

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de un
yacimiento cordillerano del Perú central para la exploración de
nuevas áreas – Casos de Veta Andaychagua y Veta San Cristóbal**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

Angello Diether Mühlig Mühlig

ID [0009-0003-2108-5568](#)

Asesor

M.Sc. María Carmen Tuiro Salvador

ID [0000-0003-2921-3045](#)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Mühlig Mühlig [1]
Referencia/Reference	[1] A. Mühlig Mühlig, “Geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de un yacimiento cordillerano del Perú central para la exploración de nuevas áreas – Casos de Veta Andaychagua y Veta San Cristóbal” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Citar/How to cite	(Mühlig , 2025)
Referencia/Reference	Mühlig , A. (2025). <i>Geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de un yacimiento cordillerano del Perú central para la exploración de nuevas áreas – Casos de Veta Andaychagua y Veta San Cristóbal</i> . [Tesisl de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a: Mi madre Milagros y mi padre Néstor por haber dedicado su vida en mi educación y siempre apoyarme en todo lo que necesitaba. A mis queridos hijos Mikkel, Sophie y a mi esposa Vianca, que son el soporte y la razón de mi vida, que siempre me dan las fuerzas para salir adelante y seguir creciendo como persona y como profesional.

Agradecimientos

Mi especial agradecimiento al gerente corporativo de Exploraciones Regionales de la empresa Volcan Compañía Minera S.A.A., el Ing. César Farfán Bernales. Al jefe corporativo del área de Exploraciones Regionales, el Ing. Carlos Yacila Gómez y al investigador en geociencias, el Dr. Ronner Bendezú Juarez, por apoyarme con su asesoría en la tesis y el haberme dado la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación en la unidad minera San Cristóbal - Andaychagua, y así poder ampliar mis conocimientos teóricos - prácticos adquiridos en mi formación universitaria.

Resumen

El presente trabajo de investigación trata del estudio de isovalores y cocientes metálicos para definir zonas de mayor y menor temperatura de la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua, con la finalidad de delimitar la mineralización de las vetas e inducir nuevas áreas de exploración.

El yacimiento cordillerano donde se encuentran las vetas mencionadas está localizado en la parte suroeste del Domo de Yauli, en el departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Yauli, en Perú. El depósito cordillerano en San Cristóbal y Andaychagua presenta mineralización en vetas rellenando fracturas, y atraviesan a las filitas del Grupo Excelsior, volcánicos del Grupo Mitu y calizas del Grupo Pucará.

El trabajo de investigación se inició compilando los datos de las leyes de los impactos de la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua, teniendo un total de 28934 datos recolectados de leyes para la veta Andaychagua y 3742 datos de leyes para la veta San Cristóbal. Con esta información, se realizó el tratamiento estadístico de los datos y posteriormente la generación de secciones de isovalores y cocientes metálicos de ambas vetas, con lo cual se logra identificar nuevas zonas de exploración de la veta donde no se tenía definido el límite de mineralización. Esto es al suroeste y noreste de la veta San Cristóbal y al suroeste de la veta Andaychagua.

Palabras claves — Domo de Yauli, depósitos cordilleranos, isovalores, cocientes metálicos

Abstract

The present research work deals with the study of isovalues and metallic ratios to define zones of higher and lower temperatures of the San Cristóbal vein and the Andaychagua vein, with the purpose of delimiting the mineralization of the veins and inducing new exploration areas.

The cordilleran deposit where the mentioned veins are located is in the southwest part of the Yauli Dome, in the department of Junín, province of Yauli, district of Yauli, in Peru. The cordilleran deposit in San Cristóbal and Andaychagua presents mineralization in veins filling fractures, and cross the phyllites of the Excelsior Group, volcanics of the Mitu Group and limestones of the Pucará Group.

The research work began by compiling assay data from the impacts of the San Cristóbal vein and the Andaychagua vein, having a total of 28,934 assay data collected for the Andaychagua vein and 3,742 assay data collected for the San Cristóbal vein. With this information, the statistical treatment of the data was carried out and subsequently the generation of sections of isovalues and metallic ratios of both veins, which made it possible to identify new exploration areas of the vein where the mineralization limit had not been defined. This is southwest and northeast of the San Cristóbal vein and southwest of the Andaychagua vein.

