

**UNIVERSIDAD DE ATACAMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y PATRIMONIAL DE LOS DISTRITOS  
MINEROS DE HIERRO SOSITAS Y HUANTEMÉ, EN EL VALLE DEL HUASCO,  
REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.**

**FELIPE ANDRÉS PIZARRO BARRAZA**

**2022**

**UNIVERSIDAD DE ATACAMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y PATRIMONIAL DE LOS DISTRITOS  
MINEROS DE HIERRO SOSITAS Y HUANTEMÉ, EN EL VALLE DEL HUASCO,  
REGION DE ATACAMA, CHILE.**

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

Profesor guía: Sra. Nicoll Castillo Jorquera

**FELIPE ANDRÉS PIZARRO BARRAZA**

**2022**

## En memoria de:

Guillermo del Transito Barraza Barraza

Quien fue mi abuelo, un padre y compañero de rutas en los cerros. Gracias a ti, aprendí el amor y la pasión por los minerales y la naturaleza, el cariño por la historia y los buenos recuerdos. Para ti este trabajo, ¡mi viejo amado!

“En ese país no tendrán ustedes que preocuparse por la falta de alimentos, ni por ninguna otra cosa; en sus piedras encontrarán hierro, y de sus montes sacarán cobre.”

Deuteronomio 8:9

## AGRADECIMIENTOS

Para comenzar, quisiera agradecer la oportunidad a la profesora Nicoll Castillo de poder ser parte del proyecto asociado al Fondo para la Innovación y Competitividad (FIC) 1605 del Gobierno Regional de Atacama, titulado “Geoturismo en el Valle del Huasco: Un aporte a las geociencias al desarrollo y crecimiento del turismo tradicional” y junto a ella al Profesor Francisco Tapia por continuar guiándome en este proceso.

Doy las gracias a Dios por todo este tiempo vivido de estudio y las grandes experiencias y recuerdos que quedarán de ello; lo bueno y lo no tan bueno, los momentos duros y los alegres. Agradezco a mi familia: mis padres Héctor y Elizabeth, mi hermano Danny, mis sobrinos Joaquín, Sofía, Valentín y Benjamín, mi cuñada Karina y mi abuelita Carmen por siempre estar conmigo apoyándome, dándome el empujón que necesitaba y sostenerme en los momentos que quería tirar la toalla.

Agradezco a mi Iglesia por sus oraciones y consejos todas las veces que lo necesité, especialmente a la Pastora Marcela por estar a mi lado, darme el apoyo cuando estaba triste y alentarme a seguir trabajando y luchando hasta el final. También quisiera agradecer a Javiera por ayudarme en la redacción y siempre ser la persona incondicional en mi vida. A mis amigos, Felipe, Erwin, Jael, Valentina, Paulina e Isadora por siempre tener el tiempo de juntarnos y tomar un respiro. A mis tías Pelita y Paty porque siempre confiaron en que lo lograría.

Llevaré en mi corazón a los amigos que me regaló la universidad. Iván, un gran amigo y compañero, siempre guardaré cada momento compartido en la ciudad de Copiapó. Seba, un amigo a la distancia con grandes talentos. Yeya, apañadora y de terreno, siempre con el grupo seis, gracias por tu apañe y por siempre estar a pesar del tiempo. Pipe Veliz, sin duda habrá un tiempo para recordar y celebrar. Diego Rojas, gracias por tu apañe en los últimos tiempos de este proceso. Marcelo Gil, mucho que agradecer a esta gran persona y sobre todo, por la oportunidad y tu confianza al invitarme a trabajar y ejercer juntos esta linda profesión llamada Geología.

El espacio siempre quedará pequeño para agradecer a todos aquellos que pusieron su granito de arena para convertirme en quien soy y seré como Geólogo y persona. Son muchos los que faltan, pero saben que están en mis recuerdos y corazón.

A todos, ¡muchas gracias!

## RESUMEN

La minería en Chile es una actividad económica del sector primario, la cual ha permitido la exploración y extracción de recursos importantes desde tiempos remotos. En la Región de Atacama, existe una concentración importante de esta actividad registrada en la historia a través de evidencias económicas y sociales; este es el caso del Valle del Huasco, donde gran parte de la minería del hierro, durante el siglo XIX - XX, produjo un avance en la industrialización siderúrgica con avances científicos y tecnológicos. Entre los yacimientos de hierro más importantes del Valle del Huasco se encuentran Sositas y Huantemé. Ambos yacimientos mineros fueron de gran relevancia en el ámbito económico, social, y cultural, desde 1950, siendo un ejemplo de ello, la construcción de las vías de transporte para los minerales explotados en nuestro país, pero hoy, estos mismos yacimientos se encuentran muy desvalorizados (Millán, 1999). Este trabajo busca caracterizar geológicamente estos yacimientos y estudiar los remanentes de los asentamientos mineros, para evaluar su potencial patrimonial – turístico y geológico, poniendo en valor cultural los yacimientos ferríferos del Valle del Huasco. Para este estudio, se realizó una recopilación bibliográfica considerando trabajos previos, publicaciones científicas relacionadas a los yacimientos de hierro y carta geológica que abarca los yacimientos expuestos en el trabajo. Posteriormente se construyó una base de mapeo y topografía con imagen satelital. En terreno se realizó mapeo geológico (litología, mineralización, alteraciones y estructuras) de superficie escala 1:2.500 y 1:5.000. Adicionalmente, se realizó una evaluación cualitativa del estado de preservación de la estructura minera, instalaciones principales, caminos y accesos. Los resultados reflejan empíricamente que la mineralización más importante y explotada es magnetita masiva. Además, se establecen zonas óptimas para la conservación y restauración de instalaciones, generando espacios de educación geológica y patrimonial. Este trabajo determina que, geológicamente, los yacimientos Sositas y Huantemé se relacionan con emplazamientos de cuerpos dioríticos con alteración Calco-sódica, y mineralización principal de magnetita, controladas por el Sistema Falla de Atacama. Por otro lado, considerando el estado de conservación natural, y el aporte significativo de este yacimiento a la comunidad, se genera la propuesta, de que, el Yacimiento Sosita y Huantemé presenta un potencial patrimonial cultural – geológico para generar nuevas políticas públicas

destinadas a generar valor y conciencia en la cultura patrimonial que existe en el Valle del Huasco.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. ....	1
1.2	HIPÓTESIS. ....	2
1.3	OBJETIVOS. ....	3
1.3.1	Objetivo General. ....	3
1.3.2	Objetivos Específicos. ....	3
1.4	UBICACIÓN Y ACCESOS.....	3
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO. ....</b>	<b>8</b>
2.1	GEOLOGÍA REGIONAL ....	8
2.2	GEOLOGÍA LOCAL “SOSITAS – HUANTEMÉ” ....	11
2.2.1	Litología ....	11
2.2.2	Geología estructural ....	12
2.2.3	Yacimientos de hierro en Chile.....	14
2.3	CONCEPTOS CLAVES ....	17
2.3.1	Patrimonio Geológico ....	17
2.3.2	Geodiversidad.....	18
2.3.3	Geoturismo.....	18
2.3.4	Geositio ....	18
2.3.5	Patrimonio Minero ....	19
2.4	PATRIMONIO Y EXTRACCIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE HIERRO EN CHILE.....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>23</b>
3.1	TRABAJO DE PRE-TERRENO.....	23
3.1.1	Recopilación de información bibliográfica.....	23
3.1.2	Análisis de imágenes satelitales.....	23
3.1.3	Base de mapeo.....	24
3.2	TRABAJO DE CAMPO. ....	24

3.2.1	Mapeo geológico .....	24
3.2.2	Inventario patrimonial .....	25
3.3	TRABAJO DE GABINETE .....	26
3.3.1	Análisis de muestras .....	26
3.3.2	Análisis patrimonial .....	27
3.3.3	Discusión de resultados .....	27
3.3.4	Elaboración de mapas .....	27
3.3.5	Epílogo .....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
4.1	YACIMIENTO SOSITAS .....	30
4.1.1	Litología .....	30
4.1.2	Huatemé .....	40
4.2	RESULTADOS PATRIMONIALES .....	45
4.2.1	Sositas – Huatemé .....	45
<b>5</b>	<b>DISCUSIONES .....</b>	<b>52</b>
5.1	SOSITA .....	52
5.1.1	Discusiones Geológicas .....	52
5.1.2	Patrimonio Geológico – Minero .....	55
5.2	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
5.2.1	Conclusiones y recomendaciones Geológicas .....	56
5.2.2	Conclusiones y recomendaciones Patrimoniales .....	57
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1</b> MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESOS DEL ÁREA DE ESTUDIO ESCALA 1:300.000 MAPA. EN LA IMAGEN SE IDENTIFICA DE NORTE A SUR, MINA SOSITA, MINA HUANTEMÉ Y MINA EL ALGARROBO, LAS CUALES SE ENCUENTRAN MARCADAS CON SU SIMBOLOGÍA CORRESPONDIENTE, ADEMÁS EN COLOR ROJO, SE DELIMITAN LAS DISTINTAS RUTAS DE ACCESO UTILIZADAS PARA LLEGAR A LAS ZONAS DE ESTUDIO. IMAGEN TOMADA DE SOFTWARE GOOGLE EARTH Y PROCESADA EN ARCGIS 10.8. ....	5
<b>FIGURA 1.2</b> VISTA PRELIMINAR DE YACIMIENTO FERRÍFERO SOSITAS. IMAGEN OBTENIDA DE SAS.PLANET Y PROCESADA EN SOFTWARE ARCGIS 10.3, ESCALA 1:5.000. ....	6
<b>FIGURA 1.3</b> IMAGEN PRELIMINAR DE YACIMIENTO FERRÍFERO HUANTEMÉ. IMAGEN OBTENIDA DE SAS.PLANET Y PROCESADA EN SOFTWARE ARCGIS 10.3, ESCALA 1:5.000. ....	7
<b>FIGURA 2.1</b> ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LA MITAD ORIENTAL DEL CUADRÁNGULO ASTILLAS. 1. SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS; 2. TERRENOS VOLCÁNICOS; 3. BATOLITO ASTILLAS; 4. TERRENOS VOLCÁNICO-SEDIMENTARIOS; 5. EJES DE PLIEGUES; 6. TRAZA DE LAS MEGAFALLAS LOS COLORADOS-PORTEZUELO TATARA Y LA SOSITA-HUANTEMÉ; 7. FRANJA DE ROCAS CATACLÁSTICAS; 8. FALLAS TRANSCURRENTES CONJUGADAS; 9. FALLA INVERSA. 10. MINAS. ENTRE EL NIVEL ESTRUCTURAL SUPERIOR E INFERIOR EXISTE UNA DISCORDANCIA. EXTRAÍDO DE THIELE, R., Y PINCHEIRA, M. (1987).....	10
<b>FIGURA 2.2</b> EXTRACTO DE CARTA GEOLÓGICA DEL ÁREA CARRIZAL BAJO – CHACRITAS. SE DESTACA CON UN CUADRO NEGRO EL ÁREA DE ESTUDIO, AL NORTE MINA SOSITA Y AL SUR MINA HUANTEMÉ (EXTRAÍDO Y MODIFICADO DE ARÉVALO Y WELKNER, 2008). ....	13
<b>FIGURA 2.3</b> SECUENCIA PROGRESIVA DE GENERACIÓN DE MAGNETITA PRIMARIA Y SECUNDARIA. A) NUCLEACIÓN DE LAS PRIMERAS BURBUJAS EN MICROLITOS DE MAGNETITA PRIMARIA EN UN MAGMA SILICATADO (NARANJO). B) ASCENSO DE COMPLEJO BURBUJA-MAGNETITA DEBIDO A LA FLOTABILIDAD POSITIVA OTORGADA POR LA BURBUJA. C) CRECIMIENTO POR COALESCENCIA DE BURBUJAS Y ACUMULACIÓN DE MAGNETITA. D) FRACTURA HIDRÁULICA (POR ESTRÉS TECTÓNICO) PERMITIENDO LA SEGREGACIÓN Y EL CRECIMIENTO EFICIENTE DE MAGNETITA HIDROTERMAL DURANTE EL ENFRIAMIENTO PROGRESIVO (EXTRAÍDO Y MODIFICADO DE KNIPPING ET AL., 2015). ....	16

<b>FIGURA 2.4</b> FOTOGRAFÍA ANTIGUA ARCHIVADA EN EL MUSEO DEL HUASCO EN VALLENAR. SE PUEDE OBSERVAR EL CAMINO QUE SE ENCUENTRA UNA CALLE DEBAJO DE LAS CASAS Y LOS CAMINOS UTILIZADOS POR LOS CAMIONES PARA MOVILIZARSE HACIA EL SECTOR DE LA MINA. ADEMÁS, ERA UN LUGAR QUE FUE ALTAMENTE TRANSITADO DEBIDO A QUE EL MATERIAL QUE SE SACABA DE LA MINA SOSITAS ERA LLEVADO A LA PLANTA EN EL SECTOR DE HUANTEMÉ. ....	22
<b>FIGURA 3.1</b> FOTOGRAFÍA GRUPO DE TRABAJO EN TERRENO, SECTOR MINA LA SOSITA. ....	25
<b>FIGURA 3.2</b> FOTOGRAFÍA EN TERRENO DE GRUPO DE TRABAJO, VISITANDO INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS EN SECTOR MINA HUANTEMÉ. ....	26
<b>FIGURA 4.1</b> A) FOTOGRAFÍA DE BRECHA VOLCANOCLÁSTICA DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA, CON CLASTOS DE ANDESITA PORFÍDICA FINA GRIS VERDOSO, DONDE SE OBSERVA LA VARIEDAD DE TAMAÑOS DE LOS CLASTOS ANGULOSOS. ADEMÁS, SE APRECIA LA VARIEDAD DE COLORES DESTACANDO LAS ZONAS VERDOSAS LAS QUE SE ASOCIAN A UNA ALTERACIÓN CLORITA – EPIDOTA. B) FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA EN NICOLES CRUZADOS DE UN FRAGMENTO DE LA BRECHA VOLCANOCLÁSTICA, DONDE SE OBSERVA UN CLASTO DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA VISIBLE EN EL ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE GABINETE, DIFERENCIANDO CRISTALES DE CUARZO Y PLAGIOCLASA. TAMBIÉN, SE OBSERVA UNA MATRIZ ANDESÍTICA CON CEMENTO CALCÁREO EVIDENCIANDO EN ALGUNOS SECTORES CRISTALES DE CALCITA. SIMBOLOGÍA: QZ: CUARZO; Cc: CALCITA. C) FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA EN NICOLES PARALELOS. DETALLE DE LA MATRIZ DE LA BRECHA VOLCANOCLÁSTICA (EN COLORES GRISES Y MARRONES), DONDE SE OBSERVAN CEMENTO CALCÁREO Y PLAGIOCLASAS FUERTEMENTE ALTERADAS A ARCILLA (COLOR GRIS) Y EN ZONAS DE COLOR NEGRO, CORRESPONDEN A CLASTOS DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA. D)FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA EN NICOLES CRUZADOS. DETALLE DE UN CLASTO DE LA BRECHA VOLCANOCLÁSTICA, DONDE SE REFLEJA LA TEXTURA ESQUELÉTICA DE CUARZO EN PLAGIOCLASA, DENOTANDO UN INTERCRECIMIENTO DE CRISTALES. TAMBIÉN SE OBSERVA EN LA PARTE SUPERIOR, CEMENTO CALCÁREO Y EN LA PARTE INFERIOR UN CLASTO DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA. SIMBOLOGÍA: QZ: CUARZO; PLG: PLAGIOCLASA. ....	31

**FIGURA 5.1** MODELO ESQUEMÁTICO DE ZONACIÓN VERTICAL PARA DEPÓSITOS TIPO IOA-IOCG MODIFICADO DE BARRA ET AL. (2017). EL RECTÁNGULO ROJO REFLEJARÍA EL CONTEXTO GEOLÓGICO DE MINERALIZACIÓN EN EL DEPÓSITO YERBAS BUENAS HOSPEDADO EN INTRUSIVOS. MÁS ARRIBA EN LA COLUMNA SE ENCONTRARÍA SEGÚN UN MISMO CONTEXTO TECTÓNICO EL DEPÓSITO ROMERAL Y SOSITAS – HUANTEMÉ (VIOLETA) HOSPEDADO EN ROCA VOLCÁNICA Y MÁS ARRIBA OTROS DEPÓSITOS IMPORTANTES DESCRITOS EN EL ÁREA COMO DOMINGA (IOCG) EN EL RECTÁNGULO AZUL. .... 54

**FIGURA 5.2** MAPA MINERO – CULTURAL. SE MARCAN LOS SECTORES DE INTERÉS PARA REALIZAR VISITAS Y GENERAR PLAN DE TRABAJO PATRIMONIAL Y CULTURAL..... 59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 4.1</b> BASE DE DATOS DONDE SE REGISTRAN LOS PUNTOS DE CONTROL TOMADOS EN TERRENO, ASOCIADAS A SUS RESPECTIVAS COORDENADAS. SE REGISTRAN LAS OBSERVACIONES TOMADAS EN TERRENO, A SU VEZ SE LLEVA UN REGISTRO SEPARADO DE ESTRUCTURAS, MINERALOGÍA Y ALTERACIONES PRESENTES EN LOS DISTINTOS PUNTOS DE CONTROL. PARA MAYOR DETALLE, REVISAR ANEXO I Y II. ....	29
--	----

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 .....	67
ANEXO 2 .....	68
ANEXO 3 .....	69
ANEXO4 .....	70
ANEXO5 .....	71

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación del problema de investigación.

Refiriéndonos a los últimos doce mil años, los yacimientos de hierro en Chile ya eran explotados por cazadores, recolectores y pescadores Huentelauquén, quienes obtenían óxidos de hierro en el sector que actualmente se conoce como mina San Ramón 15, la más antigua conocida hasta la fecha en América (Salazar *et al.*, 2011).

Los óxidos de hierro destacan en aquella época dentro de los rituales y la vida cotidiana de los habitantes locales siendo un ejemplo durante la prehistoria, los “pigmentos rojos y amarillos” que se usaban en los ritos funerarios como ofrendas o para las mismas tumbas o para los cueros de lobo marino que fueron utilizados en la fabricación de balsas (Vivar,1979).

Es así, como los yacimientos de hierro fueron generando mayor producción por parte de los pobladores en el norte del país, agregando que, en esa época, no existía mayor conocimiento sobre la génesis de estos afloramientos, mucho menos una explotación o estudios más interiorizados.

Al pasar el tiempo tras la conquista, comenzaron las inscripciones de propiedades mineras y los primeros estudios en profundidad sobre la geología de los depósitos minerales de hierro. Actualmente, la Región de Atacama, es la principal zona productora de mineral de hierro en Chile, con el 88% del total nacional, y desde el periodo 2020-2021, registró una importante alza llegando a un valor máximo en el mes de Julio de US\$ 219,8/ton (Cochilco, 2021).

Es allí en donde se enmarca el presente trabajo realizado mediante el proyecto asociado al Fondo para la Innovación y Competitividad (FIC) 1605 del Gobierno Regional de Atacama titulado “Geoturismo en el Valle del Huasco: Un aporte a las geociencias al desarrollo y crecimiento del turismo tradicional”, generando una problemática y necesidad de enriquecer el modelo geológico actual de los yacimientos de hierro “Sosita” y “Huantemé”, los que hoy no se encuentran en producción, pero mantienen una historia local con la que escriben parte de lo que actualmente es el Valle del

Huasco, otorgándole un valor patrimonial en las localidades cercanas como lo son Vallenar, Freirína, Huasco y Domeyko.

Estas zonas se encuentran geológicamente enriquecidas por litologías de tipo volcánicas y magmática emplazadas por estructuras que enmarcan un contexto de fallas verticales de tipo normal correspondientes al sistema de Falla de Atacama (González *et. Al.*, 2006).

Todos estos antecedentes históricos sumados a la información geológica y a su control estructural correspondiente permiten el desarrollo y generación de propuestas para una conservación de tipo geo-patrimonio o en su defecto, una reactivación de sectores que, por la poca información mantenida por pirquineros y trabajadores de aquellas épocas, detuvieron una producción importante y estancaron una historia que pudo haber continuado.

