

Caracterización, temporalidad y distribución de las vetillas en el depósito tipo pórfido Cu-Mo Warintza Central-Este, suroriente ecuatoriano

Characterization, temporality, and distribution of veinlets in the Cu-Mo Warintza Central-East porphyry deposit, southeastern Ecuador

José Añazco¹, Jorge Fierro², Carolina de las Mercedes Núñez², Miguel Pérez²

¹ Universidad Católica del Norte, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, Programa de Magister en Geología Económica: Mención Exploración Minera. Antofagasta – Chile. E – mail: jose.anazco93@gmail.com.

² Lowell Mineral Exploration. Morona Santiago – Ecuador. E – mail: jorge.fierro@lowellmineral.com, carolina.nunez@lowellmineral.com, miguel.perez@lowellmineral.com.

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 06-07-2023

Fecha de aceptación: 29-09-2023

Resumen

En el suroriente ecuatoriano se encuentra el clúster denominado Warintza, el cual está dividido en cinco targets: Warintza West, Warintza Central, Warintza Este, Warintza Sur y El Trinche, definidos por anomalías de suelos de Cu (>400ppm) Y Mo (>30ppm). Este estudio se realizó en los targets Warintza Central y Warintza Este, ambos se encuentran en una etapa de exploración inicial y tienen un recurso inferido/indicado de 1,5Bt @ 0,5 % de cobre equivalente (CuEq). La información acerca de los tipos, temporalidad y distribución espacial de las vetillas obtenida a partir del mapeo geológico de sondajes resulta ambigua y poco documentada. Por este motivo, el propósito del presente estudio fue ordenar y recopilar la información de la paragénesis mineral, relaciones de corte entre vetillas, caracterización macroscópica de cada tipo de vetillas y el porcentaje volumétrico de cada tipo y subtipo de vetillas presentes en el depósito por medio del mapeo geológico de sondajes, un análisis estadístico de la distribución de los porcentajes volumétricos de cada tipo de vetillas, sus medidas de tendencia central y dispersión; y, la definición de los valores umbrales del porcentaje de cada tipo de vetilla para modelarlos y generar de una sección maestra o tipo, que represente la relación espacial entre los valores por sobre el umbral estadístico de las vetillas, los valores de Cu mayores a 0,3 % y la información geológica-estructural. Se obtuvieron diez tipos de vetillas en Warintza y se las clasificó de acuerdo con su relación temporal, en vetillas: pre-pórfido con las vetillas tipo skarn; tempranas, vetillas tipo Eb (biotita temprana), EDM (micas

verdes, pirita y calcopirita), Fk-Py (feldespato potásico y pirita) y las tipo A de cuarzo con algo de pirita/calcopirita; vetillas transicionales, vetillas tipo B de cuarzo con molibdenita, pirita y calcopirita, vetillas tipo C de calcopirita y pirita con halo de sericita verde, vetillas de pirrotina; y vetillas tardías, las cuales son vetillas tipo D de pirita con halo de sericita blanca tipo D y vetillas D tardías de calcita-yeso con halos de sericita y kaolinita.

Palabras clave: Distribución espacial, paragénesis, pórfido, temporalidad, vetillas.

Abstract

The cluster called Warintza is located in the southeastern part of Ecuador, it is divided into five targets: Warintza West, Warintza Central, Warintza East, Warintza South and El Trinche, defined by Cu (>400ppm) and Mo (>30ppm) soil anomalies. This study was done in Warintza Central and Warintza East targets, both are in initial exploration stage and have inferred/indicated resource of 1,5Bt @ 0,5 % of equivalent copper (CuEq). The information about the type, temporality, and spatial distribution of the veinlets obtained in the geological drillcore mapping is ambiguous and poorly documented. For this reason, the goal of this study was to order, and compile the information about mineral paragenesis, veinlets cut relationship, macroscopic characterization of each type of veinlets, and the volumetric percent of each type and subtype of veinlets in the deposit, obtained during geological drillcore mapping; statistical analysis

of the distribution of the volumetric percent of veinlets was done taking in count their measures of central tendency and dispersion; and, the definition of the threshold value for the percent of each type of veinlet, the thresholds were used for modelling them and generate a longitudinal section, which represents the spatial relationship among the threshold value of veinlets, Cu values greater than 0,3% and the geological-structural information. Ten types of veinlets were defined and they were classified according to their temporal relation in: pre-porphry skarn veinlets, early veinlets: Eb type (early biotite), EDM (green dark micas, pyrite and chalcopyrite), Fk-Py (Kspar and pyrite) and “A” type veins composed of quartz with a few quantities of pyrite/chalcopyrite; transitional veinlets, “B” type veins of quartz with molybdenite, pyrite and chalcopyrite, “C” type veins of chalcopyrite and pyrite with green sericite halo, pyrrhotite veins; and late veins, which are “D” type veins of pyrite with white sericite halo and late D type veins composed of calcite-gypsum with kaolinite and sericite halos.

Keywords: Spatial distribution, Paragenesis, porphyry, temporality, veinlets.

1. INTRODUCCIÓN

Los pórfidos cupríferos corresponden a una de las fuentes principales de Cu y Mo en el mundo [1], elementos que son de suma importancia hacia una economía más verde y amigable con el medio ambiente [2]. Los pórfidos cupríferos se forman en márgenes tectónicos convergentes (como el caso del margen ecuatoriano) a partir de fluidos hidrotermales derivados de magmas hidratados [3] emplazados en la corteza superior [4]. Este tipo de depósitos pueden estar ligados en espacio y tiempo a otros depósitos tales como: Skarn, reemplazo de carbonatos, VMS, estrato-ligados, entre otros [5].

La particularidad de estos depósitos es que, la mena de Cu, Mo y Au está asociada a cuerpos tabulares relativamente rectos o sinuosos que van desde milímetros hasta centímetros, pudiendo llegar a tener decímetros, conocidos como vetillas [6]. El depósito El Salvador en Chile, fue objeto del primer estudio de los tipos de vetillas, su temporalidad, distribución y relación con la mineralización, realizado por Gustafson et al., [6]. Posteriormente, varios autores [5], [7], [8], [9]; han

descrito las vetillas en varios depósitos tipo pórfido cuprífero, sin embargo, éstas varían según el depósito tanto en su mineralogía, relaciones de corte y distribución espacial; por lo tanto, es de suma importancia que cada depósito tenga una descripción detallada de las vetillas existentes que permitan explicar los contenidos metálicos en el área de estudio y por consiguiente, funcionar como un modelo a seguir para encontrar otros depósitos asociados.

El *clúster* Warintza se halla ubicado en el suroeste ecuatoriano, en la franja metalogénica Jurásica, la cual comprende depósitos tipo pórfido Cu-Mo tales como: San Carlos, Panantza, San Luis, Mirador y epitermales de baja sulfuración como Fruta del Norte [10] (Fig. 1).

Warintza comprende cinco *targets*: Warintza West, Warintza Central, Warintza Este, Warintza Sur y El Trinche (Fig. A1). Cada uno de estos objetivos de exploración ha sido definido por las anomalías de suelos. El umbral anómalo para Cu fue de 400ppm y para Mo de 30ppm. El presente estudio se enfoca en los depósitos Warintza Central y Warintza Este, ya que son los *targets* con mayor cantidad de datos de porcentajes de vetillas, obtenidos a partir del mapeo geológico de sondajes. Los depósitos Warintza Central y Este comprenden aproximadamente 1,5Bt @ 0,5 % CuEq en la categoría de recursos indicados e inferidos [11].

En Warintza, la información acerca de la clasificación, temporalidad y distribución de vetillas y su relación con la mineralización, no ha sido integrada y ha sido poco estudiada con un nivel de detalle que permita replicar estos estudios en otros proyectos de la compañía.

Por estos motivos, el presente estudio busca proporcionar a la geología de exploración, un estudio detallado de los tipos de vetillas, la paragénesis, distribución espacio-temporal y la relación con las leyes de Cu principalmente, presentes en el depósito porfídico Warintza Central-Este; que pueda servir como guía de exploración de estos depósitos tanto en los cinturones metalogénicos vecinos, como en aquellas áreas metalogénicas lejanas.

Las secciones maestras con la distribución de las vetillas, su relación con la mineralización y la matriz propuesta para clasificar las vetillas, permitirán conocer una parte de la evolución del depósito porfídico Warintza Central-Este, posibles paleo caminos del fluido y ayudar al entendimiento de los sistemas magmático-hidrotermales en el área.

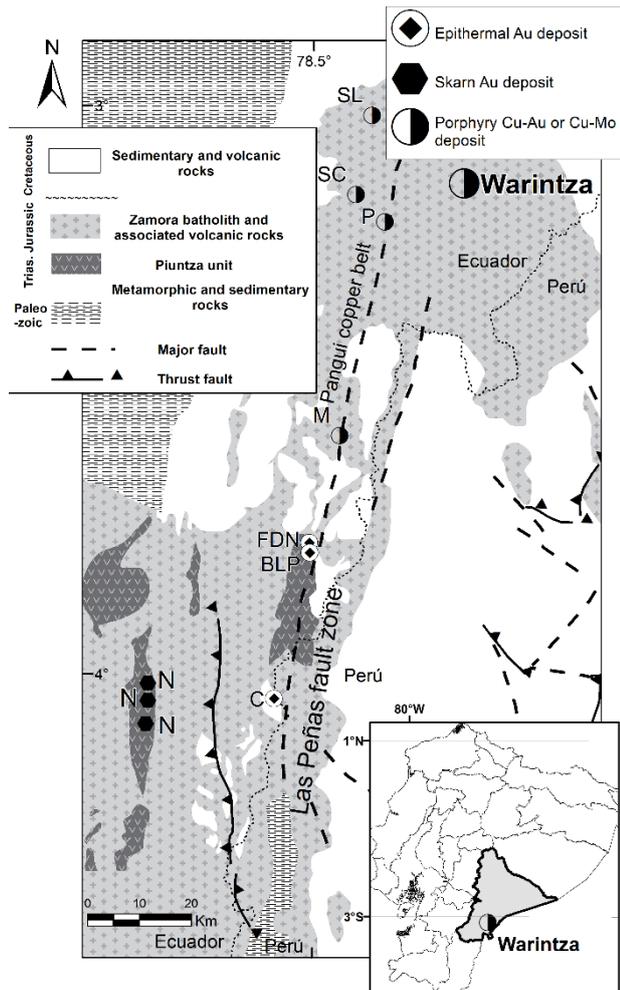


Figura 1: Ubicación regional del depósito Warintza. Las abreviaciones corresponden a BLP: Bonza-Las Peñas, C: Chinapintza, FDN: Fruta del Norte, M: mirador, N: Nambija, P: Panantza, SC: San Carlos y SL: San Luis. Modificado de Leary S., Sillitoe R.H., Stewart P.W., Roa K.J., Nicolson, B.E. (2016).

Contexto geológico

El *clúster* Warintza está conformado principalmente por rocas sedimentarias no clásticas y en menor proporción rocas clásticas, así como también, rocas volcánicas de composición andesítica e intrusivos que varían en composición desde rocas básicas hasta ácidas y que también varían en su textura y geometría. Las rocas sedimentarias se encuentran en la zona NE del *clúster* (Ver Fig. A1) y de manera puntual han sido observadas cerca de Warintza Sur y al oriente de Warintza Este. En general, son calizas de color negro algo bituminosas y grafitosas cerca a zonas de cizalla, se han observado esporádicos restos fósiles de moluscos y pirita (Py) [12] diseminada-framboidal autógena. Las areniscas son de grano fino de color negro y algunos ejemplares de los sondeos reaccionan con ácido clorhídrico, indicando que probablemente hay margas dentro de la secuencia (Fig. A1). En la zona NE y ocasionalmente en los sondeos, estas rocas se han observado metamorfizadas a hornfels, mármoles y skarn. Las rocas sedimentarias no se encuentran deformadas y tanto en afloramientos como en sondeos, tienen una disposición subhorizontal.

Las rocas volcánicas se encuentran en la zona oriental y sur del *clúster* Warintza, comprenden andesitas basálticas porfíricas melanocráticas y ocasionalmente tobas de cristales de composición andesítica de grano medio. Cerca de los intrusivos estas rocas son completamente afaníticas producto de metamorfismo de contacto y en algunos sondeos se han observado skarnificadas con minerales como granate (Grt) pardo-rojizos, magnetita (Mag), epidota (Ep), albita (Ab), clinopiroxenos (Cpx) color verde, actinolita (Act) y clorita (Chl).

Las rocas intrusivas ocupan la mayor parte del *clúster* Warintza, algunas son equigranulares (Diorita, cuarzo-monzodiorita, Granodiorita) y otras son de textura seriada-porfídica (Pórfido diorítico, andesítico, interminerales y pórfidos tardíos).

La Diorita se encuentra en Warintza West, Warintza Central, El Trinche y hacia el sur de este último. Es una roca melano-mesocrática, de textura equigranular, subidiomórfica de grano grueso. Los minerales principales son plagioclasa (Pl) y minerales máficos, estos últimos no suelen ser distinguibles, ya que se encuentran casi en su totalidad alterados a biotita (Bt) secundaria. Como minerales accesorios aparece el cuarzo (Qz) y Mag. De acuerdo con lo observado en los sondeos de Warintza Central (Ver Fig. A2), se comporta como roca de caja.

La unidad cuarzo-monzodiorita ocupa una porción importante en Warintza West y Central, pero también ha sido reconocida como cuerpos más pequeños y aislados al sur de El Trinche, en Warintza Sur y al NE de Warintza Central (Fig. A2). Se trata de una roca leucocrática de textura equigranular, aunque en algunos ejemplares de los sondeos de Warintza Central, se la ha observado con textura seriada, subidiomórfica de grano medio. Su mineralogía principal es Pl, Qz, y feldespato potásico (Kfs), debido a una fuerte alteración hidrotermal sericitica, no existen relictos de minerales máficos observables. Los sondeos en Warintza Central sugieren que es una roca de caja y no se ha observado un contacto neto con Diorita, más bien, se trata de un contacto gradual.

El pórfido diorítico no aflora y solo ha sido interceptado en sondeos, principalmente en Warintza Este (Ver Fig. A2). Es una roca mesocrática de textura seriada alotromórfica de grano medio. Los minerales principales son Pl, Hornblenda (Hbl) y como accesorio ojos de Qz (< 1 %), los máficos se encuentran casi en su totalidad alterados a Bt secundaria, aunque a veces si se puede reconocer los relictos del mineral original. En los sondeos se ha observado cortando a rocas volcánicas (Ver Fig. A2), pero no se ha evidenciado truncamiento de vetillas, por lo que se considera una roca huésped.