Keywords — Yauli Dome, cordilleran deposits, isovalues, metallic ratios.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	XV
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	1
1.2.1 Formulación del problema	3
1.2.2 Justificación del problema	3
1.2.3 Limitaciones del trabajo.....	3
1.3 Objetivos de la tesis	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis	4
1.5 Antecedentes investigativos	4
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	8
2.1 Marco teórico	8
2.1.1 Tratamiento estadístico de datos geoquímicos.....	8
2.1.2 Isovalores.....	18
2.1.3 Cocientes metálicos	19
2.1.4 Secciones de isovalores y cocientes metálicos	22
2.1.5 Zonas de mayor y menor temperatura.....	24
2.1.6 Depósitos cordilleranos	25
2.2 Marco conceptual.....	30
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	31
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	31
3.1.1 Población y muestra.....	32

3.2	Características de la unidad de análisis – San Cristóbal y Andaychagua	33
3.2.1	Ubicación y acceso	33
3.2.2	Geología regional.....	34
3.2.3	Metalogenia.....	36
3.2.4	Geología local	40
3.2.5	Muestreo geológico superficial	48
3.2.6	Estratigrafía.....	50
3.2.7	Geología estructural	58
3.2.8	Alteraciones hidrotermales	62
3.3	Recolección de datos para determinar la geoquímica de isovalores	63
3.4	Tratamiento estadístico de los datos para las vetas San Cristóbal y Andaychagua	64
3.4.1	Tratamiento estadístico de los datos de la veta San Cristóbal.....	64
3.4.2	Tratamiento estadístico de los datos de la veta Andaychagua	85
	Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	105
4.1	Presentación de resultados	105
4.1.1	Construcción de los isovalores y cocientes metálicos de la veta San Cristóbal .	105
4.1.2	Construcción de los isovalores y cocientes metálicos de la veta Andaychagua.	110
4.2	Discusión de resultados	115
4.2.1	Veta San Cristóbal	115
4.2.2	Veta Andaychagua.....	123
4.2.3	Comentarios adicionales	132
4.3	Aportes del trabajo de investigación.....	136
4.3.1	Programa de perforación.....	136
	Conclusiones	139
	Recomendaciones	142
	Referencias bibliográficas	143
	Anexos	147

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Marco conceptual.....	30
Tabla 2: Tabla de muestras totales utilizadas para el trabajo de investigación	32
Tabla 3: Formato de recolección de datos de los impactos veta San Cristóbal y Andaychagua.....	63
Tabla 4: Presentación de resultados del Background y Threshold para todos los elementos. Veta San Cristóbal	83
Tabla 5: Presentación de los rangos geoquímicos para todos los elementos. Veta San Cristóbal	84
Tabla 6: Presentación de resultados del Background y Threshold para todos los elementos. Veta Andaychagua.....	103
Tabla 7: Presentación de los rangos geoquímicos para todos los elementos. Veta Andaychagua	104
Tabla 8: Programa de perforación veta San Cristóbal.....	137
Tabla 9: Programa de perforación veta Andaychagua	138

