



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

METALOGÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS POLIMETÁLICOS DEL DISTRITO CUTTER COVE, REGIÓN DE MAGALLANES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

GABRIEL ANDRÉS GONZÁLEZ GARCÍA

PROFESOR GUÍA
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
KATJA DECKART
EDUARDO VALENCIA CORTÉS
MARCO CARRASCO GAJARDO

SANTIAGO DE CHILE
2023

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Geólogo

POR: Gabriel Andrés González García

FECHA: 2023

PROFESOR GUÍA: Brian Townley Callejas

METALOGÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS POLIMETÁLICOS DEL DISTRITO CUTTER COVE, REGIÓN DE MAGALLANES

Chile se destaca a nivel mundial como un país minero, ya que posee los recursos cupríferos más grandes del mundo, los que se explotan en las zonas norte y central del territorio. En cambio, en las zonas sur y austral, estos son notablemente menores, de ocurrencia discreta, y en tipos de yacimientos que no son los comunes y gigantes ocurrentes hacia el norte. En particular, la región de Magallanes ha sido poco explorada, teniendo como principal referente al distrito Cutter Cove. Este se encuentra al SW de la Península de Brunswick y consiste en sistemas de vetas de Qz y sulfuros ricos en metales preciosos y metales base; las que están hospedadas en un complejo metamórfico.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio de compilación e integración de datos geoquímicos, junto con información sobre el contexto tectono-magmático del distrito. Este se encuentra validado con levantamiento de información en terreno, considerando tanto muestras recuperadas de desmontes, como en testigos de sondajes y canaletas almacenados en Punta Arenas. Con respecto al marco geológico, se identifican dos grandes regiones: el Batolito Patagónico y la Faja Plegada y Corrida de Magallanes. El primero es una amalgamación de plutones cristalizados entre el Jurásico y el Cenozoico; mientras que la última consiste en una serie de litologías fuertemente deformadas que afloran como franjas subparalelas, las que se clasifican en: complejos metamórficos, complejos ofiolíticos y unidades estratificadas.

La finalidad del presente trabajo es evaluar e interpretar las relaciones genéticas del sistema de vetas, a partir de la evolución geológica y tectono-magmática de este distrito, junto con el análisis de los datos y las observaciones realizadas en terreno. En este último se incluye la identificación de: texturas, estilos de mineralización y minerales de mena y ganga. Los minerales generados a raíz del hidrotermalismo son principalmente sulfuros, en donde se reconocen: pirita, pirrotina, arsenopirita, calcopirita, esfalerita y galena. En cambio, los minerales de alteración más frecuentes son clorita, epidota y, ocasionalmente, carbonatos.

La mineralización estudiada se ha interpretado como el producto de dos eventos metalogénicos. El primero estaría asociado con el régimen compresivo iniciado a mediados del Cretácico, el cual comenzó durante el rompimiento de Gondwana y dio origen a yacimientos orogénicos polimetálicos. Por otra parte, el segundo evento se habría originado por actividad hidrotermal a bajas profundidades, que dio como resultado la zonación típica de un depósito epitermal de baja sulfuración.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

La primera persona a la que quiero agradecer es a mi pareja Catalina. Quiero aclarar que no hago esto “por cumplir” o para aparentar ser un buen pololo; sino que simplemente este trabajo no habría sido posible sin ella. Desde el primer paper que leí, hasta el último párrafo que escribí, ella ha estado ahí presente; ya sea para revisar mi redacción o tener detalles tan simples como servirme una taza de café mientras me repetía “lo lograrás”. Ahora puedo contestarte con orgullo “lo logré y siempre te lo voy a agradecer mi amor”; estuviste ahí a pesar del desgaste que implica para ti ser profe y ponías todo tu empeño en leer mis avances a pesar de que esta no es tu área.

También le quiero dar las gracias a mi profesor guía Brian Townley. No he olvidado ese día cuando me quedé después de clases a preguntarle por alguna opción para dar mi segunda práctica profesional. En ese momento no lo vi venir, pero gracias a su movida terminé teniendo mi práctica, el tema para esta tesis y, además, la oportunidad de tener experiencia laboral trabajando como memorista. No sólo eso, también conocí a un gran ser humano que dedicaba horas a contestar mis dudas y hacer importantes sugerencias, eso sin importar lo inoportunas que fueran mis llamadas o mis peticiones para hacer una reunión.

Por otra parte, le quiero agradecer a mi ex jefe Walter Muehlebach por ser la persona que me fue guiando en esta primera experiencia en el mundo laboral. Se que estos meses sólo han sido una pincelada de todo lo que me espera más adelante, pero, entre otras cosas, con él aprendí la diferencia entre un jefe y un líder. También a Eduardo Valencia, el geólogo jefe de la campaña, que supervisó la recopilación de información y me ayudó a pulir mi forma de describir. Otra persona que a la que le quiero dar las gracias es a Abraham, el gerente de operaciones, por ser quien gestionó el envío de las muestras a Santiago una vez terminada la campaña. Por último, no podían faltar “los viejos” que hicieron las perforaciones y que siempre salían con un chiste para hacer más amenos los turnos (no es menor estar 15 días sin señal en el fin del mundo...), voy a recordar con mucho cariño a Ricardo, Don Guille, Pedro, al Colo, Nelson y a Mario.

Para las dedicatorias, al primero que quiero mencionar es mi hermano Maxito, eres la persona más importante que tengo y sé que quizás mi carácter no me permita demostrarlo muy seguido, pero quiero que sepas que jamás me moveré de tu lado y siempre estaré ahí cuando lo necesites. También le dedico este trabajo a mis padres, mis tíos y a mi abuela; quienes nunca dejaron de apoyarme en este proceso a pesar de lo largo que fue. Mi amigo Sebastián, con quien ya llevamos más de 10 años de amistad y a estas alturas quiero como a un hermano. Mención especial para mi amigo Rube, que me ayudó con todas mis dudas sobre el formato de la tesis y la presentación.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
CAPÍTULO I	
Introducción.....	1
1.1 Formulación del estudio propuesto.....	1
1.2 Hipótesis.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Ubicación y rutas de acceso.....	4
1.5 Metodología de trabajo.....	5
1.5.1 Antecedentes de estudio.....	5
1.5.2 Trabajo en terreno.....	5
1.5.3 Trabajo de gabinete.....	6
1.6 Marco teórico.....	7
1.6.1 Depósitos orogénicos.....	7
1.6.2 Depósitos epitermales.....	11
1.7 Geología regional.....	14
1.7.1 Batolito Patagónico.....	14
1.7.2 Faja Plegada y Corrida de Magallanes.....	16
CAPÍTULO II	
Resultados.....	25
2.1 Geología local.....	25
2.1.1 Litologías.....	25
2.1.2 Sistemas de vetas.....	28
2.2 Análisis estadístico.....	36
2.2.1 Análisis univariable.....	39
2.2.2 Análisis multivariable.....	53
2.2.3 Análisis de poblaciones.....	61
2.2.4 Análisis de distribución espacial.....	70
CAPÍTULO III	
Discusión.....	75
3.1 Contexto geológico.....	75
3.2 Control estructural.....	76
3.3 Relación temporal entre mineralización y roca huésped.....	77
3.4 Fluidos hidrotermales.....	78
3.5 Veta Gorda.....	80
3.6 Isla Green.....	84

CAPÍTULO IV	
Conclusiones y recomendaciones.....	85
4.1 Depósitos orogénicos.....	85
4.2 Veta Gorda.....	86
4.3 Isla Green.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXOS.....	92
ANEXO A. Análisis univariable.....	92
ANEXO B. Análisis multivariable.....	101
ANEXO C. Análisis de poblaciones.....	109
ANEXO D. Análisis de distribución espacial.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1.1: Localización del proyecto Cutter.....	2
FIGURA 1.2: Ubicación y rutas de acceso al distrito Cutter Cove.....	4
FIGURA 1.3: Mapa estructural del distrito minero de Kundana (Groves et al., 2018).....	9
FIGURA 1.4: Modelo genético del depósito de Huogeqi (Lu et al., 2021).....	10
FIGURA 1.5: Zonación vertical de los depósitos epitermales (Pirajno, 2009).....	11
FIGURA 1.6: Esquemas de los estilos de depósitos epitermales, indicando los fluidos involucrados y condiciones de pH y sulfuración (White & Hedenquist, 1990).....	12
FIGURA 1.7: Geología regional de Magallanes (Fildani et al., 2008).....	14
FIGURA 1.8: Complejos metamórficos presentes en la Patagonia y Tierra del Fuego (Calderón et al., 2016).....	17
FIGURA 1.9: Secciones esquemáticas de los complejos Sarmiento y Tortuga (Stern & De Wit 2003).....	20
FIGURA 2.1: Transición entre turba y capa de paleosuelo.....	25
FIGURA 2.2: Alteraciones en el basamento metamórfico de Cutter Cove.....	26
FIGURA 2.3: Toba cristalina perteneciente a Formación Tobífera.....	27
FIGURA 2.4: Dique diorítico sin alteración, con presencia de anfíbol y magnetita.....	27
FIGURA 2.5: Mapa geológico de Cutter Cove (Cordery, 2015).....	28
FIGURA 2.6: Estructuras identificadas en Mina Cristina.....	29
FIGURA 2.7: Sulfuros y estilos de mineralización en Mina Cristina.....	30
FIGURA 2.8: Texturas y brechización identificadas en Veta Gorda.....	31
FIGURA 2.9: Mineralización de sulfuros en Veta Gorda.....	32
FIGURA 2.10: Texturas a escala de muestra de mano en Mina Cutter.....	33
FIGURA 2.11: Sulfuros y estilos de mineralización en Mina Cutter.....	34
FIGURA 2.12: Veta centimétrica de Qz-Chl en Ingleses.....	35
FIGURA 3.1: Interpretación estructural del distrito Cutter Cove (Cordery, 2015).....	76
FIGURA 3.2: Relación temporal entre vetillas y roca huésped.....	78
FIGURA 3.3: Posible Adularia en sector de Veta Gorda.....	81

FIGURA AIII.1: Histogramas sector Cristina.....	109
FIGURA AIII.2: Frecuencias acumuladas sector Cristina.....	110
FIGURA AIII.3: Histogramas sector Isla Green.....	111
FIGURA AIII.4: Frecuencias acumuladas sector Isla Green.....	112
FIGURA AIII.5: Histogramas sector Cutter.....	113
FIGURA AIII.6: Frecuencias acumuladas sector Cutter.....	114
FIGURA AIII.7: Histogramas sector Veta Gorda.....	115
FIGURA AIII.8: Frecuencias acumuladas sector Veta Gorda.....	116
FIGURA AIII.9: Histogramas sector Angélica.....	117
FIGURA AIII.10: Frecuencias acumuladas sector Angélica.....	118
FIGURA AIII.11: Histogramas sector Ingleses.....	119
FIGURA AIII.12: Frecuencias acumuladas sector Ingleses.....	120
FIGURA AIII.13: Histogramas sector Franceses.....	121
FIGURA AIII.14: Frecuencias acumuladas sector Franceses.....	122
FIGURA AIV.1: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Cristina. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	123
FIGURA AIV.2: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Cristina. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	124
FIGURA AIV.3: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Isla Green. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	125
FIGURA AIV.4: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Isla Green. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	126
FIGURA AIV.5: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Mina Cutter. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	127

FIGURA AIV.6: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Mina Cutter. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	128
FIGURA AIV.7: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Veta Gorda. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	129
FIGURA AIV.8: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Veta Gorda. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	130
FIGURA AIV.9: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Angélica. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	131
FIGURA AIV.10: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Angélica. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	132
FIGURA AIV.11: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Ingleses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	133
FIGURA AIV.12: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Ingleses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	134
FIGURA AIV.13: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Franceses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	135
FIGURA AIV.14: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Franceses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).....	136

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA 2.1: Análisis de poblaciones sector Mina Cristina.....	63
TABLA 2.2: Análisis de poblaciones sector Isla Green.....	64
TABLA 2.3: Análisis de poblaciones sector Mina Cutter.....	65
TABLA 2.4: Análisis de poblaciones sector Veta Gorda.....	66
TABLA 2.5: Análisis de poblaciones sector Angélica.....	67
TABLA 2.6: Análisis de poblaciones sector Ingleses.....	68
TABLA 2.7: Análisis de poblaciones sector Franceses.....	69
TABLA 2.8: Promedios, desviaciones estándar, errores estándar, límites regionales y medias globales para elementos estudiados a partir de sondajes y canaletas superficiales en el distrito Cutter Cove.....	70
TABLA 2.9: Límites regionales, medias globales y umbrales para anomalías globales y locales para elementos estudiados a partir de sondajes y canaletas superficiales en el distrito Cutter Cove.....	72
TABLA 3.1: Correlaciones entre Ag-Au y Ag con los metales base (Cu, Pb y Zn) presentes en los sistemas de vetas del distrito Cutter Cove.....	79
TABLA AI.1: Estadígrafos ley de Cu (%) en canaletas subterráneas en Cristina y Cutter....	92
TABLA AI.2: Estadígrafos para los cuartiles de las canaletas subterráneas en Cristina....	92
TABLA AI.3: Estadígrafos de sondajes en Cristina.....	93
TABLA AI.4: Estadígrafos de canaletas superficiales en Isla Green.....	95
TABLA AI.5: Estadígrafos sector Mina Cutter (canaletas superficiales y sondajes).....	95
TABLA AI.6: Estadígrafos sector Veta Gorda (canaletas superficiales y sondajes).....	97
TABLA AI.7: Estadígrafos sector Angélica (canaletas superficiales y sondajes).....	98
TABLA AI.8: Estadígrafos de canaletas superficiales en Ingleses.....	99
TABLA AI.9: Estadígrafos sector Franceses (canaletas superficiales y sondajes).....	99
TABLA AII.1: Matriz de correlación para mediciones en Mina Cristina.....	101
TABLA AII.2: Matriz de correlación para mediciones en Isla Green.....	103
TABLA AII.3: Matriz de correlación para mediciones en Mina Cutter.....	103
TABLA AII.4: Matriz de correlación para mediciones en Veta Gorda.....	105

TABLA AII.5: Matriz de correlación para mediciones en Angélica.....	106
TABLA AII.6: Matriz de correlación para mediciones en Ingleses.....	107
TABLA AII.7: Matriz de correlación para mediciones en Franceses.....	107

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1) FORMULACIÓN DEL ESTUDIO PROPUESTO

La historia de Chile se encuentra fuertemente ligada a la industria de la minería metálica. Si bien el metal más relevante es el cobre, se reconocen diversos elementos que, en determinados períodos, han tenido una importancia económica en el territorio, tales como el cobalto, el hierro y el oro (Townley et al., 2017; Cochilco, 2017). Por otra parte, las mayores contribuciones a la actividad minera del país están limitadas a las zonas norte y central; destacando depósitos del tipo pórfido cuprífero y, en menor medida, epitermales e IOCG. En cambio, la escasez de exploraciones realizadas en la zona austral -en particular, la Región de Magallanes- ha implicado que esta no tenga la importancia minera observada hacia el norte.

En efecto, dicha región tiene como principal referente el distrito de Cutter Cove, ubicado al suroeste de la Península de Brunswick (figura 1.1) y que es propiedad de la empresa Red Hill Magallanes Spa. Este fue descubierto a inicios del siglo XX y consiste en sistemas de vetas polimetálicas de cuarzo (Qz) y sulfuros como pirita (Py), calcopirita (Cpy), galena (Gal), esfalerita (Sph), arsenopirita (Aspy) y pirrotina (Pyrr). Si bien se ha levantado información geológica en el distrito a partir de sondajes y canaletas; no existe una caracterización detallada de este en donde se integren su geoquímica y su ambiente tectono-magmático, el cual podría suscitar un interés tanto de carácter académico como económico para futuras exploraciones en la región.

La Patagonia ofrece una amplia variedad de ambientes propicios para diversos yacimientos minerales a lo largo del Ciclo Andino. Este último se relaciona con el rompimiento Gondwana, extendiéndose desde finales del Jurásico temprano hasta el presente y se encuentra descrito en detalle por Charrier et al. (2007), donde se reconocieron 3 grandes etapas para esta región:

En primer lugar, entre el Jurásico medio y el Jurásico tardío, se produjo una extensión de trasarco que dio origen a la denominada Cuenca de Rocas Verdes, el cual consiste en complejos ofiolíticos formados por ascenso del manto como consecuencia del adelgazamiento cortical (Stern & De Wit, 2003). Hacia el oeste de dichos complejos, se inició también un amplio volcanismo de carácter félsico asociado a subducción junto con la formación de plutones de composición riolítica-dacítica debido a la anatexis cortical (Hervé et al., 2007a).

Posteriormente, desde el Jurásico tardío hasta el Cretácico tardío, se inició un proceso de subsidencia termal que provocó una ingresión marina generalizada a lo largo de la cuenca formada en la etapa anterior. Esto propició la depositación de numerosas formaciones de carácter marino en Palena, Aysén y Magallanes. Para terminar, se tuvo una inversión tectónica desde inicios del Cretácico tardío que cerró la cuenca mencionada antes

(incluyendo una obducción) y dio origen a un orógeno cuyas estructuras más notorias son la faja plegada y corrida de Magallanes y la cuenca de antepaís de Magallanes (Klepeis et al., 2010).

Esta revisión sucinta de la historia geológica de Magallanes corrobora que, por lo menos desde el Mesozoico, ha existido una diversidad de ambientes que son propicios para la formación de distintos depósitos minerales. Por ejemplo, la subducción ocurrida hacia el oeste generó magmas que conforman una fuente potencial para fluidos hidrotermales asociados a depósitos como pórfidos cupríferos o epitermales. Asimismo, el desarrollo de complejos ofiolíticos constituye un ambiente idóneo para la formación de depósitos del tipo VMS, mientras que las formaciones subyacentes a dichos complejos pueden contener elementos de interés que pueden ser removilizados como resultado del metamorfismo regional relacionado con la obducción ocurrida desde finales del Cretácico.

Para el caso particular de los sistemas de vetas en Cutter Cove, el presente trabajo de título propone que estos son del tipo orogénicos polimetálicos, vale decir, ricos en metales base y metales preciosos; y formados por fluidos hidrotermales de origen metamórfico. Además, a estos se superpondría un evento de mineralización asociada a depósitos epitermales de baja sulfuración. La importancia de la correcta identificación de las vetas del distrito radica en que podría modificar o adaptar la metodología de futuras exploraciones tanto a escala local como regional.

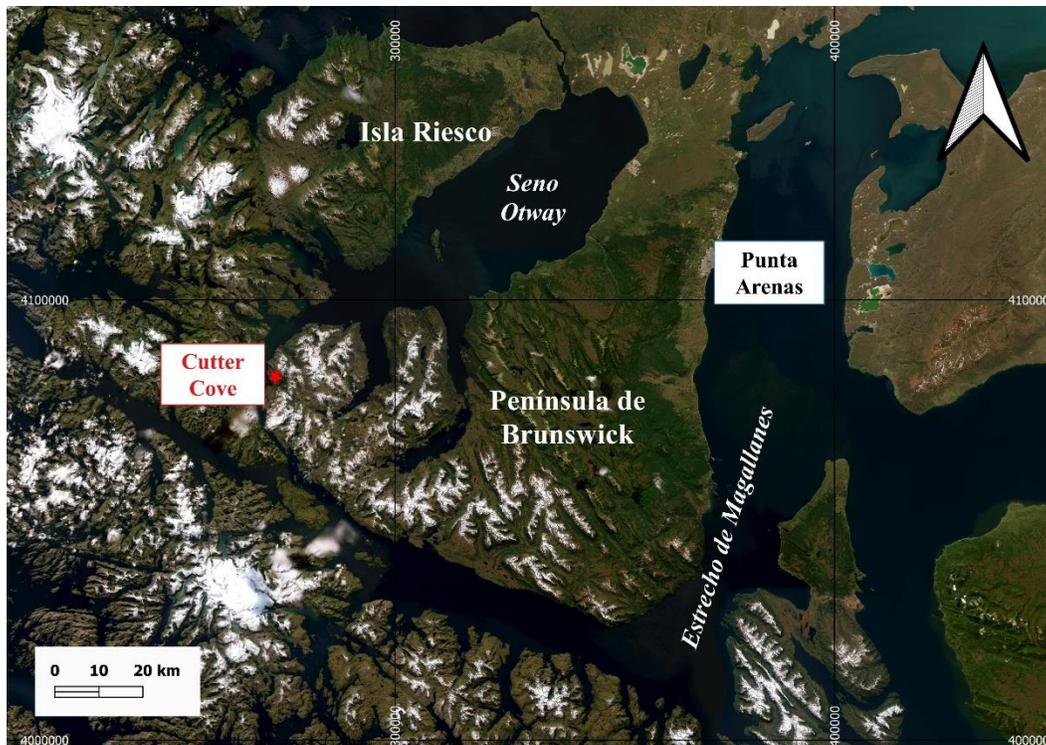


Figura 1.1: Localización del proyecto Cutter. Imagen elaborada usando QGIS.

1.2) HIPÓTESIS

- En la región de Magallanes, en particular en el distrito minero Cutter Cove, existen evidencias de mineralización -tanto de metales base como metales preciosos- que corresponden a yacimientos del tipo orogénicos polimetálicos. A estos se superpone una mineralización posterior del tipo epitermal de metales preciosos de baja sulfuración. En conjunto, estos representan un potencial exploratorio relevante, que es susceptible de explotación minera.

1.3) OBJETIVOS

Objetivo general:

- Determinar los tipos de yacimientos presentes en el distrito Cutter Cove (considerando su génesis y su contexto metalogénico), así como el potencial de exploración minera en dicho sector.

Objetivos específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica de la documentación y data existente del distrito minero Cutter Cove y contextualizarla con su relación con la evolución tectono-magmática de la región.
- Revisar la información y data geológica local existente; y validarla con levantamiento de datos en terreno y testigos de sondajes y canaletas disponibles.
- Revisar, integrar, validar, procesar y analizar la data geoquímica existente del distrito.
- Integrar, modelar e interpretar toda la data disponible del distrito.

1.4) UBICACIÓN Y RUTAS DE ACCESO

La zona de estudio se localiza hacia el suroeste de la península de Brunswick (figura 1.2), teniendo la isla Riesco hacia el norte, el seno Otway hacia el noreste y el Estrecho de Magallanes hacia el sur. Para llegar a esta se dispone de un total de 3 rutas de acceso, donde 2 tienen como punto de partida la ciudad de Punta Arenas, mientras que para la última este corresponde a la localidad de Puerto Nuevo. Para estas se hará una breve descripción del recorrido a seguir y se indicarán también los tiempos de llegada aproximados:

- 1) **Embarcación desde Punta Arenas (~ 12 horas):** Para esta ruta se requiere rodear la península de Brunswick desde el noreste, recorriendo el Estrecho de Magallanes. Posteriormente, hacia el noroeste de la isla Carlos III ubicada al sur de la península, se debe tomar el Canal Jerónimo hacia el norte hasta llegar al distrito.
- 2) **Helicóptero desde Punta Arenas (~ 1 hora):** Se debe ir hacia el noroeste -para evitar las topografías que pueden llegar a ~950 m de elevación- hasta el seno Otway. Desde ahí, se continua hacia el sur siguiendo la costa de la península hasta llegar al distrito.
- 3) **Embarcación desde Puerto Nuevo (~ 15 horas):** En esta ruta se debe navegar hacia el este, pasando por el Canal Fitzroy hasta llegar al Seno Otway. Desde ahí se debe seguir hacia el suroeste hasta llegar al área de estudio.

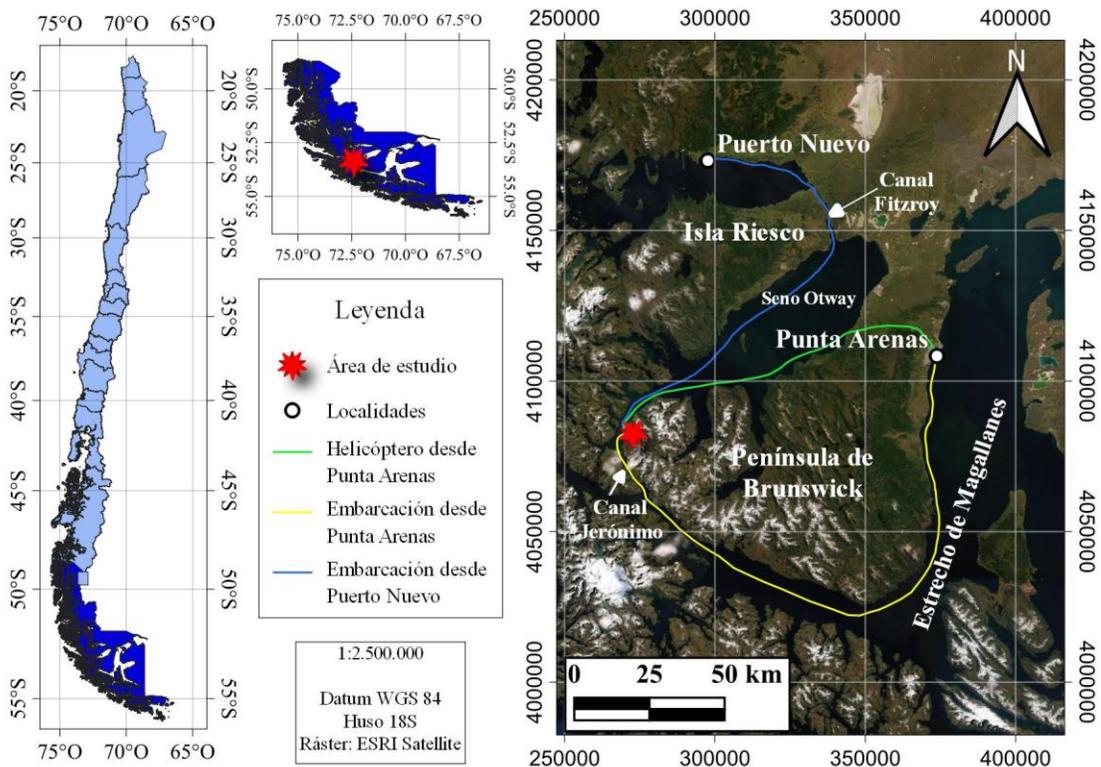


Figura 1.2: Ubicación y rutas de acceso al distrito Cutter Cove. Imagen elaborada usando QGIS.

1.5) METODOLOGÍA DE TRABAJO

El trabajo requerido para la elaboración de la presente memoria de título se divide en tres grandes tópicos: revisión bibliográfica, trabajo de campo y trabajo de gabinete.

1.5.1) Antecedentes de estudio

Debido a la complejidad de la zona de estudio, tanto por la diversidad de sus litologías como por las relaciones espaciales y temporales entre estas, se hizo necesario realizar una extensa revisión de la bibliografía existente, considerando tanto la escala regional como local. Por otra parte, fue necesario también consultar la bibliografía de los depósitos mencionados en la hipótesis, con la finalidad de reconocer sus características distintivas -ambiente de formación, estilos de mineralización, principales menas, etc.- y así verificar si los sistemas de vetas del distrito se ajustan a estas.

1.5.2) Trabajo de terreno

Entre los meses de febrero y junio del año 2022, se llevó a cabo una campaña de exploración a cargo de la empresa Red Hill Magallanes, con la finalidad de estudiar posibles prolongaciones en los sistemas de vetas conocidos en el distrito (tales como Cutter, Cristina, Angélica y Gorda), así como también la posibilidad de descubrir otras nuevas. Para llegar a la zona de estudio se tomó la ruta por helicóptero desde Punta Arenas hasta Cutter Cove (ver sección “Ubicación y rutas de acceso”).

El trabajo realizado consistió en describir las muestras recuperadas a partir de una perforadora con motor TJ53E. La descripción de cada pozo incluyó la litología correspondiente, alteraciones hidrotermales y, en caso de reconocer mineralización, identificar los sulfuros presentes junto con una estimación de sus concentraciones. Posteriormente, las muestras recuperadas fueron fotografiadas -dando énfasis a los minerales de mena identificados-, mientras que las descripciones fueron compiladas en una plantilla Excel para reconocer posibles zonas de interés para futuras perforaciones.

Para fines de la presente memoria, la campaña realizada fue de particular interés debido a que permitió un reconocimiento en terreno del distrito, teniendo como única restricción el ingreso a las minas, puesto que estas se encuentran inundadas. Sin embargo, se pudo recuperar muestras recogidas de los desmontes correspondientes a los sectores de Cristina, Veta Gorda, Cutter e Ingleses; con el propósito de identificar texturas, estilos de mineralización, alteraciones hidrotermales y minerales de ganga.

Por motivos de confidencialidad, no es posible adjuntar las leyes estimadas ni la ubicación exacta de las litologías reconocidas en las muestras recuperadas de las perforaciones. Además, estas fueron enviadas a laboratorio al término de la campaña para obtener las concentraciones de los elementos de interés. No obstante, el director ejecutivo de Red Hill Magallanes concedió su consentimiento para utilizar fotografías tomadas en la campaña -con la finalidad de indicar alteraciones hidrotermales y minerales de ganga-, con la condición de no señalar la ubicación exacta de estas ni las leyes de sus sulfuros.

1.5.3) Trabajo de gabinete

En un comienzo, el trabajo de gabinete consistió en un análisis geoquímico de una base de datos correspondiente a una campaña anterior en el distrito. Esta incluye información de sondajes y canaletas -tanto superficiales como subterráneas-; que fueron separados en segmentos y se indicó, para cada uno de ellos, las concentraciones de los elementos Ag, As, Au, Cu, Fe, Mn, Mo, P, Pb, Sb y Zn. Nuevamente, por motivos de confidencialidad, las concentraciones mencionadas no pueden ser adjuntadas en el presente informe.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software ioGAS y está conformado por cuatro secciones: análisis univariable, multivariable, de poblaciones y de distribución espacial. El análisis univariable estudia diversos estadígrafos para cada uno de los elementos presentes en la data, tales como concentración promedio, desviación estándar, varianza, etc. Tomando en consideración que los sondajes pueden abarcar profundidades del orden de los cientos de metros, se decidió que, para algunos sectores, es conveniente separar los datos en función de su rango de profundidades, lo que permite estudiar el comportamiento de los estadígrafos según dicha variable (ver sección “Análisis univariable”).

Luego, en el análisis multivariable se obtuvieron las correlaciones entre pares de elementos, lo que permite estudiar posibles asociaciones entre estos y así inferir mineralogía no reconocida a escala de muestra mano. Por ejemplo, una alta correlación entre oro y plata es interpretada como Electrum, mientras que una correlación elevada entre As y Sb puede indicar la presencia de la solución sólida Tennantita-Tetrahedrita. Para poder comparar esta información con el análisis univariable, en esta sección también se separaron los sondajes en función de su profundidad.

Posteriormente, sólo se consideraron los elementos de interés económico (Ag, As, Au, Cu, Pb y Zn) para las secciones restantes. En el análisis de poblaciones se reconocieron, para cada elemento, distribuciones normales de los datos tanto a escala aritmética como logarítmica. Cada una de estas distribuciones constituye una “población”, la cual está asociada a un determinado proceso de enriquecimiento (alteración hipógena, supérgena, etc.). Por otra parte, en el análisis de distribución espacial, se identificaron anomalías de carácter global y regional en las concentraciones de los elementos, para proyectarlas en un mapa y reconocer sus distribuciones y sus posibles asociaciones con las anomalías de otros elementos.

Una vez terminado el análisis geoquímico, se procedió a integrar la información obtenida junto con la revisión bibliográfica relacionada a la zona de estudio, las descripciones de las muestras recogidas de los desmontes y las fotografías de las muestras recuperadas en las perforaciones. Dicha integración está redactada en la discusión de la presente memoria y tiene como finalidad corroborar si los sistemas de vetas estudiados se ajustan a la caracterización correspondiente a los depósitos de carácter orogénico y/o epitermales (ver sección “Marco teórico”).

1.6) MARCO TEÓRICO

En la presente sección se indicarán las características tanto de los depósitos de carácter orogénico como de los epitermales; con la finalidad de discernir si los prospectos pertenecientes al distrito Cutter Cove (ver sección “Geología local”) pertenecen a alguno de estos, o si, por el contrario, se requiere formular una nueva hipótesis para futuros trabajos.

1.6.1) Depósitos orogénicos

Inicialmente fueron denominados como “depósitos mesotermiales” siguiendo la clasificación proporcionada por Lindgren (1933). Según esta, existe una continuidad entre los depósitos asociados a fluidos hidrotermales, los que pueden ordenarse según su profundidad, entre los que se identifican: epitermales (profundidades menores a 1.2 km), mesotermiales (1.2 – 3.6 km) e hipotermiales (>3.6 km). Además, en dicho trabajo, se caracterizó a estos depósitos como polimetálicos, destacando la presencia de Au, Ag, Cu, Pb y Zn (además de Sb y Te). Entre sus principales minerales se reconocen Pirita, Calcopirita, Arsenopirita, Galena, Esfalerita, Tetrahedrita, Tennantita y Oro nativo.

A partir del trabajo de Groves et al. (1998), se pueden formular dos objeciones a la clasificación anterior: (1) esta había sido prevista para definir un continuo, sin embargo, hoy en día el término “epitermal” está acotado a un tipo específico de depósitos, el cual no tiene una relación espacial ni temporal con los “mesotermiales”; y (2) existen depósitos de oro que se ajustan a la definición de “mesotermiales”, con la salvedad de que su rango de profundidad va desde menor a 6 km hasta más de 12 km. Dado lo anterior, y para fines del presente trabajo, se agruparán estos depósitos en los de “oro orogénico” (Groves et al., 1998) y aquellos de carácter polimetálico.

1.6.1.1) Oro orogénico

Según Groves et al. (1998), los depósitos de oro orogénico se definen típicamente como sistemas de vetas dominadas por Cuarzo, con $\leq 3 - 5\%$ de sulfuros (principalmente de Fe) y $\leq 5 - 15\%$ de carbonatos. Estos sistemas pueden mostrar una continuidad a lo largo de una extensión vertical de 1 – 2 km con escasas variaciones en su mineralogía o en su ley de oro, la cual varía entre 5 – 30 g/ton. Con respecto a este último, se destaca que la razón oro:plata varía entre 10 (común) y 1 (poco frecuente). Por otra parte, las vetas muestran enriquecimientos variables de As, B, Bi, Hg, Sb Te y W; mientras que las concentraciones de Cu, Pb y Zn tienden a estar ligeramente sobre sus valores de fondo regional.

Tal como se dijo anteriormente, estos depósitos se forman en un rango de profundidades mucho más amplio que el que define a los “mesotermiales” indicados por Lindgren (1933). Por lo tanto, en Groves et al. (1998) se propone una nueva clasificación tomando en cuanto dichos rangos y sus temperaturas asociadas, entre los que se encuentran: (1) epizonales (< 6 km, 150-300°C); (2) mesozonales (6-12 km, 300-475°C); e (3) hipozonales (> 12 km, > 475°C).

La caracterización de estos depósitos se resumirá en los siguientes tres tópicos: (1) contexto tectono-magmático; (2) control estructural; y (3) fluidos hidrotermales.

Contexto tectono-magmático: Los ambientes de formación para estos depósitos corresponden a orogénesis tanto de acreción (generados por la interacción entre corteza oceánica y continental) como colisionales (colisión continente-continente); los que representarían los límites de un proceso continuo, puesto que una colisión se encuentra precedida por el cierre de una cuenca oceánica previa (Goldfarb et al., 1998; Groves et al., 1998). Con respecto a la mineralización, esta sería esencialmente un evento tardío en la evolución tectónica, relacionado con un cambio en el régimen tectónico, variando de compresivo a transpresional. Dicho proceso involucra la reactivación de estructuras preexistentes desarrolladas durante los eventos de deformación previos (Groves et al., 2018).

Control estructural: Considerando que el ambiente de formación del oro orogénico corresponde a ambientes de subducción, es razonable suponer que las estructuras relacionadas a estos juegan un rol importante en la génesis de dichos depósitos. A raíz de lo anterior, en el trabajo de Groves et al. (2018) se recopilan, tanto a escala provincial como distrital, las geometrías relacionadas de la mineralización, principalmente facilitando el paso de los fluidos hidrotermales.

A escala provincial, el control estructural para estos depósitos está dado por la presencia de fallas de escala cortical a litosférica o bien, por zonas cizalla; las que estarían marcadas por la concentración anómala de diques lamprófidos de origen litosférico. En cuanto a la mineralización, esta se localizaría en los segmentos curvilíneos de estas geometrías -donde se identifican estructuras denominadas jogs-, mientras que los sectores lineares tendrían un menor enriquecimiento.

Por otra parte, la mineralización está controlada por 3 geometrías principales a escala distrital: (1) redes de fallas (fault arrays); (2) pliegues anticlinales; y (3) complejos relacionados con intrusiones graníticas. En general, la mineralización puede encontrarse hospedada en fallas y zonas de cizalla asociadas a las primeras fases de la deformación. Sin embargo, la estructura más importante consiste en sistemas de fallas paralelas que son oblicuas al trend estructural del orógeno y tardías con respecto a este. Un ejemplo de lo anterior es el distrito de Kundana (Australia), en donde las minas presentes muestran una relación espacial con una red fallas de subparalelas que acomodan la deformación ocasionada por una zona de cizalla (figura 1.3).

En cambio, si en un pliegue anticlinal se forman fallas y fracturas que reemplacen el plegamiento como principal mecanismo de deformación, estos tenderán a hacerse asimétricos y a volcarse, permitiendo así la acumulación de fluidos hidrotermales y la posterior formación de un depósito. Finalmente, la presencia de intrusivos de carácter granítico genera una heterogeneidad en la orientación del esfuerzo asociado al régimen tectónico -principalmente en la zona de contacto entre estos y su roca caja-, la que también facilitaría el paso de dichos fluidos.

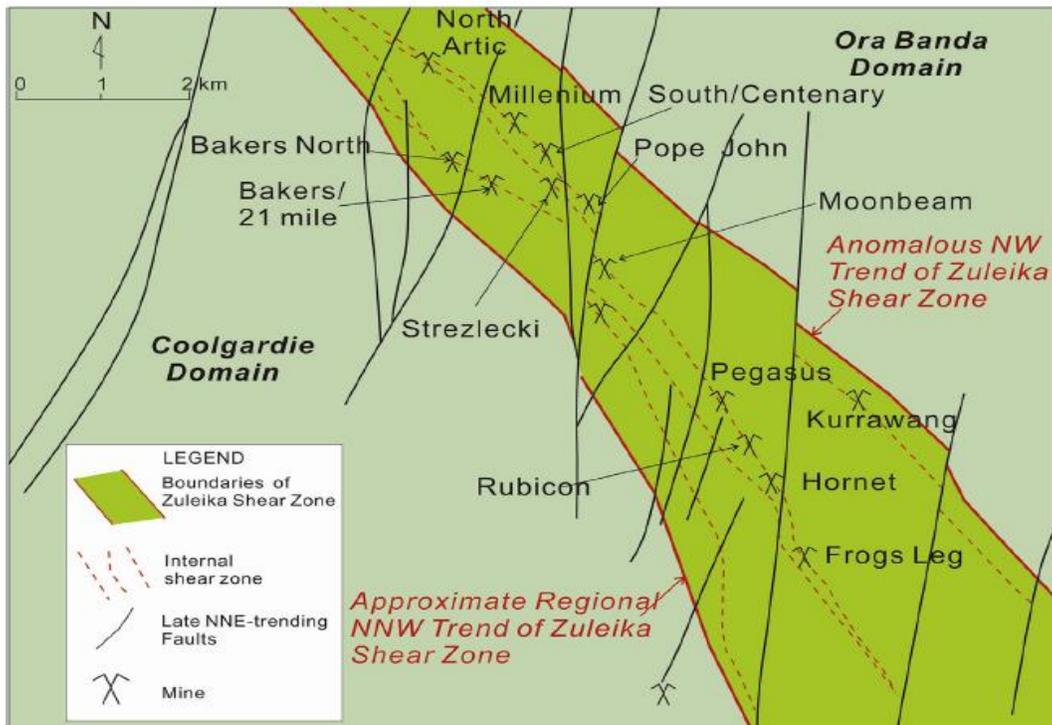


Figura 1.3: Mapa estructural del distrito minero de Kundana (Australia). Se muestra red de fallas con un trend NE que acomodan la deformación generada en la zona de cizalla. Imagen tomada de Groves et al. (2018).

Fluidos hidrotermales: Según Goldfarb & Groves (2015), los fluidos hidrotermales que forman depósitos de oro orogénico se caracterizan por: (1) concentraciones significativas de CH_4 y/o N_2 ; (2) porcentaje molar (mol %) de H_2S entre 0.01 – 0.06; (3) pH de 5.5 a casi neutro; y (4) salinidades de 3 – 7 % del peso equivalente de NaCl . Al ser esta una composición consistente, se favorece la hipótesis de una fuente única para estos fluidos, en lugar de una mezcla de múltiples fuentes. Sin embargo, en dicho trabajo se indica que diversos isótopos estables -tales como $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$ o $\delta^{13}\text{C}$ - varían en un amplio rango de valores, lo que sería explicado por la variación de los procesos de la Tierra desde el Precámbrico y por cambios en la interacción agua:roca durante el ascenso de los fluidos.

En relación a la fuente de los fluidos, estos serían de origen metamórfico, pudiendo provenir tanto del metamorfismo de rocas intra cuencales como de la desvolatilización de sedimentos subductados (Groves et al., 2018). Con respecto a esta última, se ha planteado que las rocas hidratadas liberan fluidos durante la transición entre las facies esquisto verde y anfíbolita, principalmente cuando la clorita se convierte en anfíbol (Gaboury, 2019). En dicha transición, a temperaturas entre 500 a 550°C, la pirita presente en los sedimentos se convierte en pirrotina, liberando S. La liberación de azufre es fundamental para la formación de oro orogénico, puesto que para que el Au sea transportado a su lugar de depositación, este requiere formar moléculas complejas con el anión bisulfuro (HS^-).

1.6.1.2) Orogénicos polimetálicos

Esta categoría engloba un amplio grupo de depósitos que comparte diversas características en común con los de oro orogénico (Geoscience Australia, s.f.), tales como: (1) encontrarse en márgenes continentales tanto de acreción como de colisión; (2) formarse en las últimas etapas de una orogénesis; (3) estar asociados a fallas y zonas de cizalla de segundo a tercer orden; y (4) presentar un amplio rango de grados metamórficos en su roca huésped, siendo más frecuente la facies esquisto verde. No obstante, a diferencia de los depósitos vistos anteriormente, pueden ser ricos en diversos metales que no muestran un enriquecimiento considerable en los de oro orogénico, tales como Cu, Pb, Zn e incluso Mo (Lu et al., 2021).

En la literatura se encuentran ampliamente estudiadas diversas agrupaciones de estos depósitos. Por un lado, en el trabajo de Lu et al., (2021) se hace una revisión a aquellos que están distribuidos en el Cratón de China del Norte (NCC por sus siglas en inglés), entre los que se mencionan: Bainaimiao (Cu-Au-Mo), Huoqeqi (Cu-Pb-Zn), Dongshengmiao (Zn-Pb-Cu) y Jiashengpan (Zn-Pb). Por otra parte, en la región de Cobar (Nueva Gales del Sur) se encuentra el Cinturón Plegado de Lachlan, el cual hospeda depósitos polimetálicos asociados a eventos de deformación ocurridos entre el Silúrico y el Carbonífero; entre los que destacan los de tipo Cobar (David, 2005).

Dadas las similitudes indicadas entre ambos tipos de depósitos, queda por resolver por qué unos son ricos en oro y pobres en metales base; mientras que los demás tienen un carácter polimetálico. Si bien no hay un modelo que unifique a este último grupo dada su diversidad, se han propuesto fuentes alternativas de fluidos hidrotermales ricos en metales base. Por ejemplo, para el depósito Huoqeqi, se plantea un enriquecimiento de Cu-Pb-Zn y azufre en una secuencia volcánica-sedimentaria asociada a un ambiente de rift previo al peak metamórfico de su respectiva orogénesis (figura 1.4), los cuales habrían pasado por un proceso de removilización durante el metamorfismo regional (Lu et al., 2021).

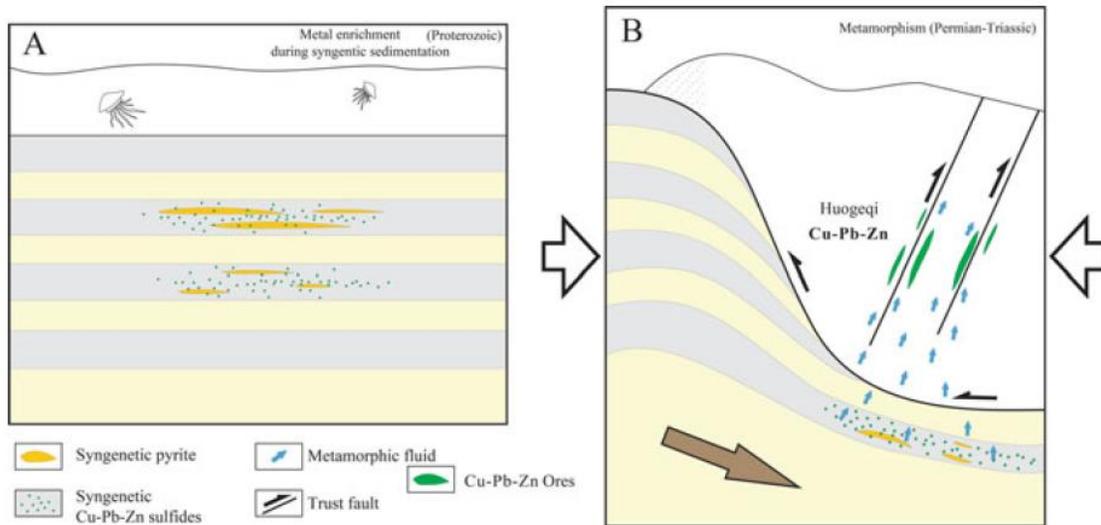


Figura 1.4: Modelo genético del depósito de Huoqeqi: (A) Acumulación de metales base en un ambiente de rift; (B) removilización de los metales durante metamorfismo regional. Imagen tomada de Lu et al. (2021).

1.6.2) Depósitos epitermales

El término “epitermal” fue utilizado por Lindgren (1933) para designar aquellos depósitos asociados con actividad volcánica reciente, en donde la erosión posterior al cese de las erupciones sea del orden de las decenas de metros. Por otra parte, se les denomina también “sistemas geotermales fósiles” (Pirajno, 2009), a saber, antiguas regiones donde las aguas meteóricas penetraron en la corteza hasta llegar a regiones influenciadas por magmas mientras estos se enfriaban, lo que generó una circulación de aguas calientes y una posterior mineralización. Además, dichos campos geotermales están asociados a estructuras volcánicas correspondientes a márgenes convergentes (arcos volcánicos) o bien, a sistemas de rift intracontinentales.

Los depósitos epitermales se forman típicamente a bajas temperaturas, variando desde <150°C hasta ~300°C, a profundidades que van desde la superficie hasta 1 a 2 km (White & Hedenquist, 1995). En general se encuentran en arcos volcánicos -tanto arcos de isla como continentales- asociados a subducción, principalmente hacia el lado de tras-arco y siendo particularmente abundantes a lo largo del Cinturón Circumpacífico (Hedenquist et al., 1996). Por otra parte, estos depósitos tienden a estar hospedados en rocas volcánicas que varían de ácidas a intermedias -rara vez en rocas básicas-, depositadas en un basamento metamórfico que también puede mostrar mineralización (White & Hedenquist, 1990).

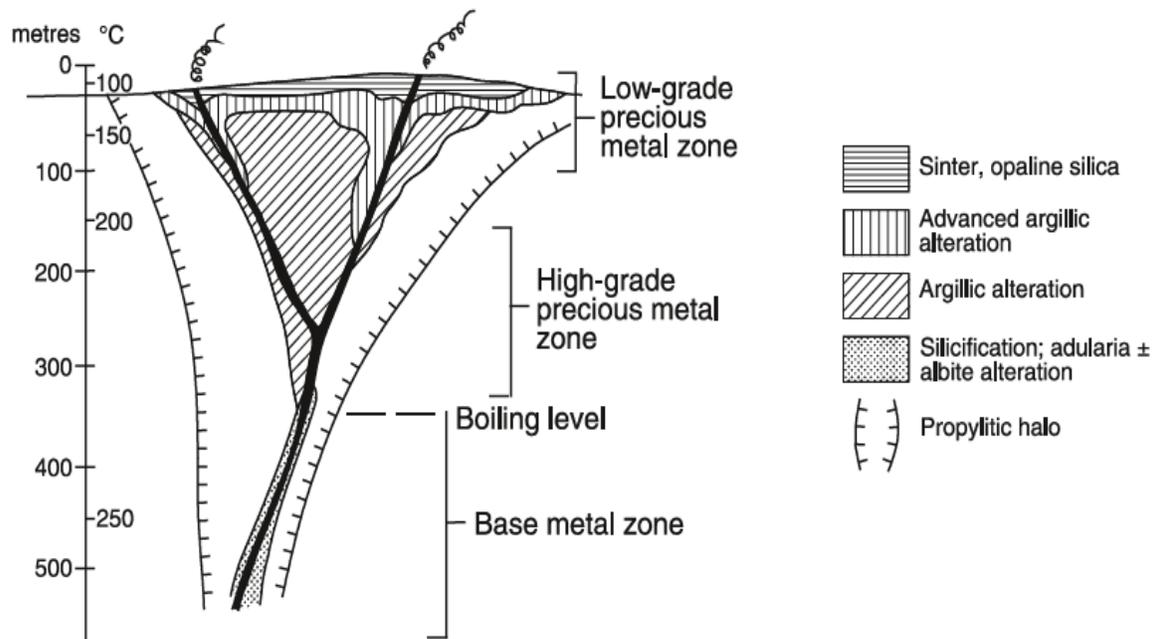


Figura 1.5: Zonación vertical de la mineralización en depósitos epitermales propuesta por Buchanan (1981). Imagen tomada de Pirajno (2009).

El modelo de Buchanan (1981) propone que los depósitos epitermales están conformados por dos horizontes (figura 1.5): (1) uno superior rico en metales preciosos (Au y Ag), cuyas menas principales serían electrum y argentita (Ag_2S) en sus niveles inferiores, mientras que hacia arriba se encontrarían sulfosales de plata -tales como pirargirita (Ag_3SbS_3) o estefanita (Ag_5SbS_4)- y Py aurífera; y (2) un horizonte inferior en donde los elementos de interés son metales base (Pb y Zn) en sus respectivas menas (Gal y Sph), junto con diversos sulfuros como Cpy, Py, Pyrr y Aspy. Estos están limitados por un “nivel de ebullición”, que consiste en la profundidad en la cual un determinado pulso de fluidos hidrotermales libera una fase gaseosa, generando cambios físicos y químicos en la solución remanente y que explicaría la división entre ambos horizontes.

Se tendrá un proceso de ebullición cuando la presión interna de vapor supere a la presión confinante, la que corresponde a la presión hidrostática presente en el punto donde esta ocurre. Cuando esto sucede, se particionan los volátiles CO_2 y H_2S , los cuales se forman cuando sus respectivos aniones (HCO_3^- y HS^-) reaccionan con H^+ , aumentando así el pH. Sin embargo, una vez que el sistema vuelve a cerrarse -por ejemplo, por relleno de las vetillas-, puede variar la profundidad de la siguiente ebullición. Por lo tanto, al haber ebulliciones sucesivas en distintas profundidades, se generará una zona mixta que tendrá tanto metales base como metales preciosos (Buchanan, 1981), lo que se conoce como telescopio.

Además de la ebullición de los fluidos hidrotermales, también es relevante mencionar el rol de las aguas meteóricas que circulan en estos sistemas, puesto que pueden modificar la sulfuración, vale decir, el estado de oxidación del azufre presente y, por ende, diversas características del depósito resultante, tales como sus minerales de alteración y de mena (figura 1.6). Tomando en cuenta lo anterior, en el trabajo de Hedenquist (1987) se hace la distinción entre los depósitos de baja sulfuración (LS por sus siglas en inglés) y los de alta sulfuración (HS).

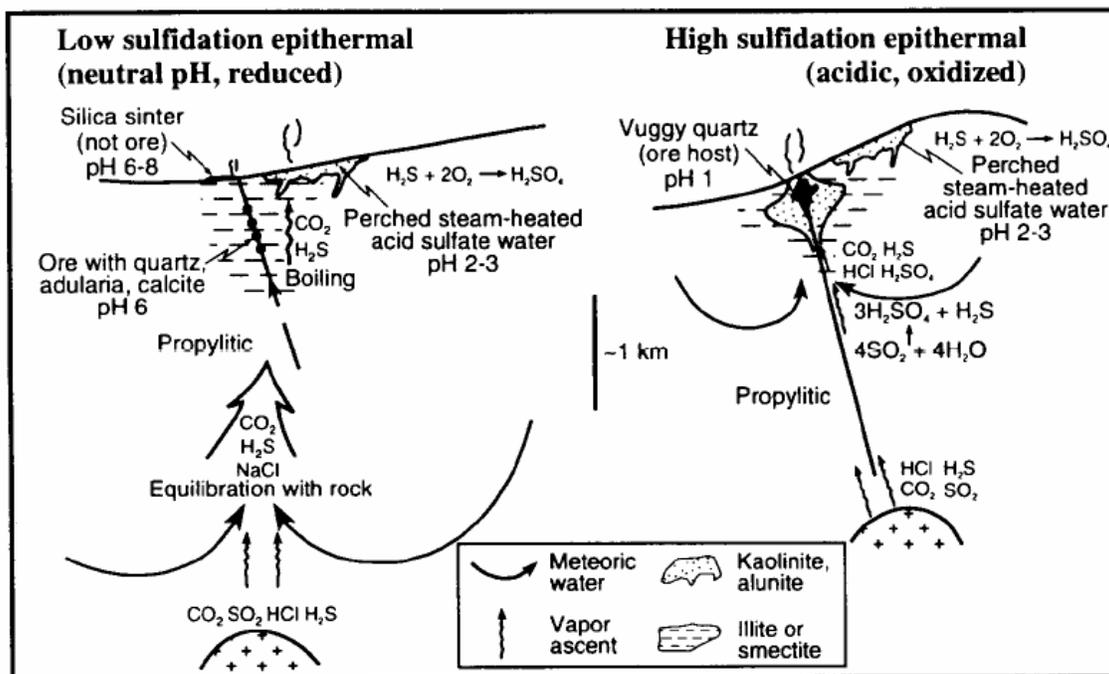


Figura 1.6: Esquemas de los estilos de depósitos epitermales, indicando los fluidos involucrados y condiciones de pH y sulfuración. Imagen tomada de White & Hedenquist (1990).

1.6.2.1) Baja sulfuración (LS)

Estos depósitos se forman en ambientes dominados por aguas meteóricas, con una menor presencia de aguas y gases de origen magmático (White & Hedenquist, 1995). A causa de lo anterior, sus fluidos están equilibrados con su roca huésped, tienen pH cercano a neutro y el estado de oxidación del S es -2; lo que provoca que su molécula predominante sea el H₂S. En cuanto a su salinidad, esta es baja en los depósitos ricos en oro (1-2 wt% NaCl equivalente), mientras que en los ricos en plata varía entre 10-15 wt% NaCl (Pirajno, 2009).

Con respecto a sus alteraciones hidrotermales, se reconoce una extensa alteración propilítica en regiones con baja razón agua:roca; mientras que, para el caso contrario, se formarán micas blancas (White & Hedenquist, 1990). Por otra parte, debido a las condiciones de pH cercanas a neutro, es común la cristalización de calcita y adularia. Finalmente, se formará una alteración argílica avanzada si los vapores liberados durante la ebullición entran en contacto con aguas subterráneas, puesto que el H₂S se oxidará formando una fase fluida ácida que puede superponerse a las alteraciones hipógenas (Hedenquist, 1987).

Entre los minerales identificados, los más abundantes son Py y Qz. Por otra parte, es común reconocer electrum, Sph y Gal en un amplio rango de concentraciones; mientras que la Aspy tiene una abundancia menor. También comunes, pero aún más escasos, son la Cpy, oro nativo y sulfosales como tetrahedrita y pirargirita. Por el contrario, son poco frecuentes la estibina, cinabrio y minerales del grupo de los seleniuros (Hedenquist et al., 1996).

