350.
- Patyk-Kara, N. G. (2002). Placers in the system of sedimentogenesis. *Lithology and Mineral Resources*, 37(5), 429–441. <https://doi.org/10.1023/A:1020268115823>
- Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary rocks* (2nd ed.). Harper and Row.
- Portigliati, C. (1999). Los placeres auríferos de Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería*.
- Portigliati, C., Emparán, C., & Vogel, S. (1988). Los agentes geológicos en la formación de placeres auríferos en el sur de Chile. V Congreso Geológico Chileno, 393–418. Universidad de Chile.
- Pretorius, D. A. (1975). The depositional environment of the Witwatersrand Goldfields: A chronological review of speculations and observations. *Mineral Science and Engineering*, 7, 18–47.
- Pretorius, D. A. (1981). Gold and uranium in quartz-pebble conglomerates. *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, 117–138.
- Pye, K. (1994). *Sediment transport and depositional processes*. Blackwell.
- Reedman, J. H. (1984). Resources of phosphate, niobium, iron and other elements in residual soils over the Sukulu carbonatite complex, southeastern Uganda. *Economic Geology*, 79, 716–724.

Riedel, W. (1929). Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. Zentral-blatt für Mineralogie. Geologie und paleontologie B, 354-368.

Routhier, P. (1963). Les gisements métallifères; géologie et principes de recherche. Masson.

Rutllant, J., & Sippa, G. (1971). Algunas características de la inversión de subsidencia del anticiclón subtropical. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.

Selley, R. C. (1976). An introduction to sedimentology (Vol. 408). London: Academic Press.

Sillitoe, R. H. (2003). Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita*, 38(7), 787-812. Sociedad Nacional de Minería. (2014).

Taylor, G. K., Grocott, J., Pope, A., & Randall, D. E. (1998). Mesozoic fault systems, deformation and fault block rotation in the Andean forearc: a crustal scale strike-slip duplex in the Coastal Cordillera of northern Chile. *Tectonophysics*, 299(1-3), 93-109.

Thiele, R., & Pincheira, M. (1987). Tectónica transpresiva y movimiento de desgarre en el segmento sur de la zona de Falla Atacama, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 31, 77–94.

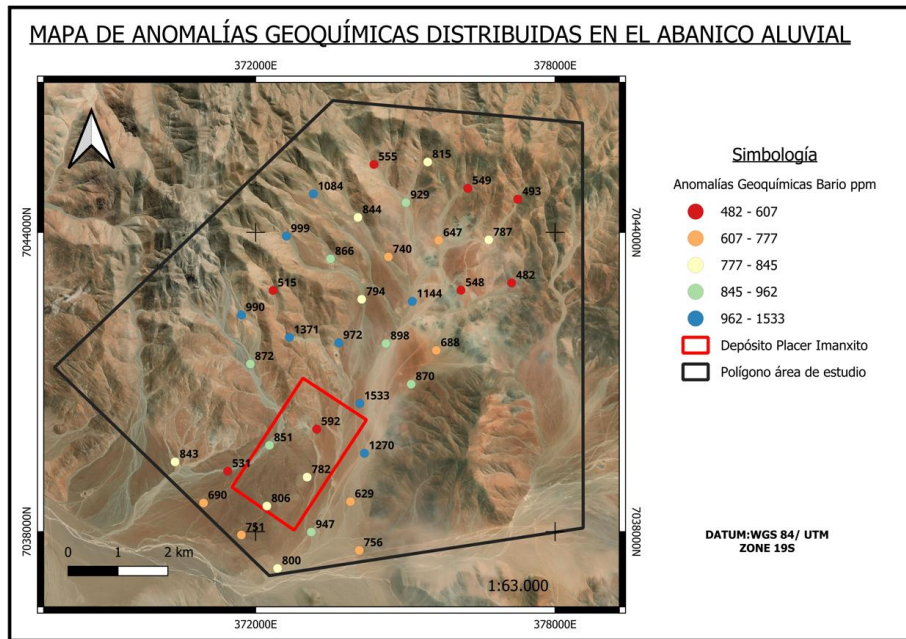
Van Gosen, B. S., Fey, D. L., Shah, A. K., Verplanck, P. L., & Hoefen, T. M. (2014). Deposit model for heavy mineral sands in coastal environments. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–L, 51 p.

Youngson, J. H., & Craw, D. (1999). Variation in placer style, gold morphology, and gold particle behaviour down gravel bed-load rivers: An example from the Shotover/Arrow Kawarau-Clutha River system, Otago, New Zealand. *Economic Geology*, 94(5), 615–634. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.94.5.615>

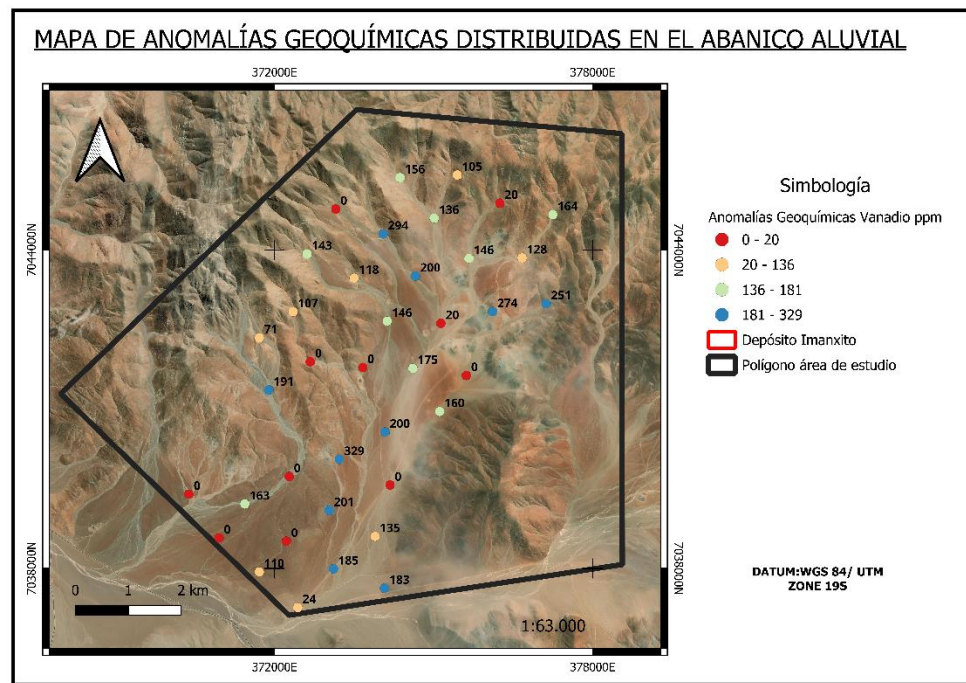
Zentilli, M. (1974). Geological evolution and metallogenic relationships in the Andes of Northern Chile between 26 and 29 South (Doctoral dissertation). Queen's University.

9. Anexos

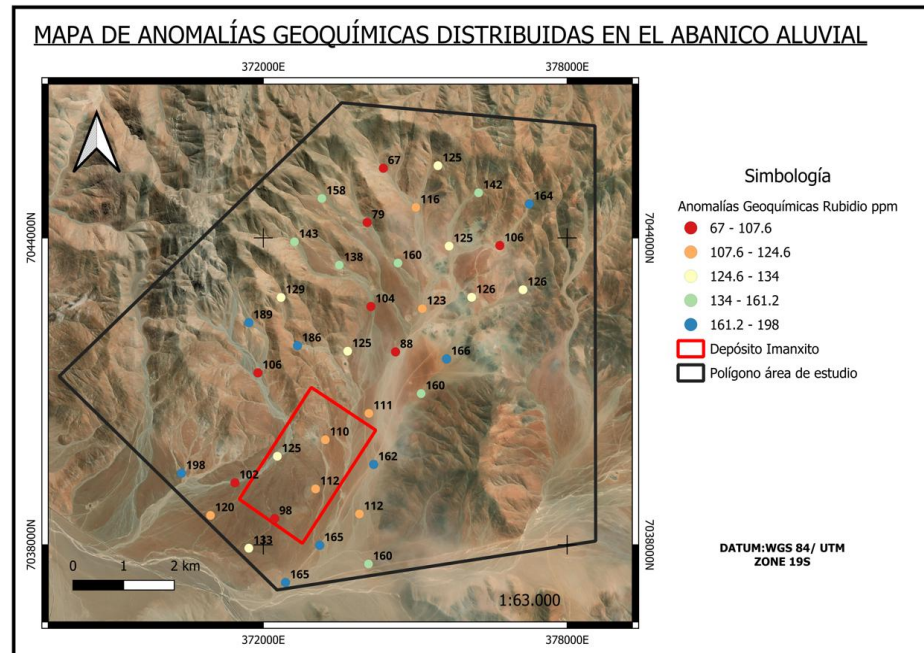
Anexo N°1 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento bario.



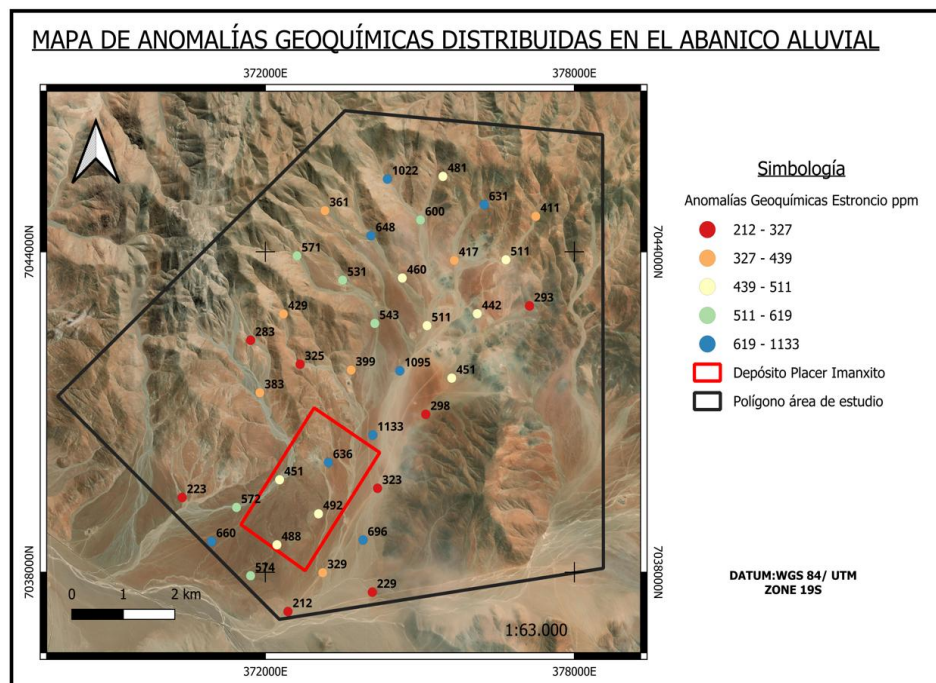
Anexo N°2 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento vanadio.