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Ejemplo de histograma de frecuencias	9
Figura 2 : Diagrama de cajas y bigotes o box plot.....	9
Figura 3 : Coeficiente de correlación de Pearson.....	10
Figura 4 : Ejemplo del Umbral (Threshold) y el valor de fondo (Background).....	11
Figura 5 : Ejemplo del Umbral (Threshold) y el valor de fondo (Background).....	13
Figura 6 : Ejemplo del Umbral (Threshold) y el valor de fondo (Background) en un gráfico de probabilidad del ioGAS	14
Figura 7 : Ejemplo del criterio convencional en una curva de Gauss	16
Figura 8 : Alternativa de utilización del criterio convencional.....	17
Figura 9 : Sección longitudinal de la Veta San Cristóbal mostrando los isovalores de Zn en porcentaje	19
Figura 10: Sección longitudinal de la veta Andaychagua mostrando los cocientes metálicos de Pb/Zn.....	20
Figura 11: Sección de isovalores de Cu en porcentaje de la veta Andaychagua.....	23
Figura 12: Sección del cociente metálico Pb/Zn de la veta Andaychagua.....	23
Figura 13: Zonas de mayor y menor temperatura que se observa en una sección del cociente metálico Pb/Zn de la veta Andaychagua.....	25
Figura 14: Modelo geológico de un yacimiento cordillerano dentro de un sistema tipo pórfito.....	26
Figura 15: Modelo generalizado de yacimientos cordilleranos	27
Figura 16: Zonación normal en un yacimiento cordillerano	28
Figura 17: Zonación contraída en un yacimiento cordillerano	29
Figura 18: Mapa conceptual del proceso metodológico del trabajo de investigación.....	31
Figura 19: Plano de ubicación San Cristóbal – Andaychagua	34
Figura 20: Mapa de la Geología regional del distrito minero San Cristóbal – Andaychagua	36

Figura 21: Mapa metalogenético de la región del Perú central.....	38
Figura 22: Mapa metalogenético de la región del Perú central.....	39
Figura 23: Extensión de la veta San Cristóbal en superficie.....	43
Figura 24: Extensión de la veta Andaychagua en superficie	47
Figura 25: Muestra superficial de la veta San Cristóbal en afloramiento	48
Figura 26: Canal de muestreo en la veta San Cristóbal	49
Figura 27: Rumbo de la veta San Cristóbal.....	49
Figura 28: Columna estratigráfica de San Cristóbal – Andaychagua.....	50
Figura 29: Pulsos magmáticos de la mina San Cristóbal	57
Figura 30: Sección longitudinal SW-NE del Domo de Yauli.....	59
Figura 31: Mapa estructural local de las principales fallas, vetas, contactos de la mina San Cristóbal, Carahuacra, Andaychagua.....	61
Figura 32: Depuración de datos.....	65
Figura 33: Tabla de comprobación donde se observa que no existen datos vacíos.....	65
Figura 34: Histogramas de Zn, Pb, Cu, Ag y cocientes metálicos sin normalizar	66
Figura 35: Diagrama de cajas y bigotes (base logarítmica) de Cu, Pb, Zn y Ag sin normalizar.....	67
Figura 36: Diagrama de cajas y bigotes para todos los datos normalizados de la veta San Cristóbal.....	68
Figura 37: Diagramas de dispersión XY de Ag y Cu, Veta San Cristóbal	68
Figura 38: Diagramas de dispersión XY de Ag y Pb, Veta San Cristóbal	69
Figura 39: Diagramas de dispersión XY de Ag y Zn, Veta San Cristóbal	69
Figura 40: Diagramas de dispersión XY de Pb y Cu, Veta San Cristóbal	70
Figura 41: Diagramas de dispersión XY de Pb y Zn, Veta San Cristóbal	70
Figura 42: Diagramas de dispersión XY de Cu y Zn, Veta San Cristóbal	71
Figura 43: Histogramas de datos normalizados de la población homogénea	72
Figura 44: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Cu	73
Figura 45: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Pb	74

Figura 46: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Zn	75
Figura 47: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados de la Ag	76
Figura 48: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Cu	77
Figura 49: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Pb.....	78
Figura 50: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Zn.....	79
Figura 51: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Zn.....	80
Figura 52: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Cu	81
Figura 53: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Zn/Cu.....	82
Figura 54: Depuración de datos. La figura muestra que los datos a utilizar no presentan ningún error para poder ser tratados.....	85
Figura 55: Tabla de comprobación donde se observa que no existen datos vacíos	85
Figura 56: Histogramas de Zn, Pb, Cu, Ag y cocientes metálicos sin normalizar	86
Figura 57: Diagrama de cajas y bigotes (base logarítmica) de Cu, Pb, Zn y Ag sin normalizar.....	87
Figura 58: Diagrama de cajas y bigotes para todos los datos normalizados de la veta Andaychagua.....	88
Figura 59: Diagramas de dispersión XY de Ag y Cu, Veta Andaychagua.....	88
Figura 60: Diagramas de dispersión XY de Ag y Pb, Veta Andaychagua.....	89
Figura 61: Diagramas de dispersión XY de Ag y Zn, Veta Andaychagua.....	89
Figura 62: Diagramas de dispersión XY de Pb y Cu, Veta Andaychagua.....	90
Figura 63: Diagramas de dispersión XY de Pb y Zn, Veta Andaychagua	90
Figura 64: Diagramas de dispersión XY de Cu y Zn, Veta Andaychagua.....	91
Figura 65: Histogramas de datos normalizados de la población homogénea.....	92
Figura 66: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Cu	93
Figura 67: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Pb	94
Figura 68: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Zn	95
Figura 69: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados de la Ag	96
Figura 70: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Cu	97