1.6.2.2) Alta sulfuración (HS)

En los depósitos de alta sulfuración, a diferencia de los LS, los fluidos hidrotermales tienen un origen principalmente magmático con menor influencia de las aguas meteóricas (White & Hedenquist, 1990). Por consiguiente, los fluidos se encuentran oxidados -siendo la molécula SO₂ la más estable para el azufre- y las condiciones de pH son ácidas, variando entre 0 y 2. Esto último provoca una intensa lixiviación de la roca huésped en superficie (White & Hedenquist, 1995).

Debido al ambiente ácido de estos depósitos, no se reconocen minerales estables a pH neutro como la calcita o la adularia. En cambio, son comunes la caolinita, dickita, pirofilita, diáspora y alunita; a saber, minerales típicos de la alteración argílica avanzada (White & Hedenquist, 1995). Sin embargo, a diferencia del caso anterior, esta alteración se produce por el ácido sulfúrico generado por la reacción entre SO₂ y agua (en lugar del H₂S particionado por la ebullición y que reacciona con aguas superficiales). En relación a la zonación de las alteraciones, es común que la mineralización esté hospedada en cuarzo oqueroso, con un halo de alteración argílica avanzada que, hacia el exterior, cambia a propilítica (Hedenquist et al., 1996).

Al igual que en los depósitos de LS, la pirita y el cuarzo son omnipresentes y la calcopirita es un mineral común; sin embargo, en este caso el Cu tiende a ser más abundante y a estar presente también como covelina (CuS) hipógena y en sulfosales de Cu-As como enargita y luzonita (White & Hedenquist, 1995). Con respecto al As, este es comúnmente encontrado junto con Sb en la solución sólida tennantita-tetrahedrita; mientras que la Aspy es poco frecuente al ser estable en condiciones de baja sulfuración (Hedenquist et al., 1996). Por último, el oro es más común en su forma nativa que como electrum (Pirajno, 2009).

1.7) GEOLOGÍA REGIONAL

En general, es posible distinguir dos grandes regiones geológicas en la zona de estudio: el Batolito Patagónico y la Faja Plegada y Corrida de Magallanes (figura 1.7).

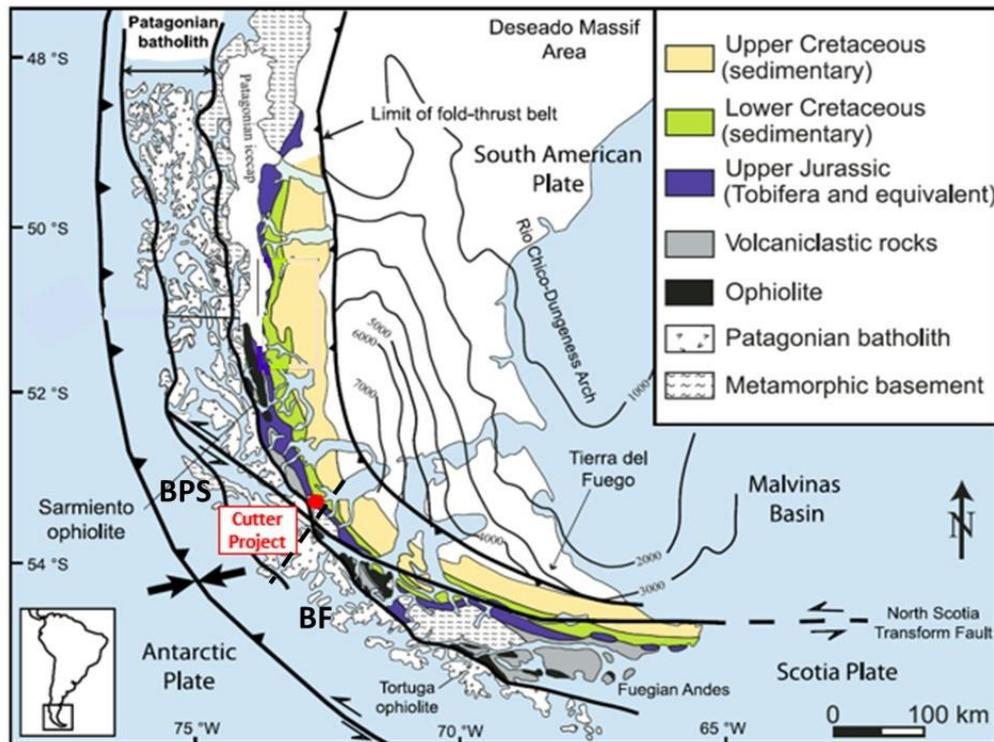


Figura 1.7: Geología regional de Magallanes. La línea segmentada indica la separación entre el Batolito Patagónico Sur (BPS) y el Batolito Fueguino (BF). Imagen tomada y modificada de Fildani et al. (2008).

1.7.1) Batolito Patagónico (Mesozoico - Cenozoico)

El Batolito Patagónico (BP) es una faja de 40-100 km de ancho, que se extiende de forma continua entre las latitudes 40°S y 56°S (Suárez, 1977). Las rocas que lo componen son típicamente calcoalcalinas, siendo la mayoría de carácter metaluminoso, las cuales varían de gabros a leucogranitos; aunque también se reconocen rocas peraluminosas, cuyas composiciones abarcan desde tonalitas a granitos (Nelson et al., 1988).

Si bien es claro que el BP no se conformó a partir de un único evento magmático, ha existido controversia sobre el modelo genético de este. Inicialmente, en Halpern (1973) se indica la existencia de, al menos, tres episodios magmáticos con duraciones entre 25-40 Ma, interpretados a partir de dataciones realizadas por K-Ar y Rb-Sr en biotitas y hornblendas: (1) Jurásico Tardío – Cretácico Temprano (155 – 120 Ma); (2) Cretácico Tardío (100 – 75 Ma); y (3) “Terciario” Tardío -hoy en día Neógeno- (50 – 10 Ma).

Posteriormente, a partir de una base de datos más robusta que la utilizada por Halpern (1973) -donde se incluyeron mediciones usando U-Pb en Zircones y Ar-Ar en Biotitas y Hornblendas-, se determinó que el plutonismo de esta región se desarrolló de forma continua, con un peak de intensidad entre los 120-70 Ma (Bruce et al., 1991). Además, en dicho trabajo se observa que el Sr_i se reduce a medida que los plutones son más jóvenes, de lo que se concluye que, en las etapas tempranas del desarrollo del BP, hubo una contribución cortical importante en la composición del fundido que fue disminuyendo progresivamente.

A pesar de que se descartó un desarrollo por etapas para el BP, se ha propuesto que, al segmentarlo, se distinguen episodios a escala local (Bruce et al., 1991). Al respecto, en el trabajo de Hervé et al. (2007a) se hace una separación del BP en segmentos según la latitud, donde se reconocen: (1) el Batolito Patagónico Norte (BPN), que se extiende hasta los 47°S (la latitud aproximada del punto triple); (2) el Batolito Patagónico Sur (BPS), que va desde los 47°S hasta los 53°S; y (3) el Batolito Fueguino (BF) que llega hasta el extremo sur del continente y se encuentra desarrollado a lo largo de la Placa de Scottia (fig. 7).

Debido a que la zona de estudio del presente trabajo se encuentra en el límite entre los últimos dos segmentos, se realizará una breve revisión de ambos, enfatizando en sus principales litologías y sus edades de mayor actividad:

Batolito Patagónico Sur (BPS): Es una combinación de plutones asociados a subducción que se emplazaron entre el Jurásico Tardío y el Neógeno. A partir de análisis de roca total efectuados por Hervé et al. (2007a), se indica que las principales composiciones de este segmento son: gabro (12%), gabro-diorita y diorita (26%), tonalita (15%), granodiorita (31%) y granito (16%). En dicho trabajo se muestran, además, los resultados de 70 mediciones de U-Pb en zircones que confirman la hipótesis de Bruce et al. (1991), pues la actividad en este sector no fue continua, sino más bien episódica.

El primer episodio a destacar es el Jurásico Tardío, cuyos plutones -en su mayoría leucogranitos- tienen edades en el rango de 157 – 145 Ma; y están confinados hacia el margen este del batolito. Posteriormente, el plutonismo se desplazó hacia el oeste donde se reconocen 3 episodios durante el Cretácico: el “Cretácico 1” (144 – 137 Ma); el “Cretácico 2” (136 – 127 Ma); y el “Cretácico 3” (126 – 75 Ma), el cual está limitado a la zona sur del segmento. Finalmente, para el Cenozoico se mencionan un episodio ocurrido en el Paleógeno (67 – 40 Ma), que destaca por ser el único cuyo plutonismo muestra gabros con dos clinopiroxenos; y otro en el Neógeno (25 – 15 Ma).

Batolito Fueguino (BF): Aflora esencialmente al sur del Canal Beagle, limitando hacia el norte con la Cordillera de Darwin (ver sección “Complejos Metamórficos”). Mediante dataciones realizadas por Hervé et al. (1984) con los métodos K-Ar y Rb-Sr; se han podido identificar 3 distintos grupos plutónicos en este segmento: (1) un “conjunto gabroico” donde las principales litologías son gabros y hornblenditas (141 – 103 Ma); el “Grupo Plutónico Canal Beagle”, donde las rocas dominantes son tonalitas y granodioritas (113 – 81 Ma); y (3) el “Grupo Plutónico Seno Año Nuevo”, que tiene un rango de composiciones que va desde cuarzo dioritas hasta granitos, con tonalitas y monzodioritas de cuarzo como las rocas más comunes (60 – 34 Ma).

1.7.2) Faja Plegada y Corrida de Magallanes

La faja plegada y corrida de Magallanes es la estructura resultante del ambiente tectónico comprensivo iniciado durante el Cretácico a raíz del rompimiento de Gondwana. Al igual que con el BP, las litologías presentes afloran típicamente como franjas, aunque no siempre de forma de continua, sino que también pueden ocurrir de manera aislada. Estas se pueden agrupar en tres grandes unidades geológicas: (1) complejos metamórficos; (2) complejos ofiolíticos; y (3) las formaciones depositadas sobre los dos primeros.

- Complejos metamórficos (Paleozoico superior - Mesozoico)

Para la Patagonia y los Andes Fueguinos, los complejos denominados como “basamento metamórfico” constituyen una serie de afloramientos de rocas volcano-sedimentarias polideformadas, cuyos episodios de metamorfismo imposibilitan reconocer su registro estratigráfico y la preservación de su bioestratigrafía (Calderón et al., 2016). Sin embargo, se han podido constatar, a partir de dataciones usando U-Pb en zircones (figura 1.8), las diferencias entre estos complejos en cuanto al origen de sus protolitos (Hervé et al., 2008; Calderón et al., 2016), de lo que se interpreta que cada uno tiene su historia geológica propia.

Para fines de este trabajo, se ha decidido separar dichos complejos en dos grandes grupos. Por un lado, hacia el oeste del BP, afloran aquellos que normalmente se han asociado a complejos de subducción o bien, a remanentes de montes submarinos acrecionados en el margen continental (Calderón et al., 2007), entre los que se reconocen: el Complejo Metamórfico Chonos (CMC por sus siglas en inglés), el Terreno Madre de Dios (MDT) y el Complejo Metamórfico Diego de Almagro (DAMC). En cambio, hacia el este del BP destacan el Complejo Metamórfico Andino Oriental (EAMC) en el distrito de Última Esperanza y el Complejo Metamórfico Cordillera de Darwin (CDMC) hacia la isla de Tierra del Fuego; siendo este último el más relacionado con la actual zona de estudio.

Complejo Metamórfico Cordillera de Darwin (CDMC): La Cordillera de Darwin es un alto topográfico ubicado en los Andes Fueguinos en el que se pueden identificar tres grandes litologías (Hervé et al., 2010): (1) un basamento metamórfico; (2) una cobertura de rocas volcánicas riolíticas pertenecientes a la Formación Tobífera (ver sección “Formaciones”); y (3) cuerpos plutónicos intrusivos de diversas edades. A su vez, el basamento propiamente tal está conformado por (Hervé et al., 2008; Calderón et al., 2016): (1) esquistos pelíticos con presencia de cuarzo, plagioclasa, muscovita, biotita, clorita, granate, estauroлита, ilmenita, cianita y sillimanita; y (2) metabasitas con granate, plagioclasa, hornblenda, biotita, clorita, cuarzo, epidota, titanita e ilmenita.

Tanto en la figura 1.8 como en el trabajo de Hervé et al. (2010) queda de manifiesto que el basamento de este complejo aflora hacia el sur de Tierra del Fuego -al norte se encuentra el Complejo Ígneo y Metamórfico del Tierra del Fuego (TFIMC)- y en el sureste de la Península de Brunswick; siendo esta última localidad la más cercana a la zona de estudio

de la que se tiene información a partir de los antecedentes de estudio recopilados, por lo que se usará como referencia para la edad de depositación y el grado metamórfico alcanzado.

Debido a que el metamorfismo regional afectó tanto al basamento metamórfico como a la cobertura de este, se requieren criterios para poder diferenciar ambas litologías. Para este propósito, en el trabajo de Hervé et al. (2010) se estudió una base de datos con edades U-Pb en zircones, a la que se le realizó un análisis de poblaciones, a partir del cual se estableció que: (1) aquellas rocas que tengan sus edades en el Pérmico -o más jóvenes- serán consideradas como parte de la cobertura del basamento; mientras que (2) este último tendría zircones de mayor edad, donde la población más joven es del Carbonífero -y también se encuentran poblaciones del Paleozoico temprano, Proterozoico e incluso del Arqueano-.

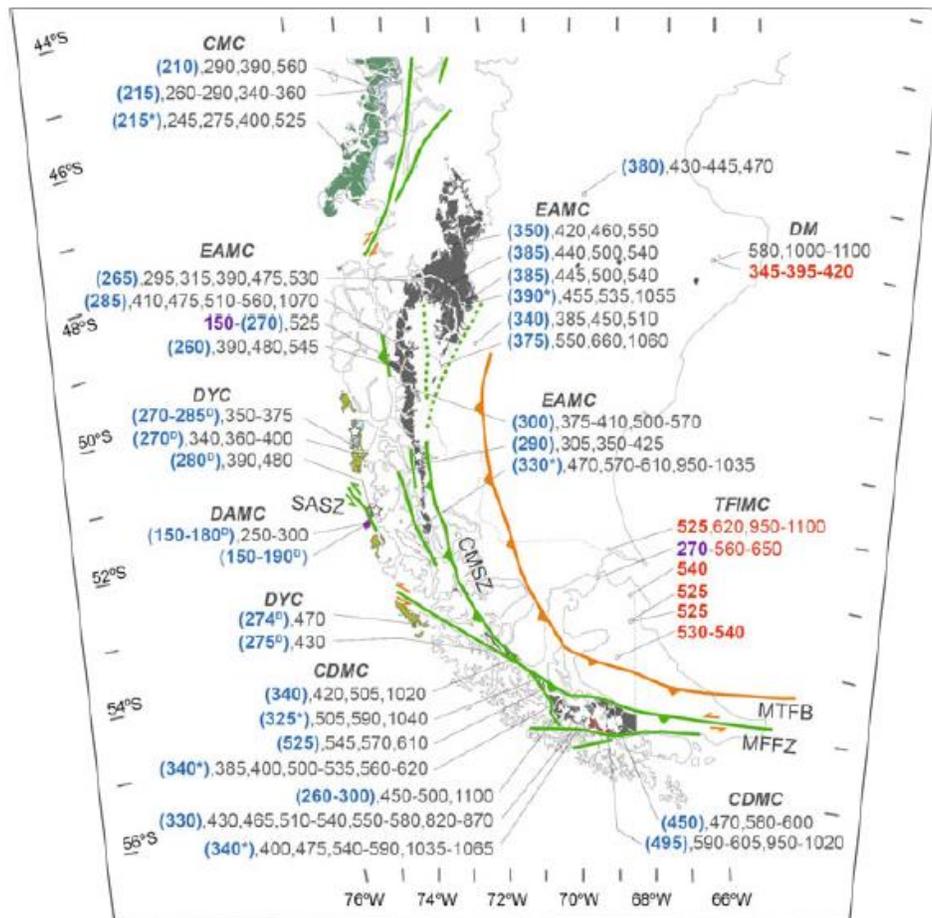


Figura 1.8: Bosquejo de los complejos metamórficos de la Patagonia y Tierra del Fuego, y sus respectivas edades a partir de U-Pb en zircones. Abreviaciones de las unidades geológicas: CDMC Complejo Metamórfico Cordillera de Darwin; CMC Complejo Metamórfico de Chonos; DAMC Complejo Metamórfico Diego de Almagro; DM Macizo del Deseado; DYC Complejo Duque de York; EAMC Complejo Metamórfico Andino Oriental; TFIMC Complejo Ígneo y Metamórfico de Tierra del Fuego. Abreviaciones de zonas de fallas mayores: CMSZ zona de cizalla Canal de las Montañas, MFFZ zona de falla Magallanes-Fagnano, MTFB Faja Plegada y Corrida de Magallanes; SASZ zona de cizalla Seno Arcabuz. Para las rocas metamórficas, las edades en paréntesis azules son las más jóvenes obtenidas, las que fueron interpretadas como la edad máxima de sedimentación. Imagen tomada de Calderón et al. (2016).

Otro aspecto a destacar en el estudio anterior, es la observación de que los zircones del CDMC con edades cámbricas son escasos, a diferencia del TFIMC donde estas son abundantes y fueron interpretadas como la edad de cristalización de su respectivo protolito. En consecuencia, si bien ambos complejos actualmente son adyacentes uno del otro (figura 8), estos habrían sido dos terrenos separados. Para explicar esto, se sugiere que la falla transformante Magallanes-Fagnano posiblemente sea el resultado de la reactivación de una antigua zona de sutura entre ambos, es decir, el CDMC correspondería a un terreno acrecionado antes del Jurásico.

- Complejos ofiolíticos (Jurásico Superior – Cretácico Inferior)

Los Complejos Ofiolíticos presentes a lo largo de la Faja Plegada y Corrida de Magallanes conforman un cinturón estrecho y discontinuo que se extiende desde los 51° S hasta Cabo Hornos (56° S) y se interpretan como los remanentes de la denominada “Cuenca de Rocas Verdes” formada entre el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano (Dalziel et al., 1974; Stern & De Wit, 2003). Esta consistió en una cuenca de tras-arco adyacente a los plutones de carácter calcoalcalino del Batolito Patagónico y fue rellenada por material proveniente tanto del arco activo que se encontraba al oeste como por rocas volcánicas silíceas de un arco inactivo desde el este (Bruhn & Dalziel, 1977).

Hoy en día, a raíz de la depositación de sedimentos mencionada en el párrafo anterior y, el posterior cierre de la cuenca a causa de una inversión tectónica ocurrida a mediados del Cretácico; sólo afloran remanentes de esta a causa de la obducción generada por esta última, destacándose principalmente: el Complejo Sarmiento ubicado en el Distrito de Última Esperanza y el Complejo Tortuga que aflora en las islas Navarino y Milne Edwards (Stern & De Wit, 2003). En ambos casos, la secuencia típica de las ofiolitas está incompleta, dado que solamente afloran las lavas almohadillas, los enjambres de diques y los gabros (las rocas ultramáficas están ausentes); los cuales subyacen a la cobertura sedimentaria (Bruhn & Dalziel, 1977; Calderón et al., 2016).

Si bien ambos complejos tienen sus propias particularidades -tanto en términos litológicos (figura 1.9) como geoquímicos-, estos comparten similitudes que permiten realizar interpretaciones con respecto a la apertura y el posterior cierre de la Cuenca de Rocas Verdes. Por un lado, se identifican diques y sills de composición basáltica flanqueando ambos lados de los complejos y que intruyen tanto al basamento pre-Jurásico como a las secuencias de rocas volcánicas silíceas del Jurásico medio-tardío. Lo anterior, es interpretado como una fase temprana del contexto tectono-magmático que propició la formación de la cuenca (Dalziel et al., 1974; Stern, 1980).

Otro aspecto a destacar es que ninguno de los complejos se ve mayormente afectado por la deformación y el metamorfismo regional ocurridos a partir de la inversión tectónica y que si es penetrativo en el relleno sedimentario (Stern, 1979, 1980). En cambio, se verifica un metamorfismo de carácter hidrotermal, sin desarrollo de esquistosidad, con un aumento del grado metamórfico con la profundidad, pasando por las facies zeolitas, esquistos verdes y actinolitas; para después desaparecer de forma abrupta. Se interpretó que la actividad tectónica habría propiciado una alta permeabilidad en los complejos que permitió el paso del

agua de mar, la que se habría calentado al acercarse a las intrusiones ígneas y posteriormente ascendido por convección provocando las alteraciones (Stern et al., 1976; Stern & De Wit, 2003).

Complejo Ofiolítico Sarmiento: Representa el remanente de la Cuenca de Rocas Verdes situado en el extremo norte de la Faja Plegada y Corrida de Magallanes. Consiste en un cinturón con un tren N-S, un ancho que varía de 10-20 kms y está limitado por el Batolito Patagónico Sur por el oeste y por el Canal de las Montañas hacia el este (Calderón et al., 2013). Aflora en el Distrito de Última Esperanza, para ser más precisos, en los fiordos Lolos y Encuentro; en la isla Young y en la Península Taraba (Stern & De Wit, 2003; Calderón et al., 2007).

En términos litológicos, la principal diferencia entre este complejo y Tortuga es la presencia de rocas de carácter intermedio a félsico en el primero, entre las que se identifican tres grupos: (1) Icelanditas; (2) Plagiogranitos; y (3) Trondhjemitas. Las icelanditas se definen como andesitas pobres en Al y ricas en Fe (Winter, 2001), las cuales se encuentran formando diques que cortan tanto a los gabros como a las rocas extrusivas (Stern & De Wit, 2003).

Por otra parte, los plagiogranitos son rocas de grano fino que se encuentran como cuerpos masivos o bien como diques (Stern & De Wit, 2003). Las concentraciones de elementos trazas inmóviles (tales como Zr, Y y REE) de estas rocas forman un trend coherente con las icelanditas y las rocas máficas presentes en el complejo, de lo que se deduce que todas estas litologías son cogenéticas (Stern et al., 1992). A partir de lo anterior, se ha interpretado que la cámara magmática de la que proviene este material funcionaría como un sistema cerrado que no tuvo un reabastecimiento importante de magma no diferenciado (Stern, 1979).

Por último, las trondhjemitas -denominadas también “Xenolitos ácidos” en Stern & De Wit (2003)- se definen como rocas félsicas faneríticas, conformadas por plagioclase sódica, cuarzo y cantidades menores de minerales máficos; pudiendo encontrarse en zonas de subducción fanerozoicas y cratones arqueanos (Best, 2003). En el Complejo Sarmiento fueron interpretadas como remanentes tanto de Formación Tobífera como del Batolito Patagónico que fueron remobilizados e incorporados en el complejo. Esto último se encuentra respaldado por el hecho de que las cantidades de zircón presentes en las trondhjemitas no siguen el mismo trend de las demás rocas presentes (Stern et al., 1992).

El intervalo de tiempo que comprende la formación de este complejo puede discernirse, por un lado, por la presencia de amonites presentes en sedimentitas observadas en la Península Taraba, las cuales sobreyacen al Complejo Sarmiento e indican una edad Titoniana tardía (Fuenzalida & Covacevich, 1988). Por otra parte, muestras de plagiogranitos tomadas del complejo en los fiordos Lolo y Encuentro, entregan edades de $140,7 \pm 0,7$ y $137,1 \pm 0,6$ Ma (ambas del Cretácico Temprano) respectivamente, mediante U-Pb en Zircones (Stern et al., 1992). Para terminar, el metamorfismo de bajo grado ocurrido en el complejo se dató mediante U-Pb en Titanitas presentes en filonitas y se obtuvo una edad cercana a 135 Ma (Calderón et al., 2013).

Complejo Ofiolítico Tortuga: Es el remanente más al sur de la Cuenca de Rocas Verdes (Stern & De Wit, 2003). Consiste en un cinturón con trend E-O, de 20 km de ancho y que aflora principalmente en el SW de la Isla Navarino, en la Isla Milne Edwards y de forma muy aislada en la Isla Thomson (Calderón et al., 2013; Calderón et al., 2016).

Además de la ausencia de rocas leucocráticas, la estratigrafía del Complejo Tortuga muestra una serie de diferencias con respecto al Complejo Sarmiento (Stern & De Wit, 2003): (1) el contacto entre el enjambre de diques y los cúmulos de gabros del primero es gradual, en lugar de abrupto, donde destaca la presencia de diabasas; y (2) los gabros y diabasas del Complejo Tortuga son cortados por diques máficos ricos en MgO que fueron interpretados como un magma parental proveniente del manto. A partir de esto último, Stern (1979) concluyó que la cámara magmática podría ser modelada como un sistema abierto que constantemente sea realimentado por magma no diferenciado, a diferencia del Complejo Sarmiento.

Para fines de datar la edad de depositación de este complejo, se consideró una capa de chert que sobreyace las pillow lavas en Isla Thomson, la cual entregó edades de 143 Ma (Hauteriviano) y 136 Ma (Valanginiano) mediante U-Pb en Zircones, que se interpretaron como la edad límite de depositación (Calderón et al., 2013). En el mismo artículo, mediante U-Pb en Titanita (un mineral secundario asociado con Chl, Ep y Qz en vetillas ubicadas en los márgenes de las pillow lavas), se obtuvo una edad de $118,3 \pm 3.5$ Ma, lo que indicaría que el metamorfismo que generó la facies esquistos verdes ocurrió en el Aptiano (Calderón et al., 2013; Calderón et al., 2016).

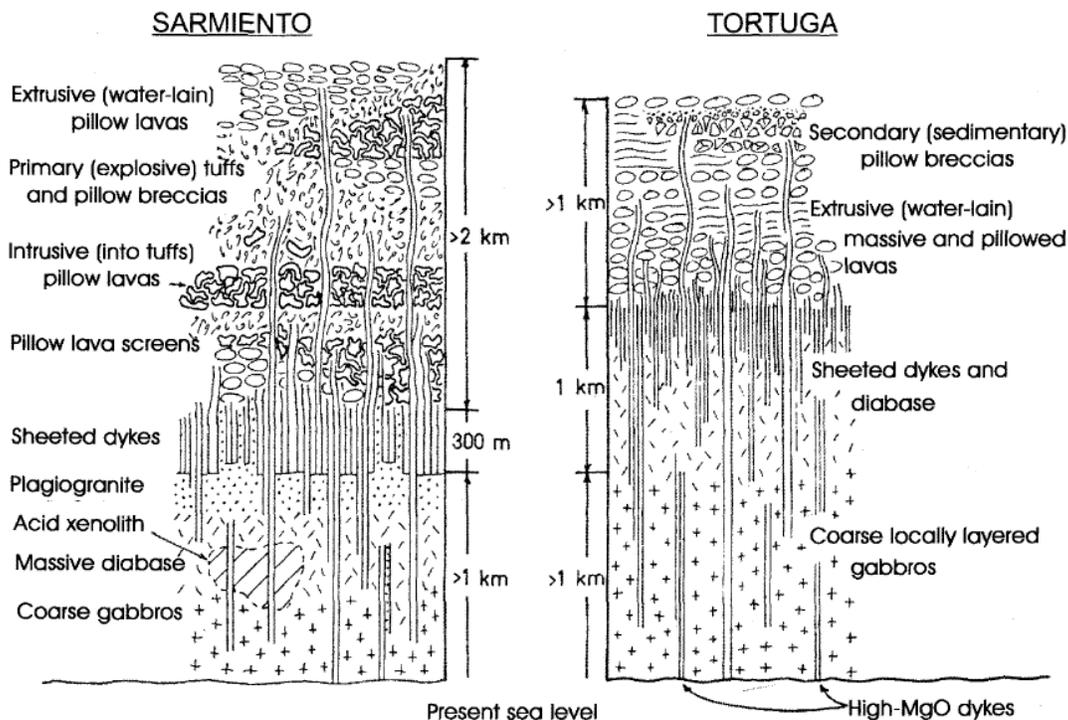


Figura 1.9: Secciones esquemáticas de los complejos ofiolíticos Sarmiento y Tortuga. Imagen tomada de Stern & De Wit (2003).

Un último aspecto de destacar de estos complejos ofiolíticos es que la ausencia de estos más al norte de los 49°S y el hecho de que su ancho aumenta hacia el sur, hace suponer que la Cuenca de Rocas Verdes se abrió progresivamente desde dicha dirección (Stern, 1980), lo que tiene más respaldo al considerar que las estimaciones del ancho original de estos complejos fue de < 50 km para Sarmiento y > 100 km para Tortuga (De Wit, 1977). Además, si bien ambos contienen basaltos de carácter toleítico (Stern et al., 1976; Stern 1980), los del Complejo Sarmiento tendrían un mayor enriquecimiento de elementos LILE (E-MORB), a diferencia de las del Complejo Tortuga (N-MORB), por lo que estos últimos tendrían un origen mantélico sin enriquecimiento de REE incompatibles (Best, 2003) y representarían una etapa más madura de la cuenca de tras-arco (Calderón et al., 2016).

- **Unidades formacionales estratificadas**

Las formaciones mencionadas en esta sección, constituyen el relleno sedimentario que se depositó inicialmente en la Cuenca de Rocas Verdes desde el Jurásico Superior y en la posterior cuenca de antepaís desarrollada durante el Cretácico a raíz del inicio de un régimen compresivo (Malkowski et al., 2015), con aportes del arco magmático desde el oeste y del resto del continente desde el este.

Formación Tobífera (Jurásico superior): Representa la etapa de deformación extensiva ocurrida durante el Jurásico Tardío, asociada al inicio del rompimiento de Gondwana y en la cual se conformó la Cuenca de Rocas Verdes (Fildani & Hessler, 2005). A partir de una recopilación de asociaciones faunísticas realizada por Fuenzalida & Covacevich (1988) -en la que destacan diversos géneros de moluscos, tales como *belemnopsis*, *aspidoceras* y *retroceramus*- se ha estimado una edad de depositación para esta formación entre el Kimmeridgiano medio y el Titoniano superior. Además, dataciones U-Pb mediante SHRIMP en zircones, indican un rango de edad de 152-148 Ma (Hervé et al., 2007b).

Esta formación aflora principalmente en: (1) Distrito de Última Esperanza; (2) Isla Riesco; (3) Península de Brunswick (en estas dos últimas localidades se le denomina “Complejo El Quemado”); y (4) Tierra del Fuego (Cañón, 2000) en donde recibe el nombre de “Formación Lemaire” (Olivero et al., 1997). Sobreyace por discordancia angular al basamento metamórfico Staines (que es parte del EAMC) y subyace en forma concordante a la Formación Zapata en Última Esperanza (Fildani & Hessler, 2005). Mientras que en el sector de Tierra del Fuego subyace a la Formación Springhill, o bien a la Formación Río Jackson (Cañón, 2000). Por otra parte, es contemporánea al Complejo Ofiolítico Sarmiento (Galaz et al., 2005).

En términos generales, la Formación Tobífera se encuentra conformada por riolitas, tobas e ignimbritas; con intercalaciones menores de basaltos y rocas sedimentarias clásticas (Hervé et al., 2007b). Sin embargo, en el trabajo de Wilson (1991) se realizó una caracterización más detallada de las litologías del Distrito de Última Esperanza, entre las que se reconocen: (1) fangolitas negras, piríticas y silíceas; con espesores que varían de pocos centímetros a decenas de metros; (2) turbiditas tobáceas intercaladas con las fangolitas, con espesores menores a 1 m.; (3) tobas submarinas de ceniza, con fragmentos de vidrio

desvitrificado, mostrando tanto estratificación como laminación horizontal; (4) depósitos de flujo de derrubios líticos de carácter riolítico; (5) depósitos de flujo piroclástico subacuoso; y (6) intrusiones hipobisales tanto riolíticas (las que forman cuerpos coherentes o bien peperitas) como basálticas.

A partir de las litologías mencionadas en el párrafo anterior, se interpreta que la Formación Tobífera se estableció en un ambiente marino, con prolongados períodos de sedimentación hemipelágica (material proveniente del continente). Además, este ambiente tranquilo -que varía de anaeróbico a disaeróbico- habría sido interrumpido por influjos esporádicos de derrubios riolíticos. Por otra parte, la conservación de las turbiditas y la laminación horizontal indican una depositación en aguas profundas debajo de la onda de tormenta (Wilson, 1991).

Formación Zapata (Cretácico inferior): Denominada inicialmente como “Formación Erezcano”, esta fue depositada durante un proceso de subsidencia tectónica previa a la inversión tectónica ocasionada por la apertura del Océano Atlántico (Fildani & Hessler, 2005).

Tiene sus principales afloramientos en las siguientes localidades: (1) Distrito de Última Esperanza; (2) Isla Riesco; y (3) Península de Brunswick (Cañón, 2000). No se encuentra presente en Tierra del Fuego, siendo la Formación Yahgán su equivalente (Fildani & Hessler, 2005). Sobreyace de forma concordante a la Formación Tobífera, o bien al Complejo Ofiolítico Sarmiento (esto último se verifica en la Península Taraba en el Distrito de Última Esperanza); mientras que subyace, también de manera concordante, a la Formación Punta Barrosa, habiendo entre estas una zona de transición de ~150 m. de turbiditas (Fildani et al., 2003; Fildani & Hessler, 2005).

En general, su período de depositación se ha estimado entre el Titoniano y el Albiano como máximo (Wilson, 1991; Cañón, 2000). A esto se le complementa un estudio de zircones detríticos llevado a cabo por Fildani et al. (2003), en donde, por dataciones U-Pb, se determinó que la zona de transición entre la Formación Zapata y la sobreyacente Formación Punta Barrosa abarca un estrecho rango de edades con un peak de 110 Ma (Albiano), teniendo como edad más joven 95 ± 1 Ma (Cenomaniano).

A diferencia de Fm. Tobífera, esta se encuentra conformada únicamente por material de carácter sedimentario, en donde predominan las fangolitas, limolitas y, en menor medida, areniscas (Wilson, 1991). En cuanto al origen de estos sedimentos, en un comienzo fueron aportados por el Complejo Ofiolítico Sarmiento y por Fm. Tobífera; mientras que hacia las secciones superiores se reconocen aportes del arco volcánico ubicado hacia el oeste de la cuenca (Fildani & Hessler, 2005).

Con respecto a las litologías presentes, según Wilson (1991) se pueden reconocer, en el distrito de Última Esperanza, 5 miembros designados como A-E desde abajo hacia arriba. En primer lugar, el miembro A consiste en fangolitas negras con presencia de pirita diseminada y concreciones calcáreas. Por otra parte, tanto el miembro B como el E contienen fangolitas, limolitas y areniscas de grano fino; con la diferencia de que en el primer miembro se reconocen pirita, concreciones calcáreas y trazas de *zoophycos*. Luego, el miembro C es un prominente intervalo de fangolitas calcáreas, con intensa bioturbación.

El miembro D se caracteriza por poseer dos tipos distintivos de turbiditas de areniscas: (1) areniscas micáceas de grano medio a grueso, depositadas como cuerpos tabulares, lateralmente continuas; y (2) areniscas cuarzosas de grano medio que representan las unidades T_{a-c} de la secuencia de Bouma. Estas últimas conforman estratos de hasta 1,5 metros de espesor, siendo algunos de estos lenticulares y conteniendo gránulos de detritos silíceos que constituyen el material más grueso de esta formación.

Formación Punta Barrosa (Cretácico superior): Marca la inversión tectónica que inició el régimen compresivo de la Orogénesis Andina y el desarrollo de la Cuenca de Antepaís de Magallanes. Esta última, se generó por una subsidencia flexural asociada a la obducción de la corteza oceánica producida durante la etapa extensiva anterior (Wilson, 1991; Fildani & Hessler, 2005; Fildani et al., 2008).

Los sedimentos que constituyen la formación habrían sido depositados en una fosa de ~100 km de ancho, paralela al cinturón orogénico, en un ambiente asociado con abanicos lobulares (Romans et al., 2011); en tanto que el transporte corresponde a corrientes de turbidez de alta energía (Wilson, 1991). En cuanto a sus dimensiones, tiene un espesor aproximado de 1000 m que tiende a disminuir hacia el sur y el este hasta acuñarse (Cañón, 2000).

Esta formación aflora en el Distrito de Última Esperanza, mientras que hacia la Península de Brunswick su equivalente es la Formación Canal Bertrand (Canón, 2000) y en Tierra del Fuego este es la Formación Arroyo Alfa (Cuitiño et al., 2019). Con respecto a sus contactos, tal como se explicó anteriormente, sobreyace de forma concordante a la Fm. Zapata, habiendo entre ambas una zona de transición conformada por turbiditas (Fildani et al., 2003); en tanto que con la sobreyacente Formación Cerro Toro este contacto también es concordante y gradual, siendo este marcado por la presencia de fangolitas oscuras y la ausencia de estratos de grano grueso (Romans et al., 2011).

En un comienzo se estimó que la depositación ocurrió entre el Albiano y el Cenomaniano, lo que se sustentaba en la escasez de ammonites (Wilson, 1991). Sin embargo, las dataciones U-Pb llevadas a cabo por Fildani et al. (2003) indican que el inicio de la depositación -y, por ende, del desarrollo de la Cuenca de Antepaís- no habría ocurrido antes de 92 ± 1 Ma, es decir, durante el Turoniano, por lo que esta formación sería más joven de lo que se pensaba inicialmente.

En sentido amplio, esta es una formación abundante en arena que puede ser entendida como 2 grandes secciones (Wilson, 1991): (1) una inferior rica en arcillas y que presenta turbiditas de arenisca media a gruesa, que forman estratos de 20 a 150 cm de espesor; y (2) una superior rica en arena en la que se observan también conglomerados con clastos de tamaño gránulo y guijarro. Cabe destacar que, en esta última sección, los estratos de arenisca están segregados en paquetes de 2-40 metros de espesor, con una morfología que varía de tabular a ligeramente lenticular (Romans et al., 2011) y en los que hay secuencias interestratificadas de arcillas y arena fina.

Según una caracterización de Fildani & Hessler (2005), las areniscas están conformadas por un 21% de matriz de fango, que contiene clorita, muscovita y biotita; mientras que entre los clastos se reconocen cuarzo y plagioclasa angulares, además de clastos

redondeados de chert y de carácter máfico (siendo estos últimos los más escasos). En cambio, los fragmentos líticos provienen de rocas volcánicas -tanto andesíticas como félsicas- y metamórficas.

Dada esta descripción y, sumado al hecho de que los Zirrones detríticos estudiados en Fildani et al. (2003) muestran poblaciones de edades que van desde el Proterozoico medio hasta el Turoniano, se interpreta que las principales fuentes de sedimentos para la Formación Punta Barrosa corresponden a complejos metamórficos y al Batolito Patagónico, con menor contribución del Complejo Ofiolítico Sarmiento (Fildani & Hessler, 2005). Además, la ausencia de edades asociadas a la Fm. Tobífera es un indicador de que esta no afloraba y no aportó material a la cuenca durante la depositación (Fildani et al., 2003).

Complementando lo anterior, se ha interpretado la presencia paleocorrientes con flujos que van desde el N-NW hacia el S-SE a partir del reconocimiento de clastos hundidos en estrías (groove) y acanaladuras (flutes) (Wilson, 1991), por lo que los sedimentos no pudieron provenir desde el sur. Además, la presencia de un “forebulge” al este de la cuenca, impide también aportes de material desde esa dirección (Romans et al., 2011).

CAPÍTULO II RESULTADOS

2.1) GEOLOGÍA LOCAL

2.1.1) Litologías

La zona de estudio se encuentra generalmente cubierta por una capa de turba con un espesor que varía entre 35 cm y 4,2 m. Bajo esta se reconocieron las siguientes litologías:

Capa de Arcillas: También denominada “paleosuelo”, es un nivel de sedimentos de mala selección, que varía de poco a medianamente consolidado y en general, es matriz soportada (figura 2.1). La matriz está conformada por clastos de arcilla y/o arena, siendo estos últimos los menos abundantes. Ambos tamaños de grano se distinguen en terreno por sus distintos niveles de cohesión al contacto con el agua. En cuanto a los clastos de grava, estos abarcan un amplio rango de tamaños -pudiendo llegar a más de 5 cm-, presentan un grado medio de redondeamiento y son polimícticos -se identifican fragmentos de basamento metamórfico, Fm. Tobífera, vetas de Qz (algunos con mineralización) e incluso diques dioríticos-; lo que permite deducir un origen fluvio-glacial.

El espesor de esta capa varía desde decenas de centímetros a más de 4 metros -con un promedio de 0,53 metros para las perforaciones realizadas durante la presente campaña-, en donde los cambios abruptos son interpretados como paleocanales. No obstante, esta capa estuvo ausente en la mayoría de estas (141 de un total de 393), siendo dicha tendencia más notoria en el sistema Cristina, donde -en caso de no estar ausente- su espesor ocasionalmente era mayor a 1 metro.



Figura 2.1: Transición entre turba y capa de paleosuelo. La mala selección y el redondeamiento de los clastos permiten inferir un antiguo ambiente fluvio-glacial.

Basamento metamórfico: Generalmente cubierto por turba (y por paleosuelo cuando está presente), el basamento es el principal huésped de las vetas encontradas en el distrito (ver sección “Sistemas de vetas”). Está conformado por pizarras y esquistos foliados, con presencia de deformación dúctil y diversos tipos de alteración (figura 2.2), las cuales fueron ocasionadas por calentamiento, o bien por metasomatismo, entre las que se pueden identificar: (1) bandas de Qz metamórfico -similares al bandeamiento gneísico- paralelas a la foliación del basamento, aunque también pueden encontrarse brechizadas -posiblemente por tectónica-; (2) silicificación, que le da al basamento una coloración gris clara; (3) cloritización, que da un tono verdoso; y (4) epidotización, la que típicamente acompaña a la cristalización de Clorita secundaria y es siempre subordinada a esta.

De las alteraciones mencionadas en el párrafo anterior, es frecuente que tanto la silicificación como la cloritización se encuentren presentes en una misma muestra, en cuyo caso el basamento muestra un color gris-verdoso y se le denomina a esta alteración simplemente como “sílice-clorita”.

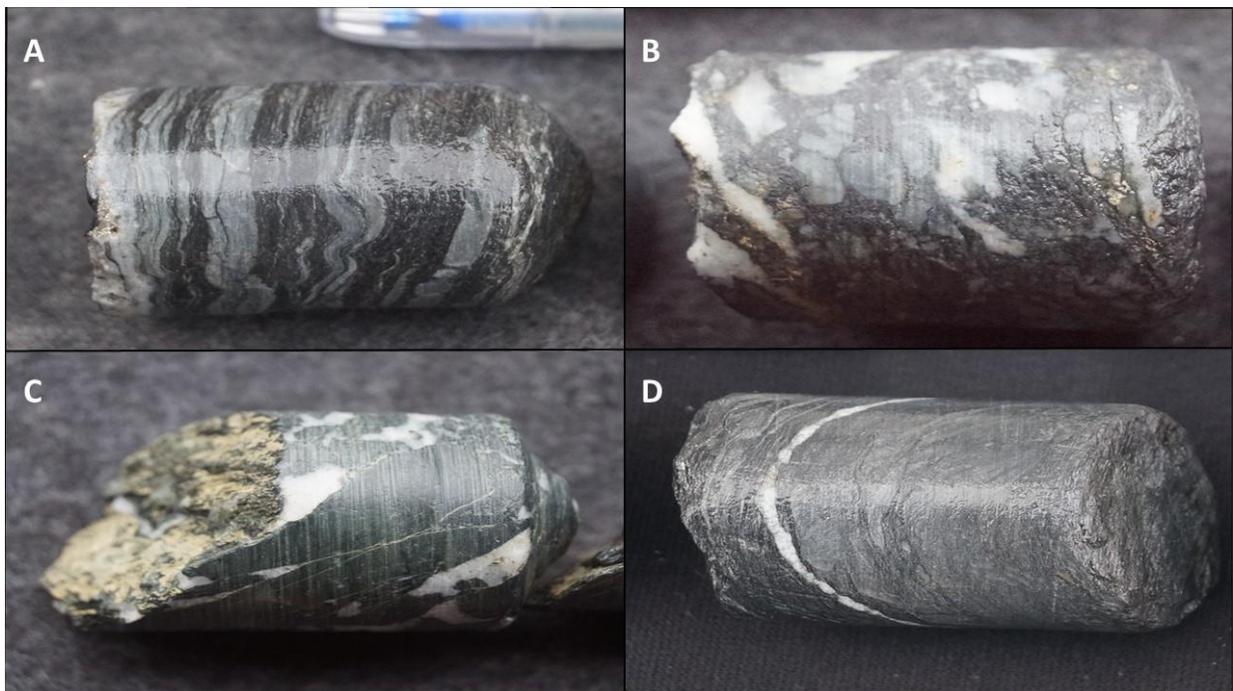


Figura 2.2: Alteraciones en el basamento metamórfico presente en el distrito Cutter Cove: (A) bandas de Qz metamórfico paralelas a la foliación; (B) Qz metamórfico brechizado (se distinguen de las vetillas de Qz por ser de un tono menos lechoso que estas); (C) cloritización débil a moderada (le da al basamento un tono verdoso); (D) silicificación (a la izquierda de la vetilla se observa basamento sin alteración).

Formación Tobífera: Fue identificada hacia el NE de la zona de estudio, en perforaciones realizadas en el sistema Angélica, siempre debajo de la turba y el paleosuelo (no se encontró el punto exacto del contacto con el basamento). Se reconocieron tobas grisáceas cristalinas con presencia de cloritización y/o epidotización, vetillas milimétricas de Qz y mineralización de Py tanto diseminada como rellenando dichas vetillas (figura 2.3).



Figura 2.3: Toba cristalina perteneciente a Formación Tobífera con cloritización débil a media.

Diques dioríticos: En algunas perforaciones, principalmente las realizadas en las cercanías de la Mina Cutter, se reconocieron intrusivos de carácter diorítico (figura 2.4) con presencia de minerales máficos como anfíbol y magnetita (esta última identificada por su magnetismo). Sus alteraciones más habituales son la cloritización y, en menor medida, la epidotización; sin embargo, ocasionalmente estas se encuentran ausentes. Por otro lado, no se observaron minerales de mena, mientras que el único sulfuro presente fue la pirita, la que estaba diseminada y en cantidades de traza (0,1% de volumen total de sulfuros).

Debido a sus apariciones discretas durante las perforaciones de la campaña, estos intrusivos fueron interpretados como diques.



Figura 2.4: Dique diorítico sin alteración, con presencia de anfíbol y magnetita. Muestra recuperada en el sector de Mina Cutter.

2.1.2) Sistemas de vetas

Los sistemas de vetas de Qz-sulfuros polimetálicos presentes en el distrito Cutter Cove (figura 2.5) se encuentran descritos en profundidad en el reporte de Cordery (2015). A partir de este último, se indicará para cada sistema sus dimensiones, rumbo, manteo, las vetas que la conforman, los principales sulfuros presentes y las leyes promedio tanto de metales preciosos como metales bases. En términos generales, los sulfuros correspondientes a menas reconocidos a escala de muestra de mano fueron calcopirita, galena y esfalerita; mientras que las gangas más abundantes son piritita, arsenopirita y pirrotina.

Por otro lado, debido a las inundaciones y al riesgo de caída dentro de las minas, no se pudo acceder a estas durante la campaña para obtener muestras de las vetas. En cambio, se optó por recuperar los fragmentos que se encontraban en los desmontes asociados a cada una de estas, por lo que, si bien se desconoce la ubicación original de las muestras recogidas, conservan su importancia al poder ser utilizadas para identificar estructuras, texturas, minerales de mena, minerales de alteración y estilos de mineralización. Por asuntos logísticos, sólo se recuperaron muestras de los sectores: Cristina, Gorda, Cutter e Ingleses.

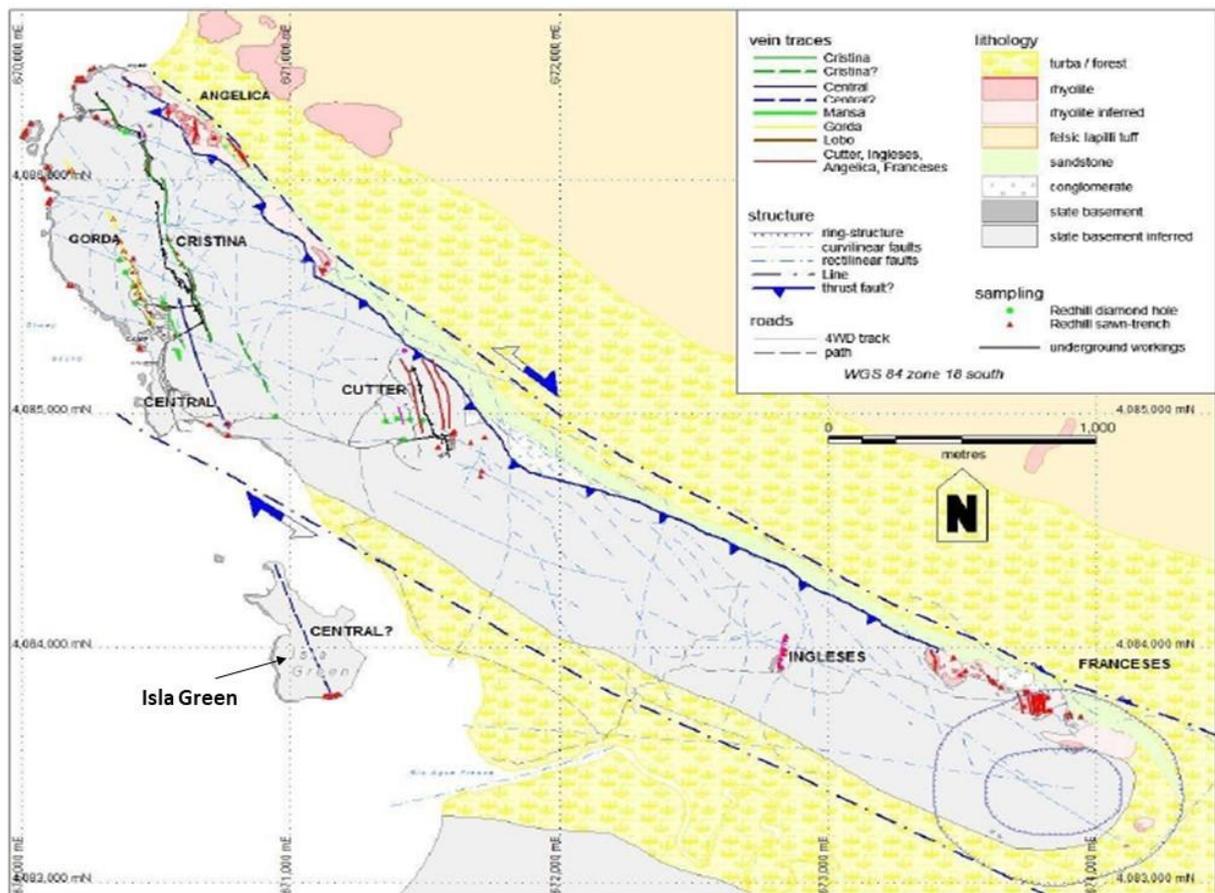


Figura 2.5: Mapa geológico de Cutter Cove. Imagen tomada de Codery (2015).

Mina Cristina: Es la mina más grande y más importante desde el punto de vista económico dentro del proyecto Cutter. Destaca la Veta Cristina, la que en superficie muestra una longitud de 1,15 km, un rumbo de N18°W, un manteo que varía desde vertical hasta 68°W (promediando 80°W) y un espesor variable que se hace mayor en su parte central (promediando 3-4 metros) llegando a 1 metro en sus terminaciones. En términos de mineralización, sus leyes promedio son de 1,41% Cu, 39,3 g/t Ag, 0,24 g/t Au, 0,08% Pb y 0,35% Zn.

En el bloque colgante de la Veta Cristina esta se encuentran además las vetas Central, Mansa y Gorda (esta última se describirá en otro apartado); mientras que en el yacente se tiene la Veta Radio (todas muestran un rumbo NW). La Veta Mansa tiene un espesor de 1-2,8 metros en superficie y una longitud de 280 metros; en tanto que sus leyes promedio son de 0,07% Cu, 5,3 g/t Ag, 0,86 g/t Au, 0,02% Pb y 0,03% Zn.

Por su parte, la Veta Central tiene dimensiones comparables a las de Mansa, aunque se piensa que se extiende mucho más hacia el sur (ver figura 2.5). Junto con la presencia de Calcopirita, se han identificado también Electrum y Bismutinita (B_2S_3); mientras que, entre los sulfuros accesorios, se reconocieron Pirita y Arsenopirita.

Para terminar, la Veta Radio se encuentra 60 metros dentro del bloque yacente de la Veta Cristina y se extiende por 70 metros con un rumbo NW. Se identificaron blebs diseminados de Calcopirita, hospedados en basamento metamórfico.

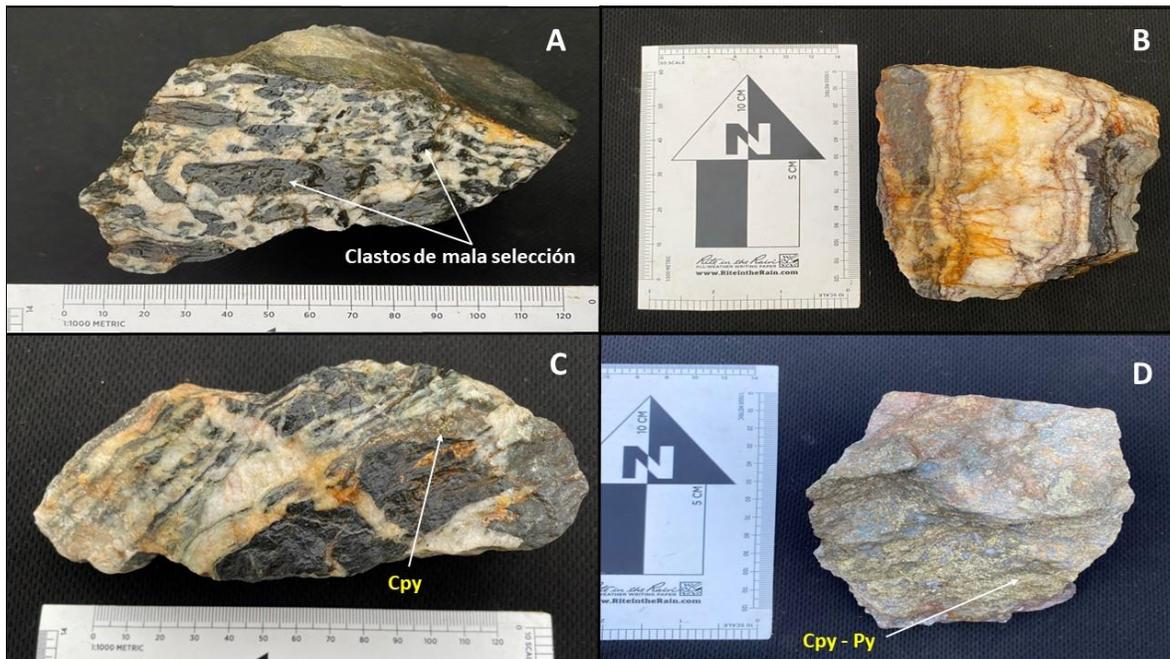


Figura 2.6: Estructuras identificadas en el desmonte correspondiente al sector de Mina Cristina: (A) brechización hidrotermal con relleno de Qz y clastos de mala selección; (B) vetilla de Qz con bandeamiento hacia los bordes y oxidación media a intensa; (C) vetilla de Qz cortando veta centimétrica temprana de Qz, Chl y trazas de Cpy; (D) vetilla de sulfuros con cantidades menores de Qz hospedada en basamento.

Las principales estructuras observadas en el desmonte correspondiente a Mina Cristina se encuentran incluidas en la figura 2.6. Por un lado, las vetillas predominantes en este sector son aquellas que están rellenas con cuarzo (que puede variar de cristalino a lechoso), además de cantidades menores de clorita y trazas de sulfuros; las cuales pueden generar brechización hidrotermal asimilando fragmentos del basamento metamórfico (figura 2.6A) y, ocasionalmente, mostrar texturas bandeadas hacia los bordes (figura 2.6B). En la figura 2.7C se corrobora que en este sector existieron diversos pulsos hidrotermales a lo largo de la historia geológica del distrito, dado que se observa una brechización hidrotermal temprana con una vetilla de Qz posterior que corta tanto las bandas de clorita de esta como los clastos de basamento.