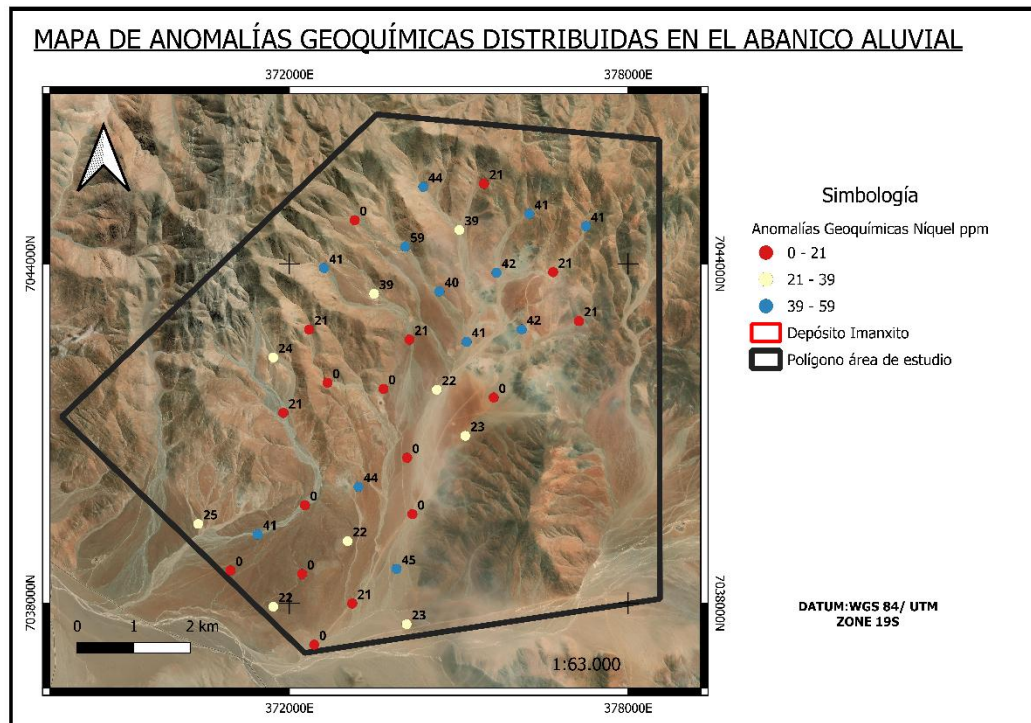
Anexo N°3 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento rubidio.



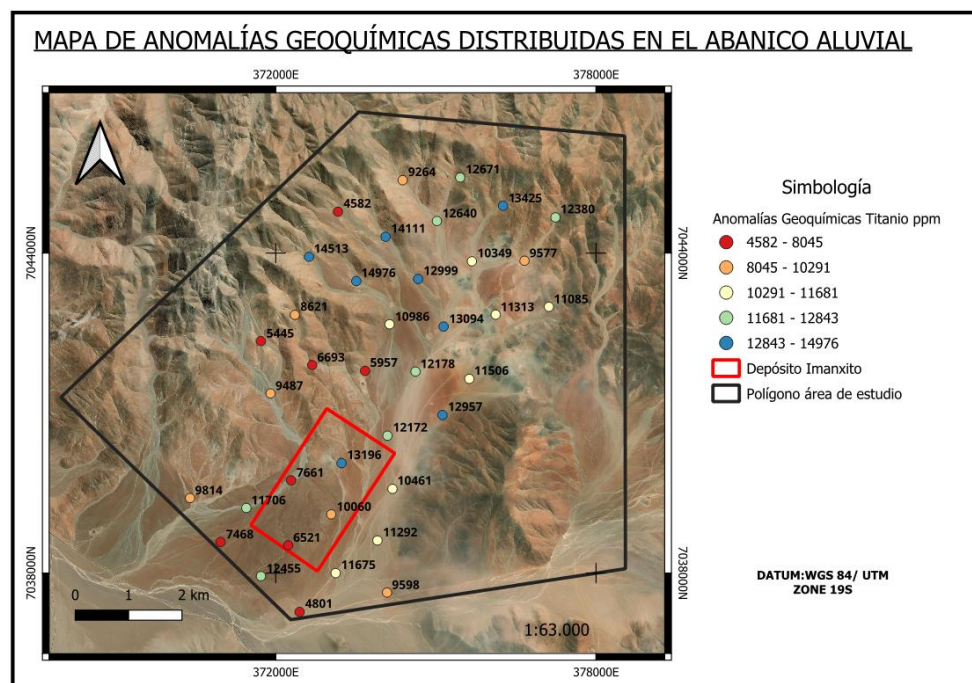
Anexo N°4 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento estroncio.



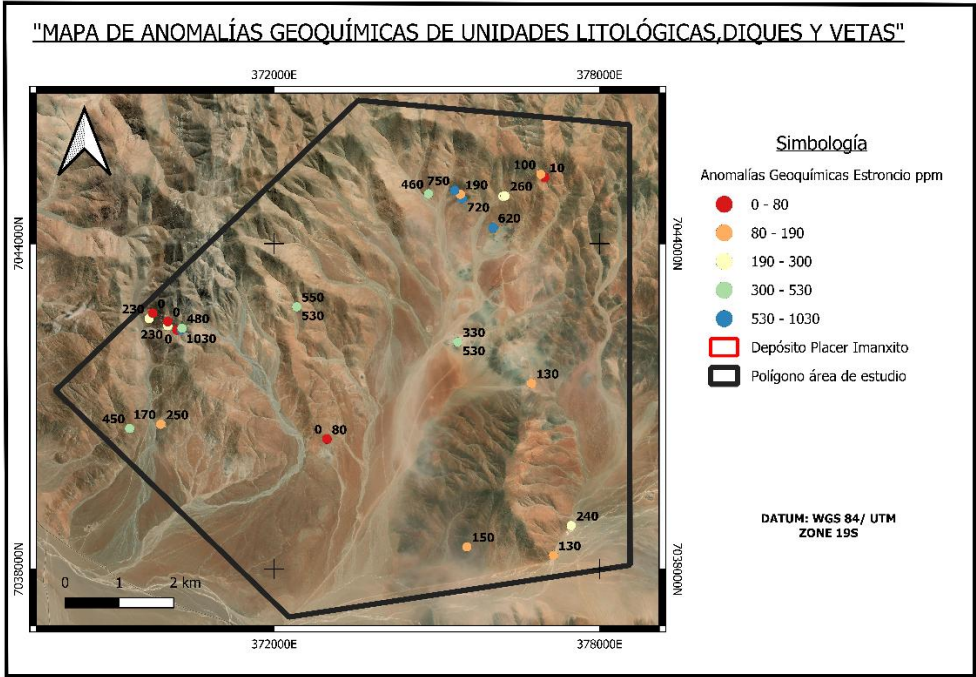
Anexo N°5 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento níquel.



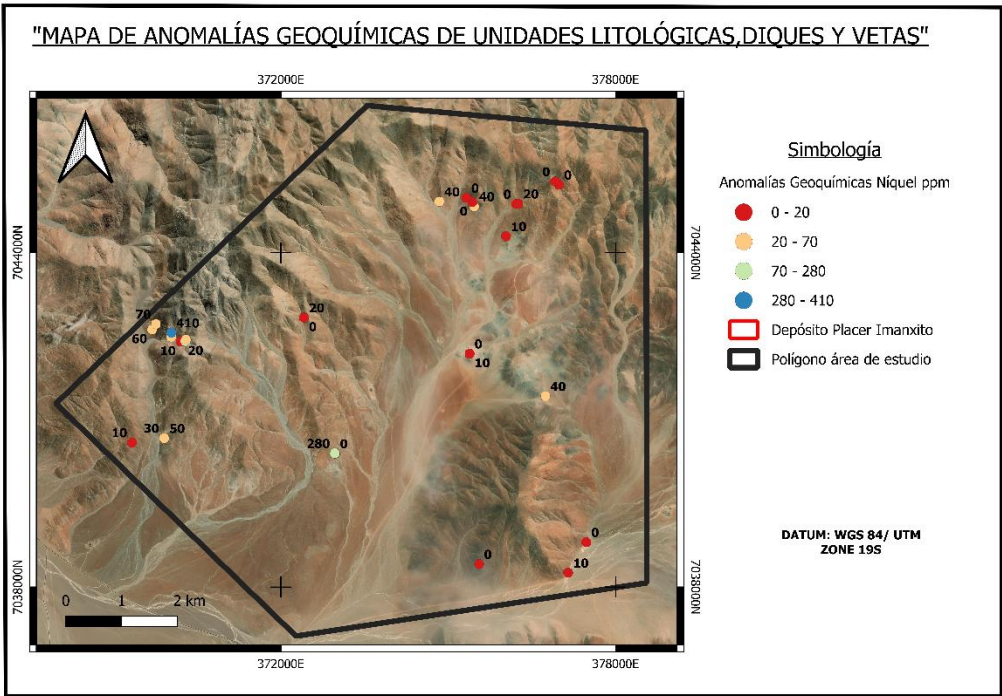
Anexo N°6 Mapa de anomalías geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial del elemento titanio.



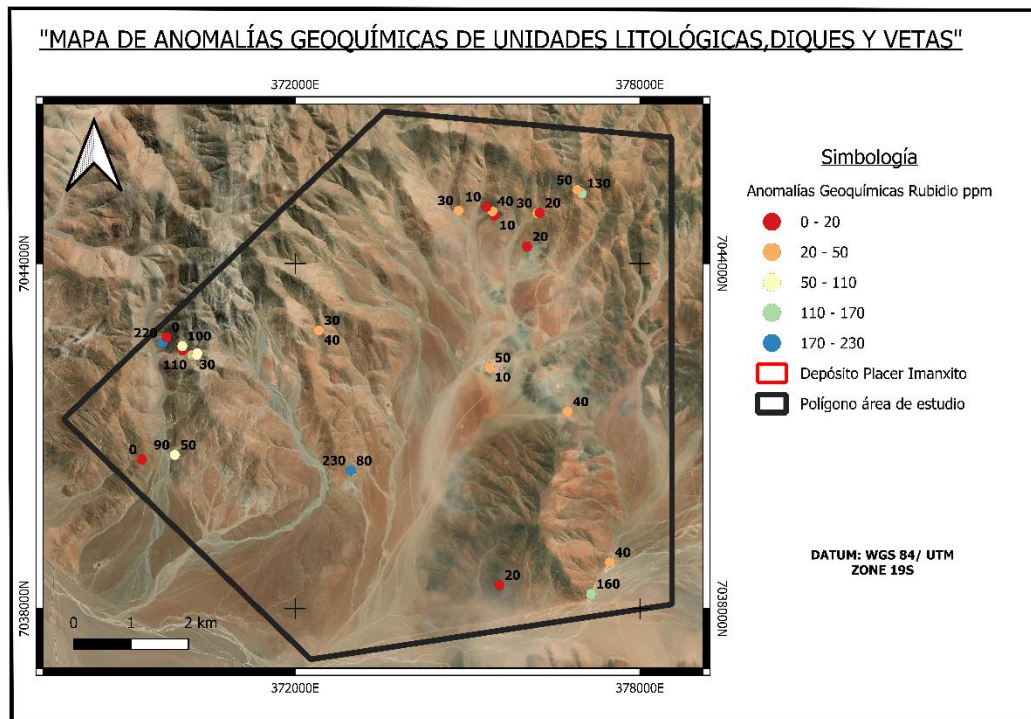
Anexo N°7 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento estroncio.