## **1.2 Hipótesis.**

Se hipotetiza que el control tectónico – magmático de los yacimientos de hierro influyentes en el Valle del Huasco asociados a formaciones de tipo volcánicas, permiten el emplazamiento y disposición de la mineralización de hierro y sus distintos elementos paragenéticos. Estos permitieron el desarrollo de faenas mineras de pequeña y mediana minería, generando un progreso económico y social a fines del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, otorgándole un valor patrimonial significativo al Valle del Huasco.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Caracterizar geológica y patrimonialmente los yacimientos de Hierro Sositas y Huantemé en el Valle del Huasco mediante mapeo geológico y reconocimiento en terreno de elementos patrimoniales.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

Definir unidades litológicas y zonas de alteración de los distritos ferríferos, indicando su distribución y relaciones de contacto, para comprender el tipo de yacimiento de la zona de estudio.

Identificar la mineralización principal y mineralogía presenta en los yacimientos a estudiar.

Reconocer y describir la geología estructural, asociada a la mineralización de Hierro.

Valorizar patrimonialmente los yacimientos de Hierro Sositas y Huantemé del Valle del Huasco, así potenciar su valor geopatrimonial.

### **1.4 Ubicación y accesos**

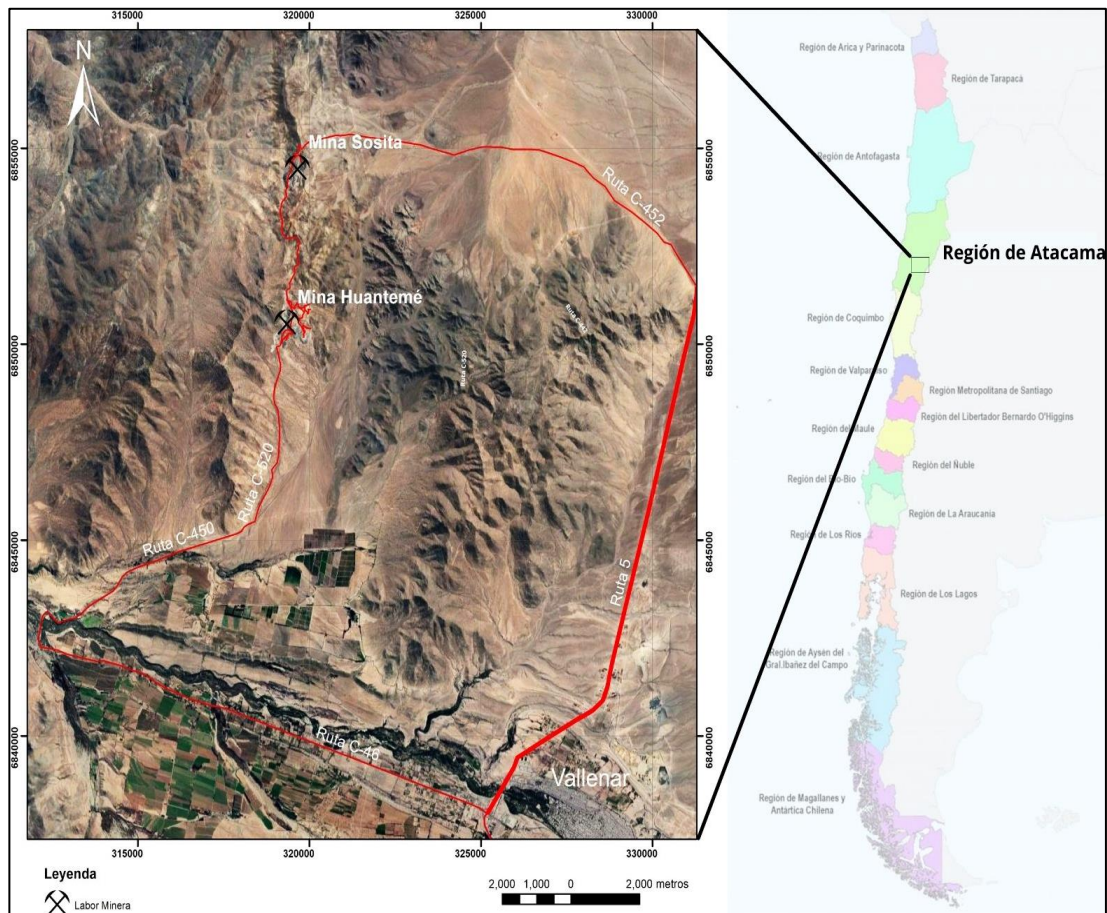
Para realizar este estudio, se han considerado dos yacimientos mineros de Hierro (Fe) pertenecientes a la Región de Atacama: Mina Sositas y Mina Huantemé; ambos yacimientos se encuentran en la franja ferrífera de la Cordillera de la Costa (Figura 1.1).

La Mina Sositas (Figura 1.2) se encuentra a 30 km aproximadamente de Vallenar en dirección al norte. Para llegar a la zona de estudio, se debe conducir hacia la salida norte de la ciudad antes mencionada por la ruta 5 Panamericana Norte; aquí se avanza 20 kilómetros. Luego, tomando camino por la ruta C-442 se recorren 2 km hasta empalmar con la ruta C-452, donde se debe transitar 11 km hasta llegar al rajo de la

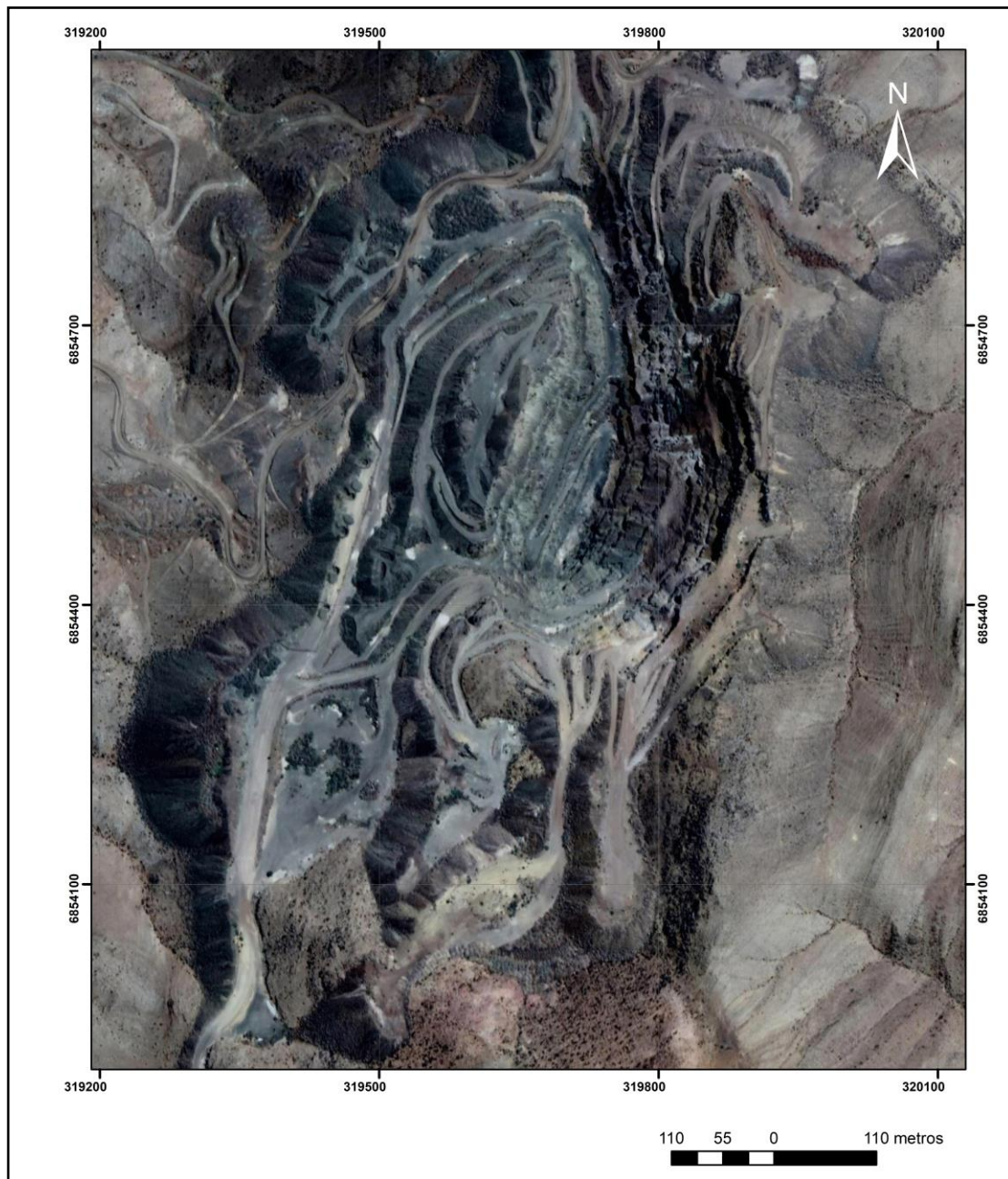
mina ( $28^{\circ}25'15.3''\text{S}$ ;  $70^{\circ}50'32.2''\text{W}$ ). Los accesos hacia Mina Sosita, que actualmente se encuentran en buenas condiciones con sectores pavimentados y señalizaciones claras.

Para dirigirnos hacia el sector de Mina Huantemé (Figura 1.3), se conduce en dirección oeste de Vallenar por la ruta C-46. Luego de recorrer 14 km aproximadamente se llega a la localidad de Maitencillo, donde se vira en dirección norte hasta la ruta C-450. Se continúa 7 km hasta llegar a la ruta C-520 y de dicha forma se arriba directamente a Mina Huantemé ( $28^{\circ}27'38.8''\text{S}$ ;  $70^{\circ}50'43.3''\text{W}$ ).

Se puede destacar que los accesos hacia la Mina Huantemé hasta la ruta C-450 se encuentran en buenas condiciones, aunque en la ruta C-520 se requiere de movilización 4x4 ya que los caminos se encuentran en mal estado, con materiales removidos y acceso no pavimentado.



**Figura 1.1** Mapa de Ubicación y accesos del área de estudio escala 1:300.000 Mapa. En la imagen se identifica de norte a sur, Mina Sosita, Mina Huantemé y Mina El Algarrobo, las cuales se encuentran marcadas con su simbología correspondiente, además en color rojo, se delimitan las distintas rutas de acceso utilizadas para llegar a las zonas de estudio. Imagen tomada de Software Google Earth y procesada en ArcGIS 10.8.



*Figura 1.2 Vista preliminar de yacimiento ferrífero Sositás. Imagen obtenida de SAS.Planet y procesada en software ArcGis 10.3, escala 1:5.000.*



*Figura 1.3 Imagen preliminar de yacimiento ferrífero Huantemé. Imagen obtenida de SAS.Planet y procesada en software ArcGis 10.3, escala 1:5.000.*

## 2 MARCO TEÓRICO.

### 2.1 Geología Regional

En la zona de estudio se reconocen dos megafallas denominadas “Falla Los Colorados” y “Falla La Sosita-HuanteMé”. Estas estructuras controlan el desarrollo de los yacimientos de hierro en el Valle del Huasco (Arévalo y Welkner, 2008).

Los lineamientos estructurales antes mencionados, cortan y limitan los cuerpos plutónicos mesozoicos, permitiendo inferir que tuvieron participación en el ascenso y emplazamiento de estos. Del mismo modo, se puede desprender de su relación espacial con las secuencias y cuerpos subvolcánicos dacíticos cenozoicos, que estas estructuras facilitaron la extrusión y controlaron la distribución del magmatismo más moderno.

La Falla Los Colorados, se extiende desde el yacimiento Boquerón-Chañar por el norte, hasta Portezuelo Tatara. La Falla La Sosita - HuanteMé se extiende desde la mina de Chañar-Quemado hasta más al sur de la mina El Algarrobo, la cual se pone en contacto hacia el sur de la mina Los Colorados con la primera falla en el sector de la mina de manganeso La Coquimbana, formando entre ambas una “Y” invertida con su vértice en este último lugar (Thiele y Pincheira, 1984).

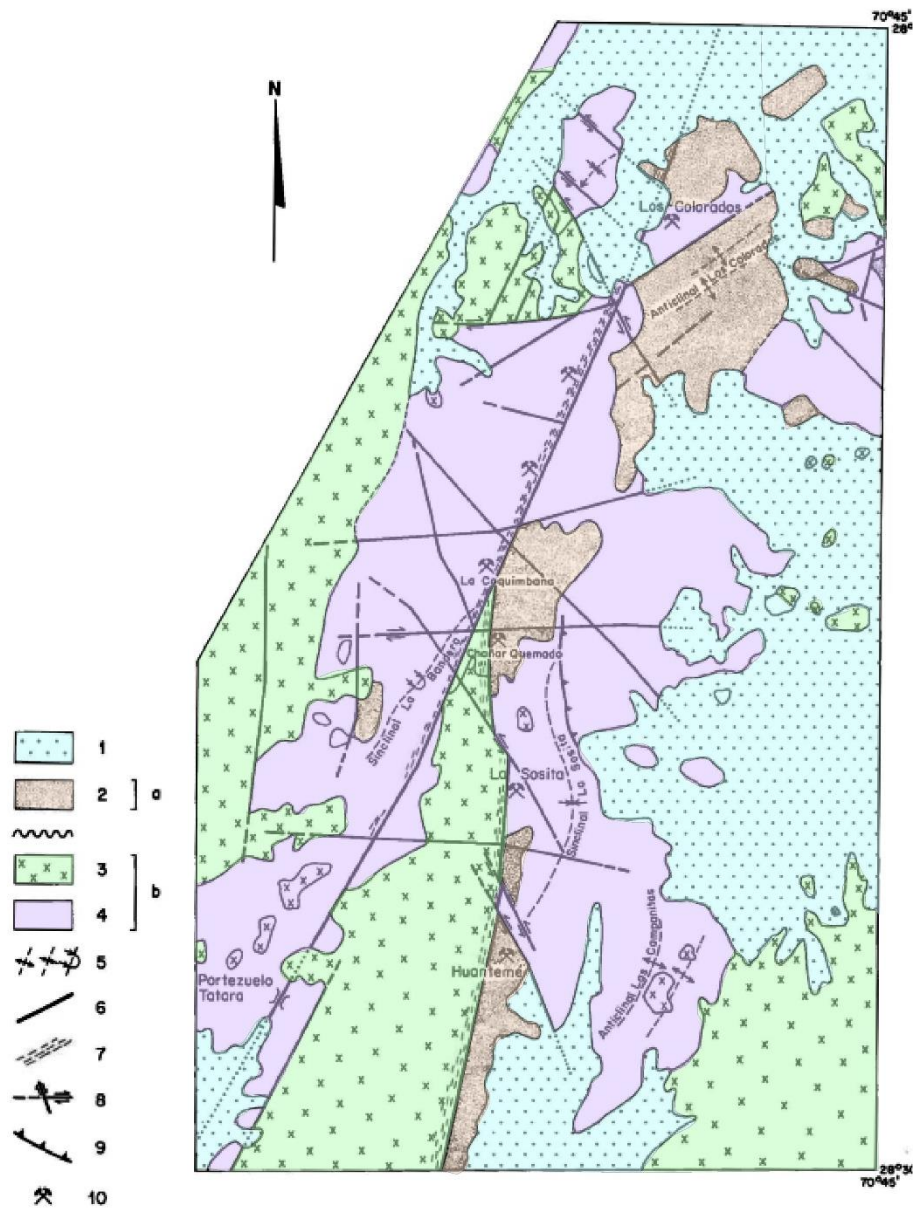
La megafalla “Los Colorados”, presenta un manteo subvertical de rumbo N20°E, la cual pone en contacto las sedimentitas y volcanitas plegadas, con las rocas intrusivas del bloque oriental. La megafalla “La Sosita-HuanteMé”, tiene rumbo N-S, aumentando el ancho de la franja de rocas de falla de 100 a 150 metros hacia el sur. La megafalla, sitúa en contacto las sedimentitas y volcanitas plegadas con rocas intrusivas leucocráticas, distribuidas en el lado occidental de esta falla (Naranjo *et al.* 1984)

Según Higgins (1971), existen cambios texturales y mineralógicos importantes en rocas del Batolito Astillas, cerca del tramo La Sosita-HuanteMé correspondientes a Milonitas. La distribución de estas rocas indicadoras de una deformación con desarrollo de flujo dúctil a semidúctil, sugiere que fueron cizalladas a lo largo del plano de falla que se extendió desde Los Colorados hasta La Coquimbana, y desde allí hacia

el sur por la línea de falla que une Chañar Quemado con La Sosita y Huantemé, lo cual sucedió antes que se depositaran las series cenozoicas (Pincheira, 1981) (Figura 2.1).

Las plutonitas se encontraban a mayor profundidad que las secuencias volcanosedimentarias, donde el efecto de una mayor temperatura y la presencia de fluidos permiten suponer que se trató de fallas que favorecieron el desarrollo de flujos más dúctiles.

Por otro lado, todas las rocas tanto mesozoicas como cenozoicas afectadas por las megafallas, muestran estrías verticales, indicando que el último evento fue de componente vertical. Además, la presencia de salbanda de falla y brechas, indican que esto es producto de una deformación rígida. El desplazamiento vertical, está directamente relacionado con el inicio de la evolución fisiográfica actual, puesta en evidencia en la región por los relieves opuestos de la Cordillera de la Costa y los llanos adyacentes (Pincheira, 1981).



**Figura 2.1** Esquema estructural de la mitad oriental del Cuadrángulo Astillas. 1. Sedimentos no consolidados; 2. Terrenos volcánicos; 3. Batolito Astillas; 4. Terrenos volcánico-sedimentarios; 5. Ejes de pliegues; 6. Traza de las megafallas Los Colorados-Portezuelo Tatara y La Sosita-Huantemé; 7. Franja de rocas cataclásticas; 8. Fallas transcurrentes conjugadas; 9. Falla inversa. 10. Minas. Entre el nivel estructural superior e inferior existe una discordancia. Extraído de Thiele, R., y Pincheira, M. (1987).

## 2.2 Geología local “Sositas – Huantemé”

### 2.2.1 Litología

En la zona de estudio, afloran rocas correspondientes a la sección media de la Formación Punta del Cobre (JKpc2). En ella, afloran rocas clásticas potentes de color pardo rojizas generadas por brechas y conglomerados de estratificación gruesa con intercalaciones de areniscas conglomerádicas y tobas de lapilli con edades del Jurásico superior – Valanginiano.

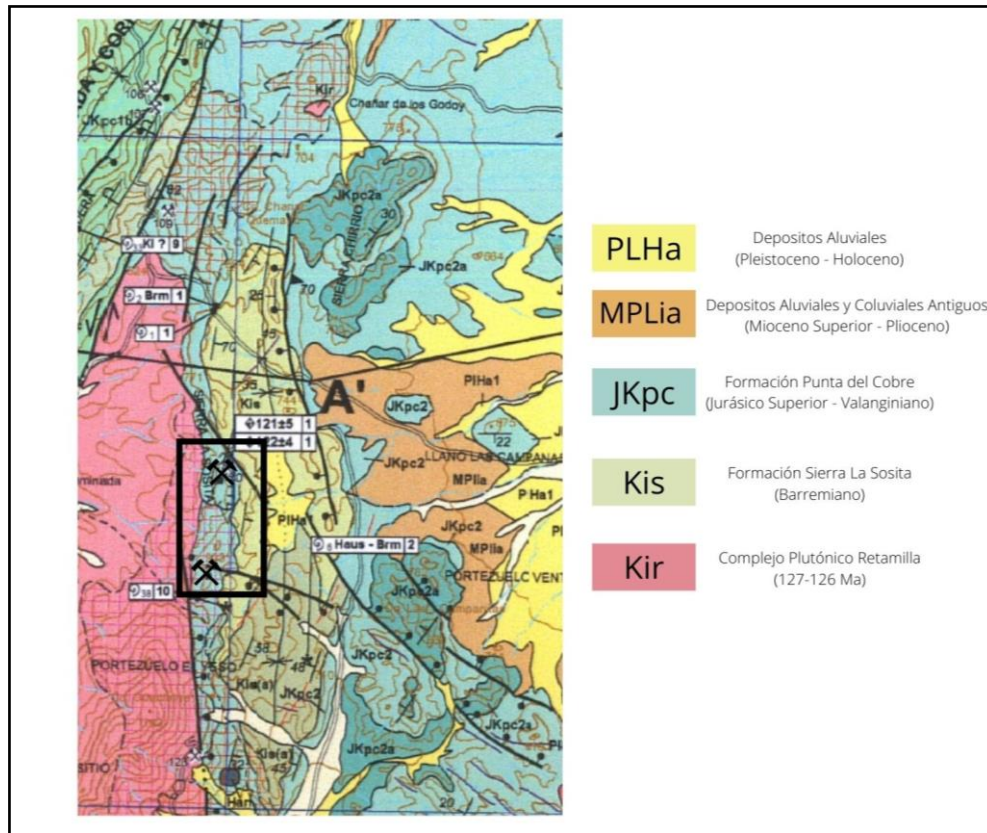
Estas fueron depositadas en un tiempo de transición entre un ambiente de volcanismo no explosivo con presencia de un medio subacuático marino somero a una fase de volcanismo explosivo con efusión de domos en superficie (Arévalo & Welkner, 2008).