El pórfido andesítico se encuentra en la zona de Warintza Este, Warintza Sur y en la transición hacia Warintza Central (Ver Fig. A2) se la ha observado en sondeos, sin

expresiones en superficie. Comprende una serie de rocas melanocráticas que van desde pórfidos andesíticos de textura seriada alotromórfica de grano medio, microdioritas de textura equigranular alotromórfica de grano fino y andesitas vesiculares afaníticas de grano fino. Los minerales principales son Pl y en algunos ejemplares se ha podido observar Hbl y como accesorio Cpx. Esta unidad corta a rocas volcánicas, al pórfido diorítico y tiene relación mutua de corte con los pórfidos interminerales. En los sondajes de Warintza Este se ha podido observar al pórfido andesítico truncando vetillas de Qz hospedadas en pórfidos interminerales y también vetillas de Qz hospedadas en el pórfido andesítico truncadas en los contactos con pórfidos interminerales, sugiriendo un tiempo relativo de intrusión intermineral (Ver Fig. A2).

Los pórfidos interminerales afloran como cuerpos irregulares en casi todos los *targets* del *clúster* (Fig. A1). Han sido agrupados debido a que no ha sido evidente la relación de corte entre ellos y también porque resulta complicado seguir la continuidad de cada uno de los pórfidos en profundidad. Los pórfidos interminerales tienen composiciones andesíticas, dioríticas, cuarzo-dioríticas, dacíticas, tonalíticas, riódacíticas y riolíticas. Son rocas de textura seriada y al estar agrupados su mineralogía es variable, sin embargo, la mayoría están compuestos por Pl, ojos de Qz, a veces Kfs, Hbl, Bt y como accesorio Mag, Cpx. Estos pórfidos cortan las rocas de caja y truncan sus vetillas, en ocasiones se han observado clastos de vetillas de Qz “flotando” en la matriz de estos diques, en algunos contactos entre los diques y las rocas huésped se han observado bandas paralelas de Qz con textura tipo “peine” con crecimientos de Qz en forma de punta conocidas como *Unidirectional Solidification Textures (UST)* [13], estas texturas son indicadores de magmas ricos en volátiles con la capacidad de exsolver fluidos hidrotermales capaces de formar pórfidos cupríferos [2].

La Granodiorita aflora en la zona Occidental de Warintza Central y el límite oriental de Warintza West (Fig. A1). Es una roca meso-leucocrática equigranular, idiomórfica de grano grueso. Los minerales principales son Pl, Qz, Hbl, Kfs y como accesorios Bt, Mag y titanita (Ttn), los minerales máficos presentan un débil reemplazo a Bt secundaria. La Granodiorita corta a Diorita y cuarzo-monzodiorita, se ha observado cortando y cortada por pórfidos interminerales, por lo tanto, su tiempo relativo de intrusión es intermineral, además, esta unidad también tiene evidencias de *UST*.

Los pórfidos tardíos son de composición andesítica y dacítica, no tienen clara evidencia superficial, pero en los sondajes si han sido interceptados (Ver Fig. A2). Son rocas meso-leucocráticas de textura porfídica subidiomórfica de grano medio. Su mineralogía es Pl, Qz, Hbl y Cpx. Estos diques cortan a todas las unidades descritas anteriormente.

Las brechas existentes en el *clúster* Warintza van desde brechas hidrotermales que afloran principalmente en Warintza West (Ver Fig. A1), son brechas policimáticas con matriz Qz-sericita (Ser), clastos de rocas intrusivas equigranulares en su mayoría y en menor cantidad pórfidos. La zona sur de El Trinche tiene cuerpos elongados de brechas intrusivas de matriz diorita-cuarzodiorita, generalmente son monomíticas y tienen clastos de Diorita, cuarzo-monzodiorita, rocas volcánicas y pórfidos andesíticos dependiendo la litología aledaña.

En Warintza Este las brechas magmato-hidrotermales tienen matriz ígnea, la composición de ésta varía entre cuarzo-diorita, dacita, diorita o riódacita y suelen también tener Act, Ser, Chl, Mag o Bt como matriz. Los clastos son de rocas volcánicas, sedimentarias de manera puntual, pórfido andesítico, pórfido diorítico, ocasionalmente pórfidos interminerales y también clastos de vetillas de Qz que son muy comunes en esta unidad. Estas brechas están cortadas tanto su matriz y clastos por nuevas vetillas de Qz, lo cual indica un tiempo de formación intermineral.

Las estructuras en Warintza han sido definidas como inferidas, ya que cuentan con escasos datos; el modelo estructural se encontraba en desarrollo al momento de realizar el presente documento. Sin embargo, con los datos obtenidos se han podido definir seis estructuras principales. El sistema dominante es el NNW-SSE con buzamiento fuertes (60°-80°) hacia el Este, existen estructuras verticales W-E, fallas NW-SE con buzamiento bajo de 40° hacia el NE y una falla menor NE-SW con buzamiento de 55° hacia el SE (Fig. A1). La cinemática y cronología de las estructuras es aún desconocida, razón por la cual no se han podido determinar desplazamientos de las unidades geológicas ni relaciones de corte entre las estructuras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización y temporalidad de las vetillas se utilizaron las observaciones directas de los testigos de roca. La paragénesis se ha determinado en base al mapeo geológico de sondajes y procurando que las vetillas no hayan sufrido procesos de reapertura o reutilización, para evitar ambigüedades, así mismo, en tramos puntuales de los testigos se han observado las relaciones de corte entre los tipos de vetillas, para establecer su temporalidad relativa.

Para cuantificar las vetillas, se determinaron los porcentajes de los volúmenes de cada una de ellas, tomando en cuenta como límite, los soportes geológicos naturales, es decir los quiebres o cambios litológicos, de alteración y/o mineralización. Para su medida se tomaron los espesores aparentes respecto al eje del sondaje y una vez que el testigo de roca haya sido cortado en dos partes. El porcentaje total de cada tipo de vetilla comprendido en un soporte geológico natural está dado por la ecuación

(1):

$$V = \frac{TV}{H-D} \times 100 \quad (1)$$

Donde V es el tipo de vetilla a obtener su porcentaje, TV representa el total de medida de los espesores aparentes (puede ser en centímetros o milímetros) dentro del soporte natural geológico, el cual tiene un Desde, representado por la letra D y un Hasta, representado por H ; la resta de estos proporcionará el total de la medida (en la misma unidad que se midió TV) del soporte natural geológico y se multiplica por 100 para obtener un resultado final en porcentaje.

Para obtener los porcentajes de cada uno de los tipos de vetilla en Warintza Central, se utilizaron 37 sondajes, sumando un total de 31 000 metros; mientras que para obtener los porcentajes de cada uno de los tipos de vetilla en el *target* Warintza Este, se usaron seis sondajes dando un total de 5700 metros aproximadamente.

Una vez obtenidos los porcentajes de cada uno de los tipos de vetilla, estos datos fueron tabulados y se generaron histogramas de frecuencia para cada tipo de vetilla por cada uno de los *targets*. Se analizaron también medidas de tendencia central como media y mediana; y, de dispersión como la desviación estándar. Se obtuvieron también los cuartiles de la distribución de los datos de cada tipo de vetilla, según cada depósito (Warintza Central y Warintza Este).

Se tomó al cuartil tres (Q3) como el umbral para definir a los valores de volumen de vetillas como altos, esto debido a que el cuartil tres representa la media más una desviación estándar de una distribución de datos. Aquellos valores por sobre el cuartil 3 representan las cantidades más altas de vetillas (expresadas en porcentaje) ya que el objetivo del estudio es conocer en qué lugares se encuentran la mayor cantidad de vetillas. Por otra parte, este valor umbral tiene los suficientes datos obtenidos en los sondajes que permitan modelar los valores altos y representarlos mediante polígonos o sólidos y que puedan ser comparados con otras variables. El modelamiento del conjunto de datos altos del porcentaje de vetillas se realizó en el software Leapfrog 2023.1 utilizando la interpolación tipo *Radial Basis Functions* (RBF) propia del programa, para generar la envolvente que agrupe los valores que están por sobre el Q3; este método es global y permite generar superficies suavizadas, ya que procura pegarse a los datos utilizados para la generación de la superficie [14].

El modelamiento de los datos de Cu, se lo realizó en Leapfrog 2023.1 y de igual manera se realizó utilizando el algoritmo RBF de interpolación. Algunos proyectos de exploración de pórfidos cupríferos, por ejemplo, Alpala en Ecuador, han utilizado una ley de corte de 0,2 % de Cu [15] para modelar los datos de Cu en envolventes que agrupan valores similares, estas envolventes son

conocidas como isovalores o *isoshell* en inglés. El valor umbral para generar el sólido en el *target* Warintza Central y Warintza Este, fue de 0,3 % de Cu, porque este valor fue el usado como ley de corte en el reporte de recursos del proyecto Warintza publicado en el año 2022 [11].

Con la ayuda de Leapfrog y de Target for ArcMap 2021.2 se realizó la sección tipo o maestra la cual fue hecha de tal manera que procure cortar la mayor cantidad de datos de valores de Cu, litología, porcentajes de vetillas y estructuras en los sondajes de Warintza Central y Warintza Este, para lograr esto, se realizó una sección vertical longitudinal casi WE (88° de azimut) mirando hacia el norte, con una tolerancia hacia el norte y sur de 60 metros (Ver Fig. A1). Esta sección fue confeccionada con el fin de integrar y comparar los sólidos de los valores altos de cada tipo de vetillas, el sólido de los valores altos de Cu y la información geológica-estructural.

3. RESULTADOS

3.1 Tipos de vetillas

Se han definido diez tipos de vetillas en los depósitos Warintza Central y Warintza Este, la nomenclatura utilizada es la misma que utilizaron en El Salvador [6] y algunas vetillas tales como las *Early Dark Micaceous* (EDM) descritas en Butte por [16], [17], [18]; tomado de [5], otras han sido nombradas de acuerdo con la mineralogía característica. Existen vetillas que presentan variedades de paragénesis mineral (Ver Fig. A3), pero que preservan la relación de corte con otras vetillas, estas vetillas se las han denominado “subtipo”.

A pesar de no ser parte de los tipos de vetillas, sino como texturas, las *Unidirectional Solidification Textures* (UST) y las cavidades mirolíticas presentes en el depósito, también han sido descritas.

De manera general, las vetillas pueden clasificarse según su mineralogía, forma, espesor aparente, alteración y ambiente geológico asociado y/o también de acuerdo con su edad relativa de formación. A continuación, se describirán las vetillas de acuerdo con su edad relativa de formación y en la Tabla A1 se muestra una matriz detallada de cada tipo y subtipo de vetillas presentes en los *targets* Warintza Central-Este, además, la edad relativa se ha definido según la relación de corte entre vetillas ya que, al momento no se cuenta con datos de las edades isotópicas de las vetillas ni de la mineralización.

3.1.1 Vetillas pre-pórfido

Corresponden a vetillas tipo skarn (Ver Fig. A3a), son rectas con espesores entre 1mm hasta 30mm-40mm, aparecen en zonas distales relacionadas con eventos de skarnificación. Su mineralogía característica es Grt de color café rojizo, Cpx color verde, Mag, Ep, Chl, Act y Ab. Suelen contener algo de Py y no están relacionadas con mineralización de Cu o Mo.

3.1.2 Vetillas tempranas

Tal como se mencionó anteriormente, las UST (Ver Fig. A3b) y cavidades miarolíticas rellenas no son vetillas como tal, pero se han descrito. Las UST se presentan como pseudo rellenos, pseudo vetillas o parches de cuarzo de espesores variables, pueden tener desde 1mm hasta 50mm de espesor, son de color gris a gris azulado, la abundancia es variable según el intrusivo que las alberga. Suelen no estar ligadas a mineralización, aunque se las ha observado siendo reutilizadas por otras vetillas, aportando algo de Py, Ccp y/o Mol.

Las cavidades miarolíticas suelen ser rellenos o parches de Qz, Ab o Kfs, Ep y Mag. Suelen tener Ccp o Py en sus rellenos, en cantidades menores. Tanto las cavidades miarolíticas como las UST son tempranas y formadas dentro o cerca de la cúpula de los intrusivos que las forman y las hospedan.

Las vetillas *per sé* inician con las *Early Biotite* (Eb), vetillas semi rectas a sinuosas de 1mm hasta 5mm, cuya forma son “hilos” de Bt (Ver Fig. A3c). Esporádicamente suele contener Piritita discontinua y carece de mineralización asociada a Cu o Mo.

Posteriormente se encuentra una gama de vetillas de halo de Ser de color verde oscuro, similares a las denominadas por [8] como T4; Early Halo Veins por [19] o EDM (Early Dark Micaceous) por [16], [17], [18]; tomando de [5]. Para efectos prácticos en Warintza también se las han denominado como EDM (Ver Fig. A3d) y corresponden a vetillas rectas a semi rectas que van desde 1mm y pueden llegar a tener 20mm a 30mm; contienen varios subtipos de vetillas de acuerdo con su mineralogía, la misma que es dominada por micas de color verde oscuro, Bt, Qz, Ab, Kfs, Chl, Anhidrita (Anh) y Andalucita (And). Su amplia mineralogía las diferencia de las vetillas tipo Eb, a pesar de que ambas contengan micas oscuras. En Warintza Central estas vetillas son portadoras de al menos un 35 % de Ccp y un 10 % de Py, de hecho, la relación Ccp:Py de las vetillas EDM en Warintza Central está zonada, con *ratios* altos tanto en las zonas centrales como en las periferias de los pórfidos interminerales y *ratios* bajos a medida que se aleja de los mismos. Este tipo de vetillas tiene cantidades menores a 2 % de Mol y se han observado trazas esporádicas de Bornita (Bn). En Warintza Este se ha observado que las vetillas tipo EDM son fundamentalmente ricas en Py y no están asociadas a cantidades importantes de mineralización de Cu.

En Warintza Central se han identificado vetillas rectas que oscilan entre los 20mm hasta 50mm con sutura de Py y halos de Kfs, que dada su mineralogía se las ha denominado vetillas tipo Fk-Py (Fig. A3e). Son ricas en Py y carecen de minerales de Cu o Mo. No se las ha identificado en Warintza Este.

Las últimas vetillas agrupadas como tempranas

corresponden a vetillas tipo A (Ver Fig. A3f) que constan de Qz sacaroidal o azucarado, son rectas a sinuosas cuyos espesores pueden oscilar desde 1mm y llegar hasta 100mm. En Warintza Central son fundamentalmente de Qz sin sutura central con Py, Ccp en trazas y esporádicamente Mol. En Warintza Este existen ejemplares de este tipo de vetillas con la particularidad de tener abundante Ccp. Las vetillas tipo A, a pesar de su sinuosidad, carecen de cuarzo con textura tipo “peine” o “dientes” de cuarzo que estén orientados y paralelos, tal como sucede en las UST (Ver Fig. A3b y A3f). En Warintza Este, las vetillas tipo A, pueden llegar a estar asociadas a leyes importantes de Cu, pero en Warintza Central se asocian con leyes bajas de Cu y Mo.