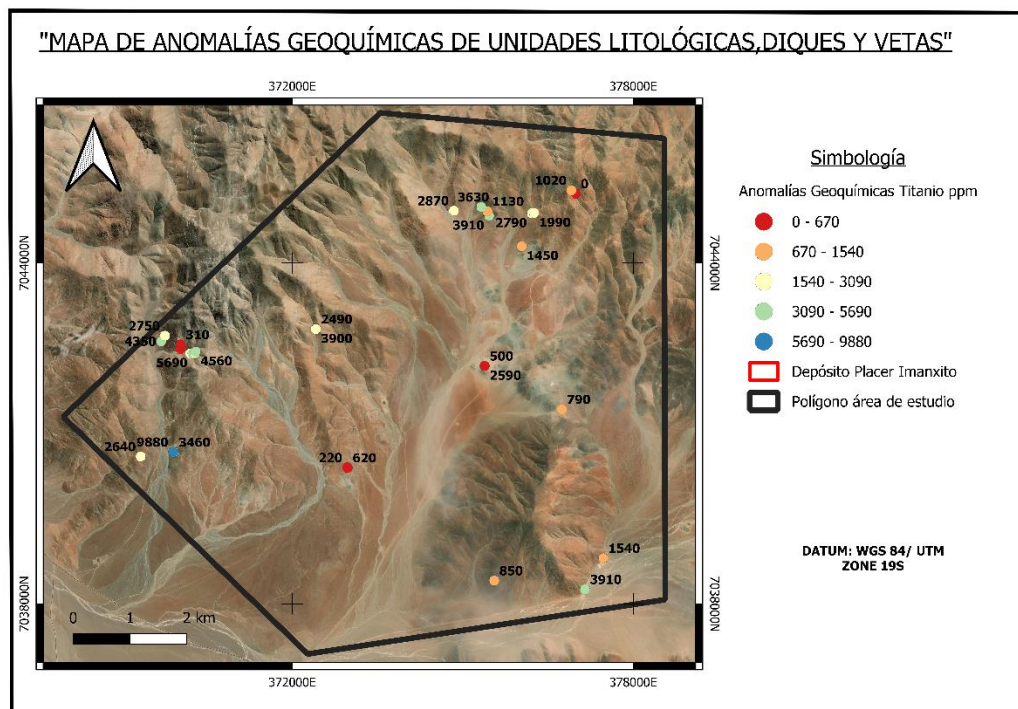
Anexo N°8 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento níquel.



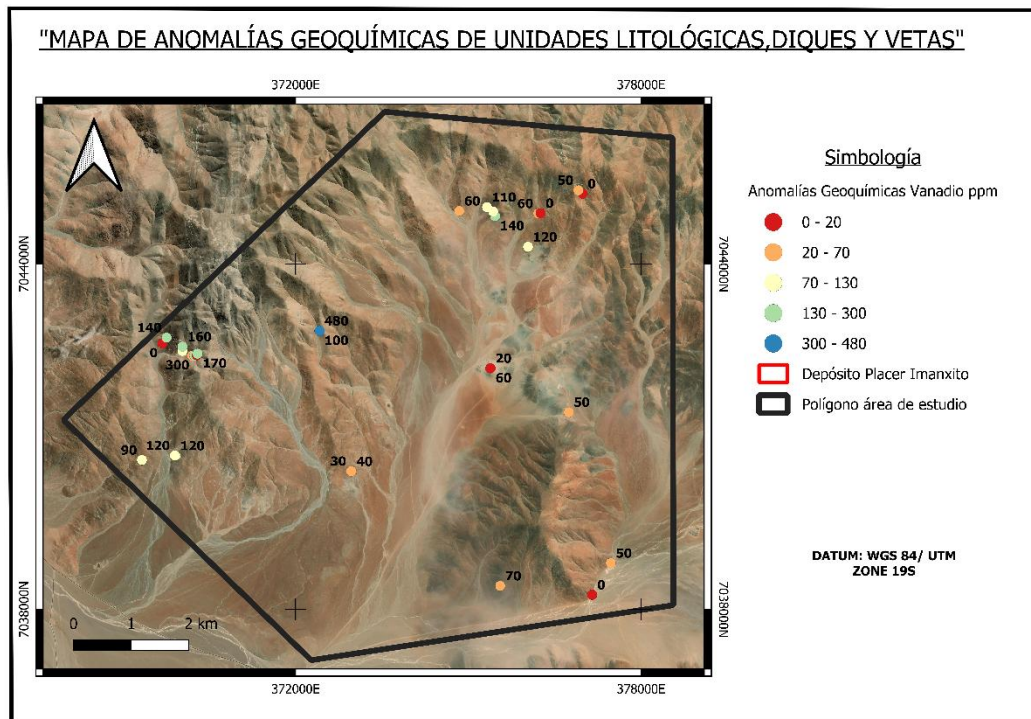
Anexo N°9 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento rubidio.



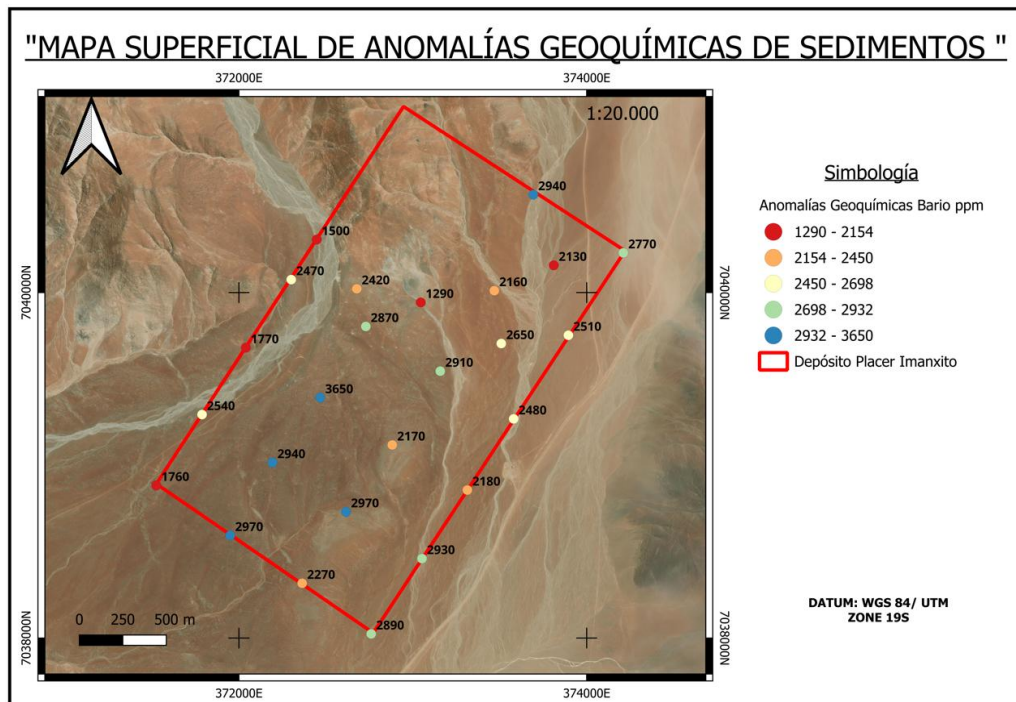
Anexo N°10 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento titanio.



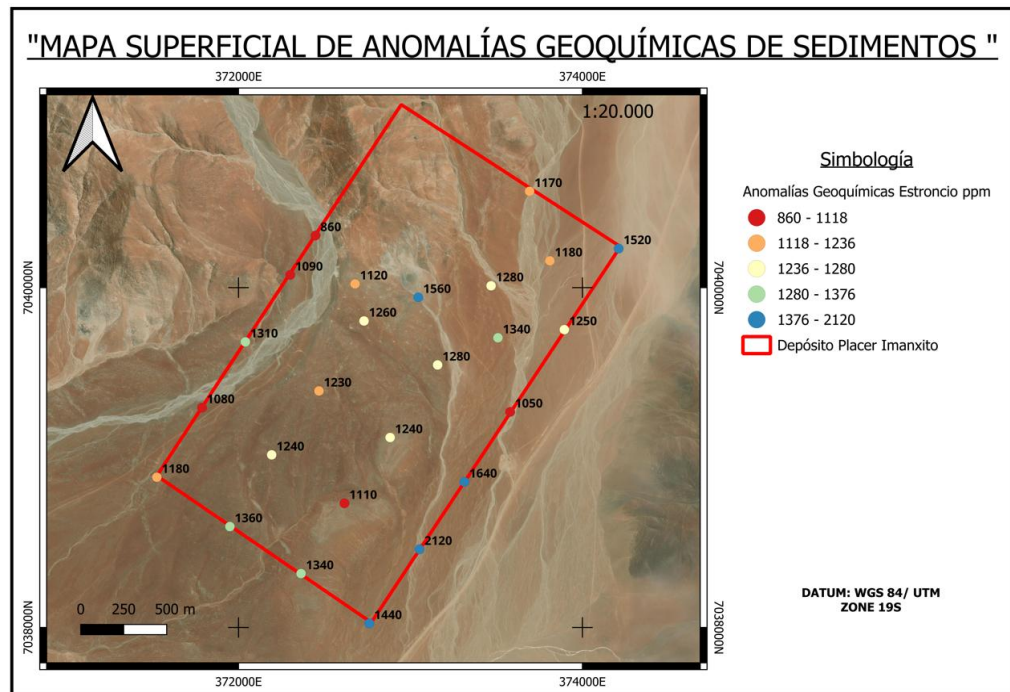
Anexo N°11 Mapa de anomalías geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas del elemento vanadio.