Finalmente, se han reconocido -en menor cantidad que las vetillas de Qz-, vetas rellenas de sulfuros donde los minerales predominantes son calcopirita y pirita (figura 2.6D).

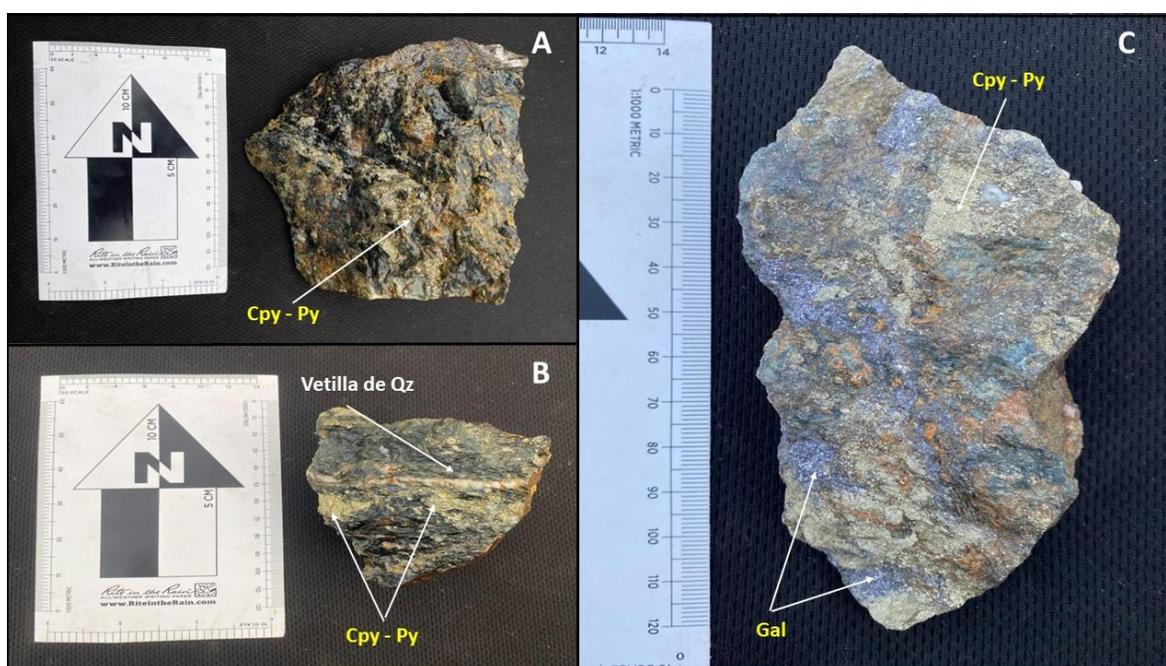


Figura 2.7: Sulfuros y estilos de mineralización identificados en el desmonte correspondiente al sector de Mina Cristina: (A) Cpy-Py diseminadas en basamento metamórfico (> 1% vol. de sulfuros); (B) Cpy-Py diseminadas en basamento y en vetilla de Qz; (C) vetilla de sulfuros con mineralización de Cpy-Py-Gal.

Luego, en cuanto a la mineralización reconocida a escala de muestra de mano (figura 2.7), se observó que la mena -y sulfuro- dominante es la Cpy, siendo esto consecuente con las leyes indicadas en el reporte de Cordery (2015). Esta típicamente coexiste con Py y se pueden encontrar diseminadas tanto en basamento (figura 2.7A) como en vetillas de Qz (figura 2.7B), así como también formando vetillas de sulfuros, tal como se mencionó en el párrafo anterior. En estas últimas, se ha reconocido de forma ocasional mineralización de Gal coexistiendo con estos sulfuros (figura 2.7C).

Veta Gorda: Como se dijo anteriormente, la Veta Gorda se encuentra en el bloque yacente de la Veta Cristina. Posee un azimuth de 340° que puede ser trazado de forma prácticamente continua por 390 metros. Su dip tiene la particularidad de variar según la sección de la veta: (1) en su terminación SE, la veta es vertical o bien tiene un dip abrupto hacia el E o el W; (2) en su sección media, el dip varía entre $45\text{--}55^\circ$ W; y (3) en su terminación SW, vuelve a empinarse hasta los 65° W. En cuanto a sus dimensiones, para los primeros 180 m desde el SE, su espesor varía típicamente entre 9,8–5 m (siendo 3,5 m su valor más estrecho), mientras que más allá de dicho intervalo, el espesor varía entre 1 a 2 metros.

Las estructuras observadas a escala de muestra de mano se muestran en la figura 2.8, las cuales se pueden separar en dos grandes grupos: bandeamiento y brechización. Las bandas encontradas en las vetas centimétricas de este sector son subparalelas al rumbo de estas y pueden estar ser de carácter colorme y conformadas por minerales oxidados (figura 2.8A), o bien ser rectas teniendo a la clorita como mineral más abundante después del cuarzo (figura 2.8B). A su vez, se reconocieron dos tipos de brechas en este sector: (1) aquellas generadas por fluidos hidrotermales que superan la presión confinante del basamento (figura 2.8C); y (2) formadas por tectónica, en cuyo caso los clastos son tanto fragmentos de veta como del basamento (figura 2.8D).

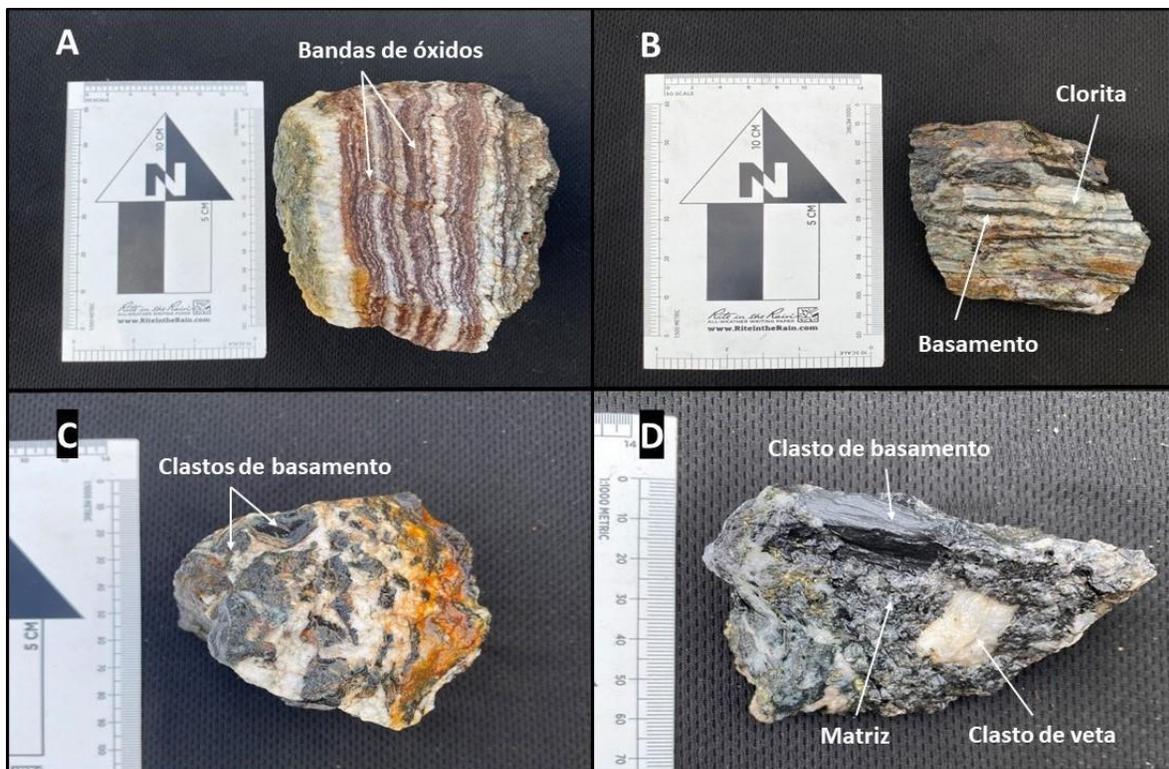


Figura 2.8: Texturas y brechización identificadas en el desmante correspondiente al sector de Veta Gorda: (A) bandeamiento colorme en veta de Qz formado por óxidos; (B) bandeamiento recto formado por Clorita y remanentes de basamento; (C) brechización generada por fluidos hidrotermales con clastos angulosos de basamento y oxidación media a intensa; (D) brechización tectónica con clastos polimícticos, en donde se observan fragmentos de basamento y de vetas de Qz.

En términos mineralógicos, Veta Gorda tiene altas leyes de Cu-Au-Ag y moderadas de metales base (Pb-Zn). Sus menas más importantes a escala de muestra de mano y, en orden de abundancia, son la calcopirita, la galena y la variedad marrón rojiza de la esfalerita (figura 2.9); mientras que se deduce la presencia de electrum a partir de la alta correlación entre el Au y la Ag. Entre los minerales de ganga se mencionan pirita, cuarzo y un carbonato sin identificar de color rosa pálido que rellena fracturas.

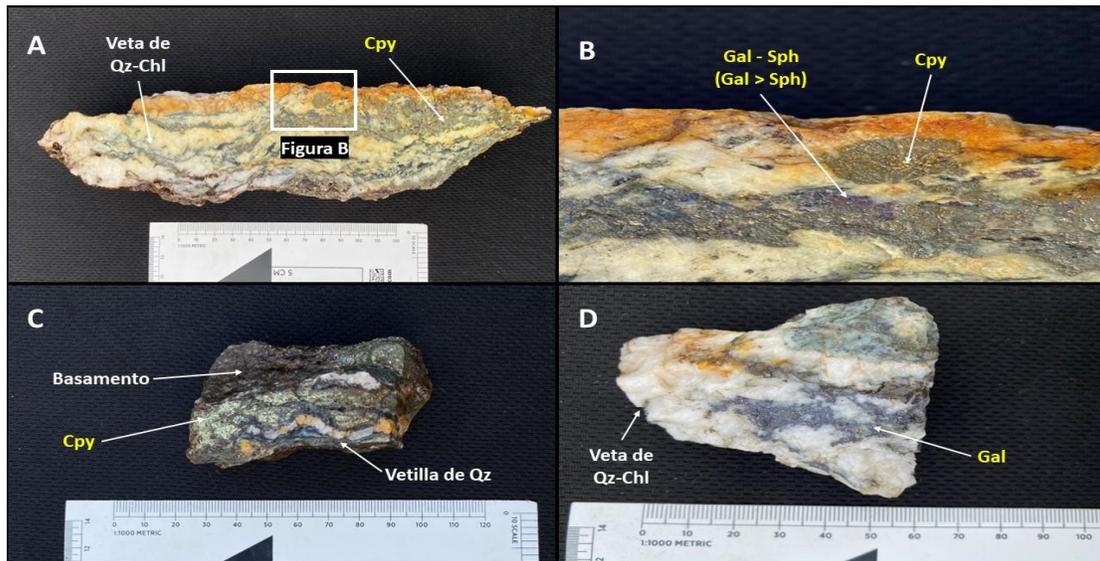


Figura 2.9: Mineralización de sulfuros a escala de muestra de mano en sector de Veta Gorda: (A) veta de Qz-Chl con mineralización de Cpy-Gal-Sph; (B) zoom de la figura 2.9A, se reconoce coexistencia de Gal-Sph; (C) Cpy diseminada en basamento adyacente a vetilla de Qz; (D) Gal diseminada en veta de Qz-Chl.

Prospecto Franceses: Se encuentra 3,6 km al SE de la Mina Cristina. A diferencia del resto de las minas presentes en el distrito, en este prospecto la mineralización se encuentra hospedada principalmente por intrusiones riolíticas y, en menor medida, en conglomerados (Cordery, 2015).

La zona con la mineralización más importante dentro de este prospecto se denomina “Franceses Central”, que consiste en un enjambre de vetas de Qz (sheeted veins) y vetillas con un espesor promedio menor a 5 cm (pero que pueden alcanzar hasta 40 cm). Las leyes promedio en esta zona indican 0,87 % Cu, 7,5 g/t Ag, cantidades despreciables de Au y metales base; además destaca la alta cantidad de Bi (45,66 g/t).

Hacia el este, las riolitas mencionadas en el párrafo anterior están en contacto con un afloramiento de conglomerados mineralizados, de carácter clasto-soportado (entre los que se encuentran fragmentos de basamento y vetas de Qz), en los que se midieron leyes promedio de 2,75 % Cu, 27 g/t Ag, 0,14 g/t Au.

La mena más importante de este prospecto es la calcopirita, pudiendo encontrarse de forma masiva -reemplazando porciones brechizadas de las vetas-, como filones en los contactos o como blebs. En los conglomerados, el estilo de mineralización de la Cpy es diseminada.

Mina Cutter: Se encuentra 1 km al SE de la Mina Cristina. Está conformada por 4 vetas, siendo la más importante desde el punto de vista económico la Veta Cutter, de la cual en su bloque yacente se identifica la Veta Flaca, mientras que en el bloque colgante se encuentran las vetas Patricia y Ana María. Todas estas tienen un manteo de 40° W y un rumbo aproximadamente igual al de las vetas presentes en Cristina.

El rumbo de la Veta Cutter tiene una extensión de 400 metros, mientras que su espesor varía entre 1,03 a 4,9 metros con un promedio de 2,37 m. Por otro lado, sus leyes promedio son de 2,85 % Cu, 69 g/t Ag, 0,06 g/t Au y cantidades despreciables de Py y Zn.

La Veta Flaca está 2,5-4 metros debajo de la Veta Cutter, tiene un espesor de 0,5 metros y sus leyes promedio son de 1,16 % Cu y 16,9 g/t Ag. Por su parte, la Veta Patricia se encuentra 25 metros sobre la Veta Cutter, posee un espesor de 1,1 m. y sus leyes son de 5,39 % Cu, 113 g/t Ag y 0,1 g/t Au. Por último, la Veta Ana María se encuentra expuesta en superficie a lo largo de 400 metros, tiene un espesor medio de 3,1 m. y leyes de 1,06% Cu, 24,7 g/t Ag y 0,01 g/t tanto para el Au como para los metales base.

En la figura 2.10 se indican las principales texturas identificadas a escala de muestra de mano para las muestras recogidas en el desmonte correspondiente a este sector. Al igual que en la Mina Cristina, se observa una brechización hidrotermal con clastos angulosos pertenecientes al basamento metamórfico y pobre en sulfuros (figura 2.10A); sin embargo, las brechas de este sector se diferencian por mostrar bandemiento rodeando los clastos. Por otra parte, en las vetas centimétricas de Qz-Chl, la clorita puede cristalizar en forma de bandas que varían de continuas (figura 2.10B) a irregulares (figura 2.11A), con un volumen variable de sulfuros y sin ser tan abundantes como ocurre en Veta Gorda.

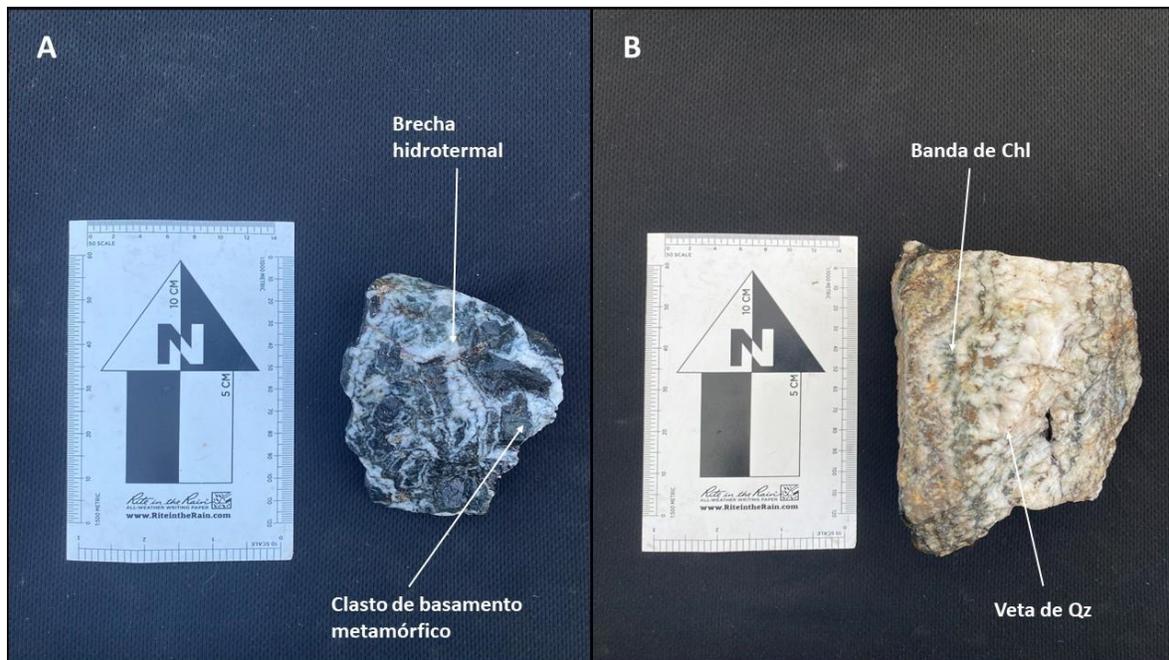


Figura 2.10: Texturas a escala de muestra de mano identificadas en el desmonte correspondiente al sector de Mina Cutter: (A) brechización hidrotermal con presencia de bandas alrededor de los clastos; (B) veta de Qz-Chl con cristalización de clorita en forma de bandas.

En esta mina el único mineral de importancia económica es la calcopirita (figura 2.11), la que puede encontrarse de forma masiva o bien diseminada tanto en vetas de Qz como en el basamento; siendo estas dos últimas reconocidas en su respectivo desmante (figuras 2.11A y 2.11B). Una observación a destacar de la presencia de Cpy en las vetas, es que aparentemente cristaliza manteniendo una relación espacial y temporal con bandas discontinuas de clorita que se encuentran hacia los bordes y el centro de la veta, tal como se observa en la figura 2.11A.

Por otra parte, entre los sulfuros accesorios se reconocen pirita, arsenopirita y pirrotina; los cuales si bien co-precipitan con la Cpy, nunca exceden el 10 % del total del contenido de sulfuros. A escala de muestra de mano, este es el único sector del distrito donde se reconoció pirrotina entre los minerales accesorios (fig. 2.11C).

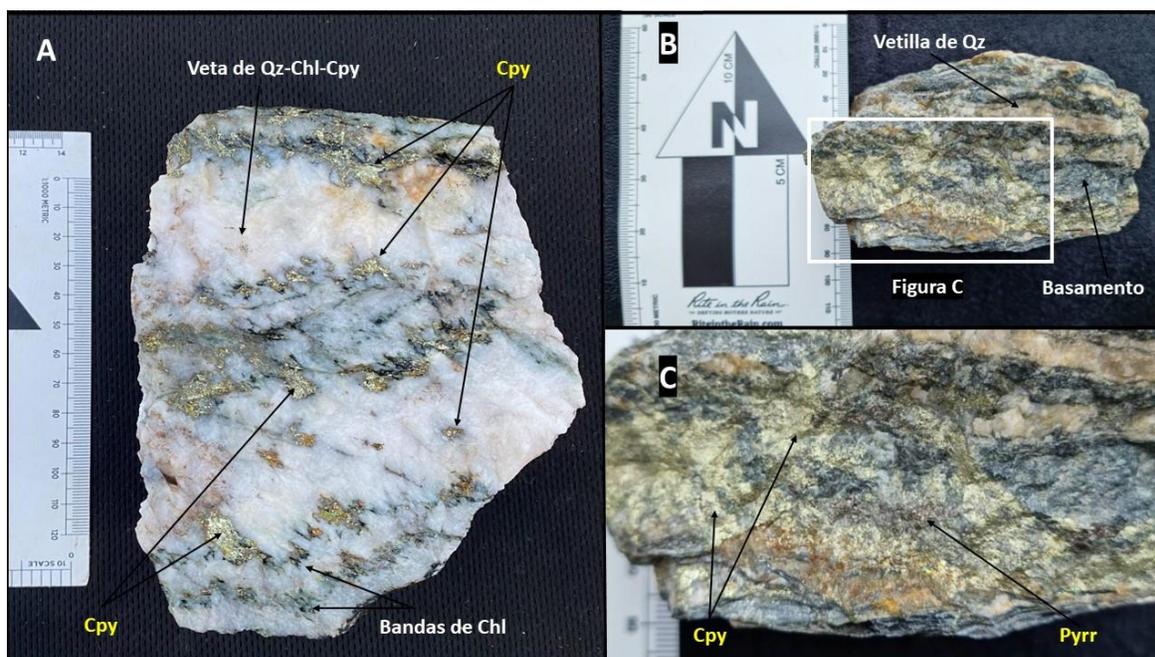


Figura 2.11: Sulfuros y estilos de mineralización identificados en el desmante correspondiente al sector de Mina Cutter: (A) Veta centimétrica Qz con bandas de Chl y mineralización de Cpy; (B) basamento metamórfico cloritizado con mineralización de Cpy (C) zoom de la figura 2.11B, se reconoce Pyrr coexistiendo con Cpy.

Veta Ingleses: Se encuentra a 2,7 km de la Mina Cristina. La Veta Ingleses aflora a lo largo de 150 m con un rumbo NS y con un manteo hacia el W que varía gradualmente hacia el sur desde 40° hasta 59°. Además, su espesor varía de 1,26 a 4,8 m, teniendo un promedio de 3,31 metros.

El promedio ponderado para los metales presentes fue alto para el Cu (1,23 %) y la Ag (0,16 g/t); bajo para el Au (0,16 g/t) y despreciable para los metales base (0,01 % de Pb y 0,03 % de Zn). Por otra parte, la mena más importante es la calcopirita, la que se encuentra depositada en enjambres de vetillas de cuarzo y en estructuras brechizadas con silicificación. A partir de lo anterior, el depósito fue catalogado como una veta de carácter mesotermal de Cu-Ag.

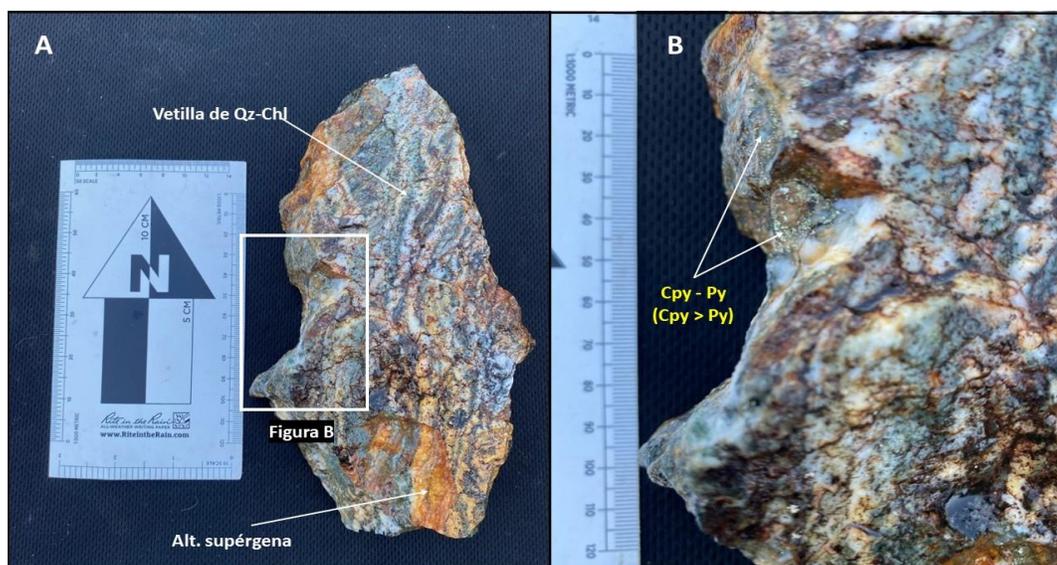


Figura 2.12: (A) Veta centimétrica de Qz-Chl con alteración supérgena intensa; (B) zoom de la figura 2.12A, se reconoce mineralización diseminada de Cpy-Py (< 1% vol. de sulfuros).

Una muestra representativa de esta veta se encuentra en la figura 2.12. Al igual que en otros sectores, predominan las vetillas de Qz-Chl con alteración supérgena (figura 2.12A), donde este último mineral es abundante y forma esencialmente bandas. Luego, concordando con lo indicado en Cordery (2015), la mena predominante es la Cpy, estando acompañada de Py (figura 2.12B); además, no se observaron sulfuros de metales base.

Prospecto Angélica: Comparte similitudes con el Prospecto Franceses debido a que ambos contienen vetas de Qz-Cpy hospedadas en riolitas; no obstante, en Angélica no se han reconocido enjambres de vetillas ni conglomerados mineralizados. Por otra parte, la mineralización en este prospecto puede ser dividida en 2 tipos: (1) las vetas “Angélica superior” hospedadas en riolitas que intruyen a lo largo del contacto entre el basamento metamórfico y Formación Tobífera; y (2) las de “Angélica inferior” que se hospedan en areniscas y, en menor medida, en conglomerados.

Entre las del tipo “Angélica superior” destacan 2 vetas de una potencial importancia económica, las que se caracterizan por tener un manteo de 55° y 67° hacia el oeste, un espesor que varía entre 55-65 cm y por la presencia de vetillas mineralizadas hacia los bordes. Sus leyes varían entre 2-4,4 % de Cu, 14-49 g/t de Ag, 0,1 g/t Au y cantidades despreciables de metales base.

En cuanto a las de “Angélica inferior”, estas consisten en vetas de Qz con Cpy masiva, espesores que varían entre 2-5 m, un rumbo SW paralelo al de la falla de rumbo inferida por Cordery (2015) y un manteo que varía entre 21-54° W; sin embargo, no está claro si conforman una única estructura (su afloramiento está cubierto por turba). Contiene en promedio 1,24 % de Cu, 16 g/t de Ag y 0,07 g/t de Au (no se mencionan metales base y sus respectivos sulfuros no fueron reconocidos en las perforaciones realizadas en dicho prospecto).

2.2) ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA DATA

En esta sección, se muestran los resultados del análisis estadístico realizado mediante el software ioGAS a partir de la base de datos conformada por los sondajes y canaletas (superficiales y subterráneas) tomadas en el distrito Cutter Cove. Esta data, originalmente fue presentada como 3 archivos Excel -uno para los sondajes y los restantes para cada tipo de canaletas-, donde cada uno de estos consistía en 3 hojas: (1) “Header” que incluía coordenadas en UTM, elevación y máxima profundidad para las perforaciones; (2) “Survey” que separa cada perforación en intervalos (definidos por las variables “from” y “to”), indicando sus respectivos azimuth y dip; y (3) “Assays” que también separa las perforaciones en intervalos, indicando las concentraciones de los elementos de interés.

Según el reporte de Cordery (2015), la data proviene de 2 campañas de exploración realizadas en el año 2013 por Red Hill Magallanes SpA, en donde se contrató los servicios de la empresa Energold de Chile S.A. para la primera campaña y Artic Drilling Company SpA para la segunda. Posteriormente, las muestras recuperadas fueron transportadas al ACME Analytical Laboratories S.A., ubicado en Pudahuel, Santiago. En este último, las muestras pasaron por un proceso de digestión con agua regia y después fueron analizadas con ICP-ES. Por otra parte, para los elementos Cu, Pb, Zn y Ag; se realizó un análisis AAS (“atomic absorption spectroscopy”).

En los datos correspondientes a las canaletas subterráneas, se dispone de un total de 181 muestras, entre las cuales 144 fueron tomadas de la mina Cristina y 37 de Cutter. Por otra parte, se tienen 101 canaletas superficiales, donde la mayoría de estas se encuentran separadas en intervalos siendo cada uno de estos un dato, llegando a un total de 917. De este total, 146 se tomaron de la Veta Lobo -veta mencionada en Cordery (2015)-, 96 de Veta Gorda, 62 de Ingleses, 51 de la Mina Cutter, 139 de la Mina Cristina -a las que se suman 66 datos tomados en la Isla Green, donde se sospecha que podría tratarse de una extensión de la Veta Central-, 279 del Prospecto Franceses y 78 del Prospecto Angélica.

Por último, se tiene un total de 24 sondajes los que, a causa de la variación del dip con la profundidad, también están divididos en intervalos, dando un total de 2132 datos. De estos 24, se realizaron 7 en la Mina Cutter (580 datos), 6 en el Prospecto Franceses (361 datos), 2 en el Prospecto Angélica (179 datos), 3 que cortan tanto a Cristina como a Veta Gorda. Los 3 sondajes restantes, cortan tanto la mineralización de la Veta Gorda como las vetas asociadas a la Mina Cristina, por lo que se decidió cortar estos 3 siguiendo un trend paralelo al de dichas vetas, asignando los datos hacia el oeste del corte como pertenecientes a la Veta Gorda y los del este a Cristina. A partir de lo anterior, se tienen en total 550 datos para la Veta Gorda y 640 para Cristina.

Con respecto a los elementos a estudiar, en las canaletas subterráneas se dispone de concentraciones de Ag, As, Au (en ppm) y de Cu (en %). Por su parte, para las canaletas superficiales y los sondajes existe una mayor variedad de elementos encontrándose Ag, As, Au, Mn, Mo, P, Sb (en ppm), Cu, Fe, Pb y Zn (en %). Para esta base de datos, se aplicaron filtros antes de iniciar el análisis geoquímico, para fines de minimizar el efecto de aquellas mediciones que se encuentran debajo del límite de detección.

Conversión de la base de datos a coordenadas X, Y y Z

Para la conversión de los datos presentes, se comenzó con la obtención de la coordenada Z. El razonamiento seguido fue considerar los segmentos de las perforaciones (delimitadas por las variables “from” y “to”) como la hipotenusa de un triángulo rectángulo, por lo que la coordenada Z del primer segmento de cada perforación será la diferencia entre la elevación y la longitud del cateto que se encuentra paralelo al eje Z, es decir, sea ϕ el dip de dicho segmento, se tendrá:

$$Z = Elevation - (To - From) \times \sin \phi$$

Aplicando recursión, la coordenada Z del segmento i-ésimo se calculó como:

$$Z_i = Z_{i-1} - (To_i - From_i) \times \sin \phi_i$$

Es necesario destacar que, para todas las canaletas subterráneas -y la mayoría de las superficiales- el valor del dip es cero, por lo que en esos casos el valor de la coordenada Z será equivalente al de la elevación.

Posteriormente, para las coordenadas X e Y, se utilizaron los catetos restantes de los triángulos indicados antes, los que se calcularon de la siguiente forma:

$$\text{Cateto del segmento } i - \text{ésimo} = (To_i - From_i) \times \cos \phi_i$$

Considerando la vista en planta de los sondajes y las canaletas, si se colocara para cada uno de ellos un plano cartesiano tal que: (1) la coordenada norte coincida con el eje X y el este con el eje Y; (2) mientras que el origen sea el lugar donde se inició la perforación, se corrobora que el cateto correspondiente al primer segmento de cada una de estas sale del origen y el ángulo que hace con respecto al eje Y es el azimuth (φ). Por lo tanto, las coordenadas X e Y de dicho segmento serán:

$$\begin{aligned} \text{segmento}_X &= \sin \varphi \times [(To - From) \times \cos \phi] \\ \text{segmento}_Y &= \cos \varphi \times [(To - From) \times \cos \phi] \end{aligned}$$

Si a estas expresiones se les suman los valores de las coordenadas UTM de cada perforación, entonces se habrán obtenido las coordenadas X e Y para el primer segmento de estas. Aplicando recursión otra vez, las coordenadas X e Y para el segmento i-ésimo de la perforación j-ésima, se calcularán respectivamente como:

$$X_i = UTM_east_j + \sum_{k=1}^{i-1} \text{segmento}_X_k$$

$$Y_i = UTM_north_j + \sum_{k=1}^{i-1} \text{segmento}_Y_k$$

Preparación y filtrado de la base de datos

Una vez realizada la conversión a coordenadas X, Y e Z de todos los datos, se procedió reunir toda la información en un único archivo Excel con un total de 3 bandejas: uno para sondajes y los dos restantes para las canaletas. Posteriormente, se importó cada una de estas al software ioGAS con el fin de filtrar los bases mediante un control de calidad que consiste en los siguientes criterios:

- 1) Se eliminaron todos aquellos elementos donde más del 50% de sus respectivos datos se encuentran bajo el límite de detección. Este aparece indicado con un signo menos seguido del valor de dicho límite en aquellos datos que cumplen la condición anterior, es decir, si por ejemplo el límite de detección para algún elemento es 1 ppm y la concentración para una muestra de ese elemento es menor a este, entonces su valor aparecerá indicado como un “-1”.
- 2) Cuando menos del 50% de las muestras de un cierto elemento se encontraban bajo el límite de detección, se reemplazaron los valores de estas por la mitad de dicho límite. Volviendo al caso anterior, si el límite de detección para un elemento es 1 ppm y una muestra de este tiene un valor de “-1” (indicando con esto que está debajo del límite), entonces se reemplazará por 0.5 ppm.

Aplicando los filtros mencionados anteriormente, se llegaron a los siguientes resultados:

(1) Para las canaletas subterráneas, de un total de 181 muestras, el 100% de estas tiene un valor bajo límite de detección para las concentraciones de Ag, As y Au; por lo que fueron descartadas para el análisis, dejando únicamente las concentraciones de Cu, de las que no fue filtrado ningún valor.

(2) Para las canaletas superficiales, de un total de 917 muestras, el arsénico tiene 216 de estas (23,6 % del total) fuera del límite de detección, mientras que para los elementos restantes esto ocurría para 215 muestras (23,4 % del total), por lo que no se descartó ningún elemento, sino que se reemplazaron dichos valores por la mitad del límite de detección, vale decir, 0,5 ppm (lo que equivale a 0,00005% para aquellos elementos que tengan su concentración en porcentajes).

Debido a que en las canaletas de Veta Lobo se verifica que para 135 de las mediciones realizadas (86,5 % del total de este sector) todos los elementos estudiados se encuentran bajo el límite de detección, se decidió eliminar dicho sector del análisis.

(3) Para los sondajes, de un total de 2132 muestras, ninguna de estas presenta valores bajo el límite de detección para los elementos Ag, Au, As y Cu; por lo que no se eliminó ni se reemplazó ninguna medición.

2.2.1) Análisis univariable

Para la estadística univariable se escogieron como estadígrafos para los datos que pasaron el filtro: promedio, desviación estándar, moda, mediana, varianza, curtosis, error estándar (definido como la razón entre la desviación estándar y la raíz cuadrada del número de muestras) y las concentraciones mínima y máxima para cada elemento.

En este tipo de análisis es habitual que los estadígrafos seleccionados se estudien en relación a un determinado atributo, tales como la litología o la alteración hidrotermal de cada muestra. Dado que no se dispone de esa información dentro de la base de datos -y como un complemento para el posterior análisis de distribución espacial-, los estadígrafos se considerarán en función de la profundidad de las muestras para esta sección de análisis para aquellos prospectos o vetas en donde las mediciones abarquen un rango de elevación lo suficientemente robusto como para estudiar tendencias.

2.2.1.1) Canaletas subterráneas:

La tabla AI.1 (ver sección “Anexo”) muestra los valores obtenidos de los estadígrafos mencionados anteriormente para las canaletas subterráneas, indicando los correspondientes tanto a la Mina Cristina como a Cutter, sin considerar la división de la coordenada Z en cuartiles. En primer lugar, se observa que las leyes de Cu en Cutter tienen un mayor promedio que en Cristina además de alcanzar un valor máximo de 18,97 %. Sin embargo, al considerar que tanto la mediana (3,1) como la moda (2,7) de Cutter son menores al promedio -indicando con esto que a lo menos la mitad de los valores están debajo de 4,17%- se interpreta que el valor máximo mencionado es simplemente una anomalía. En cambio, el promedio y la mediana de Cristina son relativamente cercanos y si bien la moda es de solamente 1,2, se puede asegurar que, aunque tiene menores concentraciones de Cu que Cutter, presenta una menor dispersión de datos y una distribución más simétrica de estos.

Lo anterior se complementa con los estadígrafos relacionados a la dispersión los datos (a saber: curtosis, desviación estándar y varianza), puesto que el valor de la desviación estándar es mayor en Cutter que en Cristina (3,43 y 1,44 respectivamente), lo que también ocurre con la varianza, permitiendo concluir que en Cutter las concentraciones de Cu tienen una mayor dispersión. En cuanto a la curtosis, vale la pena indicar que si bien los datos de ambas minas forman distribuciones leptocúrticas -a saber, de curtosis mayor a cero-, la de Cutter es mucho mayor a la de Cristina, lo que indica una mayor concentración de datos en torno a la media, confirmando que el valor de 18,97% no es representativo.

En la tabla AI.2 se muestran los estadígrafos para cada cuartil realizado según la elevación de las canaletas subterráneas. Para el total de estas, las elevaciones varían entre 2,81 y 62,21 metros; mientras que los valores de los cuartiles son de: 13,81; 14,01; 51,61 y 62,61 metros. Debido a que todas las elevaciones tomadas en el sector de la Mina Cutter caen en el último cuartil (solamente se tienen valores de 53,3 y 61,9 metros), para la tabla 2 sólo se consideraron valores correspondientes a la Mina Cristina.

Para la Mina Cristina, en el tercer cuartil se alcanza su valor más alto de concentración de Cu (7,55 %) y también su mayor promedio (3,59 %). Además, este corresponde a la mayor desviación estándar y varianza entre todos los cuartiles, mientras que la curtosis es la más cercana a cero (-0,13) indicando que no hay una acumulación considerable de valores en torno a la media y que la dispersión de estos es mayor en comparación a los demás. Por último, posee también el mayor error estándar, dando como resultado el mayor intervalo de confianza.

Los cuartiles 1 y 2 tienen valores similares de promedio y mediana; sin embargo, en el primero se alcanza una mayor concentración máxima (6,85%) y una menor mínima (0,1%); y ya que la mediana es similar a la media y que tanto la desviación estándar como la varianza del primer cuartil son mayores a las del segundo, estos no serían necesariamente valores anómalos. En consecuencia, si bien ambos cuartiles tienen promedios similares, en el primero es mayor tanto el intervalo en el que se encuentran los datos como la dispersión de estos.

Para terminar, en el último cuartil se encuentran el menor valor máximo, el menor promedio y la menor mediana de las canaletas subterráneas de Cristina. Además, tiene la segunda mayor desviación estándar (y varianza), siendo superada por la del tercer cuartil, y también una curtosis cercana a cero (~0,21). Por lo tanto, se tiene una dispersión de datos mayor que en las mediciones realizadas a menor elevación (cuartiles 1 y 2) y una distribución de datos que, si bien es leptocúrtica, es cercana a la normal.

En conclusión, las concentraciones de Cu para las canaletas subterráneas de Mina Cristina no muestran una tendencia con respecto a la profundidad, puesto que en las mayores elevaciones (en el cuarto cuartil) el promedio es mínimo, posteriormente llega a casi el doble de su valor inicial en el tercer cuartil y, más abajo, se reduce sin presentar mayores variaciones en los cuartiles 1 y 2. La dispersión de los datos tampoco sigue ningún patrón, aunque el valor de “s” se mantienen en un rango relativamente pequeño, puesto que nunca es mayor a 2 ni menor a 0,8.

2.2.1.2) Canaletas superficiales y sondajes

A diferencia de las canaletas subterráneas, tanto en los sondajes como en las canaletas superficiales se dispone de concentraciones sobre el límite de detección para todos los elementos considerados en el análisis. Por lo tanto, se decidió estudiarlos en conjunto e indicar los resultados observados en una única sección.

- **Mina Cristina**

Las canaletas superficiales y los sondajes realizados en este sector dan un total de 775 mediciones de la concentración de los elementos mencionados, de los cuales 63 (8,1% del total) se encuentran bajo el límite de detección. Estas se encuentran en altitudes que varían entre -135,68 y 74,29 metros, lo que da un intervalo de 209,97 metros, por lo que se decidió separarlo en cuartiles para fines de reconocer tendencias en las concentraciones y/o dispersión de los datos (tabla AI.3).

Metales preciosos (Ag, Au): Las concentraciones de plata se encuentran en un rango que va desde 0,2 a 215 ppm; con un promedio de 4,38 ppm, siendo esta la más baja entre los sectores estudiados en el distrito. Por otro lado, su concentración media se incrementa con la elevación, llegando a 12,94 ppm en el cuarto cuartil. En este mismo sector, llegan a su valor máximo diversos estadígrafos como la concentración máxima, desviación estándar (30,27), error estándar (2,17) y varianza (916,18). Finalmente, la curtosis no muestra ninguna tendencia, aunque es positiva en todas las elevaciones.

Por otro lado, los estadígrafos del oro no muestran una tendencia en relación a la elevación. Sin embargo, en el segundo cuartil, este alcanza su mayor concentración media (0,044 ppm), desviación estándar (0,48), varianza (0,23) y curtosis (193,6); además, en este rango de elevaciones se encuentra su concentración máxima (6,647 ppm).

Cobre: Con la excepción del tercer cuartil, la ley promedio de cobre aumenta con la elevación, llegando a 0,396 % en el cuarto; siendo este también el intervalo donde se encuentra la ley máxima de este sector (5,82%). De forma similar, diversos estadígrafos llegan a su máximo valor en las mayores elevaciones, tales como: la desviación estándar (0,95), el error estándar (0,068) y la varianza (0,89); con la diferencia de que no muestran interrupciones en sus incrementos. Por el contrario, la curtosis es máxima en el primer cuartil (176,59), aunque es positiva en todas las elevaciones.

Metales base (Pb y Zn): Tanto el Pb como el Zn presentan similitudes en el comportamiento de sus estadígrafos en comparación al Cu. Para empezar, se observa nuevamente que sus leyes promedio no muestran una tendencia clara con la elevación, pero llegan a sus máximos en el intervalo más superficial (0,059% y 0,24% respectivamente), en el cual también se encuentran sus leyes máximas (1,25% y 5,68%). Del mismo modo, aquellos estadígrafos relacionados con la dispersión de datos, alcanzan sus valores más elevados en el último cuartil, vale decir, la desviación estándar (0,16 y 0,81); el error estándar (0,011 y 0,058) y la varianza (0,024 y 0,65). Finalmente, la curtosis es positiva en todos los cuartiles para ambos elementos y llega a su máximo a mayor profundidad (78,46 y 138,73).

Metales de transición (Fe, Mn y Mo): Si bien la ley media del hierro no tiene su valor máximo en el distrito (~4,31%), si se encuentra -en cuarto cuartil- la mayor medición dentro de este (35,89%). Al igual que otros elementos, la ley media del hierro inicialmente se incrementa con la elevación para los primeros dos cuartiles, para luego disminuir en el tercero

(3,63%) y volver a aumentar en el cuarto (5,29%). En este último intervalo, también llegan a su máximo la desviación estándar (4,21) y la curtosis (15,02).

El manganeso alcanza su concentración máxima en el primer cuartil (3720 ppm), aunque la concentración media llega a su mayor valor en el segundo (1541,74 ppm), para después disminuir a 868,91 ppm en el cuarto. Con respecto a la dispersión de datos, se observa que en el tercer cuartil llegan a sus valores máximos la desviación estándar (681,06), el error estándar (49,02) y la varianza (463836,13). Otro aspecto a destacar es que su curtosis en este sector es la menor en comparación del resto de los elementos considerados (1,75) y además, disminuye con la elevación, llegando a 0,29 en el cuarto cuartil.

El molibdeno tiene la particularidad de que en el primer cuartil se encuentra su mayor concentración medida (34 ppm) y, además, llegan a su valor máximo la concentración media (2,19 ppm), desviación estándar (3,45), error estándar (0,25) y varianza (11,93). Por el contrario, la curtosis tiene su máximo en el tercer cuartil (100,17).

Semi metales (As y Sb): El arsénico en este sector tiene la menor concentración promedio dentro del distrito (49,52 ppm). Al igual que en otros elementos, este estadígrafo no muestra una tendencia en los primeros tres cuartiles, sin embargo, en el cuarto tiene un incremento abrupto (115,23 ppm, el cual es 1 orden de magnitud superior a los demás). En dicho intervalo se encuentra también la mayor concentración medida (2414 ppm) y además llegan a su máximo valor la desviación estándar (285), el error estándar (20,46) y la varianza (81226,2). Por su parte, la curtosis llega a su valor mínimo en el primer cuartil (28,97) y a su máximo en el tercero (118,95).

En cuanto al antimonio, este tiene una de las concentraciones promedio más bajas dentro del distrito (2,73 ppm), superando únicamente a la observada en Cutter (ver anexo, tabla AI.5). Esta no muestra una tendencia con la elevación, sin embargo, llega a su valor máximo en el cuarto cuartil (4,34 ppm), que es también donde se encuentra su mayor concentración medida para este sector (51 ppm). Luego, la dispersión de datos muestra una disminución con la elevación para los primeros tres cuartiles (llegando la desviación típica a 1,26 en el tercer cuartil), para después incrementarse en el cuarto (7,26). Por el contrario, la curtosis es máxima en el primer cuartil (138,67) y disminuye sin interrupciones con la elevación.

No metales (P): El Fósforo en este sector tiene una concentración máxima de 17600 ppm, la cual se alcanza en el cuarto cuartil. En dicho intervalo se corrobora también que alcanza sus mayores valores, tanto la concentración media (1347,33 ppm) como la desviación estándar (2000,77); donde para esta última también se observa un valor elevado en el segundo cuartil (1011,86). Finalmente, la curtosis es positiva para todo rango de elevaciones y llega a su máximo en el segundo cuartil (41,84).

- Isla Green

En la tabla AI.4 se adjuntan los valores de los estadígrafos asociados a los elementos medidos en el sector de “Isla Green”. Se dispone de un total de 66 mediciones, de las cuales ninguna tiene concentraciones bajo el límite de detección. Por otra parte, ya que las elevaciones de estas varían entre 3,71 y 13,81 metros, se decidió no separar dicho intervalo.

Metales preciosos (Ag y Au): La plata tiene un rango de valores que va desde 0,2 a 69,7 ppm, con una concentración media de 4,49 ppm, la que se asemeja a la obtenida en Mina Cristina (4,38 ppm); de lo que se interpreta que este sector también es pobre en este elemento en relación al resto del distrito. Esto es coherente con el hecho de que la mediana sea de 0,5 ppm, ya que a lo menos la mitad de las mediciones serían iguales o menores a dicho valor; mientras que los valores elevados (69,7 ppm como máximo) no serían representativos.

Por su parte, el oro muestra su mayor concentración media (0,47 ppm) y su mayor desviación típica (1,66) dentro del distrito. A pesar de esto último, la curtosis mantiene la tendencia de ser considerablemente mayor para este elemento (52,17), lo que implica una concentración importante de mediciones en torno a la media (distribución leptocúrtica).

Cobre: El Cu tiene una ley promedio de 0,029 % para el total de datos -la cual es la más reducida dentro en el distrito-, con un rango que varía entre 0,0003 y 0,25 %; y una mediana de 0,0046 %. Por su parte, la desviación estándar es de 0,056 y la curtosis llega a 5,87; vale decir, los datos se acumulan en torno al promedio y los valores anómalos son escasos.

Metales base (Pb y Zn): Para este sector se observa que tanto la ley promedio del Pb (0,055%) y la del Zn (0,072%) superan a la del cobre, lo cual únicamente se repite en Veta Gorda (ver anexo, tabla AI.6). Luego, se verifican desviaciones estándar similares para el Pb (0,11) y para el Zn (0,15), de lo cual se obtienen similares errores estándar (0,014 y 0,018) y varianzas (0,013 y 0,022). Por último, la curtosis de las mediciones de Zn (10,31) virtualmente duplica la del Pb (5,34), vale decir, a pesar de que se observa una semejanza en la dispersión de concentraciones de ambos metales, el Zn tiene una mayor tendencia a concentrar valores en torno a la media.

Metales de transición (Fe, Mn y Mo): El hierro tiene una ley promedio de 6,2 %, lo que hace este sector rico en dicho elemento, puesto que sólo en Ingleses se observa una media mayor (6,42%). Además, el hecho de que este valor sea cercano a la mediana (6,12%) y que la curtosis sea positiva; permiten inferir cierta simetría en la distribución de los datos y que estos tienden a concentrarse en torno a la media.

El manganeso tiene una concentración media de 1271,5 ppm, la cual es considerada elevada dentro del distrito, ya que sólo es inferior a la observada en Veta Gorda (1321,72 ppm). Con respecto a su dispersión de datos, se observa que es la más elevada en comparación a los demás elementos estudiados en este sector (487,27). Esto último, sumado a su baja curtosis (0,97), permite interpretar de forma preliminar que el manganeso en Isla Green posee una gran cantidad de poblaciones.

Si bien las concentraciones promedio del Mo no varían en un amplio rango dentro de los prospectos del distrito, vale la pena notar que en este sector muestra su valor más reducido (1,32 ppm). Esto es coherente con el hecho de que la máxima concentración medida en Isla Green (4 ppm) sea también la más baja de Cutter, junto con la de Ingleses.

Semi metales (As y Sb): Tanto la concentración media de arsénico como la del antimonio pueden ser consideradas como un valor “intermedio” dentro de la base de datos del distrito. Esto se debe a que la concentración promedio de As (97,95 ppm) es superior a la de Cristina y Cutter; pero inferior a las de los demás sectores. De forma similar, media del antimonio es de 6,79 ppm, lo que se asemeja a las de Veta Gorda (6 ppm) y Franceses (6,41 ppm); aunque es inferior a la de Angélica (9,84 ppm).

No metales (P): La concentración media de fósforo es de 505,76 ppm, la cual supera únicamente a las de los sectores de Angélica (tabla AI.7) y Franceses (tabla AI.8); y además, es comparable con la de (547,74 ppm). Otro aspecto a destacar es que, en relación a los demás elementos estudiados en Isla Green, muestra la curtosis más cercana a cero (0,52), lo que implicaría una mayor similitud a una distribución de carácter normal. Esto último se complementa con el hecho de que su mediana (540 ppm) es relativamente cercana a la media.

- **Mina Cutter**

Entre las 598 mediciones realizadas en el sector de Mina Cutter no se reconocieron valores bajo el límite de detección. Debido a que su rango de elevaciones abarca aproximadamente 215 metros, se decidió estudiar las variaciones de sus estadígrafos separando las elevaciones en cuartiles (tabla AI.5), cuyos límites, en orden ascendente son: - 16,28 metros, 28,32 metros, 41,16 metros y 110,66 metros.

Metales preciosos (Ag y Au): Las concentraciones promedio de la Ag y el Au son de 6,27 ppm y 0,014 ppm respectivamente. En comparación con el resto del distrito, se constata que la concentración media de Ag se consideraría de un valor “intermedio”, mientras que la de Au es la más baja en relación con los demás sectores. A pesar de lo anterior, estos metales muestran un comportamiento similar en sus estadígrafos en función de la altitud, puesto que en ambos se incrementan de forma ininterrumpida tanto sus concentraciones promedio - llegando, en el cuarto cuartil, a 13,71 ppm para la Ag y 0,11 ppm para el Au- como sus desviaciones estándar -34,98 para la Ag y 0,11 para el Au-.

Cobre: La ley media de cobre en este sector es de 0,31%, lo que se consideraría un valor “intermedio” en relación al resto del distrito. Al igual que en los metales preciosos, esta se incrementa con la elevación, pasando de 0,026% en el primer cuartil hasta 0,7% en el cuarto. Este último valor es más alto que los observados en los demás sectores, por lo que sería razonable indicar que la Mina Cutter es rica en cobre a niveles superficiales.

De forma similar, la desviación estándar también aumenta a mayores elevaciones - aunque no de forma significativa-, llegando a 1,66. Por el contrario, la curtosis es elevada a niveles profundos 107,49, mientras que en superficie disminuye drásticamente (11,05).

Metales base (Pb y Zn): La Mina Cutter sería considerada como un sector pobre en metales base dentro del distrito, debido a que el Pb tiene una ley promedio de 0,0059%, la que sólo es mayor a las vistas en Ingleses (tabla AI.8) y Franceses (tabla AI.9). Por su parte, si bien la media de Zn (0,022%) está en el mismo orden de magnitud que la mayoría del distrito -con la excepción de Veta Gorda-, nuevamente se cumple que es menor a las demás, excepto en Ingleses y Franceses.

Otro aspecto que comparten el Pb y el Zn es que sus medias no muestran una tendencia clara con la elevación. Ambos tienen una ley promedio reducida en el primer cuartil (0,0008% y 0,0064% respectivamente), para después tener un incremento abrupto en el segundo (0,011% y 0,038%) y luego volver a disminuir en el tercero (0,0052% y 0,0201%).

Metales de transición (Fe, Mn y Mo): La media de hierro para el total de datos es de 5,51%. Esta aumenta gradualmente en los primeros tres cuartiles -variando entre 4,49% y 6,12%-, para después mostrar un descenso en el cuarto (5,58%). En cambio, la desviación estándar es baja en el primer cuartil (1,19) y se mantiene sin variaciones robustas en los restantes, encontrándose entre 2,49 y 2,62.

El manganeso muestra una media de 1161,3 ppm, la que se asemeja a las de Cristina e Isla Green, pero es inferior a la de Veta Gorda, por lo que se considera un valor intermedio a escala distrital. Este estadígrafo llega a su máximo en el segundo cuartil (1342 ppm), al igual que la desviación estándar (655,12). Por el contrario, la curtosis en el primer cuartil (14,04) y en el cuarto (15,55).

La concentración media de molibdeno (1,53 ppm para el total de datos) aumentan progresivamente con la elevación, pasando de 1,26 ppm en el primer cuartil hasta 2,01 ppm en el cuarto. Por su parte, su desviación típica muestra este comportamiento desde el segundo cuartil (0,73) hasta el cuarto (1,74); mientras que la curtosis es elevada a niveles profundos (39,05).

Semi metales (As y Sb): Al igual que en Mina Cristina, el sector de Mina Cutter puede ser caracterizado como uno pobre en semi metales a escala distrital. Esto debido a que el As tiene una concentración media de 59,99 ppm -superando únicamente a la de Cristina-, mientras que la del Sb es de 2,26 ppm, siendo esta la más baja dentro del distrito. Por otro lado, se verifica que, si bien ambos promedios se incrementan con la elevación, este es más robusto para el arsénico, puesto que varía desde 17,19 ppm a 117,99 ppm entre el primer y el cuarto cuartil; mientras que la del antimonio sólo varía de 2 ppm a 2,48 ppm.

No metales (P): La concentración media de fósforo es de 847,73 ppm, lo que la hace comparable a la observada en Cristina. Si bien, esta no tiene variaciones considerables en los tres primeros cuartiles -varía entre 846,2 y 856,9 ppm-, en el cuarto se reconoce una disminución abrupta, llegando a 633,39 ppm. Por su parte, la curtosis muestra un cambio de

signo entre el primer cuartil (3,82) y el segundo (-0,61) -lo que implica el paso de una distribución leptocúrtica a una platicúrtica-, para después volver a ser positiva en los cuartiles restantes; siendo de 1,66 en el tercero y 18,34 en el cuarto.

- **Veta Gorda**

Los resultados del análisis univariable de este sector están resumidos en la tabla AI.6. Considerando tanto las canaletas superficiales como los sondajes, se tiene un total de 631 medidas de concentración para todos los elementos, donde se verifica que el As muestra 8 valores bajo el límite de detección, mientras que los demás sólo tienen 7.

Dichas mediciones se encuentran entre altitudes van desde -68,4 metros hasta 47,7 metros; lo que entrega un rango de elevaciones de 116,1 metros. Debido a lo anterior, se decidió separar la base de datos en “niveles profundos” (316 datos) y “niveles superficiales” (315), siendo la elevación de 2,61 metros la correspondiente a la separación entre ambas.

Metales preciosos (Ag y Au): Si bien, la plata no muestra una concentración media elevada en relación a los demás sectores (8,72 ppm), se verifica que su mayor concentración medida es de 282 ppm, la cual es la más alta en todo el distrito. De modo similar, el oro en este sector también muestra la mayor concentración medida en el distrito 13,1 ppm y, además, su media es de 0,27 ppm, la cual es sólo inferior a la observada en Isla Green.