3.1.3 Vetillas transicionales

En esta temporalidad se hallan las vetillas tipo B (Fig. A3g) y sus subtipos. Corresponden a vetillas rectas que oscilan entre 1mm y pueden llegar a tener centenas de milímetros. Son de Qz sacaroidal y pueden estar acompañadas de Anh, Mag y ocasionalmente halos de Kfs, tienen sutura central ampliamente desarrollada, pero la gran mayoría de veces está rellena de sulfuros, principalmente Py o Mol. Son las principales hospedantes de Mol, la cual se presenta en este tipo de vetillas en las paredes de Qz, como “hilos” o *stringers* finos de espesores menores a 1mm y relleno la sutura central del Qz. En Warintza Central acarrear cantidades menores de Ccp, pero abundante Py (una relación 1:9); mientras que, en Warintza Este si se ha observado vetillas tipo B con cantidades considerables de Ccp y Py (una relación 3:7) y Mol.

Otras vetillas transicionales son las vetillas tipo C (Ver Fig. A3h) y su subtipo las PyM (Ver Fig. A3i). Las primeras corresponden a vetillas rectas cuya sutura y halo pueden medir desde 3mm - 4mm hasta 100mm. La sutura está compuesta en su mayoría por Ccp y Py, dentro y en las zonas cercanas a los pórfidos interminerales la relación Ccp:Py es de 8:2 a 9:1; a medida que se aleja de los pórfidos interminerales, las vetillas tipo C tienen una relación Ccp:Py menor de 5:5 o 4:6 y en las zonas más distales respecto a los pórfidos interminerales la relación Ccp:Py puede llegar a ser 1:9 o 0:10. En la sutura de las vetillas tipo C se asocian también Mag, Anh y ocasionalmente se ha observado Bn en trazas. El halo está compuesto principalmente de Ser gris/verdosa y Chl. Son fácilmente confundibles con las vetillas tipo EDM, por lo que la relación de corte con otras vetillas es importante para su discriminación (ver más adelante apartado 3.2). Sin embargo, la continuidad del sulfuro (Ccp y/o Py) en la sutura y la simetría de los halos, es más característico de las vetillas tipo C, mientras que las vetillas tipo EDM carecen de una sutura desarrollada, son halos de mica oscura color verde y el sulfuro (Ccp y/o Py) es muy discontinuo, se presenta más bien de manera diseminada. En Warintza Este se han observado también vetillas como “hilos” de Ccp-Py sin halo prominente o desarrollado, que, de igual forma son parte de las vetillas

tipo C. Son portadoras de la gran mayoría del Cu (60 % aproximadamente) junto con las vetillas EDM del depósito Warintza Central, mientras que en Warintza Este aportan al menos el 75 %-80 % del Cu, el porcentaje restante está asociado a vetillas tipo A y B. En la Figura A3h se puede observar que la Ccp rodea a la Py dejándola como islotes, marcando una secuencia paragenética dentro de la misma vetilla.

Las vetillas tipo PyM (Ver Fig. A3i) son vetillas cuyo espesor oscila entre los 5mm hasta los 40mm y son rectas. Comprenden una sutura de Py-Mag y esporádicamente Anh, los halos son de Ep, Chl, Ser verde y Ab principalmente. Tienen un ensamble mineral muy similar a los ambientes calco-sódicos profundos descritos por [5] y a los ensamblajes tipo skarn retrógrado [20].

Las vetillas de Pirrotina (Ver Fig. A3j) denominadas Po, de acuerdo con la abreviatura del mineral dominante propuesta por [12], corresponde a vetillas rectas que van desde 1mm y pueden llegar a tener decenas de milímetros. Son vetillas de Po y ocasionalmente tienen cantidades menores al 5 %-10 % de Py y/o Ccp. No existe Mol asociada con estas vetillas.

3.1.4 Vetillas tardías

Existen dos tipos de vetillas principales asociadas a esta temporalidad, la primera corresponde a las vetillas tipo D (Ver Fig. A3k), las cuales tienen espesores que oscilan los 5mm hasta los 100 milímetros, e incluso se han observado vetillas casi métricas. Tienen sutura fundamentalmente de Py y su halo es de Ser blanca, la cual destruye la textura original de la roca y Py diseminada en este halo. No están asociadas a ley de Cu, debido a que la Ccp en estas vetillas es subordinada o puede ser pre-evento D, producto de la reapertura o reutilización de las vetillas; puntualmente se ha observado Mol asociada a estas vetillas, pero no en grandes cantidades.

El otro tipo de vetillas tardías se refiere a las Dt (Ver Fig. A3l), cuyos espesores van desde 1mm hasta 10mm-20mm y su mineralogía corresponde a Calcita (Cal), Yeso (Gp) y eventualmente puede tener mineralización polimetálica de Py, Ccp, Esfalerita (Sp), Galena (Gn) y Tetraedrita (Ttr); en ocasiones se ha observado estas vetillas generando halos centimétricos de Ser blanca y/o kaolinita (Kln). Debido a su mineralogía son vetillas de baja temperatura y sulfidación intermedia, no se ha observado Enargita ni ensamblajes de alta sulfidación como Piritita-Bornita, Piritita-Calcosina o Piritita-Covelina. No están asociadas con leyes importantes de Cu ni tampoco de Mo.

3.2 Temporalidad de las vetillas

Las vetillas tipo skarn no han sido observadas cortando a otro tipo de vetillas o a texturas específicas durante el mapeo de sondajes, por lo que son las vetillas más antiguas y solo están cortadas por otras vetillas.

Las UST y cavidades miarolíticas no tienen una relación de corte absoluta con las vetillas, debido a que dependen de la temporalidad de intrusión y características del intrusivo que las hospeda, pero, de manera general se las ha observado cortadas por vetillas tipo A, B, C, D y Dt.

Las vetillas tipo Eb han sido observadas solo cortando otras vetillas Eb, mientras que, las vetillas EDM si han podido ser observadas que reutilizan a las vetillas tipo Eb.

Las vetillas de Fk-Py cortan y destruyen los halos de mica oscura de las vetillas EDM. En muchas ocasiones el Kfs se preserva como “fantasma”, ya que tiene baja dureza y es muy probable que haya sufrido alteración a Ser.

Las vetillas tipo A cortan a las vetillas Eb (Ver Fig. A4a) y EDM, eventualmente pueden desarrollar halos de Kfs, por tanto, la relación de corte con las vetillas Fk-Py en Warintza Central, aún es ambigua.

Las vetillas transicionales tipo B cortan vetillas tipo skarn (Ver Fig. A4b) Eb, EDM (Ver Fig. A4c), Fk-Py y a las vetillas tipo A (Ver Fig. A4d), aunque con estas últimas puntualmente se ha observado relación de corte inversa.

Las vetillas transicionales tipo C tienden a ser fácilmente confundidas con vetillas tipo EDM, en consecuencia, la relación de corte con las vetillas A y B es fundamental. Cuando una vetilla con Py, Ccp y Ser verde corta a vetillas de Qz tipo A y/o B, se trata de una vetilla tipo C, mientras que, si es cortada por vetillas tipo A o B, se trata de vetillas tipo EDM. En general, las vetillas tipo C cortan a las vetillas tipo skarn, a las tempranas tipo Eb, EDM, Fk-Py y A (Ver Fig. A4e), generalmente cortan las vetillas tipo B, pero ocasionalmente se encuentran relaciones inversas de corte entre las vetillas tipo B y C.

Las vetillas PyM siempre se hallan cortando a las vetillas Eb, EDM, Fk-Py, A y B (Fig. A4f), por lo cual se las ha definido como un subtipo de vetillas tipo C.

Las vetillas de Po solo se han observado puntualmente cortando vetillas tipo A y B.

Las vetillas tardías tipo D cortan a las vetillas tipo skarn, vetillas tipo Eb, EDM, Fk-Py y A (Ver Fig. A4g), además, corta a las vetillas tipo B y C. Las vetillas tipo D tardías (Dt) cortan a todas las vetillas previamente descritas (Ver Fig. A4h) y solo son cortadas por otras vetillas D tardías.

3.3 Distribución espacial de las vetillas

Tal como se mencionó en el apartado de materiales y métodos, se realizó un análisis estadístico por medio de histogramas y diagramas de caja y bigotes (Ver Fig. A5) para conocer la distribución de los datos de cada tipo de vetillas obtenidos a partir del mapeo geológico de sondajes. Los tipos de vetillas sometidos a este análisis fueron Eb, A, B, C, PyM y D; otros tipos de vetilla como

las Skarn, EDM, Dt o Po, no tenían suficientes datos (menos de 100) para el análisis estadístico y posterior modelamiento.

El Q3 es el umbral para considerar los valores como altos y así conocer los lugares donde se concentran la mayor cantidad de vetillas de cada tipo.

Los porcentajes de vetillas Eb (Ver Fig. A5a) para Warintza Central tienen una media de 0,64 % y el valor umbral de porcentaje de vetillas tipo A es de 0,8 % (Ver Tabla A2); mientras que para Warintza Este, la media de porcentaje de vetillas Eb (Ver Fig. A5b) es de 0,68 % y el valor umbral de 0,9 % (Ver Tabla A2).

Para el caso de las vetillas tipo A en Warintza Central (Fig. A5c) el porcentaje medio de vetillas es de 2,29 % y el valor umbral a ser modelado es de 3,15 % (Tabla A2), para efectos prácticos el valor umbral se lo dejó en 3 %. En Warintza Este la media de porcentaje de vetillas tipo A es de 1,87 % y el valor del cuartil 3 de 2,50 % (Ver Fig. A5d).

Las vetillas tipo B tienen un porcentaje promedio de 1,94 % y el valor umbral de 2,60 % (Ver Tabla A2) para Warintza Central (Ver Fig. A5e), con el fin de trabajar con valores más entendibles, el valor a modelar se lo dejó en 2,5 %. En Warintza Este, la media del porcentaje de vetillas tipo B es de 0,61 % (Ver Tabla A2) y el valor umbral de 0,8 % de vetillas tipo B (Ver Fig. A5f).

En Warintza Central, el promedio de porcentaje de vetillas tipo C es de 2,66 % (Tabla A2), mientras que el valor a modelar como umbral es de 3,80 % de vetillas tipo C (Ver Fig. A5g), pero se lo aproximó a 4 %. Para el caso de Warintza Este, la media de porcentaje de vetillas tipo C es de 0,70 % y el valor umbral de porcentaje de vetillas tipo C es de 0,90 % (Ver Fig. A5h), pero se lo aproximó a 1 %.

El subtipo de vetillas C, llamado PyM tiene un valor promedio de porcentaje de vetillas de 3,27 % y un valor umbral de porcentaje de vetillas tipo PyM de 4,3 % para Warintza Central (Ver Fig. A5i). Para Warintza Este la media de porcentaje de vetillas tipo PyM es de 1,79 % (Ver Tabla A2) y el valor umbral a ser modelado de porcentaje de vetillas PyM es de 2,50 % (Ver Fig. A5j).

Las vetillas tipo D tienen un promedio de porcentaje de 3,62 % y un umbral de vetillas tipo D de 5,1 % para Warintza Central (Ver Fig. A5k), para fines prácticos, el valor se dejó en 5 %. En Warintza Este, el valor medio de porcentaje de vetillas D es de 0,67 % (Ver Tabla A2) y el valor umbral de 0,80 % de vetillas tipo D (Ver Fig. A5).

Los porcentajes altos de vetillas tipo Eb se hallan en las zonas más profundas de Warintza Central y están dentro del isovalor de 0,3 % de Cu. En la transición desde

Warintza Central a Warintza Este, se ubica un polígono que representa valores altos de porcentaje de vetillas Eb, pero que no están asociados a polígonos de isovalores de Cu, sin embargo, se encuentra en los bordes del pórfido diorítico caja y cerca de fallas. En Warintza Este, los valores por encima del umbral del porcentaje de vetillas tipo Eb se encuentran en zonas profundas del depósito y en los bordes de los intrusivos principales (Ver Fig. 2a).

La mayor cantidad de porcentaje de vetillas tipo A en Warintza Central se hallan en la zona Oeste, donde existe un sólido más grande y continuo en profundidad y también en la zona Este donde se encuentran encima de los pórfidos interminerales (Ver Fig. 2a). Entre los dos polígonos existe un “gap”. En los lugares donde se encuentran los polígonos que representan las vetillas tipo A, existen fallas y también están dentro del isovalor de 0,3 % Cu. Se observa en la sección de la Figura 2a que los polígonos de este tipo de vetillas se solapan en las rocas de caja y no a pórfidos interminerales o tardíos.

Para el caso de Warintza Este, los polígonos de valores altos de porcentaje de vetillas tipo A se encuentran estrictamente ligados a los pórfidos interminerales y casi en su totalidad fuera del isovalor de 0,3 % de Cu (Ver Fig. 2a).

Los valores altos de porcentaje de vetillas tipo B se encuentran en la zona Oeste y Este de Warintza Central formando una “V” y está dentro del isovalor de 0,3 % de Cu, el sector Oeste se solapa con el polígono de las vetillas tipo A. En ambos lados de la “V” existen intrusivos interminerales y fallas (Ver Fig. 2a), los pórfidos interminerales son más prominentes en la zona Este de Warintza Central. De acuerdo con la sección de la Figura 2a, la litología asociada a los polígonos que representan los valores altos de porcentaje de vetillas tipo B corresponde a rocas de caja.

En Warintza Este se puede observar que los polígonos asociados a los valores altos de porcentaje de vetillas tipo B se encuentran dentro de los intrusivos principales y también hacia los bordes (Ver Fig. 2a). Estos polígonos se hallan parcialmente asociados al polígono del isovalor de 0,3 % Cu; dos de los tres polígonos están dentro del isovalor de 0,3 % Cu y contenidos en las rocas de caja, mientras que el polígono restante se encuentra fuera y asociado a los intrusivos principales.

Todos los polígonos que representan valores altos de porcentaje de vetillas tipo Eb, A y B se hallan truncados en el extremo Oeste de Warintza Central por la Granodiorita, así sucede también con el isovalor de 0,3 % de Cu (Ver Fig. 2a).

Los valores altos de porcentaje de vetillas tipo C se hallan formando una “V” en Warintza Central, en ambos lados existen pórfidos interminerales y fallas; este polígono se halla dentro del isovalor de 0,3 % de Cu; los porcentajes

altos de vetillas tipo C están ligados tanto a rocas de caja como a pórfidos interminerales (Ver Fig. 2b). La geometría del polígono que representa las vetillas tipo C es muy similar al polígono que representa las vetillas tipo B (Ver Fig. 2a).