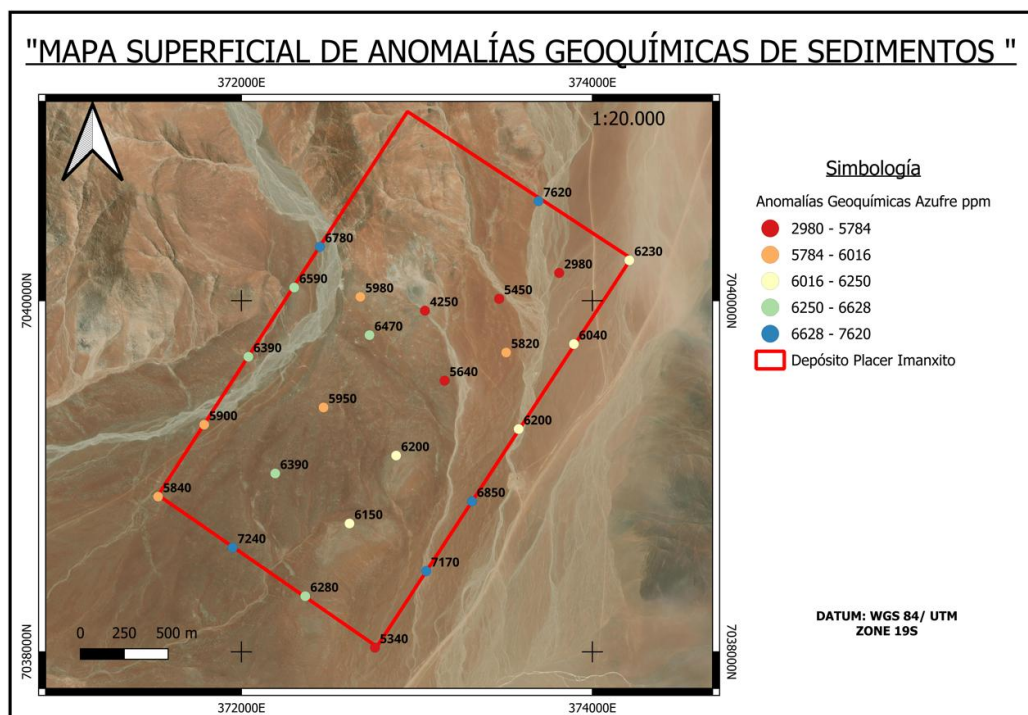
Anexo N°12 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento bario.



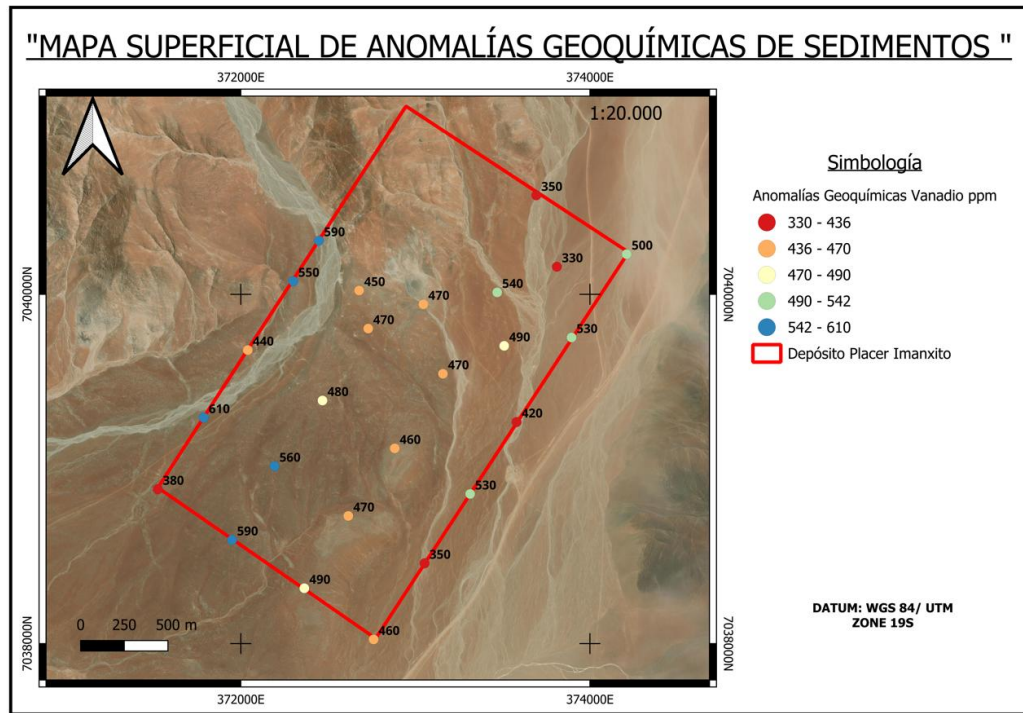
Anexo N°13 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento estroncio.



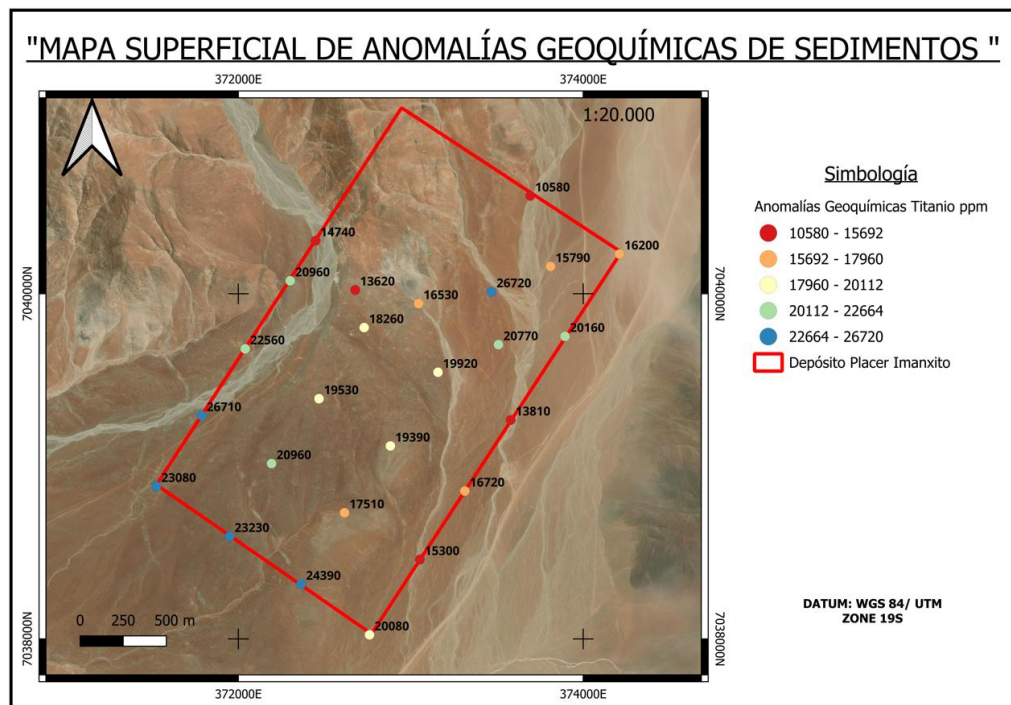
Anexo N°14 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento azufre.



Anexo N°15 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento vanadio.



Anexo N°16 Mapa de anomalías geoquímica del depósito placer Imanxito del elemento titanio.



Anexo N°17 Geoquímica de exploración superficial deposito placer Imanxito.

N° de muestra	Codigo XRF	Norte	Este	SiO2 ppm	Fe2O3 ppm	Al2O3 ppm	CaO ppm	K2O ppm	TiO2 ppm
FIC-PI-M1P	3379	7038024	372761	588130	158010	101580	67060	42130	20080
FIC-PI-M2P	3380	7038317	372364	573050	172520	99060	67150	40100	24390
FIC-PI-M3P	3381	7038594	371950	575900	168010	97780	70790	39510	23230
FIC-PI-M4P	3382	7038884	371525	578620	169460	100770	64970	41520	23080
FIC-PI-M5P	3383	7039294	371788	562380	177260	100390	68650	41150	26710
FIC-PI-M6P	3386	7039016	372193	582760	166640	100520	64710	40330	20960
FIC-PI-M7P	3387	7038731	372616	591420	149860	100890	67470	48340	17510
FIC-PI-M8P	3388	7038460	373053	617720	144730	96910	61320	36500	15300
FIC-PI-M9P	3389	7038857	373314	615960	129580	101560	69580	41790	16720
FIC-PI-M10P	3390	7039118	372882	578910	170460	90680	65590	44070	19390
FIC-PI-M11P	3391	7039392	372468	583110	163120	100210	65570	42800	19530
FIC-PI-M12P	3392	7039681	372040	585460	164260	97410	69920	37930	22560
FIC-PI-M13P	3393	7040075	372301	583480	162750	103420	65120	39720	20960
FIC-PI-M14P	3394	7039804	372730	595150	153520	97540	69670	41010	18260
FIC-PI-M15P	3395	7039545	373158	601480	151130	96420	68710	38360	19920
FIC-PI-M16P	3397	7039269	373580	544260	205600	100040	75530	38690	13810
FIC-PI-M17P	3398	7039753	373895	573410	154820	104990	64430	39260	20160
FIC-PI-M18P	3399	7040230	374211	597910	158630	94780	66090	41990	16200
FIC-PI-M19P	3400	7040567	373693	610810	146390	97170	62180	46940	10580
FIC-PI-M20P	3401	7040011	373469	570760	170260	101180	66750	40780	26720
FIC-PI-M21P	3402	7039943	373046	525170	193940	80900	125530	33470	16530
FIC-PI-M22P	3403	7040022	372678	586390	165770	102610	61420	45500	13620
FIC-PI-M23P	3404	7040307	372448	545590	172630	110380	93330	37310	14740
FIC-PI-M24P	3405	7039705	373509	577480	159840	109900	68370	39930	20770
FIC-PI-M25P	3406	7040158	373811	589080	154910	117060	63990	39230	15790