Para estos elementos se observa que tanto sus concentraciones medias como sus desviaciones típicas se incrementan en 1 orden de magnitud al pasar de los niveles más profundos a los superficiales. En efecto, concentración media de Ag aumenta de 2,45 ppm a 15,02 ppm; mientras que la de Au se varía de 0,05 ppm a 0,49 ppm. De forma similar, las desviaciones típicas de la plata en profundidad y en superficie son, respectivamente, de 6,62 y 34,93; en cambio las del oro son 0,21 y 1,38.

Cobre: La ley media de Cu es de 0,11%, la cual es una de las más reducidas dentro del distrito, superando únicamente a la de Isla Green. Dicho estadígrafo muestra un aumento con la elevación, llegando a 0,16% en los niveles superiores. De modo similar, tanto la desviación estándar como la curtosis aumentan con la elevación, llegando a 0,39 y 35,1 respectivamente.

Metales base (Pb y Zn): En este sector se alcanza la mayor ley promedio para el Pb (0,2%) y para el Zn (0,19%) en todo el distrito, además de las mayores leyes medidas (16,5% y 12,6% respectivamente), siendo estas alcanzadas en el intervalo de mayores elevaciones. Además, al igual que en el sector de Isla Green, se verifica que ambas medias superan a la del Cu, lo cual no ocurre en otro sector del distrito.

Otro aspecto a destacar es que tanto las leyes medias como la dispersión de datos de ambos elementos se incrementan con la elevación. En cambio, solamente la curtosis del Zn llega a su máximo a mayor altitud (69,22), mientras que la del Pb es mayor en profundidad (110,19).

Metales de transición (Fe, Mn y Mo): El hierro tiene una ley media de 4,99% y se midió una ley máxima de 21,39%, la que se encuentra a niveles superficiales. Con respecto al comportamiento de sus estadígrafos en función de la profundidad, se verifica que la mayoría de estos aumentan su valor a mayor elevación, entre los que pueden mencionarse: ley promedio (5,76%), desviación estándar (2,55), error estándar (0,14), varianza (6,53) y curtosis (9,09).

La concentración media de manganeso en Veta Gorda es de 1321,72 ppm, siendo esta la más elevada a escala distrital. Además, a diferencia del hierro, dicha concentración se incrementa con la profundidad, llegando a 1439,53 ppm en los niveles inferiores -que es también donde se encuentra su mayor concentración medida, la cual es de 4745 ppm-. Por el contrario, la desviación típica es 597,5 en profundidad y de 631,53 a niveles superficiales, lo que implica un incremento para este estadígrafo con la elevación.

En este sector se encuentra la mayor concentración medida para el molibdeno (67 ppm), no obstante, su concentración media muestra un valor intermedio en comparación a las demás (1,8 ppm). Por otra parte, al igual que el Mn, el Mo en esta mina tiene la particularidad de mostrar una mayor concentración promedio a niveles más profundos (2,25 ppm), aunque se diferencia de este elemento en que su desviación típica y su curtosis disminuyen con la elevación, llegando a 0,85 y 11,09 respectivamente a niveles superficiales.

Semi metales (As y Sb): Si bien la concentración media de arsénico (104,91 ppm) no es particularmente elevada en comparación al resto del distrito, es comparable con la observadas en los sectores de Isla Green y Franceses. Con respecto a la variación de los estadígrafos en función de la elevación, se verifica que tanto la concentración promedio como la desviación típica aumentan en los niveles superiores (173,21 ppm y 415,18 respectivamente), mientras que la curtosis aumenta con la profundidad (62,09).

De modo similar, la concentración promedio del antimonio no está entre las más altas del distrito (6 ppm), sin embargo, en este sector se encuentra la mayor concentración medida para este elemento (175 ppm). Además, al igual que con el arsénico, para el antimonio se observa que tanto su concentración promedio como su desviación estándar aumentan a mayor elevación (9,41 ppm y 20,64 respectivamente); y que su curtosis es mayor a niveles más profundos (90,01).

No metales (P): En este sector, el fósforo muestra su mayor concentración medida (65300 ppm), concentración media (4287,72 ppm) y desviación estándar (5663,56) dentro del distrito. Por otro lado, se observa un incremento en diversos estadígrafos hacia las mayores elevaciones, tales como la concentración media (4555,59 ppm), la desviación estándar (6718,26) y la curtosis (27,55).

- **Angélica**

La tabla AI.7 muestra los estadígrafos para los elementos medidos en Angélica. Las mediciones en este sector abarcan altitudes que van de -4,84 hasta 96,68 metros. Debido a lo anterior, se decidió -al igual que en Veta Gorda- separar las elevaciones en niveles profundos y superficiales, cuyo límite será la cota correspondiente a 33,82 metros.

Metales preciosos (Ag y Au): Este sector puede caracterizarse como rico en metales preciosos, ya que la plata tiene una concentración media de 10,48 ppm, la que sólo es superada por la observada en el sector Ingleses. Análogamente, la concentración promedio de oro es de 0,17 ppm, vale decir, sólo es inferior a la de Isla Green.

Ambos elementos muestran una mayor concentración promedio a niveles profundos (11,04 ppm para la Ag y 0,2 ppm para el Au), así como también una mayor desviación estándar (28,3 y 0,56 respectivamente). Con respecto a la curtosis, en el caso de la Ag no se verifican variaciones importantes -14,26 en profundidad y 14,77 en superficie-; mientras que la del Au aumenta de 15,77 a 22,68 con la elevación.

Cobre: La ley media de Cu es de 0,43%, la que sería considerada un valor intermedio en comparación al resto de los sectores del distrito -sólo es superada por las de Ingleses y Franceses-. Por otra parte, su baja desviación típica (1,01) y su elevada curtosis en relación a esta (14,99), permiten inferir preliminarmente que sus valores tienden a acumularse en torno a la media.

A diferencia de los metales preciosos, para este elemento se verifica un incremento tanto en su ley promedio como en su dispersión de datos con la elevación -comportamiento que, en este sector, comparte únicamente con los semi metales-. En efecto, la ley media aumenta de 0,32% a 0,55% -comparable con la ley media de Ingleses y Franceses-; mientras que la desviación típica se duplica, pues va desde 0,64 a 1,28.

Metales base (Pb y Zn): Las leyes medias de Pb y el Zn para este sector son de 0,03% y 0,08% respectivamente, las que podrían ser considerarse como “intermedias” dentro del distrito, ya que no son tan reducidas como las Ingleses y Franceses -ver tablas AI.8 y AI.9- ni tan elevadas como las de Veta Gorda. En cambio, muestran una similitud con las observadas en Mina Cristina -0,024% para el Pb y 0,093% para el Zn-.

A igual que los metales preciosos, estos elementos muestran una disminución de sus leyes promedios y en sus desviaciones típicas con la elevación. Por un lado, la ley de Pb varía desde 0,04% en los niveles inferiores a 0,02% en superficie; mientras que la del Zn va desde 0,12% a 0,04% respectivamente. De forma análoga, la desviación típica del Pb va desde 0,14 a 0,4; en tanto que la del Zn se reduce de 0,45 a 0,2.

Metales de transición (Fe, Mn y Mo): El prospecto Angélica es el que muestra la menor ley media de hierro (3,28%) del distrito. Sin embargo, su dispersión de datos es elevada en relación a los demás sectores, puesto que su desviación estándar llega a 3,002 -superada únicamente por la de Franceses-. Por otra parte, ambos estadígrafos muestran un incremento a niveles profundos, puesto que la ley media llega a 3,7% y la desviación típica a 3,57.

El manganeso medido en Angélica se caracteriza por mostrar su menor concentración media dentro del distrito (381,09 ppm). Dicho estadígrafo, además, disminuye su valor con la elevación, pasando de 447,56 ppm a niveles profundos a 314,62 ppm en superficie. De forma similar, la desviación estándar disminuye de 394,65 a 283,49; mientras que la curtosis muestra un incremento de 7,95 a 11,14.

Al contrario del manganeso, el molibdeno muestra en este sector su mayor concentración media dentro del distrito (2,34 ppm), a pesar de que su concentración máxima sea sólo de 5 ppm. Esto último posiblemente se deba a que su mediana sea de 3 ppm -la más elevada en el distrito-, vale decir, a lo menos la mitad de sus mediciones es de 3 ppm o mayor. Por otra parte, se verifica que, a mayor elevación, disminuyen tanto su concentración media (1,97 ppm) como su curtosis (-1,83).

Semi metales (As y Sb): El arsénico en este prospecto tiene una concentración promedio de 430,36 ppm, la cual es la más elevada del distrito después de la de Ingleses (680,03 ppm). Por su parte, el antimonio tiene su mayor concentración media dentro del distrito (9,84 ppm), así como su mayor desviación estándar (17,63). A partir de lo anterior, este sector se puede caracterizar como rico en semi metales.

Para ambos elementos, sus concentraciones medias aumentan a niveles superficiales (445,9 ppm para el As y 10,02 ppm para el Sb), aunque este incremento no es significativo en comparación a los observados en profundidad (414,82 ppm y 9,67 ppm respectivamente). En cambio, la desviación estándar del As muestra un incremento significativo, pasando de 924,26 a 1539,41; mientras que la del Sb se duplica (10,97 en profundidad y 22,46 en superficie).

No metales (P): En Angélica, el fósforo muestra su menor concentración media en todo el distrito (104,33 ppm). Luego, se corrobora que tanto la concentración media como la desviación estándar son mayores a niveles profundos, llegando a 114,26 ppm y 138,14 respectivamente. Por el contrario, la curtosis es positiva en profundidad (30,7) y negativa a niveles superficiales (-0,86); de lo que se infiere una distribución más “aplanada” con la elevación.

- **Prospecto Ingleses**

Los estadígrafos medidos en el Prospecto Ingleses están resumidos en la tabla AI.8. En este sector se realizaron un total de 6 canaletas superficiales, de las cuales se obtuvieron 62 mediciones (ninguna bajo el límite de detección). Estas se encuentran en un rango de elevaciones cercano a 50 metros, por lo que se decidió no separar este último en intervalos.

Metales preciosos (Ag y Au): Este sector presenta la mayor concentración media de plata en el distrito (11,08 ppm); mientras que el oro tiene una media de 0,089 ppm, la que se asemeja a la observada en Cristina (0,09 ppm). Además, la plata muestra una mayor desviación típica que el oro (19,91 y 0,19 respectivamente) y una menor curtosis (7,36 y 12,42); de lo que se infiere una mayor dispersión de datos -junto con un mayor error estándar- y una menor acumulación de datos en torno a la media.

Cobre: Al igual que con la plata, el cobre en este sector presenta la mayor ley media dentro del distrito (0,58%). A pesar de lo anterior, su dispersión de datos no es particularmente alta en comparación a los demás prospectos, ya que su desviación estándar es de 0,95.

Metales base (Pb y Zn): Este prospecto es considerado pobre en metales base, ya que las medias de sus leyes son 0,004% para el Pb -la más baja después de Franceses- y 0,016% para el Zn -la más baja en todo el distrito-.

Metales de transición (Fe, Mn y Mo): El hierro en el prospecto Ingleses destaca por mostrar su mayor ley promedio dentro del distrito (6,42%), a pesar de que su ley máxima no sea la más elevada dentro de la base de datos (14,33%). Esto último posiblemente se encuentre compensado por la mediana, ya que esta también es la más elevada para este elemento (5,92%).

La concentración media de manganeso en este prospecto (639,68 ppm) sólo es superior a las de Angélica y Franceses; lo cual también ocurre con su mediana (656 ppm). Esto es consecuente con el hecho de que la concentración máxima de Mn en Ingleses es la más baja dentro de la base de datos (1023 ppm).

Por último, la concentración de molibdeno tiene un valor intermedio dentro de lo observado en el distrito (1,55 ppm), a pesar de que su concentración máxima es sólo de 4 ppm. Por otra parte, su desviación estándar es la más reducida en comparación a los demás sectores del distrito (0,67).

Semi metales (As y Sb): El arsénico en este sector destaca por mostrar la mayor concentración medida (9158 ppm), la mayor concentración media (680,03 ppm) y la mayor desviación estándar (1599,94) en todo el distrito. Por el contrario, la media de antimonio llega a 4,61 ppm, la que, si bien es superior a las observadas en Cristina y en Cutter, no se encuentran entre las más elevadas.

No metales (P): La concentración media de fósforo es de 547,74 ppm, la cual es superior a las obtenidas en Angélica y Franceses, y similar a la de Isla Green; por lo puede considerarse como un valor “intermedio” dentro del distrito. Otro aspecto a destacar es que muestra la mayor desviación estándar para este sector (260,34) y la menor curtosis (0,082); por lo que se concluye una importante dispersión de datos y una escasa acumulación de estos en torno a la media.

- **Prospecto Franceses**

Para este prospecto se dispone de un total de 551 mediciones, de las cuales ninguna se encuentra bajo el límite de detección. Debido a que el 80% de los datos se encuentran a elevaciones iguales o superiores a 84,21 metros, se decidió estudiar este segmento de forma separada al resto de los datos, vale decir, se hará nuevamente una distinción entre niveles profundos y superficiales; con la diferencia de que no tendrán la misma cantidad de datos (tabla AI.9).

Metales preciosos (Ag y Au): La concentración media de Ag en el prospecto Franceses es de 5,58 ppm, lo que sólo supera a las de Cristina e Isla Green; en tanto, la media de Au es de 0,02 ppm, la cual es la más baja de distrito después de la calculada para Mina Cutter (0,014 ppm).

Ninguno de estos elementos muestra una variación importante en sus medias con el cambio de elevación. Por un lado, la concentración media de Ag varía de 5.85 ppm en niveles profundos hasta 5,52 ppm a niveles más elevados. En cuanto al Au, su media va desde 0,021 ppm a 0,02 ppm.

Cobre: El prospecto Franceses es considerado rico en cobre en comparación al resto del distrito, debido a que su ley media es de 0,56%. Además, esta se incrementa hacia los niveles superficiales llegando a 0,58%, lo que la hace equivalente al promedio del total de datos en Ingleses. Por otra parte, tanto su desviación estándar como su curtosis tienen leves aumentos a mayor elevación, llegando a 1,28 y 27,3 respectivamente.

Metales base (Pb y Zn): Al igual que Ingleses, este prospecto es pobre en metales base, ya que presenta la menor ley media del distrito para el Pb (0,0039%), mientras que la del Zn se asemeja a la vista en Ingleses (0,018%). Además, las medias de ambos elementos disminuyen levemente hacia los niveles inferiores, llegando a 0,0029% para el Pb y 0,017% para el Zn.

Metales de transición (Fe, Mn y Mo): La ley media de Fe es de 4,46% para el total de datos, la que se asemeja a las observadas en los sectores de Mina Cristina (4,31%) y Veta Gorda (4,99%). Esta muestra un leve incremento a mayor profundidad (5,08%), en donde también se verifica una curtosis negativa (-0,14), lo que implica una distribución “aplanada” de los datos.

Para el manganeso se verifica que sus valores se encuentran en un rango que va desde 37 a 1670 ppm, mientras que su promedio llega a 450,81 ppm para el total de datos -el cual solamente es superior al visto en Angélica- y se incrementa a niveles profundos (653,55 ppm). Además, se verifica que en profundidad la desviación estándar de 361,44 y una curtosis de -0,42; lo que implica una alta dispersión de datos junto con una distribución “aplanada” de estos.

Por último, el molibdeno tiene una concentración promedio de 2,28 ppm, la que se asemeja a la de Angélica (2,34 ppm), y además, llega a 3,08 ppm a niveles profundos. A pesar de lo anterior, en profundidad se observan tanto una baja desviación estándar (0,64) como una alta curtosis (73,29).

Semi metales (As y Sb): La concentración de arsénico tiene una media de 98,93 ppm, la que se asemeja a la de los sectores de Isla Green (97,95 ppm) y Veta Gorda (104,91 ppm). Esta aumenta hasta 134,73 ppm hacia los niveles profundos, en donde también se reconocen una alta desviación estándar (297,93) y una baja curtosis (18,3) en relación a los niveles superficiales (236,98 y 33,16 respectivamente).

El antimonio muestra un comportamiento similar para sus estadígrafos en función de la elevación, puesto que a niveles profundos su concentración media (10,14 ppm) es cerca del doble de la observada en superficie (5,48 ppm). Por otra parte, la desviación típica es mayor en profundidad (6,86), mientras que la curtosis es menor (1,24).

No metales (P): El fósforo en este prospecto tiene una concentración media de 127,87 ppm, siendo una de las más reducidas en el distrito, superando únicamente a la de Angélica (104,33 ppm). Por otra parte, se mantiene la tendencia observada en la mayoría de los elementos estudiados en este sector, ya que su media es mayor a niveles inferiores (202,32 ppm) en comparación a lo medido en superficie (109,3 ppm). De manera análoga, se reconoce este comportamiento para la desviación estándar, puesto que es de 226,26 en profundidad y 98,32 en superficie.

2.2.2) Análisis multivariable

En esta sección se estudiarán los coeficientes de correlación entre los diversos elementos medidos para cada sector del distrito, con el propósito de poder determinar asociaciones entre minerales o bien entre un mineral y sus posibles elementos traza. Para fines de este trabajo, se reunirá en un solo archivo Excel los datos tanto de canaletas superficiales como de sondajes -las canaletas subterráneas no se considerarán, ya que en estas sólo las mediciones de Cu están sobre el límite de detección- de cada sector. Además, al igual que con el análisis univariable, se definirán intervalos en función de la coordenada Z -estando indicados en sus respectivas tablas- para así estudiar las variaciones de las asociaciones encontradas en función con la profundidad.

De forma preliminar se asumirán las siguientes asociaciones minerales en función de la correlación de sus respectivos elementos:

- 1) En caso de reconocer una elevada correlación entre Ag y Au, se asumirá que estos se encuentran en forma de electrum, mientras que, en caso contrario, se asociarán con el sulfuro correspondiente al elemento con el que muestren una correlación elevada. Por ejemplo, para una alta correlación entre Ag y Cu es razonable suponer la presencia de calcopirita argentífera; en cambio, si la correlación entre Au y Pb es elevada, se asumirá que la galena es aurífera.
- 2) Una alta correlación entre Pb y Zn se interpretará como la asociación de sus respectivos sulfuros, vale decir, galena y esfalerita. Esto se debe a que son los únicos minerales reconocidos a escala de muestra de mano para dichos elementos. Asimismo, si estos metales están correlacionados con el Cu, se dirá que en esta asociación también está involucrada la calcopirita.
- 3) Una alta correlación entre el Cu y/o el As con Fe será indicador de la presencia de su sulfuro correspondiente, a saber, si la correlación entre Fe y Cu es alta, se interpretará como mineralización de calcopirita; mientras que, si es alta entre Fe y As, se asumirá que hubo mineralización de arsenopirita. En caso contrario, se interpretará que el sulfuro dominante del sector estudiado es la pirita o bien, la pirrotina en caso de que se haya identificado (como en Cutter).
- 4) Si un elemento tiene una elevada correlación con alguno que conforman los sulfuros más abundantes del distrito (Cu, Pb, Zn o As), se indicará que está presente como elemento traza en dicho sulfuro -tal como ocurre con la calcopirita argentífera- o bien, como una inclusión sólida dentro de este.

- Mina Cristina

Inicialmente (ver tabla AII.1), se observa una elevada correlación entre el Cu y la Ag tanto para el total de datos (0,93), como para cada cuartil (llegando a 0,97 en el segundo). Es por esto que podría haber Calcopirita argentífera en todas las elevaciones o bien, dicho mineral estaría asociado a alguna fase que tenga Ag en su estructura (por ejemplo, Argentita). Asimismo, en el primer cuartil, la correlación entre Ag y Zn es de 0,95, implicando que la Esfalerita también sería argentífera en dicho intervalo. Finalmente, la correlación entre la Ag y el Fe se incrementa con la elevación (siendo de 0,12 en el primer cuartil y 0,66 en el cuarto), de lo que se interpreta que las fases que contienen hierro -principalmente Pirita y, en menor medida, Calcopirita y Arsenopirita- estarían asociadas a minerales de plata y/o habría una sustitución de este último en sus celdas a medida que la altitud de la muestra aumente.

Por otra parte, el oro no muestra una asociación importante con la plata en ningún cuartil, por lo que el Electrum no sería una fase predominante para este elemento. Sin embargo, este tiene una asociación con el As (0,54 de correlación) en el segundo cuartil. Por ende, en dicho intervalo, el oro estaría asociado a algún mineral de As -por ejemplo, Arsenopirita- o bien, estarían coexistiendo en la Pirita, en donde tienden a correlacionarse (Cook & Chryssoulis, 1990).

El arsénico tiene su asociación más importante con el Sb, pues la correlación entre ambos elementos es elevada tanto en el tercer cuartil (0,81) como en el cuarto (0,66); lo que podría indicar una solución sólida conformada por Tennantita y Tetrahedrita en estos intervalos. En relación con el cuarto cuartil, muestra una alta correlación con la plata (0,62), el cobre (0,59) y el hierro (0,73); por lo que habría mineralización de Arsenopirita coexistiendo con Calcopirita y con alguna fase que contenga Ag. Además, en dicho cuartil, existe una correlación entre Fe y Sb (0,63), lo que indicaría que este último está presente en sulfuros que contengan hierro, principalmente Arsenopirita.

Con respecto a las asociaciones entre sulfuros, se asume una coexistencia entre Esfalerita y Galena para todo el rango de elevaciones de las muestras tomadas en el sector, debido a que la correlación entre el Pb y el Zn es elevada en todos los cuartiles, llegando a su valor máximo en el segundo (0,83). Luego, la correlación entre el Cu y el Zn es alta en el primer cuartil (0,9) y en el tercero (0,67); por lo que en dichos intervalos coexistirían Esfalerita y Calcopirita. En cambio, en el cuarto cuartil existe una asociación entre Cu y Fe (0,67), implicando que la mineralización de Calcopirita habría ocurrido junto con la de algún sulfuro que contenga hierro como Pirita o Arsenopirita.

- Isla Green

Al igual que en el análisis univariable, se determinó no separar en cuartiles el rango de elevaciones de las canaletas de este sector (ver tabla AII.2), pues este abarca desde 3,71 hasta 13,81 metros de altitud. Dicho intervalo se encuentra incluido en el rango conformado por el tercer y el cuarto cuartil del sector de Mina Cristina (-35,79 hasta 74.29 metros). Debido a lo anterior, para fines de estudiar la asociación entre ambos sectores, se priorizará la comparación con estos cuartiles.

Una diferencia importante con respecto a lo comentado para Mina Cristina, es que en este sector existe una correlación elevada entre el Au y la Ag (0,92), por lo cual, sumado al hecho de que ninguno de estos metales tiene una asociación importante con otro elemento, se infiere que el electrum sería la fase más importante para ambos en este sector. A pesar de no ser elevada, la correlación existente entre la Ag y el Sb (0,46), podría ser indicador de que este último está incluido como elemento traza en algún mineral de plata o bien, que ambos estén realizando algún tipo de sustitución en otra fase.

A lo anterior se le añade que, para este sector, no hay una correlación particularmente alta entre Cu y Ag (0,38), implicando que, si bien puede haber Calcopirita argentífera, no sería la fase más importante para la plata, a diferencia de lo que ocurre en Mina Cristina. Por otro lado, la asociación más importante para el cobre es con el antimonio (0,55), lo que sólo ocurre en el segundo cuartil de Cristina (0,75).

Por otro lado, una similitud a destacar es la asociación entre las fases Esfalerita y Galena, lo que se deduce a partir de la correlación entre el Pb y el Zn (0,73). Sin embargo, para el sector de Isla Green se verifica que el plomo tiene una correlación elevada con el arsénico (0,53; la que no ocurre en Cristina), y ya que no se tiene una asociación similar entre este último elemento con el zinc, es razonable inferir que se encuentra como elemento traza -posiblemente por sustitución acoplada- en la Galena.

Para terminar, en este sector se verifica una correlación elevada entre el hierro y el arsénico (0,66), lo que también sucede para las mediciones correspondientes al cuarto cuartil de Mina Cristina (0,73). Si bien lo anterior permite inferir que en ambos casos la Arsenopirita es una de las fases más importantes para el Fe -después de la Pirita-, este último no muestra una asociación importante con el Cu en Isla Green. Esto posiblemente se deba a que dicho elemento tiene una baja concentración promedio en comparación a la vista en Cristina, lo que implica una menor mineralización de Calcopirita.

- Mina Cutter

Las mediciones realizadas en este sector se encuentran en un rango de elevaciones que va desde -105,43 hasta 110,66 metros, lo que implica un intervalo con un total de 216,09 metros. Dado lo anterior, se decidió separar las altitudes en cuartiles, los cuales están indicados en la tabla AII.3.

Para este análisis se descartó el antimonio, puesto que, del total de datos disponibles, 576 de estos -96,32 % del total- tienen una concentración de 2 ppm, lo que indica una baja resolución en las mediciones de este elemento, por lo que no es posible estudiar su variabilidad con respecto a los demás.

El primer aspecto a destacar en la matriz de correlación de este sector es la elevada correlación entre la Ag y el Cu, tanto para el total de datos (0,93) como para cada cuartil, indicando que la Calcopirita presente sería de carácter argentífera sin importar la elevación. Además, en el segundo cuartil la Ag muestra también una correlación alta con el As (0,59), Au (0,75), Fe (0,5), Pb (0,78) y Zn (0,68); implicando con esto que en dicho intervalo de elevaciones: (1) una fase relevante para la plata es el electrum; (2) los sulfuros de metales base (Gal y Sph) están asociados con el electrum -ya que también están correlacionados con el Au- y/o son argentíferos al igual que la Cpy; y (3) habría inclusiones de Ag en sulfuros de Fe tales como Pirita, Pirrotina y/o Arsenopirita.

Con la excepción del primer cuartil, el Au mantiene una correlación elevada con el As (0,76 para el total de datos), de lo que se infiere que: (1) en caso de haber Arsenopirita presente, esta sería aurífera; y/o (2) que ambos elementos estarían haciendo sustitución en alguna fase, por ejemplo, Pirita. En relación al arsénico, este no muestra una correlación particularmente elevada con el resto de los metales además del oro, por lo que no tendría una fase predominante. A pesar de lo anterior, en el segundo y en el cuarto cuartil, el As tiene correlaciones moderadas con el Fe y el Cu (variando entre 0,34 a 0,49), por lo que podría haber Arsenopirita asociada con Calcopirita o con alguna sulfosal de As y Cu (Enargita, Tennantita, etc.).

Luego, se verifica que el hierro mantiene una correlación alta con el manganeso tanto en el primer cuartil (0,68) como en el segundo (0,79) -mientras que, para el total de datos, esta es de 0,58-. Por lo tanto, se infiere que los sulfuros de Fe presentes -Pirita y/o Pirrotina- tendrían inclusiones de Mn en los niveles más profundos para este sector.

Finalmente, el Pb y el Zn tienen una correlación elevada en todas las elevaciones de las muestras (0,75 para el total), con la excepción de último cuartil, donde solamente es de 0,33. Esto implica que, a niveles someros, sus sulfuros respectivos no estarían asociados, vale decir, si ocurre mineralización de Esfalerita, no necesariamente estará acompañada de Galena y viceversa.

- Veta Gorda

Al considerar las canaletas y sondajes del sector, el intervalo de elevaciones va desde -68,4 hasta 47,72 metros, vale decir, abarca un rango de 116,12 metros. Debido a esto, es decidió conformar dos grupos de datos (ver tabla AII.4) separados por la media de la elevación (2,61 metros) los cuales serán designados como mediciones “someras” y “profundas” para fines de estudiar el comportamiento de las asociaciones en función de la elevación.

En primer lugar, se reconoce una coexistencia entre Galena y Esfalerita, puesto que la correlación entre Pb y Zn es positiva para el total de datos (0,62) y particularmente alta a niveles profundos (0,78). Además, en este último rango de elevaciones, ambos elementos tienen una correlación elevada con la Ag (0,67 para el Pb y 0,57 para el Zn) y con el Sb (0,66 y 0,5 respectivamente), indicando que sus respectivos sulfuros posiblemente tengan un carácter tanto argentífero como antimónico.

Con respecto a los metales preciosos, se observa que, a niveles profundos, estos no tienen una correlación elevada entre si (0,35), sino que la Ag está asociada con Cu -de lo que se infiere que la Calcopirita presente sería argentífera-. Por su parte, el oro tiene una correlación alta con el antimonio (0,59), por lo que podría estar presente en un sulfuro de dicho elemento como, por ejemplo, la Estibina (Sb_2S_3). En cambio, a mayores elevaciones la correlación entre Ag y Au llega a 0,85, implicando la presencia de Electrum; no obstante, en dicho rango sigue existiendo una correlación alta entre Ag y los metales base (0,73 con el Cu, 0,65 con el Pb y 0,57 con el Zn), por lo que sus respectivos sulfuros mantendrían su carácter argentífero en superficie.

En relación a los semi-metales, se observa que la correlación entre ambos se hace elevada a niveles someros (0,6), sin embargo, el As tiene una mayor correlación con el Cu (0,55) que el Sb (0,48). Lo anterior, implicaría que: (1) se está en presencia de la solución sólida Tennantita-Tetrahedrita, siendo esta más rica en As; o (2) que la sulfosal más importante sea la Enargita -asociada a alguna fase de Sb sin cobre como la Estibina-, explicando con esto por qué el Cu está más correlacionado con el As que con el Sb. Otro aspecto a destacar es que, a niveles someros.

- Angélica

Para este prospecto, las mediciones se realizaron a partir de muestras tomadas a elevaciones que van desde -4,85 hasta 96,68 metros, dando un rango de 101.53 metros. Por lo tanto, al igual que en Veta Gorda se determinó separar los datos en un rango de niveles profundos y someros, cuya separación ocurre a los 33,82 metros (ver tabla AII.5)

Por otra parte, se corrigieron 10 valores bajo el límite de detección para cada elemento, los que corresponden al 4,8 % del total de mediciones.

En principio destaca la correlación presente entre Pb y Zn (0,89 para el total de datos) la cual se incrementa con la elevación, pasando de 0,89 en los niveles más profundos hasta 0,97 en los más someros; indicando una asociación entre Gal y Sph. Además, la Ag mantiene una correlación elevada con ambos metales (0,78 con el Pb y 0,76 con el Zn) y también con el Cu (0,68); las que llegan a sus valores máximos en profundidad (0,78; 0,8 y 0,86 respectivamente) y descienden en los niveles más someros (0,78; 0,75 y 0,69); lo que implica que los sulfuros correspondientes a dichos elementos (Sph, Gal y Cpy) pierden progresivamente su carácter argentífero con la elevación.

Por el contrario, si bien la correlación entre Ag y Au nunca es alta (0,42; de lo que se deduce que el Electrum no es una fase relevante), esta muestra un incremento con la elevación -pasando de 0,39 a niveles profundos a 0,47 en los someros-. Asimismo, la correlación del Ag con respecto al As y el Fe aumenta hacia las mayores altitudes -llegando a 0,66 y 0,83 respectivamente-, por lo cual se deduce una asociación entre la plata y los minerales asociados a dichos elementos, tales como Arsenopirita y Pirita arsenical. En resumen, la plata muestra a niveles profundos una tendencia a asociarse con sulfuros de metales base (Cpy, Sph y Gal), mientras que, a niveles más superficiales se harían relevantes el Electrum y las fases asociadas a As y Fe.

A pesar de que el arsénico no muestra una alta correlación con el Fe (0,34 para el total de datos), no es descartada la presencia de Arsenopirita, dado que esta no es la fase más abundante del hierro en el distrito, sino que esta corresponde a la Pirita y, en menor medida, a la Calcopirita. Otro argumento a favor de lo anterior es la elevada correlación que mantienen el As con el Au (0,64) y que es aún mayor a niveles someros (0,76); puesto que este metal precioso tiene una preferencia por asociarse con la Arsenopirita y con la Pirita cuando esta es arsenical.

Un último aspecto a considerar es la elevada correlación que mantienen el As y Sb en el prospecto (0,87), en particular a niveles someros (0,95). Por un lado, ambos mantienen una baja correlación con el Cu, por lo que serían independientes al comportamiento de dicho elemento y, por ende, se descartaría la presencia de la solución Tennantita-Tetrahedrita para explicar la asociación entre estos semi-metales. En cambio, el antimonio puede encontrarse tanto en Arsenopirita como en Pirita, por lo que, sumado a lo dicho en el párrafo anterior, la presencia de estas fases explicaría tanto la correlación entre el As y el Au, como la existente entre el As y el Sb.

- Ingleses

Un primer aspecto a destacar de este prospecto (ver tabla AII.6) es la coexistencia entre los sulfuros conformados por metales base con la Calcopirita, puesto que la correlación entre el Cu y dichos elementos es elevada (0,59 con el Pb y 0,66 con el Zn), al igual que la existente entre estos (0,88). En cuanto a los metales preciosos, la plata está asociada principalmente con el Cu (0,93 de correlación), implicando que la Calcopirita presente es de carácter argentífera, lo que se refuerza tomando en cuenta que el Fe está correlacionado tanto con el Cu (0,59) como con la Ag (0,55). Por otra parte, la correlación entre Au y Ag (0,5) indica también la presencia de electrum, aunque esta no sería la fase más importante para la plata en este sector.

Con respecto al As, se verifica que este tiene una baja correlación con el Fe (0,12), por lo que la Arsenopirita no sería su fase más relevante. En cambio, se encuentra fuertemente correlacionado con el Sb (0,83), lo que podría implicar la existencia de la solución sólida Tennantita-Tetrahedrita. Esto último estaría respaldado por el hecho de que el Cu tiene correlaciones prácticamente idénticas con ambos elementos a pesar de no ser elevada (0,34 con el As y 0,37 con el Sb). Otra explicación sería que ambos semi-metales coexisten formando sus respectivos sulfuros, vale decir, Rejalgar y/u Oropimente para el As y Estibina para el Sb; lo que es consecuente con la baja correlación entre estos y los elementos Cu y Fe.

Para terminar, se observa que tanto la As como el Sb tienen una baja correlación con los metales base -sólo destaca la que tienen con el Pb, la cual es de 0,47 para el As y 0,45 para Sb-, por lo que las fases mencionadas en el párrafo anterior no estarían relacionadas con la asociación de sulfuros indicada inicialmente. Por el contrario, la correlación entre ambos semi-metales es elevada tanto con la plata como con el oro -en particular con este último, llegando a 0,88 para el As y 0,72 para el Sb-, de lo que se deduce que el electrum estaría coexistiendo con dichas fases.

- Franceses

En este prospecto, el rango de elevación de las mediciones va desde los 14,81 hasta 157,74 metros, por lo que en principio se había determinado dividir esta población en cuartiles para estudiar el comportamiento de las asociaciones con la profundidad. Sin embargo, los intervalos obtenidos indican una importante acumulación de los niveles más someros, puesto que el 75 % de estas (413 del total de datos) se encontraba a una elevación mínima de 105,38 metros, es decir, en un rango de aprox. 50 metros. Debido a lo anterior, finalmente se optó por definir únicamente 2 intervalos: el primero incluye el primer 20% de las mediciones (110) -por lo que correspondería al primer quintil-, mientras que el segundo tiene el 80 % (441). El límite entre ambos se encuentra a los 84,21 metros (ver tabla AII.7).

Al igual que en el resto del distrito, se verifica los sulfuros correspondientes a los metales base (Sph y Gal) se encuentran asociados debido a la elevada correlación entre el Zn y el Pb tanto para el total de datos (0,58) como para niveles profundos (0,53) y superficiales (0,59). Sin embargo, solamente el plomo presenta asociaciones con otros elementos en este prospecto, lo cual ocurre a niveles profundos donde se observa una correlación elevada con los elementos Ag (0,74), Au (0,81) y Cu (0,53). Debido a que ninguno de estos elementos muestra una asociación con el Zn, es probable que se encuentren contenidos en la Galena como inclusiones o bien como solución sólida.

A pesar de lo anterior, la plata mantiene una correlación elevada con los elementos Au, Cu y Fe; las cuales se incrementan en niveles someros llegando a 0,72; 0,95 y 0,79 respectivamente. Debido a esto, se infiere que la Galena argentífera no sería la única fase de la plata y además esta se hace menos relevante con la elevación. En cambio, las correlaciones mencionadas indican que, a mayor altitud, las fases más importantes para la plata serían electrum, Calcopirita y Pirita argentíferas.

Por otra parte, el oro es el único elemento que muestra una asociación con el arsénico, en particular en los niveles más profundos (0,75); por lo que se interpreta que estos elementos podrían estar coexistiendo en Arsenopirita, o bien en Pirita. Si bien el As tiene una baja correlación con el Fe (varía entre 0,29 y 0,32), se debe tener presente que este metal se encuentra principalmente en forma de Pirita y Calcopirita, por lo tanto, es esperable este rango de valores. Otro aspecto a mencionar, es que a niveles profundos el Fe mantiene una correlación alta con el Mn (0,88), lo cual no ocurre a mayores elevaciones y podría indicar distintos eventos de mineralización de Py y, por ende, distintas asociaciones para este mineral.

2.2.3) Análisis de poblaciones

La identificación de poblaciones entre los diversos elementos presentes en la base de datos es una herramienta utilizada con el propósito de asociarlos a los distintos procesos geológicos ocurridos en el distrito. Para el presente trabajo, se entenderá por “población” a cualquier distribución normal (o log-normal según corresponda) observada para un elemento dado en un determinado sector. Esta población estará vinculada con algún proceso de enriquecimiento de dicho elemento, tales como: mineralización a partir de fluidos hidrotermales, superposición de una alteración hidrotermal sobre otra preexistente, alteración de carácter supérgeno, etc.

A modo de ejemplo, según el análisis de correlación para el Prospecto Ingleses (ver sección “Análisis multivariable”), la plata está asociada con los elementos cobre y oro; de lo que se deduce que dos de sus fases serían calcopirita argentífera y electrum respectivamente. Sin embargo, la correlación Au-Cu no es elevada, por lo que dichas fases no estarían asociadas entre sí y corresponderían a dos eventos de mineralización diferentes. Si lo anterior es correcto, se espera encontrar un mínimo de 3 poblaciones para la plata: (1) una asociada a su concentración promedio para la roca que hospeda la mineralización; (2) la correspondiente a la mineralización de Cpy argentífera; y (3) a la de electrum.

Para fines de poder hacer un estudio lo más exhaustivo posible, se recurrirá a dos herramientas para la identificación de poblaciones (ver sección “Anexo: análisis de poblaciones”): histogramas y gráficos de frecuencia acumulada.

Histogramas

Son gráficos cuyos ejes de las abscisas muestran el rango de concentraciones del elemento de interés para un sector dado; mientras que el eje de las ordenadas contabiliza el número de mediciones que se encuentran en un determinado intervalo de valores (es decir, su frecuencia), el que estará representado por una barra. Para reconocer una población, se buscará una agrupación de barras que conformen una distribución normal, en donde la que tenga mayor coordenada “y” será designada como el intervalo modal de dicha población y, como la mediana en caso de que la distribución sea simétrica.

Sin embargo, se han reconocido elementos cuyas mediciones tienen una baja resolución y, por ende, una cantidad importante de concentraciones en torno a un valor discreto, por lo cual se desconocen sus valores reales (principalmente en el Mo y, en menor medida, en el Sb y en el P). Por lo tanto, en estos casos sus poblaciones estarán representadas por barras aisladas, sin la posibilidad de reconocer el tipo de distribución, su rango de valores, su moda, su mediana, ni tampoco se podrá hacer una estimación de la concentración media de dichas poblaciones. Debido a lo anterior, estos elementos no serán considerados en este análisis ni en el correspondiente a la distribución espacial.

Frecuencia acumulada

Para estos gráficos, el eje de las abscisas será el correspondiente a la frecuencia acumulada de las mediciones que sean menores o iguales a un determinado valor, es decir, variará entre 0 y 1; en cambio, el eje de las ordenadas será el de las concentraciones del elemento a estudiar (Sinclair, 1976). En general, si hubiese una única población de datos que conforman una distribución gaussiana, se espera que su representación sea la de una línea recta con pendiente positiva, donde esta se encuentre relacionada con la desviación estándar, mientras que el punto de intersección con el eje “y” estará asociado con la concentración promedio. Dado lo anterior, si, por ejemplo, se graficaran dos líneas paralelas, estas representarían dos poblaciones que tengan la misma desviación típica, pero diferente media.

Se han formulado dos criterios para reconocer el cambio de población en estos gráficos; uno cuando estas no tienen un traslape (*overlap*) y otro en el caso contrario: (1) para el primero se identificará un cambio de pendiente de la línea formada por los datos graficados, lo que indicará el paso a una nueva población con una diferente desviación estándar; y (2) por otra parte, si en lugar de una línea recta se observa una curva, esta será interpretada como un traslape entre poblaciones, por lo que, en lugar de un cambio de pendiente, el límite entre poblaciones será designado como el punto de inflexión de la curva, a saber, el paso de una curva cóncava a una convexa y viceversa -vale la pena notar que dicho punto únicamente indica los porcentajes de dichas poblaciones con respecto al total de la data y no entrega información sobre los umbrales de estas-.

A partir de las herramientas mencionadas anteriormente, se seguirá la siguiente metodología para el análisis de poblaciones:

- Se obtendrán tanto los gráficos de frecuencia acumulada como los histogramas de todos los sectores, eliminando los datos bajo el límite de detección y conservando los elementos Ag, As, Au, Cu, Pb y Zn; puesto que son de interés económico y/o están presentes en los sulfuros observados a escala de muestra de mano.
- Debido a que en todos los histogramas se observaron distribuciones normales a escala logarítmica, se decidió utilizar esta para la identificación de poblaciones.
- Para cada gráfico de frecuencia acumulada, se trazarán líneas rectas sobre los puntos graficados para identificar cambios de pendiente y de inflexión; cuyas coordenadas “x” indicarán las probabilidades (frecuencias) acumuladas. Posteriormente, para calcular el porcentaje de una determinada población, se le restará a su respectiva probabilidad acumulada la obtenida para la población adyacente a esta.
- Una vez obtenidos los porcentajes de las poblaciones identificadas (y sus umbrales en caso de no haber traslapes), se buscará en sus respectivos histogramas el intervalo que mejor represente las modas de estas; para después hacer la conversión a escala aritmética de sus límites, los que conformarán su intervalo modal.
- Los resultados obtenidos para cada sector se muestran en las tablas 2.1-2.7, indicando para todos los elementos de cada sector: el total de su data, número de poblaciones, sus umbrales, sus porcentajes, sus intervalos modales y las frecuencias de estos.

- Mina Cristina

Tabla 2.1: Análisis de poblaciones sector Mina Cristina

Elemento (ppm)	Muestras	Poblaciones	Lím. inferior	Lím. superior	Población %	Intervalo modal	Frecuencia
Ag	712	8	0.2	0.5	69.45	0.2 - 0.283	344 (48.31 %)
			0.6	1	8	0.57 - 0.809	36 (5.05 %)
			1.1	2.7	7.87	1.14 - 2.3*	44 (6.16 %)
			2.9	6.9	4.63	3.25 - 4.62	13 (1.82 %)
			6.9	14.9	2.81	6.54 - 9.28	11 (1.54 %)
			17.8	26.1	50.06	18.66 - 26.48	14 (1.96 %)
			27.1	97	3.79	53.21 - 75.33	8 (1.12 %)
			111	1555	0.7	106.9 - 151.3	4 (0.56 %)
As	712	7	5	7	2.52	11.77 - 16.78	191 (26.82 %)
			8	17	42.14	16.78 - 23.93	179 (25.14 %)
			18	32	35.53	48.64 - 69.34	22 (3.08 %)
			33	82	11.38	69.34 - 98.85	14 (19.66 %)
			86	259	4.07	141.25 - 201.37	11 (1.54 %)
			272	410	1.65	287.07 - 409.26	10 (1.4 %)
			646	1204	1.82	583.44 - 831.76	8 (1.12 %)
Au	712	6	0.003	0.006	65.51	0.003 - 0.0044	421 (59.12 %)
			0.007	0.019	15.03	0.0064 - 0.0095	44 (6.17 %)
			0.02	0.065	10.4	0.0302 - 0.0445	28 (3.93 %)
			0.074	0.255	6.04	0.0961 - 0.1412	11 (1.54 %)
			0.257	0.663	2.1	0.207 - 0.305	14 (1.96 %)
			1.52	6.64	0.84	3.07 - 4.51	2 (0.28 %)
Cu	712	12	3	7	3.79	2.9 - 5.1	16 (2.24 %)
			8	14	6.74	8.79 - 15.55	54 (7.58 %)
			15	26	14.61	15.55 - 26.9	103 (14.46 %)
			27	55	25.84	26.9 - 46.5	136 (19.1 %)
			56	83	11.52	46.5 - 80.5	111 (15.58 %)
			85	168	10.25	80.5 - 139.6	65 (9.12 %)
			178	-	8.01	139.6 - 241.5	38 (5.33 %)
			-	-	2.46	410 - 720	30 (4.21 %)
			-	1902	4.56	1250 - 2160	22 (2.83 %)
			2102	8648	6.6	6480 - 11200	14 (1.8 %)
			9704	33830	3.51	19400 - 33500	11 (1.41 %)
			43440	58180	0.7	33573 - 58076	6 (0.84 %)
Pb	712	8	2	5	6.67	2 - 3	24 (3.37 %)
			6	31	33.84	7 - 11	62 (8.7 %)
			32	68	17.42	27 - 42	69 (9.69 %)
			69	139	18.26	66 - 102	83 (11.65 %)
			141	482	15.03	158 - 245	44 (6.17 %)
			491	1768	5.33	912 - 1412	12 (1.68 %)
			1966	5424	2.81	2177 - 3372	11 (1.54 %)
			6392	12500	0.56	8090 - 12500	2 (0.28 %)
Zn	712	8	21	28	1.05	21 - 31	8 (1.12 %)
			32	47	2.81	31 - 46	16 (2.24 %)
			48	118	45.08	68 - 102	161 (22.61 %)
			119	236	18.12	151 - 224	76 (10.67 %)
			241	649	20.08	334 - 496	57 (8 %)
			679	1312	6.04	736 - 1093	25 (3.51 %)
			1383	7867	4.08	3630 - 5308	6 (0.84 %)
			9733	56800	2.66	11660 - 17330	6 (0.84 %)

* Intervalo modal conformado por dos barras adyacentes de igual frecuencia.

- Isla Green

Tabla 2.2: Análisis de poblaciones sector Isla Green

Elemento (ppm)	Muestras	Poblaciones	Lím. inferior	Lím. superior	Población %	Intervalo modal	Frecuencia
Ag	66	5	0.2	0.3	40.15	0.2 - 0.268	21 (31.81 %)
			0.4	1	24.24	0.481 - 0.864*	10 (15.14 %)
			1.5	4.3	13.64	2.07 - 2.78	3 (4.54 %)
			5.8	10.8	10.6	6.69 - 12.02*	6 (9.08 %)
			16	29.2	9.09	16.1 - 28.9*	4 (6.06 %)
As	66	5	9	18	8.33	11.24 - 14.06	2 (3.03 %)
			21	38	28.79	27.41 - 34.27	8 (12.12 %)
			43	62	22.72	42.85 - 53.57	12 (18.18 %)
			71	109	12.12	66.98 - 83.75	5 (7.57 %)
			135	322	25.76	163.68 - 204.64	5 (7.57 %)
Au	66	7	0.003	0.007	17.42	0.0045 - 0.0069	6 (9.09 %)
			0.01	0.023	15.15	0.0105 - 0.016	5 (7.57 %)
			0.024	0.07	25.76	0.037 - 0.056	7 (10.6 %)
			0.092	0.187	12.12	0.13 - 0.197	6 (9.09 %)
			0.267	0.396	12.12	0.3 - 0.45	7 (10.6 %)
			0.582	1.34	10.61	0.69 - 1.05	3 (4.54 %)
			2.28	2.49	4.54	1.59 - 2.43	2 (3.03 %)
Cu	66	9	3	4	4.54	3 - 4	3 (4.54 %)
			6	13	20.46	8 - 11	6 (9.09 %)
			15	35	21.12	22 - 31	7 (10.6 %)
			43	72	10.69	44 - 61	4 (6.06 %)
			86	109	9.09	86 - 120	5 (7.57 %)
			131	281	15.16	169 - 236	5 (7.57 %)
			422	702	6.06	462 - 647	2 (3.03 %)
			1019	1508	6.06	905 - 1267	3 (4.54 %)
			1909	2478	6.06	1774 - 2483	4 (6.06 %)
Pb	66	7	5	8	9.84	5 - 7	5 (7.57 %)
			11	21	24.25	13 - 19	8 (12.12 %)
			25	51	21.21	27 - 38	7 (10.6 %)
			81	166	10.6	75 - 106.4	3 (4.54 %)
			168	433	10.61	149.6 - 209.8	5 (7.57 %)
			630	1267	12.12	816.5 - 1148.1	3 (4.54 %)
			3142	4457	9.09	3176.8 - 4466.8	4 (6.06 %)
Zn	66	5	35	61	5.3	35 - 45.9	2 (3.03 %)
			62	134	56.06	78 - 103	18 (27.27 %)
			268	688	13.64	303 - 397	4 (6.06 %)
			1061	3331	15.15	2624 - 3435	3 (4.54 %)
			5569	7707	4.55	4497 - 5888	2 (3.03 %)

* Intervalo modal conformado por dos barras adyacentes de igual frecuencia.

- Cutter

Tabla 2.3: Análisis de poblaciones sector Mina Cutter

Elemento (ppm)	Muestras	Poblaciones	Lím. inferior	Lím. superior	Población %	Intervalo modal	Frecuencia
Ag	598	9	0.2	0.2	66.47	0.2 - 0.286	364 (60.86 %)
			0.3	0.4	7.19	0.286 - 0.409	34 (5.68 %)
			0.5	0.9	7.19	0.586 - 0.837	29 (4.84 %)
			1.1	1.9	5.85	1.19 - 1.71	28 (4.68 %)
			2.2	4.2	5.35	2.44 - 3.49	17 (2.84 %)
			4.7	9	3.68	7.61 - 10.23	15 (2.5 %)
			9.3	20.1	3.01	14.65 - 20.94	10 (1.67 %)
			21.2	97.9	5.68	29.99 - 42.85	10 (1.67 %)
			84.1	155	1.68	87.7 - 125.6	5 (0.83 %)
As	598	8	1	4	3.76	1.54 - 2.38	6 (~1 %)
			5	10	29.6	8.85 - 13.67	194 (32.44 %)
			11	21	40.46	13.67 - 21.13	134 (22.4 %)
			22	58	16.73	32.73 - 50.58	34 (5.68 %)
			63	230	7.02	121.05 - 187.06	13 (2.17 %)
			282	727	1.34	289.73 - 447.71	4 (0.68 %)
			1417	1617	0.5	1071.5 - 1659.5	3 (0.5 %)
			3855	6141	0.5	3962.7 - 6137.6	2 (0.32 %)
Au	598	5	0.003	0.003	69.31	0.003 - 0.004	415 (69.39 %)
			0.005	0.01	15.05	0.0055 - 0.0074	41 (6.85 %)
			0.011	0.017	4.85	0.013 - 0.018	14 (2.34 %)
			0.018	0.062	7.52	0.034 - 0.046	13 (2.17 %)
			0.069	0.239	2.85	0.116 - 0.157	5 (0.83 %)
Cu	598	10	1	1	3.59	1 - 1.77	22 (3.67 %)
			2	6	5.85	3.14 - 5.57	16 (2.67 %)
			7	-	29.27	17.49 - 31.04	64 (10.7 %)
			-	-	23.41	55.08 - 97.49	74 (12.37 %)
			-	366	8.03	172.98 - 306.19	43 (7.19 %)
			403	2518	15.55	977.23 - 1706.08	29 (4.84 %)
			3061	8201	5.18	3026 - 5357	18 (3.01 %)
			9337	14080	3.68	9506 - 16788	23 (3.84 %)
			15480	45290	3.85	16788 - 29785	11 (1.83 %)
			53900	93680	1.58	52844 - 93540	9 (1.5 %)
Pb	598	7	2	2	18.81	2 - 3	151 (25.25 %)
			3	8	41.3	4.52 - 6.8	97 (16.22 %)
			9	17	15.22	10.25 - 15.41	44 (7.35 %)
			18	93	14.88	34.91 - 52.48	23 (3.84 %)
			99	185	4.18	118.57 - 178.64	14 (2.34 %)
			208	637	4.35	268.53 - 403.64	11 (1.83 %)
			840	1070	0.84	914.11 - 1380.38	4 (0.64 %)
Zn	598	8	37	46	2.25	33.65 - 49.2	56 (9.36 %)
			47	78	58.87	49.2 - 72.11	280 (46.82 %)
			80	147	21.07	105.43 - 154.52	71 (11.87 %)
			152	180	2.84	154.52 - 225.94	20 (3.34 %)
			193	313	4.68	225.94 - 331.13	20 (3.34 %)
			342	1076	6.62	484.17 - 709.57	13 (2.17 %)
			1241	1717	1.68	1520.54 - 2223.3	5 (0.83 %)
			2086	10200	1.5	6982.32 - 10200	3 (0.5 %)

- Gorda

Tabla 2.4: Análisis de poblaciones sector Veta Gorda

Elemento (ppm)	Muestras	Poblaciones	Lím. inferior	Lím. superior	Población %	Intervalo modal	Frecuencia
Ag	624	8	0.2	0.5	43.18	0.2004 - 0.2877	170 (27.24 %)
			0.6	1.1	17.79	0.59 - 0.85	74 (11.85 %)
			1.2	3.9	16.51	1.75 - 2.52	32 (5.12 %)
			4.3	7.7	3.36	5.22 - 7.49	13 (2.08 %)
			8.3	26.6	10.9	15.48 - 22.28	22 (3.52 %)
			31.6	64.6	4.97	31.98 - 45.19	16 (2.56 %)
			72.1	118	1.92	94.84 - 136.45	6 (0.96 %)
			137	214	1.12	136.45 - 195.88	6 (0.96 %)
As	623	8	4	9	4.25	7.74 - 10.78	30 (4.81 %)
			10	26	53.13	10.78 - 15.03	129 (20.7 %)
			27	37	9.79	20.94 - 29.17	95 (15.24 %)
			38	61	8.51	40.64 - 56.49	41 (6.58 %)
			63	124	9.85	78.7 - 109.64	29 (4.65 %)
			130	388	9.25	212.81 - 296.48	23 (3.69 %)
			429	1002	3.53	574.11 - 799.83	8 (1.28 %)
			1774	3015	1.28	2162.71 - 3013	6 (0.96 %)
Au	624	8	0.003	0.006	36.45	0.003 - 0.0045	186 (29.8 %)
			0.007	0.013	21.32	0.0069 - 0.0105	88 (14.1 %)
			0.014	0.032	11.06	0.016 - 0.024	35 (5.6 %)
			0.033	0.092	10.41	0.037 - 0.056	33 (5.28 %)
			0.1	0.302	7.85	0.131 - 0.198	19 (3.04 %)
			0.341	0.859	4.32	0.459 - 0.698	16 (2.56 %)
			0.972	2.74	5.93	1.05 - 1.61	16 (2.56 %)
			3.29	13.1	1.92	5.66 - 8.6	4 (0.64 %)
Cu	624	8	5	10	1.92	4.87 - 8.27	7 (1.12 %)
			11	30	15.54	14.02 - 23.76	46 (7.37 %)
			31	149	39.43	40.27 - 68.39	85 (13.62 %)
			152	400	14.26	196.33 - 332.65	47 (7.53 %)
			426	1259	12.18	564.93 - 957.19	39 (6.25 %)
			1347	-	7.05	2747.89 - 4666.59	30 (4.8 %)
			-	9482	6.89	7906.78 - 13365.9	13 (2.08 %)
			11770	20920	2.08	13364.9 - 22646.4	9 (1.44 %)
Pb	624	10	2	7	1.52	2 - 3.5	6 (0.96 %)
			8	17	9.77	6.2 - 10.93	29 (4.64 %)
			18	95	37.18	33.96 - 59.7	78 (12.5 %)
			96	209	19.07	105.19 - 185.35	80 (12.82 %)
			222	374	8.5	185.35 - 326.58	53 (8.49 %)
			389	1838	13.78	1013.91 - 1782.37	30 (4.8 %)
			2082	7332	5.77	3140.5 - 5533.5	16 (2.56 %)
			9033	14800	2.4	9749 - 17139	14 (2.24 %)
			27400	62300	1.44	30199 - 53088	6 (0.96 %)
			103000	165000	0.48	93540 - 164816	3 (0.48 %)
Zn	624	10	47	-	3.68	48.41 - 73.28	67 (10.73 %)
			-	117	33.56	73.28 - 110.91	149 (23.87 %)
			119	311	26.15	167.88 - 253.51	64 (10.25 %)
			316	679	13.31	383.7 - 580.76	47 (7.53 %)
			695	1449	7.76	879.02 - 1327.39	26 (4.16 %)
			1545	7050	9.99	3040.8 - 4602.5	15 (2.4 %)
			9665	14400	2.22	10485 - 15885	11 (1.76 %)
			17700	25600	1.4	21700 ^a	2 (0.32 %)
			31900	35600	1.12	- ^b	-
			37700	50600	0.48	- ^b	-

^a Al no existir un rango de valores en el histograma que pueda considerar el intervalo modal de esta población, se decidió revisar los datos que la conforman y se verificó que el valor “21700 ppm” es el único que se repite, por lo que fue considerado como su moda.