Entre Warintza Central y Este, existen polígonos aislados de los valores altos de porcentaje de vetillas tipo C, cerca de fallas o en los bordes del pórfido diorítico caja (Ver Fig. 2b).

En Warintza Este, los valores altos de vetillas tipo C se encuentran en el borde oriental de los intrusivos principales y parcialmente solapados con el isovalor de 0,3 % de Cu (Ver Fig. 2b).

El subtipo de vetillas C, conocido como PyM, muestra un polígono asociado con sus valores altos de porcentaje de vetillas que se encuentra a los bordes del isovalor de 0,3 % de Cu en Warintza Central y está ligado solamente a rocas de caja, pero relativamente lejos de fallas o pórfidos interminerales. En la transición hacia Warintza Este, el polígono de las vetillas tipo PyM, se encuentra solapado con los polígonos de las vetillas tipo C (Ver Fig. 2b).

En Warintza Este el valor que representa los valores por sobre el umbral (2.5 %) de porcentaje de vetillas tipo PyM, se encuentra en el borde oriental, al Este del polígono de vetillas tipo C y también en el borde occidental de los intrusivos principales, dentro del isovalor de 0,3 % de Cu (Ver Fig. 2b).

Los valores altos de porcentaje de vetillas tipo D se encuentran principalmente en la zona centro y oriental de Warintza Central, en el borde occidental hay un polígono menor, que puede considerarse como despreciable. El polígono principal se encuentra dentro del isovalor de 0,3 % de Cu y se solapa en la zona oriental con el polígono de los valores altos de vetillas tipo C, pero ocupa prácticamente todo el centro de Warintza Central, en esta porción del depósito, no se solapa con ningún otro tipo de vetillas (Ver Fig. 2b). De acuerdo con la sección de la Figura 2b, el polígono de las vetillas tipo D se asocia tanto a rocas de caja como a pórfidos interminerales.

Entre Warintza Central y Warintza Este existe un polígono de valores altos de porcentaje de vetillas tipo D que se solapa con aquellos de las vetillas tipo C y PyM, ligado a fallas y están en el borde del pórfido diorítico caja (Ver Fig. 2b).

En Warintza Este, el polígono que representa los valores altos de porcentaje de vetillas tipo D se encuentra fuera del isovalor de 0,3 % de Cu y ligado solo a los intrusivos principales, incluso no se solapa con las vetillas tipo C o PyM (Ver Fig. 2b), pero si con los polígonos de las vetillas tipo A y B (Ver Fig. 2a).

En la zona de Warintza Central, los polígonos que representan los valores altos de porcentaje de las vetillas C, PyM y D, se encuentran truncados en la Granodiorita.

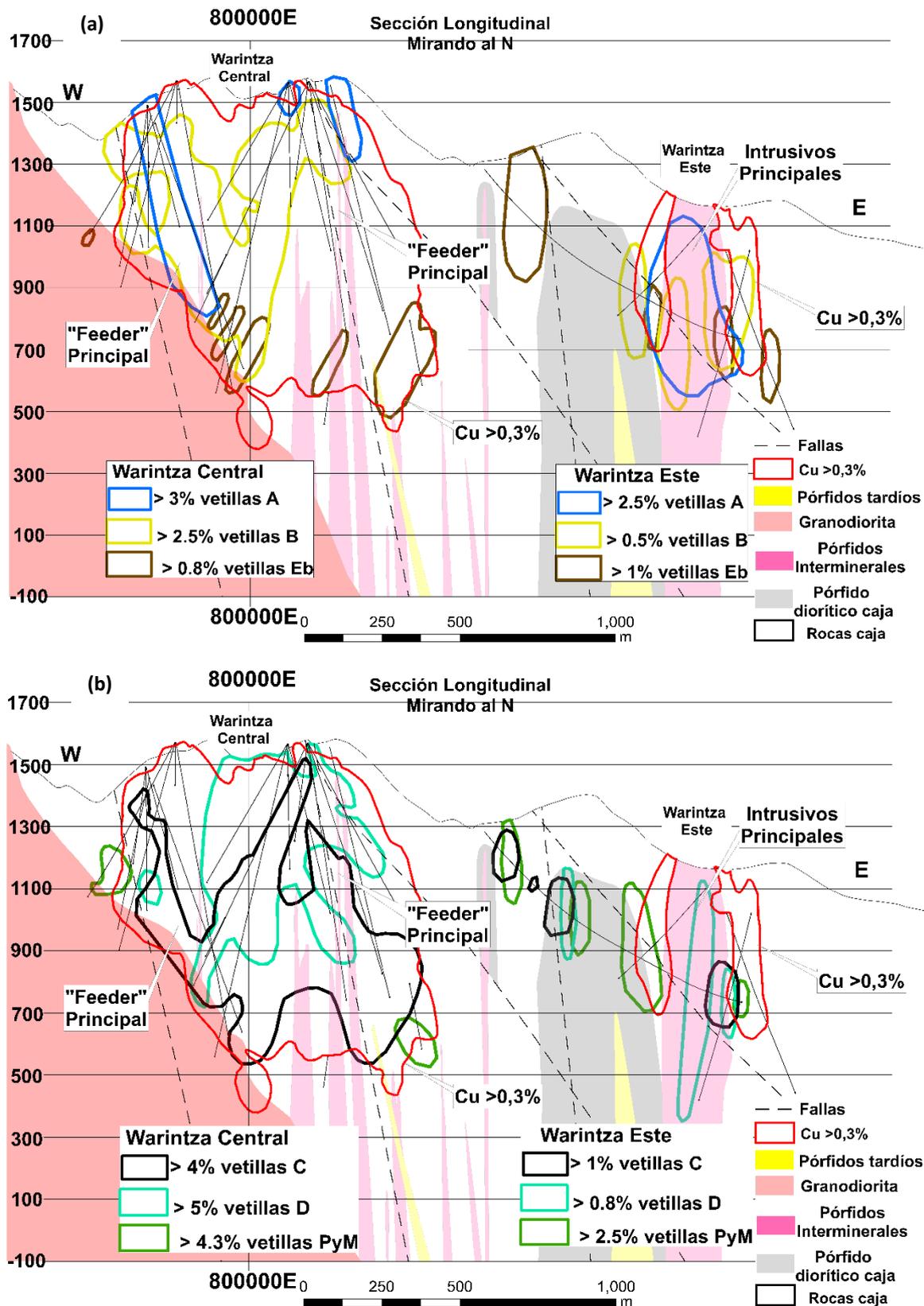


Figura 2: Sección longitudinal del depósito Warintza Central y Warintza Este. (a): Relación espacial entre la litología, estructuras principales y los valores altos de vetillas Eb, A y B con la distribución del Cu mayor a 0,3 %. (b): Relación espacial entre la litología, estructuras principales y los valores altos de vetillas C, D y PyM con la distribución del Cu mayor a 0,3 %.

3.4. Discusión

La mineralogía de las vetillas en Warintza, de manera general son similares a las descritas por [5], [6], [7], [8], [9], [15], [16], [17] y [18], por lo cual se han adoptado la nomenclatura descrita en estas publicaciones.

Tal como se mencionó en los resultados, las vetillas tipo C son aquellas que mayor porcentaje de Cu aportan tanto en Warintza Central como en Warintza Este. Las vetillas tipo C han sido descritas en el pórfido de El Salvador por [7] como vetillas con abundante sulfuro, que puede ser Py, Ccp-Py o Ccp-Bn; además, pueden contener Ser verde, Bt, Anh y algo de Qz con halos de Kfs, Ser verde, Bt, Chl, Anh y And. En el depósito tipo pórfido Cu-Au llamado Alpala en Ecuador, las vetillas tipo C han sido descritas como vetillas de sulfuro de Ccp>Py y con trazas de Bn [21]. En el pórfido Cu-Mo Río Blanco en Chile Central han sido descritas como vetillas de Ccp ± Bn ± Py con Ser gris-verdosa [22]. En este documento han sido descritas como vetillas con sutura de sulfuro (Ccp y/o Py con trazas de Bn) a veces Mag, Anh y con halo de Ser verde con Chl. En la Figura A3h se observa que la Ccp rodea a la Py, dejándola como “islotas”, esto implica que, en inicio las vetillas C fueron piríticas y luego existe un enriquecimiento en Cu. La secuencia paragenética que, inicialmente es de Py y luego reemplazada parcial o totalmente por Ccp, mostrando una tendencia temporal de Fe a Cu, ha sido documentada también en el descubrimiento reciente Filo del Sol [23], en el depósito Far Southeast en Filipinas [24] y en el Alpala [21]. En algunas vetillas tipo C de Warintza Central y Warintza Este, se ha observado Py remanente y Py precipitada junto con Ccp. El hecho de existir Py remanente del proceso de enriquecimiento de Cu en las vetillas implica que la cantidad de Cu que aportaron los fluidos no fue suficiente para transformar toda la Py por Ccp, por este motivo, los depósitos Warintza Central y Este no tienen una zona relacionada con Bn. Adicional a la disponibilidad de Cu, otros factores tales como temperatura, pH, salinidad en el fluido debieron condicionar la precipitación de Cu [25].

El subtipo de vetillas tipo C, conocido en Warintza como vetillas PyM se encuentran en mayor porcentaje hacia las periferias de los centros porfídicos ricos en Cu tal como se observa en la sección tipo (Ver Figura 2b). Este fenómeno ha sido reportado en el yacimiento tipo pórfido Cu-Mo Mirador, perteneciente a la franja Jurásica en Ecuador, donde abundante magnetita ocurre en el borde NW y no tiene relación con la mineralización de Cu-Au [26]. También fue observada en los años 70 en el depósito porfídico San Manuel-Kalamazoo [27] en donde los bordes distales y profundos de los centros ricos en Cu están asociados a Mag-Py.

Las vetillas de Po han sido poco como documentadas en los depósitos tipo pórfido cuprífero, en Warintza se ha observado que al igual que las vetillas tipo C, también existe una relación paragenética de Po rodeando a granos de Py-Ccp (Ver Fig. A3j). La Po se

asocia a ambientes reductores con bajas fugacidades de azufre, mientras que los pórfidos cupríferos se asocian a fugacidades de azufre altas [28], además, los ambientes magmático-hidrotermales propicios para formar pórfidos cupríferos son aquellos hidratados y oxidados [5], [29], [30]. Bajo estas premisas, el hecho de que la Po rodea a Py-Ccp podría implicar un cambio en el estado redox del fluido que ya no tiene relación con mineralización de Cu. Existe poca cantidad y una distribución errática de las vetillas de Po en Warintza, razón por la cual no fueron parte del análisis estadístico ni del modelamiento, sin embargo, las vetillas tipo Po se han observado en las zonas distales del depósito asociadas a rocas sedimentarias skarnificadas o rocas volcánicas. El mapeo de este tipo de vetillas podría marcar los límites del depósito.

En la Figura 2a y 2b se puede ver una correlación espacial entre los valores altos del porcentaje de vetillas según su tipo, la litología, algunas estructuras y su relación con la zona mayor a 0,3 % de Cu, tanto en Warintza Central como en Warintza Este.

Las vetillas Eb son aquellas que tienen menor porcentaje en general, es decir, son menos abundantes, similar a cómo ocurren en Bingham Canyon [31] y se encuentran en las zonas profundas. En la Figura 2a se puede observar que se encuentran dentro del isovalor de 0,3 % de Cu, sin embargo, tal como se explicó en la sección de resultados estas vetillas no tienen Ccp o Bn. Se hallan en esta zona debido a que hay otras vetillas que, si tienen minerales de Cu, principalmente las vetillas tipo C, que cortan a las vetillas tipo Eb.

Las vetillas de Qz tipo A y B en porcentajes altos, suelen estar ligados a centros mineralizados de Cu como en Los Pelambres [8] y [9], Alpala [21], Yerington [2], [19] o Bajo de la Alumbrera [32]; en la Figura 2a y 2b se observa que este podría ser el caso de Warintza Central, ya que las vetillas tipo A y B a pesar de no estar asociadas a mineralización de Cu, se encuentran dentro del polígono del isovalor de más de 0,3 % de Cu; al igual que las vetillas Eb, esto se debe a que comparten espacialmente zonas de abundancia alta de porcentaje de vetillas que si están asociadas a Cu como las vetillas tipo C. Existen otros depósitos en los cuales las vetillas tipo A marcan centros estériles debajo de los isovalores de Cu económicos, como sucede en Bingham Canyon [31] o en Butte [18], en la Figura 2a y 2b se observa que este es el caso de Warintza Este. En Warintza Este si se han observado vetillas tipo A y B con cantidades importantes de Ccp, por esta razón se solapa parcialmente en el polígono del isovalor de Cu mayor a 0,3 % en una porción del depósito; sin embargo, las vetillas tipo A y B, de manera general se encuentran más asociadas a los intrusivos principales, marcando un núcleo estéril rodeado por un halo de más de 0,3 % de Cu. Sin embargo, las vetillas de Qz (sobre todo las vetillas tipo B) suelen estar asociadas a cantidades grandes de Mo [5], [18] por lo que son importantes económicamente. Las vetillas tipo C comparten una porción importante con las vetillas tipo B y poco con las vetillas tipo A en

Warintza Central, incluso el polígono es muy similar al de las vetillas B. Este fenómeno podría deberse a que las vetillas tipo A y B fueron reabiertas o reutilizadas por las vetillas tipo C, esto implicaría una posible removilización parcial o total de los sulfuros que existieron previamente, pero, también existen vetillas tipo C que cortan a todas las vetillas previas, similar a lo que ocurre en Alpala [21]. El hecho de que en Warintza Central existan vetillas tempranas formadas en ambiente dúctil [5], [6], [7], como las vetillas tipo A; vetillas transicionales tipo B de ambiente frágil y vetillas algo más tardías de ambiente frágil como las vetillas tipo C, tengan una geometría parecida y espacialmente estén muy relacionadas entre sí y con el isovalor de Cu mayor a 0,3 %, podría implicar que existieron alimentadores (*feeders*) de fluido que funcionaron desde etapas tempranas de la formación del depósito hasta etapas algo más tardías. Otra evidencia de la posibilidad de que Warintza Central tenga al menos dos alimentadores, es que existe una fuerte correlación entre lo antes mencionado, fallas y pórfidos interminerales; quiere decir, que efectivamente existieron estructuras principalmente del sistema NNW-SSE que fueron el canal principal para el ascenso de magma y que también fueron el camino de los fluidos hidrotermales para la formación de vetillas dentro y hacia los bordes de los alimentadores. Los polígonos de las vetillas PyM se encuentran al borde del isovalor de 0,3 % de Cu, por lo tanto, no marcan evidencias de alimentadores ricos en Cu sino probablemente los halos externos de los mismos.