Suprayacente a la formación Punta del Cobre, se encuentra la Formación Sierra La Sosita (Kis), la que cuenta con edad Barremiana, correspondiente a afloramientos de areniscas, conglomerados y calcilitas con fragmentos líticos y bioclásticos (gastrópodos, bivalvos, equinodermos, ammonites, braquiópodos), de esta manera, se formó una plataforma calcárea debido a eventos de regresión y transgresión (Pincheira, 1981).

Finalmente, el complejo Plutónico Retamilla (Kir) instruye a la Formación Punta del Cobre, representando una fase magmática tardía relacionada con el emplazamiento de este complejo del cual afloran granodioritas de piroxeno, principalmente en donde su parte occidental presenta alteración cuarzo albita y zonas más locales de silicificación, observándose en terreno anfíbola actinolitizados y *stockworks* de actinolita (Figura 2.2) (Arévalo y Welkner, 2008).

### 2.2.2 Geología estructural

Las secuencias y rocas plutónicas mesozoicas que se observan en el área de estudio están afectadas y deformadas por dos sistemas estructurales mayores de orientación NNE que constituyen parte del segmento El Salado del Sistema de Falla de Atacama (Brown *et al.*, 1993). Los dos sistemas son: La Zona de Cizalle Infiernillo (ZCI), correspondiente a una banda de milonitas y migmatitas sinplutónicas de orientación NE a NNE, en ella se desarrolla una foliación magmática vertical definida por la orientación de minerales tabulares como plagioclasa y biotita, presentando además, enclaves microdioríticos tabulares alineados y elongados de forma vertical, lo que sugiere procesos de inyección de diques sinplutónicos, desagregación y *mingling*. El segundo sistema corresponde a la Faja Plegada y Corrida Los Colorados (FPCC), la que afecta directamente en el área de estudio reflejado en el desplazamiento con ángulo creciente hacia el este de los niveles calcáreos y clásticos de la Formación Punta del Cobre (Welkner *et al.*, 2006). Esta última, corresponde a la rama más oriental del SFA, correspondiente a una franja de NNE de 3 km de ancho, con fallas y pliegues de 80 km desde la mina Los Colorados hasta más al sur de la quebrada Chañaral (Welkner *et al.*, 2006). Consta de dos estructuras, la primera occidental que desplaza con ángulo creciente hacia el este, y sentido de separación normal, pero con sentido de transporte tectónico hacia el oeste, niveles calcáreos y clásticos de la Formación Punta del Cobre. La segunda estructura es la falla oriental, correspondiente a la Falla Los Colorados, la cual coincide con el margen occidental del Complejo Plutónico Retamilla. Correspondería a la estructura que presenta mayor desplazamiento, siendo así, la falla maestra del sistema (Thiele y Pincheira, 1984).



**Figura 2.2** Extracto de Carta Geológica del Área Carrizal Bajo – Chacritas. Se destaca con un cuadro negro el área de estudio, al norte Mina Sosita y al sur Mina Huantemé (Extraído y modificado de Arévalo y Welkner, 2008).

### 2.2.3 Yacimientos de hierro en Chile

Existen numerosos yacimientos de hierro en Chile los cuales se pueden agrupar en tres tipos: yacimientos metamórficos de contacto correspondiente al mesozoico, yacimientos sedimentarios – metamórfico con características similares a las itabiritas de Brasil de edades Precámbricas y yacimientos asociados con el volcanismo andesítico – basáltico del cuaternario (Ruiz,1967).

En Chile se conocen más de cuarenta yacimientos de tipo metamorfismo de contacto con reservas estimadas entre 500.000 y 100.000.000 toneladas, entre los cuales se definen como los más importantes los de El Algarrobo, El Tofo y El Romeral. En la mayoría de los yacimientos de hierro, la roca huésped consiste en lavas y brechas andesíticas de edades del Cretácico Inferior, presentando metamorfismo de contacto o alteración hidrotermal, representado por anfibolitización, escapolitización, cloritización y biotización.

La mineralización principal es de magnetita, asociada a hematita y apatito como minerales secundarios. Además, se ha documentado la existencia de silicificación y caolinización, las que se encuentran generalmente muy cerca de rocas intrusivas de composición granodiorítica y en muchos lugares representan *roof – pendants* elongados longitudinalmente (Ruiz, 1967). En las áreas con mineral, se pueden encontrar filones de pórfidos dioríticos que cortan los yacimientos de hierro y las rocas volcánicas e intrusivas (Ruiz, 1967).

La asociación mineralógica que tiene este tipo de yacimientos consiste en actinolita, trazas de granate, escapolita, clorapatita, clorita, turmalina, titanita, magnetita, hematita y pequeñas cantidades de pirita. La magnetita viene a ser el mineral primario más abundante, mientras que la hematita primaria se presenta en cantidades subordinadas. En la zona superior de los cuerpos minerales, la magnetita está martitizada, llegando en algunos casos a la completa transformación de la magnetita o hematita (Ruiz, 1967).

En cuanto al origen de este tipo de yacimientos, Geijer (1931) tomando en cuenta trabajos y estudios realizados en El Algarrobo y El Tofo, clasificó estos yacimientos

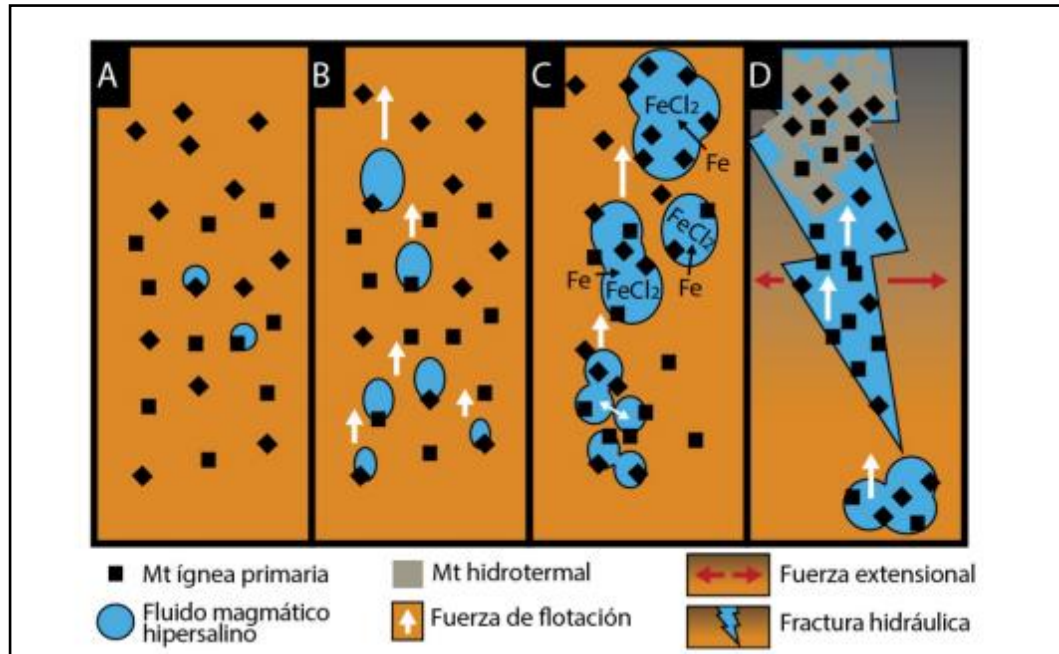
en el tipo llamado Kiruna, con base en investigaciones realizadas en el yacimiento sueco de Kiruna Vaara. Esto le ayudó a inferir que los yacimientos chilenos se habrían originado por procesos de inyección magmática de óxidos de hierro.

Este tipo de yacimiento, también conocido como hierro – apatito (IOA) y/o magnetita – apatito, se consideran el miembro final con deficiencia en Cu de los yacimientos tipo Óxido de hierro – cobre – oro (IOCG) (Williams *et al.*, 2005). Estos depósitos de hierro existen en varias provincias metalogénicas alrededor del mundo, teniendo lugar a lo largo del tiempo geológico desde el Arcaico (Melo *et al.*, 2017), Proterozoico temprano (Distrito de Kiruna, Suecia; Jonsson *et al.*, 2013; Westhues *et al.*, 2017), Proterozoico medio (Pea Ridge y Pilot knob, EE.UU; Day *et al.*, 2016; Childress *et al.*, 2016), Plioceno (El Laco, Chile; Makshev *et al.*, 1988; Nyström y Henríquez, 1994; Naranjo *et al.*, 2010).

Existen dos hipótesis debido a la posible relación genética entre los depósitos tipo IOA e IOCG. La primera, es una hipótesis de tipo magmática en donde se habla de una inmiscibilidad líquida entre un fundido de silicato y otro rico en hierro con un componente volátil importante (Nyström y Henríquez, 1994; Naslund *et al.*, 2002; Velasco *et al.*, 2016; Tornos *et al.*, 2016). La segunda hipótesis, se basa en la sustitución de unidades plutónicas o volcánicas de composición intermedia, por fluidos hidrotermales de salmueras no magmáticas o magmáticas pero exseltas de intrusiones máficas (Menard, 1995; Rhodes y Oreskes, 1999; Rhodes *et al.*, 1999 ; Sillitoe y Burrows, 2002; Dare *et al.*, 2015).

Knipping (*et al.* 2015a, b), propusieron un nuevo modelo que une los puntos de vista magmáticos e hidrotermales (Figura 2.3). Esta propuesta establece la existencia de magmas silicatados, oxidados e hidratados del arco, que cristalizan microlitos de magnetita primaria ricos en Ti. Luego, los fluidos en forma de burbujas de magma se adhieren a los microlitos de magnetita que ascienden por contraste de densidad y flotabilidad a niveles superiores. Durante el ascenso, los pares de magnetita-burbuja se aglomeran y crecen; al mismo tiempo y a partir del fluido magmático, la magnetita

secundaria hidrotermal pobre en Ti precipita sobre los cristales primarios de magnetita. Esta emulsión fluido-magnetita, precipita formando los cuerpos de mena de magnetita masiva debido a cambios bruscos de la presión confinante, asociados al ascenso rápido a través de fallas extensionales del Sistema de Falla de Atacama.



**Figura 2.3** Secuencia progresiva de generación de magnetita primaria y secundaria. A) Nucleación de las primeras burbujas en microlitos de magnetita primaria en un magma silicatado (naranja). B) Ascenso de complejo burbuja-magnetita debido a la flotabilidad positiva otorgada por la burbuja. C) Crecimiento por coalescencia de burbujas y acumulación de magnetita. D) Fractura hidráulica (por estrés tectónico) permitiendo la segregación y el crecimiento eficiente de magnetita hidrotermal durante el enfriamiento progresivo (Extraído y modificado de Knipping et al., 2015).

## **2.3 Conceptos Claves**

### **2.3.1 Patrimonio Geológico**

El Patrimonio, según Arévalo (2004), “no debe confundirse con cultura, ya que todo lo que se aprende y transmite socialmente es cultura. El patrimonio por su parte se constituye de los bienes culturales, remitiendo a símbolos y representaciones de los “lugares de la memoria”, es decir, a la identidad. El patrimonio constituye la expresión de la identidad de un pueblo, es una reflexión sobre nuestro pasado y presente, el sujeto del patrimonio es la sociedad y sus formas de vida significativas”.

El patrimonio geológico es parte de la riqueza natural de nuestro planeta y en este caso de una sociedad, por eso su conservación constituye una responsabilidad y obligación, ya que puede llegar a ser un importante recurso para el desarrollo sostenible en el medio rural, compartiendo los conocimientos científicos incentivando al geoturismo (Arévalo, 2004).

Según Carcavilla *et.al.*, (2014), el patrimonio geológico se forma por elementos geológicos que presentan una especial singularidad debido, fundamentalmente, a su interés científico y/o didáctico. Forma parte del patrimonio natural, incluyendo formas, elementos y/o estructuras originadas por procesos geológicos e incluye enclaves relevantes de la geología, como la geomorfología, estratigrafía, tectónica, petrología, mineralogía, paleontología, hidrogeología, geología ambiental, etc.

Otra definición es la que entrega Cendrero (1996), que corresponde al conjunto de recursos naturales no renovables, ya sea formaciones rocosas, estructuras, sedimentos, formas del terreno, o yacimientos minerales, petrológicos o paleontológicos; que permiten reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia de la tierra y de los procesos que la han modelado; con su correspondiente valor científico, cultural, educativo, paisajístico o recreativo.

En Chile, la palabra geopatrimonio se utiliza como sinónimo de patrimonio geológico. En ambos casos, se refiere a sitios o localidades donde se encuentran componentes

significativos para la geología y las ciencias de la tierra en su conjunto, y las acciones involucradas se centran en la gestión patrimonial y turística de tales áreas (Rubilar, 2008)

### **2.3.2 Geodiversidad**

El término geodiversidad, es una abreviación de diversidad geológica, refiriéndose a la variedad de elementos que resultan de procesos geológicos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra (Carcavilla et.al, 2014). El valor cultural de la geodiversidad está dado por la sociedad a los aspectos físicos del entorno por su importancia social o comunitaria, valorando y conservando los paisajes y rasgos similares involucrados convirtiéndose en la calidad que se intenta conservar (Gray, 2004).

### **2.3.3 Geoturismo**

Dowling y Newsome (2006), definen geoturismo a través de su prefijo “geo”, el cual hace referencia a la geología, geomorfología, recursos naturales, geoformas, capas fosilíferas, rocas y minerales, con énfasis en los procesos que han creado tales características. Por lo tanto, puede ser conceptualizado según tres ámbitos: las formas que representan el paisaje, sus características y materiales, sedimentos, rocas, etc., segundo, los procesos que definen las distintas actividades geológicas, las que modelan las geoformas existentes, ya sea erupciones volcánicas, la erosión de los ríos, etc., y finalmente, el turismo que se realiza según los medios que existan, bus, automóvil, etc.

### **2.3.4 Geositio**

La sociedad Geológica de Chile define geositio como un afloramiento o varios afloramientos vecinos, que contienen un objeto geológico de valor que vale la pena preservar. Este valor puede ser de distinta índole, ya sea estrictamente geológico, mineralógico, paleontológico, estructural, petrológico, paisajístico, geomorfológico, etc. La identificación y posterior preservación contribuirá a la difusión de los valores de la ciencia geológica en el país, y a preservar para generaciones futuras sitios importantes para la ciencia, la cultura y la sociedad (Valenzuela, 2017). Según Brilha,

(2015), geositio son todos aquellos lugares de interés geológico con valor científico considerable y que pueden presentar un valor educativo y cultural.

### **2.3.5 Patrimonio Minero**

Se puede definir como el conjunto de labores mineras interiores y/o exteriores, instalaciones, estructuras inmuebles y muebles, documentos, objetos y elementos inmateriales que tienen relación con actividades mineras de algún tiempo pasado, a los que un grupo social, atribuye un valor histórico, cultural y/o social. También, deben mantener un vínculo con el patrimonio geológico al desarrollar las explotaciones mineras sobre los yacimientos minerales, uniendo de esta forma indirectamente, distintos agentes patrimoniales, ya sea histórico, arqueológico e industrial, como también la historia económica, de la tecnología y social (Carcavilla *et.al*, 2014).

## **2.4 Patrimonio y extracción de los yacimientos de hierro en Chile.**

El conocimiento de los yacimientos de Hierro en nuestro país, data del periodo prehispánico. Corresponden a afloramientos de magnetita que fueron ocupados por los habitantes de las regiones de Atacama y Coquimbo como ya se mencionó anteriormente.

Tras la conquista, comienzan las inscripciones de propiedad minera, siendo el primer hito en el desarrollo de la industria nacional del hierro en 1886, donde Jorge Porter, pide a la Sociedad de Fomento Fabril su patrocinio realizando una solicitud al gobierno de la época, la cual fue analizada por uno de los consejeros de la Sociedad de Fomento Fabril, el señor Aurelio Lastarria (Sagredo, 2012).

En 1889, la Sociedad de Fomento Fabril encarga a Carlos Vattier, realizar un estudio acerca de la siderurgia nacional, esto para la instalación en Chile de una industria para la elaboración del hierro. Luego de la realización de dicho informe, Vattier buscó la forma de atraer a inversionistas extranjeros a la explotación de los yacimientos que había identificado (Millán, 1999).

En 1890, algunos inversionistas reaccionan a los contenidos del informe, y desde allí la economía de Chile comenzó a depender de la economía mundial. El stock de hierro que ofrecía nuestro país no era significativo para los grandes productores industriales

de la Europa de fines del siglo XIX.

Los informes de Carlos Vattier carecían de respaldos científicos, por ende, no se manejaba información prolija acerca de la magnitud de los yacimientos que identificaba. La falta de información geológica y el poco conocimiento de la génesis de los yacimientos, fue superada mediante la analogía de estudios realizados en Francia, donde el hierro tiene un origen sedimentario marino.

Frente a la omisión geológica, se preocupó de destacar las potencialidades de los yacimientos del Tofo, El Romeral y El Algarrobo, los que después iniciaron la extracción comercial y masiva del hierro en Chile. Fue capaz de profundizar en las oportunidades que éstos ofrecían para la industria siderúrgica y se detuvo en el análisis de los yacimientos del El Carmen, Cerro Imán, Huantemé y El Dorado, los que posteriormente sostendrán a la mediana industria hasta nuestros días (Peña y Lillo, 1928)

En 1913 Juan Brügger, publicó una descripción de los yacimientos de Hierro comprendidos entre el río Huasco y el Elqui, identificando formaciones Triásicas, Jurásicas, Cretácicas y Cenozoicas, concluyendo que la existencia de un cuerpo intrusivo diorítico sería posterior a las formaciones volcánicas y sedimentarias Cretácicas, alejando la tesis del origen sedimentario marino para el hierro chileno. Entre 1918 y 1919, el ingeniero en minas alemán C. Linnemann, realizó un estudio acerca de los yacimientos de hierro situados entre Huasco y el límite sur de la Región de Atacama, cuyo resultado fue publicado en 1921. Se apoyó en estudios geológicos de Juan Brügger y aportó evidencias petrográficas estimando que el hierro de esta zona se habría originado por el ascenso en dos etapas de magmas mineralizados por grietas y fallas y que otros yacimientos se habrían originado a partir de procesos postmagmáticos, neumatolíticos e hidrotermales acontecidos en la fase deutérica cuando finalizaba la intrusión de magma diorítico (Millán, 1999).

En 1951, Andrés Andai inició sus actividades en la minería del hierro, y estaba asociado con Emérico Letay Altman, un inmigrante húngaro llegado a Chile en 1950. En 1952, Emérico Letay se separa de Andrés Andai y viaja a EE.UU, en donde tiene contacto con potenciales compradores de mineral de hierro. De regreso a Chile, se asoció a José

Klein, y comenzaron por arrendar e iniciar la explotación del yacimiento de Huantemé, en el Valle del Huasco, de propiedad de las familias de Sergio Merino y Daniel Palacios. De este modo nació la Compañía Minera Santa Bárbara que inició la explotación del yacimiento Huantemé en 1953, este yacimiento forma parte de un grupo de yacimientos de fierro junto con Sositas, Chañar Quemado y Los Colorados. Se sitúa al norte del Valle del Huasco a 12 Km. de la estación Maitencillo, dentro del tramo Ferroviario Vallenar – Huasco, a sólo 38 Kilómetros del puerto de Huasco. Huantemé era un yacimiento con leyes muy altas, convirtiéndose en una de las más importantes. Huantemé afluía como un vetarrón de una muy alta ley, del orden de 66% Fierro, y un bajísimo contenido de fósforo y azufre; en superficie presentaba una corrida de 500 metros. Exploraciones posteriores, que fueron iniciadas por un levantamiento magnetométrico que hizo Eduardo Neuenschwander, permitieron estimar una reserva del orden de 5 millones de toneladas. Resultó ser la mina más importante de Santa Bárbara antes de ser comprada por la Compañía Minera Santa Fe (Millán, 1999).