^b Estas poblaciones se encuentran contenidas en una única barra de su respectivo histograma, por lo que no podían obtenerse dos intervalos modales diferentes. Además, al revisar sus valores uno por uno, se corroboró que ninguna de estas tenía moda, por lo que se consideraron como “amodales”.

- Angélica

Tabla 2.5: Análisis de poblaciones sector Angélica

Elemento (ppm)	Muestras	Poblaciones	Lím. inferior	Lím. superior	Población %	Intervalo modal	Frecuencia
Ag	200	8	0.2	0.2	7.75	0.2 - 0.27	16 (8 %)
			0.4	0.6	16.5	0.38 - 0.54	32 (16 %)
			0.7	1.3	24	0.75 - 1.04	44 (22 %)
			1.6	2.4	13.5	1.4 - 2.3	26 (13 %)
			3	9.2	18	3.94 - 5.49	10 (5 %)
			10.9	21	9	14.83 - 20.65	11 (5.5 %)
			25.3	48.9	6	40.08 - 55.84	6 (3%)
			73	151	6	108.39 - 150.66	6 (3%)
As	200	8	4	6	7.5	4.6 - 6.9	14 (7 %)
			9	11	6	6.9 - 10.6	10 (5 %)
			12	20	7.5	10.6 - 16.1	11 (5.5 %)
			20	30	17	16.1 - 24.5	21 (10.5 %)
			40	170	35.5	56.6 - 85.9	25 (12.5 %)
			200	540	14.5	198.15 - 301.3	14 (7 %)
			980	2040	5	1056.81 - 1603.24	5 (2.5 %)
			2760	8548	5.5	5623.41 - 8548	5 (2.5 %)
Au	200	8	0.003	0.003	30.25	0.003 - 0.0042	61 (30.5 %)
			0.005	0.012	30.5	0.0059 - 0.0084	25 (12.5 %)
			0.014	0.019	6.5	0.0119 - 0.0169	14 (7 %)
			0.023	0.071	9.5	0.033 - 0.0047	6 (3 %)
			0.071	0.183	10.5	0.067 - 0.095	11 (5.5 %)
			0.223	0.376	5	0.269 - 0.381	5 (2.5 %)
			0.456	1.86	5	1.073 - 1.517	3 (1.5 %)
			2.4	3.03	2.5	2.142 - 3.026	5 (2.5 %)
Cu	200	7	3	4	4.75	3 - 4.9	10 (5 %)
			5	27	16	8.1 - 13.48	12 (6 %)
			39	98	14.5	60.53 - 99.77	17 (8.5 %)
			114	1010	23.5	271.64 - 447.71	13 (6.5 %)
			1020	2753	17.5	1218.98 - 2009.09	20 (10 %)
			3331	14640	14	5470.15 - 9015.71	10 (5 %)
			18850	66750	9.5	24490.63 - 40457.58	9 (4.5 %)
Pb	200	7	4	7	30	4.7 - 7.3	56 (28 %)
			8	22	22.5	7.3 - 11.45	22 (11 %)
			28	34	7.5	27.35 - 42.26	20 (10 %)
			38	100	14	42.26 - 65.46	11 (5.5 %)
			121	220	7.5	156.31 - 241.54	9 (4.5 %)
			270	828	12	374.11 - 578.09	9 (4.5 %)
			1020	12200	6	1383.56 - 2137.96	4 (2 %)
Zn	200	7	9	13	11.5	9.2 - 14.25	22 (11 %)
			15	23	15.5	14.25 - 21.92	28 (14 %)
			27	32	18.5	21.92 - 33.8	40 (20 %)
			34	51	15.5	33.8 - 51.99	31 (15.5 %)
			56	97	12	51.99 - 79.98	13 (6.5 %)
			111	1850	20.5	693.72 - 1066.59	8 (4 %)
			2610	33700	5.5	5997.91 - 9246.98	3 (1.5 %)

- Ingleses

Tabla 2.6: Análisis de poblaciones sector Ingleses

Elemento (ppm)	Muestras	Poblaciones	Lím. inferior	Lím. superior	Población %	Intervalo modal	Frecuencia
Ag	62	8	0.2	0.2	12.09	0.2 - 0.27	8 (12.9 %)
			0.3	0.5	9.68	0.37 - 0.503	4 (6.45 %)
			0.6	0.8	8.06	0.68 - 0.93	4 (6.45 %)
			1.1	-	14.52	1.721 - 2.338	6 (9.67 %)
			-	-	11.29	5.888 - 8.016	6 (9.67 %)
			-	14.5	27.42	8.016 - 10.889	6 (9.67 %)
			25.3	48.6	11.29	37.325 - 50.699	4 (6.45 %)
As	62	7	77.6	94	4.84	69.023 - 93.972	3 (4.83 %)
			9	13	29.03	8.649 - 12.473	16 (25.8 %)
			14	25	20.97	12.473 - 17.988	10 (16.2 %)
			31	87	19.81	54.075 - 77.983	6 (9.67 %)
			369	834	11.29	487.52 - 703.07	3 (4.83 %)
			1811	2197	6.45	1462.17 - 2113.48	3 (4.83 %)
			2971	3588	6.45	3047.89 - 4395.41	3 (4.83 %)
Au	62	7	6300	9158	3.23	4395.41 - 9141.13	2 (3.22 %)
			0.003	0.003	8.87	0.003 - 0.004	6 (9.67 %)
			0.005	0.0012	45.16	0.005 - 0.007	13 (20.96 %)
			0.0015	0.0022	8.06	0.0016 - 0.0226	3 (4.83 %)
			0.03	0.047	12.91	0.03 - 0.04	6 (9.67 %)
			0.065	0.193	12.9	0.128 - 0.171	3 (4.83 %)
			0.28	0.549	8.06	0.304 - 0.407	2 (3.22 %)
Cu	62	6	0.96	0.967	3.23	0.726 - 0.968	2 (3.22 %)
			32	60	5.64	32 - 46.02	2 (3.22 %)
			97	396	11.29	94.62 - 135.83	2 (3.22 %)
			398	1266	22.58	1188.5 - 1706.08	10 (16.12 %)
			1267	2192	17.74	1706.08 - 2449.96	3 (4.83 %)
			2584	10370	27.42	5046 - 7244.35	7 (11.29 %)
			13320	44050	14.52	14893 - 21379	4 (6.44 %)
Pb	62	7	2	2	4.03	2 - 2.6	3 (4.83 %)
			3	4	16.13	3.44 - 4.5	8 (12.9 %)
			5	8	19.35	7.74 - 10.16	7 (11.29 %)
			8	13	9.68	10.16 - 13.3	3 (4.83 %)
			17	47	24.42	39.26 - 59.15	6 (9.67 %)
			58	71	8.06	59.15 - 67.45	2 (3.22 %)
			85	191	12.91	152.05 - 199.06	3 (4.83 %)
Zn	62	5	51	80	61.24	51 - 76.55	34 (54.83 %)
			84	99	11.29	76.55 - 93.75	8 (12.9 %)
			108	212	14.52	171.79 - 210.37	3 (4.83 %)
			333	552	8.06	386.36 - 473.15	2 (3.22 %)
			1333	1948	3.23	1300 - 1948*	2 (3.22 %)

* Intervalo modal conformado por dos barras adyacentes de igual frecuencia.

- Franceses

Tabla 2.7: Análisis de poblaciones sector Franceses

Elemento (ppm)	Muestras	Poblaciones	Lím. inferior	Lím. superior	Población %	Intervalo modal	Frecuencia
Ag	551	8	0.2	0.3	22.41	0.2 - 0.27	102 (18.51 %)
			0.4	0.6	18.69	0.37 - 0.5	97 (17.6 %)
			0.7	1.5	14.16	0.94 - 1.28	57 (10.34 %)
			1.7	2.6	9.25	1.75 - 2.39	44 (7.98 %)
			2.8	5	9.99	2.39 - 3.27	27 (4.9 %)
			6	14	15.79	8.31 - 11.35	30 (5.44 %)
			15	27.3	6.35	15.48 - 21.13	23 (4.17 %)
			30.8	100	3.26	38.9 - 73.28	12 (2.17 %)
As	551	8	2	4	5.81	2.14 - 3.14	16 (2.9%)
			5	8	24.5	4.62 - 6.77	107 (19.41 %)
			9	12	13.97	9.93 - 14.58	69 (12.52 %)
			13	40	26.32	21.37 - 31.33	55 (9.98 %)
			50	120	11.61	67.45 - 98.85	29 (5.26 %)
			130	223	6.72	145.21 - 212.81	29 (5.26 %)
			236	721	7.44	311.88 - 458.14	13 (2.35 %)
			813	2120	2.9	984.01 - 1445.43	5 (0.9 %)
Au	551	8	0.003	0.003	38.02	0.003 - 0.0038	210 (38.11 %)
			0.005	0.008	17.6	0.0049 - 0.0063	58 (10.52 %)
			0.009	0.0014	13.61	0.01 - 0.013	35 (6.35 %)
			0.015	0.034	14.88	0.017 - 0.022	27 (4.9 %)
			0.036	0.05	5.45	0.036 - 0.047	22 (3.99 %)
			0.052	0.085	5.26	0.06 - 0.078	14 (2.54 %)
			0.091	0.18	3.63	0.1 - 0.128	7 (1.27 %)
			0.206	0.451	1.45	0.212 - 0.273	3 (0.54 %)
Cu	551	9	3	5	2.45	1.79 - 3.21	6 (1.08 %)
			6	15	7.62	5.75 - 10.3	24 (4.35 %)
			16	45	7.26	18.45 - 33.11	25 (4.53 %)
			49	121	8.16	59.29 - 106.16	29 (5.26 %)
			138	294	6.9	106.16 - 190.1	24 (4.35 %)
			326	-	30.67	609.53 - 1093.95	55 (9.98 %)
			-	19200	30.67	6280.58 - 11220.18	53 (9.61 %)
			19900	40300	4.18	20137 - 36057	19 (3.44 %)
49350	115760	1.99	64565 - 115611	7 (1.27 %)			
Pb	551	9	2	3	9.7	2.004 - 2.78	40 (7.25 %)
			4	6	28.68	3.872 - 5.382	139 (25.22 %)
			7	13	21.96	7.481 - 10.399	94 (17.05 %)
			14	24	13.79	14.454 - 20.09	63 (11.43 %)
			25	43	9.26	27.925 - 38.815	32 (5.8 %)
			46	112	11.07	53.951 - 74.989	24 (4.35 %)
			120	250	3.27	144.87 - 201.37	10 (1.81 %)
			300	430	1.09	389.04 - 540.75	5 (0.9 %)
670	1450	1.08	1044.72 - 1452.11	3 (0.54 %)			
Zn	551	9	4	7	3.72	5.82 - 8.47	19 (3.44 %)
			8	18	21.96	8.47 - 12.33	54 (9.8 %)
			19	40	30.49	17.94 - 26.12	93 (16.87 %)
			41	100	24.32	55.2 - 80.35	71 (12.88 %)
			104	228	8.16	116.94 - 169.82	24 (4.35 %)
			252	370	4.54	247.17 - 359.74	23 (4.17 %)
			430	550	2.36	359.74 - 523.6	12 (2.17 %)
			1250	2990	2.55	1106.62 - 1610.64	7 (1.27 %)
4360	7210	1.17	4965.92 - 7211.07	4 (0.72%)			

2.2.4) Análisis de distribución espacial

Esta sección tiene como finalidad determinar el comportamiento espacial de los elementos de interés económico (ver sección “Análisis de poblaciones”) dentro del distrito. Para este cometido, se estudiarán los contrastes entre las concentraciones consideradas anómalas de dichos elementos y las que se encuentren dentro de sus promedios según la litología predominante del sector considerado.

La metodología a utilizar será una simplificación de la aplicada en el trabajo de Townley et al. (2000). En este se utilizó una base de datos con concentraciones de diversos elementos obtenidos a partir de muestras chip recolectadas en la región de Aysén. Estos son los mismos que se consideraron en el análisis de poblaciones de la sección anterior -a saber: Ag, As, Au, Cu, Pb y Zn-, además del molibdeno.

Dichas muestras se clasificaron según: (1) la presencia de alteración observable a muestra de mano (distinguiéndose entre roca alterada y no alterada); y (2) la litología presente. A partir de esto, las muestras sin alteración se ordenaron según su litología y, para cada elemento, se obtuvo: el promedio de las concentraciones, la desviación típica, el error estándar y un parámetro definido como “límite superior regional” (*regional upper limit*). Este último es la suma entre el promedio y el doble de su error estándar correspondiente.

Posteriormente se recopilaron, mediante una revisión bibliográfica, los rangos promedio de las concentraciones de los elementos de interés -designados como “valores medios globales”- y se compararon tanto con los promedios calculados, como con los límites regionales. Según esto, existe una anomalía positiva para un cierto elemento en una determinada litología si su media y/o su límite superior regional es mayor al valor máximo de su rango promedio a escala global.

La base de datos no dispone de información sobre litologías ni alteraciones de cada segmento en los sondajes y canaletas. Por lo tanto, se decidió utilizar la litología predominante en cada sector del distrito para realizar las comparaciones. Para este fin, se analizó el estudio de Cordery (2015), según el cual se corroboró que: (1) el basamento hospeda la mineralización en Cristina, Cutter, Gorda, Isla Green e Ingleses; mientras que, (2) en los sectores de Angélica y Franceses, esta se encuentra en intrusivos de carácter riolítico que cortan al basamento, los que posiblemente estén asociados al Batolito Patagónico.

Tabla 2.8: Promedios, desviaciones estándar, errores estándar, límites regionales y medias globales para elementos estudiados a partir de sondajes y canaletas superficiales en el distrito Cutter Cove.

Elemento (ppm)	N	Promedio	Desv. estándar	Error estándar	Límite regional	Media global (ppm) ^a
Cristina						
Ag	775	4.38	17.01	0.61	5.6	0.05 - 0.19
As	775	49.52	161.52	5.8	61.12	2.5 - 15
Au	775	0.09	0.35	0.013	0.116	4 - 5 ^b
Cu	775	1400	5500	200	1800	42 - 50
Pb	775	240	870	31	302	10 - 25
Zn	775	930	4300	160	1250	20 - 100

Tabla 2.8 (continuación)

Elemento (ppm)	N	Promedio	Desv. estándar	Error estándar	Límite regional	Media global (ppm) ^a
Isla Green						
Ag	66	4.49	10.38	1.28	7.05	0.05 - 0.19
As	66	97.95	119.56	14.72	127.39	2.5 - 15
Au	66	0.47	1.66	0.204	0.878	4 - 5 ^b
Cu	66	290	560	69	428	42 - 50
Pb	66	550	1100	140	830	10 - 25
Zn	66	720	1500	180	1080	20 - 100
Cutter						
Ag	598	6.27	22.52	0.92	8.11	0.05 - 0.19
As	598	59.99	360.9	14.76	89.51	2.5 - 15
Au	598	0.014	0.066	0.0027	0.0194	4 - 5 ^b
Cu	598	3100	10900	450	4000	42 - 50
Pb	598	59	340	14	87	10 - 25
Zn	598	220	800	33	286	20 - 100
Veta Gorda						
Ag	631	8.72	25.88	1.03	10.78	0.05 - 0.19
As	631	104.91	307.08	12.22	129.35	2.5 - 15
Au	631	0.27	1.01	0.04	0.35	4 - 5 ^b
Cu	631	1100	3200	130	1360	42 - 50
Pb	631	2000	11300	450	2900	10 - 25
Zn	631	1900	7400	300	2500	20 - 100
Angélica						
Ag	210	10.48	25.34	1.75	13.98	0.07 - 0.1
As	210	430.36	1266.71	87.41	605.18	1.5 - 2
Au	210	0.17	0.46	0.03	0.23	3.2 - 4 ^b
Cu	210	4300	10100	700	5700	30 - 72
Pb	210	300	1300	90	480	4 - 15
Zn	210	800	3500	200	1200	60 - 94
Ingleses						
Ag	62	11.08	19.91	2.53	16.14	0.05 - 0.19
As	62	680.03	1599.94	203.19	1086.41	2.5 - 15
Au	62	0.089	0.19	0.025	0.139	4 - 5 ^b
Cu	62	5800	9500	1200	8200	42 - 50
Pb	62	40	69	8.7	57.4	10 - 25
Zn	62	160	298	38	236	20 - 100
Franceses						
Ag	551	5.58	11.88	0.51	6.6	0.07 - 0.1
As	551	98.93	250.67	10.68	120.29	1.5 - 2
Au	551	0.02	0.04	0.002	0.024	3.2 - 4 ^b
Cu	551	5600	12200	520	6640	30 - 72
Pb	551	39	120	5	49	4 - 15
Zn	551	180	660	28	236	60 - 94

^a Valores obtenidos de Tonwley et al. (2000)

^b En ppb

En la tabla 2.8 se encuentran los datos de los estadígrafos mencionados para cada elemento en los distintos sectores del distrito, junto con sus medias globales según la litología correspondiente. Se verifica que todos los elementos de interés, para cada sistema de vetas, muestran tanto una anomalía positiva asociada a la media como al límite superior regional.

Luego, en el trabajo de Townley et al. (2000), se procedió a determinar los umbrales de exploración asociados a los elementos estudiados. Para lo cual se realizó un análisis de poblaciones similar al del presente trabajo, en donde se identificó aquella población para un cierto elemento cuyo límite superior sea mayor a su límite regional y/o al rango global. Dicho límite fue definido como el “umbral de exploración” de su respectivo elemento en cada litología.

Ya que las concentraciones de la data provienen de muestras tomadas de sondajes y canaletas que cortan la mineralización; se decidió, para este trabajo, hacer la distinción entre anomalías “globales” y “locales” (tabla 2.9). De forma similar al trabajo de Townley et al. (2000), se estableció un “umbral de anomalía global” siguiendo los siguientes criterios: (1) si en un sector dado, el límite global de un elemento está dentro de una población, el umbral de exploración será el límite superior de esta; en cambio, (2) si el límite global está acotado por dos poblaciones, el umbral será el límite inferior de la población mayor. A su vez, para definir el “umbral de anomalía local” se siguió un proceso análogo, con la diferencia de que se consideraron los límites regionales en lugar de los globales.

Tabla 2.9: Límites regionales, medias globales y umbrales para anomalías globales y locales para elementos estudiados a partir de sondajes y canaletas superficiales en el distrito Cutter Cove.

Elemento (ppm)	Límite regional (ppm)	Media global (ppm)	Anomalía global (ppm)	Anomalía local (ppm)
Cristina				
Ag	5.6	0.05 - 0.19	0.2	6.9
As	61.12	2.5 - 15	17	82
Au	0.116	4 - 5	0.003	0.255
Cu	1800	42 - 50	55	1902
Pb	302	10 - 25	31	482
Zn	1250	20 - 100	118	1312
Isla Green				
Ag	7.05	0.05 - 0.19	0.2	10.8
As	127.39	2.5 - 15	18	135
Au	0.878	4 - 5	0.003	1.34
Cu	428	42 - 50	72	702
Pb	830	10 - 25	25	1267
Zn	1080	20 - 100	134	3331
Cutter				
Ag	8.11	0.05 - 0.19	0.2	9
As	89.51	2.5 - 15	21	230
Au	0.0194	4 - 5	0.003	0.062
Cu	4000	42 - 50	135.24 ^a	8201
Pb	87	10 - 25	93 ^b	93
Zn	286	20 - 100	147	313

Tabla 2.9 (continuación)

Elemento (ppm)	Límite regional (ppm)	Media global (ppm)	Anomalía global (ppm)	Anomalía local (ppm)
Veta Gorda				
Ag	10.78	0.05 - 0.19	0.2	26.6
As	129.35	2.5 - 15	26	130
Au	0.35	4 - 5	0.003	0.859
Cu	1360	42 - 50	149	6286.69 ^a
Pb	2900	10 - 25	95	7332
Zn	2500	20 - 100	117	7050
Angélica				
Ag	13.98	0.07 - 0.1	0.2	21
As	605.18	1.5 - 2	4	980
Au	0.23	3.2 - 4	0.003	0.376
Cu	5700	30 - 72	98	14640
Pb	480	4 - 15	22	828
Zn	1200	60 - 94	97	1850
Ingleses				
Ag	16.14	0.05 - 0.19	0.2	25.3
As	1086.41	2.5 - 15	25	1811
Au	0.139	4 - 5	0.003	0.193
Cu	8200	42 - 50	60	10370
Pb	57.4	10 - 25	47	58
Zn	236	20 - 100	108	333
Franceses				
Ag	6.6	0.07 - 0.1	0.2	14
As	120.29	1.5 - 2	2	130
Au	0.024	3.2 - 4	0.003	0.034
Cu	6640	30 - 72	5	19200
Pb	49	4 - 15	24	112
Zn	236	60 - 94	100	252

^a Estos umbrales se encuentran en poblaciones sin límite superior, mientras que, las poblaciones adyacentes a estas, no tienen límite inferior. Por lo tanto, se calculó la media entre el límite superior del intervalo modal de la población inferior, con el mínimo del intervalo modal de la superior.

^b Debido a que tanto la media global como el límite regional del Pb en este sector están contenidas en una única población, se decidió que ambas anomalías queden acotadas por el límite superior de esta, vale decir, 93 ppm.

Una vez obtenidos los umbrales para anomalías globales y regionales, se procedió a agrupar los datos de cada elemento según estos parámetros para después graficar los sondajes y canaletas de cada sector. Esto se realizó con el propósito de identificar tanto la distribución de las anomalías, como posibles asociaciones de estas para dos o más elementos (ver sección “Anexo: análisis de distribución espacial”). La principal motivación para esto se basa en las correlaciones que se reconocieron en el análisis multivariable, donde destacan: (1) la correlación Au-Ag que está presente en Ingleses, Franceses, Isla Green, los niveles superiores de Veta Gorda y el segundo cuartil de Cutter; y (2) la correlación Pb-Zn, que se identifica en todos los sectores, con la excepción de los niveles superiores de Cutter.

Debido a que estas asociaciones se reconocieron en la mayoría de los sectores del distrito, el análisis de distribución espacial podría indicar si estas se mantienen cuando se consideren únicamente las anomalías regionales, lo que permitiría definir, por ejemplo, zonas ricas en metales preciosos y/o en metales base. Para fines de reconocer estas posibles zonas, se decidió hacer dos figuras para cada sector: una que estudie posibles asociaciones entre Ag, As y Au (puesto que el Au tiende a correlacionarse con el As en el distrito); y otra que relacione los elementos Cu, Pb y Zn; puesto que el cobre es también un metal base.

Las imágenes obtenidas del análisis de distribución espacial indican que, efectivamente, en todos los sectores del distrito existen zonas donde se asocian las anomalías regionales de Ag-As-Au y las de Cu-Pb-Zn. Además, se reconocen dos situaciones en relación a esta tendencia: por un lado, existen superposiciones entre ambas asociaciones de anomalías para cada sistema de vetas, siendo de particular interés en los sectores de Isla Green (fig. AIV.3 y AIV.4) e Ingleses (fig. AIV.11 y AIV.12); puesto que, en estos, la superposición es prácticamente exacta y no se observan zonas de metales base ni metales preciosos por separado. Sin embargo, se debe considerar que son los sectores con menor cantidad de datos y que estos corresponden únicamente a canaletas superficiales, por lo que no se puede estudiar el comportamiento de los elementos en función de la profundidad.

Por el contrario, en los sectores restantes se tienen asociaciones de ambos grupos de elementos que, si bien pueden ser adyacentes entre sí como en el sureste de Franceses (fig. AIV.13 y AIV.14), no se tiene una superposición omnipresente en Ingleses e Isla Green. Además, estas asociaciones no son estrictas en el distrito, sino que pueden estar ausentes uno o incluso dos de sus elementos. Por ejemplo, en Angélica se observó una agrupación de datos donde el único elemento con anomalías regionales era el oro (fig. AIV.9), mientras que para la plata sólo se tienen anomalías globales y para el arsénico sólo valores bajo la media global. De forma similar, en los niveles profundos de Mina Cristina se identificó una asociación de anomalías de Ag-As y, bajo esta, únicamente anomalías de Ag (fig. AIV.5).

En conclusión, si bien las correlaciones Au-Ag y Pb-Zn no son omnipresentes en el distrito Cutter Cove, existe una relación espacial entre sus anomalías regionales que permiten definir, para cada sector de la zona de estudio, zonas ricas en metales base y ricas en metales preciosos. Además, estas pueden superponerse entre sí, ser adyacentes una de otra, o bien no mostrar ningún tipo de relación espacial además de encontrarse en un mismo sistema de vetas.

CAPÍTULO III DISCUSIONES

Una vez terminado el análisis estadístico de la data, se integraron las interpretaciones derivadas de este con la información de los antecedentes de estudio, vale decir, las secciones correspondientes al marco teórico y la geología regional. Esto se realizó para fines de caracterizar los depósitos presentes en el distrito de Cutter Cove y poder formular argumentos que sustenten si corresponden a aquellos propuestos en la hipótesis.

Tomando en consideración que, según la hipótesis del presente trabajo, la Veta Gorda estaría caracterizada como un depósito epitermal, mientras que los demás serían de tipo orogénico; se decidió discutir dicho sector por separado. De forma similar, se estudiará en una única sección el análisis de la mineralización reconocida en Isla Green, puesto que se desconoce si esta corresponde a una prolongación de Veta Gorda, o bien de alguna veta perteneciente a Cristina.

Con respecto a los sectores restantes, se discutirán los siguientes tópicos para concluir si son depósitos orogénicos: (1) contexto geológico de la zona de estudio; (2) control estructural relacionado con la mineralización; (3) la relación temporal entre la mineralización y la roca huésped; y (4) la caracterización de los fluidos hidrotermales, indicando sus posibles fuentes.

3.1) CONTEXTO GEOLÓGICO

Los sistemas de vetas del distrito Cutter Cove se encuentran, en su mayoría, hospedados en un basamento perteneciente al Complejo Metamórfico Cordillera de Darwin (CDMC); mientras que los restantes (Angélica y Franceses) están en intrusivos riolíticos que intruyen a dicho complejo (Cordery, 2015). Este último se define como una unidad metasedimentaria y metavolcánica, cuyo protolito se depositó -desde el Paleozoico hasta inicios del Mesozoico- como un prisma de acreción asociado al margen de Suramérica (Hervé et al., 2010). Por lo tanto, el CDMC constituye uno de los ambientes posibles para la formación de depósitos de carácter orogénico, tanto de oro (Groves et al., 1998) como polimetálicos (Li et al., 2021).

Por otra parte, entre el Jurásico Tardío y el Neógeno, tuvo lugar el emplazamiento del Batolito Patagónico Sur (BPS). Este consiste en una amalgamación de plutones, con composiciones que varían desde granitos a gabros (Bruce et al., 1991), que intruyen los complejos metamórficos formados en el margen continental de tal forma que estos últimos afloran tanto hacia el este como el oeste del batolito. Considerando que las litologías predominantes del BPS -tonalitas, granodioritas y granitos- son ricas en sílice y que la zona de estudio se encuentra al este del batolito -a saber, la zona de tras arco-; se concluye que esta es un ambiente favorable para la formación de depósitos epitermales (White & Hedenquist, 1990). Además, según Goldfarb & Groves (2015), los depósitos orogénicos pueden formarse tanto en la zona de ante arco como de tras arco de su respectivo orógeno.

3.2) CONTROL ESTRUCTURAL

A escala regional, se requiere para la formación de depósitos orogénicos el paso de un régimen compresivo a uno transpresional o, menos frecuente, transtensional (Groves et al., 2018). Esto se verifica al revisar la historia geológica de la zona de estudio, puesto que, durante el Cretácico Tardío, inició un régimen compresivo relacionado con el rompimiento de Gondwana y que implicó el cierre de la Cuenca de Rocas Verdes y la posterior formación de la Faja Plegada y Corrida de Magallanes (Fildani et al., 2008). Posteriormente, el movimiento de la Placa de Scotia generó el actual límite transformante de carácter sinistral entre esta y la Placa Sudamericana; la cual pasa por el Estrecho de Magallanes hasta Tierra del Fuego (Torres-Carbonell et al., 2008). A pesar de que no existe consenso sobre el inicio de dicho régimen -se ha propuesto desde Cretácico Tardío hasta Cenozoico-, este es posterior al cierre de Rocas Verdes.

Por otro lado, según Groves et al. (2018), una de las principales geometrías que controla la formación de depósitos orogénicos a escala distrital, consiste en redes subparalelas de fallas que acomodan una zona de cizalla de mayor orden, siendo un ejemplo de esto el distrito aurífero de Kundana (figura 1.3), en el cual la mineralización ocurre en dicho sistema. Por su parte, en Cutter Cove (figura 2.5) se observa un arreglo de fallas similar al de Kundana, puesto que todas las vetas pertenecientes a los sistemas Cristina y Cutter; junto con Veta Gorda, muestran un rumbo NW; mientras que para Ingleses, este es NS. Estos rumbos fueron interpretados por Cordery (2015) como fallas de tipo R y su conjugada R' respectivamente (figura 3.1); las cuales están asociadas a un desplazamiento de rumbo paralelo (Niemeyer, 2008).

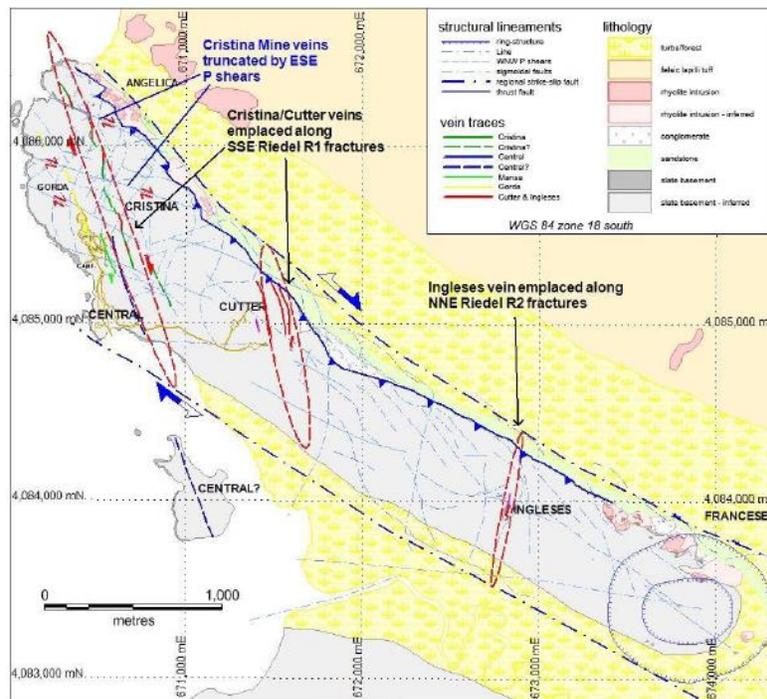


Figura 3.1: Interpretación estructural del distrito Cutter Cove. Imagen tomada de Cordery (2015).

3.3) RELACIÓN TEMPORAL ENTRE MINERALIZACIÓN Y ROCA HUÉSPED

Constreñir la edad de la mineralización presente en la zona de estudio presenta como principales dificultades la ausencia de dataciones en los sistemas de vetas, así como también la posibilidad de que haya habido múltiples pulsos hidrotermales -interpretado a partir del análisis de poblaciones-, por lo que sería esperable un rango de edades si se hicieran dataciones en el distrito. No obstante, tanto el estilo de mineralización como la relación espacial entre esta y la roca huésped, permiten realizar interpretaciones sobre el momento de la formación de las vetas.

En primer lugar, tal como se indicó anteriormente, el protolito del basamento perteneciente al CDMC consiste en un prisma de acreción formado entre el Paleozoico e inicios del Mesozoico, por lo que este rango constituye un primer límite superior para las edades de los sistemas de vetas. Además, durante el Cretácico Tardío se dio inicio al régimen compresivo en el margen oeste de Suramérica, que provocó la deformación y metamorfismo de dicho protolito en un rango de edades entre 100-85 Ma (Nelson, 1982). A raíz de este ambiente tectónico, se identifican a escala de afloramiento tanto la foliación del basamento (junto con bandas de Qz metamórfico paralelas a esta) como el plegamiento de este; los cuales son típicamente cortados por las vetas de Qz del distrito (figura 3.2A).

Por otra parte, si bien los intrusivos riolíticos presentes tampoco están datados, es posible conjeturar su correspondencia a alguna de las etapas de la conformación del BPS definidas por Hervé et al. (2007a). En dicho trabajo, se identificaron 6 períodos de plutonismo, de los cuales 3 ocurriendo a lo largo del Cretácico (denominados “Cretácico 1”, “2” y “3”). En particular, aquellos plutones correspondientes al “Cretácico 3” (126-75 Ma), ocurren en el extremo sur del BPS, el cual es adyacente a la Península de Brunswick, vale decir, existe una relación espacial entre estos y los del distrito. Bajo el supuesto de que estas intrusiones tienen también una relación temporal con las datadas por Hervé et al. (2007), entonces es razonable la suposición de que las vetas que se hospedan en estas (Angélica y Franceses), o bien cortan el contacto entre estas y el basamento (figura 3.2B); son posteriores al “Cretácico 3”.

A pesar de lo dicho en los párrafos anteriores, existe una dificultad al relacionar la mineralización con el alzamiento del basamento que ocurrió después de su deformación. Por un lado, es común observar brechización hidrotermal en diversos sectores del distrito (ver sección “Geología local”), lo que es coherente con un ambiente frágil e indicaría que la mineralización es sincrónica y/o posterior al alzamiento. Sin embargo, se ha reconocido, de forma ocasional, deformación dúctil en vetillas de Qz, particularmente en el sector de Veta Gorda (figuras 2.9C y 3.2A), lo que implica que existió mineralización cuando el comportamiento reológico del basamento aún no era frágil. Esto último refuerza la suposición de que los pulsos hidrotermales abarcaron un intervalo de tiempo en donde el basamento pasó de un estilo de deformación dúctil a uno frágil, siendo más robusta en este último. Según Nelson (1982), el alzamiento posterior a la deformación del CDMC, ocurrió entre 92-64 Ma.



Figura 3.2: Relación temporal entre vetillas y roca huésped (A) Vetillas de Qz cortando foliación y bandas de Qz metamórfico en afloramiento del sector de Veta Gorda; (B) muestra recogida en desmonte de Mina Cristina, se observa vetilla de Qz cortando contacto entre basamento y un intrusivo.

3.4) FLUIDOS HIDROTERMALES

Tanto el análisis multivariable como el de distribución espacial permiten inferir que en la mineralización presente en el distrito existen asociaciones entre los metales preciosos (Au, Ag) y los metales base (Cu, Pb, Zn). Para empezar, se ha reconocido una alta correlación Au-Ag en toda la zona, con la excepción de Angélica, Cristina y tres de los cuatro cuartiles de Mina Cutter; mientras que la correlación Pb-Zn sólo está ausente en los niveles superficiales de este último. Por otra parte, se verificó que las anomalías regionales de Au-Ag muestran una relación espacial en todos los sectores del distrito (al igual que las del plomo y el zinc), incluso en aquellos donde la correlación para el total de datos es inferior a 0,5.

Una vez aclarado esto, es pertinente discutir si estas zonas de metales base y metales preciosos fueron generadas por un único tipo de pulsos hidrotermales que haya cambiado sus parámetros termodinámicos en función del tiempo -de forma similar a como ocurre en los depósitos epitermales y que explicaría que la superposición de estas zonas no sea omnipresente-, o bien que haya múltiples fuentes; lo que implicaría que en realidad se tiene una “familia” de fluidos hidrotermales. Si bien ambas conjeturas explican la distribución espacial de ambas zonas, hay dos observaciones obtenidas del análisis de poblaciones que podrían sustentar la hipótesis de los fluidos derivados de múltiples fuentes: (1) con la excepción de Isla Green, el número de poblaciones de Ag siempre es mayor o igual a las de Au; mientras que (2), también con Isla Green como única excepción, la plata está siempre correlacionada con, a lo menos, un metal base (tabla 3.1).

Debido a que todas las mediciones de Au y Ag dentro de la base de datos exceden a sus respectivas medias globales, es sensata la hipótesis de que cada población de estos elementos esté relacionada con un pulso hidrotermal, o bien con una alteración de carácter supérgeno. Por lo tanto, si las poblaciones de Ag son mayores o iguales a las de Au, una explicación razonable es que exista una fuente alternativa de Ag, la cual estaría relacionada con el enriquecimiento de metales base en el distrito (lo que es coherente con el carácter argentífero de sus respectivos sulfuros) y sería pobre en Au (puesto que este sólo se asocia con los metales base en Franceses, Veta Gorda y en los cuartiles 2 y 3 de Cutter).

Tabla 3.1: Correlaciones entre Ag-Au y Ag con los metales base (Cu, Pb y Zn) presentes en los sistemas de vetas del distrito Cutter Cove.

Sector	Corr (Ag, Au)	Corr (Ag,Cu)	Corr (Ag,Pb)	Corr (Ag,Zn)
Cristina	0.21	0.93	0.65	0.38
Isla Green	0.92	0.38	0.18	0.036
Cutter	0.46	0.93	-0.37	0.26
Veta Gorda	0.84	0.7	0.65	0.59
Angélica	0.42	0.68	0.78	0.76
Ingleses	0.5	0.93	0.73	0.75
Franceses	0.72	0.94	0.26	0.26

Tomando en consideración el contexto tectono-magmático de la zona de estudio, se proponen 3 posibles fuentes para los fluidos hidrotermales que provocaron la mineralización observada: (1) fluidos de origen magmático relacionados a los plutones que conforman el BPS; (2) fluidos de origen metamórfico generados por la subducción de la Placa de Nazca (y posteriormente la Placa Antártica) bajo la Suramericana; y (3) fluidos metamórficos ricos en metales provenientes de las formaciones depositadas en la Cuenca de Rocas Verdes.

A pesar de que no existen evidencias que permitan asociar los intrusivos riolíticos con la mineralización del distrito, la presencia de estos indica que la actividad ígnea del BP tuvo, en algún intervalo de tiempo, una relación espacial con la zona de estudio. En efecto, los plutones más cercanos a Cutter Cove -aquellos datados por Hervé et al. (2007a) como pertenecientes al Cretácico tardío-, son los que necesitarían una menor migración de sus fluidos para generar los sistemas de vetas. Sin embargo, los demás plutones no son del todo descartables, debido a que el régimen extensional que se prolongó desde el Jurásico, generó fallas normales que podrían promover la migración de fluidos desde una mayor distancia.

Por otra parte, los fluidos metamórficos asociados a subducción son coherentes con el enriquecimiento de oro en el distrito, ya que los sedimentos subductados contienen Piritita que libera azufre al convertirse en Pirrotina, el cual forma una molécula compleja con el oro para su posterior transporte y la formación de oro orogénico (Gaboury, 2019). Si bien en la actualidad se tiene un borde transformante relacionado al límite entre la Placa Sudamericana y la Placa de Scotia; en el pasado geológico, el ambiente era de subducción. En un comienzo este se generó por la convergencia con la Placa de Nazca, la que progresivamente migró hacia el norte para dar paso a la Placa Antártica. En consecuencia, hasta antes de que la Placa de Scotia llegara a su posición actual, se tuvo un borde convergente en la Patagonia que pudo haber generado fluidos hidrotermales de carácter metamórfico y que estarían asociados a los enriquecimientos de Au, As y, en menor medida, de Sb (Agangi et al., 2019).

Sin embargo, en el trabajo de Groves et al. (1998) se menciona que los depósitos de oro orogénico se caracterizan por tener una razón Au:Ag que varía de 10 a 1; y por ser pobres en metales base. Por lo tanto, a pesar de que los fluidos asociados a subducción explicarían el enriquecimiento de oro y de los semi metales; son insuficientes para justificar la mineralización de sulfuros de metales base como Cu, Pb y Zn. Además, la concentración de oro es menor a la de plata en todos los sectores del distrito, por lo que tampoco se cumple que su razón varíe entre 10 y 1.

Debido a lo anterior, se propone un mecanismo similar al del trabajo de Li et al. (2021), en donde la sedimentación en un ambiente de rift habría acumulado los metales base que posteriormente fueron transportados hasta el depósito de Huogeqi. De forma análoga a dicha mina, la Cuenca de Rocas Verdes formada durante el régimen extensional, coincide con dicho ambiente de rift necesario para acumular sedimentos. Hasta antes de la inversión tectónica, se depositaron en esta las formaciones Tobífera y Zapata (ver “Geología regional”), las que estaban asociadas al volcanismo del arco y que propiciarían el enriquecimiento de metales base. Posteriormente, desde el Cretácico Tardío, el régimen compresivo pudo haber generado un metamorfismo prógrado que permitió la removilización y acumulación de estos metales, en donde las fallas formadas previamente (ahora reactivadas como inversas), constituyen un medio para el transporte de sus respectivos fluidos.

3.5) VETA GORDA

3.5.1) Texturas y estilos de mineralización

En la sección de geología local se constató que, entre las muestras recogidas en las cercanías de Veta Gorda, hubo brechización de carácter hidrotermal (figura 2.8C), vale decir, fracturamiento de la roca huésped a causa de la presión ejercida por los fluidos que provocaron la mineralización. Por otra parte, se identificó bandeamiento dentro de algunas vetas centimétricas de Qz, pudiendo ser tanto de textura coliforme (figura 2.8A), o bien en forma de bandas rectas (figura 2.8B).

Si bien la brechización hidrotermal no es una textura exclusiva de los depósitos epitermales, es evidencia de que la mineralización ocurrió en condiciones de deformación frágil, lo que permite acotar el rango de profundidades en que se formó el depósito. Por otra parte, el bandamiento es común en los depósitos epitermales de baja sulfuración (White & Hedenquist, 1995), donde incluso se ha planteado que se relaciona con el proceso de ebullición que genera los horizontes de metales base y metales preciosos (Buchanan, 1981).

3.5.2) Minerales de alteración

Junto con el cuarzo, el mineral de ganga más frecuente en este sector es la clorita, la cual está presente tanto en las vetas que contienen la mineralización como en el basamento que las hospeda (provocando cloritización). Este mineral pertenece a la asociación que

conforma la alteración propilitica, la que indica condiciones de pH neutro a alcalino y temperaturas menores a 300°C. En relación a estos parámetros, se ha reconocido en las perforaciones cercanas a Veta Gorda, un mineral que posiblemente sea adularia (figura 3.3), ya que muestra una dureza media, un color cremoso y se encuentra en el basamento, cerca del contacto con las vetillas de Qz (se descarta que sea un carbonato debido a que no reaccionó con ácido).

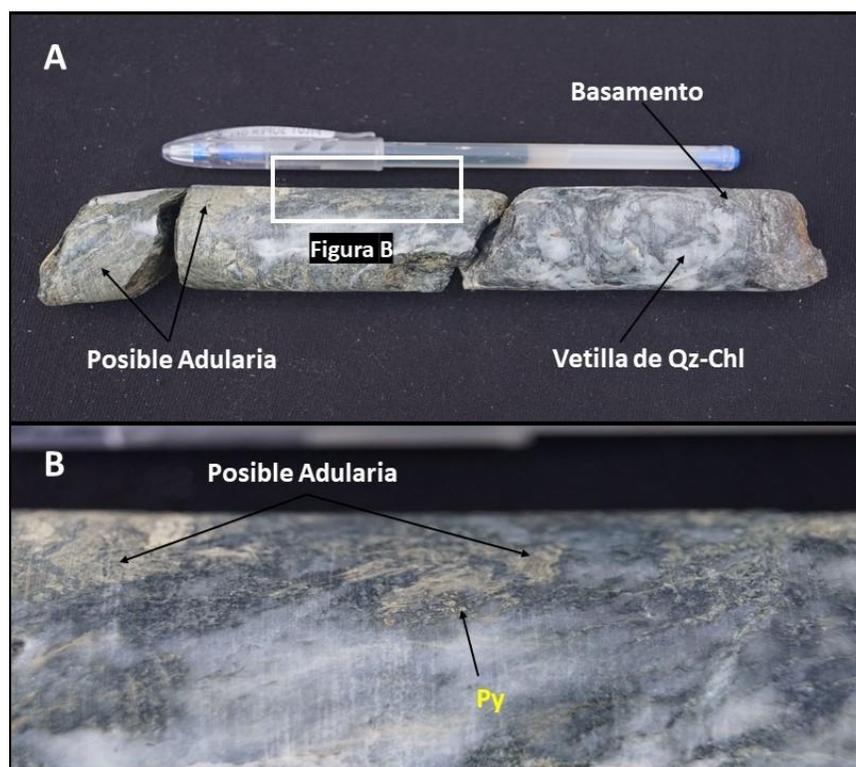


Figura 3.3: (A) Posible presencia de adularia en basamento metamórfico adyacente a vetilla de Qz-Chl; (B) zoom de la figura 3.3A, se reconocen trazas de pirita.

Por otra parte, está demostrada la presencia de minerales del grupo de los carbonatos en este depósito. Para empezar, en Cordery (2015) se hace mención a un mineral perteneciente a este grupo que presenta una coloración que varía de crema a rosa pálido y que rellena fracturas (aunque no se indica cuál es); mientras que en las muestras recogidas del desmonte se ha observado efervescencia dentro de las vetillas -y en las cercanías de estas- al contacto con el ácido. En resumen, se ha constatado la presencia de clorita, carbonatos y posiblemente adularia; siendo estos indicadores de bajas temperaturas y pH neutro a alcalino; vale decir, las condiciones típicas de un depósito epitermal de baja sulfuración.

Por el contrario, la alteración argílica avanzada está completamente ausente en este depósito, pues no se reconoció en las muestras tomadas de los desmontes ni en las perforaciones realizadas en las cercanías de este; además, el reporte de Cordery (2015) indica que los minerales de alteración más frecuentes son clorita y sericita. Esto puede ser un respaldo para suponer que el depósito de Veta Gorda, en caso de ser epitermal, corresponde a uno de baja sulfuración.

Si bien la alteración argílica avanzada está presente en depósitos LS y HS, en los primeros tiene un carácter estrictamente superficial, debido a que sólo se genera cuando el H₂S liberado por la ebullición reacciona con aguas subterráneas cercanas de la superficie. En cambio, en los depósitos HS los fluidos pueden lixiviar tempranamente a la roca huésped debido a su pH ácido, generando así un halo de alteración en donde sería posible identificar cuarzo oqueroso y/o alunita, lo cual no ocurre en Veta Gorda.

3.5.3) Análisis geoquímico y mineralogía de sulfuros y sulfosales

Siguiendo el modelo propuesto por Buchanan (1981), se pueden reconocer en el análisis geoquímico diversos argumentos para catalogar a la Veta Gorda como un depósito de carácter epitermal. En primer lugar, el análisis multivariable (tabla AII.4) revela que la correlación entre el Au y la Ag se incrementa con la elevación (0,35 a niveles profundos y 0,85 en someros), mientras que la correlación entre el Pb y el Zn aumenta con la profundidad (0,78 y 0,61 respectivamente); siendo coherente con un horizonte superior de metales preciosos con mineralización de electrum y uno inferior rico en Sph y Gal. Esto se ve respaldado también por el hecho de que las concentraciones promedio del oro y la plata son mayores en los niveles superiores (0,49 y 15,02 ppm respectivamente).

En relación a los minerales asociados al horizonte de metales preciosos, la alta correlación Au-Ag permite inferir la presencia de electrum a pesar de no ser reconocida a escala de muestra de mano. De modo similar, en Cordery (2015) se menciona la identificación de argentita a escala de microscopio, la que puede encontrarse tanto aislada como en contacto con Cpy. Luego, la alta correlación que tiene la plata con el antimonio tanto a niveles profundos (0,65) como someros (0,85), es un argumento a favor para inferir la presencia de sulfosales de dichos elementos, vale decir, pirargirita y/o estefanita. Finalmente, si bien el oro no tiene una correlación elevada con el hierro, el hecho de que esta se incremente con la elevación (0,092 y 0,24) puede ser indicador de que la Py adquiere progresivamente un carácter aurífero.

A pesar de lo mencionado anteriormente, el análisis univariable (tabla AI.6) indica que las concentraciones de los metales base se incrementan hacia los niveles someros en un orden de magnitud en comparación a los más profundos, lo cual contradice lo esperado según el modelo de Buchanan (1981). Para explicar esto se han propuesto las siguientes interpretaciones: (1) el rango de elevaciones donde se realizaron los sondeos podría corresponder a una zona de telescopio, vale decir, una superposición de mineralizaciones de metales base y metales preciosos; y (2) pudo haber un pulso de fluidos rico en metales base que no esté asociado a sistemas epitermales -por ejemplo, uno relacionado a Mina Cristina- y que se superponga a Veta Gorda, o bien sea anterior a esta.

La primera interpretación es plausible si se toma en cuenta que Veta Gorda se hospeda en un basamento metamórfico, debido a que los depósitos epitermales tienden a encontrarse en rocas volcánicas que sobreyacen dicha litología (White & Hedenquist, 1990). Por lo tanto, si originalmente el horizonte superior de Veta Gorda hubiese estado hospedado en una roca ígnea -por ejemplo, una lava o toba de Formación Tobífera, la cual se depositó sobre el basamento de la zona de estudio- y esta fuera erosionada, entonces es esperable que

sólo se conserven los niveles inferiores de dicho depósito, a saber, la zona de telescopio y el horizonte de metales base. Lo anterior se sustenta en el hecho de que la capa de paleosuelo muestra clastos de vetas de Qz y de Fm. Tobífera (ver sección “Geología local”), lo que es evidencia de un proceso de erosión.

En cambio, la interpretación de un pulso correspondiente a la mineralización de Cristina está fundada en la relación espacial que hay entre esta y Veta Gorda (figura 2.5). Por otra parte, el análisis de poblaciones (ver tabla 4) indica que tanto el Pb como el Zn tienen 10 poblaciones en Veta Gorda, mientras que el Au y la Ag sólo 8; lo cual implica que, además de los pulsos epitermales que generan mineralización de ambos horizontes mediante ebullición, pudo haber otros que sólo sean ricos en metales base (y en menor medida de plata, puesto que tanto la Galena como la Esfalerita tienen un carácter argentífero).

3.5.4) Sulfuración

En el trabajo de Hedenquist et al. (1996) se ordenan los minerales presentes en los depósitos LS y HS según su frecuencia y abundancia. Para el empezar, el electrum y la arsenopirita son comunes en los depósitos de LS, mientras que en los de HS son raros y, cuando están presentes, tienden a ser escasos. Por lo tanto, la alta correlación Au-Ag a niveles someros y el incremento de la correlación As-Fe con la profundidad, son coherentes con un depósito de baja sulfuración. A lo anterior, se le añade la identificación de carbonatos mencionada anteriormente, los cuales no están presentes en los depósitos HS, a menos que se superpongan a la alteración hipógena.

Por otra parte, la correlación entre el cobre y el arsénico a niveles superficiales (0,55) podría indicar la presencia de sulfosales de Cu-As, tales como enargita, luzonita o tennantita; los cuales son comunes en los depósitos HS. Sin embargo, dado que no se reconocieron en las muestras correspondientes al desmonte de Veta Gorda, ni tampoco se mencionan en el reporte de Cordery (2015); es razonable interpretar que estos minerales pueden estar presentes, aunque serían tan escasos que no son identificables a escala de muestra de mano. Además, según el trabajo de George et al. (2015), el arsénico puede encontrarse en la calcopirita (mineral común en depósitos LS) como solución sólida, lo que también explicaría la correlación entre ambos elementos.

3.6) ISLA GREEN

El análisis de multivariable realizado en Isla Green muestra similitudes con las asociaciones observada tanto en Veta Gorda como en Cristina; aunque también se observan características que no se relacionan a estas. Por lo tanto, se decidió hacer un listado con todas las interpretaciones derivadas del análisis de este sector, indicando sus posibles correspondencias con dichos sistemas. No obstante, se debe tener en consideración la escasez de datos disponibles (66) y el estrecho rango de las profundidades de estos (puesto que en Isla Green solamente existe información de canaletas).

- La correlación Au-Ag en Isla Green es 0,92, lo cual implica la presencia de Electrum. Se ha interpretado que en los niveles superiores de Veta Gorda esta solución sólida se encuentra presente. Por otro lado, en Cristina la correlación entre ambos metales preciosos es baja en todos los cuartiles considerados.
- La plata tiene una correlación particularmente baja con los metales base presentes (0,38 con el Cu, 0,18 con el Pb y 0,036 con el Zn), lo que indica una diferencia importante con Veta Gorda, puesto que en dicho sector todos los metales base están asociados con la Ag a niveles someros y profundos. En relación a Cristina, existe una alta correlación Ag-Cu en todos los rangos de profundidades, mientras que las correlaciones con el plomo y el zinc muestran variaciones abruptas entre los cuartiles.
- El arsénico tiene una correlación de 0,66 con el Fe en Isla Green, por lo que se interpreta que la fase predominante para dicho semi metal es la Arsenopirita. Si bien la correlación As-Fe aumenta con la profundidad en Veta Gorda, esta nunca llega a ser superior a 0,5. En cambio, en los niveles superiores de Cristina, esta llega a un valor de 0,73.
- La baja correlación Ag-Sb en Isla Green (0,46) hace poco probable la presencia de sulfosales de estos elementos, tales como Pirargirita como Estefanita (los cuales podrían estar presentes en Veta Gorda). Esto lo asemeja con el primer y tercer cuartil de Mina Cristina, dado que la correlación Ag-Sb en dichos intervalos es 0,41 y 0,48 respectivamente.
- El cobre y el antimonio tienen una correlación de 0,55 en Isla Green, lo que puede implicar que la Cpy presente tiene un carácter antimónico, o bien ser un indicador de la presencia de Tetrahedrita. Esta asociación no está presente en Veta Gorda (incluso la correlación entre estos elementos llega a 0,29 en niveles profundos), mientras que, en Cristina, esta se reconoce en el segundo cuartil (0,75) y en el cuarto (0,51).
- Finalmente, se infiere la asociación Esfalerita-Galena dada la alta correlación Pb-Zn (0,73); siendo esta omnipresente tanto en Veta Gorda como en Cristina.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1) DEPÓSITOS OROGÉNICOS

Existen diversas observaciones que sustentan la hipótesis de que los sectores de Cristina, Cutter, Angélica, Ingleses y Franceses; consisten en depósitos orogénicos polimetálicos, entre las que se mencionan: (1) el ambiente geológico corresponde a un orógeno donde se tuvo inicialmente un régimen comprensivo, el cual pasó a uno transformante; (2) a escala distrital se verifica un importante control estructural sobre la mineralización (válido para Cutter, Cristina e Ingleses); (3) la alteración predominante es la cloritización, la cual pertenece a la facies esquistos verdes, siendo esta la más frecuente en depósitos orogénicos; (4) a pesar del plutonismo existente en la zona, se han verificado posibles fuentes de fluidos metamórficos; y (5) el enriquecimiento de metales base descarta que los sistemas de vetas correspondan a un depósito de oro orogénico, mientras que refuerza que estos sean de carácter polimetálico, similares de los del tipo Cobar.