En Warintza Este, las vetillas tipo C solo se asocian a una porción del isovalor de 0,3 % de Cu y existe poco o difuso solapamiento entre los polígonos de las vetillas tipo A, B y C y el isovalor de Cu. Las vetillas tipo A y B están ligadas a intrusivos interminerales y las vetillas tipo C y PyM están en los bordes, algo similar a lo mencionado en Bingham Canyon [30] o Butte [18], además no existen estructuras asociadas a estos polígonos. Por lo tanto, el alimentador principal de Warintza Este fueron los pórfidos interminerales, los cuales posiblemente no tuvieron las condiciones óptimas para precipitar el Cu dentro de los pórfidos y más bien precipitó en las periferias, similar a lo descrito por [27] y [19].

En Warintza Central, las vetillas tipo D se solapan parcialmente en un alimentador (*feeder*) y se encuentran rellenando un *gap* entre los dos alimentadores, es muy común que estas vetillas tardías se encuentren en las partes superiores y de borde de los centros de Cu [5], [18]. El hecho de que las vetillas tipo D se solapen con vetillas más tempranas y se encuentren dentro del isovalor de 0,3 % de Cu, implica que hubo una fuerte reutilización o reapertura por parte de las vetillas tipo D en vetillas formadas anteriormente.

En Warintza Este las vetillas tipo D se asocian a los intrusivos principales, probablemente debido a que reutilizaron vetillas formadas previamente.

En la transición desde Warintza Central a Warintza

Este, existen polígonos de vetillas tipo Eb, C, PyM y D solapados y asociados a estructuras y rocas porfídicas de caja. Bajo la premisa de que la conjunción del solapamiento de vetillas y estructuras marquen un alimentador o *feeder* en Warintza Central, implicaría que esta zona transicional entre los dos depósitos también habría tenido un alimentador, sin embargo, no hay Cu asociado en esta zona. Es probable que este alimentador haya sido rico en fluido hidrotermal enriquecido en Fe y deprimido en Cu, ya que solo se ha encontrado Py. El depletamiento en Cu podría deberse a la ausencia de pórfidos interminerales, ya que no hay polígonos de vetillas tipo A y/o B en este sector ni los sondajes han interceptado estos cuerpos intrusivos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con la paragénesis y relación de corte, se lograron establecer diez tipos de vetillas en los *targets* Warintza Central y Warintza Este, además, algunas de ellas como las vetillas tipo EDM, B y C, tienen algunos subtipos de vetillas que conservan la relación temporal de su grupo mayor. Estos diez tipos de vetillas fueron agrupados de acuerdo con su temporalidad relativa en: vetillas pre-pórfido (vetillas tipo skarn), vetillas tempranas (vetillas Eb, EDM, Fk-Py y A), transicionales (vetillas tipo B, C y Po) y tardías (vetillas tipo D y Dt).

El Cu de manera general se encuentra asociado a las vetillas tipo EDM, B y C, además, se observó que en estas vetillas la relación paragenética es de Ccp rodeando a Py, lo cual implica un inicio de mineralización únicamente de S y Fe en el sistema, seguido de un enriquecimiento de Cu más S y Fe.

El Mo de manera general se encuentra fuertemente asociado a las vetillas tipo B y de manera puntual o errática en vetillas tipo EDM, A, C y D. Al existir una correlación fuerte entre las vetillas tipo B y los valores de Mo, en Warintza Central los isovalores de Mo se encuentran solapados con los isovalores > 0,3 % de Cu. Mientras que en Warintza Este el Mo se encuentra asociado a los pórfidos interminerales y solapados solo en los bordes de los intrusivos principales con los isovalores > 0,3 % de Cu.

Las vetillas tipo Eb se hallan en las partes profundas tanto en Warintza Central como en Warintza Este. Existe solapamiento de vetillas tipo A, B, C y D en Warintza Central, la zona central del depósito ocupada únicamente por vetillas tipo D; todas dentro del isovalor de 0,3 % de Cu. Esto implica que en Warintza Central ha habido sobreimposición de eventos y, por consiguiente, reapertura o reutilización de vetillas tempranas por parte de las vetillas tardías. Las vetillas tipo PyM están en el borde del isovalor de 0,3 % de Cu.

En Warintza Este las vetillas tipo A y B se encuentran ligadas a los intrusivos principales y parcialmente solapadas con el isovalor de 0,3 % de Cu, mientras que las vetillas tipo C y su subtipo PyM se encuentran hacia los bordes de los intrusivos principales solapadas con el isovalor de 0,3 % de Cu. Las vetillas tipo D se encuentran en los intrusivos principales y no tienen relación alguna con mineralización de Cu.

La transición Warintza Central a Warintza Este contiene valores altos de vetillas tipo Eb, C, D y PyM solapados pero que no están asociadas a Cu, esto se debe a la ausencia de pórfidos interminerales que hayan generado vetillas ligadas con valores de Cu.

4.2. RECOMENDACIONES

Es recomendable a futuro respaldar las paragénesis minerales con estudios de secciones delgadas, pulidas, difracción de rayos X y espectroscopía de reflectancia para caracterizar de manera más detallada la Ser, arcillas y otros minerales presentes en la sutura y halo de las distintas vetillas. Se recomienda incorporar al estudio, dataciones Re-Os en Molibdenita de las vetillas tipo B y las vetillas tipo D para conocer la duración de los eventos mineralizantes. También incorporar dataciones Ar-Ar en Kspar de alteración, Ser verde y blanca para constreñir las edades de eventos de alteración y dataciones U-Pb en zircones de los pórfidos interminerales y tardíos para correlacionar la duración de los eventos magmáticos con los eventos hidrotermales de alteración y mineralización.

Otra recomendación es realizar un estudio de inclusiones fluidas en Qz y/o Anh de las vetillas tipo EDM, A y B; y también en Qz de las vetillas tipo D con el fin de conocer las temperaturas de homogeneización de la formación de las vetillas, la composición salina de las mismas y comparar las isoterms con edades isotópicas de las vetillas, edades de intrusión, alteración y mineralización; además, integrar todos los datos isotópicos y de las inclusiones fluidas con la información litológica y estructural que permita conocer la evolución espacial y temporal del sistema magmático-hidrotermal.

Se recomienda realizar un estudio similar con las unidades de alteración y mineralización de los depósitos Warintza Central y Warintza Este.

Se sugiere realizar el mismo estudio de caracterización, temporalidad y distribución de las vetillas en Warintza West y Warintza Sur, para conocer los posibles centros asociados a Cu y Mo. Además, caracterizar las vetillas aflorantes para poder utilizar este estudio como base y abrir otros blancos de exploración, por ejemplo, en las anomalías de Cu-Mo al W y NW de Warintza Central, al SW de El Trinche y al Sur de Warintza Este.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Solaris Resources y a su subsidiaria Lowell Mineral Exploration por el apoyo en los recursos para poder ejecutar este proyecto, a los geólogos de QCS, a la Universidad Católica del Norte y en especial el apoyo y enseñanza de Pepe Perelló, sin quienes no hubiera sido posible la realización del presente documento. Personalmente agradezco a Gaby C. por el apoyo incondicional durante la realización del proyecto presentado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Chiaradia, & L. Caricchi, "Supergiant porphyry copper deposits are failed large eruptions," *Communications Earth & Environment*, vol. 3, art. 107, May., 2022.
- [2] L. Carter, "Exsolution depth and migration pathways of mineralizing fluids in porphyry deposit-forming magmatic systems," Ph.D. dissertation, Exeter Univ., Devon, UK, 2022.
- [3] J. H. Dilles, A. J. R. Kent, J. L. Wooden, R. M. Tosdal, A. Koleszar, R. G. Lee, & L. P. Farmer, "Zircon Compositional evidence for sulfur-degassing from ore-forming arc magmas," *Economic Geology*, vol. 110, pp. 241-251, 2015.
- [4] J. P. Richards "Magmatic to hydrothermal metal fluxes in convergent and collided margins," *Ore Geology Reviews*, vol. 40, pp. 1-26, May, 2011.
- [5] R. H. Sillitoe, "Porphyry Copper Systems," *Economic Geology*, vol. 105, pp. 3-41, Jan., 2010.
- [6] L. B. Gustafson, & J. P. Hunt, "The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile," *Economic Geology*, vol. 70, pp. 857-912, Aug., 1975.
- [7] L. B. Gustafson, & J. Quiroga, "Patterns of Mineralization and Alteration below the Porphyry Copper Orebody at El Salvador, Chile," *Economic Geology*, vol. 90, pp. 2-16, Feb., 1995.
- [8] W. W. Atkinson, A. Souviron, T.I. Vehrs, & G. A. Faunes, "Geology and mineral zoning of the Los Pelambres porphyry copper deposit, Chile," *Society of Economic Geologists Special Publication*, vol. 5, pp. 131-156, Jan., 1998.
- [9] J. Perelló, R. H. Sillitoe, H. Brockway, H. Posso, P. East, M. Solé, & H. Stein, "Los Pelambres, Chile: Recent advances in the geology and evolution of a major Cu-Mo and Cu-Au porphyry system [abs.]: Ores and orogenesis. A symposium honoring the career of William R. Dickinson," *Program with Abstracts: Tucson. Arizona Geological Society*, pp. 133-134, 2007.
- [10] S. Leary, R. H. Sillitoe, P. W. Stewart, K. J. Roa, & B. E. Nicolson, "Discovery, Geology, and origin of the Fruta del Norte Epithermal Gold-

- Silver Deposit, Southeastern Ecuador,” *Economic Geology*, vol. 111, pp. 1043-1072, Aug., 2016.
- [11] GeoSystems International, Inc., & Solaris Resources, “NI 43-101 Technical Report for the Warintza Project, Ecuador,” Boca Raton, Florida, USA. Apr. 1, 2022.
- [12] D. L. Whitney, & B. W. Evans, “Abbreviations for names of rock-forming minerals,” *American Mineralogist*, vol. 95, pp. 185-187, Jan., 2010.
- [13] A. Müller, D. Kirwin, & R. Seltmann, “Textural characterization of unidirectional solidification textures related to Cu-Au deposits and their implication for metallogenesis and exploration,” *Mineralium Deposita*, Apr. 2023.
- [14] E. J. Cowan, R. K. Beatson, W. R. Fright, T. J. McLennan, & T. J. Mitchell, “Rapid geological modelling,” *Applied Structural Geology for Mineral Exploration and Mining*, International Symposium, Kalgoorile, Sep. 2002.
- [15] Knight Piésold, Mining Plus, Wood Mackenzie & Solgold plc and Cornerstone Capital Resources Inc, “NI 43-101 Technical Report on Pre-Feasibility Study,” Mar. 2022.
- [16] C. Meyer, “An early potassic type of wall rock alteration at Butte, Montana,” *American Mineralogist*, vol. 50, pp. 1717-1722, Oct., 1965.
- [17] G. H. Jr. Brimhall, “Early fracture-controlled disseminated mineralization at Butte, Montana,” *Economic Geology*, vol. 72, pp. 37-59, Feb., 1977.
- [18] B. G. Rusk, M. H. Reed, & J. H. Dilles, “Fluid inclusion evidence for magmatic-hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, Montana,” *Economic Geology*, vol. 103, pp. 307-334, Mar., 2008.
- [19] J. M. Proffett, “High Cu grades in porphyry Cu deposits and their relationship to emplacement depth of magmatic sources,” *Geology*, vol. 37, pp. 675-678, Aug., 2009.
- [20] L. D. Meinert, G. M. Dipple, & S. Nicolescu, “World skarn deposits,” *Economic Geology*, vol. 100th ANNIVERSARY VOLUME, pp. 299-336, Jan., 2005.
- [21] Mining Plus, “Cascabel Property NI 43-101 Technical Report, Alpala Porphyry Copper-Gold-Silver Deposit-Mineral Resource Estimation,” Report Prepared for Solgold, Plc and Cornerstone Capital Resources Inc, Jan. 2021.
- [22] J. Crespo, M. Reich, F. Barra, J. J. Verdugo, C. Martínez, M. Leisen, R. Romero, D. Morata, & C. Marquardt, “Occurrence and Distribution of Silver in the World-Class Río Blanco Porphyry Cu-Mo Deposit, Central Chile,” *Society of Economic Geologists, Inc.*, vol. 115, pp. 1619-1644, Oct., 2020.
- [23] J. Perelló, R. H. Sillitoe, J. Rossello, J. Forestier, G. Merino & D. Charchaflié, “Geology of Porphyry Cu-Au and Epithermal Cu-Au-Ag Mineralization at Filo del Sol, Argentina-Chile: Extreme Telescoping During Andean Uplift,” *Economic Geology*, May., 2023.
- [24] M. F. Calder, Z. Chang, A. Arribas, A. Gaibor, P. Dunkley, J. Pastoral, K. Kouzmanov, C. Spandler & J. W. Hedenquist, “High-Grade Copper and Gold Deposited During Postpotassic Chlorite-White Mica-Albite Stage in the Far Southeast Porphyry Deposit, Philippines,” *Economic Geology*, vol. 117, pp. 1573-1596, Nov., 2022.
- [25] K. Kouzmanov, & G. S. Pokrovski, “Hydrothermal Controls on Metal Distribution in Porphyry Cu (-Mo-Au) Systems,” *Society of Economic Geologists, Inc.*, Special Publication vol. 16, pp. 573-618, Dec., 2012.
- [26] J. Drobe, D. Lindsay, H. Stein, & J. Gabites, “Geology, Mineralization and Geochronological Constraints of the Mirador Cu-Au Porphyry District, Southeast Ecuador,” *Society of Economic Geologists, Inc.*, vol. 108, pp. 11-35, Jan., 2013.
- [27] J. D. Lowell, & J. M. Guilbert, “Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits,” *Economic Geology*, vol. 65, pp. 373-408, Jul., 1970.
- [28] M. T. Einaudi, J. W. Hedenquist, & E. E. Inan, “Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments,” *Society of Economic Geologists, Special Publication 10*, pp. 285-313, Feb., 2003.
- [29] R. R. Loucks, “Distinctive composition of copper-ore-forming arc magmas,” *Australian Journal of Earth Sciences*, vol. 61, pp. 5-16, Mar., 2014.
- [30] S. Halley, “Mapping Magmatic and Hydrothermal Processes from Routine Exploration Geochemical Analyses,” *Economic Geology*, vol. 115, pp. 489-503, May., 2020.
- [31] P. B. Redmond, & M. T. Einaudi, “The Bingham Canyon Porphyry Cu-Mo-Au Deposit. I. Sequence of Intrusions, Vein Formation, and Sulfide Deposition,” *Society of Economic Geologists, Inc.*, vol. 105, pp. 43-68, Jan., 2010.
- [32] J. M. Proffett, “Geology of the Bajo de la Alumbreira Porphyry Copper-Gold Deposit, Argentina,” *Society of Economic Geologists, Inc.*, vol. 98, pp. 1535-1574, Dec., 2003.