Hacia 1953, la explotación se realizaba con una dotación de 500 personas que chancaban el hierro manualmente y producían 25.000 toneladas mensuales. Luego del proceso de Harneo, las colpas eran transportadas en camiones a Huasco (Figura 2.4), donde, usando el muelle de madera existente, se generaron embarques en lanchones remolcados desde 1953 a 1955. Como el carguío era muy lento, en octubre de 1954 se comienza la obra de un muelle mecanizado llamado Las Lozas, el cual se terminó de construir en 1955.

Luego de un tiempo y largas gestiones bajo la administración del ingeniero Jorge Álvarez se introdujeron tres palas cargadoras, 6 camiones *off-road* de 30 Ton., *bulldozer*, motoniveladoras, etc (Millán, 1999). Se construyó una planta de chancado, harneo y concentración magnética. Todo esto hizo posible bajar la dotación de 500 a 120 hombres y elevar la producción en los frentes de 25.000 a 50.000 Ton/mes. Además, Santa Barbara también importó locomotoras y carros tolva fierreros, abaratando notablemente los costos. El mineral de Huantemé era excepcionalmente quebradizo y producía muchos finos en el chancado y en los traspasos, pero siendo de una alta pureza se le mezclaba en Las Lozas con minerales más duros y de menor

pureza (Millán, 1999).



*Figura 2.4 Fotografía antigua archivada en el Museo del Huasco en Vallenar. Se puede observar el camino que se encuentra una calle debajo de las casas y los caminos utilizados por los camiones para movilizarse hacia el sector de la mina. Además, era un lugar que fue altamente transitado debido a que el material que se sacaba de la mina Sositas era llevado a la planta en el sector de Huantemé.*

La Compañía inició la compra de minerales llegando a recibir la producción de quince yacimientos ubicados entre Sositas por el norte y Cristales por el sur. Entre ellos estaba Sositas (cuya producción se procesaba en la Planta de Huantemé), Chañar Quemado, Cañuelas, San Carlos, Divisoria, Cristales y otros que explotaban la Cía. Minera Confar, Federico Ungar, Cía. Minera Aconcagua, Cominex (En la Botón de Oro), Daniel Farkas, Ladislao Darvasi y Jorge Kemeny Letay. (Millán, 1999).

### **3 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **3.1 Trabajo de Pre-Terreno**

##### **3.1.1 Recopilación de información bibliográfica**

La revisión bibliográfica incorporó estudios sobre depósitos minerales y yacimientos de hierro en Atacama. Entre ellos se encuentran “*El sistema de Falla de Atacama en la provincia del Huasco*” (Arévalo. C., 2003); “*Yacimientos de hierro tipo Kiruna*” (Geijer, 1931); “*Depósitos gigantes tipo Kiruna se forman por la flotación eficiente de la suspensión magmática de magnetita*” (Knipping J.L, 2015), entre algunos.

Por otra parte, para entender el contexto regional, se consultaron las cartas geológicas del Área de Carrizal Bajo – Chacritas, escala 1:100.000 (Arévalo y Welkner, 2006) y la carta geológica del Área Freirina – El Morado, escala 1:100.000 (Welkner y Arévalo, 2006)

En el ámbito patrimonial, se consideró importante revisar bibliografías respecto a “*La Industria del Hierro en Chile*” escrita por Carlos Vattier e “*Historia de la minería del Hierro en Chile*” escrita por Augusto Millán (1999).

Finalmente, se consultan literaturas respecto a patrimonio, geositos y geodiversidad escritos por el autor Murray Gray (2004).

##### **3.1.2 Análisis de imágenes satelitales**

Para poder delimitar las áreas de estudio y poder reconocer los distintos elementos que se tienen en terreno, se necesita un análisis general de imágenes satelitales las que son tratadas en los softwares Google Earth Pro versión 7.3 y SASplanet versión 201212.10106.

En el software Google Earth, se observan relieves, cuencas hidrográficas, altitudes, posible interpretación de rocas aflorantes y distancias de las zonas pobladas aledañas, para así tener una visión previa de los lugares en donde debemos llegar. Y con SASplanet, se descargan las imágenes de dichos sectores para luego ser procesadas y formar la base de mapeo.

### **3.1.3 Base de mapeo**

En esta etapa, se deben tomar las imágenes descargadas anteriormente del software SASplanet y procesarlas en el programa ArcGis versión 10.3, en donde se crea la base de mapeo con escala 1:3.000 preferentemente, agregando grilla con coordenadas norte y este, escala gráfica, escala numérica, norte geográfico y finalmente se proyectan los datos de elevación correspondientes a las cotas, lo que permite una mejor interpretación en terreno del sector estudiado. Esta última información es obtenida del Software Global Mapper Versión 17.

## **3.2 Trabajo de Campo.**

### **3.2.1 Mapeo geológico**

La etapa de mapeo corresponde a la salida de terreno (Figura 3.1), que se llevó a cabo desde marzo 2018 a julio 2018, contando con 5 días para reconocer y confeccionar mapas geológicos de las áreas de estudio. Aquí es importante levantar la información de terreno, todas las características observables, ya sea datos estructurales (fallas, diques, movimientos aparentes, etc.), descripción general macroscópica de muestras (mineralización, color, habito, tipo de roca, etc.), interpretaciones generales del sector.

La toma de muestra se realiza considerando unos 15 cm como máximo, ya que posteriormente es utilizada para la confección de cortes transparente.



*Figura 3.1 Fotografía grupo de trabajo en terreno, Sector Mina La Sosita.*

### **3.2.2 Inventario patrimonial**

El inventario corresponde al registro inmueble o no inmueble observable en terreno (Figura 3.2). Estos pueden ser rastros de lugares habitados, restos de instalaciones, laboreo antiguo a cielo abierto de yacimientos, instalaciones industriales, objetos históricos importantes, y todo lo que tenga relación con una cultura propia de la sociedad en donde se está realizando el estudio dejando una descripción en la libreta y un registro fotográfico actualizado de las áreas de estudio.



*Figura 3.2 Fotografía en terreno de grupo de trabajo, visitando instalaciones e infraestructuras en sector mina Huantemé.*

### **3.3 Trabajo de gabinete**

#### **3.3.1 Análisis de muestras**

##### **3.3.1.1 Análisis macroscópico**

Se realizaron descripciones en terreno a las unidades, registrando color, tipo de roca, mineralización, alteración, tamaño de cristales y nombre de la muestra codificada como M(n°muestra)-Sosita y M(n°muestra)-Huantemé.

##### **3.3.1.2 Análisis microscópico**

Se realizaron cortes transparentes a las unidades registradas, las cuales fueron analizadas mediante un microscopio marca Kozo, modelo XJP300 de luz transmitida y reflejada en el laboratorio de microscopía del Departamento de Geología de la

Universidad de Atacama. Posteriormente, se realizaron fotomicrografías con cámara móvil y lente macro 60x, documentando las observaciones realizadas en laboratorio.

### **3.3.2 Análisis patrimonial**

Para este apartado, se recibe el apoyo de historiadores de la zona y de personal asociadas al proyecto FIC de Geoturismo en el Valle del Huasco, “Un aporte de las geociencias en el desarrollo y crecimiento del turismo tradicional”, quienes son conocedores de los sectores estudiados, tanto en el ámbito histórico social, político y minero. Además, se consulta bibliografía en biblioteca municipal y libros que hablan de la historia de Chile y de sus yacimientos.

### **3.3.3 Discusión de resultados**

En esta etapa se analizan todos los datos obtenidos en el trabajo de terreno y de gabinete, realizando un contraste entre el desarrollo propio del trabajo, con los conocimientos previos que se tienen de las áreas de estudio. Posteriormente, se realiza un informe representando las principales características a destacar de los yacimientos de hierro del Valle del Huasco.

### **3.3.4 Elaboración de mapas**

#### **3.3.4.1 Mapa Geológico**

Utilizando el software ArcGIS versión 10.3, se confecciona un mapa geológico detallado de las áreas de estudio, registrando los resultados obtenidos del trabajo de campo. Estos son; unidades litoestratigráficas, estructuras, alteraciones, mineralogía y también integrando información regional de cartas geológicas para analizar de mejor manera, la geología de la zona de estudio. El mapa es entregado en coordenadas WGS84 con su respectiva grilla, norte magnético y topografía del sector.

#### **3.3.4.2 Mapa Patrimonial**

Para la confección del mapa patrimonial, se registra gráficamente las observaciones tomadas en el trabajo de campo, las cuales son; infraestructuras, instalaciones,

asentamientos mineros, plantas de procesos, etc. La información para crear el mapa se registra con colores para cada tipo de infraestructura que pueda existir (casas, oficinas, plantas de procesos, caminos, etc.). El mapa es entregado en coordenadas WGS84, norte magnético y caminos propuestos, los cuales posteriormente son discutidos para la toma de decisiones como zona patrimonial.

### **3.3.5 Epílogo**

Finalmente se busca con este trabajo, desarrollar una propuesta final para potenciar el desarrollo patrimonial y turístico de la zona, incluyendo los resultados obtenidos para un uso cultural y educacional en el Valle del Huasco

## 4 RESULTADOS

Para la presentación de los resultados obtenidos, se registraron en la tabla 4.1, las distintas muestras con sus respectivos códigos y asociados al sector de estudio donde se encontraron. Debido a que, en las áreas de estudio, no varía demasiado el tipo de roca aflorante, se ha tomado la decisión de recolectar un número de 6 muestras, las cuales han sido las más representativas. Los resultados se presentan según litología, mineralogía, estructuras y geoquímica, de esta forma se detalla de mejor manera las características observadas en terreno y analizadas posteriormente.

**Tabla 4.1** Base de datos donde se registran los puntos de control tomados en terreno, asociadas a sus respectivas coordenadas. Se registran las observaciones tomadas en terreno, a su vez se lleva un registro separado de estructuras, mineralogía y alteraciones presentes en los distintos puntos de control. Para mayor detalle, revisar Anexo I y II.

SECTOR	PIDGPS	E(WGS84)	N(WGS84)	Litología	Codigo	ESTRUCTURA1				MINERALIZACIÓN	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
						ESTRUCTURA	AZIMUT	MANEJO	ALTERACION			
Soelta	1	319687,6487	6854560,463	Microdiorita	MD	Falla	30	80			R2	Dique porfídico fino color gris verdoso cortando Brecha volcanoclastica gris verdosa. Falla 30/80
Soelta	2	319727,0049	6854518,602	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	340	45		MG		Falla 340/45 que pone en contacto dique porfídico fino gris verdoso con unidad de brecha volcanoclastica gris parda con fuerte mineralización de magnetita masiva
Soelta	3	319757	6854766	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	0	85			R3	Falla N-585 Cortando brecha volcanoclastica gris parda, presenta mineralización de óxidos de cobre como crisocola en trazas.
Soelta	4	319738,6498	6854737,176	Brecha	BM	Falla	35	80				Falla 35/80 que corta unidad de brecha volcanoclastica gris parda
Soelta	5	319717,3549	6854677,251	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	10	85				Falla 10/85 presenta estrías de falla en donde se observa que el bloque oeste tiene movimiento hacia el norte y el bloque este presenta desplazamiento en dirección sur, denotando una cinemática de tipo dextral, la cual afecta a la unidad de brecha volcanoclastica gris parda
Soelta	6	319766,7715	6854577,666	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	320	50		AP-ACT-MG	P4-P5	Falla 320/50 cortando brecha volcanoclastica gris parda. Se observa mineralización de magnetita masiva en sectores, y a su vez brechificando la roca. Los clastos son polimícticos de andesita porfídica fina a media gris parda a pardo rojizas.
Soelta	7	319753,2777	6854510,199	Microdiorita	MD	Falla	100	80	Epidolización - cloritización	EPY-CLO		Falla 100/80 que pone en contacto dique porfídico fino gris verdoso con unidad de brecha volcanoclastica pardo rojiza. Presenta leve alteración a epidota y clorita en los bordes del dique
Soelta	8	319708,7218	6854375,314	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	350	85	Argilización	ORF		Brecha volcanoclastica gris parda cortada por falla 350/85 en zona con moderada a fuerte alteración argílica con presencia de óxidos de hierro como hematita, jarosita y goethita
Soelta	9	319804,5805	6854353,512	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	280	80	Argilización	ORF		Brecha volcanoclastica pardo rojiza con alteración argílica moderada a fuerte. Presenta mineralización de hematita, jarosita y goethita. Falla 280/80
Soelta	10	319701,7643	6854434,507	Brecha	BM	Falla	15	80		MG		Falla 15/80 cortando brecha volcanoclastica gris parda, con leve a moderado magnetismo
Soelta	11	319666,6597	6854362,026	Brecha	BM	Falla	300	75				Brecha volcanoclastica gris parda cortada por falla 300/75
Soelta	12	319811,9057	6854658,727	Brecha	BM	Falla	330	50		MG		Falla 330/50 cortando brecha volcanoclastica gris parda con leve magnetismo
Soelta	13	319541,8186	6854405,742	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	20	67		MG		Brecha volcanoclastica gris parda con leve a moderado magnetismo, clastos polimícticos de andesita porfídica fina a media gris parda a pardo rojiza. Falla 20/67
Soelta	14	319739,5756	6854509,597	Microdiorita	MD	Dique	280	60		MG		Dique porfídico fino gris verdoso con magnetismo moderado. Contacto por falla 280/60 con unidad de brecha volcanoclastica
Soelta	15	319694,8916	6854555,886	Microdiorita	MD	Dique	340	65				Dique porfídico fino gris verdoso en contacto por falla 340/65 con unidad brecha volcanoclastica
Huairtemé	16	319224	6850627	Tonalita	TO	Vetilla	230	85		HM		Roca con 30 a 40 % de cuarzo, presenta plagioclasa y leve minerales maficos. Corresponde a una tonalita que presenta vetillas de hematita 230/85
Huairtemé	17	319419,074	6850966,643	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	350	90		MG		Brecha volcanoclastica pardo rojiza. Presenta leve a moderado magnetismo. Cortada por falla vertical 350/90
Huairtemé	18	319218,347	6850638,393	Tonalita	TO	Vetilla	100	80		HM	FB	Vetilla de hematita 100/80 en tonalita
Huairtemé	19	319405,0257	6850916,982			Falla	280	80	Argilización - silicificación	ORF		Zona de alteración supergena con fuerte silicificación y óxidos de hierro como hematita, jarosita y goethita afectando a roca obliterada. Roca de aspecto blanquecino, cortada por falla 280/80
Huairtemé	20	319228,2836	6850734,132	Tonalita	TO	Falla Normal	25	45				Registro cinemático con estrías de fallas verticales, en donde el bloque este presenta movimiento descendente, falla 25/45, denotando falla normal, afectando a tonalita
Huairtemé	21	319181,619	6850823,014	Tonalita	TO	Contacto	200	80		MG		Contacto por falla 200/80 entre tonalita al oeste y brecha volcanoclastica al este. La brecha volcanoclastica presenta leve a moderado magnetismo
Huairtemé	22	319353,1987	6850553,491	Brecha	BM	Falla	80	90				Falla 50/90 afectando a brecha volcanoclastica pardo rojiza
Huairtemé	23	319360,6249	6850586,153	Brecha	BM	Falla	55	65		MG		Falla 55/65 cortando brecha volcanoclastica pardo rojiza con leve a moderado magnetismo
Huairtemé	24	319372,884	6850627,586	Brecha volcanoclastica	BM	Falla	15	85	Argilización - silicificación	MG-HM-GO-JA		Brecha volcanoclastica gris parda, cortada por falla 15/85 que a metros se observa magnetita masiva, cercano a zona de alteración supergena con hematita, jarosita y goethita leve
Huairtemé	25	319438,2827	6850686,562	Brecha	BM	Falla	350	80	Argilización - silicificación	HM-JA-GO		Zona de alteración supergena con silicificación y argilización. Presenta hematita, jarosita y goethita. Falla corta la roca obliterada 350/80
Huairtemé	26	319635,7803	6850394,098	Brecha	BM	Estratificación	15	32				Brecha volcanoclastica pardo rojiza. Estratificación 15/32
Huairtemé	27	319785,8141	6850688,421	Brecha	BM	Estratificación	10	35				Brecha volcanoclastica pardo rojiza. Estratificación 10/35

## **4.1 Yacimiento Sositas**

### **4.1.1 Litología**

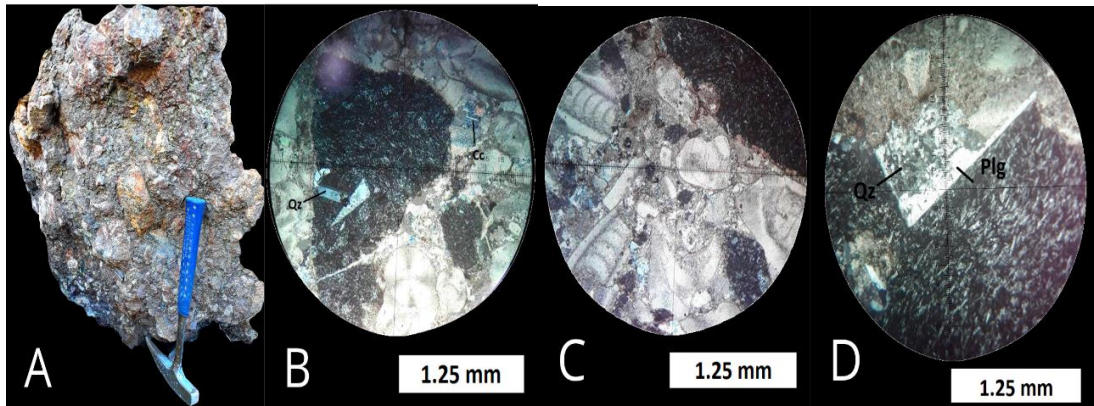
A continuación, se describen de más antiguo a más moderno las unidades litológicas registradas en el estudio

#### **Unidad de Brecha Volcanoclástica (BV)**

Esta unidad registra un 80% del área de estudio, corresponde a una roca de color gris verdoso, gris pardo y pardo rojizo. Litológicamente corresponde a una brecha compuesta en un 60% por clastos de composición andesítica y una matriz de andesita. Los clastos corresponden a andesita oligomíctica angulosos a sub angulosos y de tamaños variables entre 2 a 10 cm mal seleccionados, con presencia de plagioclasa angulosas de textura esquelética alterando levemente a arcilla y menor a un 5% de cuarzos Inter crecidos. La matriz compuesta por el 40% restante de composición andesítica donde se observan los fenocristales sobre un 90% flotando en una masa fundamental afanítica. Se identifica leve aporte de cemento calcáreo removido de rocas de otras unidades adyacentes no observadas en la zona de estudio.

La alteración presente en esta unidad corresponde a minerales de clorita y epidota en forma diseminada e intensidad moderada. Adicionalmente se observa de manera leve, una alteración de tipo oxidación de los minerales férricos como hematita y limonitas como minerales de alteración (Figura 4.1).

Esta unidad se encuentra intruida en contacto por falla con la unidad microdiorítica, la cual presenta fuerte magnetismo. Esta unidad también aflora en el yacimiento Huantemé.