Figura 71: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Pb.....	98
Figura 72: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Zn.....	99
Figura 73: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Zn....	100
Figura 74: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Cu ...	101
Figura 75: Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Zn/Cu....	102
Figura 76: Sección de isovalores de Cu en porcentaje. Veta San Cristóbal	105
Figura 77: Sección de isovalores de Pb en porcentaje. Veta San Cristóbal	106
Figura 78: Sección de isovalores de Zn en porcentaje. Veta San Cristóbal	106
Figura 79: Sección de isovalores de Ag en onzas. Veta San Cristóbal	107
Figura 80: Sección del cociente metálico Ag/Cu. Veta San Cristóbal.....	107
Figura 81: Sección del cociente metálico Ag/Pb. Veta San Cristóbal.....	108
Figura 82: Sección del cociente metálico Ag/Zn. Veta San Cristóbal	108
Figura 83: Sección del cociente metálico Pb/Zn. Veta San Cristóbal	109
Figura 84: Sección del cociente metálico Pb/Cu. Veta San Cristóbal.....	109
Figura 85: Sección del cociente metálico Zn/Cu. Veta San Cristóbal	110
Figura 86: Sección de isovalores de Cu en porcentaje. Veta Andaychagua.....	110
Figura 87: Sección de isovalores de Pb en porcentaje. Veta Andaychagua.....	111
Figura 88: Sección de isovalores de Zn en porcentaje. Veta Andaychagua	111
Figura 89: Sección de isovalores de Ag en onzas. Veta Andaychagua.....	112
Figura 90: Sección del cociente metálico Ag/Cu. Veta Andaychagua	112
Figura 91: Sección del cociente metálico Ag/Pb. Veta Andaychagua.....	113
Figura 92: Sección del cociente metálico Ag/Zn. Veta Andaychagua.....	113
Figura 93: Sección del cociente metálico Pb/Zn. Veta Andaychagua.....	114
Figura 94: Sección del cociente metálico Pb/Cu. Veta Andaychagua	114
Figura 95: Sección del cociente metálico Zn/Cu. Veta Andaychagua.....	115
Figura 96: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Cu. Veta San Cristóbal.....	115
Figura 97: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Pb. Veta San Cristóbal	116
Figura 98: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Zn. Veta San Cristóbal	117

Figura 99: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Ag. Veta San Cristóbal	118
Figura 100: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Ag/Zn. Veta San Cristóbal	119
Figura 101: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Zn. Veta San Cristóbal	120
Figura 102: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Cu. Veta San Cristóbal	121
Figura 103:: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Zn/Cu. Veta San Cristóbal	122
Figura 104: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Cu. Veta Andaychagua...	123
Figura 105: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Pb. Veta Andaychagua...	125
Figura 106: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Zn. Veta Andaychagua ...	126
Figura 107: Análisis y discusión de la sección isovalórica de Ag. Veta Andaychagua...	127
Figura 108: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Ag/Zn. Veta Andaychagua.....	128
Figura 109: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Zn. Veta Andaychagua.....	129
Figura 110: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Cu. Veta Andaychagua	130
Figura 111: Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Zn/Cu. Veta Andaychagua	131
Figura 112: Definición del zoneamiento mineralógico de la veta Andaychagua en la sección del cociente metálico Pb/Zn.....	133
Figura 113: Definición del límite de mineralización de la veta San Cristóbal en la sección del cociente metálico Pb/Zn.....	135
Figura 114: Programa de perforación en la veta San Cristóbal	137
Figura 115: Programa de perforación en la veta Andaychagua.....	138

Introducción

El presente trabajo de investigación se ha preparado como resultado del mapeo geológico regional programado en el 2018, 2019 y 2020, el muestreo sistemático superficial en la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua y la recopilación de leyes de muestreo de interior mina, con la finalidad de generar secciones de isovalores y cocientes metálicos para la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua, así mismo, para evaluar y definir áreas prospectivas en el área de San Cristóbal - Andaychagua.