ANEXOS

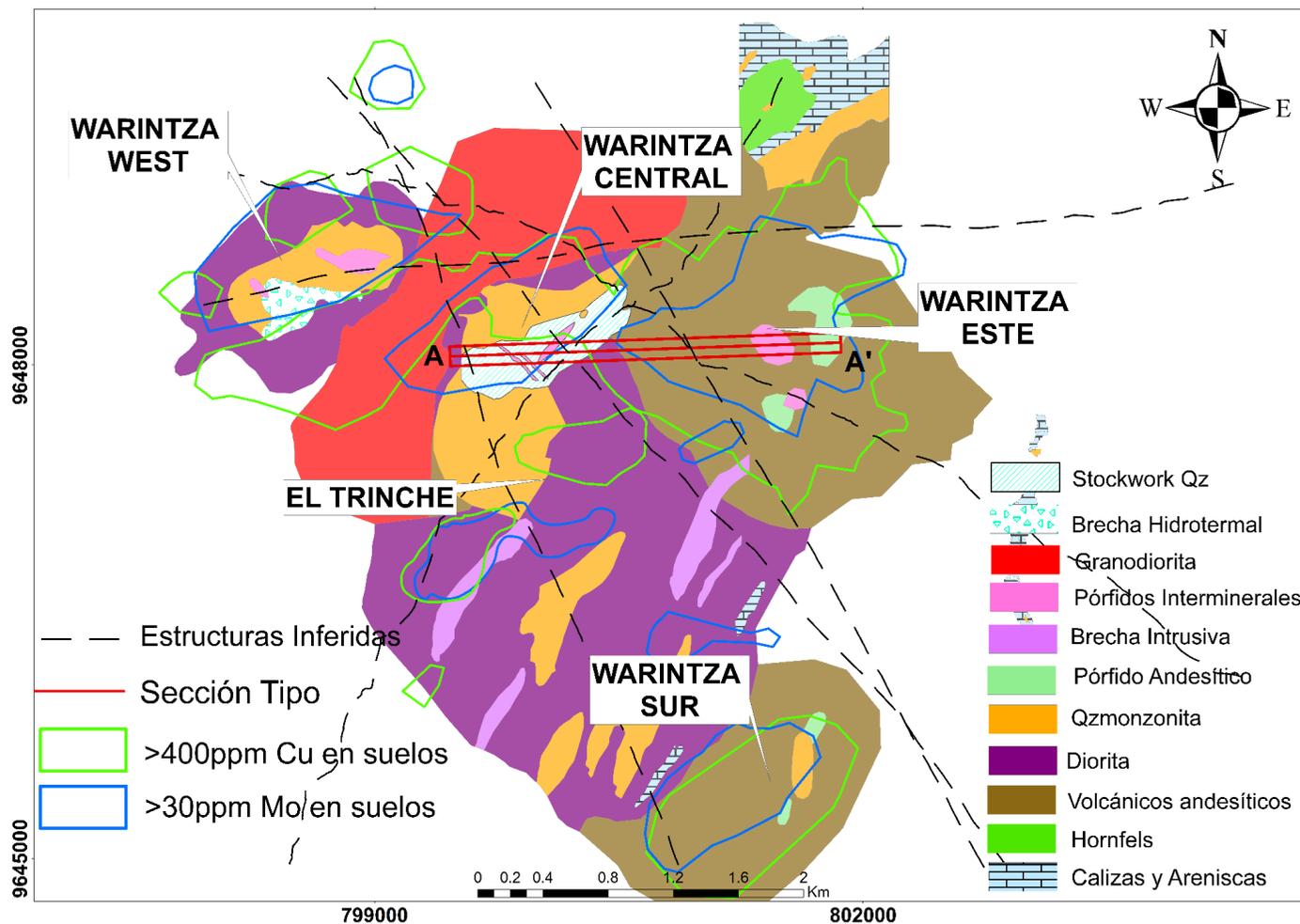


Figura A1: Mapa geológico del *clúster* Warintza con los contornos de las anomalías de suelo para Cu y Mo, las cuales definen los targets Warintza West, Warintza Central, Warintza Este, El Trinche y Warintza Sur. Además, se observan las estructuras que atraviesan el depósito, en general el sistema NNW-SSE es el dominante, existen también estructuras WE, NW-SE y NE-SW en menor cantidad.

Sección Longitudinal Mirando al Norte

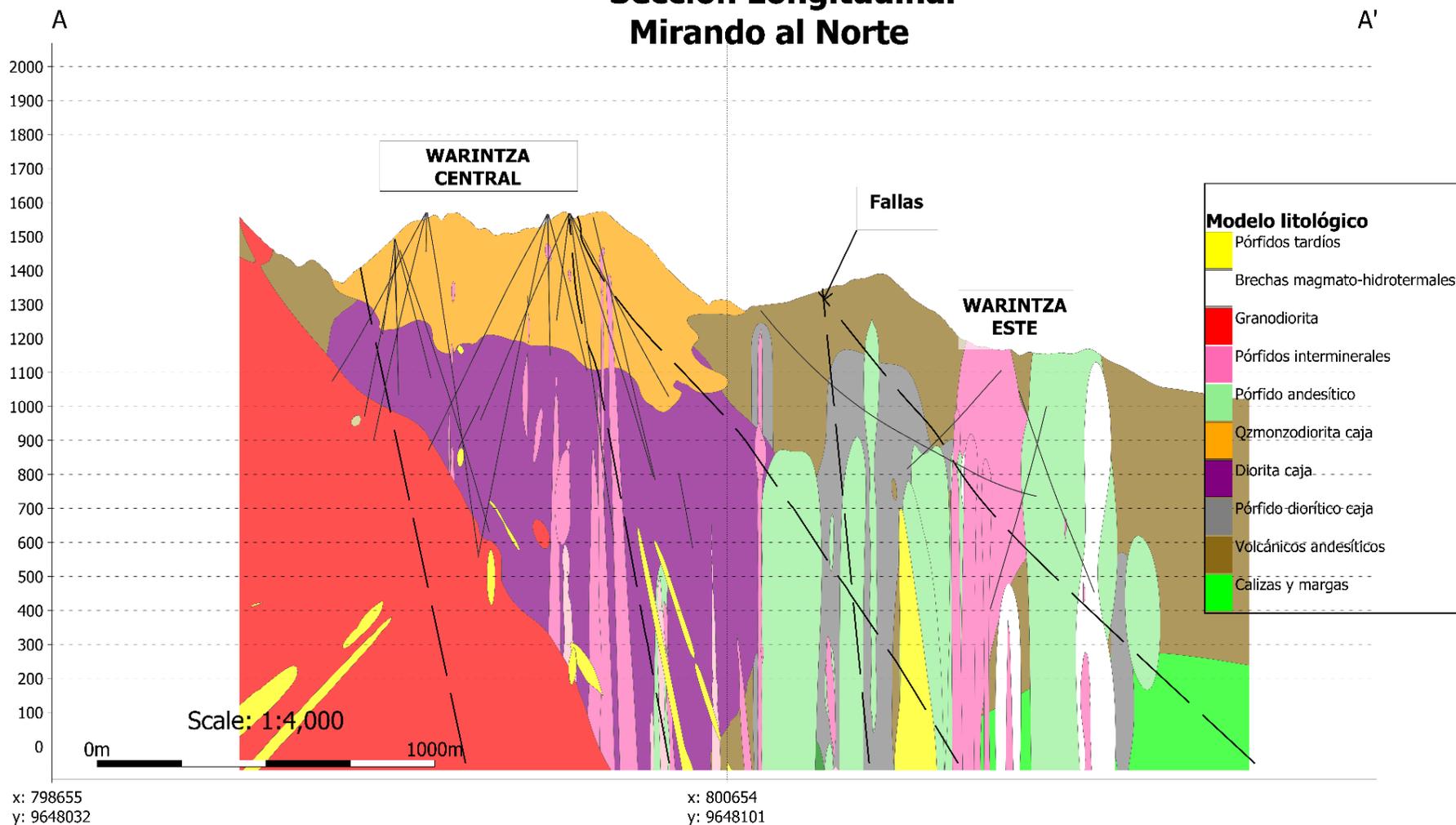
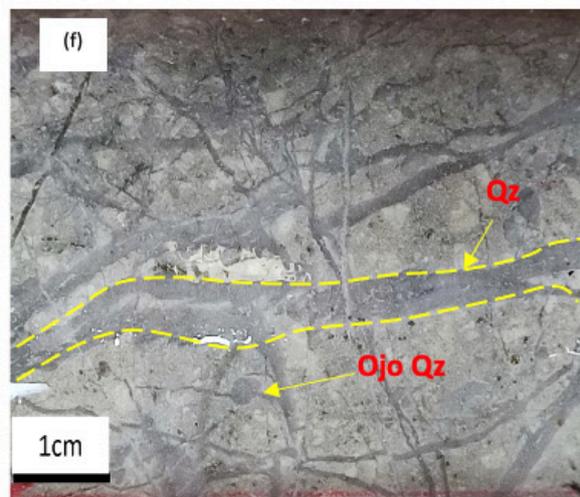
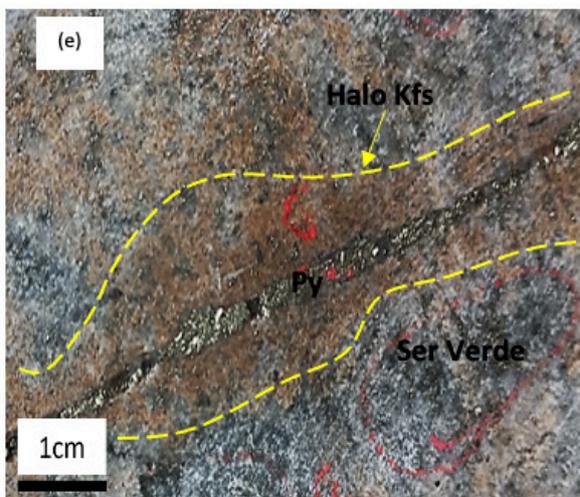
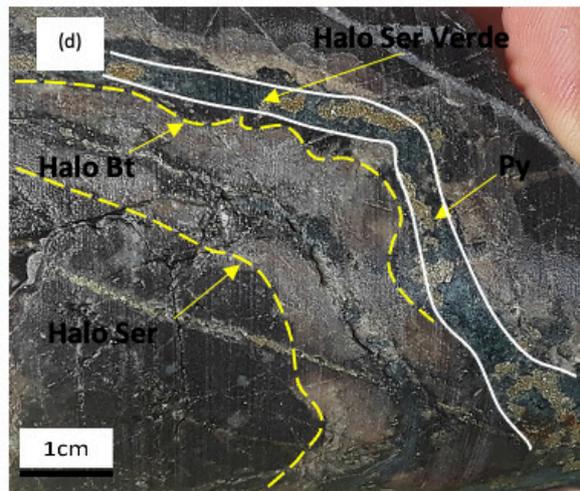
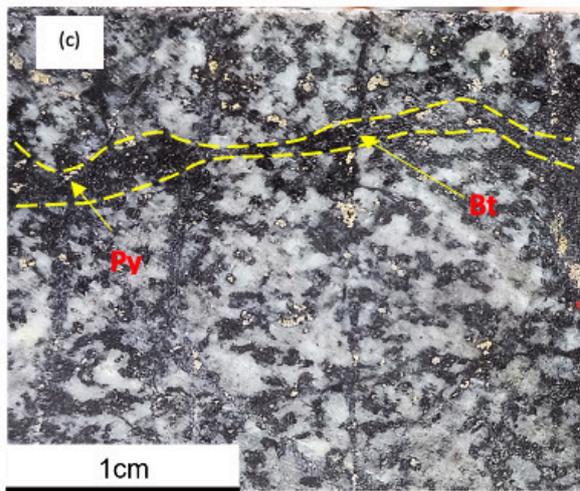
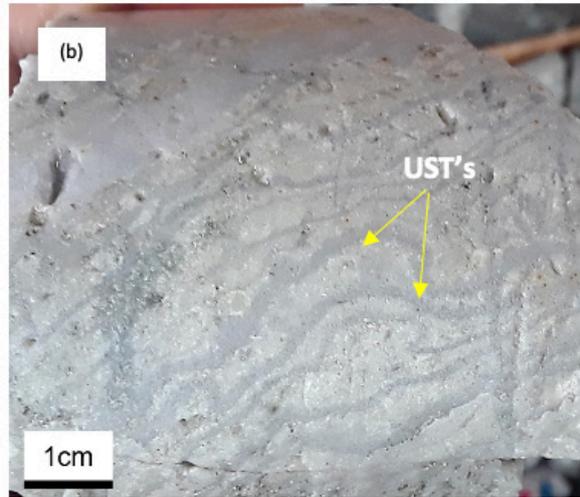
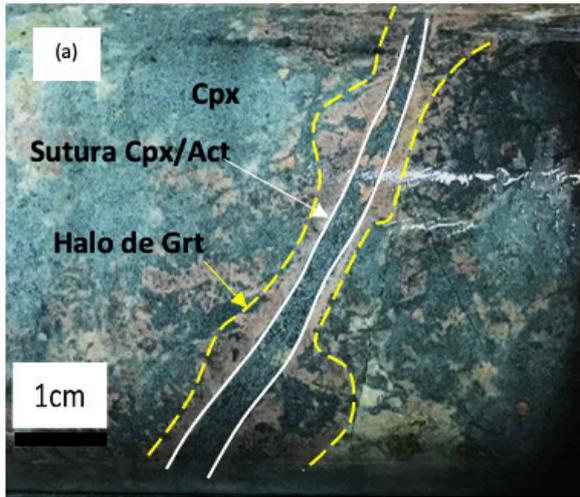


Figura A2: Sección longitudinal WE del depósito Warintza Central-Este en donde se puede apreciar las rocas más antiguas (Rocas sedimentarias y volcánicas) en la zona oriental de la sección, intruidas por pórfidos muy tempranos no asociados a mineralización (Pórfido diorítico caja) y cuerpos porfídicos interminerales hasta tardíos. En la transición hacia Warintza Central existen únicamente pórfidos dioríticos caja y pórfidos andesíticos; mientras que, en Warintza Central se observan rocas intrusivas como Diorita y cuarzo-monzodiorita caja cortadas por pórfidos interminerales, la zona occidental de Warintza Central está dominada por una intrusión Granodiorítica que corta a las unidades mencionadas previamente. También se observan bloques colgantes de las rocas volcánicas en la Granodiorita.