N° de muestra	P2O5 ppm	S ppm	Cl ppm	Ba ppm	MnO ppm	Sr ppm	Rb ppm	V ppm	Y ppm
FIC-PI-M1P	7240	5340	1700	2890	2420	1440	720	460	260
FIC-PI-M2P	6670	6280	1930	2270	2610	1340	730	490	270
FIC-PI-M3P	6920	7240	1610	2970	2180	1360	790	590	350
FIC-PI-M4P	5360	5840	1710	1760	2360	1180	720	380	190
FIC-PI-M5P	5400	5900	2330	2540	2540	1080	730	610	960
FIC-PI-M6P	6740	6390	2310	2940	2190	1240	680	560	260
FIC-PI-M7P	7160	6150	1790	2970	2400	1110	710	470	280
FIC-PI-M8P	8510	7170	2280	2930	2090	2120	590	350	210
FIC-PI-M9P	8170	6850	1850	2180	2180	1640	710	530	230
FIC-PI-M10P	8520	6200	8620	2170	2230	1240	760	460	250
FIC-PI-M11P	8120	5950	1960	3650	2470	1230	730	480	290
FIC-PI-M12P	7190	6390	1600	1770	2230	1310	730	440	240
FIC-PI-M13P	7660	6590	2160	2470	2420	1090	690	550	260
FIC-PI-M14P	8050	6470	1800	2870	2450	1260	740	470	250
FIC-PI-M15P	8060	5640	2040	2910	2230	1280	620	470	360
FIC-PI-M16P	7540	6200	820	2480	1760	1050	590	420	190
FIC-PI-M17P	7940	6040	1590	2510	21920	1250	670	530	210
FIC-PI-M18P	7670	6230	1680	2770	2490	1520	730	500	240
FIC-PI-M19P	7670	7620	1900	2940	2580	1170	870	350	190
FIC-PI-M20P	7420	5450	1400	2160	2750	1280	670	540	280
FIC-PI-M21P	9310	4250	2980	1290	2420	1560	540	470	160
FIC-PI-M22P	7950	5980	2990	2420	2170	1120	750	450	250
FIC-PI-M23P	7120	6780	4340	1500	2020	860	710	590	320
FIC-PI-M24P	8130	5820	1730	2650	2190	1340	680	490	190
FIC-PI-M25P	6840	2980	2730	2130	2020	1180	640	330	310

N° de muestra	Zr ppm	Ag ppm	Ni ppm	Cu ppm	As ppm	Zn ppm	Sn ppm	Mo ppm	Co ppm	Cr ppm
FIC-PI-M1P	100	0	100	340	0	0	0	0	0	0
FIC-PI-M2P	220	0	100	340	50	120	0	0	290	0
FIC-PI-M3P	220	0	150	350	50	0	0	0	0	0
FIC-PI-M4P	530	0	100	310	70	70	700	0	290	0
FIC-PI-M5P	700	0	140	330	50	70	0	90	0	0
FIC-PI-M6P	280	0	120	230	0	70	0	90	0	0
FIC-PI-M7P	900	0	120	210	50	50	0	140	0	0
FIC-PI-M8P	0	0	110	350	0	0	830	0	0	0
FIC-PI-M9P	0	0	100	380	0	0	0	0	0	0
FIC-PI-M10P	130	0	0	280	50	0	0	0	0	0
FIC-PI-M11P	190	0	120	360	50	70	0	0	0	0
FIC-PI-M12P	170	0	100	220	70	0	0	0	0	0
FIC-PI-M13P	0	260	90	210	50	50	0	0	0	0
FIC-PI-M14P	150	0	120	170	50	0	0	0	0	0
FIC-PI-M15P	70	0	120	190	0	0	0	0	0	0
FIC-PI-M16P	0	230	120	330	0	0	0	0	350	0
FIC-PI-M17P	50	0	90	90	50	0	0	0	0	0
FIC-PI-M18P	0	0	130	340	0	0	0	100	0	0
FIC-PI-M19P	300	0	140	160	30	0	0	0	0	0
FIC-PI-M20P	440	0	90	280	50	90	650	0	0	0
FIC-PI-M21P	0	0	140	630	50	90	0	0	410	180
FIC-PI-M22P	100	0	120	350	50	0	0	0	0	0
FIC-PI-M23P	390	0	150	370	0	0	860	0	0	0
FIC-PI-M24P	170	0	100	120	0	100	0	0	0	0
FIC-PI-M25P	270	200	110	90	70	40	0	0	0	0

Anexo N°18 Geoquímica de sedimentos distribuidos en el abanico aluvial.

Muestras	Código XRF	Norte	Este	MgO(ppm)	Al2O3(ppm)	SiO2(ppm)	P2O5(ppm)	S(ppm)	Cl(ppm)	K2O(ppm)
FIC-PI-MR2(1)	635	7044596	375012	20369	109562	683844	8841	5593	2418	35658
FIC-PI-MR2(2)	636	7044301	374051	19561	127888	621917	7186	5045	2780	55903
FIC-PI-MR2(3)	637	7043469	373501	0	114377	634491	8383	5681	2586	56484
FIC-PI-MR2(4)	638	7043924	372615	0	92136	557694	9163	5635	2199	49000
FIC-PI-MR2(5)	639	7044771	373157	30582	113851	650591	7559	5626	2181	68970
FIC-PI-MR2(6)	640	7043509	374659	0	104529	688741	8963	6059	2203	47270
FIC-PI-MR2(7)	641	7042659	374125	17719	124742	631885	7990	5357	2243	58628
FIC-PI-MR2(8)	642	7042617	375139	20037	125859	617829	8466	5062	2148	48306
FIC-PI-MR2(9)	643	7043840	375668	23495	110123	630801	8540	4806	2437	40553
FIC-PI-MR2(10)	644	7042840	376114	42001	109411	616329	9395	4731	1688	37936
FIC-PI-MR2(11)	645	7043851	376671	0	117724	644225	8531	7902	2312	40364
FIC-PI-MR2(12)	646	7044664	377251	32788	109497	567118	8641	5005	2717	39550
FIC-PI-MR2(13)	647	7044882	376251	33920	100831	702996	10707	7378	2969	26842
FIC-PI-MR2(14)	648	7045412	375448	24828	109948	622997	9084	5836	1436	60763
FIC-PI-MR2(15)	706	7045362	374370	0	113356	656619	7774	4858	2142	48717
FIC-PI-MR2(16)	707	7042987	377128	38601	105721	586716	7628	5392	2345	35094
FIC-PI-MR2(17)	708	7041772	374611	0	114941	660348	8374	5907	2610	54114
FIC-PI-MR2(18)	709	7041635	375619	0	110392	643649	8126	4753	1818	35599
FIC-PI-MR2(19)	710	7041786	373666	0	108220	719680	8499	6729	2891	43393
FIC-PI-MR2(20)	711	7041894	372675	23424	108359	683638	8621	5902	2696	61279
FIC-PI-MR2(21)	712	7042836	372350	36065	110318	617613	8910	5422	2357	63574
FIC-PI-MR2(23)	713	7041362	371894	0	105861	570480	8025	4463	7481	39624
FIC-PI-MR2(24)	714	7040957	375116	19817	115947	631054	9553	5487	1844	35257
FIC-PI-MR2(22)	1050	7042344	371714	35065	106009	579909	9265	4847	4654	39633
FIC-PI-MR1(1)	1051	7040570	374086	0	119266	653368	8343	4935	2676	42153
FIC-PI-MR1(2)	1052	7040055	373224	0	120967	648550	7750	3966	1668	47496
FIC-PI-MR1(3)	1053	7039572	374179	0	127203	648123	8023	4937	2043	47501
FIC-PI-MR1(4)	1054	7039732	372277	0	107007	597224	8069	4845	5276	40918
FIC-PI-MR1(5)	1055	7039094	373032	0	114393	657107	6353	3718	2390	42816
FIC-PI-MR1(6)	1056	7038604	373898	18107	114868	656795	8375	4971	2819	38867
FIC-PI-MR1(7)	1057	7037627	374077	24512	117145	618460	7772	4592	2492	36464
FIC-PI-MR1(8)	1058	7037992	373114	0	118569	651753	8337	4994	2691	43131
FIC-PI-MR1(9)	1059	7038514	372225	0	104740	731264	7923	5621	2957	53499
FIC-PI-MR1(10)	1060	7039214	371440	0	108269	600726	8680	4841	7407	39664
FIC-PI-MR1(11)	1061	7039400	370385	0	102429	626119	7479	5098	2528	44347
FIC-PI-MR1(12)	1062	7038576	370957	0	116748	647455	8999	4340	2520	47615
FIC-PI-MR1(13)	1063	7037935	371714	0	126774	655948	6711	4821	2184	41405
FIC-PI-MR1(14)	1064	7037264	372439	0	122140	644884	8517	4258	2168	39410

Muestras	CaO(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Cr(ppm)	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Ni(ppm)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	As(ppm)	Rb(ppm)
FIC-PI-MR2(1)	72146	6521	0	73	1172	52045	0	98	82	0	98
FIC-PI-MR2(2)	51085	11675	185	0	2038	92760	21	124	46	21	165
FIC-PI-MR2(3)	65467	10461	0	0	2055	97866	0	92	23	0	162
FIC-PI-MR2(4)	186104	9598	183	0	2543	83820	23	92	50	0	160
FIC-PI-MR2(5)	31350	9814	0	0	1313	76429	25	74	50	0	198
FIC-PI-MR2(6)	69578	7661	0	0	1502	61491	0	100	69	0	125
FIC-PI-MR2(7)	52310	12957	160	0	1442	82711	23	137	43	23	160
FIC-PI-MR2(8)	84296	9487	191	0	1617	75001	21	106	45	0	106
FIC-PI-MR2(9)	79898	10060	201	0	1386	85867	22	134	178	0	112
FIC-PI-MR2(10)	81625	12172	200	0	2199	78893	0	89	67	22	111
FIC-PI-MR2(11)	75250	11292	135	0	2020	88270	45	112	61	0	112
FIC-PI-MR2(12)	98527	11706	163	0	1696	120590	41	266	30	0	102
FIC-PI-MR2(13)	51375	7468	0	30	810	52755	0	90	24	0	120
FIC-PI-MR2(14)	93992	4801	24	0	706	64034	0	165	66	0	165
FIC-PI-MR2(15)	66141	12455	110	0	2120	83742	22	133	88	22	133
FIC-PI-MR2(16)	91210	13196	329	0	1359	110500	44	153	47	0	110
FIC-PI-MR2(17)	59096	11506	0	0	1589	79688	0	95	66	24	166
FIC-PI-MR2(18)	82466	12178	175	0	1468	96725	22	88	50	22	88
FIC-PI-MR2(19)	50272	5957	0	0	972	51593	0	75	23	0	125
FIC-PI-MR2(20)	51751	6693	0	0	930	44547	0	70	47	0	186
FIC-PI-MR2(21)	83492	5445	71	0	1155	63315	24	94	43	0	189
FIC-PI-MR2(23)	155732	11085	251	105	1760	93540	21	105	67	0	126
FIC-PI-MR2(24)	88199	9264	156	89	1266	79779	44	89	84	0	67
FIC-PI-MR2(22)	119113	8621	107	21	1544	89667	21	86	42	0	129
FIC-PI-MR1(1)	67306	12671	105	0	1485	85644	21	105	81	21	125
FIC-PI-MR1(2)	69586	13425	20	0	2238	82421	41	142	43	0	142
FIC-PI-MR1(3)	71678	9577	128	0	1298	77658	21	128	41	0	106
FIC-PI-MR1(4)	116267	12380	164	0	1581	104564	41	144	82	0	164
FIC-PI-MR1(5)	69004	13094	20	0	1430	87327	41	102	63	20	123
FIC-PI-MR1(6)	66477	10986	146	0	1587	74079	21	84	79	0	104
FIC-PI-MR1(7)	70181	14111	294	0	1315	100483	59	118	102	20	79
FIC-PI-MR1(8)	67631	14513	143	0	1488	84366	41	102	45	20	143
FIC-PI-MR1(9)	44718	4582	0	0	767	42032	0	68	42	0	158
FIC-PI-MR1(10)	135957	10349	146	21	1544	80143	42	104	42	0	125
FIC-PI-MR1(11)	64150	11313	274	0	1222	133293	42	147	100	0	126
FIC-PI-MR1(12)	66893	12999	200	0	1600	88671	40	100	98	20	160
FIC-PI-MR1(13)	63544	14976	118	0	1633	79622	39	98	77	20	138
FIC-PI-MR1(14)	73555	12640	135	0	1490	88363	39	97	77	19	116