A pesar de que no se dispone de dataciones para inferir el rango de edades para los sistemas de vetas del distrito, se ha interpretado que estas no son anteriores al Cretácico Tardío a partir de las siguientes observaciones: (1) la mineralización hospedada en el basamento corta tanto la foliación como el plegamiento de esta, por lo tanto, si se asume que estas estructuras son producto del régimen compresivo iniciado en el Cretácico Tardío, entonces la génesis de los depósitos debe ser posterior a este; (2) para la generación de fluidos metamórficos provenientes de un ambiente de rift, se requiere un régimen compresivo que cierre la cuenca y permita la generación de dichos fluidos mediante metamorfismo regional; y (3) si los fluidos tuvieran un origen magmático, entonces la fuente más probable de estos son los plutones generados a finales del cretácico (Hervé et al., 2007a).

Por lo tanto, entre las posibles fuentes de fluidos hidrotermales mencionadas en la discusión, la única que no está acotada al Cretácico Tardío es la subducción ocurrida en el margen oeste de la Placa Sudamericana. Sin embargo, aunque dichos fluidos se hayan generado previamente, sigue siendo necesario que la mineralización ocurra después de la deformación del basamento. Esto último es coherente con la caracterización realizada por Groves et al. (2018), en donde se indica que la mineralización de los depósitos orogénicos no ocurre en las etapas iniciales de un orógeno.

Para solucionar esto, se recomienda estudiar los isótopos de S para constreñir la fuente de los fluidos hidrotermales, considerando la conjetura de que esta posiblemente no sea única. Además del interés estrictamente académico que puede suscitar la caracterización metalogénica del distrito, la determinación de la fuente de los fluidos puede ser alentadora en términos de exploración para nuevos depósitos orogénicos en la región. Esto se debe a que, tanto el régimen compresivo que generó la Faja Plegada y Corrida de Magallanes como el posterior Sistema Transformante Fagnano, se extienden desde la Península Brunswick hasta Tierra del Fuego, por lo que constituyen un ambiente propicio para la generación de estos depósitos.

4.2) VETA GORDA

Los argumentos que favorecen la hipótesis de que la mineralización de Veta Gorda se ajusta a un depósito epitermal de baja sulfuración se resumen a continuación: (1) las asociaciones minerales y la relación espacial entre estas corresponden, parcialmente, al modelo de Buchanan (1981); (2) la brechización hidrotermal y la textura bandeadas observadas son típicas -aunque no exclusivas- de los depósitos epitermales; (3) la cloritización del basamento y la presencia de clorita en las vetas de Qz indican un equilibrio entre la roca huésped y la mineralización; y (4) la presencia de carbonatos y la ausencia de minerales propios de la alteración argílica avanzada (alunita, cuarzo oqueroso, arcillas) indican condiciones de pH neutro a alcalino, lo que descarta que el depósito sea de HS.

Por otra parte, para explicar el enriquecimiento de los metales base en los niveles superiores de los sondajes, se recomienda estudiar los isótopos estables de S. Dicho estudio permitiría discernir el origen de los fluidos hidrotermales, pudiendo dilucidar si estos provienen de un magma -con participación de aguas meteóricas-, o bien de un proceso metamórfico. Si se estableciera que toda la mineralización tiene un único origen -en lugar de una superposición de fluidos asociados a Cristina-, aún seguiría siendo plausible que este depósito sea epitermal, pero se requiere hacer el alcance de que la sección estudiada probablemente corresponda a una zona de telescopio.

4.3) ISLA GREEN

La mayor similitud que muestra Isla Green con Veta Gorda es que ambos tienen una alta correlación Ag-Au, la cual está ausente en Cristina. Por otra parte, la ausencia de Ag en los sulfuros de metales base (Cpy, Sph, Gal), discrepa con lo observado tanto en Gorda como en Cristina. A pesar de esto, si fuera cierta la hipótesis de que el enriquecimiento de metales base en Veta Gorda se debe a una superposición de fluidos hidrotermales asociados a Cristina, entonces se podría explicar la ausencia de plata en los sulfuros de metales base en Isla Green.

Lo anterior se debe a que, si dichos fluidos hubieran generado mineralización únicamente a Gorda, entonces es esperable que el enriquecimiento en Isla Green sea similar a la de dicho sector sin la superposición de los fluidos asociados a Cristina, vale decir, mineralización de electrum y sulfuros pobres en plata. A esto se le añade que las leyes promedio de los metales base son bajas en Isla Green (0,055% para el Pb y 0,072% para el Zn) en comparación Gorda y Cristina; lo que podría indicar que sus fluidos hidrotermales son pobres en dichos elementos. Sin embargo, se debe tener presente que la cantidad de mediciones realizadas en Isla Green (66) y el hecho de que estas correspondan únicamente a canaletas; implican que la data puede no ser representativa del sector.

La principal recomendación para este sector, es que se considere la realización de sondajes para estudiar el comportamiento de los metales base y metales preciosos en profundidad. Ya que, si fuera cierto que Isla Green es una prolongación de Veta Gorda, entonces es esperable una zonación de los metales que se asemeje al modelo de Buchanan (1981).

BIBLIOGRAFÍA

- Agangi, A., Reddy, S., Zivak, D., Fougereuse, D., Clark, C., Roberts, M., & Johnson, T. (2019). Antimony in rutile as a pathfinder for orogenic gold deposits. *Ore Geology Reviews*. 106. 10.1016/j.oregeorev.2019.01.018.
- Best, M.G. (2003). *Igneous and Metamorphic Petrology*. Blackwell Science Ltd.
- Bruce, R.M., Nelson, E.P., Weaver, S.G., Lux, D.R. (1991). Temporal and spatial variation in the southern Patagonian batholith: constraints on magmatic arc development. In: Harmon, R.S., Rapela, C.W. (Eds.), *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*. Special Paper, Geological Society of America, vol. 265, pp. 1–12.
- Brunh, R.L., Dalziel, I.W.D. (1977). Destruction of the early Cretaceous marginal basin in the Andes of Tierra del Fuego. In: TALWANI, M. & PITMAN, W.C. III (eds) *Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-Arc Basins*. American Geophysical Union, Maurice Ewing Series, 1,395-405.
- Buchanan, L.J. (1981). Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest. In: W.R. Dickson and W.D. Payne (Editors), *Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera*. Ariz. Geol. Soc. Dig., 14, 237-262.
- Calderón, M., Fildani, A., Hervé, F., Fanning, C.M., Weislogel, A., Cordani, U. (2007). Late Jurassic bimodal magmatism in the northern seafloor remnant of the Rocas Verdes basin, Southern Patagonian Andes. *Geol Soc London* 164 :1011–1022.
- Calderón, M., Hervé, F., Fuentes, F., Fosdick, J., Sepulveda, F. & Galaz, G. (2016). Tectonic Evolution of Paleozoic and Mesozoic Andean Metamorphic Complexes and the Rocas Verdes Ophiolites in Southern Patagonia. In: Ghiglione, M.C. (Ed.), *Geodynamic Evolution of the Southernmost Andes*. Springer Earth System Sciences, 7-36.
- Cañón, A. (2000). Nuevos antecedentes en la estratigrafía de la Cuenca de Magallanes. *Anales Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Naturales*, Vol. 28: 41-50.
- Charrier, R., Pinto, L. & Rodríguez, M. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *Geological Society Special Publication*. pp. 21-114.
- Cochilco (2017). A 30 años del Plan Aurífero Nacional, una revisión a la minería de oro en Chile. Dirección de Estudios y Políticas Públicas.

- Cook, N. & Chryssoulis, S. (1990). Concentrations of invisible gold in the common sulfides. 28. 1-16.
- Cordery, J. (2015). Cutter Project data compilation report.
- Cuitiño, J.I., Varela, A.N., Ghiglione, M.C., Richiano, S., Poiré, D.G. (2019). The Austral-Magallanes basin (southern Patagonia): a synthesis of its stratigraphy and evolution. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 26(2): 155-166.
- Dalziel, I.W.D., De Wit, M.J., Palmer, K.F. (1974). Fossil marginal basin in the southern Andes. *Nature*, 250, 291–294.
- David, V. (2005). Metallogensis of the Cobar region, central North South Wales. *Australian Journal of Mineralogy*, vol 11, n°2; pp. 55-61.
- Fildani, A., Cope, T.D., Graham, S.A., Wooden, J.L., (2003). Initiation of the Magallanes foreland basin: timing of the southernmost Patagonian Andes orogeny revised by detrital zircon provenance analysis. *Geology* 31: 1081-1084.
- Fildani, A., Hessler, A. M. (2005). Stratigraphic record across a retroarc basin inversion: Rocas Verdes–Magallanes basin, Patagonian Andes, Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 117, 11/12: 1596-1614.
- Fildani, A., Romans, B., Fosdick, J., Crane, W., Hubbard, S. (2008). Orogenesis of the Patagonian Andes as reflected by basin evolution in southernmost South America. *Arizona Geological Society Digest* 22: 259-268.
- Fuenzalida, R., Covacevich, V.C. (1988). Volcanismo y bioestratigrafía del Jurásico Superior y Cretácico Inferior, en la Cordillera Patagónica, Región de Magallanes, Chile. 5° Congreso Geológico Chileno, Actas 3: 159-183.
- Gaboury, D. (2019). Parameters for the formation of orogenic gold deposits. *Applied Earth Science*. 128. 1-10. 10.1080/25726838.2019.1583310.
- Galaz, G., Hervé, F., Calderón, M. (2005): Metamorfismo y deformación de la Formación Tobífera en la Cordillera Riesco, Región de Magallanes, Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60, 4: 762-774.
- George, L., Cook, N., Crowe, B., & Ciobanu, C. (2018). Trace elements in hydrothermal chalcopyrite. *Mineralogical Magazine*, 82(01), 59–88. doi:10.1180/minmag.2017.081.021
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I. (2015). Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos* 233, pp. 2–26.

- Goldfarb, R.J., Phillips, G.N., Nokleberg, W.J. (1998). Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. *Ore Geol. Rev.* 13, pp. 185–218.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* 13, 7-27.
- Groves, D., Santosh, M., Goldfarb, R.J. & Zhang, L. (2018). Structural geometry of orogenic gold deposits: Implications for exploration of world-class and giant deposits. *Geoscience Frontiers*. 9. 10.1016/j.gsf.2018.01.006.
- Halpern, M. (1973). Regional Geochronology of Chile south of 50° latitude. *Geological Society of America Bulletin* 84, 2407–2422.
- Hedenquist, J.W. (1987). Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-Pacific Basin. In: M.K. Horn (Editor), *Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, Singapore. Am. Assoc. Pet. Geol., pp. 513-524.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A., White, N.C. (1996). Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration. *Resource Geology Special Publication* 1, 17 pp.
- Hervé, F., Calderón, M., Faundez, V. (2008) The metamorphic complexes of the Patagonian and Fueguian Andes. *Geol Acta* 6:43–53.
- Hervé, F., Pankhurst, R., Fanning, C., Calderón, M., Yaxley, G. (2007a). The South Patagonian batholith: 150 My of granite magmatism on a plate margin. *Lithos*. 97. 373-394. 10.1016/j.lithos.2007.01.007.
- Hervé, F., Massonne, H-J., Calderón, M., Theye, T. (2007b) Metamorphic PT conditions of Late Jurassic rhyolites in the Magallanes fold and thrust belt, Patagonian Andes, Chile. *J Iberian Geol* 33: 5–16.
- Hervé, M., Suárez, M., Puig, A. (1984). The Patagonian batholith south of Tierra del Fuego, Chile: timing and tectonic implications. *Journal of the Geological Society*, London 141, 909–917.
- Klepeis, K.A., Betka, P., Clarke, G., Fanning, M., Hervé, F., Rojas, L., Mpodozis, C. & Thomson, S. (2010). Continental underthrusting and obduction during the Cretaceous closure of the Rocas Verdes rift basin, Cordillera Darwin, Patagonian Andes. *Tectonics* 29, 1-24, doi: 10.1029/2009tc002610.

- Lindgren, W. (1933). *Mineral Deposits*, 4th ed. McGraw Hill, New York and London, 930 pp.
- Li, W., Zhong, R., Chen, Y., Pi, Q. (2021). Orogenic-Type Polymetallic Mineralization Associated with Multistage Orogenesis in Northern North China Plate. 10.1007/978-981-16-1346-3.
- Malkowski, M.A., Grove, M., Graham, S.A. (2015). Unzipping the Patagonian Andes—Long-lived influence of rifting history on foreland basin evolution. *Lithosphere*. doi:10.1130/L489.1
- Nelson, E. (1982). Post-tectonic uplift of the Cordillera Darwin orogenic core complex: Evidence from fission track geochronology and closing temperature-time relationship, *J. Geol. Soc.*, 139, 755–761, doi:10.1144/gsjgs.139.6.0755.
- Nelson, E., Bruce, E., Elthon, D., Kammer, D., Weaver, S. (1988). Regional lithologic variation in the Patagonian batholith. *J. South Am. Earth Sci.* 1(3), 239–247.
- Niemeyer, H. (2008). *Geología Estructural*. Ril editores.
- Olivero, E., Acevedo, R., Martinioni, D.R. (1997). Geología y estructura del Mesozoico de Bahía Ensenada, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52: 169-179.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. 1992 Edition, Springer, 1250 pp.
- Romans, B.W., Fildani, A., Hubbard, S.M., Covault, J.A., Fosdick, J.C., Graham, S.A. (2011). Evolution of deep-water stratigraphic architecture, Magallanes Basin, Chile. *Marine and Petroleum Geology* 28: 612-628.
- Sinclair, A. (1976). *Applications of probability graphs in mineral exploration*. Special Volume No. 4
- Stern, C.R. (1979). Open and closed system igneous fractionation within two Chilean ophiolites and the tectonic implications. *Contrib Miner Petrol* 68: 243–258.
- Stern, C.R. (1980). Geochemistry of Chilean ophiolites: evidence for the compositional evolution of the mantle source of back-arc basin basalts. *J Geophys Res* 85: 955–966.
- Stern, C.R., De Wit, M.J. (2003). Rocas Verdes ophiolites, southernmost South America: remnants of progressive stages of development on oceanic-type crust in a continental margin back-arc basin. In: Dilek, Y. & Robinson, P.T. (eds) *Ophiolites in Earth History*. Geological Society, London, Special Publications, 218, 1–19.

- Stern, C.R., De Wit, M.J., Lawrence, J.R., (1976). Igneous and metamorphic processes associated with formation of Chilean ophiolites and their implications for ocean floor metamorphism, seismic layering and magnetism. *J Geophys Res* 81: 4370–4380.
- Stern, C.R., Mukasa, S.B., Fuenzalida, R. (1992). Age and petrogenesis of the Sarmiento ophiolite complex of southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 6, 97–104.
- Suárez, M. (1977). Notas geoquímicas preliminares del Batolito Patagónico al sur de Tierra del Fuego, Chile. *Revista Geológica de Chile* 4: 15-33.
- Torres-Carbonell, P.J., Olivero, E.B., Dimieri, L.V. (2008). Control en la magnitud de desplazamiento de rumbo del Sistema Transformante Fagnano, Tierra del Fuego, Argentina. *Rev. Geol. Chile* 35 (1), 63–77.
- Townley, B., Díaz, A. & Luca, R. (2017). Cobalt Mineral Resources in Chile; Exploration and Mining Potential. CORFO, Comité Minería No Metálica y Sernageomin., AMTC, Universidad de Chile.
- Townley, B., MaksaeV, V., Palacios, C., Lahsen, A. & Parada, M.A. (2000). Base and Precious Metals Geochemistry of Rock Units of the Mainland Aysén Region, Chilean Patagonia. *Journal of Geochemical Exploration*, v.68, pp. 21–46.
- White, N.C., Hedenquist, J.W. (1990). Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, v.36, pp. 445-474.
- White, N.C., Hedenquist, J. (1995). Epithermal gold deposits. Styles, characteristics and exploration. *Society of Economic Geologists, Newsletter*. 23, pp. 1, 9-13. 10.5382/SEGnews.1995-23.fea.
- Wilson, T. J. (1991). Transition from back-arc to foreland basin development in the southernmost Andes: Stratigraphic record from the Última Esperanza District, Chile. *Geological Society of America Bulletin* 103: 98-111.
- Winter, J.D. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, 697.

ANEXOS

ANEXO A: Análisis univariable

Tabla AI.1: Estadígrafos para ley de Cu (%) en canaletas subterráneas en Cristina y Cutter.

Estadígrafos	Cu %	
	Cristina	Cutter
Número de datos	144	37
Mínimo	0.1	1.04
Máximo	7.55	18.97
Promedio	2.50375	4.17054054
Mediana	2.225	3.1
Moda	1.2	2.7
Desviación estándar (sd)	1.44133528	3.42852005
Error estándar (es)	0.0083372	0.05004395
Varianza	2.07744738	11.7547497
Curtosis	1.76072557	8.73263918

Tabla AI.2: Estadígrafos para los cuartiles de las canaletas subterráneas en Cristina

Estadígrafos	Z to 13.81 [25.00%]	Z to 14.01 [50.00%]	Z to 51.61 [75.00%]	Z to 62.61 [100.00%]
Número de datos	72	25	33	14
Mínimo	0.1	0.98	1.2	0.6
Máximo	6.85	4.17	7.55	4
Promedio	2.222083333	2.2656	3.58969697	1.81785714
Mediana	2.075	2.14	3	1.375
Moda	-	-	2.6	-
Desviación estándar (s)	1.277219623	0.82563148	1.73743432	1.09765609
Error estándar (es)	0.50859542	0.401060494	0.36719471	0.57633288
Varianza	1.631289965	0.68166733	3.01867803	1.2048489
Curtosis	1.591296602	-0.35197794	-0.13487593	0.20640726

Tabla AI.3: Estadígrafos de sondajes en Cristina

		Cristina										
Estadígrafos		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	N° de datos	775	775	775	775	775	775	775	775	775	775	775
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	0.00005	0.00005	0.5	0.5	0.5	0.00005	0.5	0.00005
	Máximo	215	2414	6.647	5.818	35.89	3720	34	17600	1.25	51	5.68
	Promedio	4.38	49.52	0.09	0.14	4.305	1192.39	1.74	820.53	0.024	2.73	0.093
	Mediana	0.3	17	0.003	0.0045	4.13	1187	1	620	0.0039	2	0.011
	Moda	0.2	0.5	0.003	0.00005	0.00005	0.5	1	0.5	0.00005	2	0.00005
	s	17.01	161.52	0.35	0.55	2.63	610.47	2.51	1187.45	0.087	4.16	0.43
	e _s	0.61	5.8	0.013	0.02	0.094	21.93	0.09	42.65	0.0031	0.15	0.016
	Varianza	289.297	26089.8	0.12	0.299	6.91	372670.71	6.29	1410037.7	0.0075	17.33	0.19
	Curtosis	56.11	97.24	186.92	48.49	31.64	1.75	79.31	61.89	81.53	68.83	75.77
Z to -71.69 [25.00%]	N° de datos	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
	Mínimo	0.2	5	0.003	0.0001	1.34	590	1	80	0.0002	2	0.0022
	Máximo	65	133	0.164	1.972	6.84	3720	34	2410	0.46	31	1.39
	Promedio	0.79	19.74	0.012	0.021	4.05	1360.92	2.19	630.82	0.012	2.22	0.033
	Mediana	0.2	17	0.003	0.004	3.95	1282.5	1	620	0.0041	2	0.014
	Moda	0.2	12	0.003	0.0037	-	-	1	620	0.0005	2	0.007
	s	4.75	13.99	0.02	0.14	0.99	454.68	3.45	237.38	0.043	2.28	0.107
	e _s	0.34	1.004	0.0015	0.01	0.071	32.64	0.25	17.04	0.0031	0.16	0.0077
	Varianza	22.58	195.69	0.0004	0.021	0.97	206734.82	11.93	56347.5	0.0019	5.19	0.011
	Curtosis	175.23	28.97	18.28	176.59	0.51	6.78	50.72	16.89	78.46	138.67	138.73
Z to -35.79 [50.00%]	N° de datos	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
	Mínimo	0.2	2	0.003	0.0003	0.48	412	1	5	0.0002	2	0.0021
	Máximo	57	1204	6.647	2.362	10.48	3645	15	9100	0.2732	30	0.5911
	Promedio	1.94	35.79	0.044	0.07	4.25	1541.74	2.03	736.06	0.011	2.47	0.035
	Mediana	0.3	17	0.003	0.00535	4.235	1444	1	590	0.0028	2	0.00995
	Moda	0.2	13	0.003	0.0026	4.33	-	1	-	-	2	-
	s	7.11	110.001	0.48	0.29	1.46	515.32	2.26	1011.86	0.026	2.51	0.082
	e _s	0.51	7.9	0.034	0.021	0.11	36.998	0.16	72.65	0.0019	0.18	0.0059
	Varianza	50.61	12100.3	0.23	0.084	2.14	265555.75	5.11	1023870	0.0007	6.302441	0.0067
	Curtosis	38.74	81.76	193.6	40.49	2.53	2.36	12.54	41.84	54.8	79.18	25.58

Tabla AI.3 (continuación)

Estadígrafos	Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %	
Z to 5.7 [75.00%]	N° de datos	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	0.00005	0.00005	0.5	0.5	0.5	0.00005	0.5	0.00005
	Máximo	111	912	0.5	4.38	11.74	3655	32	3000	0.438	13	2.04
	Promedio	1.84	27.19	0.11	0.058	3.63	996.99	1.53	566.6	0.016	1.86	0.061
	Mediana	0.4	15	0.003	0.0032	3.9	1072	1	630	0.0049	2	0.011
	Moda	0.2	0.5	0.003	0.00005	0.00005	0.5	1	0.5	0.00005	2	0.00005
	s	8.5	72.22	0.198	0.33	2.32	681.06	2.62	430.85	0.042	1.26	0.23
	e _s	0.61	5.198	0.014	0.024	0.17	49.02	0.19	31.01	0.003	0.09	0.016
	Varianza	72.24	5215.04	0.039	0.11	5.36	463836.13	6.87	185635.83	0.0018	1.58	0.052
	Curtosis	143.6	118.95	0.053	150.85	0.64	1.26	100.17	7.35	56.27	37.33	44.61
Z to 74.29 [100.00%]	N° de datos	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	0.00005	0.00005	0.5	0.5	0.5	0.00005	0.5	0.00005
	Máximo	215	2414	4.049	5.818	35.89	2619	8	17600	1.25	51	5.68
	Promedio	12.94	115.23	0.19	0.396	5.29	868.91	1.19	1347.33	0.059	4.34	0.24
	Mediana	0.5	19.5	0.0075	0.0089	4.395	870	1	630	0.0039	2	0.0092
	Moda	0.2	0.5	0.003	0.00005	0.00005	0.5	1	0.5	0.00005	2	0.00005
	s	30.27	285.002	0.46	0.95	4.21	515.98	0.84	2000.77	0.16	7.26	0.81
	e _s	2.17	20.46	0.033	0.068	0.302	37.05	0.06	143.65	0.011	0.52	0.058
	Varianza	916.18	81226.2	0.21	0.89	17.74	266234.62	0.699	4003089.2	0.024	52.75	0.65
	Curtosis	15.46	32.1	37.397	13.62	15.02	0.29	22.86	22.8	25.28	22.12	19.97

Tabla AI.4: Estadígrafos de canaletas superficiales en Isla Green

Isla Green											
Estadígrafos	Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
N° de datos	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Mínimo	0.2	9	0.003	0.0003	1.99	148	0.5	5	0.0005	1.5	0.0035
Máximo	69.7	781	13	0.2478	16.03	2821	4	1400	0.4457	137	0.7707
Promedio	4.49	97.95	0.47	0.029	6.2	1271.5	1.32	505.76	0.055	6.79	0.072
Mediana	0.5	47	0.049	0.0046	6.12	1323	1	540	0.0041	2	0.0097
Moda	0.2	47	0.003	-	-	992	1	-	0.0011	2	0.0095
s	10.38	119.56	1.66	0.056	2.166	487.27	0.75	289.66	0.11	17.15	0.15
e _s	1.28	14.72	0.204	0.0069	0.267	59.98	0.093	35.65	0.014	2.11	0.018
Varianza	107.65	14295.21	2.75	0.0032	4.69	237429.61	0.57	83900.96	0.013	294.17	0.022
Curtosis	24.28	15.62	52.17	5.87	5.76	0.97	3.86	0.52	5.34	53.06	10.31

Tabla AI.5: Estadígrafos sector Mina Cutter (canaletas superficiales y sondajes)

Cutter												
Estadígrafos		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	N° de datos	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598
	Mínimo	0.2	1	0.003	0.0001	0.76	62	1	5	0.0002	2	0.0005
	Máximo	257	6141	1.327	9.368	21.16	4963	15	3570	0.703	45	1.02
	Promedio	6.27	59.99	0.014	0.31	5.51	1161.3	1.53	847.73	0.0059	2.26	0.022
	Mediana	0.2	13	0.003	0.0084	4.59	1014	1	765	0.0006	2	0.0067
	Moda	0.2	10	0.003	0.0001	-	-	1	5	0.0002	2	-
	s	22.52	360.9	0.066	1.09	2.38	560.32	1.16	483.55	0.034	2.31	0.08
	es	0.92	14.76	0.0027	0.045	0.097	22.91	0.048	19.77	0.0014	0.09	0.0033
	Varianza	507.07	130249.06	0.0043	1.19	5.65	313952.97	1.36	233820.86	0.0012	5.35	0.0065
	Curtosis	48.56	185.56	291.73	34.8	8.51	11.94	44.54	2.8	305.33	219.68	102.62
Z to -16.28 [25.00%]	N° de datos	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	Mínimo	0.2	1	0.003	0.0001	2.07	459	1	110	0.0002	2	0.0041
	Máximo	29.1	310	0.225	1.26	8.5	3717	8	2070	0.0115	2	0.0258
	Promedio	0.618	17.19	0.0056	0.026	4.49	1001.5	1.26	846.2	0.0008	2	0.0064
	Mediana	0.2	11	0.003	0.0037	4.17	899	1	780	0.0005	2	0.00555
	Moda	0.2	10	0.003	0.0001	-	-	1	750	0.0002	2	0.0055
	s	2.55	31.11	0.019	0.11	1.19	410.25	0.79	320.46	0.0014	0	0.0028
	es	0.21	2.54	0.0015	0.009	0.097	33.5	0.064	26.17	0.00011	0	0.00023
	Varianza	6.51	967.98	0.00036	0.012	1.42	168302.33	0.62	102694.86	0.0000019	0	0.00000808
Curtosis	106.74	61.5	123.53	107.49	3.25	14.04	39.05	3.82	30.79	-	21.25	

Tabla AI.5 (continuación)

Estadígrafos	Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %	
Z to 28.32 [50.00%]	N° de datos	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	
	Mínimo	0.2	1	0.003	0.0001	3.32	611	1	25	0.0002	2	0.0043
	Máximo	62	620	0.159	3.404	18.1	4461	6	2460	0.703	20	1.02
	Promedio	2.08	29.04	0.0082	0.086	5.86	1342	1.31	1054.4	0.011	2.18	0.038
	Mediana	0.2	14	0.003	0.004	4.8	1147	1	850	0.0009	2	0.0071
	Moda	0.2	12	0.003	0.0001	-	1042	1	770	0.0002	2	0.0058
	s	7.97	64.4	0.021	0.35	2.59	655.12	0.73	519.74	0.065	1.53	0.14
	es	0.65	5.28	0.0017	0.028	0.21	53.67	0.059	42.58	0.0053	0.13	0.012
	Varianza	63.52	4147.7	0.00043	0.12	6.69	429181.77	0.53	270125.31	0.0043	2.34	0.02
	Curtosis	37.76	54.63	41.23	59.05	3.95	7.04	13.55	-0.61	91.63	126.89	36.51
Z to 41.16 [75.00%]	N° de datos	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
	Mínimo	0.2	4	0.003	0.0001	2.99	616	1	5	0.0002	2	0.0037
	Máximo	155	6141	0.722	9.368	21.16	3302	8	3040	0.084	45	0.296
	Promedio	8.71	75.95	0.014	0.44	6.12	1194.29	1.52	856.9	0.0052	2.39	0.0201
	Mediana	0.2	12	0.003	0.023	5.32	1066	1	760	0.0006	2	0.0076
	Moda	0.2	10	0.003	0.0011	-	-	1	5	0.0002	2	0.0065
	s	25.21	512.66	0.06	1.26	2.49	444.07	0.96	562.01	0.013	3.61	0.039
	es	2.06	41.86	0.0049	0.103	0.2	36.26	0.078	45.89	0.0011	0.29	0.0032
	Varianza	635.59	262819.65	0.0036	1.59	6.19	197196.28	0.92	315855.59	0.00017	13.02	0.0015
	Curtosis	18.82	134.14	129.53	29.16	9.22	6.9	16.71	1.66	14.66	133.15	24.39
Z to 110.66 [100.00%]	N° de datos	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	
	Mínimo	0.2	2	0.003	0.0001	0.76	62	1	5	0.0002	2	0.0005
	Máximo	257	4230	1.327	8.994	19.36	4963	15	3570	0.105	25	0.687
	Promedio	13.71	117.99	0.027	0.7	5.58	1108.26	2.01	633.39	0.0064	2.48	0.025
	Mediana	0.9	17	0.005	0.055	4.62	984	2	630	0.0011	2	0.0077
	Moda	0.2	10	0.003	-	-	-	1	5	0.0002	2	0.0061
	s	34.98	499.21	0.11	1.66	2.62	637.64	1.74	402.91	0.016	2.45	0.064
	es	2.87	40.9	0.0092	0.14	0.21	52.24	0.14	33.01	0.0013	0.2	0.0052
	Varianza	1223.55	249213.26	0.013	2.75	6.87	406578.88	3.03	162339.62	0.00026	5.98	0.004
	Curtosis	23.16	52.4	122.62	11.05	8.98	15.55	27.15	18.34	23.06	57.12	80.48

Tabla AI.6: Estadígrafos sector Veta Gorda (canaletas superficiales y sondajes)

		Gorda										
Estadígrafos		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	N° de datos	631	631	631	631	631	631	631	631	631	631	631
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	5.00E-05	5.00E-05	0.5	0.5	0.5	5.00E-05	0.5	5.00E-05
	Máximo	282	3015	13.1	3.847	21.39	4745	67	65300	16.5	175	12.6
	Promedio	8.72	104.91	0.27	0.11	4.99	1321.72	1.8	4287.72	0.2	6	0.19
	Mediana	0.7	22	0.01	0.0102	4.48	1230	1	3000	0.0096	2	0.0173
	Moda	0.2	14	0.003	-	5.00E-05	0.5	1	-	0.0026	2	0.0091
	s	25.88	307.08	1.01	0.32	2.31	623.84	3.45	5663.56	1.13	15.16	0.74
	es	1.03	12.22	0.04	0.013	0.092	24.83	0.14	225.46	0.045	0.6	0.03
	Varianza	669.52	94297.18	1.02	0.1	5.32	389181.13	11.94	3.21E+07	1.28	229.8	0.55
Curtosis	38.12	46.65	71.41	43.86	9.89	3.03	243.98	30.2	142.21	56.96	133.54	
Z to 2.61 [50.00%]	N° de datos	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	5.00E-05	5.00E-05	0.5	0.5	0.5	5.00E-05	0.5	5.00E-05
	Máximo	72.1	1002	2.283	1.69	15.12	4745	67	34100	1	43	1.2
	Promedio	2.45	36.82	0.05	0.07	4.3	1430.53	2.25	4020.69	0.02	2.61	0.05
	Mediana	0.4	16	0.005	0.007	3.995	1300.5	1	3000	0.00555	2	0.01365
	Moda	0.2	-	0.003	0.0031	5.00E-05	0.5	1	-	0.0026	2	5.00E-05
	s	6.62	86.32	0.21	0.23	1.79	597.5	4.77	4360.82	0.07	3.41	0.12
	es	0.37	4.86	0.01	0.01	0.1	33.61	0.27	245.32	0.004	0.19	0.007
	Varianza	43.88	7450.95	0.04	0.05	3.19	357004.49	22.75	1.90E+07	0.005	11.65	0.02
Curtosis	45.36	62.09	60.91	32.09	8.01	3.98	130.12	12.81	110.19	90.01	44.41	
Z to 47.72 [100.00%]	N° de datos	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
	Mínimo	0.2	4	0.003	1.00E-04	1.67	76	0.5	10	2.00E-04	1.5	0.0048
	Máximo	282	3015	13.1	3.847	21.39	3895	7	65300	16.5	175	12.6
	Promedio	15.02	173.21	0.49	0.16	5.67	1212.57	1.35	4555.59	0.37	9.41	0.33
	Mediana	1.3	39	0.031	0.0214	4.94	1137	1	3000	0.019	2	0.027
	Moda	0.2	19	0.003	-	-	-	1	10	1	2	0.0091
	s	34.93	415.18	1.38	0.39	2.55	631.53	0.85	6718.26	1.58	20.64	1.02
	es	1.97	23.39	0.08	0.02	0.14	35.58	0.05	378.53	0.09	1.16	0.06
	Varianza	1219.98	172374.36	1.91	0.15	6.53	398833.28	0.72	4.51E+07	2.5	426.14	1.04
Curtosis	18.95	23.72	36.39	35.1	9.09	2.67	11.09	27.55	70.43	28.84	69.22	

Tabla AI.7: Estadígrafos sector Angélica (canaletas superficiales y sondajes)

		Angélica										
Estadígrafos		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	N° de datos	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	5.00E-05	5.00E-05	0.5	0.5	0.5	5.00E-05	0.5	5.00E-05
	Máximo	151	8548	3.03	6.675	14.75	2430	5	1140	1.22	137	3.37
	Promedio	10.48	430.36	0.17	0.43	3.28	381.09	2.34	104.33	0.03	9.84	0.08
	Mediana	1.05	60	0.009	0.036	2.315	300	3	100	0.00185	5	0.00365
	Moda	1	30	0.003	5.00E-05	5.00E-05	0.5	3	25	5.00E-04	5	0.003
	s	25.34	1266.71	0.46	1.01	3.002	349.19	0.96	104.68	0.13	17.63	0.35
	es	1.75	87.41	0.03	0.07	0.21	24.1	0.07	7.22	0.009	1.22	0.02
	Varianza	642.19	1604559.35	0.22	1.04	9.01	121934.46	0.92	10957.1	0.02	310.92	0.12
Curtosis	15.14	21.38	20.46	14.99	3.49	9.58	-0.99	48.67	53.32	31.89	54.28	
Z to 33.82 [50.00%]	N° de datos	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	5.00E-05	5.00E-05	0.5	0.5	0.5	5.00E-05	0.5	5.00E-05
	Máximo	151	5060	3.03	3.133	14.75	2430	5	1140	1.22	80	3.37
	Promedio	11.04	414.82	0.2	0.32	3.7	447.56	2.7	114.26	0.04	9.67	0.12
	Mediana	2	70	0.009	0.0269	2.31	340	3	100	0.003	5	0.005
	Moda	1	-	0.003	3.00E-04	5.00E-05	-	3	25	5.00E-04	5	0.003
	s	28.3	924.26	0.56	0.64	3.57	394.65	0.78	138.14	0.14	10.97	0.45
	es	2.76	90.2	0.05	0.063	0.35	38.51	0.08	13.48	0.01	1.07	0.04
	Varianza	800.88	854262.85	0.31	0.41	12.74	155751.74	0.6	19081.57	0.02	120.27	0.2
Curtosis	14.26	11.89	15.77	7.61	1.78	7.95	2.7	30.7	49.24	22.8	36.14	
Z to 96.68 [100.00%]	N° de datos	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
	Mínimo	0.2	0.5	0.003	5.00E-05	5.00E-05	0.5	0.5	0.5	5.00E-05	0.5	5.00E-05
	Máximo	134	8548	2.401	6.675	12.25	1884	3	210	0.874	137	1.535
	Promedio	9.91	445.9	0.13	0.55	2.86	314.62	1.97	94.41	0.02	10.02	0.04
	Mediana	1	30	0.009	0.0372	2.32	249	2	100	9.00E-04	5	0.003
	Moda	0.5	30	0.003	5.00E-05	5.00E-05	0.5	3	-	5.00E-04	2	0.002
	s	22.11	1539.41	0.35	1.28	2.24	283.49	0.99	52.34	0.1	22.46	0.2
	es	2.16	150.23	0.03	0.13	0.22	27.67	0.096	5.11	0.01	2.19	0.02
	Varianza	489.03	2369796.79	0.12	1.65	5.02	80367.76	0.98	2739.13	0.012	504.49	0.04
Curtosis	14.77	17.98	22.68	9.96	4.76	11.14	-1.83	-0.86	50.54	22.75	48.7	

Tabla AI.8: Estadígrafos de canaletas superficiales en Ingleses

		Ingleses										
Estadígrafos		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	N° de datos	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
	Mínimo	0.2	6	0.003	0.0032	3.8	228	1	30	0.0002	2	0.0034
	Máximo	94	9158	0.967	4.405	14.33	1023	4	1300	0.045	46	0.195
	Promedio	11.08	680.03	0.089	0.58	6.42	639.68	1.55	547.74	0.004	4.61	0.016
	Mediana	2.5	24.5	0.011	0.16	5.92	656	1	530	0.0015	2	0.00715
	Moda	0.2	11	0.006	-	-	665	1	-	0.0004	2	0.0066
	s	19.91	1599.94	0.19	0.95	1.96	160.14	0.67	260.34	0.0069	7.99	0.0298
	es	2.53	203.19	0.025	0.12	0.25	20.34	0.085	33.06	0.00087	1.015	0.0038
	Varianza	396.3	2559812.75	0.038	0.91	3.85	25646.32	0.45	67775.15	4.7305E-05	63.81	0.00089
	Curtosis	7.36	14.43	12.42	7.26	3.52	0.66	1.66	0.082	20.086	16.42	24.4

Tabla AI.9: Estadígrafos sector Franceses (canaletas superficiales y sondajes)

		Franceses										
Estadígrafos		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	N° de datos	551	551	551	551	551	551	551	551	551	551	551
	Mínimo	0.2	1	0.003	0.0001	0.64	37	1	5	0.0002	2	0.0004
	Máximo	100	2120	0.451	11.576	21.57	1670	20	1540	0.145	47	0.721
	Promedio	5.58	98.93	0.02	0.56	4.46	450.81	2.28	127.87	0.0039	6.41	0.018
	Mediana	1	20	0.007	0.1072	3.34	370	3	110	0.001	5	0.0034
	Moda	0.2	5	0.003	0.0007	3.1	370	3	25	0.0005	2	0.002
	s	11.88	250.67	0.04	1.22	3.15	288.58	1.34	138.8	0.012	6.47	0.066
	es	0.51	10.68	0.002	0.052	0.13	12.29	0.06	5.91	0.0005	0.28	0.0028
	Varianza	141.2	62837.26	0.002	1.5	9.94	83278.95	1.8	19264.76	0.00015	41.9	0.004
	Curtosis	26.04	28.39	33.09	28.03	5.05	1.87	59.66	33.64	74.61	4.36	60.42

Tabla AI.9 (continuación)

	Estadígrafos	Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Z to 84.21 [20.00%]	N° de datos	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
	Mínimo	0.5	5	0.003	0.0003	1.09	150	3	25	0.0005	5	0.001
	Máximo	70	2070	0.219	6.81	13.55	1670	9	1540	0.042	30	0.436
	Promedio	5.85	134.73	0.021	0.51	5.08	653.55	3.08	202.32	0.0029	10.14	0.017
	Mediana	1.5	30	0.009	0.1345	4.44	530	3	150	0.001	10	0.006
	Moda	0.5	5	0.003	-	-	370	3	25	0.001	5	0.002
	s	10.51	297.93	0.032	0.94	3.09	361.44	0.64	226.26	0.0052	6.86	0.05
	es	1.002	28.41	0.003	0.09	0.29	34.46	0.06	21.57	0.00049	0.65	0.0048
	Varianza	110.47	88760.93	0.001	0.89	9.56	130641.44	0.41	51192.51	0.00003	47	0.0025
	Curtosis	16.3	18.3	15.93	20.1	-0.14	-0.42	73.29	14.21	32.66	1.24	48.09
Z to 157.74 [100.00%]	N° de datos	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441
	Mínimo	0.2	1	0.003	0.0001	0.64	37	1	5	0.0002	2	0.0004
	Máximo	100	2120	0.451	11.576	21.57	1370	20	1100	0.145	47	0.721
	Promedio	5.52	90.01	0.02	0.58	4.31	400.24	2.09	109.3	0.0042	5.48	0.018
	Mediana	1	15	0.006	0.101	3.19	351	2	110	0.001	2	0.003
	Moda	0.2	5	0.003	-	3.1	330	1	25	0.0005	2	0.002
	s	12.21	236.98	0.047	1.28	3.15	242.69	1.4	98.32	0.014	6.03	0.069
	es	0.58	11.28	0.002	0.06	0.15	11.56	0.067	4.68	0.00065	0.29	0.003
	Varianza	149.11	56157.91	0.002	1.65	9.95	58896.49	1.96	9667.8	0.00019	36.38	0.0048
	Curtosis	27.16	33.16	31.71	27.3	6.65	2.57	65.6	32.37	63.23	6.77	58.48

ANEXO B: Análisis multivariable

Tabla AII.1: Matriz de correlación para mediciones en Mina Cristina

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	Ag ppm	1	0.59	0.21	0.93	0.57	-0.088	-0.038	-0.12	0.65	0.56	0.41
	As ppm	0.59	1	0.34	0.55	0.61	-0.06	-0.043	-0.067	0.4	0.64	0.33
	Au ppm	0.21	0.34	1	0.18	0.14	-0.17	-0.086	-0.085	0.19	0.2	0.12
	Cu %	0.93	0.55	0.18	1	0.58	-0.078	-0.033	-0.11	0.52	0.54	0.33
	Fe %	0.58	0.61	0.14	0.58	1	0.29	-0.005	0.081	0.48	0.53	0.39
	Mn ppm	-0.088	-0.06	-0.17	-0.078	0.29	1	0.17	0.15	-0.063	0.008	-0.058
	Mo ppm	-0.038	-0.043	-0.086	-0.033	-0.005	0.17	1	0.046	-0.046	-0.018	-0.031
	P ppm	-0.12	-0.067	-0.085	-0.11	0.081	0.15	0.046	1	-0.07	-0.08	-0.034
	Pb %	0.65	0.4	0.19	0.52	0.48	-0.063	-0.046	-0.07	1	0.42	0.77
	Sb ppm	0.56	0.64	0.2	0.54	0.53	0.008	-0.018	-0.08	0.42	1	0.36
	Zn %	0.38	0.29	0.22	0.33	0.39	-0.23	-0.075	-0.096	0.77	0.3	1
Z to -71.69 [25.00%]	Ag ppm	1	0.45	0.17	0.98	0.12	-0.039	0.27	-0.21	0.45	0.41	0.95
	As ppm	0.45	1	0.26	0.43	0.35	0.35	0.1	-0.06	0.15	0.44	0.42
	Au ppm	0.17	0.26	1	0.15	0.053	0.077	0.077	-0.047	0.34	0.057	0.15
	Cu %	0.98	0.43	0.15	1	0.12	-0.038	0.27	-0.21	0.32	0.4	0.9
	Fe %	0.12	0.35	0.053	0.12	1	0.29	-0.17	0.25	0.067	0.057	0.085
	Mn ppm	-0.039	0.35	0.077	-0.038	0.29	1	0.12	-0.12	-0.02	0.32	-0.027
	Mo ppm	0.27	0.1	0.077	0.27	-0.17	0.12	1	-0.2	0.053	0.11	0.25
	P ppm	-0.21	-0.06	-0.047	-0.21	0.25	-0.12	-0.2	1	-0.11	-0.12	-0.18
	Pb %	0.45	0.15	0.34	0.32	0.067	-0.02	0.053	-0.11	1	0.13	0.59
	Sb ppm	0.41	0.44	0.057	0.4	0.057	0.32	0.11	-0.12	0.13	1	0.42
Zn %	0.95	0.42	0.15	0.9	0.085	-0.027	0.25	-0.18	0.59	0.42	1	
Z to -35.79 [50.00%]	Ag ppm	1	0.26	0.15	0.97	0.24	0.051	-0.069	-0.11	0.25	0.8	0.42
	As ppm	0.26	1	0.54	0.18	0.085	0.22	-0.04	-0.046	0.17	0.44	0.34
	Au ppm	0.15	0.54	1	0.018	0.31	0.29	-0.035	-0.0021	0.049	0.067	0.014
	Cu %	0.97	0.18	0.018	1	0.21	-0.016	-0.057	-0.12	0.19	0.75	0.32
	Fe %	0.24	0.085	0.31	0.21	1	0.29	-0.11	0.098	0.049	-6.30E-04	0.064
	Mn ppm	0.051	0.22	0.29	-0.016	0.29	1	-0.16	-0.15	-0.022	0.088	0.072
	Mo ppm	-0.069	-0.04	-0.035	-0.057	-0.11	-0.16	1	0.27	-0.057	-0.087	-0.089
	P ppm	-0.11	-0.046	-0.0021	-0.12	0.098	-0.15	0.27	1	0.026	-0.12	-0.023
	Pb %	0.25	0.17	0.049	0.19	0.049	-0.022	-0.057	0.026	1	0.19	0.83
	Sb ppm	0.8	0.44	0.067	0.75	-6.30E-04	0.088	-0.087	-0.12	0.19	1	0.41
Zn %	0.42	0.34	0.014	0.32	0.064	0.072	-0.089	-0.023	0.83	0.41	1	

Tabla AII.1 (continuación)

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Z to 5.703932 [75.00%]	Ag ppm	1	0.25	0.0015	0.99	0.25	0.018	-0.021	-0.11	0.79	0.48	0.69
	As ppm	0.25	1	-0.1	0.21	0.25	-0.0049	0.061	-0.062	0.4	0.81	0.47
	Au ppm	0.0015	-0.1	1	-0.017	-0.73	-0.76	-0.2	-0.69	-0.08	-0.45	-0.06
	Cu %	0.99	0.21	-0.017	1	0.25	0.033	-0.021	-0.081	0.76	0.46	0.67
	Fe %	0.25	0.25	-0.73	0.25	1	0.76	0.23	0.54	0.32	0.57	0.19
	Mn ppm	0.018	-0.0049	-0.76	0.033	0.76	1	0.3	0.65	0.092	0.29	-0.0041
	Mo ppm	-0.021	0.061	-0.2	-0.021	0.23	0.3	1	0.16	0.0054	0.11	0.00047
	P ppm	-0.11	-0.062	-0.69	-0.081	0.54	0.65	0.16	1	-0.065	0.21	-0.16
	Pb %	0.79	0.4	-0.08	0.76	0.32	0.092	0.0054	-0.065	1	0.59	0.79
	Sb ppm	0.48	0.81	-0.45	0.46	0.57	0.29	0.11	0.21	0.59	1	0.58
	Zn %	0.69	0.47	-0.06	0.67	0.19	-0.0041	0.00047	-0.16	0.79	0.58	1
Z to 74.292 [100.00%]	Ag ppm	1	0.62	0.24	0.92	0.66	-0.0084	-0.12	-0.24	0.64	0.53	0.34
	As ppm	0.62	1	0.32	0.59	0.73	-0.075	-0.12	-0.16	0.39	0.66	0.29
	Au ppm	0.24	0.32	1	0.24	0.27	-0.22	-0.16	-0.16	0.25	0.3	0.14
	Cu %	0.92	0.59	0.24	1	0.67	0.0092	-0.082	-0.22	0.49	0.51	0.25
	Fe %	0.66	0.73	0.27	0.67	1	0.25	-0.012	-0.056	0.54	0.62	0.43
	Mn ppm	-0.0084	-0.075	-0.22	0.0092	0.25	1	0.28	0.5	0.014	-0.022	0.026
	Mo ppm	-0.12	-0.12	-0.16	-0.082	-0.012	0.28	1	0.15	-0.14	-0.088	-0.14
	P ppm	-0.24	-0.16	-0.16	-0.22	-0.056	0.5	0.15	1	-0.16	-0.17	-0.095
	Pb %	0.64	0.39	0.25	0.49	0.54	0.014	-0.14	-0.16	1	0.43	0.77
	Sb ppm	0.53	0.66	0.3	0.51	0.63	-0.022	-0.088	-0.17	0.43	1	0.33
	Zn %	0.31	0.29	0.14	0.25	0.43	0.026	-0.14	-0.095	0.77	0.33	1

Tabla AII.2: Matriz de correlación para mediciones en Isla Green

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	Ag ppm	1	0.4	0.92	0.38	0.0029	-0.46	0.17	-0.54	0.18	0.46	0.036
	As ppm	0.4	1	0.23	0.41	0.66	-0.31	0.24	-0.54	0.53	0.43	0.43
	Au ppm	0.92	0.23	1	0.16	-0.063	-0.34	0.032	-0.38	0.07	0.28	-0.018
	Cu %	0.38	0.41	0.16	1	0.33	-0.31	0.059	-0.5	0.34	0.55	0.17
	Fe %	0.0029	0.66	-0.063	0.33	1	0.21	0.049	-0.13	0.4	0.4	0.41
	Mn ppm	-0.46	-0.31	-0.34	-0.31	0.21	1	-0.26	0.51	-0.15	-0.39	-0.049
	Mo ppm	0.17	0.24	0.032	0.059	0.049	-0.26	1	-0.26	0.088	0.31	0.059
	P ppm	-0.54	-0.54	-0.38	-0.5	-0.13	0.51	-0.26	1	-0.36	-0.37	-0.18
	Pb %	0.18	0.53	0.07	0.34	0.4	-0.15	0.088	-0.36	1	0.13	0.73
	Sb ppm	0.46	0.43	0.28	0.55	0.4	-0.39	0.31	-0.37	0.13	1	0.09
	Zn %	0.036	0.43	-0.018	0.17	0.41	-0.049	0.059	-0.18	0.73	0.09	1

Tabla AII.3: Matriz de correlación para mediciones en Mina Cutter

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Zn %
Total de datos	Ag ppm	1	0.39	0.46	0.93	0.59	0.0041	0.091	-0.37	0.36	0.26
	As ppm	0.39	1	0.76	0.4	0.25	-0.042	-0.0016	-0.17	0.16	0.15
	Au ppm	0.46	0.76	1	0.51	0.36	-0.046	0.013	-0.2	0.24	0.21
	Cu %	0.93	0.4	0.51	1	0.6	-0.037	0.055	-0.38	0.27	0.2
	Fe %	0.59	0.25	0.36	0.6	1	0.58	-0.044	0.17	0.37	0.37
	Mn ppm	0.0041	-0.042	-0.046	-0.037	0.58	1	0.025	0.31	0.16	0.26
	Mo ppm	0.091	-0.0016	0.013	0.055	-0.044	0.025	1	-0.19	0.085	0.092
	P ppm	-0.37	-0.17	-0.2	-0.38	0.17	0.31	-0.19	1	-0.17	-0.11
	Pb %	0.36	0.16	0.24	0.27	0.37	0.16	0.085	-0.17	1	0.75
	Zn %	0.26	0.15	0.21	0.2	0.37	0.26	0.092	-0.11	0.75	1
Z to -16.282013 [25.00%]	Ag ppm	1	0.081	0.27	0.98	0.19	0.13	-0.036	-0.19	0.78	0.22
	As ppm	0.081	1	0.087	0.083	0.055	0.014	0.049	-0.047	0.27	0.36
	Au ppm	0.27	0.087	1	0.25	0.072	0.023	-0.043	-0.074	0.4	0.17
	Cu %	0.98	0.083	0.25	1	0.19	0.11	-0.029	-0.22	0.73	0.19
	Fe %	0.19	0.055	0.072	0.19	1	0.68	0.037	0.53	0.18	0.6
	Mn ppm	0.13	0.014	0.023	0.11	0.68	1	0.25	0.3	0.1	0.42
	Mo ppm	-0.036	0.049	-0.043	-0.029	0.037	0.25	1	-0.017	-0.066	0.056
	P ppm	-0.19	-0.047	-0.074	-0.22	0.53	0.3	-0.017	1	-0.051	0.44
	Pb %	0.78	0.27	0.4	0.73	0.18	0.1	-0.066	-0.051	1	0.55
	Zn %	0.22	0.36	0.17	0.19	0.6	0.42	0.056	0.44	0.55	1

Tabla AII.3 (continuación)

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Zn %
Z to 28.322594 [50.00%]	Ag ppm	1	0.59	0.75	0.88	0.5	0.19	0.32	-0.33	0.78	0.68
	As ppm	0.59	1	0.72	0.34	0.4	0.22	0.22	-0.21	0.59	0.65
	Au ppm	0.75	0.72	1	0.51	0.44	0.21	0.29	-0.29	0.71	0.67
	Cu %	0.88	0.34	0.51	1	0.36	0.071	0.28	-0.34	0.43	0.35
	Fe %	0.5	0.4	0.44	0.36	1	0.79	0.033	0.44	0.44	0.53
	Mn ppm	0.19	0.22	0.21	0.071	0.79	1	0.065	0.45	0.23	0.45
	Mo ppm	0.32	0.22	0.29	0.28	0.033	0.065	1	-0.38	0.27	0.26
	P ppm	-0.33	-0.21	-0.29	-0.34	0.44	0.45	-0.38	1	-0.19	-0.11
	Pb %	0.78	0.59	0.71	0.43	0.44	0.23	0.27	-0.19	1	0.82
	Zn %	0.68	0.65	0.67	0.35	0.53	0.45	0.26	-0.11	0.82	1
Z to 41.160678 [75.00%]	Ag ppm	1	0.36	0.49	0.96	0.66	-0.034	0.12	-0.42	0.82	0.47
	As ppm	0.36	1	0.98	0.27	0.16	-0.09	0.0012	-0.18	0.45	0.33
	Au ppm	0.49	0.98	1	0.41	0.24	-0.1	2.30E-04	-0.24	0.54	0.4
	Cu %	0.96	0.27	0.41	1	0.72	-0.035	0.046	-0.4	0.69	0.41
	Fe %	0.66	0.16	0.24	0.72	1	0.45	-0.12	0.093	0.46	0.3
	Mn ppm	-0.034	-0.09	-0.1	-0.035	0.45	1	-0.0023	0.24	0.025	0.027
	Mo ppm	0.12	0.0012	2.30E-04	0.046	-0.12	-0.0023	1	-0.24	0.15	0.13
	P ppm	-0.42	-0.18	-0.24	-0.4	0.093	0.24	-0.24	1	-0.4	-0.28
	Pb %	0.82	0.45	0.54	0.69	0.46	0.025	0.15	-0.4	1	0.59
	Zn %	0.47	0.33	0.4	0.41	0.3	0.027	0.13	-0.28	0.59	1
Z to 110.66 [100.00%]	Ag ppm	1	0.4	0.42	0.91	0.74	-0.016	-0.02	-0.43	0.78	0.27
	As ppm	0.4	1	0.71	0.49	0.41	-0.07	-0.071	-0.22	0.3	0.15
	Au ppm	0.42	0.71	1	0.54	0.53	-0.093	-0.049	-0.23	0.4	0.2
	Cu %	0.91	0.49	0.54	1	0.77	-0.077	-0.055	-0.48	0.69	0.29
	Fe %	0.74	0.41	0.53	0.77	1	0.43	-0.12	-0.18	0.59	0.22
	Mn ppm	-0.016	-0.07	-0.093	-0.077	0.43	1	-0.021	0.14	0.053	-0.019
	Mo ppm	-0.02	-0.071	-0.049	-0.055	-0.12	-0.021	1	-0.013	-0.048	0.0035
	P ppm	-0.43	-0.22	-0.23	-0.48	-0.18	0.14	-0.013	1	-0.39	-0.2
	Pb %	0.78	0.3	0.4	0.69	0.59	0.053	-0.048	-0.39	1	0.33
	Zn %	0.27	0.15	0.2	0.29	0.22	-0.019	0.0035	-0.2	0.33	1