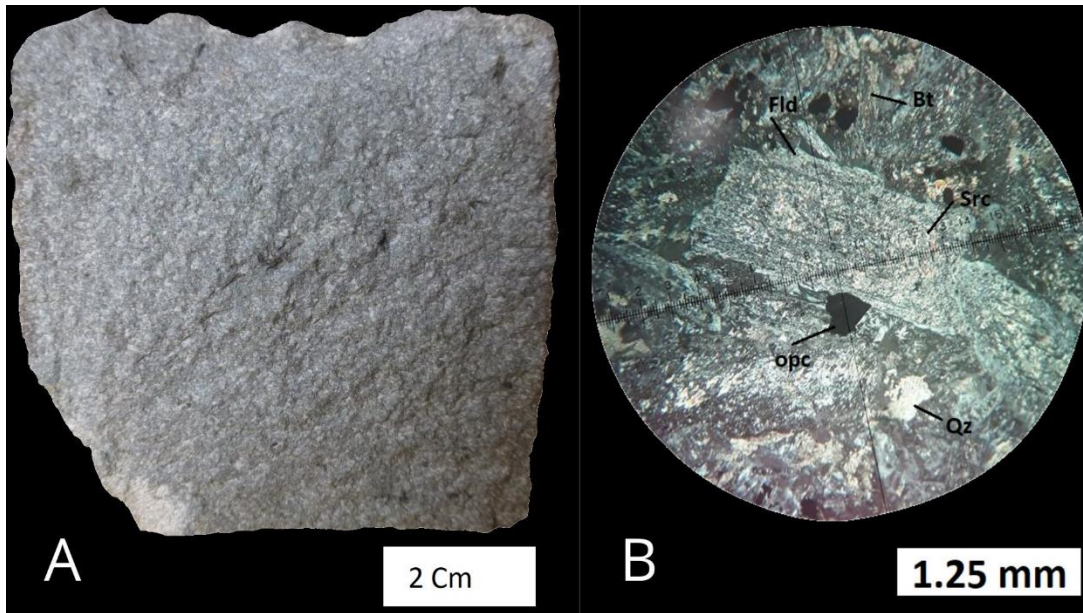
**Figura 4.1** A) Fotografía de Brecha Volcanoclástica de composición andesítica, con clastos de andesita porfídica fina gris verdoso, donde se observa la variedad de tamaños de los clastos angulosos. Además, se aprecia la variedad de colores destacando las zonas verdosas las que se asocian a una alteración clorita – epidota. B) Fotografía microscópica en nicoles cruzados de un fragmento de la Brecha Volcanoclástica, donde se observa un clasto de composición andesítica visible en el análisis microscópico de gabinete, diferenciando cristales de cuarzo y plagioclasa. También, se observa una matriz andesítica con cemento calcáreo evidenciando en algunos sectores cristales de calcita. Simbología: Qz: Cuarzo; Cc: Calcita. C) Fotografía microscópica en nicoles paralelos. Detalle de la matriz de la Brecha volcanoclástica (en colores grises y marrones), donde se observan cemento calcáreo y plagioclasas fuertemente alteradas a arcilla (color gris) y en zonas de color negro, corresponden a clastos de composición andesítica. D) Fotografía microscópica en nicoles cruzados. Detalle de un clasto de la Brecha Volcanoclástica, donde se refleja la textura esquelética de cuarzo en plagioclasa, denotando un intercrecimiento de cristales. También se observa en la parte superior, cemento calcáreo y en la parte inferior un clasto de composición andesítica. Simbología: Qz: Cuarzo; Plg: Plagioclasa.

### **Microdiorita (MD)**

Esta unidad registra el 20% del área de estudio. Corresponde a roca de color gris verdoso a gris oscuro. Con algunos cristales de plagioclasa euhedrales a subhedrales y cristales de cuarzo anhedrales, con textura inequigranular porfídica, holocristalina, hipidiomórfica. Litológicamente la roca intrusiva hipabisal presenta un 53% de fenocristales subhedrales de plagioclasa con alteración a arcilla y sericita, 7% de cuarzos subhedrales a anhedrales en conjunto con un 20% de hornblendas subhedrales, 5% de biotitas con una alteración leve a moderada de clorita, un 10% de feldespatos altamente alterados a arcilla, sericita y epidota y un 5% de opacos. Además, se puede observar una masa menor afanítica de un 40%, siendo el otro 60% el total de fenocristales (Figura 4.2)

La alteración presente en esta unidad corresponde a minerales de clorita y epidota en forma diseminada e intensidad moderada.

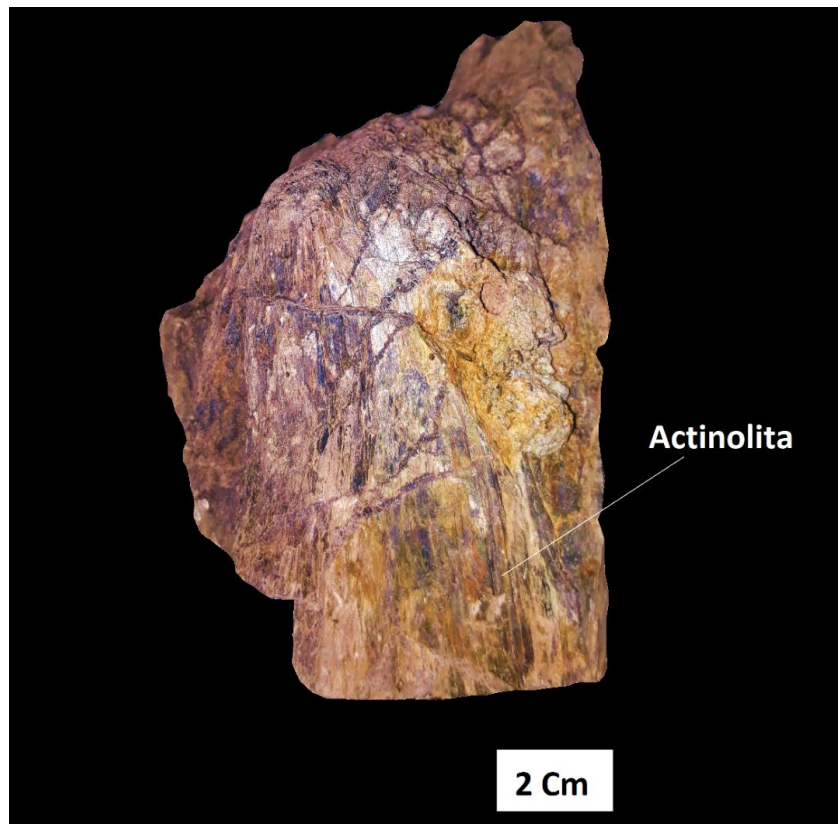
La unidad Microdiorita está en contacto por intrusión con la Brecha Volcanoclástica. Se puede observar en ciertos lugares del rajo de forma tabular, pero la mayoría de los afloramientos están moderadamente erosionados. Esta unidad se puede correlacionar con el Complejo Plutónico Retamilla emplazado en el Cretácico inferior (Arévalo & Welkner, 2008).



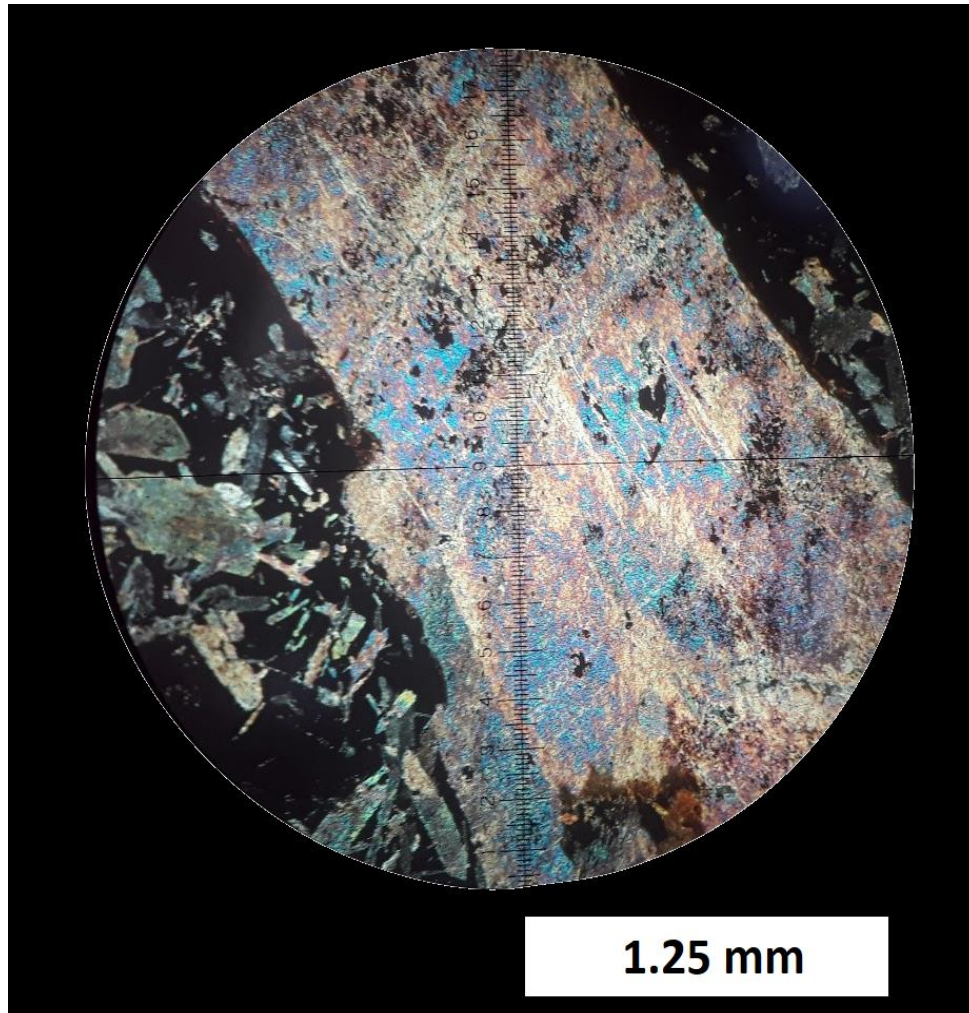
**Figura 4.2** A) Muestra tomada de terreno en donde a simple vista, se observa una textura porfídica, destacando los fenocristales principalmente de plagioclasa que se observan como pequeños puntos de color blanco y las zonas grises en donde no se logra identificar cristales de forma macroscópica, corresponde al 40% de la masa de la roca. B) Fotografía microscópica en nicoles cruzados de la muestra de la Unidad de Microdiorita en NX (Nicoles Cruzados). Al centro se puede apreciar un cristal de feldespato altamente alterado a arcilla - sericita, cubriendo por completo el cristal mayor, y en colores claros se observa cristales de cuarzo. Además, se logran apreciar cristales de biotita con leves tonalidades grises-azules, denotando una alteración leve a moderada a clorita. Simbología: Fld: Feldespato; Bt: Biotita; Src: Sericita; Opc: Opacos; Qz: Cuarzo.

### **Skarn de Actinolita**

Esta unidad metamórfica aflora en el área de Sosita, debido al metamorfismo de contacto asociado al emplazamiento de los cuerpos intrusivos correspondientes a la unidad de microdiorita. De forma macroscópica se puede observar una roca con tonalidades de color pardo y habito fibroso, correspondiente a la actinolita. Particularmente, la magnetita masiva se identifica de color gris oscuro en gran parte de la roca (Figura 4.3 y 4.4). La intensidad de esta unidad varía a lo largo del yacimiento de leve a moderado, evidenciando una alteración o actinolización de la Brecha volcanoclástica.



**Figura 4.3** *Fotografía macroscópica de actinolita en donde se observan las tonalidades de color pardo (Actinolita) y gris oscuro (magnetita). También se registra el hábito fibroso moderado a leve, producto del metamorfismo de contacto.*



**Figura 4.4** *Fotografía tomada de microscopio en nicoles cruzados. En el centro de la imagen se observa un cristal de actinolita (color azul y amarillo) con textura fibrosa y alrededor en color oscuro, magnetita masiva.*

#### 4.1.1.1 Mineralización

Los minerales asociados de la mineralización de hierro son la magnetita, clorita, actinolita y apatito. Estos minerales comparten una paragénesis dentro del yacimiento de hierro, destacándose la magnetita, como mena ferrífera, que fue explotada por los altos porcentajes de hierro magnético. En el yacimiento de Sositas, se puede observar la ocurrencia de magnetita masiva en forma cúmulos con tamaño entre 3 y 7 m de ancho, con una geometría ovalada. (Figura 4.5).



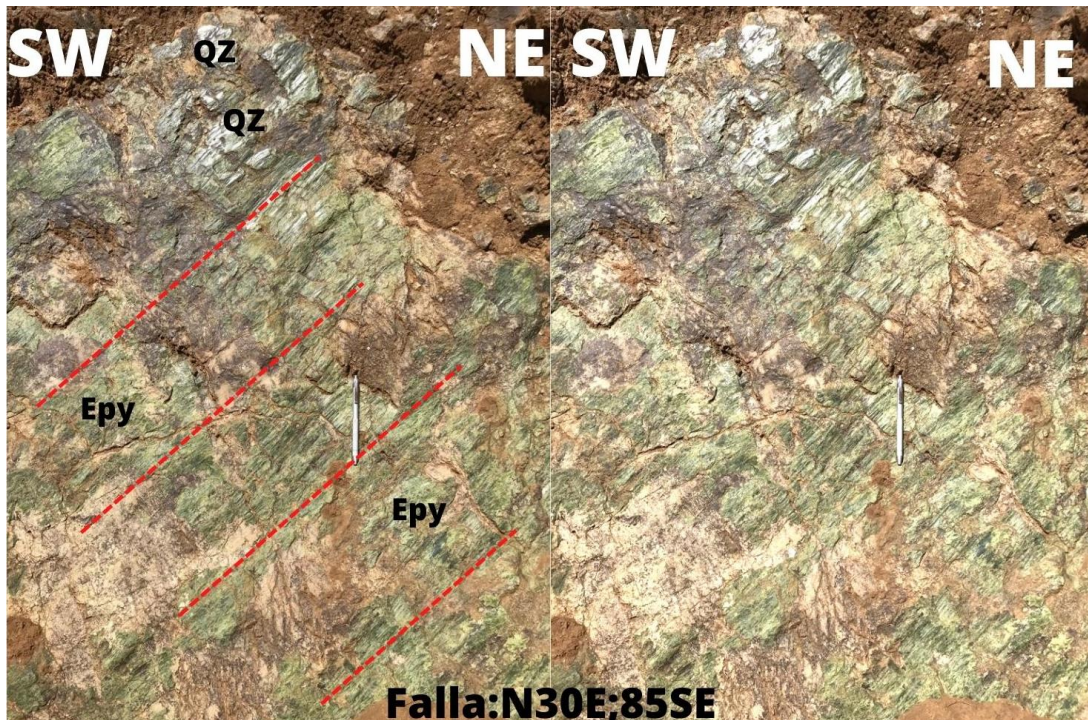
*Figura 4.5 En el centro de la imagen se puede observar en color gris oscuro, magnetita masiva, la que se presenta en forma de cúmulo.*



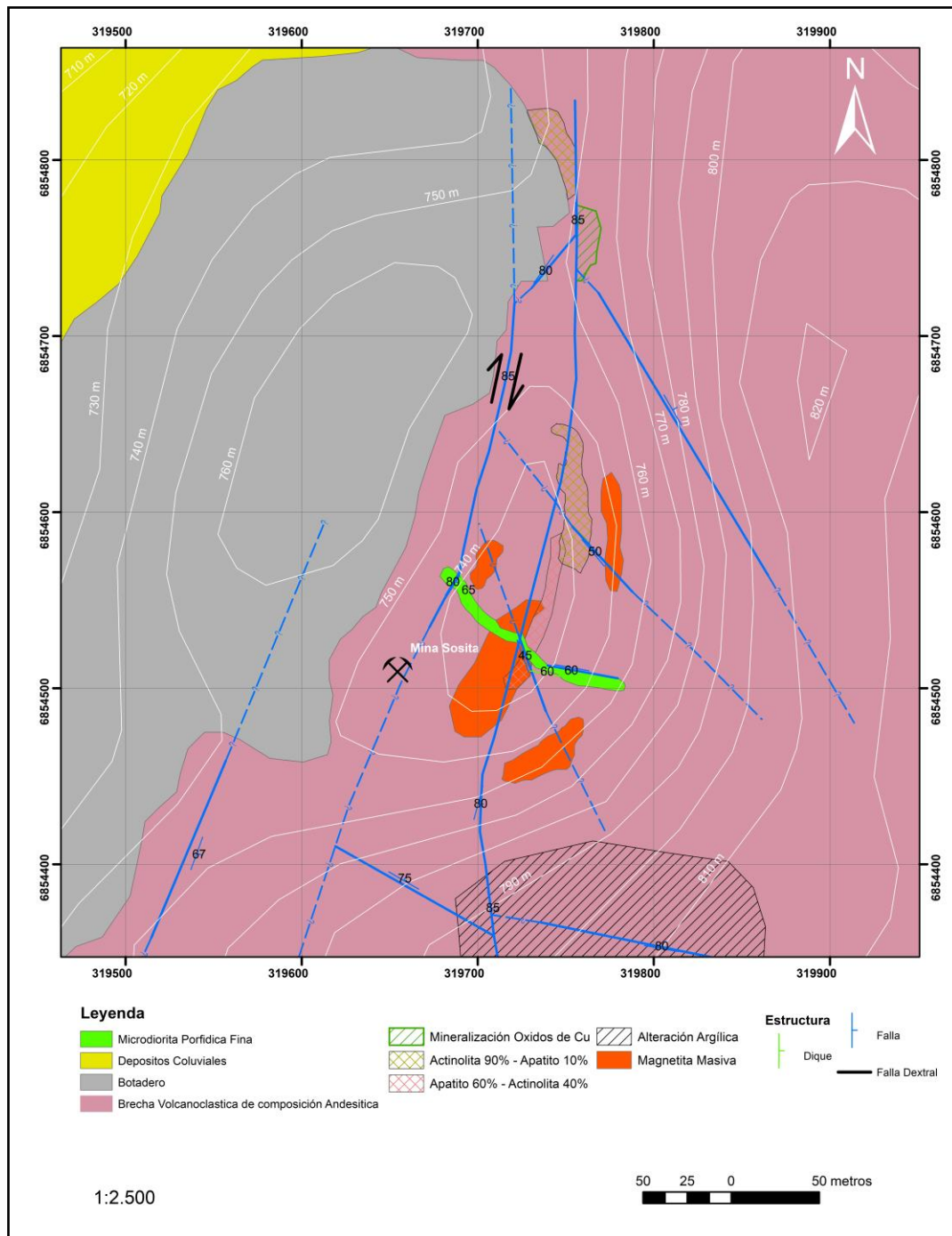
**Figura 4.6** Fotografía tomada en el margen este del rajo del yacimiento Sositas, en donde se hace una diferenciación a través de colores de las distintas litologías observables. En color rojizo, se observa el Intrusivo Microdiorítico porfídico fino, el cual está en contacto por falla con la Unidad Brecha Volcanoclástica de color morado. Por otra parte, en zonas más altas del rajo se aprecia un cúmulo de magnetita. Simbología: MD: Microdiorita; BA: Brecha Volcanoclástica; Mg: Magnetita.

#### 4.1.1.2 Estructuras

En la labor a cielo abierto del yacimiento Sositas se midió una estructura de tipo dextral N30E/85°SE (Figura 4.8), registrando un desplazamiento del bloque Oeste hacia el norte y el bloque Este hacia el sur. (Figura 4.7). La falla corta a la unidad de Brecha volcanoclástica, pero no así al dique microdiorítico porfídico fino gris verdoso.



**Figura 4.7** Fotografía de sección Oeste de laboreo antiguo a cielo abierto. Se observa delimitado en color rojo, el registro de estrías de falla que denotan un movimiento dextral, esto debido a que la pared observada (bloque Noroeste) habría tenido un movimiento hacia el noreste y el bloque sureste hacia el suroeste. Además, el tipo de material de la estructura corresponde a cuarzo y alteración a epidota de los feldespatos. La roca corresponde a una Brecha volcanoclástica de composición andesítica.



**Figura 4.8** Mapa Geológico del yacimiento Sositás escala 1:2500. Se presentan las distintas unidades litológicas aflorantes en el área de estudio, en conjunto con las estructuras medidas y alteraciones observadas. Imagen Confeccionada en software ArcGis versión 10.3.

## 4.1.2 Huantemé

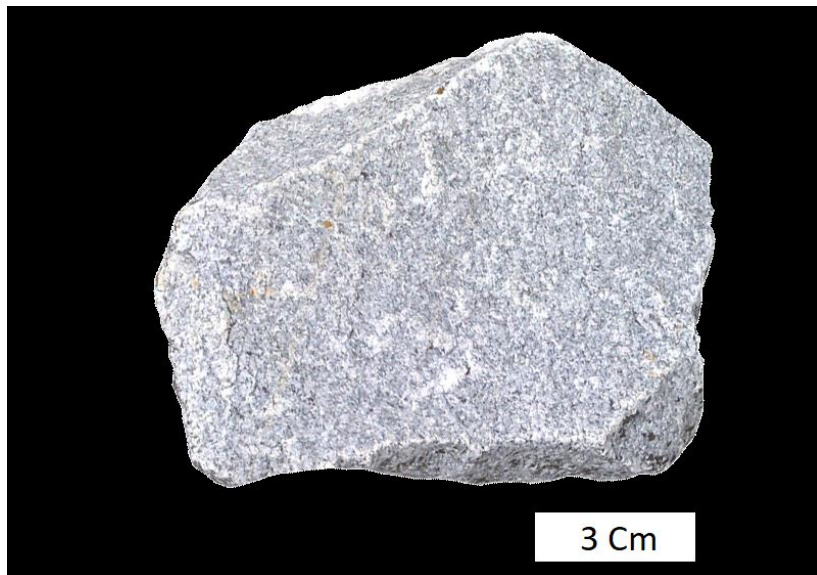
### 4.1.2.1 Litología

#### 4.1.2.1.1 Tonalita (TO)

En el lado oeste del rajo del yacimiento Huantemé, aflora la unidad denominada Tonalita la cual registra el 40% de área de estudio. Litológicamente, se observa una roca intrusiva holocristalina de color blanco a gris claro. Presenta un 40% de cuarzo subhedrales a anhedrales, 40% de plagioclasa euhedral con alteración a arcilla y sericita, 15% de hornblenda subhedral alterando levemente a epidota y 5% de feldespato potásico (Figura 4.9).