Muestras	Sr(ppm)	Y(ppm)	Zr(ppm)	Nb(ppm)	Mo(ppm)	Ag(ppm)	Sn(ppm)	Ba(ppm)	Ta(ppm)	Au(ppm)
FIC-PI-MR2(1)	488	49	147	0	24	0	0	806	0	0
FIC-PI-MR2(2)	329	41	226	0	21	0	0	947	0	0
FIC-PI-MR2(3)	323	46	162	23	23	0	0	1270	0	0
FIC-PI-MR2(4)	229	46	275	0	23	0	275	756	23	0
FIC-PI-MR2(5)	223	50	149	25	0	0	99	843	0	0
FIC-PI-MR2(6)	451	50	150	0	25	0	200	851	0	0
FIC-PI-MR2(7)	298	46	229	0	0	0	0	870	0	0
FIC-PI-MR2(8)	383	21	149	0	0	0	0	872	0	0
FIC-PI-MR2(9)	492	22	179	0	22	0	0	782	22	0
FIC-PI-MR2(10)	1133	44	267	0	0	0	0	1533	22	22
FIC-PI-MR2(11)	696	45	224	0	0	22	0	629	0	0
FIC-PI-MR2(12)	572	61	266	0	20	0	0	531	20	0
FIC-PI-MR2(13)	660	30	240	0	0	0	60	690	0	0
FIC-PI-MR2(14)	212	47	0	0	0	0	118	800	0	24
FIC-PI-MR2(15)	574	44	221	0	0	0	0	751	0	0
FIC-PI-MR2(16)	636	66	219	0	0	0	0	592	0	0
FIC-PI-MR2(17)	451	47	285	0	0	0	0	688	24	0
FIC-PI-MR2(18)	1095	44	285	22	22	0	0	898	0	0
FIC-PI-MR2(19)	399	25	150	0	0	0	0	972	0	0
FIC-PI-MR2(20)	325	23	139	0	0	0	0	1371	23	0
FIC-PI-MR2(21)	283	24	306	0	24	0	283	990	0	0
FIC-PI-MR2(23)	293	42	398	0	0	0	84	482	0	0
FIC-PI-MR2(24)	1022	44	378	0	0	0	22	555	0	0
FIC-PI-MR2(22)	429	64	214	0	0	0	0	515	21	21
FIC-PI-MR1(1)	481	42	293	0	21	0	21	815	21	0
FIC-PI-MR1(2)	631	41	264	20	0	0	0	549	0	0
FIC-PI-MR1(3)	511	43	170	0	21	0	0	787	0	0
FIC-PI-MR1(4)	411	62	328	0	21	0	0	493	0	0
FIC-PI-MR1(5)	511	41	266	0	20	0	0	1144	0	0
FIC-PI-MR1(6)	543	42	251	0	0	0	0	794	21	0
FIC-PI-MR1(7)	648	39	275	0	0	20	0	844	0	0
FIC-PI-MR1(8)	571	41	326	0	20	0	0	999	20	0
FIC-PI-MR1(9)	361	45	135	0	0	0	0	1084	0	0
FIC-PI-MR1(10)	417	21	230	21	21	0	0	647	21	0
FIC-PI-MR1(11)	442	84	253	0	21	21	0	548	21	0
FIC-PI-MR1(12)	460	60	280	0	0	0	0	740	0	0
FIC-PI-MR1(13)	531	59	413	0	0	0	0	866	0	0
FIC-PI-MR1(14)	600	58	445	19	19	0	0	929	19	0

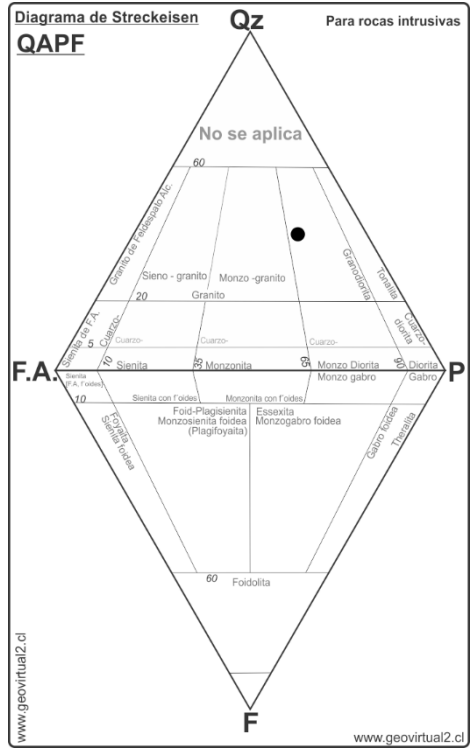
Anexo N° 19 Geoquímica de unidades litológicas, diques y vetas.

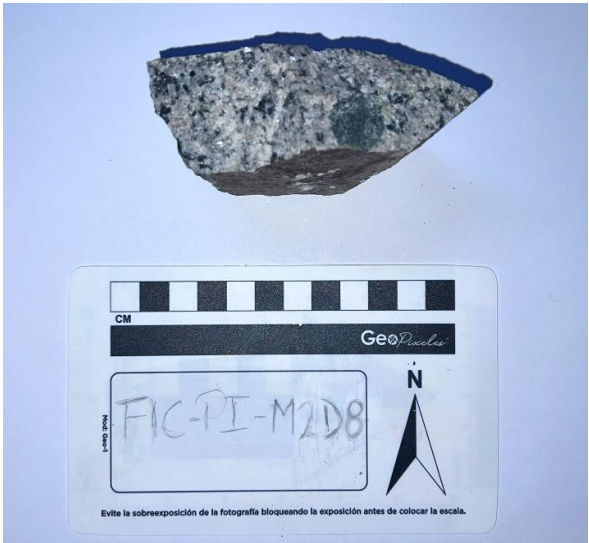
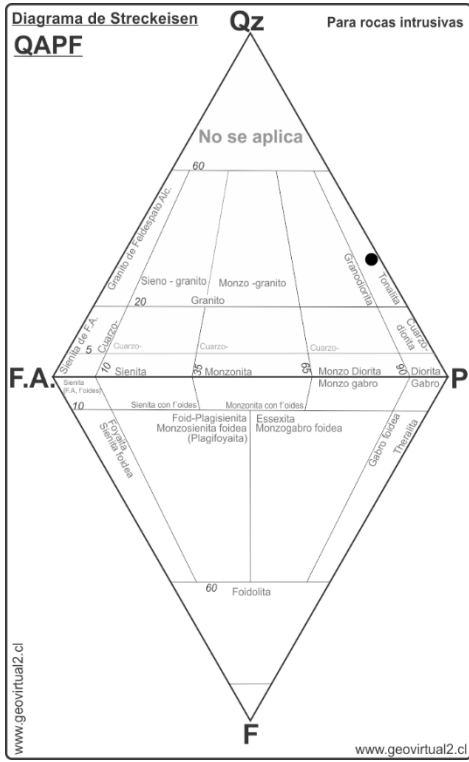
Muestra de roca	Código XRF	Norte	Este	MgO(ppm)	Al2O3(ppm)	SiO2(ppm)	P2O5(ppm)	S(ppm)	Cl(ppm)
FIC-PI-M1PD4	2344	7038255	377152	12810	128000	462410	490	0	660
FIC-PI-M4D4	2343	7038410	375555	9400	105090	633180	900	1890	720
FIC-PI-M2D4	2080	7038804	377477	16230	103540	738950	1460	270	1030
FIC-PI-M1D1	1049	7040395	372973	23800	168010	675490	750	80	400
FIC-PI-V1D1	2341	7040401	372969	18500	25510	65760	0	0	190
FIC-PI-M4D6	2352	7040593	369333	102410	270420	639000	1170	810	1280
FIC-PI-M1D2	2079	7040670	369914	17430	72090	252430	700	0	590
FIC-PI-M2D2	546	7040672	369905	56250	108350	520310	1260	1820	1010
FIC-PI-M14D1	2085	7041424	376745	15510	36750	207070	560	0	450
FIC-PI-M5D1	548	7042187	375385	23480	94800	435840	2080	0	190
FIC-PI-M15D1	2083	7042187	375385	5500	252200	572180	1030	280	3110
FIC-PI-M6D2	545	7042403	370205	73430	206370	541320	410	460	5920
FIC-PI-M7D2	553	7042406	370205	35400	274770	537340	10	60	210
FIC-PI-M12D2	555	7042409	370244	144790	92650	534840	1240	490	740
FIC-PI-M4D2	2081	7042413	370287	15810	27590	125450	0	0	520
FIC-PI-M8D2	2084	7042440	370298	38320	137640	416560	1300	950	2740
FIC-PI-M10D1	551	7042487	370036	34550	27500	240380	3700	370	480
FIC-PI-M11D2	549	7042563	370037	20550	8900	26010	20	0	1100
FIC-PI-M2D6	2350	7042620	369692	53630	103760	384760	360	0	1700
FIC-PI-M3D6	2347	7042719	369760	53360	123000	471320	750	570	1060
FIC-PI-M3D3	544	7042836	372415	23670	213010	586000	3260	0	750
FIC-PI-M3D3	2078	7042836	372415	9720	86720	314150	1550	0	800
FIC-PI-M9D6	2345	7044295	376038	16720	107720	467950	1490	0	510
FIC-PI-M8D6	2340	7044830	375466	82690	188000	576970	2090	480	1650
FIC-PI-M2D3	552	7044874	376218	19200	118800	622020	1390	720	520
FIC-PI-M1D3	2082	7044879	376257	5690	77150	345200	1190	200	790
FIC-PI-M7D6	2342	7044908	375434	7810	162820	750710	3480	2480	360
FIC-PI-M5D6	2346	7044919	374844	33590	117730	395580	1630	920	1570
FIC-PI-M6D6	2339	7044984	375326	39960	180060	537780	2120	0	900
FIC-PI-M2D1	550	7045219	376989	21670	4380	74460	0	26340	450
FIC-PI-M4D1	547	7045278	376915	42080	168630	680370	890	100	490