Tabla AII.4: Matriz de correlación para mediciones en Veta Gorda

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	Ag ppm	1	0.65	0.84	0.7	0.31	-0.26	-0.056	0.072	0.65	0.85	0.59
	As ppm	0.65	1	0.59	0.49	0.33	-0.26	-0.041	-0.03	0.31	0.61	0.52
	Au ppm	0.84	0.59	1	0.53	0.25	-0.21	-0.052	0.14	0.47	0.69	0.56
	Cu %	0.7	0.49	0.53	1	0.35	-0.14	-0.048	0.098	0.17	0.45	0.24
	Fe %	0.31	0.33	0.25	0.35	1	0.049	-0.093	0.039	0.17	0.27	0.33
	Mn ppm	-0.26	-0.26	-0.21	-0.14	0.049	1	0.16	0.38	-0.21	-0.28	-0.18
	Mo ppm	-0.056	-0.041	-0.052	-0.048	-0.093	0.16	1	-0.013	-0.038	-0.049	-0.041
	P ppm	0.072	-0.03	0.14	0.098	0.039	0.38	-0.013	1	-0.065	-0.024	0.047
	Pb %	0.65	0.31	0.47	0.17	0.17	-0.21	-0.038	-0.065	1	0.86	0.62
	Sb ppm	0.85	0.61	0.69	0.45	0.27	-0.28	-0.049	-0.024	0.86	1	0.65
	Zn %	0.59	0.52	0.56	0.24	0.33	-0.18	-0.041	0.047	0.62	0.65	1
Z to 2.612461 [50.00%]	Ag ppm	1	0.35	0.35	0.8	0.36	0.11	-0.0053	0.14	0.67	0.65	0.57
	As ppm	0.35	1	0.34	0.17	0.44	0.027	-0.034	-0.018	0.44	0.44	0.46
	Au ppm	0.35	0.34	1	0.11	0.092	-0.13	-0.036	-0.012	0.28	0.59	0.21
	Cu %	0.8	0.17	0.11	1	0.24	0.12	-0.011	0.21	0.21	0.29	0.28
	Fe %	0.36	0.44	0.092	0.24	1	0.25	-0.054	-0.019	0.39	0.43	0.44
	Mn ppm	0.11	0.027	-0.13	0.12	0.25	1	0.18	0.26	0.018	0.037	0.024
	Mo ppm	-0.0053	-0.034	-0.036	-0.011	-0.054	0.18	1	-0.028	-0.0047	0.0008	-0.019
	P ppm	0.14	-0.018	-0.012	0.21	-0.019	0.26	-0.028	1	-0.0068	-0.018	0.0018
	Pb %	0.67	0.44	0.28	0.21	0.39	0.018	-0.0047	-0.0068	1	0.66	0.78
	Sb ppm	0.65	0.44	0.59	0.29	0.43	0.037	0.0008	-0.018	0.66	1	0.5
	Zn %	0.57	0.46	0.21	0.28	0.44	0.024	-0.019	0.0018	0.78	0.5	1
Z to 47.721 [100.00%]	Ag ppm	1	0.64	0.85	0.73	0.28	-0.34	-0.14	0.057	0.65	0.85	0.57
	As ppm	0.64	1	0.58	0.55	0.29	-0.33	-0.03	-0.048	0.29	0.6	0.51
	Au ppm	0.85	0.58	1	0.59	0.24	-0.23	-0.11	0.16	0.45	0.68	0.55
	Cu %	0.73	0.55	0.59	1	0.35	-0.25	-0.16	0.046	0.17	0.48	0.23
	Fe %	0.28	0.29	0.24	0.35	1	0.014	-0.19	0.048	0.14	0.22	0.32
	Mn ppm	-0.34	-0.33	-0.23	-0.25	0.014	1	0.17	0.48	-0.25	-0.36	-0.21
	Mo ppm	-0.14	-0.03	-0.11	-0.16	-0.19	0.17	1	0.054	-0.1	-0.12	-0.083
	P ppm	0.057	-0.048	0.16	0.046	0.048	0.48	0.054	1	-0.088	-0.041	0.046
	Pb %	0.65	0.29	0.45	0.17	0.14	-0.25	-0.1	-0.088	1	0.87	0.61
	Sb ppm	0.85	0.6	0.68	0.48	0.22	-0.36	-0.12	-0.041	0.87	1	0.64
	Zn %	0.57	0.51	0.55	0.23	0.32	-0.21	-0.083	0.046	0.61	0.64	1

Tabla AII.5: Matriz de correlación para mediciones en Angélica

	Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %	
Total de datos	Ag ppm	1	0.54	0.42	0.68	0.72	0.14	0.026	-0.22	0.78	0.5	0.76
	As ppm	0.54	1	0.64	0.21	0.34	0.0061	0.11	-0.14	0.42	0.87	0.38
	Au ppm	0.42	0.64	1	0.16	0.28	-0.027	-6.90E-04	-0.2	0.41	0.44	0.35
	Cu %	0.68	0.21	0.16	1	0.64	0.039	-0.13	-0.24	0.36	0.16	0.31
	Fe %	0.72	0.34	0.28	0.64	1	0.54	0.073	0.043	0.49	0.29	0.53
	Mn ppm	0.14	0.0061	-0.027	0.039	0.54	1	0.36	0.35	0.16	0.024	0.14
	Mo ppm	0.026	0.11	-6.90E-04	-0.13	0.073	0.36	1	0.31	0.07	0.17	0.011
	P ppm	-0.22	-0.14	-0.2	-0.24	0.043	0.35	0.31	1	-0.052	-0.095	-0.093
	Pb %	0.78	0.42	0.41	0.36	0.49	0.16	0.07	-0.052	1	0.34	0.89
	Sb ppm	0.5	0.87	0.44	0.16	0.29	0.024	0.17	-0.095	0.34	1	0.35
	Zn %	0.76	0.38	0.35	0.31	0.53	0.14	0.011	-0.093	0.89	0.35	1
Z to 33.820607 [50.00%]	Ag ppm	1	0.48	0.39	0.86	0.68	0.18	-0.021	-0.18	0.78	0.64	0.8
	As ppm	0.48	1	0.69	0.4	0.39	-9.40E-04	0.16	-0.14	0.37	0.59	0.43
	Au ppm	0.39	0.69	1	0.32	0.28	-0.03	0.0078	-0.17	0.46	0.26	0.36
	Cu %	0.86	0.4	0.32	1	0.71	0.19	-0.1	-0.21	0.54	0.48	0.53
	Fe %	0.68	0.39	0.28	0.71	1	0.66	-0.038	0.12	0.46	0.42	0.52
	Mn ppm	0.18	-9.40E-04	-0.03	0.19	0.66	1	0.27	0.41	0.18	0.064	0.12
	Mo ppm	-0.021	0.16	0.0078	-0.1	-0.038	0.27	1	0.27	-0.029	0.25	-0.15
	P ppm	-0.18	-0.14	-0.17	-0.21	0.12	0.41	0.27	1	-0.11	-0.11	-0.12
	Pb %	0.78	0.37	0.46	0.54	0.46	0.18	-0.029	-0.015	1	0.49	0.89
	Sb ppm	0.64	0.59	0.26	0.48	0.42	0.064	0.25	-0.11	0.49	1	0.59
	Zn %	0.8	0.43	0.36	0.53	0.52	0.12	-0.15	-0.089	0.89	0.59	1
Z to 96.68 [100.00%]	Ag ppm	1	0.66	0.47	0.69	0.83	0.064	0.06	-0.44	0.78	0.5	0.75
	As ppm	0.66	1	0.76	0.16	0.39	0.018	0.1	-0.25	0.53	0.95	0.52
	Au ppm	0.47	0.76	1	0.1	0.25	-0.071	-0.085	-0.4	0.29	0.73	0.27
	Cu %	0.69	0.16	0.1	1	0.82	-0.015	-0.094	-0.44	0.34	0.082	0.31
	Fe %	0.83	0.39	0.25	0.82	1	0.26	0.099	-0.36	0.56	0.28	0.54
	Mn ppm	0.064	0.018	-0.071	-0.015	0.26	1	0.4	0.14	0.098	0.0062	0.11
	Mo ppm	0.06	0.1	-0.085	-0.094	0.099	0.4	1	0.5	0.14	0.17	0.15
	P ppm	-0.44	-0.25	-0.4	-0.44	-0.36	0.14	0.5	1	-0.22	-0.15	-0.21
	Pb %	0.78	0.53	0.29	0.34	0.56	0.098	0.14	-0.22	1	0.31	0.97
	Sb ppm	0.5	0.95	0.73	0.082	0.28	0.0062	0.17	-0.15	0.31	1	0.31
	Zn %	0.75	0.52	0.27	0.31	0.54	0.11	0.15	-0.21	0.97	0.31	1

Tabla AII.6: Matriz de correlación para mediciones en Ingleses

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	Ag ppm	1	0.53	0.5	0.93	0.55	-0.31	0.29	-0.62	0.73	0.54	0.75
	As ppm	0.53	1	0.88	0.34	0.12	-0.38	0.26	-0.44	0.47	0.83	0.31
	Au ppm	0.5	0.88	1	0.3	0.031	-0.5	0.37	-0.49	0.46	0.72	0.28
	Cu %	0.93	0.34	0.3	1	0.59	-0.2	0.19	-0.57	0.59	0.37	0.66
	Fe %	0.55	0.12	0.031	0.59	1	0.35	0.17	-0.3	0.31	0.35	0.38
	Mn ppm	-0.31	-0.38	-0.5	-0.2	0.35	1	-0.27	0.35	-0.38	-0.42	-0.33
	Mo ppm	0.29	0.26	0.37	0.19	0.17	-0.27	1	-0.38	0.44	0.28	0.3
	P ppm	-0.62	-0.44	-0.49	-0.57	-0.3	0.35	-0.38	1	-0.47	-0.39	-0.45
	Pb %	0.73	0.47	0.46	0.59	0.31	-0.38	0.44	-0.47	1	0.45	0.88
	Sb ppm	0.54	0.83	0.72	0.37	0.35	-0.42	0.28	-0.39	0.45	1	0.41
	Zn %	0.75	0.31	0.28	0.66	0.38	-0.33	0.3	-0.45	0.88	0.41	1

Tabla AII.7: Matriz de correlación para mediciones en Franceses

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Total de datos	Ag ppm	1	0.35	0.72	0.94	0.75	0.32	0.093	-0.18	0.26	0.16	0.26
	As ppm	0.35	1	0.64	0.26	0.32	0.26	0.14	-0.061	0.33	0.18	0.36
	Au ppm	0.72	0.64	1	0.65	0.59	0.27	0.19	-0.16	0.25	0.19	0.28
	Cu %	0.94	0.26	0.65	1	0.75	0.27	0.029	-0.2	0.17	0.12	0.19
	Fe %	0.75	0.32	0.59	0.75	1	0.71	0.21	-0.043	0.19	0.23	0.18
	Mn ppm	0.32	0.26	0.27	0.27	0.71	1	0.28	0.24	0.15	0.37	0.15
	Mo ppm	0.093	0.14	0.19	0.029	0.21	0.28	1	0.11	0.025	0.53	0.064
	P ppm	-0.18	-0.061	-0.16	-0.2	-0.043	0.24	0.11	1	0.063	0.11	0.01
	Pb %	0.26	0.33	0.25	0.17	0.19	0.15	0.025	0.063	1	0.11	0.58
	Sb ppm	0.16	0.18	0.19	0.12	0.23	0.37	0.53	0.11	0.11	1	0.12
	Zn %	0.26	0.36	0.28	0.19	0.18	0.15	0.064	0.01	0.58	0.12	1

Tabla AII.7 (continuación)

		Ag ppm	As ppm	Au ppm	Cu %	Fe %	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb %	Sb ppm	Zn %
Z to 84.214439 [20.00%]	Ag ppm	1	0.4	0.7	0.91	0.56	0.36	0.17	-0.092	0.74	0.062	0.23
	As ppm	0.4	1	0.75	0.26	0.29	0.28	0.15	-0.057	0.48	-0.081	0.46
	Au ppm	0.7	0.75	1	0.51	0.44	0.36	0.31	-0.059	0.81	-0.037	0.49
	Cu %	0.91	0.26	0.51	1	0.54	0.26	0.071	-0.13	0.53	0.077	0.15
	Fe %	0.56	0.29	0.44	0.54	1	0.88	0.16	0.15	0.34	0.14	0.21
	Mn ppm	0.36	0.28	0.36	0.26	0.88	1	0.16	0.22	0.22	0.16	0.13
	Mo ppm	0.17	0.15	0.31	0.071	0.16	0.16	1	-0.0032	0.33	-0.034	0.12
	P ppm	-0.092	-0.057	-0.059	-0.13	0.15	0.22	-0.0032	1	-0.063	-0.095	-0.061
	Pb %	0.74	0.48	0.81	0.53	0.34	0.22	0.33	-0.063	1	0.017	0.53
	Sb ppm	0.062	-0.081	-0.037	0.077	0.14	0.16	-0.034	-0.095	0.017	1	-0.12
	Zn %	0.23	0.46	0.49	0.15	0.21	0.13	0.12	-0.061	0.53	-0.12	1
Z to 157.74 [100.00%]	Ag ppm	1	0.34	0.72	0.95	0.79	0.35	0.087	-0.27	0.23	0.18	0.26
	As ppm	0.34	1	0.64	0.26	0.32	0.24	0.13	-0.11	0.34	0.25	0.35
	Au ppm	0.72	0.64	1	0.67	0.62	0.29	0.19	-0.24	0.22	0.25	0.25
	Cu %	0.95	0.26	0.67	1	0.8	0.33	0.035	-0.27	0.14	0.14	0.19
	Fe %	0.79	0.32	0.62	0.8	1	0.69	0.19	-0.21	0.19	0.23	0.17
	Mn ppm	0.35	0.24	0.29	0.33	0.69	1	0.22	0.12	0.19	0.36	0.18
	Mo ppm	0.087	0.13	0.19	0.035	0.19	0.22	1	0.046	0.027	0.57	0.065
	P ppm	-0.27	-0.11	-0.24	-0.27	-0.21	0.12	0.046	1	0.13	0.11	0.045
	Pb %	0.23	0.34	0.22	0.14	0.19	0.19	0.027	0.13	1	0.15	0.59
	Sb ppm	0.18	0.25	0.25	0.14	0.23	0.36	0.57	0.11	0.15	1	0.18
	Zn %	0.26	0.35	0.25	0.19	0.17	0.18	0.065	0.045	0.59	0.18	1

ANEXO C: Análisis de poblaciones

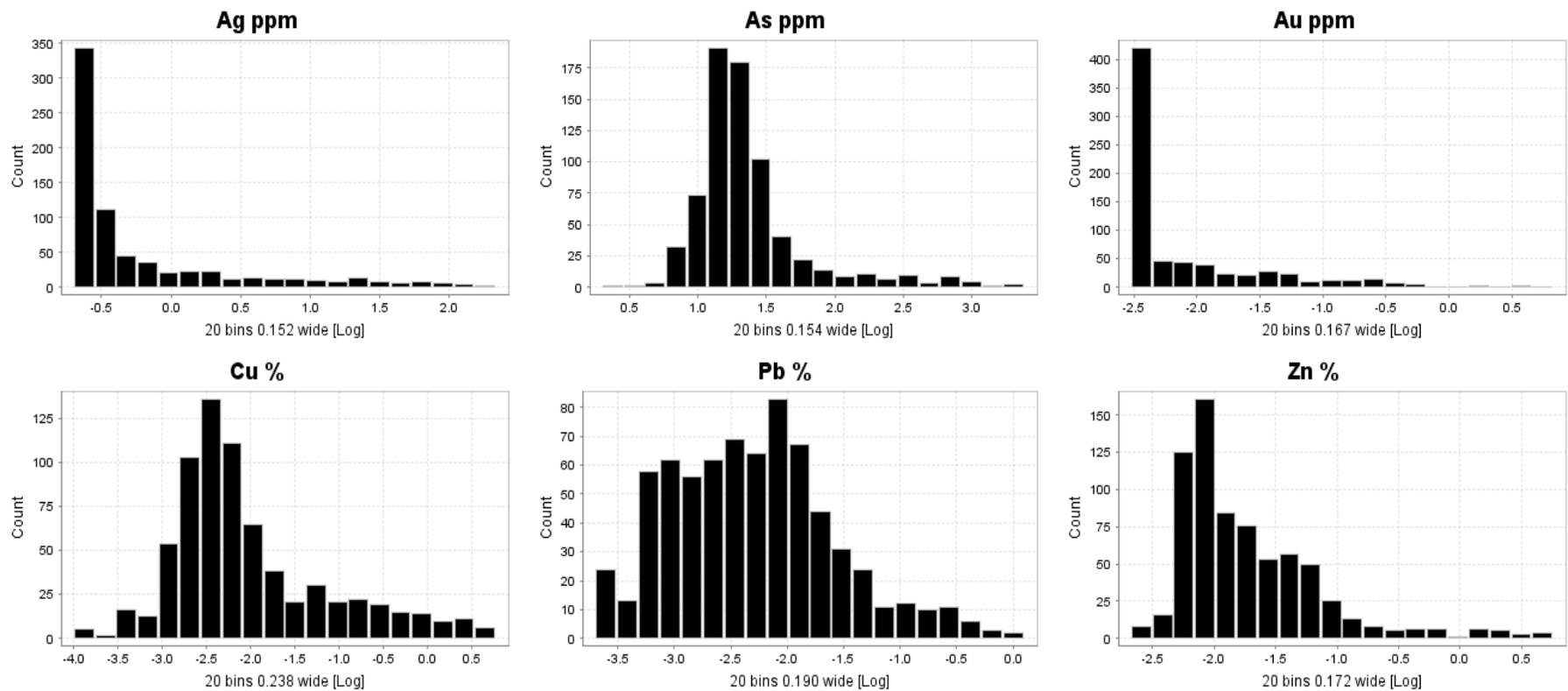


Figura AIII.1: Histogramas sector Cristina

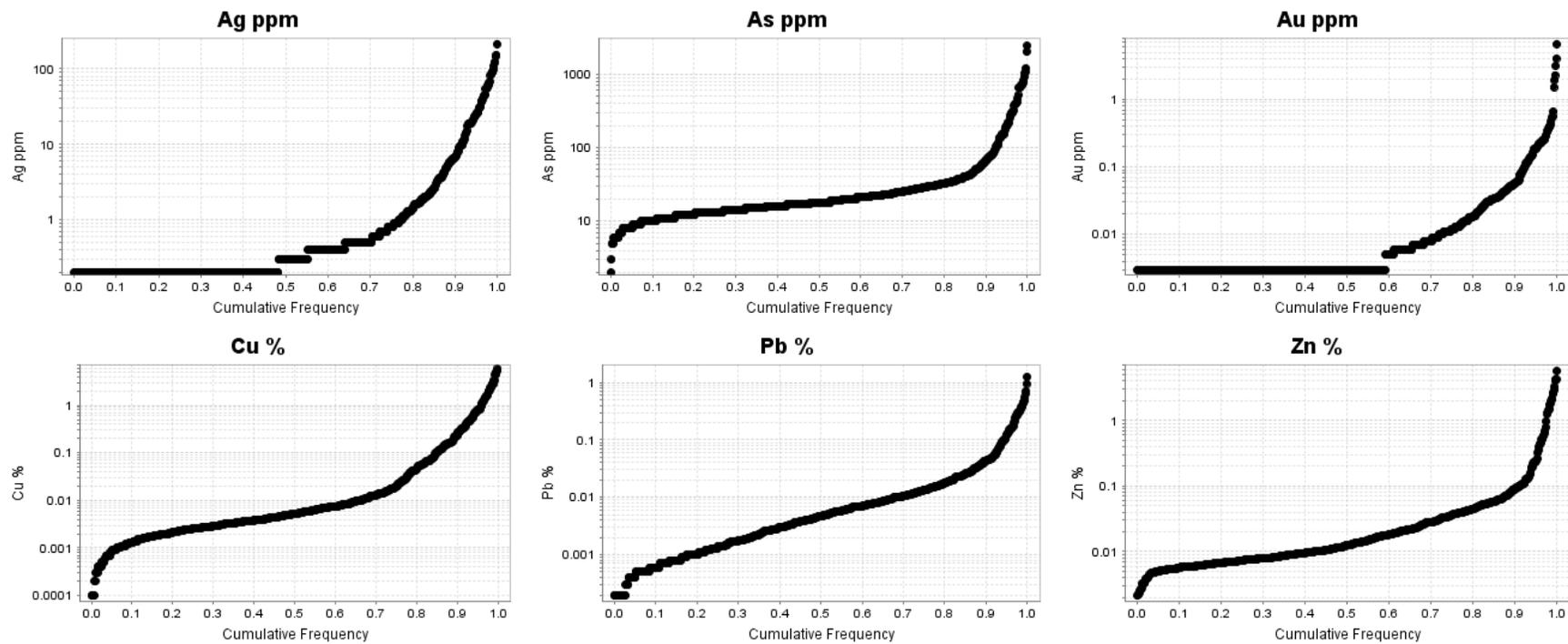


Figura AIII.2: Frecuencias acumuladas sector Cristina

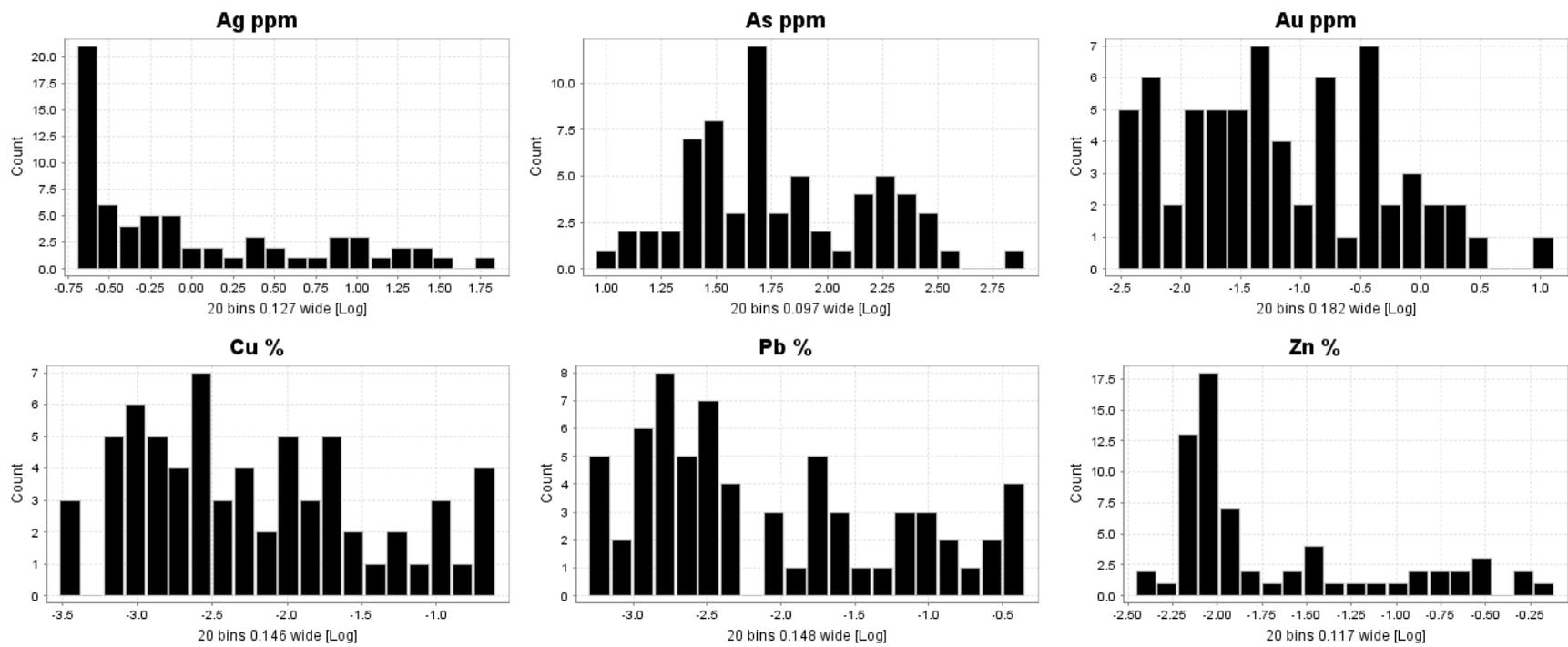


Figura AIII.3: Histogramas sector Isla Green

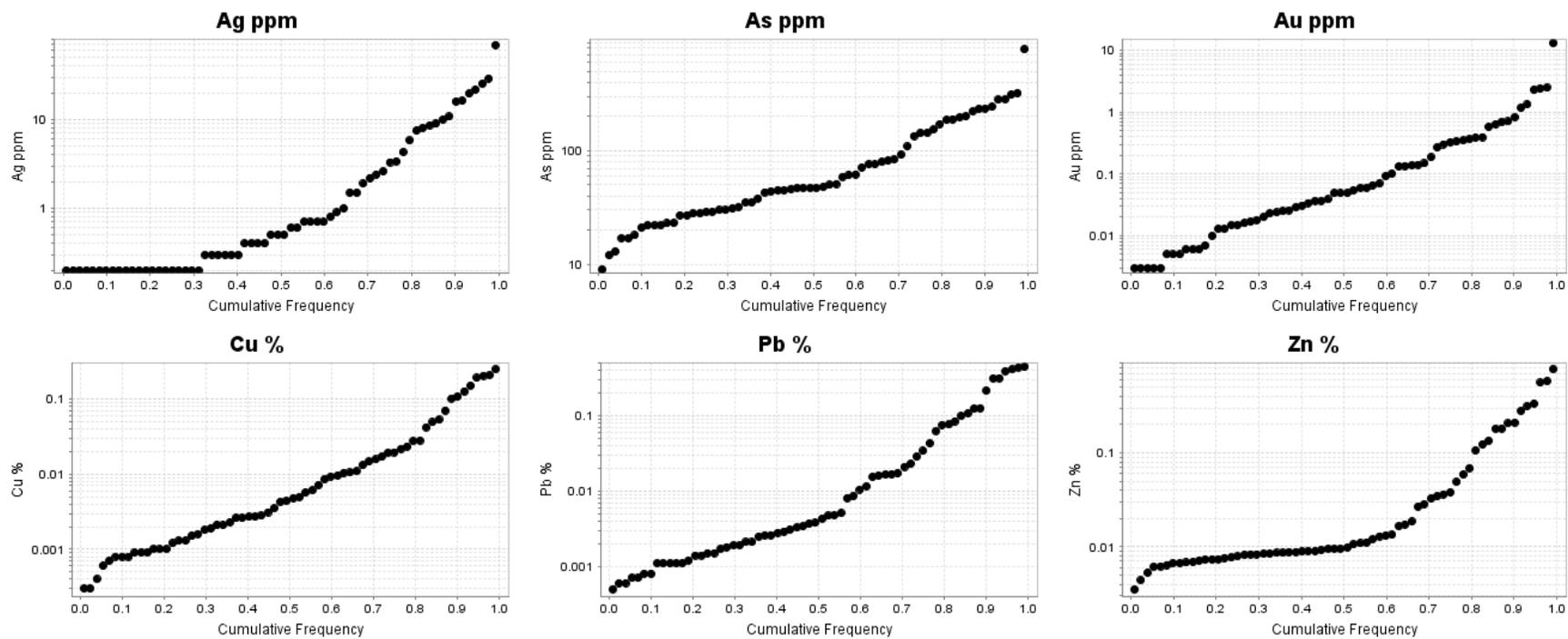


Figura AIII.4: Frecuencias acumuladas sector Isla Green

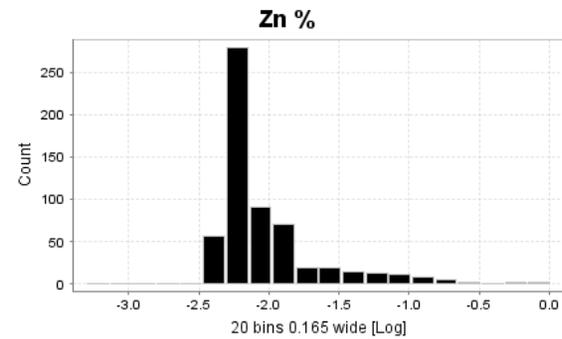
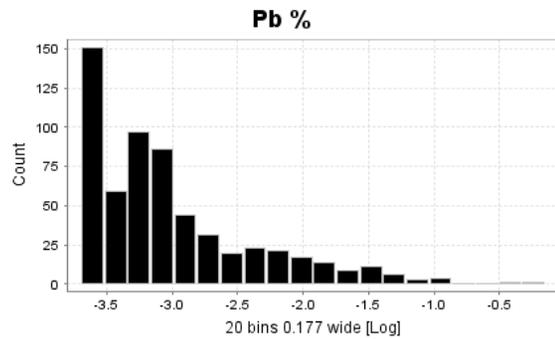
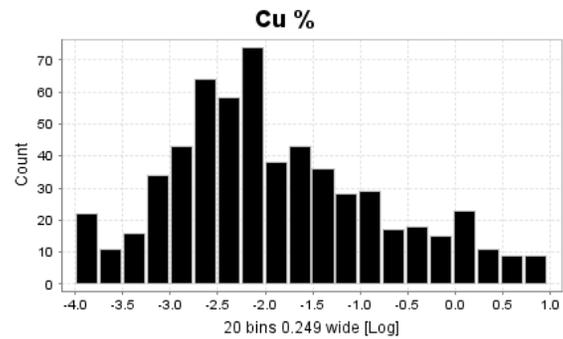
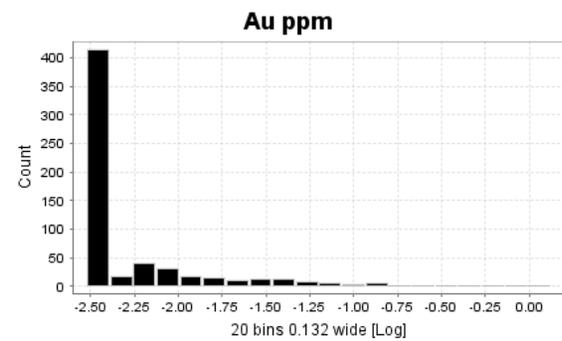
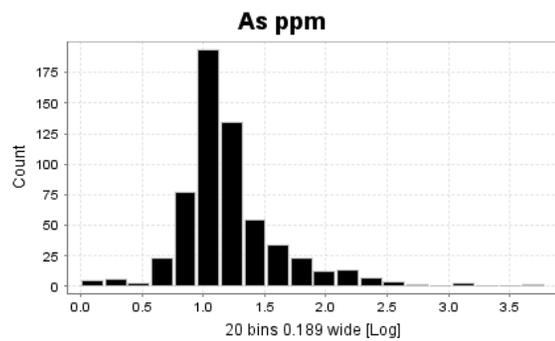
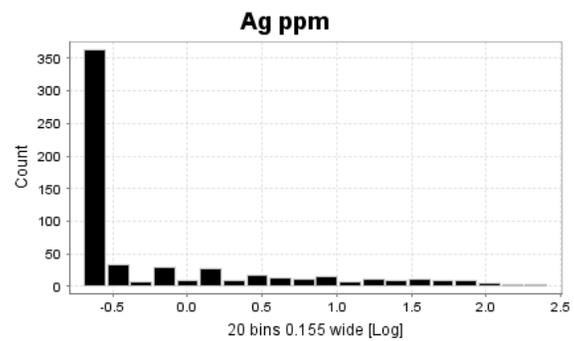


Figura AIII.5: Histogramas sector Cutter

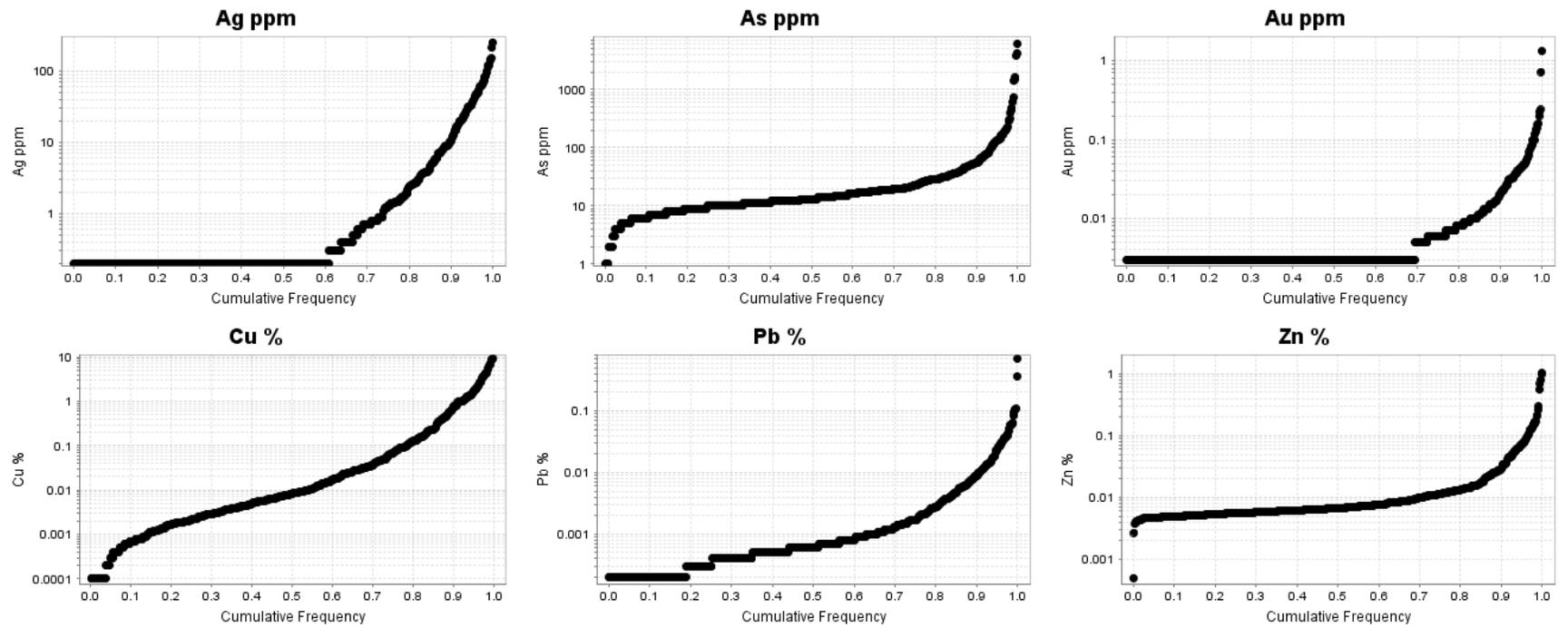


Figura AIII.6: Frecuencias acumuladas sector Cutter

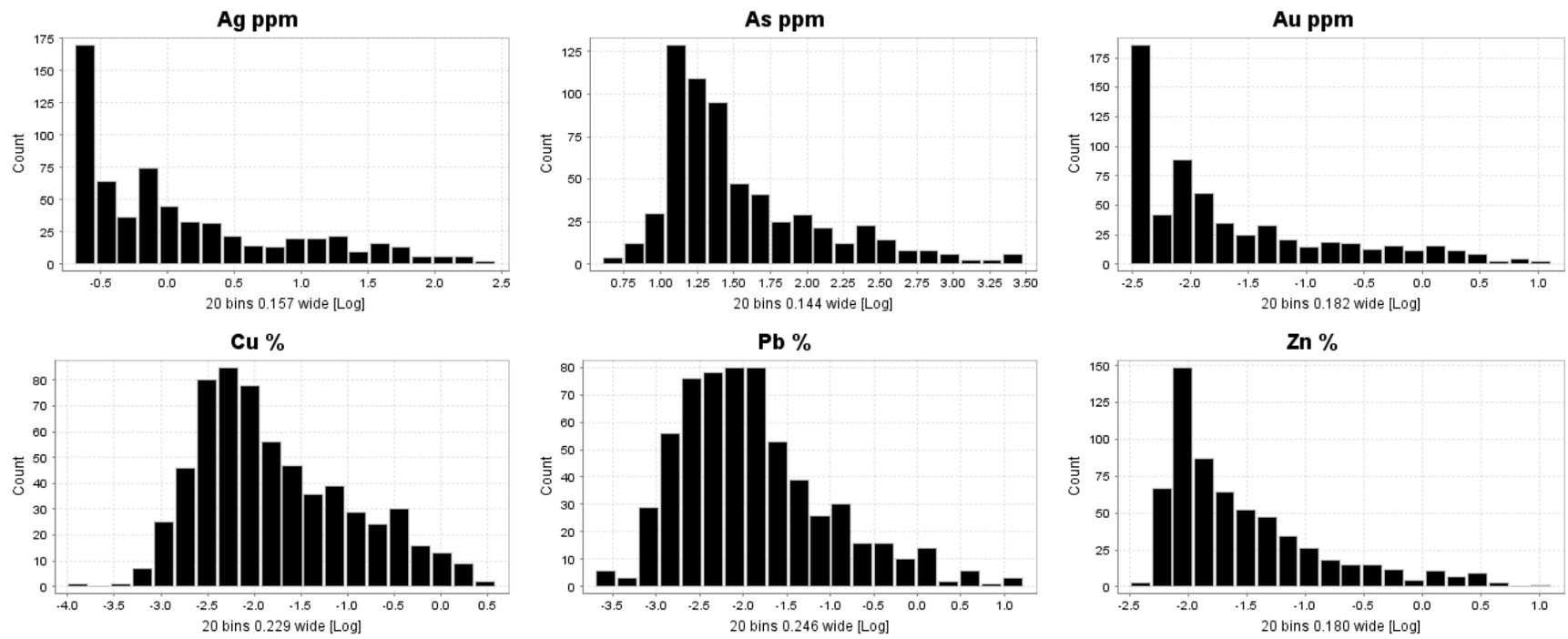


Figura AIII.7: Histogramas sector Veta Gorda

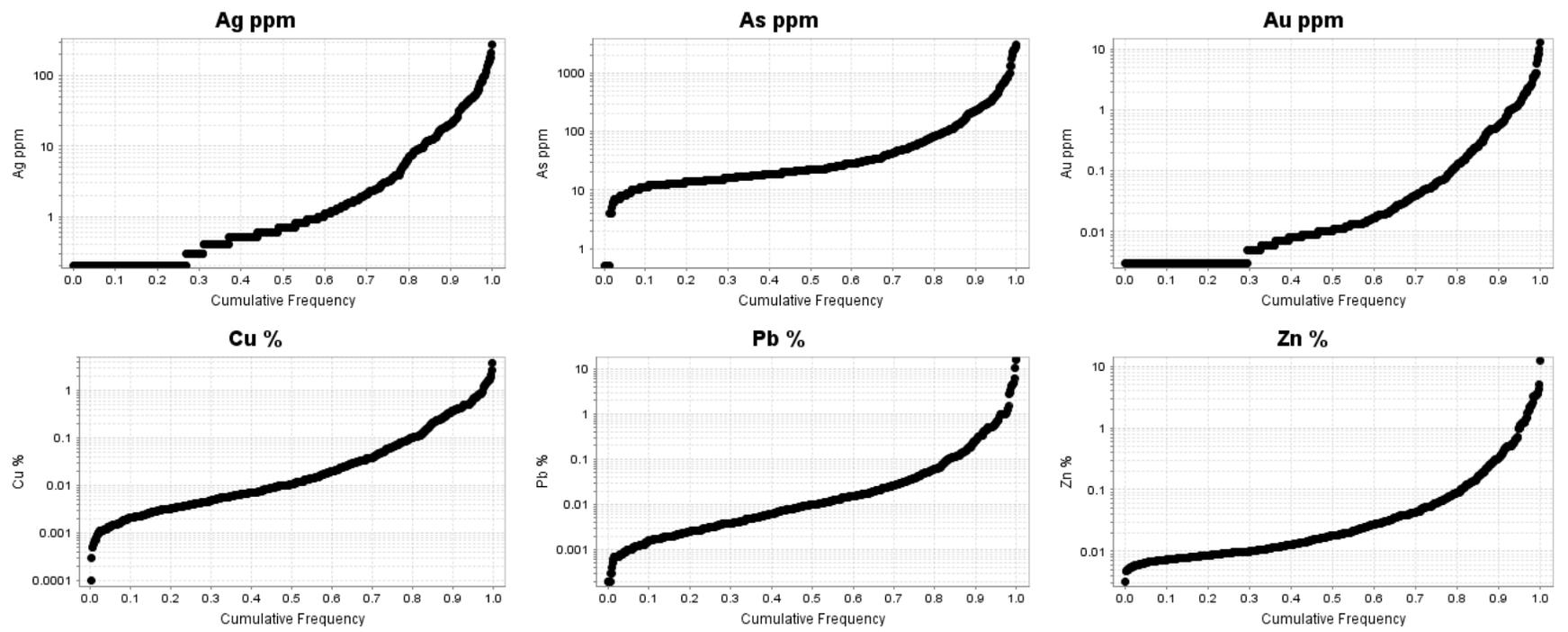


Figura AIII.8: Frecuencias acumuladas sector Veta Gorda

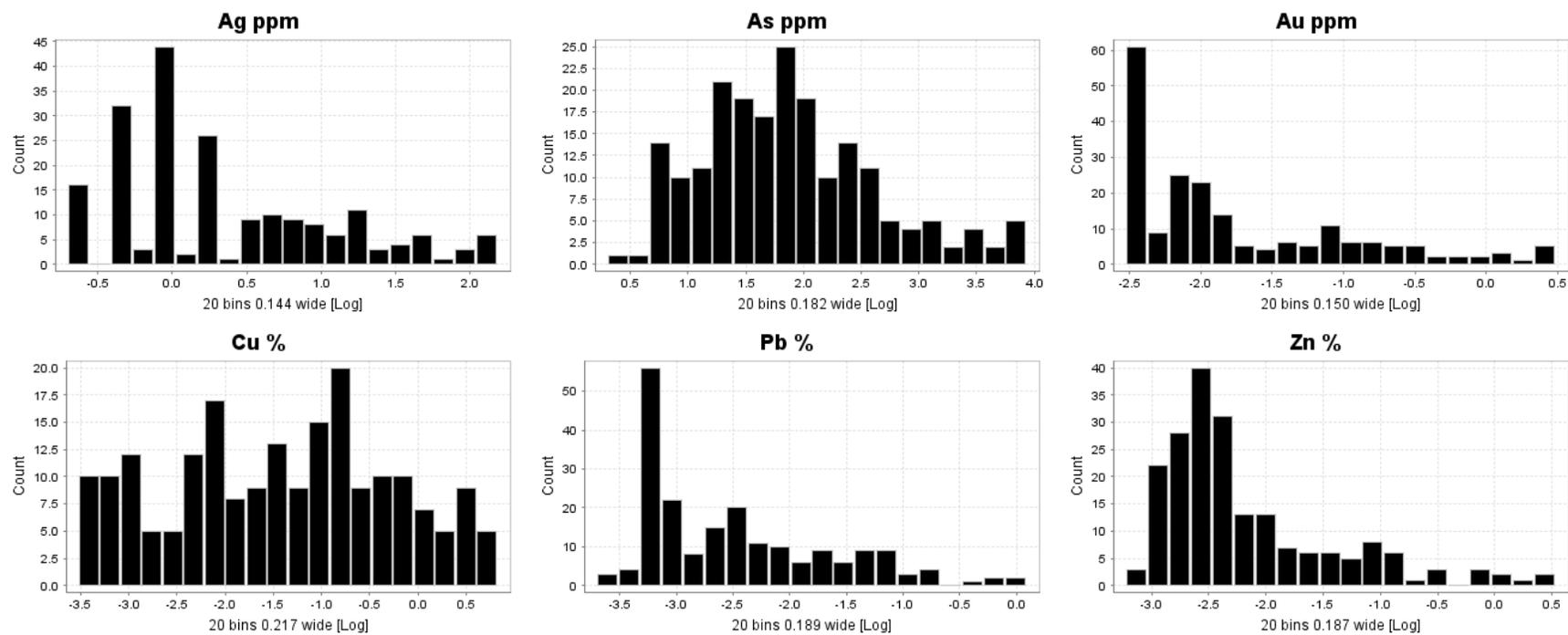


Figura AIII.9: Histogramas sector Angélica

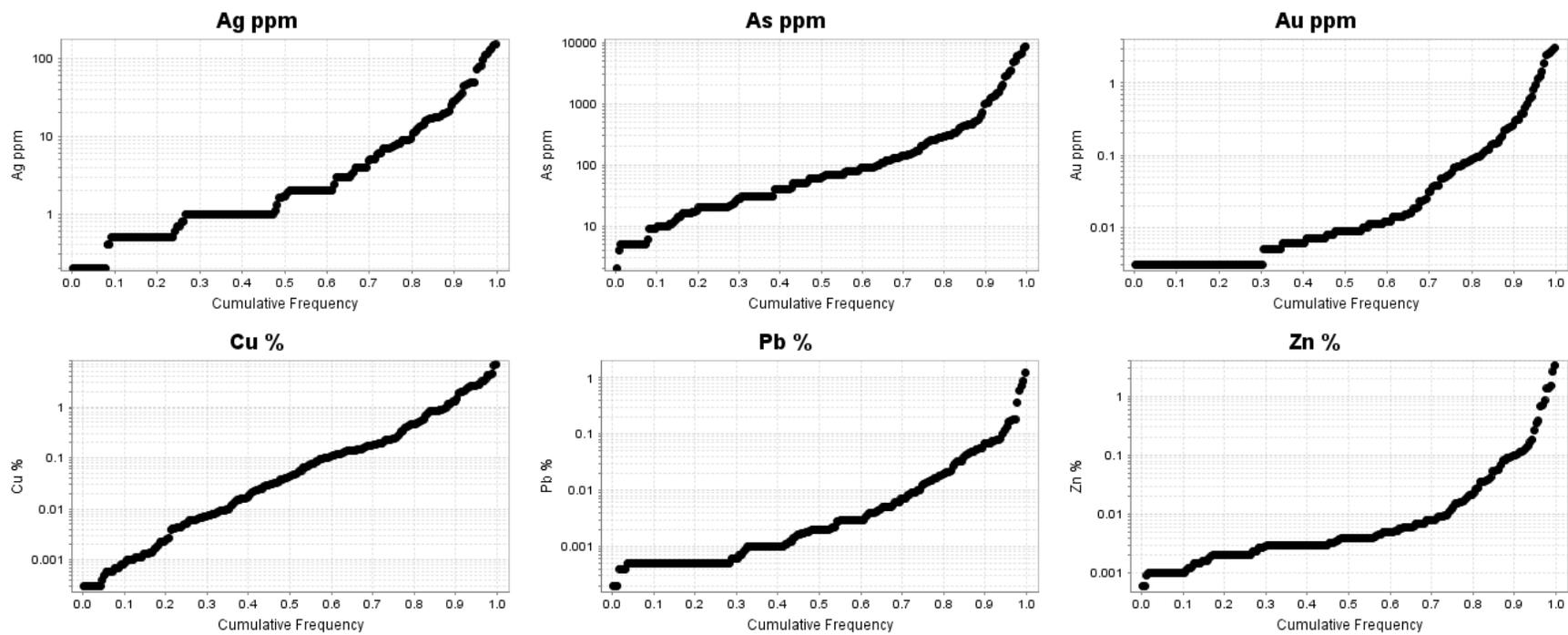


Figura AIII.10: Frecuencias acumuladas sector Angélica

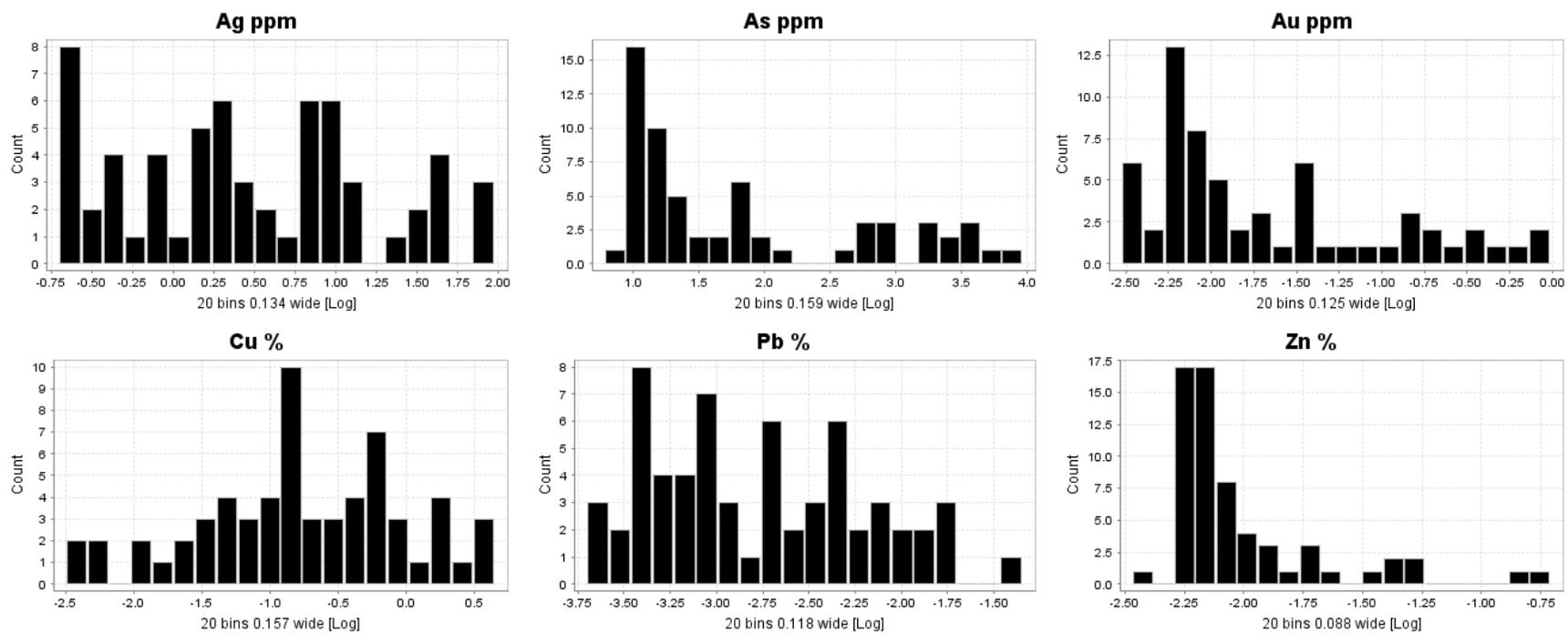


Figura AIII.11: Histogramas sector Ingleses

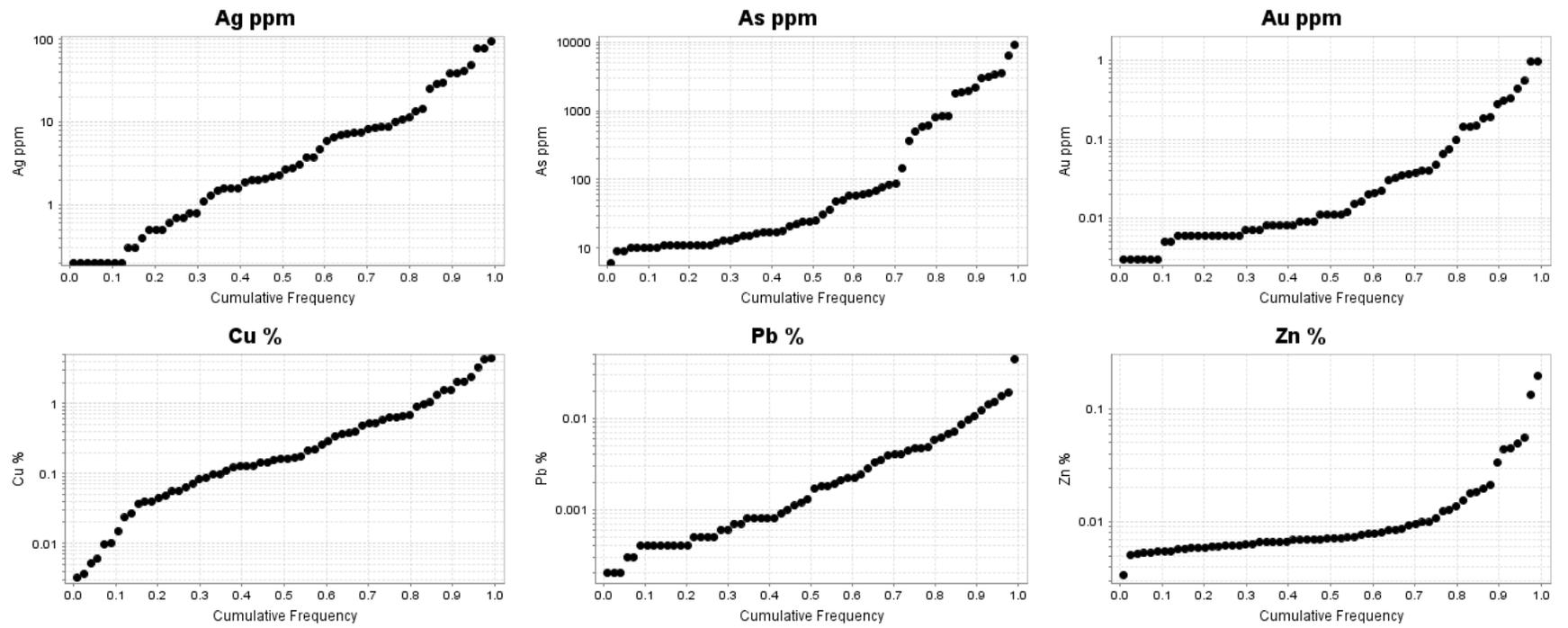


Figura AIII.12: Frecuencias acumuladas sector Ingleses

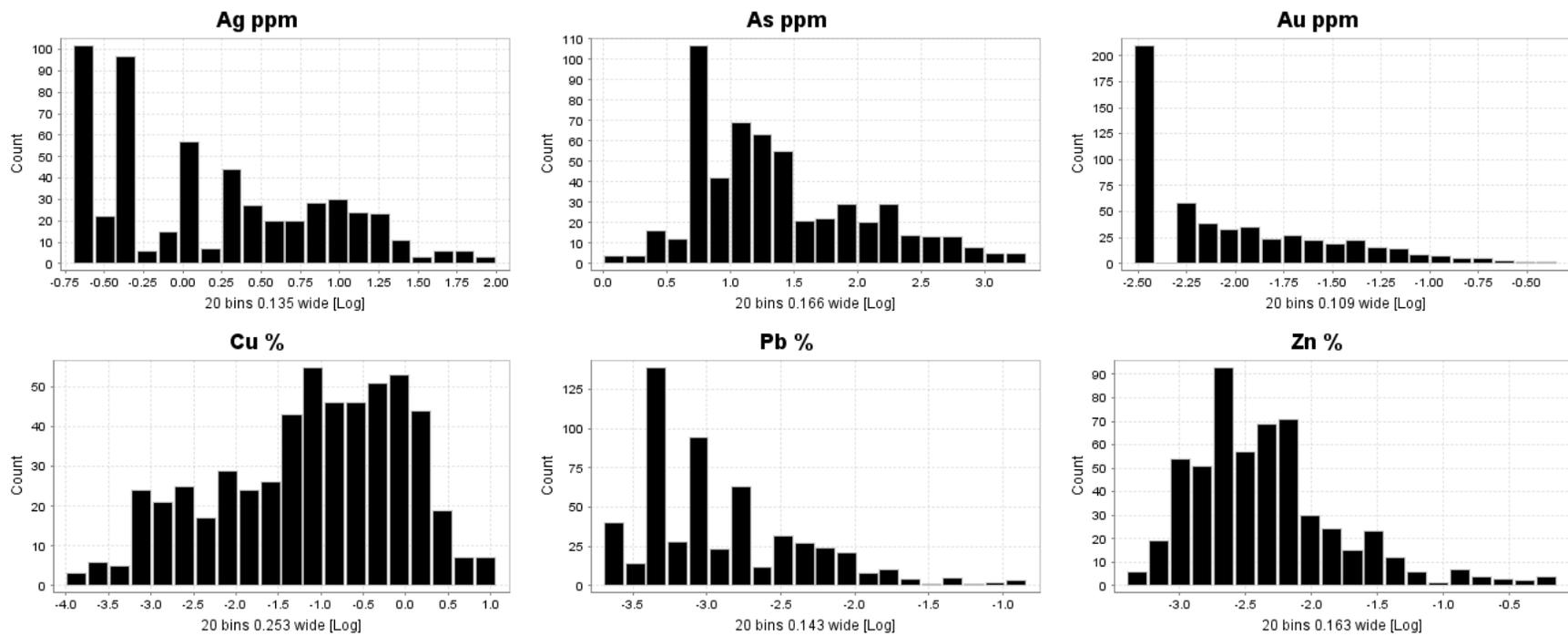


Figura AIII.13: Histogramas sector Franceses

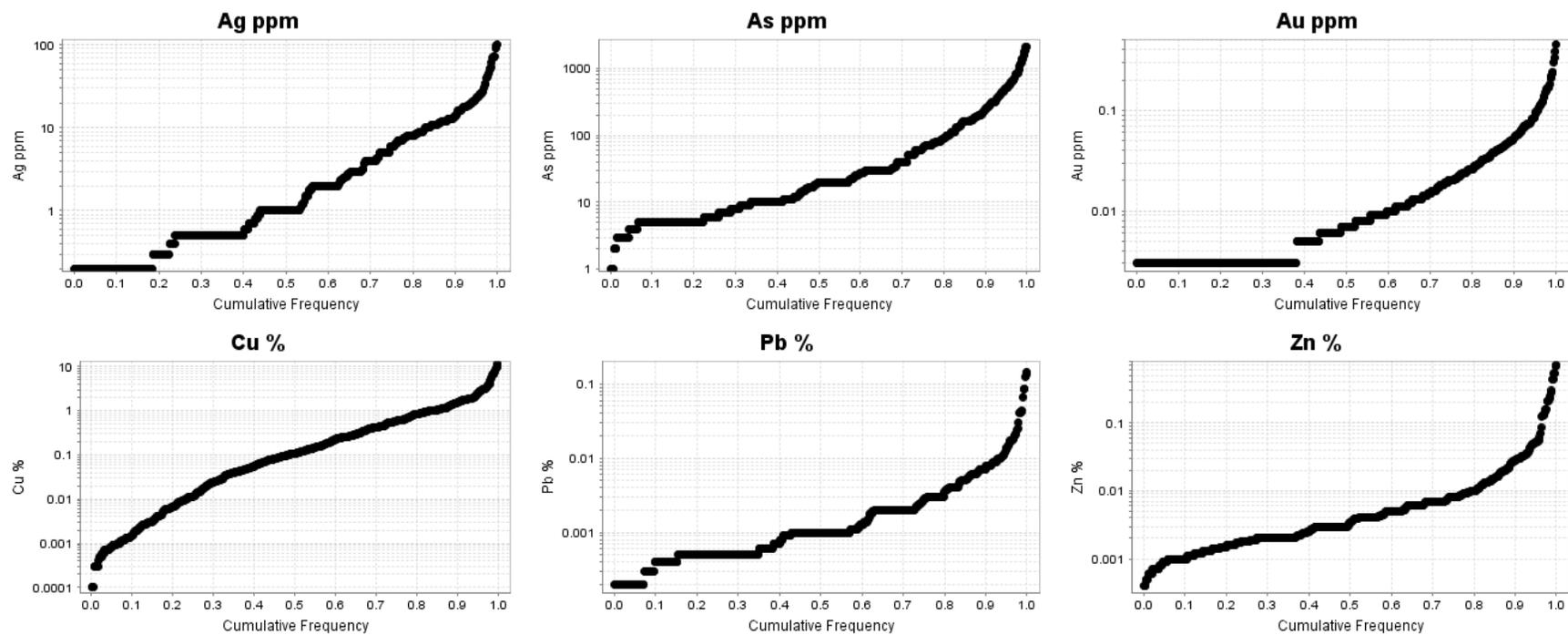


Figura AIII.14: Frecuencias acumuladas sector Franceses

ANEXO D: Análisis de distribución espacial

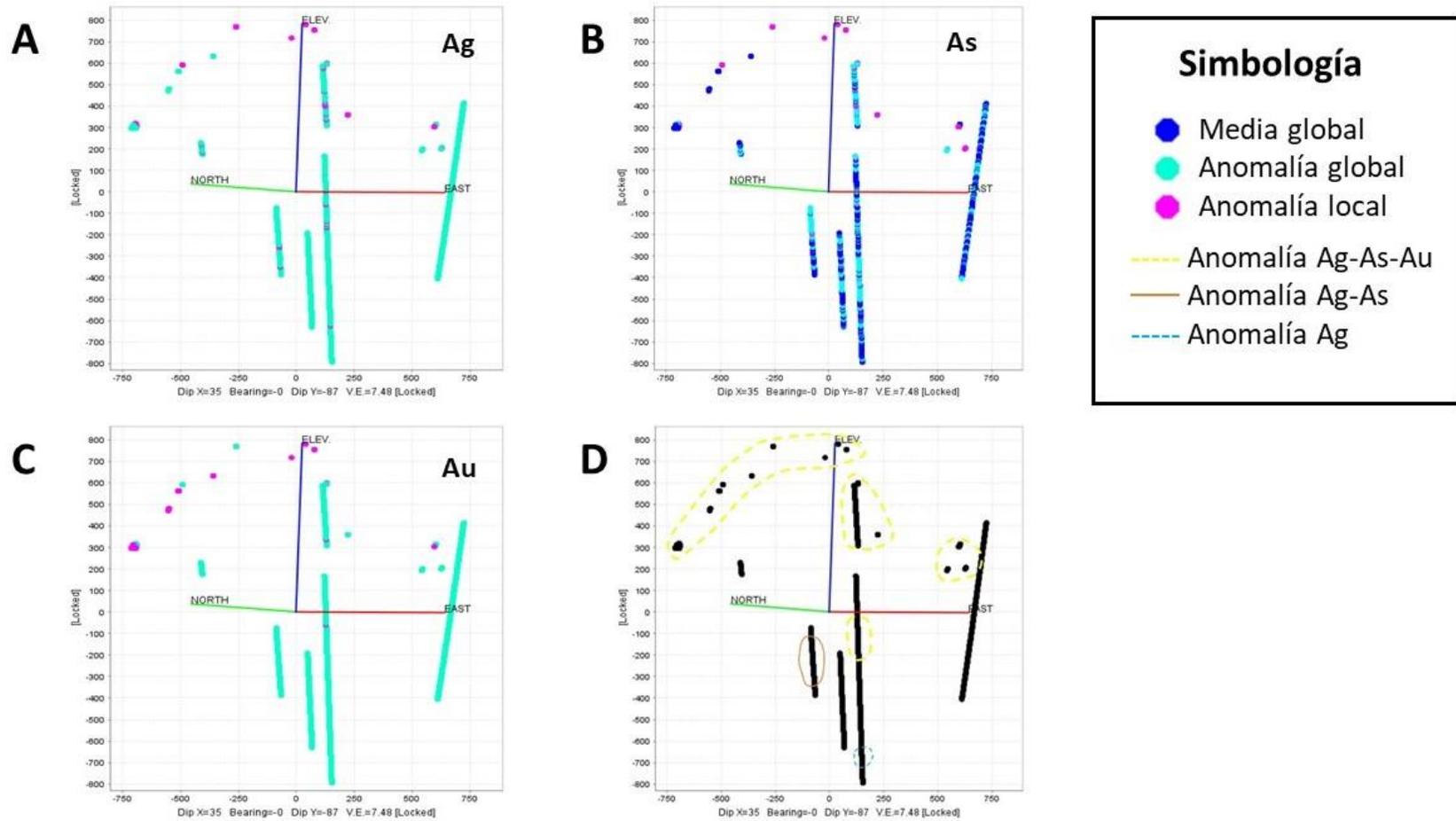


Figura AIV.1: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Cristina. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