La alteración presente en esta unidad corresponde a minerales de clorita y epidota con modo de ocurrencia diseminada e intensidad moderada.

Esta unidad en la base del rajo Huantemé, se observa en contacto por falla N-S con la unidad BA (Figura 4.10) y se correlaciona con el Complejo Plutónico Retamilla (Arévalo & Welkner, 2008).



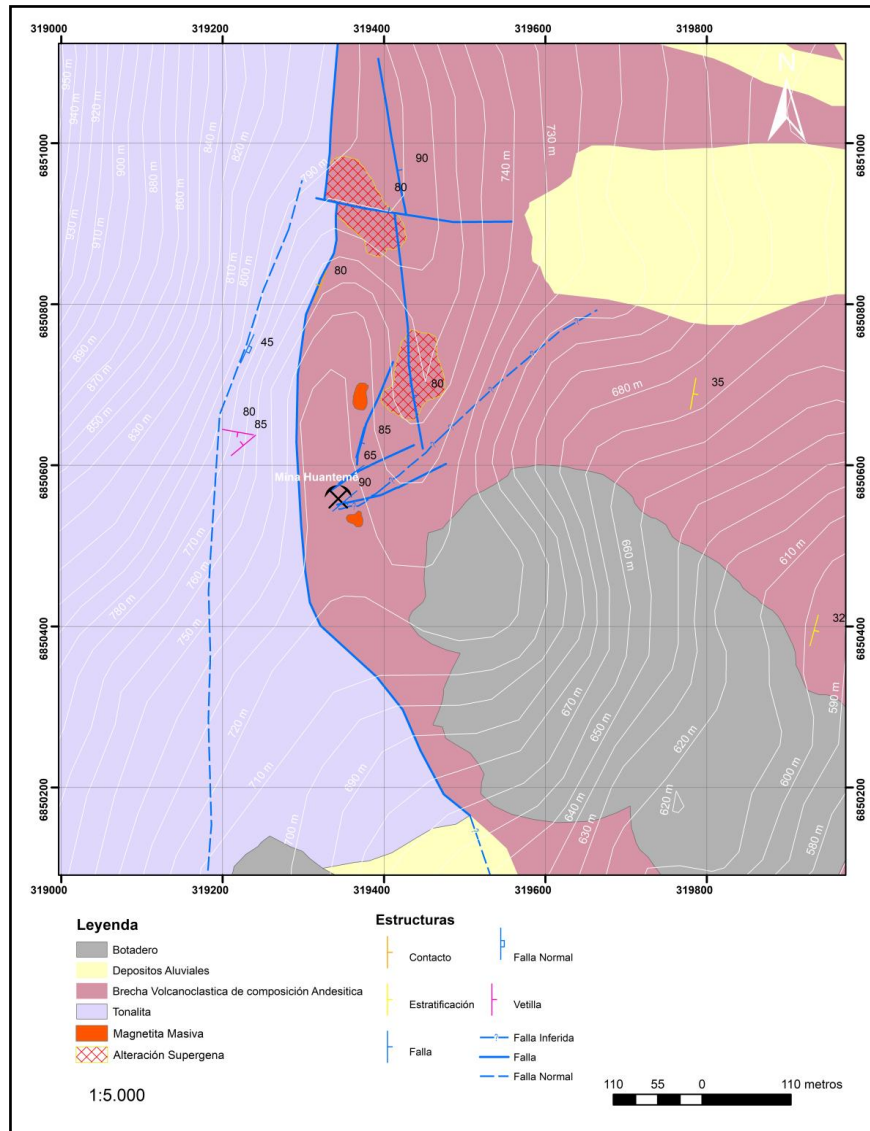
*Figura 4.9* Muestra de tonalita tomada de yacimiento Huantemé. Macroscópicamente se observan cristales de cuarzo y plagioclasa.

#### **4.1.2.2 Estructuras**

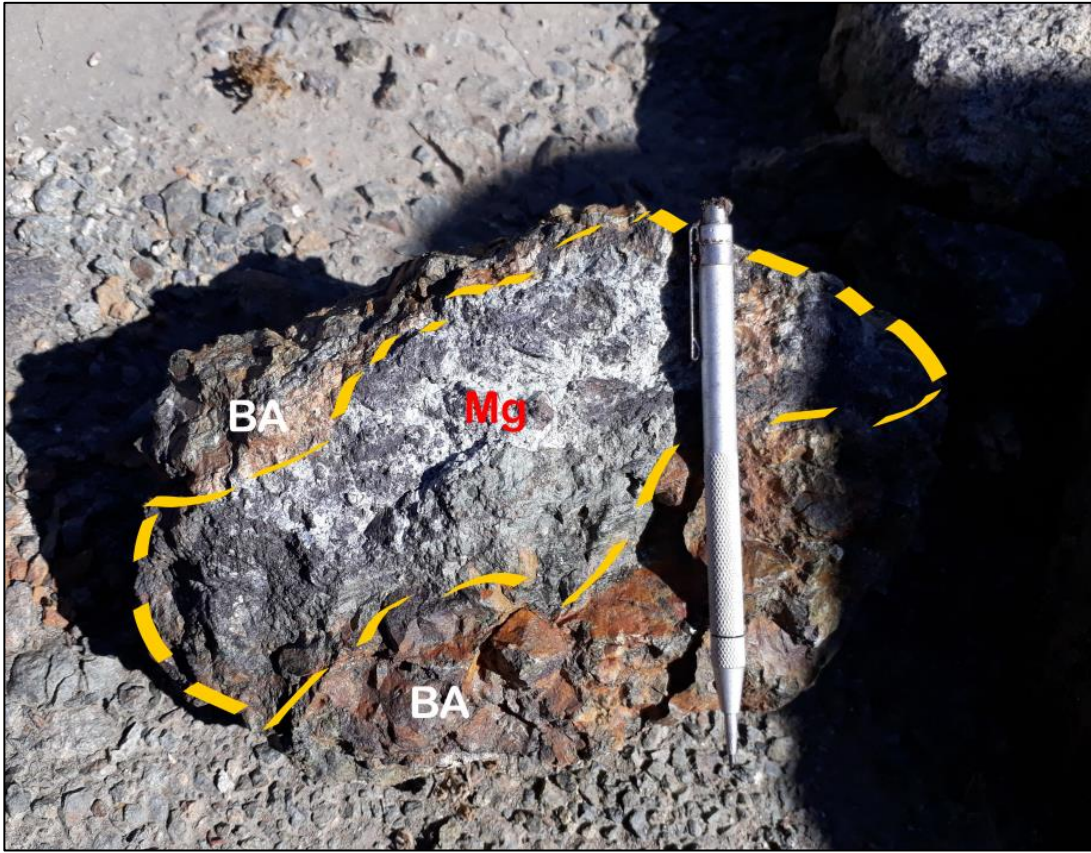
Debido a temas de seguridad e inestabilidad de taludes, no se pudieron medir directamente ciertas estructuras. Sin embargo, con apoyo de imagen satelital y la proyección de estructuras en terreno, se registraron las fallas más importantes del distrito, evidenciando una zona de cizalle asociado a un contacto por falla entre la unidad de Tonalita y la unidad de Brecha Volcanoclástica de rumbo N20E;80NW. Se observa en el contacto un gran fracturamiento y una zona brechificada con Magnetita y limonitas (Figura 4.11). Además, se registra una falla con cinemática normal N25E; 45SE. Este registro de desplazamiento es determinado por estrías de falla en sentido vertical en unidad de Tonalita. (Figura 4.10)

Adicionalmente, se registran sistemas estructurales NNE – NE con rumbos desde los 20° hasta los 50°, y sus manteos son verticales a subverticales entre 80°- 90° hacia el SE y en menos frecuencia hacia el NW.

En cuanto a la estratificación del sector, se registran datos de unidad de Brechas volcanoclásticas, las cuales fueron observables de manera estratificadas en lugares acotados de la zona de estudio, con rumbos de 10°-20° y manteos de 30° a 35° en dirección SE.



*Figura 4.10* Mapa geológico de yacimiento ferrífero Huantemé escala 1:5000. Se pueden observar las distintas unidades litológicas mapeadas en terreno y algunas estructuras inferidas. En esta área de estudio encontramos valor patrimonial a través de instalaciones las que se describen en otro apartado.



*Figura 4.11 Brecha volcanoclástica, con brechización adicional producto de fluidos ricos en fierro (Brecha de magnetita). Presenta leve alteración a óxidos de hierro (Hematita, Jarosita y Goetita). BA: Brecha volcanoclástica; Mg: Magnetita masiva.*

### 4.1.2.3 Mineralización

En el área de Huantemé, la mineralización es principalmente magnetita al igual que en Sositas. En la parte superior del rajo, se puede observar la alteración supérgena que presenta la roca (Figura 4.12). La relación que presentan los minerales de la alteración supergena, corresponde a limonitas ricas en Jarosita, Goetita y Hematita.



*Figura 4.12* Superficie del rajo Huantemé, donde se observa la oxidación supergena que va alterando la mena ferrífera, con Jarosita (color naranja – amarillo) en mayor abundancia y Goetita (color rojo intenso).

## **4.2 Resultados Patrimoniales**

### **4.2.1 Sositas – Huantemé**

#### **4.2.1.1 Registro del patrimonio**

El yacimiento de sosita no cuenta con un patrimonio mueble, pero si con un geopatrimonio importante en la zona de estudio. La labor minera a cielo abierto destaca por los registros geológicos considerables obtenidos en terreno, tales como estrías de falla, con las cuales estudiamos la cinemática estructural del sector, siendo de tipo dextral. Además, es valioso destacar la mineralogía observable en el distrito, la cual permite estudiar los distintos minerales que se asocian generalmente a este tipo de depósitos minerales, como lo son la magnetita, apatito, actinolita, hematita (Óxido de hierro), jarosita (Sulfato de potasio y hierro) y goetita (Oxihidróxido de Hierro). El sector cuenta con caminos con buen acceso, facilitando la visita al sector para realizar exploraciones y/o estudios geológicos ya sea estructurales, litológicos, etc.

El sector de Huantemé cuenta con accesos en buen estado, ya que son lugares transitados principalmente por personas de la localidad de Maitencillo y Canto del Agua. Al llegar a Huantemé, se destacan las construcciones habitacionales de concreto (Figura 4.13 y 4.14), las que contrastan fuertemente con el paisaje árido de la zona. Son un número de 13 a 15 viviendas que aún mantienen su infraestructura, algunas en mejor estado que otras, además se observa, que la influencia humana ha dejado mal registro dentro de esta localidad, dañando el patrimonio del sector. Dentro de estos, se ha registrado la falta de techumbre de todas las casas, también se logra identificar que han sacado cañerías y marcos de ventana. Otro de los daños realizados es el rayado de paredes, donde queda la huella del hombre y su poco interés en el cuidado del patrimonio. (Figura 4.15).

Las viviendas presentan variadas construcciones, ya que algunas eran para una sola familia, que en terreno se ven más pequeñas a diferencia de otras que al entrar se logra observar la división que tenían por dentro. Mayormente las dimensiones alcanzan los 10 m de largo, 7 m de ancho y 3 metros de alto (Figura 4.16).

La bibliografía registra el estilo de vida que tuvieron los habitantes de esta área, pero con la información recopilada en terreno y analizando las fotografías tomadas del sector, se mantiene un modelo de “Casas oficina” típicas de asentamientos mineros que, en donde las construcciones habitacionales más grandes, generalmente corresponden a oficinas administrativas donde también vivían los capataces, incluyendo también el lugar estratégico que esta mantiene, ubicándola en el centro de todas las viviendas. (Figura 4.17)

Finalmente, en el sector más alto donde se encontraban las casas, se observa una especie de taller mecánico de mayores dimensiones, el cual mantiene su estructura externa, pero por dentro se encuentra totalmente vacío (Figura 4.18).



**Figura 4.13** Fotografía tomada desde el lado norte del área de estudio “Huantemé”. Se pueden observar las casas del sector, las calles y el ordenamiento territorial que estas tenían.



**Figura 4.14** Fotografía donde se puede observar, en detalle, la distribución de las casas y las calles, las que daban hacia la entrada de la mina (hacia el NW).



*Figura 4.15 Fotografías tomadas para el registro del daño a infraestructuras. A) se observa la marca en la pared al sacar las cañerías de un baño. B) los marcos de ventanas de madera desprendidos. Originalmente eran como se observa en la ventana más pequeña. C) Destrucción de techumbre. D) en las paredes hay dibujos realizados posiblemente por personas que han pasado por el lugar.*



*Figura 4.16* Fotografía de viviendas, en donde se puede evidenciar el tipo de material utilizado para la construcción, que en este caso es el concreto. Además, se agregan los detalles dimensionales, los cuales fueron medidos en terreno.



*Figura 4.17* Fotografía tomada de “La Casona”. Se pueden observar las diferentes divisiones que esta presenta, por lo que se infiere que pueda ser una oficina o la casa habitada por el administrador de la mina.



**Figura 4.18** Fotografía tomada al taller mecánico. Observamos como la infraestructura de concreto exterior se mantiene, y sus dimensiones son de 15 m de largo, 10 m de ancho y 7 m de alto (sin contar el techo).

## **5 Discusiones**

### **5.1 Sosita**

#### **5.1.1 Discusiones Geológicas**

El yacimiento ferrífero de Sosita se encuentra en la depresión intermedia al norte de Vallenar, en facies de coladas andesíticas implicando el predominio de un ambiente volcánico no explosivo, donde existió la presencia de un medio subacuático marino somero, debido a la existencia de calizas interestratificadas en las coladas (lo cual no es observable en la zona de estudio) (Arévalo y Welkner, 2008). Destaca su litología por extensas capas de brechas volcanoclásticas polimícticas con clastos de composición andesítica, observada en terreno de forma masiva, donde no fue posible registrar datos estructurales de estratificación. Por otra parte, se asocia esta unidad a la Formación Punta del Cobre de edad Jurásico superior – Valanginiano, específicamente a la sección intermedia correspondiente a JKpc2 (Sección intermedia Formación Punta del Cobre) compuesta por una potente serie clástica de color pardo a rojo claro formada por brechas y conglomerados de estratificación gruesa (Arévalo y Welkner, 2008). La unidad anterior es intruída por la unidad de Microdioríta observada en terreno en forma tabular como dique con textura porfídica fina y de color gris verdoso, el cual presenta leve a moderado magnetismo, el cual, según bibliografía, se asocia a cuerpos plutónicos de composición granodiorítica – diorítica – microgranítica, elongados. Presenta coloraciones grises a rosadas, de grano fino a medio y texturas equigranulares a porfídicas.

Estructuralmente se observaron dos dominios principales, el primero NNE en donde se destaca una falla de tipo dextral N30E;85SE, asociado según literatura a eventos tardíos en la evolución del sistema de falla de Atacama (Arabasz, 1971; González y Carrizo, 2000; González y Carrizo, 2003), donde este se invierte entre los 90 – 10 Ma generando desplazamiento dextral de 1,5 km, afectando grandes volúmenes de arco magmático de orientación NS y cuencas de tras-arco, principalmente marinas. Luego, se destacan los dominios secundarios correspondientes a fallas NNW – NW, las cuales son cortadas por el dominio anteriormente descrito. Algunos datos estructurales del dominio

secundario se asocian a rocas intrusivas de la unidad microdiorítica, las cuales aprovechan las zonas de debilidad y fractura, intruyendo a las secuencias ya establecidas.

La mineralogía presenta en el distrito Sositas, corresponde principalmente a magnetita masiva, la cual se encuentra en forma de cúmulos y en brechas de magnetita, hospedada en brechas volcanoclásticas de composición andesítica. Además, el yacimiento se caracteriza por el desarrollo de apatito y actinolita, asociado a alteración calco-sódica. Estos tres minerales, corresponden a la asociación más significativa en el depósito. Como mineralización de segundo orden, se observa clorita y epidota, asociado a alteración propilítica alterando cristales de plagioclasa principalmente.

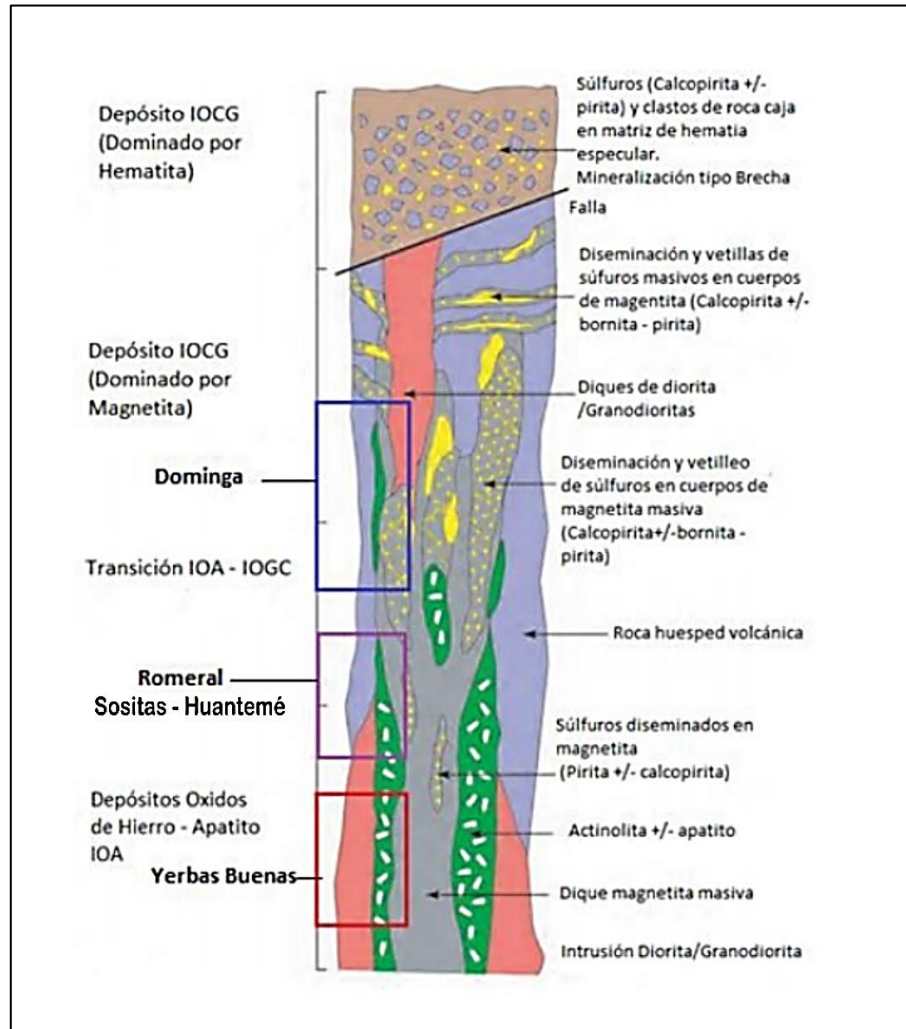
El yacimiento ferrífero Huantemé, se encuentra a unos 5 kilómetros al sur de Sositas. Ambos comparten litología principal correspondiente a Brecha Volcanoclástica de matriz andesítica, asociado a la sección intermedia de la formación Punta del Cobre Arévalo y Welkner, 2008). No se observaron diques microdioríticos en esta área de estudio, pero si un cuerpo intrusivo con abundante cuarzo y plagioclasas, descrito como Tonalita, el cuál se presenta en contacto por falla N-S ; NNE con manteo en dirección W;NW con la Unidad de brecha volcanoclástica.