En el mes de abril del 2018 se inició el reconocimiento geológico regional que incluye reconocimiento de campo, mapeo geológico a escala 1:5000 y muestreo geoquímico de afloramientos en las zonas aledañas a la zona operativa como parte del trabajo del área de Exploraciones Brownfield.

Luego del mapeo geológico y reconocimiento, se determinó que las principales vetas en el distrito minero era la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua. Estas vetas tienen el potencial geológico para seguir aumentando los recursos en las unidades mineras, por lo que se cuestionó el hecho de seguir explorando las vetas, tanto en profundidad como hacia los bordes. Por ello, es que se solicitó la información de las leyes de las vetas y estudiarlas más a fondo.

Esto conlleva a que se plantea la estrategia para seguir explorando ambas vetas y poder replicarlas en las otras vetas del mismo distrito minero. La mejor y más utilizada herramienta para el análisis del zoneamiento mineralógico de la veta, es el estudio geoquímico de isovalores y cocientes metálicos.

Este trabajo se lleva a cabo gracias al apoyo de la Compañía Minera Volcan. Se ha recopilado datos de leyes de Zn, Pb, Cu y Ag; un total de 3742 muestras de superficie e interior mina de la veta San Cristóbal y un total de 28934 muestras de superficie e interior mina de la veta Andaychagua. Los datos tomados son exclusivos del área de geología mina y exploraciones brownfield de la Compañía Minera Volcan.

En este trabajo de investigación, vamos a estudiar la geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua. Para ello, con todos los datos de leyes recopilados, con el mapeo geológico y con los conocimientos geológicos adquiridos, se generará secciones de isovalores y cocientes metálicos para luego analizarlo a detalle. El análisis detallado de las secciones de isovalores y cocientes metálicos de ambas vetas nos permitirá identificar las zonas de mayor y menor temperatura, para poder establecer un flujo de mineralización a lo largo de las vetas por estudiar y definir los límites de mineralización. Es importante saber si todavía existe área de exploración a lo largo de las vetas, para proponer un programa de perforación y así poder expandir los recursos geológicos de las vetas estudiadas.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La importancia de realizar este trabajo de investigación es utilizar herramientas geológicas necesarias y fundamentales para el entendimiento geológico, geoquímico y mineralógico de las principales estructuras explotadas en una unidad minera, con el fin de realizar el mismo procedimiento a estructuras poco estudiadas. A través de esta investigación, los geólogos podrán entender la importancia de estudiar y analizar las secciones de isovalores y cocientes metálicos de cualquier estructura geológica con información de leyes, aplicarlo a todas las estructuras conocidas en el distrito minero de estudio y poder tener un mayor sustento geológico al momento de proponer un programa de perforación, que permita expandir la vida útil de la mina, el potencial y los recursos geológicos de la mina. Esta investigación aportará información valiosa para las futuras investigaciones que se realizarán a las vetas San Cristóbal y Andaychagua, para ampliar el conocimiento de las principales vetas y entender el comportamiento de otras vetas secundarias.

El análisis de secciones de isovalores y cocientes metálicos es un trabajo nuevo para la empresa y nuevo en la zona de análisis. No se tiene un análisis detallado de las secciones de isovalores y cocientes metálicos de las diferentes vetas explotadas en la mina San Cristóbal - Andaychagua.