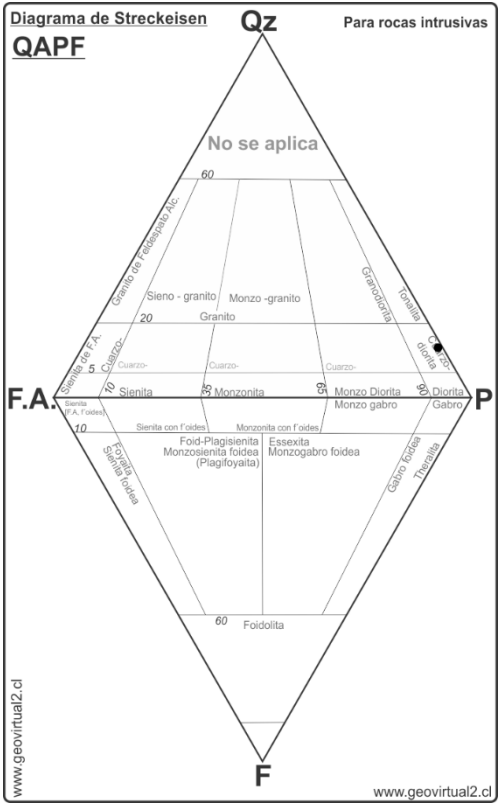
Muestra deroca	K ₂ O(ppm)	CaO(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Cr(ppm)	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Co(ppm)	Ni(ppm)	Cu(ppm)
FIC-PI-M1PD4	89270	20710	3910	0	0	0	4570	0	10	40
FIC-PI-M4D4	13130	27100	850	70	0	120	7050	0	0	100
FIC-PI-M2D4	20330	22040	1540	50	0	200	14130	0	0	30
FIC-PI-M1D1	56480	18950	620	40	10	120	4510	0	0	40
FIC-PI-V1D1	1670	3460	220	30	0	1590	377280	0	280	300
FIC-PI-M4D6	3540	113610	2640	90	90	430	44930	0	10	50
FIC-PI-M1D2	10350	32100	3460	120	0	370	34920	0	50	90
FIC-PI-M2D2	42390	22260	9880	120	0	1200	53790	30	30	50
FIC-PI-M14D1	6040	30730	790	50	0	370	7160	0	40	90
FIC-PI-M5D1	1210	34910	2590	60	0	670	33500	0	10	20
FIC-PI-M15D1	12670	66340	500	20	0	190	8760	0	0	240
FIC-PI-M6D2	34840	66900	3090	100	50	560	35650	10	10	30
FIC-PI-M7D2	77430	3530	2290	50	0	190	25870	0	10	10
FIC-PI-M12D2	11590	105110	5690	300	0	2680	127810	240	20	590
FIC-PI-M4D2	13250	7690	2480	0	0	0	4370	0	140	50
FIC-PI-M8D2	34420	49200	4560	170	0	890	54520	0	30	50
FIC-PI-M10D1	1690	124590	670	130	0	3680	73620	70	50	40
FIC-PI-M11D2	540	1110	310	160	0	410	157710	0	410	290
FIC-PI-M2D6	54980	7020	4350	0	0	80	32310	0	60	40
FIC-PI-M3D6	5280	7380	2750	140	0	130	37620	0	70	20
FIC-PI-M3D3	15320	76240	3900	100	0	800	38830	20	0	100
FIC-PI-M3D3	8370	48310	2490	480	0	480	20590	0	20	70
FIC-PI-M9D6	6930	48580	1450	120	0	430	19020	0	10	170
FIC-PI-M8D6	11190	90250	3910	140	110	830	48300	30	40	50
FIC-PI-M2D3	14310	21470	2790	60	0	220	13960	0	0	0
FIC-PI-M1D3	9820	20970	1990	0	0	80	8990	0	20	40
FIC-PI-M7D6	21970	28930	1130	110	40	180	3190	0	0	60
FIC-PI-M5D6	18440	67260	2870	60	0	520	23760	0	40	70
FIC-PI-M6D6	10490	74550	3630	110	0	780	38800	10	0	130
FIC-PI-M2D1	210	27850	0	0	250	0	632000	1050	0	70
FIC-PI-M4D1	31460	6580	1020	50	20	110	19690	0	0	50

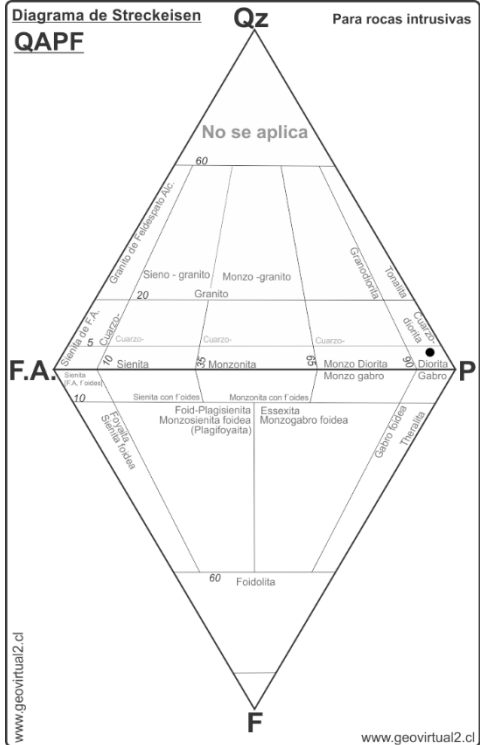
Muestra de roca	Zn(ppm)	Rb(ppm)	Str(ppm)	Y(ppm)	Zr(ppm)	Mo(ppm)	Ba(ppm)	Au(ppm)	Pb(ppm)	Bi(ppm)
FIC-PI-M1PD4	20	160	130	30	190	0	6660	0	0	0
FIC-PI-M4D4	10	20	150	10	50	0	410	0	0	0
FIC-PI-M2D4	20	40	240	10	100	10	500	0	0	0
FIC-PI-M1D1	10	80	80	10	30	0	0	0	0	0
FIC-PI-V1D1	90	230	0	0	0	40	0	30	780	600
FIC-PI-M4D6	20	0	450	20	60	0	370	0	0	0
FIC-PI-M1D2	20	50	250	10	60	0	0	0	0	0
FIC-PI-M2D2	10	90	170	10	100	10	0	0	0	0
FIC-PI-M14D1	20	40	130	0	70	0	0	0	0	0
FIC-PI-M5D1	30	10	530	10	160	0	0	0	0	0
FIC-PI-M15D1	110	50	330	10	130	10	610	0	0	0
FIC-PI-M6D2	20	110	320	10	50	0	0	0	0	20
FIC-PI-M7D2	0	170	0	10	150	10	0	0	0	0
FIC-PI-M12D2	0	30	40	10	80	20	1650	10	0	0
FIC-PI-M4D2	30	100	1030	20	240	0	5310	20	0	0
FIC-PI-M8D2	20	90	480	20	100	0	560	0	0	0
FIC-PI-M10D1	0	20	230	0	0	0	0	0	0	0
FIC-PI-M11D2	70	100	0	0	0	0	0	0	420	220
FIC-PI-M2D6	30	220	230	20	130	0	4170	0	0	0
FIC-PI-M3D6	20	0	0	10	70	0	0	0	0	0
FIC-PI-M3D3	40	40	550	20	210	0	650	0	0	0
FIC-PI-M3D3	40	30	530	20	170	10	710	0	0	0
FIC-PI-M9D6	20	20	620	10	130	10	450	0	0	0
FIC-PI-M8D6	40	10	720	20	130	10	300	0	0	0
FIC-PI-M2D3	0	30	300	0	0	0	690	0	0	0
FIC-PI-M1D3	10	20	260	20	60	0	500	0	0	0
FIC-PI-M7D6	0	40	190	0	40	0	720	0	0	0
FIC-PI-M5D6	30	30	460	20	140	0	920	0	0	0
FIC-PI-M6D6	60	10	750	10	150	0	450	0	0	0
FIC-PI-M2D1	0	130	10	0	0	0	0	0	150	170
FIC-PI-M4D1	10	50	100	10	40	0	490	0	0	0

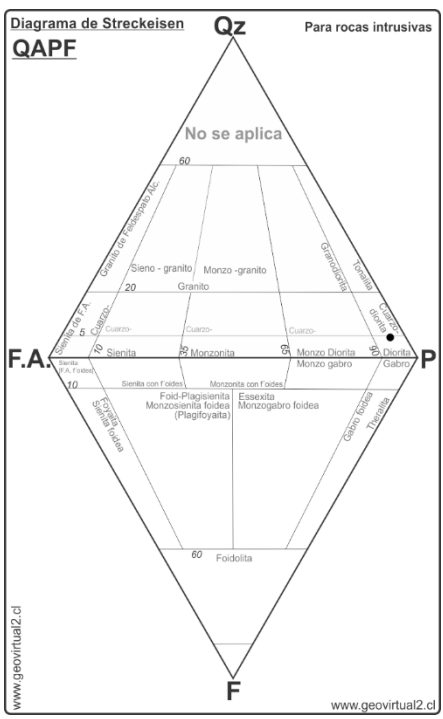
Anexo N°20 Descripción petrológica de muestras. Diagrama de Streckeisen extraído del sitio www.geovirtual2.cl

Descripción de Muestras macroscópicas	
Muestra: FIC-PI-M2D4	
Nombre de la Roca: Granodiorita	
Descripción macroscópica: Roca ígnea de composición intermedia a ácida, constituida principalmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y hornblenda. Presenta tamaño de grano medio a grueso, grado de cristalinidad holocristalino, textura fanerítica, equigranular, de carácter hipidiomórfico y con índice leucocrático.	
Porcentaje de minerales: • 35% de cuarzo • 35% de plagioclasa • 15% de Feldespato Potásico • 15% de Máficos Valores normalizados: Cuarzo :41.18% Plagioclasa:41.18% Feldespato Potasico:17.65%	