Estructuralmente, se observan dominios N-S Y NNE principalmente, destacando la falla normal registrada en este trabajo, la cual se asocia a eventos de extensión relacionados al sistema de Fallas de Atacama (Arabasz, 1971; González y Carrizo, 2000; González y Carrizo, 2003), donde se facilita el ascenso de cuerpos intrusivos de composición diorítica a tonalíticas como se observaron en el estudio. Además, se asocian estructuras NE con brechas de magnetita.

Este yacimiento comparte la misma mineralogía que el distrito Sosita, agregando la presencia de alteración supergena correspondiente a Hematita – Jarosita – Goetita, producto de aguas meteóricas y mineralización expuesta en zonas someras.

Con la información bibliográfica presentada en este estudio en contraste con la información obtenida de terreno, permite inferir un yacimiento IOA tipo “El Romeral”,

en donde la roca huésped de la mineralización corresponde a rocas volcanoclásticas (Figura 5.1)



**Figura 5.1** Modelo esquemático de zonación vertical para depósitos tipo IOA-IOCG Modificado de Barra et al. (2017). El rectángulo rojo reflejaría el contexto geológico de mineralización en el depósito Yerbas Buenas hospedado en intrusivos. Más arriba en la columna se encontraría según un mismo contexto tectónico el depósito Romeral y Sositas – HuanteMé (violeta) hospedado en roca volcánica y más arriba otros depósitos importantes descritos en el área como Dominga (IOCG) en el rectángulo azul.

### **5.1.2 Patrimonio Geológico – Minero**

Patrimonialmente, se consideran ambos yacimientos dentro de una misma caracterización, debido a que en Sosita no se presenta material mueble, pero se destaca el laboreo antiguo, el cual, presenta afloramientos observables en terreno. Esto es de un valor geológico y cultural importante, ya que permite el estudio y aprendizaje de los modelos tipo IOA de estos yacimientos, potenciando el conocimiento geológico en una comunidad y a su vez potenciando la cultura minera que existió en su momento, como se describe en este trabajo.

El estado de conservación de ambos yacimientos difiere el uno del otro. Se estima que el yacimiento Sositas en cuanto a Labor minera se encuentra en mejor estado y con menos riesgos que la labor minera de Huantemé, pero esta última tiene mayor potencial para ser un destino “llamativo” y realizar geoturismo. Estos asentamientos mineros comparten accesos y caminos internos que conectan el uno al otro, permitiendo una ruta de visita, en donde se unifican los mayores potenciales de cada uno, geológico, cultural y minero.

Es en el yacimiento de Huantemé, donde existe y se mantienen infraestructuras correspondientes a viviendas, oficinas y talleres que fueron utilizados en los años que se explotaba gran parte de Sositas y Huantemé. Según Lagos.M (2019), los recursos demostrables definidos (medidos e indicados) según ley de corte de hierro sobre 30% son equivalentes a 12,7 Mt. Los recursos inferidos corresponden a 1,4 Mt. Esta información, sustenta el potencial geológico – minero de los yacimientos estudiados, los cuales generaron un aporte considerable en la economía del Valle del Huasco.

Finalmente, considerando el concepto de geopatrimonio, estos yacimientos no podrían entrar en aquella categoría, pero su valor geológico – minero – cultural es considerable, por lo que si permite ser considerados sitios geo turísticos o sitios de interés geológico y cultural.

## **5.2 Conclusiones y recomendaciones**

### **5.2.1 Conclusiones y recomendaciones Geológicas**

Las evidencias obtenidas en el presente trabajo permitieron determinar a Sositas y Huantemé como un depósito IOA, formada por cúmulos masivos de magnetita en un contexto estructural relacionado al Sistema de Fallas de Atacama.

La mineralización de hierro ocurre en vetas y cuerpos masivos tipo cúmulos de magnetita, las cuales generan brechas de magnetita hospedadas en rocas volcánicas correspondientes a brechas volcanoclásticas de composición andesítica. Esto ocurre por el emplazamiento de fluidos a través de fracturas previas, presentando, además, mineralización de actinolita, apatito, epidota y clorita.

Adicionalmente, se reconocen cuerpos intrusivos hipabisales tabulares de composición microdiorítica presente como dique y rocas intrusivas correspondientes a Tonalita.

En cuanto a la geología estructural del área de estudio, se identifican dos dominios preferentes; dominio primario correspondiente a fallas N-S; NNE y dominios secundarios con rumbos NE Y NW con variaciones de 20° a 30°. Se enfatizó en dos fallas principalmente, una en Sositas correspondiente a falla dextral y en Huantemé falla Normal. Estos sistemas permiten ser relacionados con el Sistema de Fallas de Atacama y sus correspondientes eventualidades.

Posteriormente, se confeccionan mapas geológicos con los datos obtenidos, con la finalidad de ser utilizados para el aprendizaje de la geología hacia la comunidad.

Finalmente, se recomienda hacer un mapeo estructural mayor, para entender de mejor manera la temporalidad de eventos, de esta forma generar una base más robusta en cuanto a las relaciones regionales que se pueden hacer a nivel geológico-estructural. Además, se propone hacer visitas a terreno para generar un turismo sistemático, en donde se pueda aplicar la geología directamente con la comunidad, facilitando

herramientas, movilización y geólogo guía para ir explicando las distintas características geológicas observables en la zona de estudio.

### **5.2.2 Conclusiones y recomendaciones Patrimoniales**

El patrimonio cultural de Sositas y Huantemé ha perdurado en el tiempo, a pesar de los daños que ha provocado el ser humano, en donde se aprecian infraestructuras como oficinas, viviendas y talleres mecánicos.

Entre los dos yacimientos, Huantemé mantiene mayor patrimonio mueble y cultural, debido a la historia que existe, agregando que allí, existió un “asentamiento minero” con una comunidad que por varios años trabajó el mineral de hierro para industrias que, en la época, mantenían la economía de un Valle a través del mineral de hierro.

Existen accesos que facilitan la visita a estos sectores, lo que es de gran ayuda para futuras propuestas que se generen a favor del geoturismo minero, ya que es evidente, el valor cultural, patrimonial y minero que presentan estos dos yacimientos, los que hoy están desvalorizados.

Generar estrategias de gestión del patrimonio geológicos y minero, que involucren desde la definición de rutas geológicas hasta estrategias municipales para potenciar el geoturismo es una recomendación que se genera a partir de todo lo expuesto en este trabajo.

Es de suma importancia rescatar estos sitios y debido a la importancia que tuvo para el desarrollo económico del país y para la vida de muchos lugareños del Valle del Huasco. Son lugares óptimos para desarrollar un geositio, parque interactivo o mina escuela, creando planes estratégicos para la recuperación y mantención de estos lugares en conjunto con las autoridades del Valle del Huasco, así establecer un lugar turístico y

cultural, donde entidades públicas, científicos y toda persona pueda visitar e impregnarse del patrimonio local.

Finalmente, se crea un mapa de Patrimonio Minero (Figura 5.2) con la información obtenida, esperando que pueda servir de guía y como un primer inicio para la conservación de Sositas y Huantemé, potenciando el geoturismo y entregando valor a los yacimientos históricos del Valle del Huasco.

**Estación 1:** Mirador general de la mina Sositas y comienzo de la ruta.

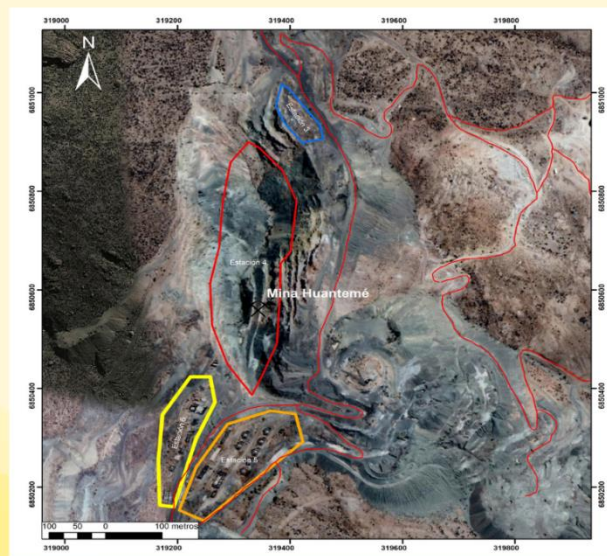
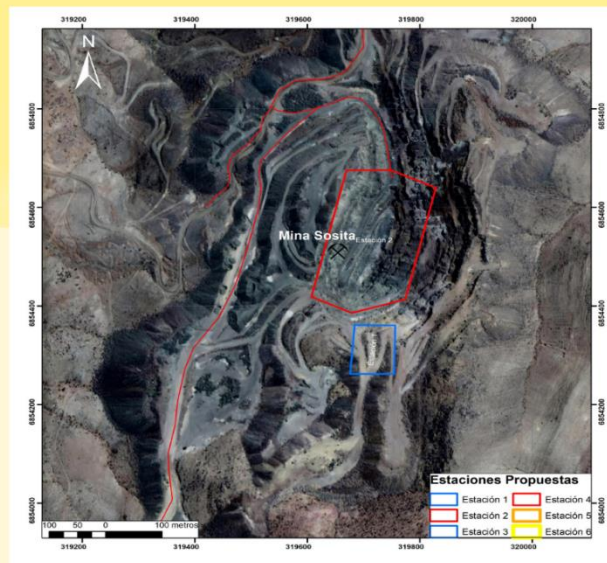
**Estación 2:** Zona de interés geológico, explicaciones in situ y propuesta de "mina escuela".

**Estación 3:** Mirador general de mina Huantomé y zona de break para los visitantes.

**Estación 4:** Zona de interés geológico en donde se observarán fallas, litologías y mineralizaciones presente con herramientas adecuadas para estas tareas (Lupa de mano, imán y rayador)

**Estación 5:** Visita sector patrimonial. Registro de viviendas y presentaciones de Posters con diferentes temáticas culturales de la zona.

**Estación 6:** Aporte cultural y turístico. Sector en donde se concluirán las observaciones y aprendizajes de la visita a terreno. Allí se pueden incluir diferentes temáticas para desarrollar al aire libre y finalizar con el grupo de visita una buena jornada.



*Figura 5.2 Mapa Minero – Cultural. Se marcan los sectores de interés para realizar visitas y generar plan de trabajo patrimonial y cultural.*

## 6 Referencias Bibliográficas

- Arabasz, W. J. (1971). Geological and Geophysical Studies of the Atacama Fault Zone in Northern Chile. Dissertation (Ph.D.), California Institute of Technology.
- Arévalo, C.; Grocott, J.; Welkner, D. (2003). The Atacama Fault System in the Huasco Province, Southern Atacama Desert, Chile. In Congreso Geológico Chileno, No. 10, CD-ROM. Concepción
- Arévalo, C.; Welkner, D. (2008). Geología del Área Carrizal Bajo-Chacritas, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 111: 67 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Arévalo, J. M. (2004). Revista de estudios extremeños. En Revista de estudios extremeños (págs. 925-956). España.
- Barra, F., Reich, M., Selby, D., Rojas, P., Simón, A., Salazar, E., & Palma, G. (2017). Unraveling the origin of the Andean IOCG clan: A Re-Os isotope approach. *Ore Geology Reviews*, 81, 62-78.
- Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Lundstrom, C.C., Gajos, N., Bindeman, I., Barra, F., Munizaga, R., (2016). Fe-O stable isotope pairs elucidate a high-temperature origin of Chilean iron oxide-apatite deposits. *Geochim. Cosmochim. Acta* 177, 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.01.009>
- Boctor, N.Z., Popp, R.K., Frantz, J.D., (1980). Mineral-solution equilibria-IV. Solubilities and the thermodynamic properties of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the system Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-HCl. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44, 1509-1518. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90115-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90115-5)
- Brilha, J. (2015). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. En *Geoheritage* (60 págs. 1-16).

- Brilha, José. (2005). Património Geológico E Geoconservação: A Conservação Da Natureza Na Sua Vertente Geológica. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/5432>.
- Carcavilla et. al. (2014). Geodiversidad y patrimonio geológico. Instituto Geológico y Minero de España. 21 p. Madrid. NIPO: 474-11-012-3. EDICIÓN PARQUES NACIONALES.
- Childress, T.M., Simon, A.C., Day, W.C., Lundstrom, C.C., Bindeman, I.N., )(2016). Iron and oxygen isotope signatures of the Pea Ridge and Pilot Knob magnetite-apatite deposits, Southeast Missouri, USA. *Econ. Geol.* 111, 2033- 2044. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.8.2033>
- Chou, I.C., Eugster, H.P., (1977). Solubility of magnetite in supercritical chloride solutions. *Am. J. Sci.* 277, 296-1314. <https://doi.org/10.2475/ajs.277.10.1296>
- Cochilco, (2021). INFORME DE MERCADO HIERRO Y ACERO - PERSPECTIVAS 2021-2022. CHILE.
- Dare, S.A.S., Barnes, S., Beaudoin, G., (2015). Did the massive magnetite “lava flows” of El Laco (Chile) form by magmatic or hydrothermal processes? New constraints from magnetite composition by LA-ICP-MS: *Miner. Deposita* 50, 607-617. <https://doi.org/10.1007/s00126-014-0560-1>
- Day, W.C., Slack, J.F., Ayuso, R.A., Seeger, C.M., (2016). Regional geologic and petrologic framework for iron oxide  $\pm$ apatite  $\pm$ rare earth element and iron oxide copper-gold deposits of the Mesoproterozoic St. Francois Mountains Terrane, Southeast Missouri, USA. *Econ. Geol.* 111, 1825-1858. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.8.1825>
- De Melo, G.H.C., Monteiro, L.V.S., Xavier, R.P., Moreto, C.P.N., Santiago, E.S.B., distribution, and possible modes of origin. In: *Economic Geology* 100<sup>th</sup>

Anniversary Volume, Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., Richards, J.P. (eds.), (371- 405).

DOWLING, R. K., & NEWSOME, D. (2006). *Geotourism*. routledge.

Dufrane, S.A., Aires, B., Santos, A.F.F., (2017). Temporal evolution of the giant Salobo IOCG deposit, Carajás Province (Brazil): constraints from paragenesis of hydrothermal alteration and U-Pb geochronology. *Miner. Deposita* 52, 709-732. <https://doi.org/10.1007/s00126-016-0693-5>

Geijer, Per, (1931). The iron ores og the Kiruna type. Stockholm, Sveriges Geologiska Undersokning, Ser. C., Avhandlingar och uppsatser, N° 367, *Arsbok* 24 (1930), N°4.

González et.al (2006). La edad de la deformación tardía del sistema de Fallas de Atacama según la datación de superficies mediante  $^{21}\text{Ne}$ . XI Congreso Geológico Chileno, 7 de agosto de 2006, Región de Antofagasta, Chile.

Gray, M. (2004). *Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.: John Wiley & Sons, Ltd.

Higgins, M. W. (1971). *Cataclastic rocks*.

Jonsson, E., Troll, V.R., Högdahl, K., Harris, C., Weis, F., Nilsson, K.P., Skelton, A., (2013). Magmatic origin of giant ‘Kiruna-type’ apatite-iron-oxide ores in Central Sweden. *Sci. Rep.* 3.

Knipping J.L., Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Barra, F., Deditius, A.P., Lundstrom, C., Bindeman, I., Munizaga, R., (2015a). Giant Kiruna-type deposits form by efficient flotation of magmatic magnetite suspensions. *Geology*, 43, 591-594. <https://doi.org/10.1130/g36650.1>

Knipping J.L., Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Barra, F., Deditius, A.P., Wälle, M., Heinrich, C.A., Holtz, F., Munizaga, R., (2015b). Trace elements in

magnetite from massive iron oxide-apatite deposits indicate a combined formation by igneous and magmatic-hydrothermal processes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 171, 15-38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.010>

Maksaev, V., Gardeweg, M., Ramírez, C.F., Zentilli, M., (1988). Aplicación de método de trazas de fisión a la datación de cuerpo de magnetita de El Laco e Incahuasi en el Altiplano de la Región de Antofagasta. Abstract V Congreso Geológico Chileno, Actas 1, B1-B23.

Ménard, J.J., (1995). Relationship between altered pyroxene diorite and the magnetite mineralization in the Chilean Iron Belt, with emphasis on the El Algarrobo iron deposits (Atacama region, Chile). *Miner. Deposita* 30, 268-274. <https://doi.org/10.1007/bf00196362>

Millán, A. (1999). *Historia de la Minerías del Hierro en Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.

N.H.S., Marschik, R., (2005). Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time

Naranjo, J.A., Henríquez, F., Nyström, J.O., (2010). Subvolcanic contact metasomatism at El Laco Volcanic complex, Central Andes. *Andean Geol.* 37, 110–120. <https://doi.org/10.4067/s0718-71062010000100005>

NARANJO, J.A.; HERVE, F.; PRIETO, X.; MUNIZAGA, F. (1984). Actividad cretácica de la Falla de Atacama al este de Chañaral: milonitización y plutonismo. *Comunicaciones*, No. 34, p. 57-66.

Naslund, H.R., Henríquez, F., Nyström, J.O., Vivallo, W., Dobbs, F.M., (2002). Magmatic iron ores and associated mineralization: Examples from the Chilean high Andes and Coastal Cordillera. In: *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, Porter, T.M. (ed.). PGC Publishing, Adelaide 2, 207-226

- Nyström, J.O., Henríquez, F., (1994). Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry. *Econ. Geol.* 89, 820-839. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.2.473>
- Pincheira, M. (1981). Geología de la mitad oriental del cuadrángulo Astillas: nuevos antecedentes de la franja ferrífera principal entre los 28°15' y 28°30' latitud sur, Chile. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile: 263 p.
- Rhodes, A.L., Oreskes, N., (1999). Oxygen Isotope composition of magnetite deposits at El Laco, Chile: Evidence of formation from isotopically heavy fluids. In: *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*, Society of Economic Geologists, Skinner, B.J. (ed.). Special Publication 7, 333-351.
- Rhodes, A.L., Oreskes, N., Sheets, S., (1999). Geology and rare earth element geochemistry of magnetite deposits at El Laco, Chile. In: *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*, Society of Economic Geologists, Skinner, B.J. (ed.). Special Publication 7, 299- 332.
- Sagredo B, R. (2012). La Industria del Hierro en Chile, Carlos Vattier. Santiago de Chile: Camara Chilena de la Construcción.}
- Salazar, D., D. Jackson, J.L. Guendon, H. Salinas, D. Morata, V. Figueroa, G. Manríquez y V. Castro (2011). Early evidence (ca. 12,000 BP) for iron oxide mining on the Pacific coast of South America. *Current Anthropology* 52:463-475.
- SEGERSTROM, K & RUIZ, C. (1962): Cuadrángulo Copiapó, Prov. De Atacama, Inst. Inv. Geol., Carta Geol. Chile. 6: 115 p.
- Sillitoe, R.H., Burrows, D.R., (2002). New field evidence bearing on the origin of the El Laco magnetite deposit, northern Chile. *Econ. Geol.* 97, 1101-1109. <https://doi.org/10.2113/97.5.1101>

- Simon, A.C., Pettke, T., Candela, P.A., Piccoli, P.M., Heinrich, C.H., (2004). Magnetite solubility and iron transport in magmatic-hydrothermal environments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 68, 4905-4914. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.05.033>
- Simon, A.C., Ripley, E.M., (2011). The role of magmatic sulfur in the formation of oredeposits. In: *Sulfur in Magmas and Melts: Its importance for natural and technical processes*, Behrens, H., Webster, J.D. (eds). *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 73, 513-578. <https://doi.org/10.2138/rmg.2011.73.16>
- Thiele, R., & Pincheira, M. (1987). Tectonica transpresiva y movimiento de desgarre en el segmento sur de la Zona de Falla Atacama, Chile. *Andean Geology*, (31), 77-94..
- Thiele, R.; Pincheira, M. (1984). Las megafallas Los Colorados-Portezuelo Tatara y La Sosita-HuanteMé, en la extensión sur de la Zona de Falla Atacama al noroeste de Vallenar. *Comunicaciones*, No. 34, p. 67-70.
- Tornos, F., Velasco, F., Hanchar, J.M., (2016). Iron-rich melts, magmatic magnetite, and superheated hydrothermal systems: The El Laco deposit, Chile. *Geology* 44, 427-430. <https://doi.org/10.1130/g37705.1>
- UNESCO (2010), *Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network (GGN)*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Valenzuela, D. A. (2017). Geopatrimonio de las unidades volcánicas y plutónicas del sector oriental del lago General Carrera: Sección, caracterización y estrategias de divulgación. Santiago de Chile.
- Velasco, F., Tornos, F., Hanchar, J.M., (2016). Immiscible iron- and silica-rich melts and magnetite geochemistry at the El Laco volcano (northern Chile): Evidence for a magmatic origin for the magnetite deposits. *Ore Geol. Rev.* 79, 346-366. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.06.007>