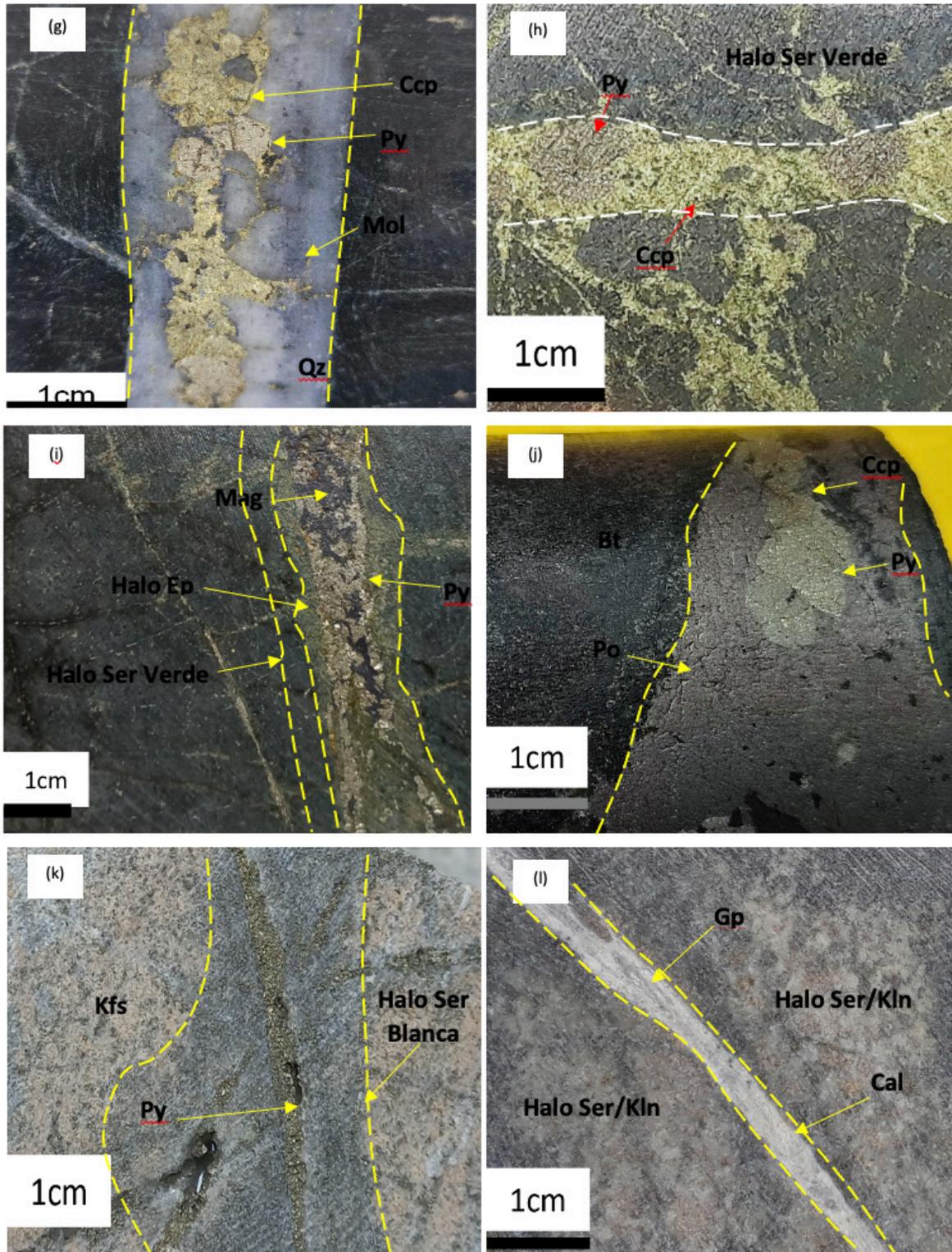


Figura A3: Ejemplos de tipos de vetillas de Warintza Central y Warintza Este. (a): Vetilla tipo skarn con sutura de Cpx/Act con halo de Grt emplazada en una roca skarnificada. (b): Textura tipo UST en un pórfido riódacítico. (c): vetillas tipo Eb de Bt con diseminación errática de Py. (d): Vetilla tipo EDM (*Early Dark Micaceous*) de Ser verde y Py en el centro y doble halo, el proximal de Bt y el distal de Ser. (e): Vetilla con sutura de Py y halo de Kfs destruyendo la Ser verde de fondo, denominada Fk-Py. (f): Vetillas de Qz sinuosas tipo A emplazadas en un pórfido riódacítico con ojos de Qz de hasta 3mm. (g): Vetilla recta tipo B con Qz, paredes de Mol y sutura central rellena de Py y Ccp, nótese que la Ccp rodea a Py indicando al menos dos eventos de precipitación de sulfuros. (h): Vetilla tipo C de Ccp y Py con halos destructivos de Ser verde, se observa Ccp rodeando a Py indicando al menos dos eventos de precipitación de sulfuros. (i): Vetilla con sutura de Py-Mag y doble halo, el proximal de Epidota y otro distal de Ser verde, son un subtipo de vetillas C, denominadas PyM debido a su paragénesis dominante. (j): Vetilla de Po emplazada en un hornfels de Bt, rodeando a granos de Py con Ccp en menores cantidades. (k): Vetilla con sutura central de Py y halo destructivo de Ser blanca tipo D, destruye la alteración de Kfs de fondo. (l): Vetilla de Cal y Gp con halo de Ser/Kln tipo D tardía (Dt).

Tabla A1: Matriz de caracterización, temporalidad y relación con la mena de las vetillas en Warintza Central-Este

Vetillas Warintza

Tipo de Vetilla/Textura	Subtipo	Temporalidad	Descripción	Relación de corte	Minerales ganga	Minerales metálicos	Halo	Relación con Cu (%)	Relación con Mo (ppm)
Skarn	N/A	Pre-pórfido	Vetillas rectas que oscilan desde 1mm hasta 2-3cm aparecen solo en zonas distales	Cortadas por vetillas de Qz tipo A, B y por vetillas tipo C y PyM	Grt, Cpx, Mag, Ep, Chl, Act, Ab	Py	Variable, puede ser de Grt o Ep	Estéril (<0,1)	Estéril (<100)
UST (Unidirectional Solidification Textura) y Cavidades miarolíticas	N/A	Temprana/Syn-intrusión	Texturas irregulares en intrusivos productores. Suelen aparecer como pseudo-vetillas	Principalmente las cortan vetillas B, C, D y Dt. Dependiendo el intrusivo que los alberga puede cortar vetillas tipo A o B	Qz, Kfs, Anh, Ab, Ep, Mag	Py >>> Ccp	N/A	Variable, depende de los cuerpos intrusivos asociados	
Eb (Early Biotite)	N/A	Temprana	Vetillas sinuosas como "hilos" de biotita irregular en zonas relativamente profundas	Cortada por vetillas tipo A, B, C, D y Dt. Corta parches skarnificados	Bt	Py >>> Ccp	N/A	Estéril (<0,1)	Estéril (<100)
EDM (Early Dark Micaceous)	EDM1	Temprana	Vetillas rectas observadas principalmente en Warintza Este. Oscilan entre 1mm a manera de "hilos" y alcanzan hasta 1 centímetro aproximadamente	Cortada por vetillas Qz,Py,Mol,Ccp y por vetillas tipo C y PyM	Ser verde, Ab/Kfs, Chl	Py >>> Ccp	Ab/Kfs	Baja-Moderada (0,1-0,4)	Estéril (<100)
	EDM2	Temprana	Vetillas semi-rectas que se confunden con vetillas tipo Eb y aparecen en zonas profundas de Warintza Central	Cortada por vetillas tipo A, B, C, D y Dt	Ser verde, Chl, Bt	Py >>> Ccp	Ser verde, Bt	Baja-Moderada (0,1-0,4)	Estéril (<100)
	Qz-EDM	Temprana	Son típicas de las partes someras de Warintza Central y son rectas con sutura de Qz con oquedades de Anh disuelta y halos de Ser verde simétricos	Cortan halos de vetillas tipo EDM "clásicas" y son cortadas por vetillas tipo A, B y D	Qz, Ser verde, oquedades de Anh, Chl, And	Ccp>Py	Ser verde	Alta (>0,4)	Baja-Moderada (100-250)
Fk-Py (Feldespato potásico-Pirita)	N/A	Temprana	Vetillas rectas que alteran a las zonas de Ser verde de tiempo EDM tanto a los halos como a los parches, el Kfs tiende a estar siempre sericitizado y se confunden con vetillas tipo D	Alteran a los halos de Ser verde, por ende, cortan vetillas tipo EDM (de todos los subtipos) y son cortadas por vetillas tipo A, B, C y D	Kfs, Ser	Py	Kfs	Estéril (<0,1)	Estéril (<100)

A	N/A	Temprana	Vetillas semi-rectas casi en un 90% de Qz sacaroidal y eventualmente Qz masivo gris-azulado con textura en "algodón". No presenta sutura central y ocasionalmente Mol errática	Corta vetillas de Skarn, Eb, EDM y Fk-Py. Es cortada por vetillas B, C, PyM, D y Dt. Esporádicamente relación inversa de corte con vetillas B	Qz, Kfs, Ab, Anh ± Mag	Py>>Ccp± Mol	Ocasionalmente de Kfs o Ab	Baja-Moderada (0,1-0,4)	Baja-Moderada (100-250)
B	B	Transicional	Vetillas rectas con muchas variedades, pero en general Mol continua en las paredes y algo diseminado en la sutura central, misma que tiende a ser moderadamente desarrollada	Corta vetillas tipo Skarn, Eb, EDM, Fk-Py y en general a vetillas tipo A. Cortadas por vetillas C, PyM, D y Dt; puntualmente relación inversa de corte con vetillas tipo A y C	Qz, Anh ± Mag ± Kfs	Mol>>Py>> Ccp	Ocasionalmente de Kfs o Ab	Baja-Moderada (0,1-0,4)	Alta (>250)
	B1	Transicional	Vetillas rectas compuestas en un 95% de Mol y ocasionalmente tienen muy poco Qz. Tienen espesores milimétricos, aparecen como "hilos azules"	Corta vetillas tipo A y son cortadas por vetillas tipo C y D. No son muy difundidas	Qz	Mol	N/A	Estéril (<0,1)	Alta (>250)
	B2	Transicional	Vetillas rectas con Qz y Mol rellenando la sutura central, se diferencia de las vetillas tipo B por el lugar de ocurrencia de la Mol	Corta vetillas tipo A y son cortadas por vetillas tipo C y D. No son muy difundidas	Qz, Anh ± Mag ± Kfs	Mol>>Py>> Ccp	N/A	Baja-Moderada (0,1-0,4)	Alta (>250)
C	C	Transicional	Vetillas rectas con Py y/o Ccp en la sutura y halos destructivos de Ser gris/verde con Chl. La Ccp y Py se hallan diseminadas en sus halos y muy ocasionalmente pueden traer Mol y/o Anh	Cortan a vetillas tempranas y transicionales y son cortadas por vetillas D y Dt. Ocasionalmente se ha observado relación de corte inversa con las vetillas tipo B	Ser verde, Chl ± Anh ± Mag ± Bt	Ccp>Py>>>Mol	Ser verde, Chl	Alta (>0,4)	Baja-Moderada (100-250)

	PyM	Transicional	Vetillas rectas con Py y Mag con halos variables de Ep, Chl y/o Ab. Tienden a ubicarse en los bordes de los valores altos en Cu o estar ligadas a rocas máficas	Cortan a las vetillas Eb, EDM, A y B. Son cortadas por vetillas D y Dt	Mag, Ep, Chl, Ab, Anh	Py >>> Ccp	Ep, Ab, Ser verde, Chl	Baja-Moderada (0,1-0,4)	Estéril (<100)
Po (Pirrotina)	N/A	Transicional	Vetillas rectas cuyos espesores van desde 1mm hasta 1-2cm, suelen estar rodeando a Py y Ccp y en zonas muy distales al depósito.	Corta vetillas A, B y posiblemente sea parte del evento C	N/A	Po	N/A	Estéril (<0,1)	Estéril (<100)
D	N/A	Tardía	Vetillas rectas que oscilan la escala milimétrica y pueden llegar a ser vetas decimétricas. Tienen Py en la sutura y diseminada en el halo, muy ocasionalmente puede traer Mol	Corta vetillas Tempranas y Transicionales, solo es cortada por Dt	Ser blanca	Py	Ser blanca	Estéril (<0,1)	Baja-Moderada (100-250)
Dt	N/A	Tardía	Vetillas rectas cuyos espesores van desde 1mm hasta 1-2cm. Pueden o no generar halos no destructivos, así mismo, no siempre tienen mineralización epitelmal	Cortan a todas las vetillas anteriores	Cal, Gp, Kln, Ser blanca	Py>>Sp>Gn>Ttr>Ccp	Variable, puede ser Ser blanca y/o Kln	Estéril (<0,1)	Estéril (<100)

Abreviaturas de [12]: Grt: Granate; Cpx: Clinopiroxeno; Mag: Magnetita; Ep: Epidota; Chl: Clorita; Act: Actinolita; Ab: Albita; Py: Pirita; Qz: cuarzo; Kfs: Feldespato potásico; Anh: Anhidrita; Ccp: Calcopirita; Bt: Biotita; Mol: Molibdenita; Ser: Sericita; And: Andalucita; Po: Pirrotina; Cal: Calcita; Gp: Yeso; Kln: Kaolinita; Sp: Esfalerita/Blenda; Gn: Galena; Ttr: Tetraedrita.