Descripción de Muestras macroscópicas	
Muestra: FIC-PI-M2D8	
Nombre de la Roca: Tonalita	
Descripción macroscópica Roca ígnea plutónica de composición intermedia, compuesta principalmente por plagioclasa, cuarzo y hornblenda. Presenta cristales de tamaño medio a grueso, con grado de cristalinidad holocristalina. La textura es fanerítica, equigranular e hipidiomórfica. Su color es gris claro a gris medio, con índice de color mesocrático.	
Porcentaje de minerales: • 35% de cuarzo • 40% de plagioclasa • 15% de máficos Valores normalizados: Cuarzo: 47.06% Plagioclasa: 52.94%	

Descripción de Muestras macroscópicas	
Muestra: FIC-PI-M5D1	
Nombre de la Roca: Cuarzodiorita	
Descripción macroscópica: Roca ígnea plutónica de composición intermedia, constituida principalmente por plagioclasa, cuarzo y hornblenda. Presenta cristales de tamaño fino a medio, con grado de cristalinidad holocristalina. La textura es fanerítica, equigranular e hipidiomórfica, con un índice de color mesocrático.	
Porcentaje de minerales: • 10% de cuarzo • 70% de plagioclasa • 20% de máficos	
Valores normalizados	
Cuarzo: 12.5% Plagioclasa :87.5%	

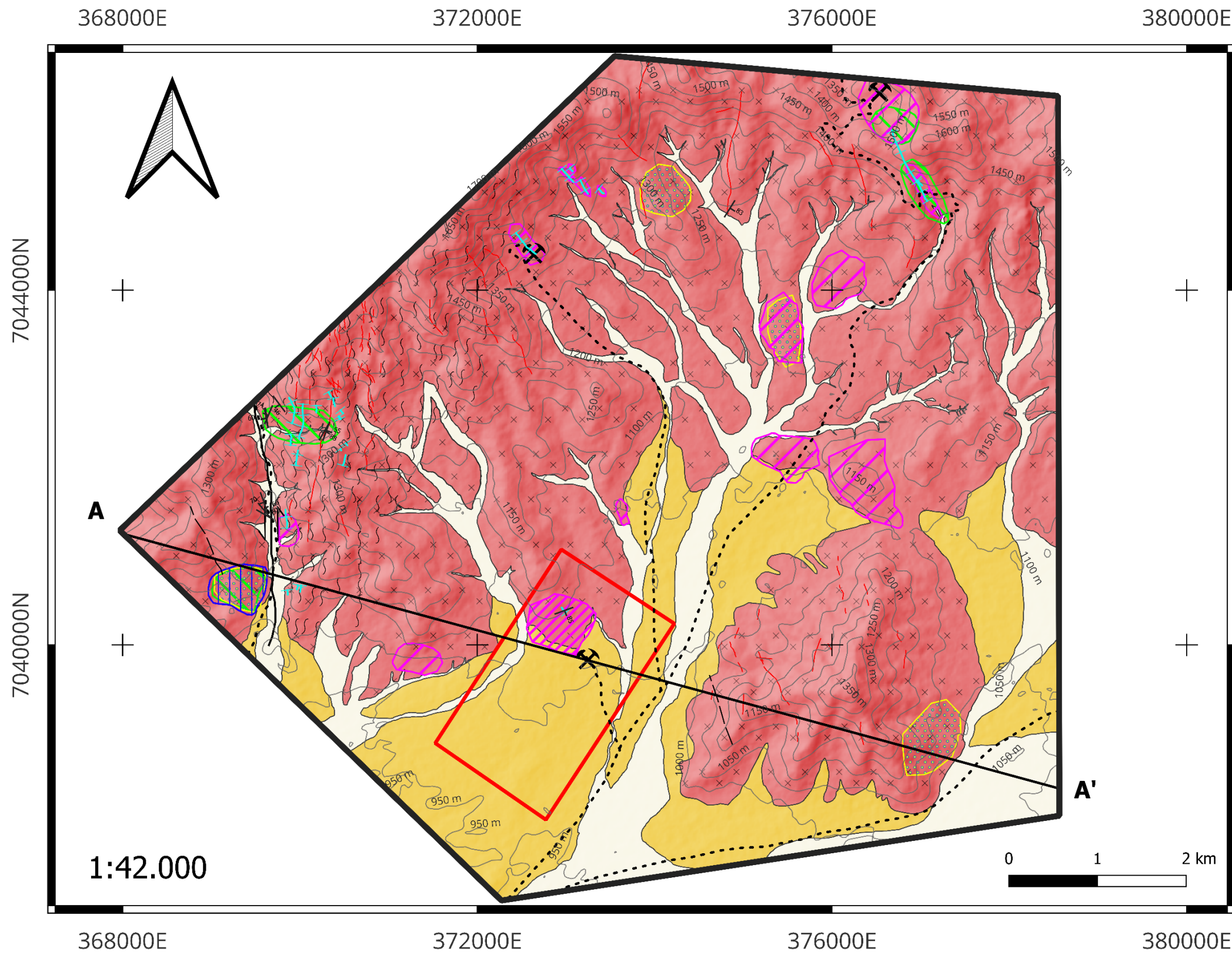
Descripción de Muestras macroscópicas	
Muestra: FIC-PI-M4D6	
Nombre de la Roca: Diorita	
Descripción macroscópica: Roca ígnea plutónica de composición intermedia constituida mayoritariamente por plagioclasa y hornblenda, con cuarzo en proporción subordinada. Presenta textura fanerítica, holocristalina, inequigranular e hipidiomórfica, con color macroscópico gris oscuro y un índice de color mesocrático a melanocrático	
Porcentaje de minerales: • 3% de cuarzo • 60% de plagioclasa • 37 % de máficos Valores normalizados Cuarzo: 4.76% Plagioclasa: 95.24%	

Descripción de Muestras macroscópicas	
Muestra: FIC-PI-M5D6	
Nombre de la Roca: Dique microdiorítico Descripción macroscópica: Roca ígnea intrusiva hipabisal de composición básica, constituida principalmente por plagioclasa y hornblenda. Presenta color gris oscuro a negro, con índice de color melanocrático. Su grado de cristalinidad es holocristalina, con cristales de tamaño fino a medio, inequigranulares e hipidiomórficos. La textura es porfírica, con plagioclasas de mayor tamaño inmersas en una matriz de grano fino.	
Porcentaje de minerales: • 58% de plagioclasa • 3% de cuarzo • 38% de máficos Valores normalizados Plagioclasa: 95.08% Cuarzo: 4.92%	

Descripción de Muestras macroscópicas	
Muestra: FIC-PI-M5D8	
Nombre de la Roca: Milonita	
Descripción macroscópica: Roca metamórfica producto de deformación dúctil en una zona de cizalla. Se observan bandas milimétricas claras, compuestas por plagioclasa y cuarzo, alternando con bandas oscuras de hornblenda y biotita. Presenta una fábrica planar y una estructura bandeada.	


--

"MAPA METALOGÉNICO PROYECTO IMANXITO"



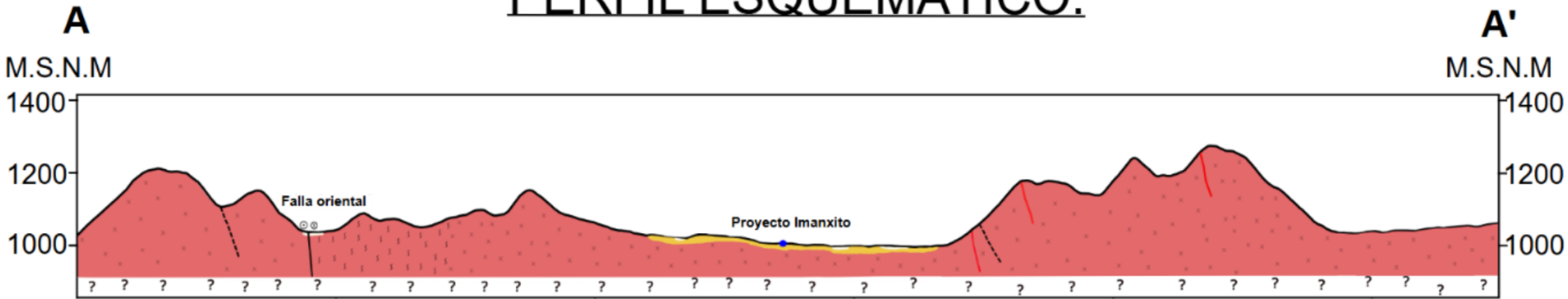
LEYENDA

- Depósitos aluviales
Gravas, arenas y limos con selección variable, resultado de transporte por precipitaciones ocasionales en clima árido. Asociados a llanuras y abanicos aluviales, definen la morfología de quebradas y áreas sujetas a inundaciones esporádicas.
- Depósitos coluviales inactivos
Acumulaciones antiguas de gravas, arenas y bloques monomíticos, sin aporte reciente de sedimentos. Forman conos o abanicos coluviales estables y se asocian con depósitos Pliocenos en la región.
- Unidad intrusiva
Plutón compuesto por rocas intermedias a félsicas con zonación espacial: granodiorita en el centro, cuarzodiorita al noreste y tonalita junto con dioritas al suroeste. Las rocas presentan texturas faneríticas, holocristalinas, equigranulares e hipidiomórficas. La granodiorita está compuesta por plagioclasa, cuarzo, ortoclasa, biotita y hornblenda, con un índice de color leucocrático. La cuarzodiorita se constituye principalmente por plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita, con un índice de color mesocrático. La tonalita se compone de cuarzo, plagioclasa y biotita, con un índice de color mesocrático. La diorita está formada por plagioclasa, hornblenda y menor cantidad de cuarzo, con un índice de color melanocrático. El plutón presenta de manera general una alteración clorítica leve.
- Milonitas

SIMBOLOGÍA

- Alteración argílica intermedia intensa
- Alteración argílica intermedia leve
- Alteración potásica moderada
- Alteración clorítica moderada
- Alteración epidota Leve
- Caminos Mineros
- Vetas de cobre y hierro
- Curvas de nivel
- Falla sinistral
- Diques
- Labores Mineras
- Falla inferida
- Rumbo y manto de fallas
- Perfil esquemático

PERFIL ESQUEMÁTICO.



LEYENDA

- Depósitos Aluviales
- Depósitos Coluviales Inactivos
- Unidad Intrusiva

SIMBOLOGÍA

- Milonitas
- Diques
- Proyecto Imanxito
- Falla inferida
- Falla con desplazamiento de rumbo sinistral

 UNIVERSIDAD DE ATACAMA	
MAPA METALOGÉNICO PROYECTO IMANXITO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.	
Autor:	Diego Bastián Vega Vega
Escala:	1:42.000
Información Cartográfica :	DATUM: WGS 84 / UTM zone 19S