- Vivar, G. de 1979 [1558]. *Crónica y Relación Copiosa y Verdadera de los Reinos de Chile*. Edición de L. Sáez-Godoy. Biblioteca Iberoamericana, Berlín.
- Welkner, D.; Arévalo, C.; Godoy, E. (2006). Geología del Área Freirina-El Morado, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 100: 50 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Westhues, A., Hanchar, J.M., LeMessurier, M., Whitehouse, M.J., (2017). Evidence for hydrothermal alteration and source regions for the Kiruna iron oxide-apatite ore (northern Sweden) from zircon Hf and O isotopes. *Geology* 45, 571-574. <https://doi.org/10.1130/g38894.1>
- Williams, P.J., Barton, M.D., Johnson, D.A., Fontboté, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver, Williams-Jones, A.E., Heinrich, C.A., (2005). Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits. *Econ. Geol.* 100, 1287- 1312. <https://doi.org/10.2113/100.7.1287>
- Zajacz, Z., Candela, P.A., Piccoli, P.M., Sanchez-Valle, C., (2012). The partitioning of sulfur and chlorine between andesite melts and magmatic volatiles and the exchange coefficients of major cations. *Geochim. Cosmochim. Acta* 89, 81- 101. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.04.039>

ANEXOS

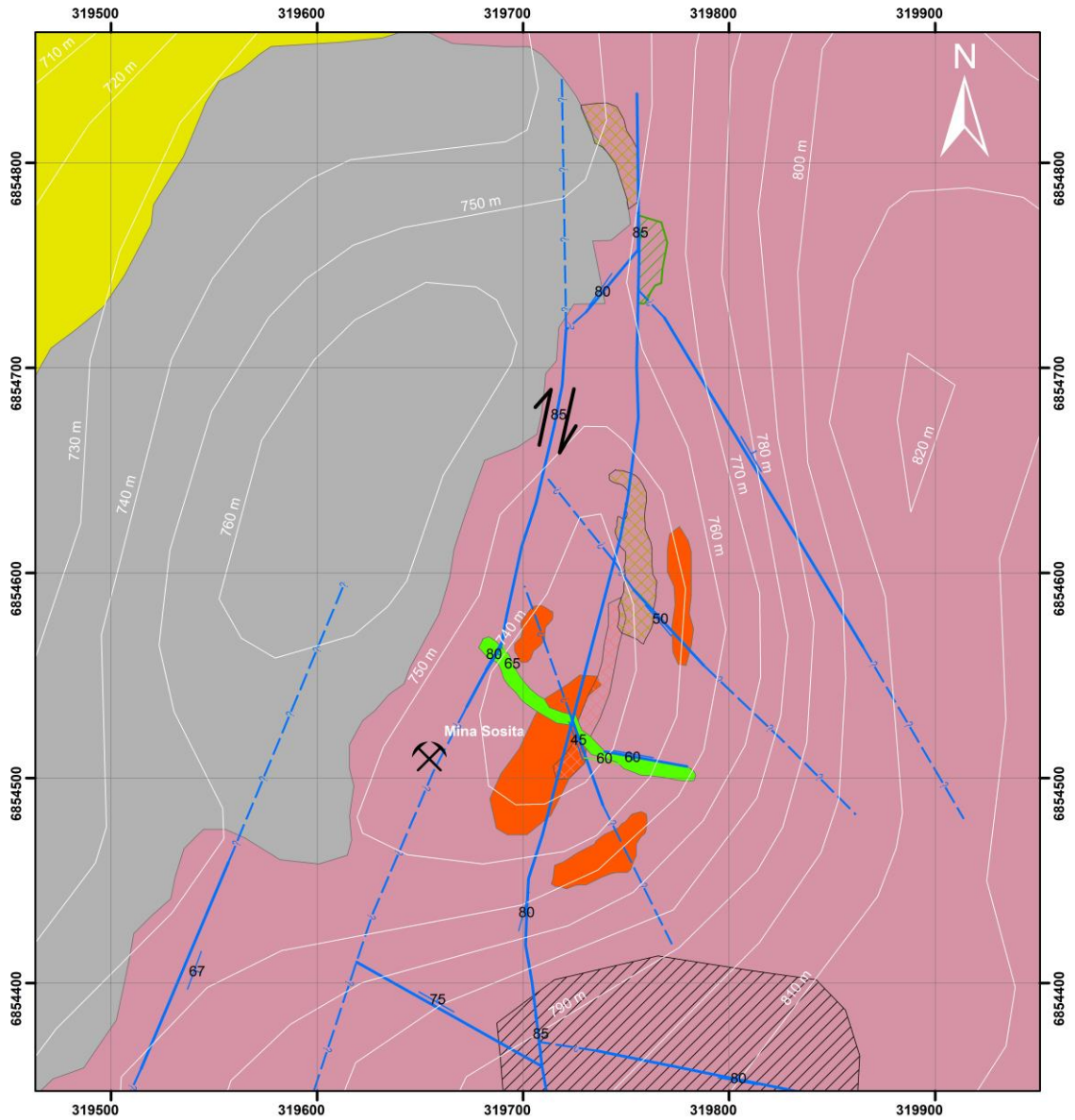
ANEXO 1 Tabla de Datos. Recopilación de información en Terreno Mina Sosita

						ESTRUCTURA 1								
SECTOR	TIPO	GP (E)	WGS 84 (N)	WGS 84 (M)	WGS 84 (U)	Lineal/ Brecha	poligonal	STRUCTURA	AZMUT	MANTENIMIENTO	TERMINACIÓN	MINERALIZACIÓN	ESTRATIGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
Sosita	1	319687.6	6854560.46			Microfracturas	MD	Falla	30	80			P2	Dique porfídico fino color gris verdoso cortando Brecha volcanoclastica gris verdosa. Falla 30/80
Sosita	2	319727	6854518.6			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	340	45		MG		Falla 340/45 que pone en contacto dique porfídico fino gris verdoso con unidad de brecha volcanoclastica gris parda con fuerte mineralización de magnetita masiva
Sosita	3	319757	6854766			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	0	85		OXCU	P3	Falla N-S/85 Cortando brecha volcanoclastica gris parda, presenta mineralización de oxidos de cobre como crisocola en Falla 35/80 que corta unidad de brecha volcanoclastica gris
Sosita	4	319738.6	6854737.18			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	35	80				Falla 10/85 presenta estrías de falla en donde se observa que el bloque oeste tiene movimiento hacia el norte y el bloque este presenta desplazamiento en dirección sur, denotando una cinemática de tipo dextral, la cual afecta a la unidad de brecha volcanoclastica gris parda
Sosita	5	319717.4	6854677.25			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	10	85				Zona con presencia de alteración calico sodica. Presenta fuerte actinolización y leve apatito. Falla 320/50 cortando brecha volcanoclastica gris parda. Se observa mineralización de magnetita masiva en sectores, y a su vez brechifitando la roca. Los clastos son polimícticos de andesita porfídica fina a media gris parda a pardo rojizas.
Sosita	6	319766.8	6854577.67			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	320	50		AP-ACT-MG-P4 - P5		Falla 100/60 que pone en contacto dique porfídico fino gris verdoso con unidad de brecha volcanoclastica pardo rojiza. Presenta leve alteración a epidiotax y volcra en los bordes del dique
Sosita	7	319753.3	6854510.2			Microfracturas	MD	Falla	100	60		EPY-CLD		Brecha volcanoclastica gris parda cortada por falla 350/85 en zona con moderada a fuerte alteración argílica con presencia de oxidos de hierro como hematita, jarosita y goethita
Sosita	8	319708.7	6854375.31			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	350	85		OXFE		Brecha volcanoclastica pardo rojiza con alteración argílica moderada a fuerte. Presenta mineralización de hematita, jarosita y goethita. Falla 280/80
Sosita	9	319804.6	6854353.51			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	280	80		OXFE		Falla 15/80 cortando brecha volcanoclastica gris parda, con leve a moderado magnetismo
Sosita	10	319701.8	6854434.5			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	15	80		MG		Brecha volcanoclastica gris parda cortada por falla 300/75
Sosita	11	319658.7	6854392.03			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	300	75				Falla 330/50 cortando brecha volcanoclastica gris parda con leve magnetismo
Sosita	12	319811.9	6854658.73			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	330	50		MG		Brecha volcanoclastica gris parda con leve a moderado magnetismo, clastos polimícticos de andesita porfídica fina a media gris parda a pardo rojiza. Falla 20/67
Sosita	13	319541.8	6854405.74			Brecha volcanoclastica	EV	Falla	20	67		MG		Dique porfídico fino gris verdoso con magnetismo moderado. Contacto por falla 280/60 con unidad de brecha volcanoclastica
Sosita	14	319739.6	6854509.6			Microfracturas	MD	Dique	280	60		MG		Dique porfídico fino gris verdoso en contacto por falla 340/65 con unidad brecha volcanoclastica
Sosita	15	319694.9	6854555.89			Microfracturas	MD	Dique	340	65				

ANEXO 2 Tabla de Datos. Recopilación de información en Terreno Mina Huantemé

Huantemé	16	319224	6850627	Tonalita	T0	Ventila	230	85		HM		Roca con 30 a 40 % de cuarzo, presenta plagioclasa y leve minerales maficos. Corresponde a una tonalita que presenta vetillas de hematita 230/65
Huantemé	17	319419.1	6850966.64	Brecha volcanoclastica	BV	Falla	350	90		MIS		brecha volcanoclastica pardo rojiza. Presenta leve a moderado magnetismo. Cortada por falla vertical 350/90
Huantemé	18	319218.3	6850638.39	Tonalita	T0	Ventila	100	80		HM	P6	Ventila de hematita 100/80 en tonalita
Huantemé	19	319406.1	6850916.98			Falla	280	80	Argilización n -	DXFE		Zona de alteración supergena con fuerte silicificación y oxidos de fierro como hematita, jarosita y goeita afectando a roca obliterada. Roca de aspecto blanquecino, cortada por falla
Huantemé	20	319228.3	6850734.13	Tonalita	T0	Falla Norma	25	45	silicificación n -			Registro cinemático con estrías de fallas verticales; en donde el bloque este presenta movimiento descendente; falla 25/45, denotando falla normal, afectando a tonalita
Huantemé	21	319318.6	6850823.91	Tonalita	T0	Contacto	200	80		MIS		Contacto por falla 200/80 entre tonalita al oeste y brecha volcanoclastica al este. La brecha volcanoclastica presente leve a moderado magnetismo
Huantemé	22	319353.2	6850553.49	Brecha volcanoclastica	BV	Falla	50	90				Falla 50/90 afectando a brecha volcanoclastica pardo rojiza
Huantemé	23	319360.9	6850586.15	Brecha volcanoclastica	BV	Falla	55	85		MIS		Falla 55/65 cortando brecha volcanoclastica pardo rojiza con leve a moderado magnetismo
Huantemé	24	319372.9	6850627.59	Brecha volcanoclastica	BV	Falla	15	85	Argilización n -	MS-HM-GO,JA		Brecha volcanoclastica gris parda, cortada por falla 15/85 que a metros se observa magnetita masiva, cercano a zona de alteración supergena con hematita, jarosita y goeita leve.
Huantemé	25	319438.3	6850686.56			Falla	350	80	Argilización n -	HM-JA-GO		Zona de alteración supergena con silicificación y argilización. Presenta hematita, jarosita y goeita; Falla corta la roca obliterada 350/80
Huantemé	26	319936.8	6850394.1	Brecha volcanoclastica	BV	stratificació	15	32	silicificación			Brecha volcanoclastica pardo rojiza. Estratificación 15/32
Huantemé	27	319785.8	6850688.42	Brecha volcanoclastica	BV	stratificació	10	35				Brecha volcanoclastica pardo rojiza. Estratificación 10/35

### ANEXO 3 Mapa Geológico yacimiento Sositas Escala 1: 2.500



**Leyenda**

- Microdiorita Porfídica Fina
- Depositos Coluviales
- Botadero
- Brecha Volcanoclastica de composición Andesítica

- Mineralización Oxidos de Cu
- Actinolita 90% - Apatito 10%
- Apatito 60% - Actinolita 40%

- Alteración Argílica
- Magnetita Masiva

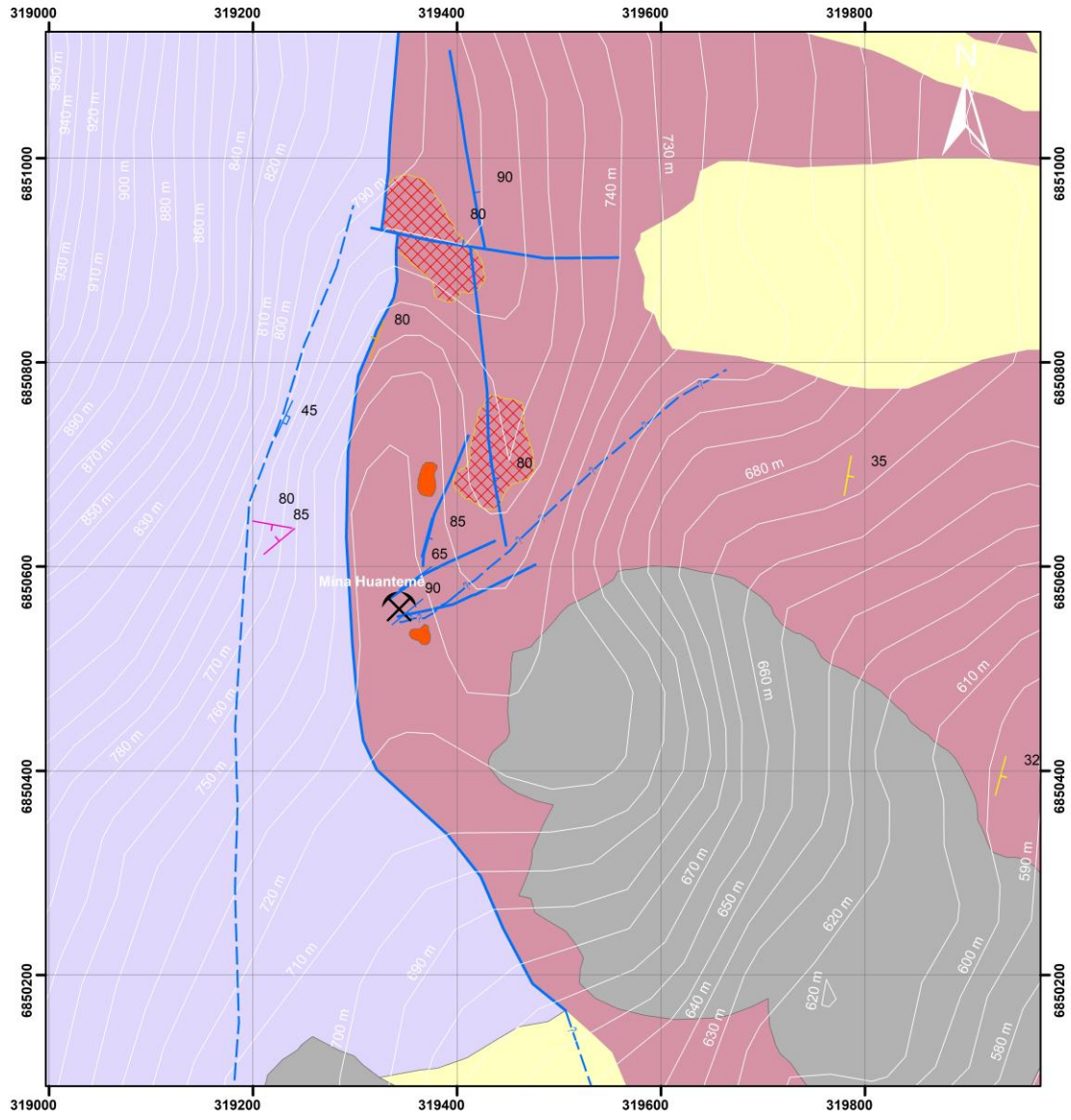
**Estructura**

- Dique
- Falla
- Falla Dextral

1:2.500



## ANEXO 4 Mapa Geológico yacimiento Huantemé escala 1:5.000



### Legenda

- Botadero
- Depositos Aluviales
- Brecha Volcanoclastica de composición Andesitica
- Tonalita
- Magnetita Masiva
- Alteración Supergena

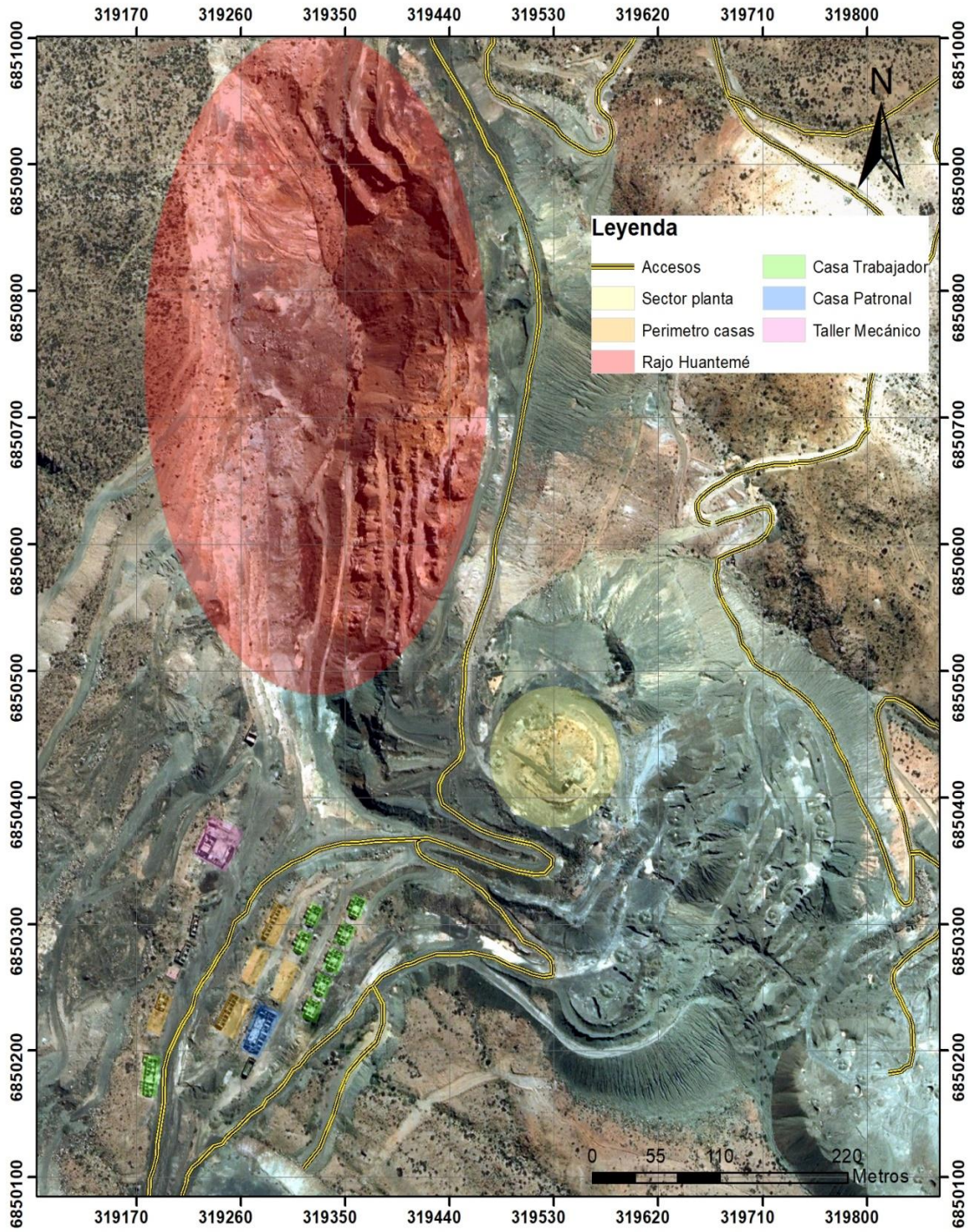
### Estructuras

- Contacto
- Estratificación
- Falla
- Falla Normal
- Falla Inerida
- Falla
- Falla Normal
- Vetilla

1:5.000



# ANEXO 5 Mapa Minero - Cultural



1:4.000