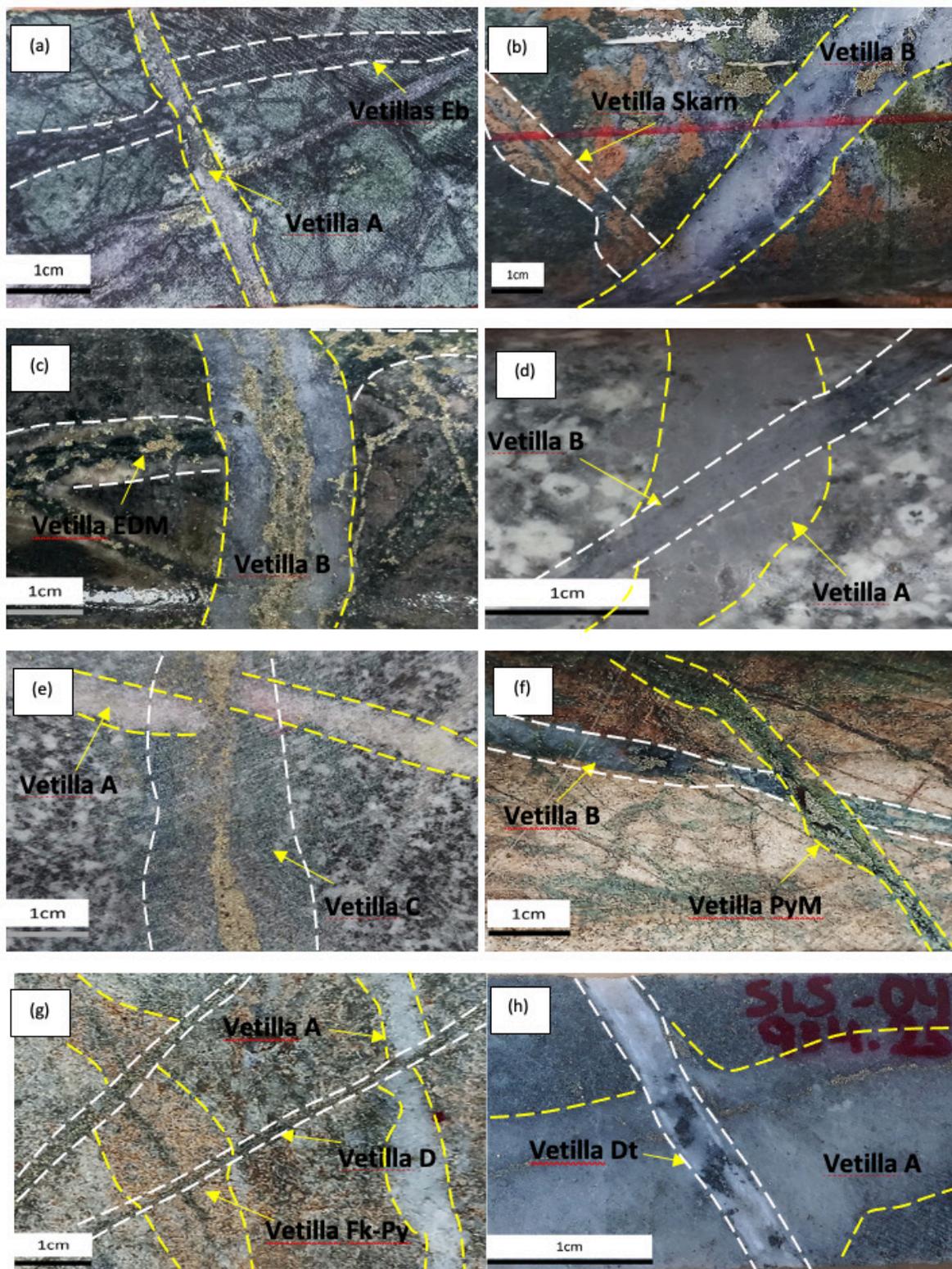
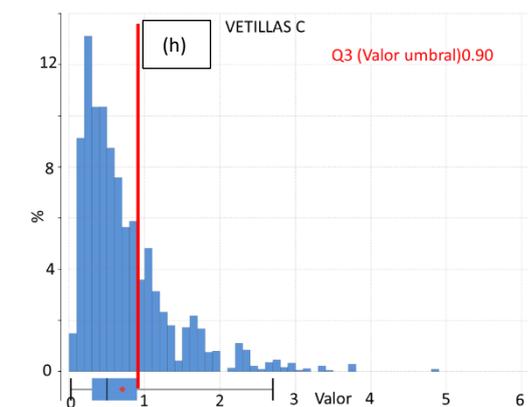
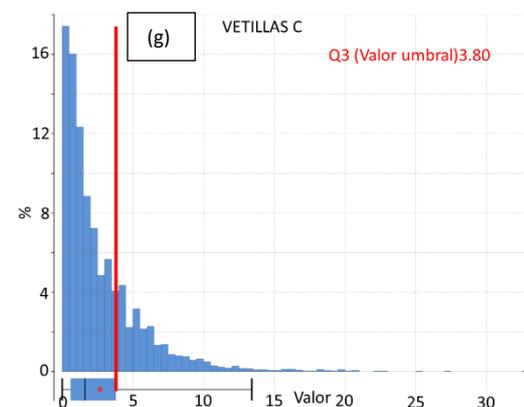
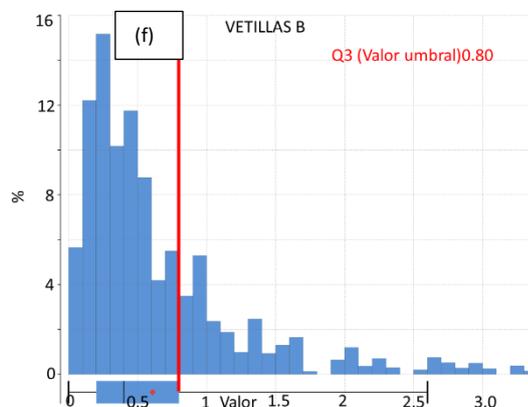
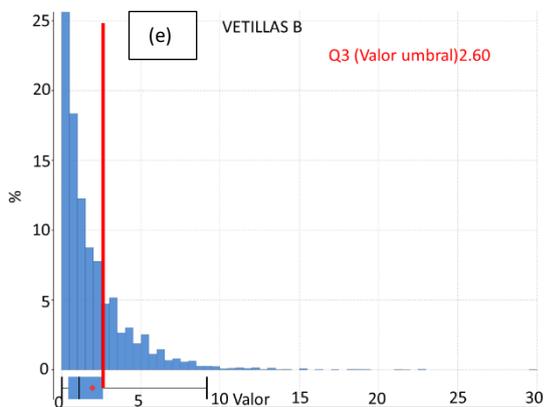
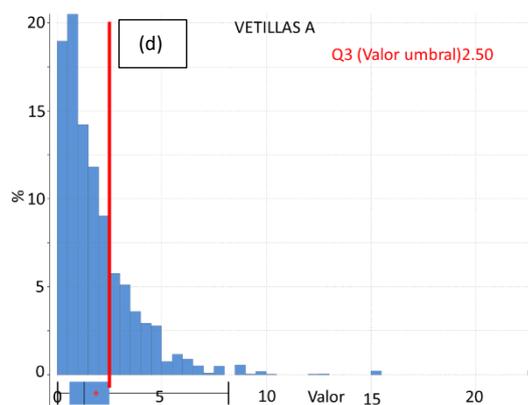
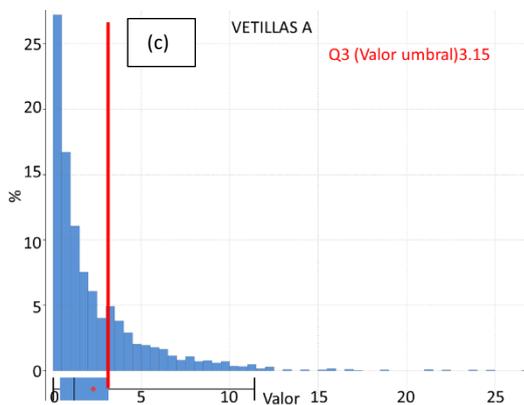
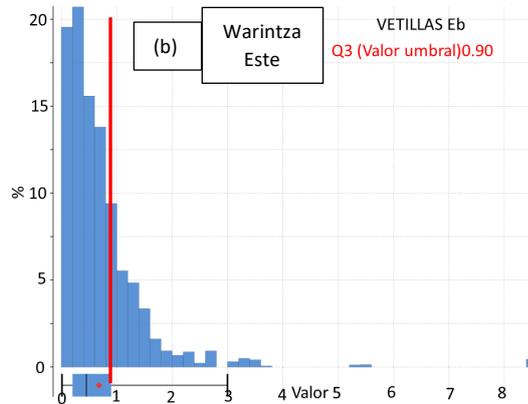
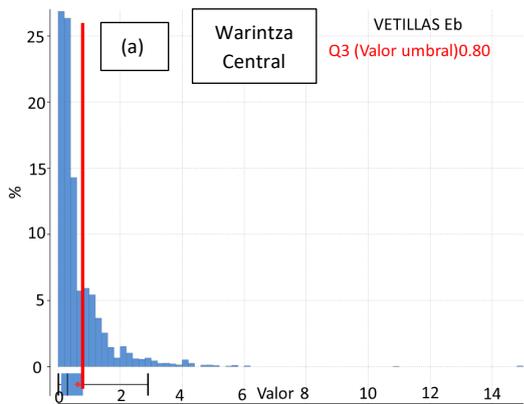


Figura A4: Relaciones de corte de vetillas de Warintza Central-Este. (a): Stockwork de vetillas tipo Eb cortadas por una vetilla tipo A de Qz-Py, en una roca skarnificada con matriz de Act/Cpx. (b): Vetilla tipo skarn de Grt color naranja cortada por vetilla tipo B de Qz-Mol-Py. (c): Vetilla tipo EDM cortada por vetilla tipo B de Qz-Py-Ccp-Mol. (d): Vetilla tipo A cortada por vetilla tipo B de Qz con paredes de Mol, ambas cortando un pórfido dacítico, las oquedades representan Anh que ha sido disuelta. (e): Vetilla tipo A de Qz-Anh cortada por vetilla tipo C de Py-Ccp con halo destructivo de Ser Verde, ambas cortando una Diorita con alteración potásica de fondo. (f): Vetilla tipo B de Qz-Mol-Py cortada por una vetilla tipo C, del subtipo PyM de Py-Mag-Ep, ambas emplazadas en un skarn de Grt. (g): En la parte izquierda se observa unas vetillas de Fk-Py y a la derecha una vetilla tipo A de Qz-Py, ambas cortadas por vetillas tipo D de Py. (h): Vetilla tipo A de Qz-Py en el fondo, cortada por vetilla de Cal-Sp-Tr tipo Dt.

Tabla A2: Matriz de medidas estadísticas de dispersión y tendencia central según cada tipo de vetilla en los distintos *targets* Warintza Central y Warintza Este

<i>Target</i>	Tipo de Vetilla	#Datos	Media	Desviación Stándard	Coefficiente de Variación	Varianza	Mínimo	Máximo	Q1	Q2	Q3 (valor umbral)
Warintza Central	Eb	842	0,64	0,88	1,39	0,78	0,008	15	0,10	0,30	0,80
	A	2790	2,29	2,86	1,25	8,20	0,02	26,6	0,4	1,2	3,15
	B	3396	1,94	2,30	1,19	5,29	0,01	30	0,41	1,10	2,60
	C	3184	2,66	2,98	1,11	8,86	0,01	33	0,60	1,62	3,80
	PyM	1319	3,27	3,84	1,17	14,76	0,01	35,5	0,70	2,00	4,30
	D	3546	3,62	4,10	1,13	16,78	0,01	35	0,60	2,30	5,10
Warintza Este	Eb	456	0,68	0,84	1,23	0,70	0,01	8,60	0,20	0,45	0,90
	A	611	1,87	2,06	1,10	4,24	0,03	22,8	0,60	1,30	2,50
	B	502	0,61	0,61	1,00	0,37	0	3,4	0,20	0,40	0,80
	C	506	0,70	0,64	0,91	0,41	0,02	6,2	0,30	0,50	0,90
	PyM	436	1,79	1,70	0,95	2,90	0,02	11,40	0,47	1,40	2,50
	D	344	0,67	0,80	1,20	0,64	0,05	7,30	0,20	0,40	0,80



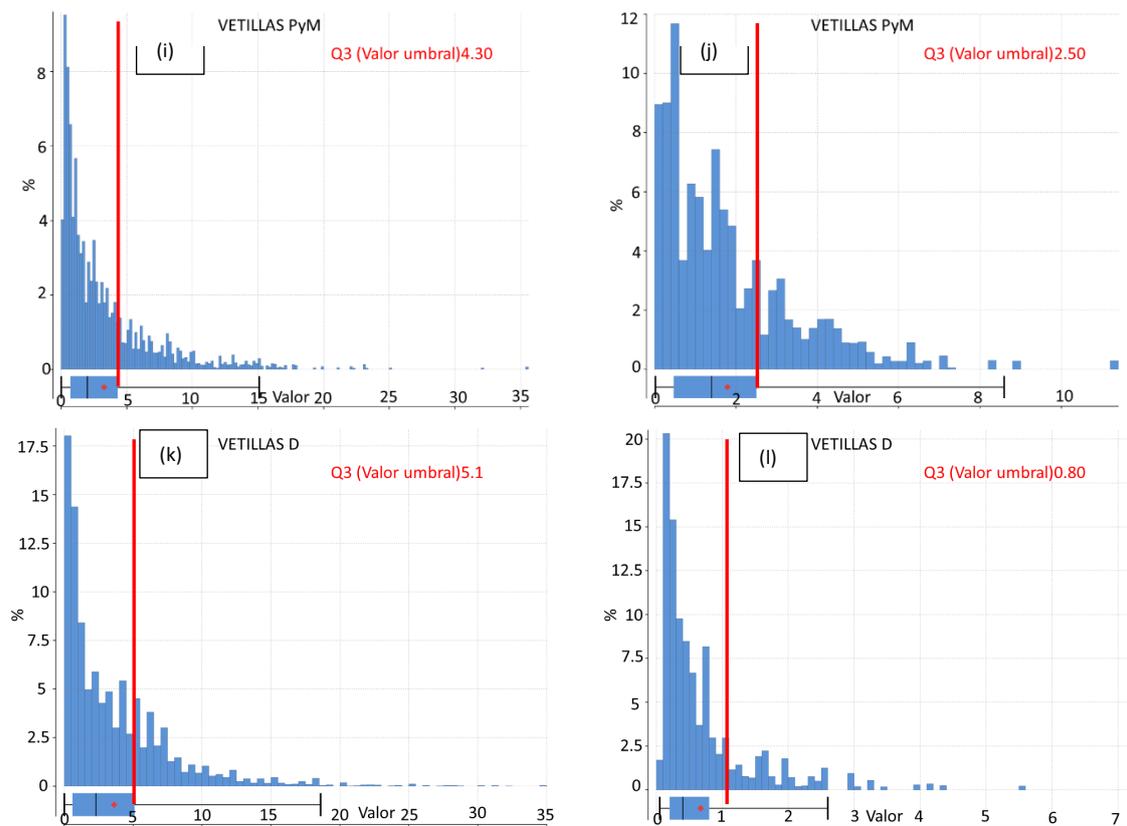


Figura A5: Histogramas de frecuencia y algunas medidas estadísticas de los tipos de vetillas según el *target* Warintza Central (columna izq.) y Warintza Este (columna der.), el eje de las X corresponde al porcentaje de vetillas obtenido en el mapeo de sondajes y en el eje de las Y, el porcentaje que ese rango de valores está presente en el depósito. En cada histograma se muestra en la parte inferior, el diagrama de caja y bigotes, el punto rojo representa la media y la línea roja vertical representa el cuartil 3 (Q3) que se utilizó como valor umbral para modelar los datos.