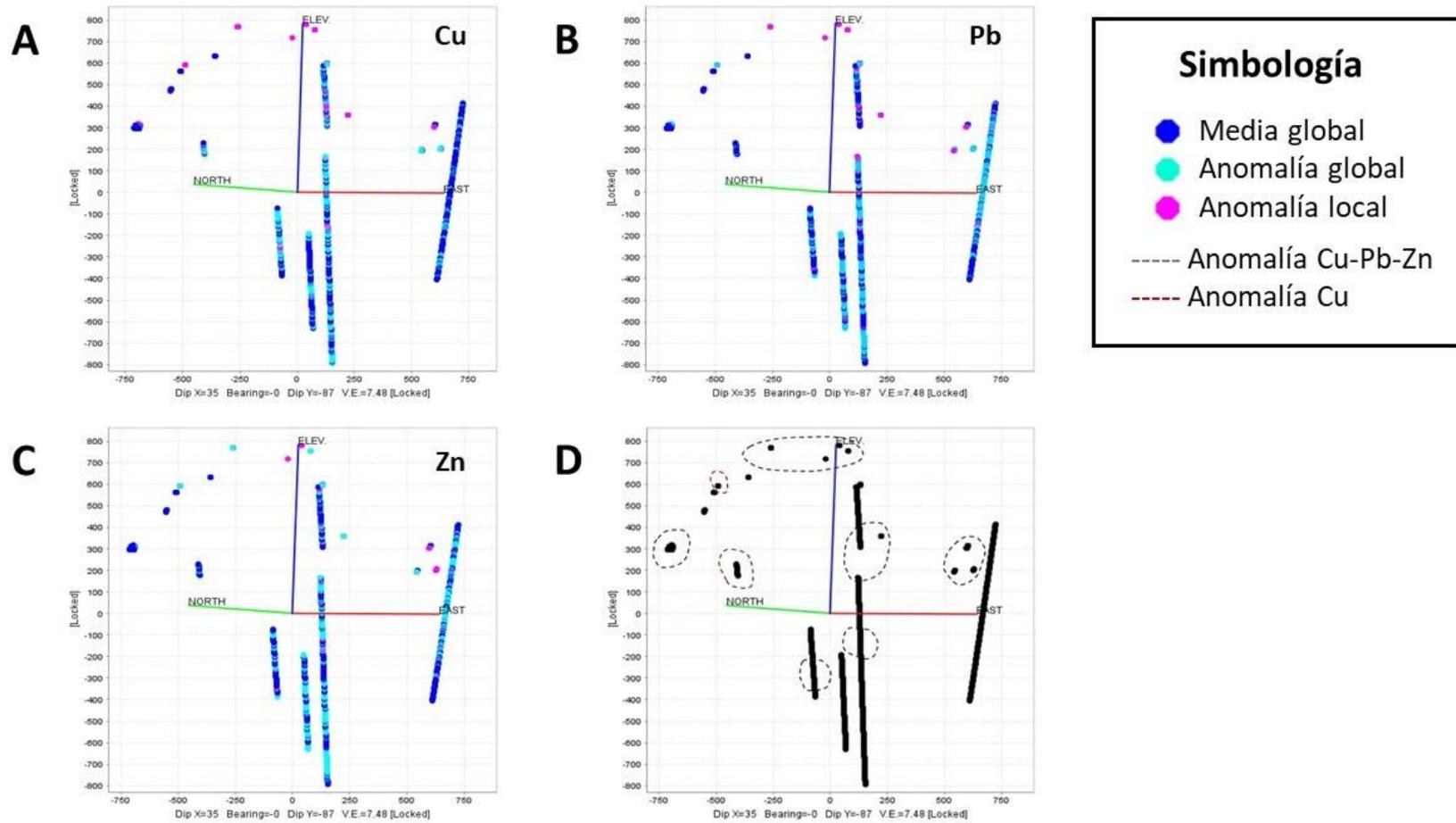


Figura AIV.2: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Cristina. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

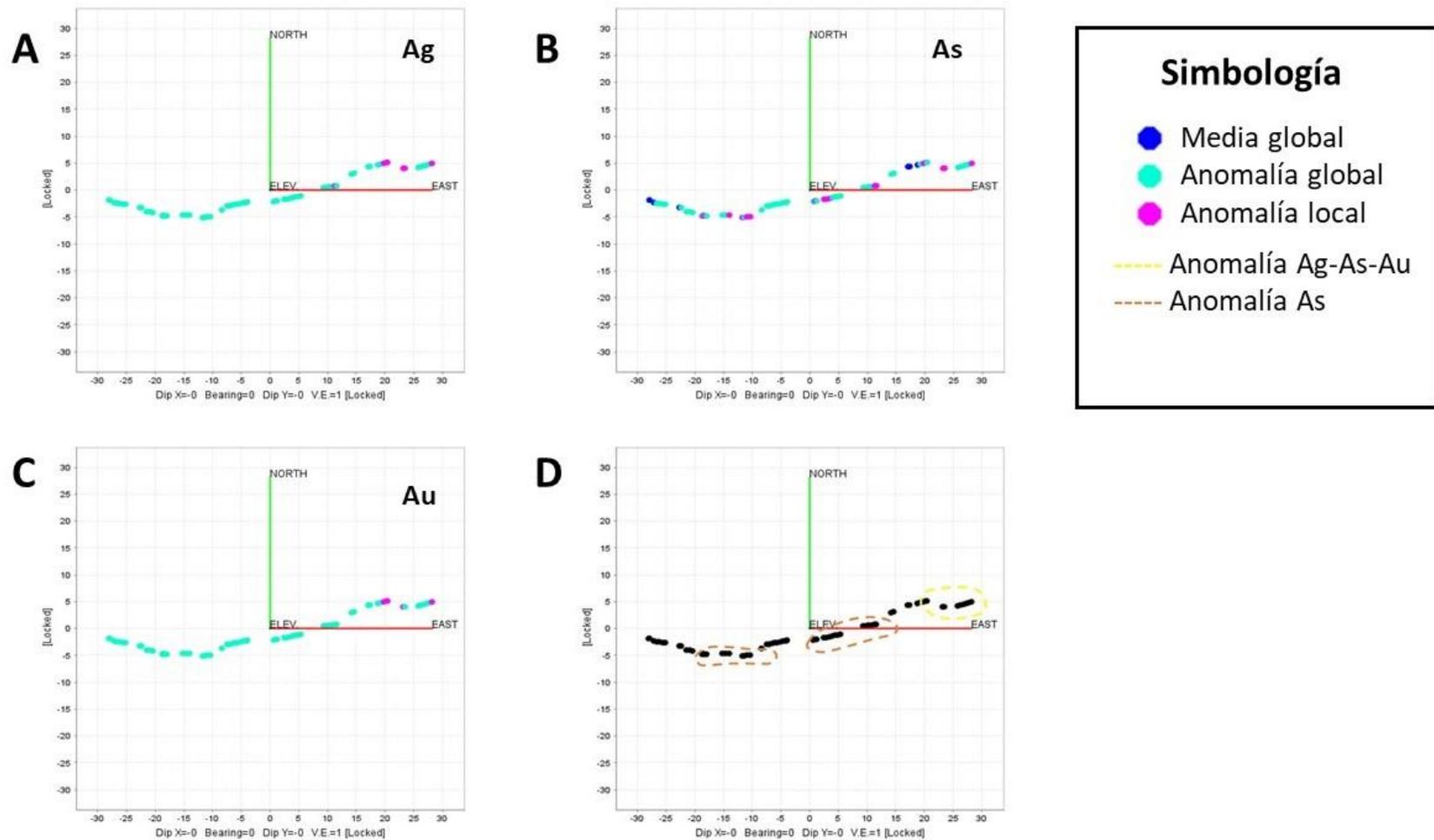


Figura AIV.3: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Isla Green. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).

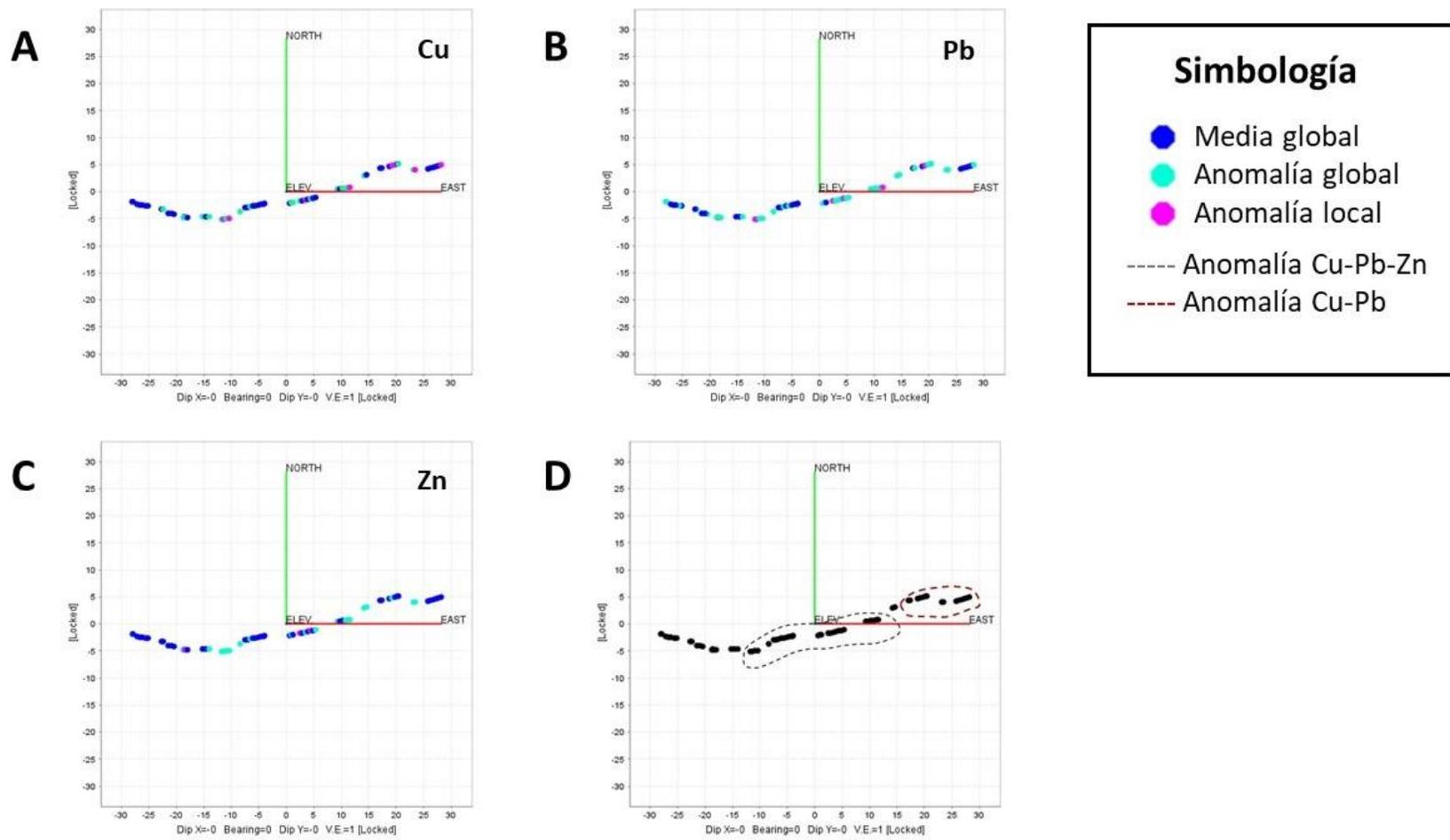


Figura AIV.4: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Isla Green. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).

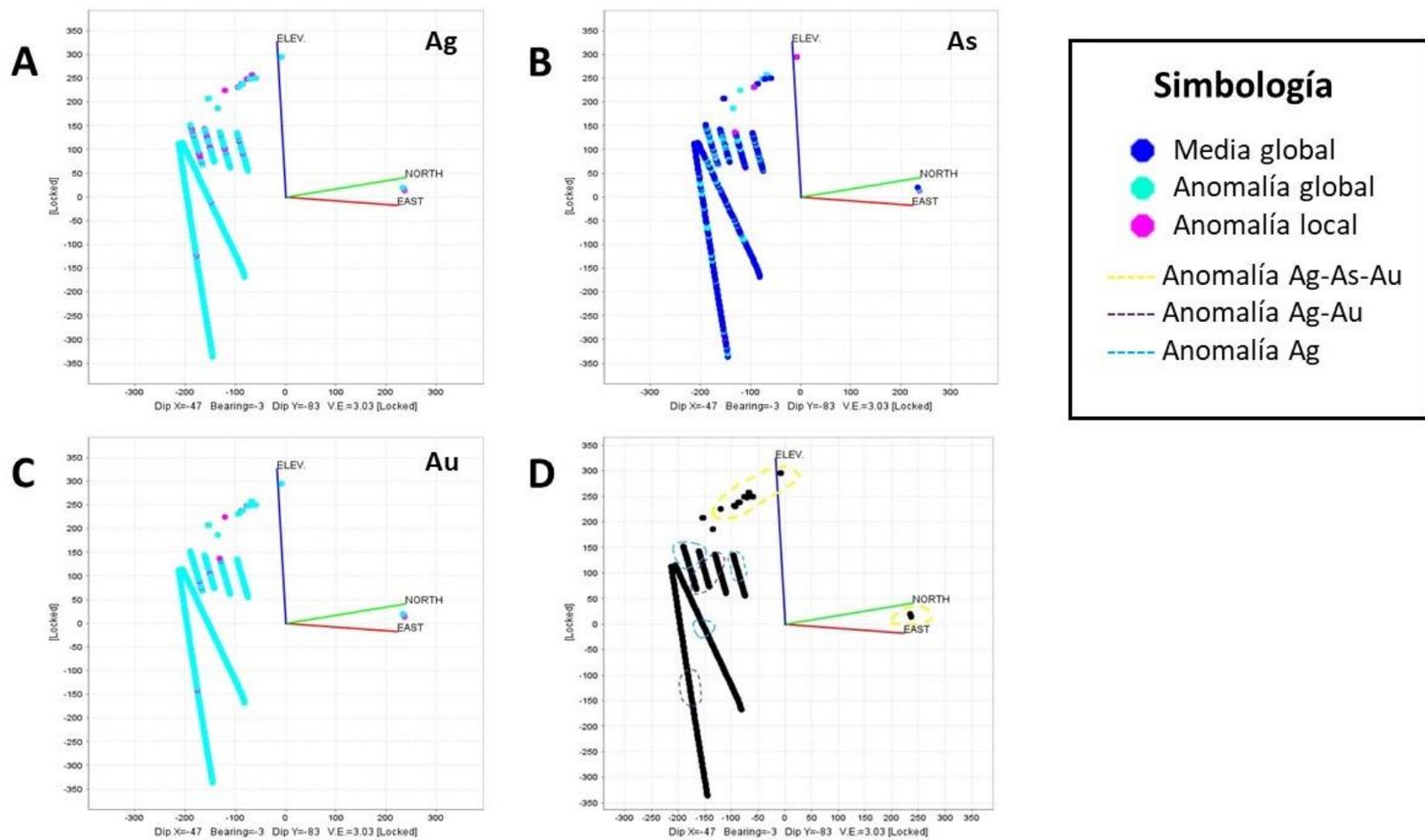


Figura AIV.5: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Mina Cutter. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

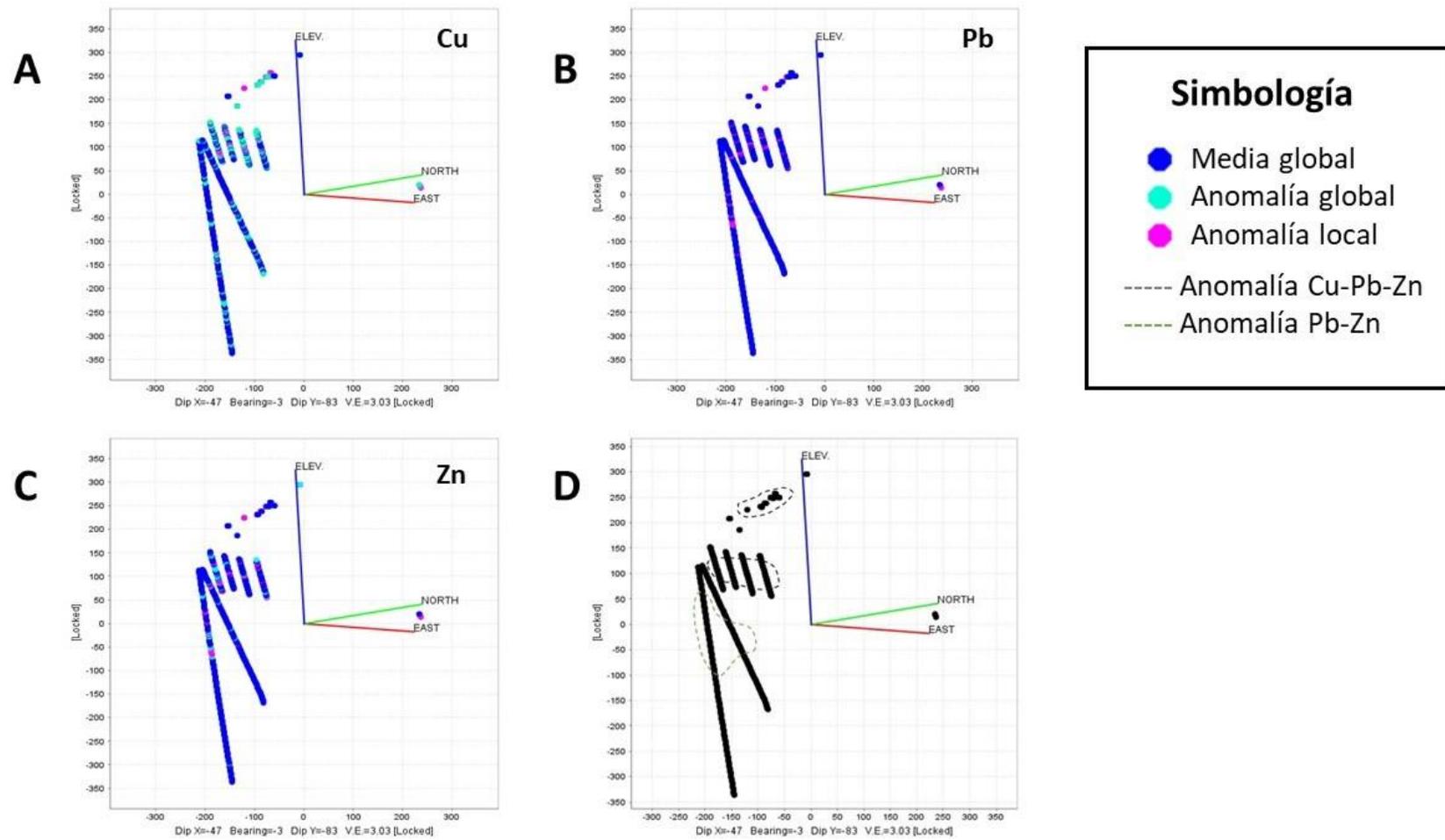


Figura AIV.6: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Mina Cutter. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

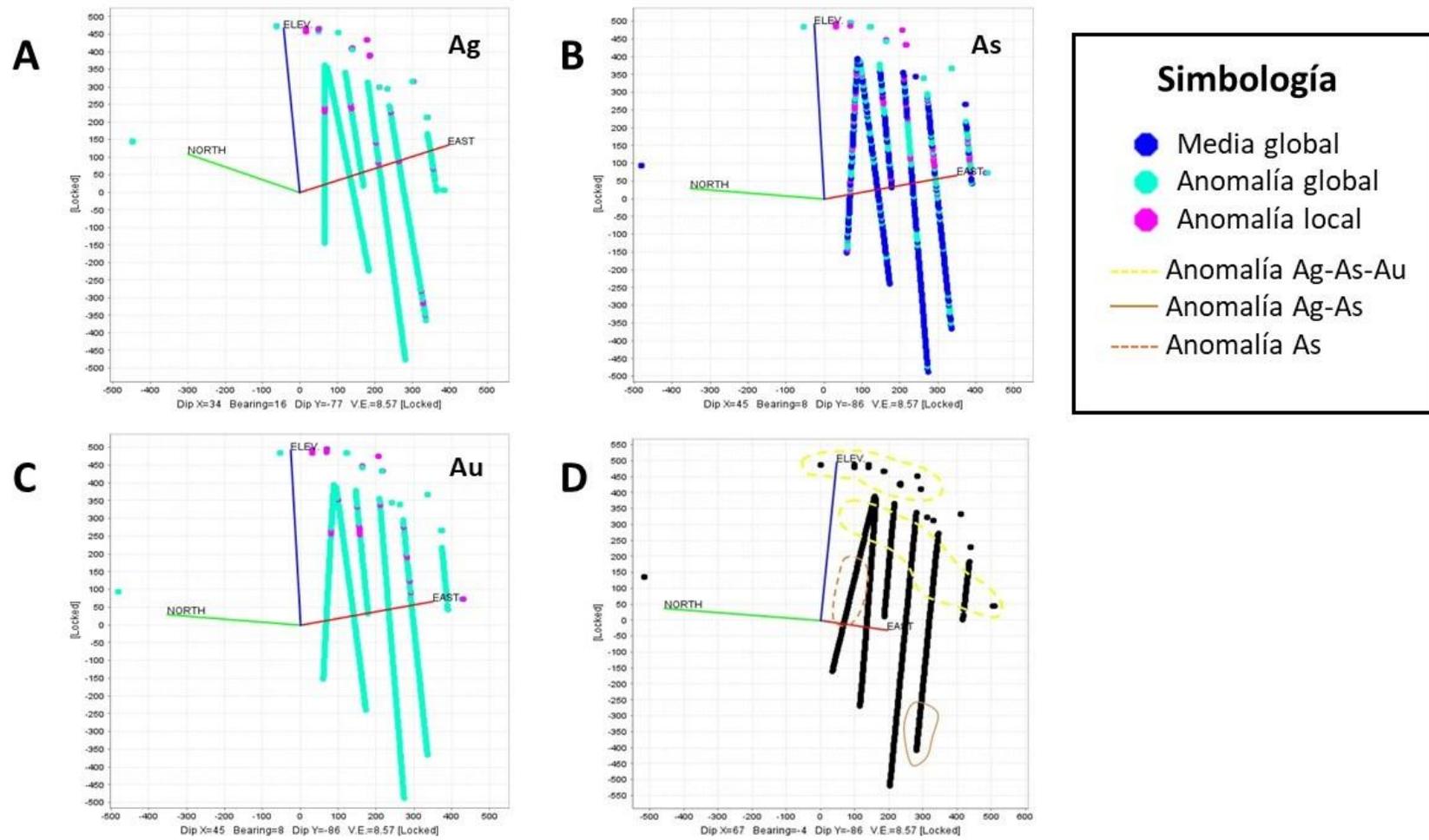


Figura AIV.7: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Veta Gorda. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

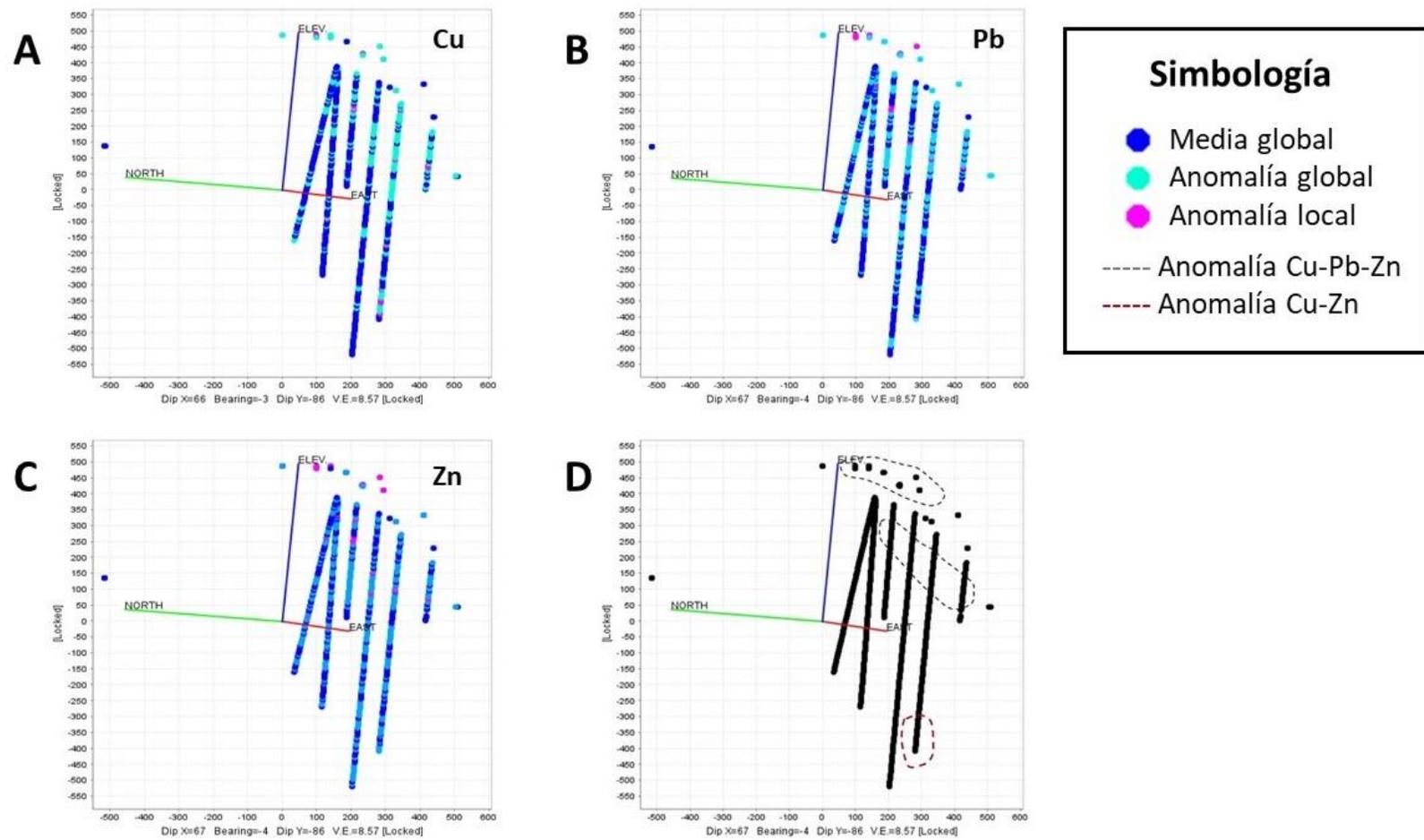


Figura AIV.8: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Veta Gorda. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

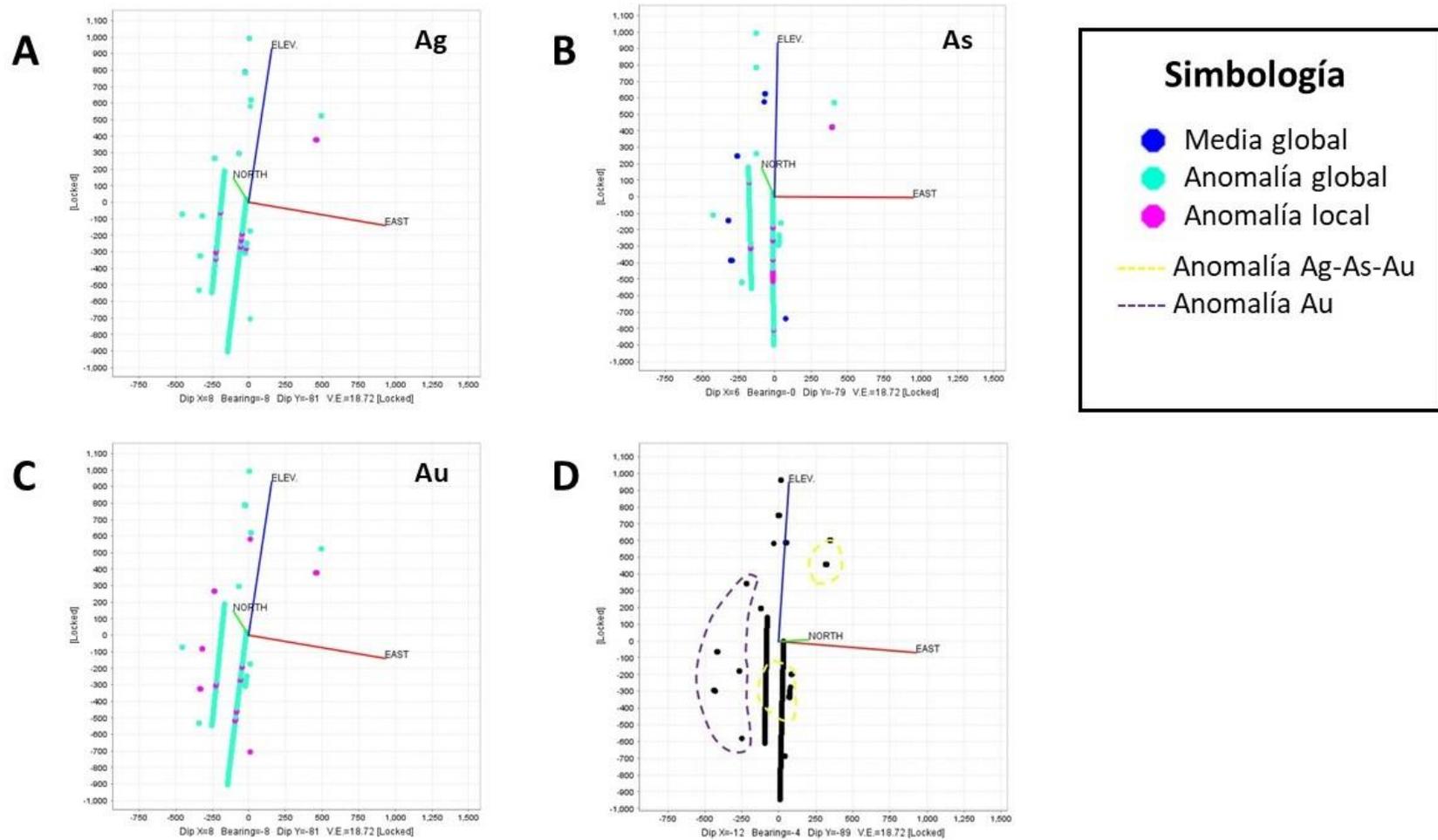


Figura AIV.9: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Angélica. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

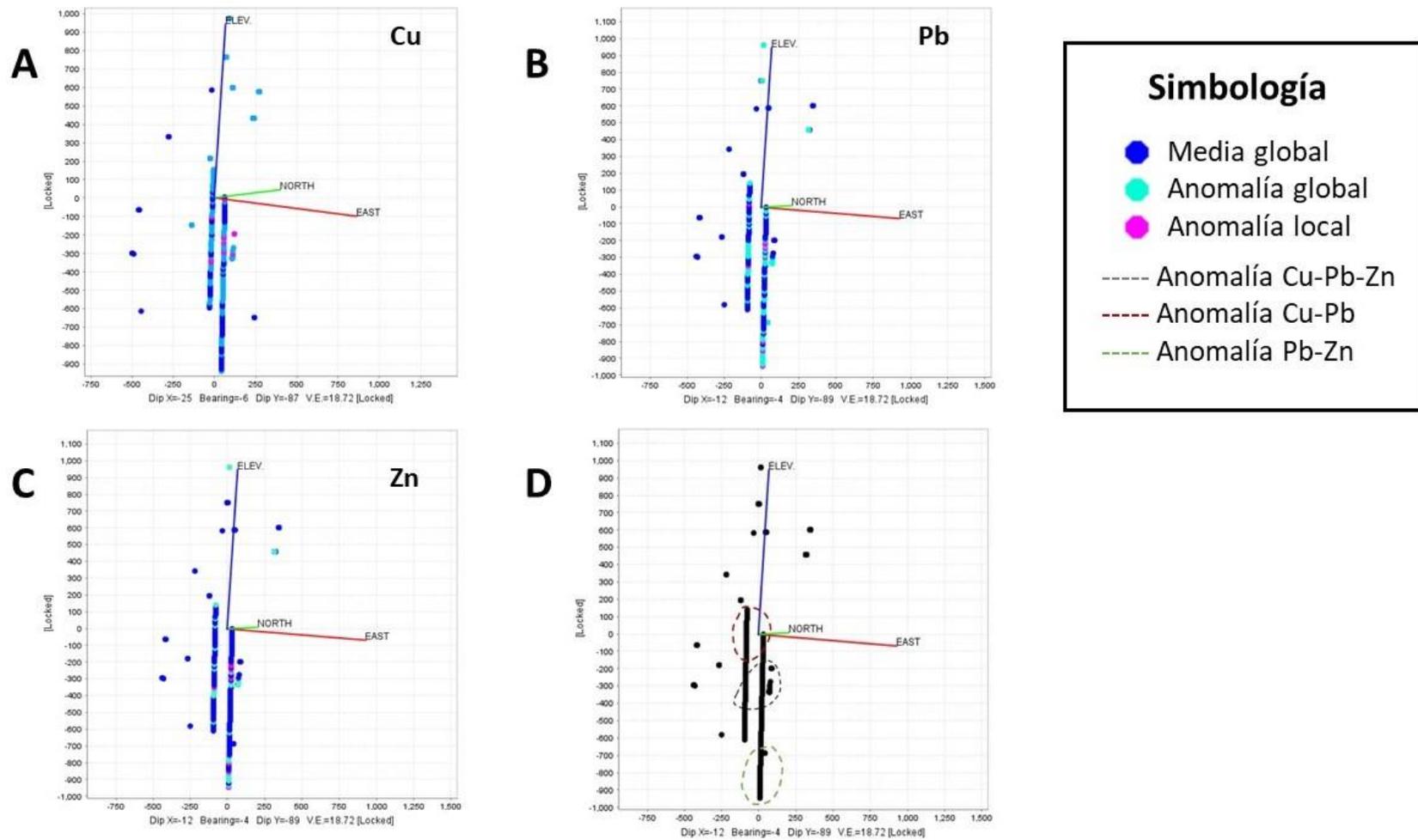


Figura AIV.10: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Angélica. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D). El eje Y se encuentra exagerado.

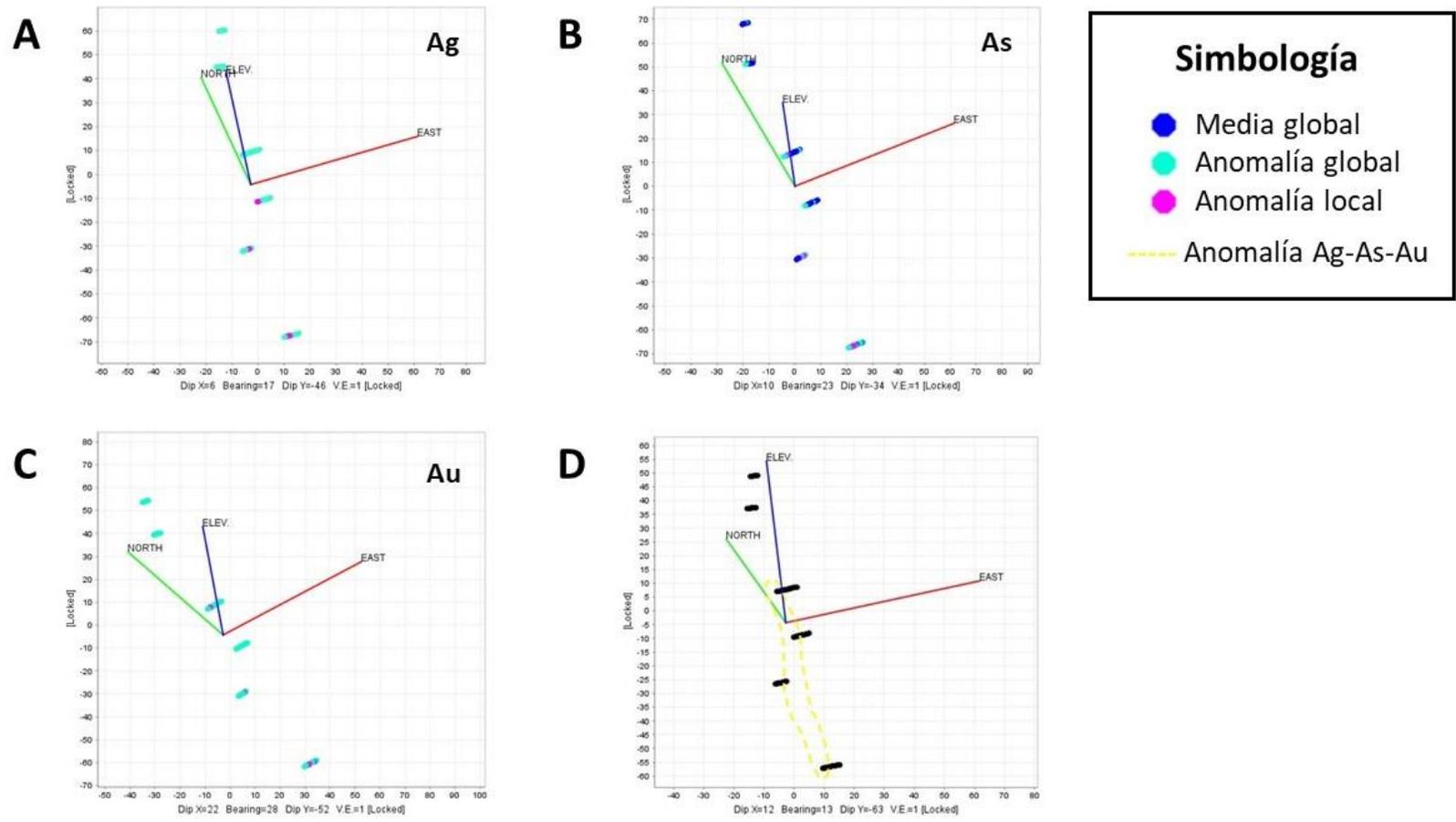


Figura AIV.11: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Ingleses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).

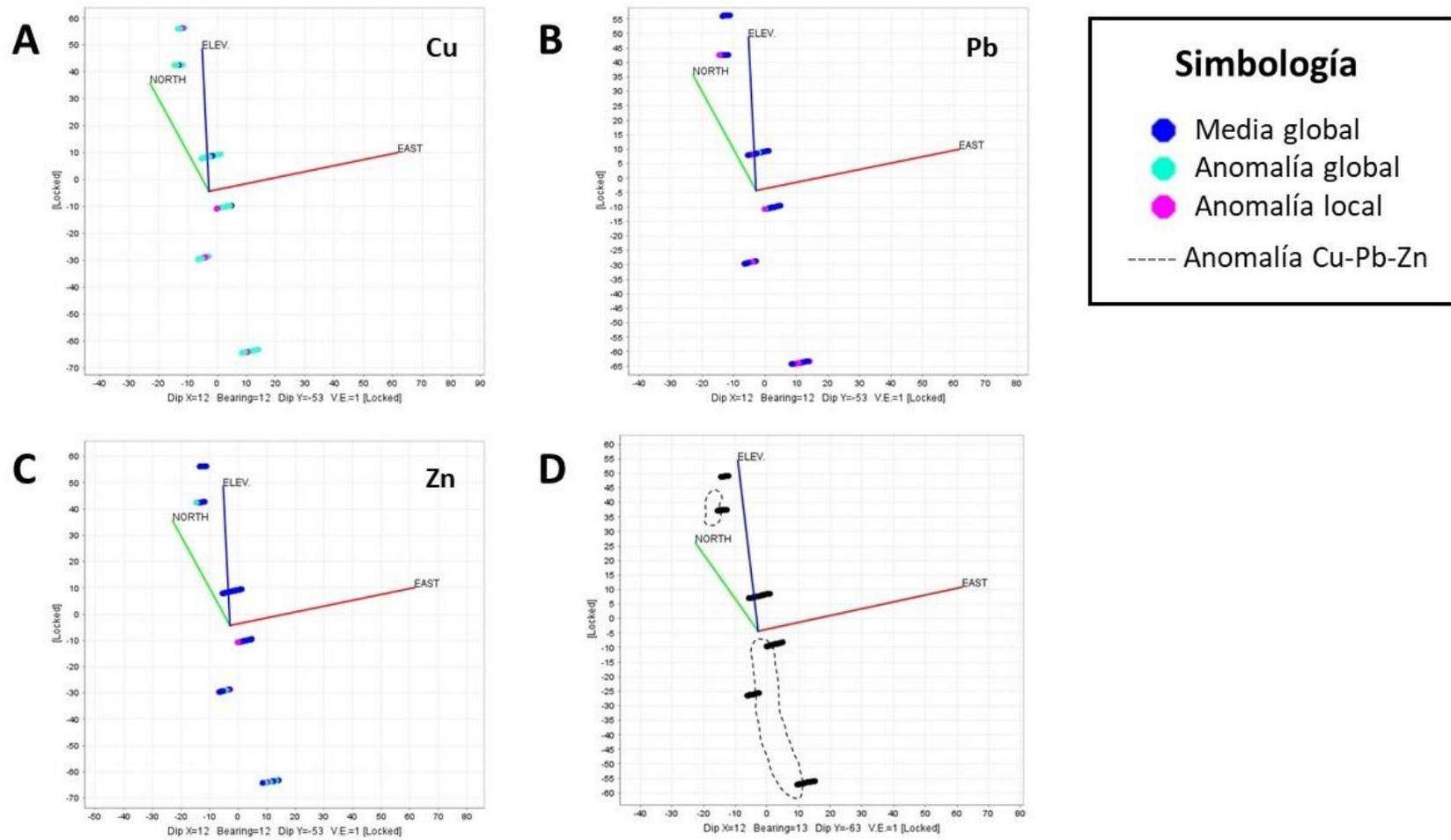


Figura AIV.12: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Ingleses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).

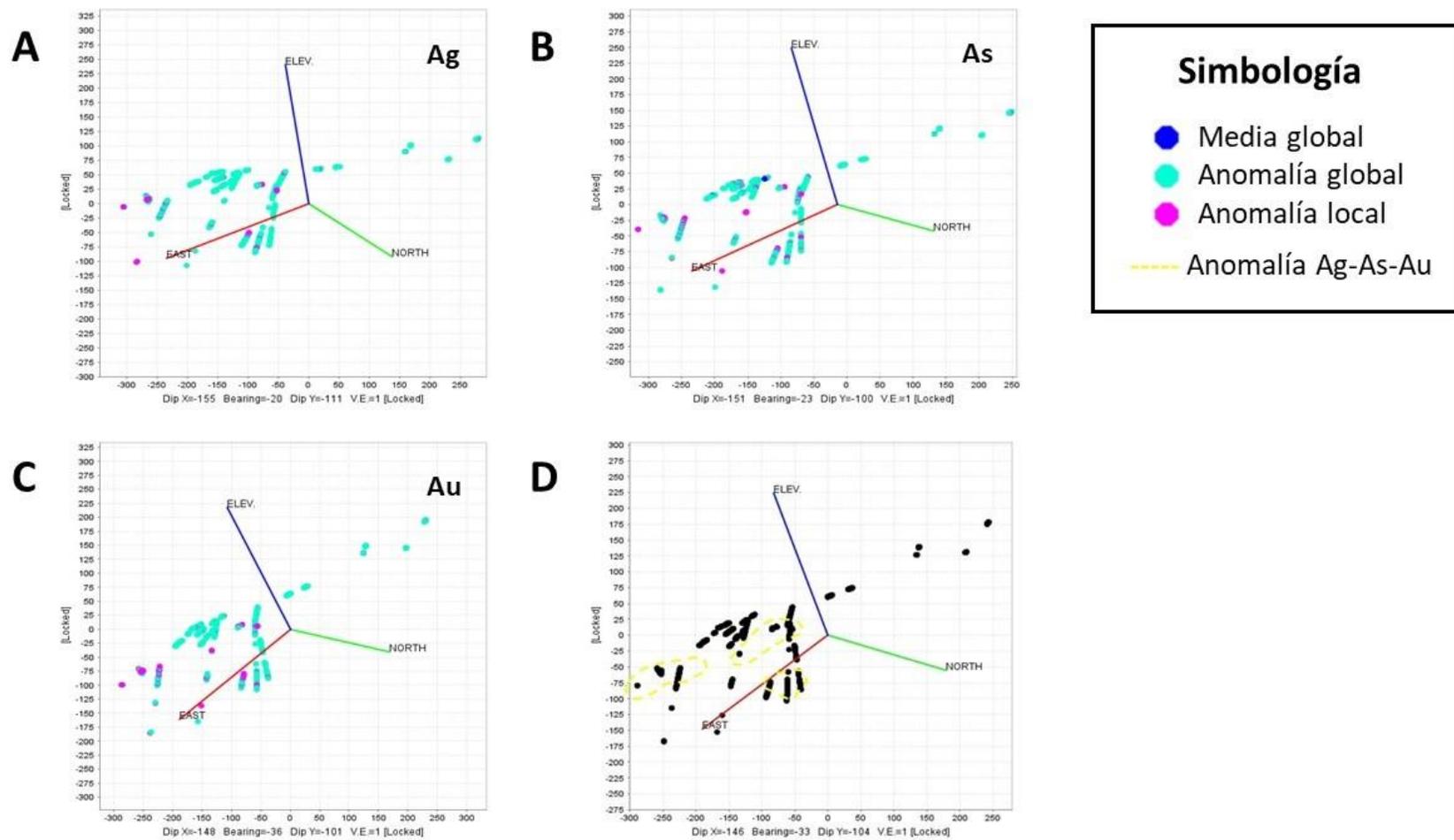


Figura AIV.13: Análisis de distribución espacial para los elementos Ag (A), As (B) y Au (C) en sector Franceses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).

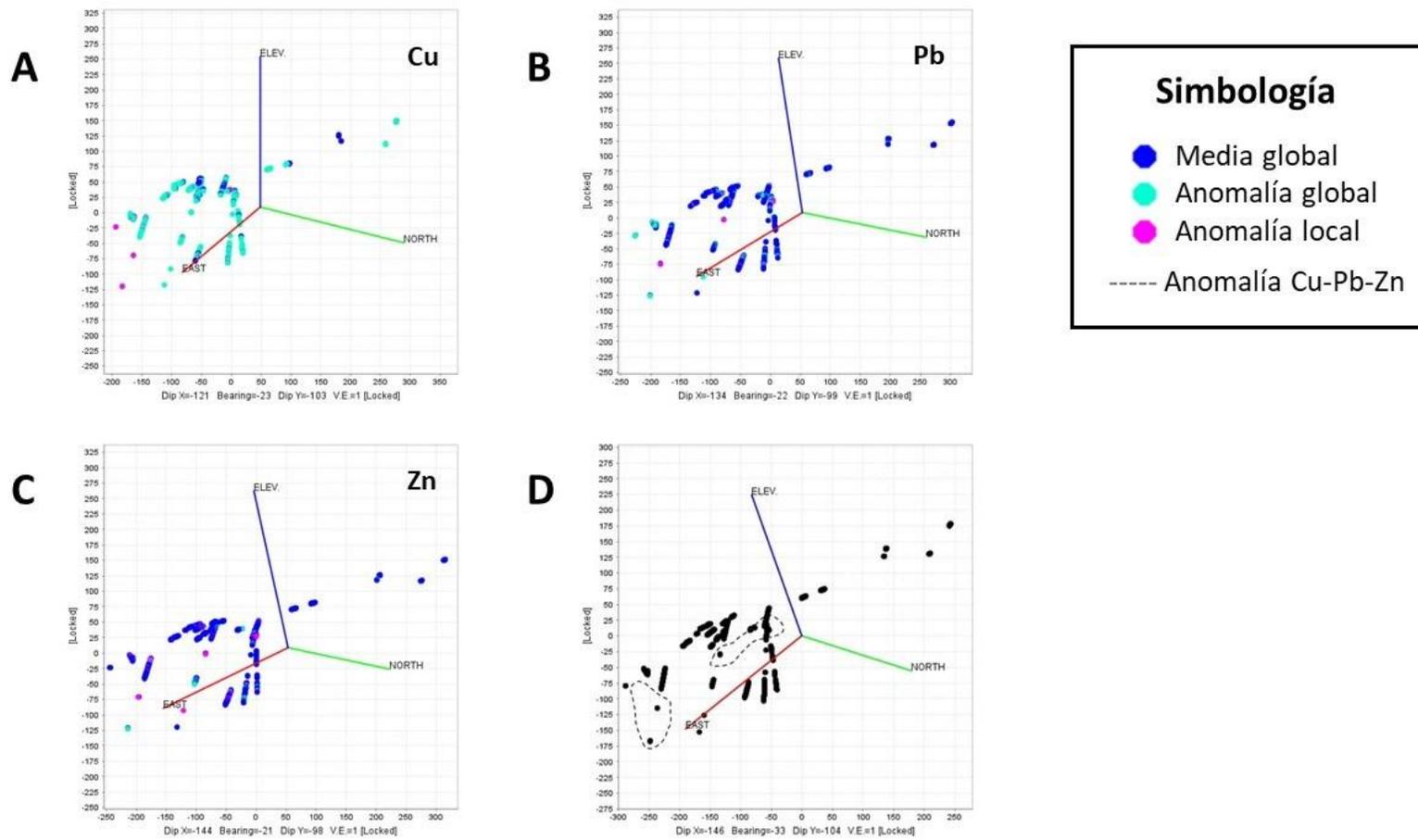


Figura AIV.14: Análisis de distribución espacial para los elementos Cu (A), Pb (B) y Zn (C) en sector Franceses. Se añaden las asociaciones entre sus respectivas anomalías locales (D).