1.2 Descripción del problema de investigación

Uno de los problemas más comunes en todas las unidades mineras es la disminución de los recursos minerales conforme avanza la producción. Para ello, es indispensable tener un área de geología exploraciones donde los geólogos puedan realizar interpretaciones geológicas de todas las estructuras geológicas principales que tengan una buena cantidad de información para poder buscar nuevas zonas por explorar en las estructuras principales y secundarias, para así aumentar las reservas y, por ende, el LOM (Life of Mine, Vida útil de la Mina) de la mina. Las primeras nuevas zonas por explorar

deben ser las que se encuentran cerca de las operaciones mineras. Se debe entender bien la geología de la zona y la mineralogía para poder realizar programas de perforación y que éstos sean exitosos.

Otro de los problemas que encontramos surgen debido a la falta de un análisis detallado de las secciones de isovalores y cocientes metálicos de las principales vetas explotadas en la mina San Cristóbal – Andaychagua, ya que, debido a la falta de tiempo de los geólogos por estar enfocados en la operación, no permite que puedan dedicarle mayor tiempo a un análisis detallado de estas secciones.

Uno de los principales problemas del trabajo de investigación es el desconocimiento del comportamiento de las vetas principales con actividad hidrotermal definido por zonas de mayor temperatura, seguidos por el flujo de mineralización en la veta reconocido por el cambio de contraste de zonas de mayor y menor temperatura. Las causas de este problema vienen a ser la falta de importancia y/o prioridad en el estudio detallado sobre el origen de la mineralización de las principales vetas explotadas en la mina San Cristóbal y Andaychagua.

Este problema geológico se encuentra publicado en diversos artículos geológicos, como el de Virrueta Choque en el año 2020, cuyo trabajo se centra en el comportamiento de la veta Ramal Piso 722, en la mina San Cristóbal, el zoneamiento de las concentraciones mineralógicas, potencia de estructura, clavos y anticlavos mineralizados en profundidad, ya que corresponde a una de las principales vetas en producción en la mina San Cristóbal. La causa del problema de su trabajo de investigación surge debido a que los elementos económicos principales como el Zn, Pb, Cu y Ag, no se comportan uniformemente en las distintas zonas de la estructura. Otro artículo que describe el problema geológico mencionado es el de Vereau Jave en el año 2019, cuyo trabajo se centra en conocer el zoneamiento de la mineralización del yacimiento Corona por la posible presencia de dos yacimientos, uno de cobre - oro y otro de oro, en estructuras epitermales de naturaleza silícea que se identificaron en las campañas de perforación diamantina en el yacimiento Corona en los años 2010 y 2011. El problema de este trabajo es el

desconocimiento del zoneamiento de la mineralización, ya que afecta la explotación y beneficio del yacimiento Corona.

1.2.1 Formulación del problema

¿De qué manera la geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de Zn, Pb, Cu y Ag de una veta en un yacimiento cordillerano definirá nuevas áreas de exploración?

1.2.2 Justificación del problema

El trabajo servirá de base para definir las zonas de mayor y menor temperatura de las nuevas áreas y replicarlo en otros sistemas de vetas de yacimientos cordilleranos, para encontrar nuevas zonas para explorar. Esto conllevará a tener una mejor comprensión de los clavos mineralizantes que se tiene en un yacimiento cordillerano, así como las principales zonas de mineralización que ayudará a relacionar directamente con la búsqueda de nuevas áreas de exploración. Por lo tanto, ayudará también para alimentar los conocimientos sobre el tema y conocer las técnicas que permitan aplicarlo en otras zonas de estudios. En la zona de estudio no se tiene trabajos que involucren los parámetros utilizados en este trabajo de investigación, por lo tanto, es importante realizar trabajos como éste y utilizar el mismo procedimiento para las otras vetas.

1.2.3 Limitaciones del trabajo

Las limitaciones del trabajo de investigación comprenden varios aspectos, entre ellos tenemos: El precio de los metales, el cual determina el presupuesto para proponer un programa de perforación en las zonas menos exploradas. Los escasos trabajos mineralógicos, que ayudarían a sustentar mejor los resultados del trabajo de investigación (isovalores y cocientes metálicos). La situación sanitaria del país, la cual no permitió salir a campo para recolectar mayor cantidad de muestras de afloramiento de veta en superficie e interior mina y poder analizar con mayor detalle la mineralización en ambas vetas. La cantidad de datos, al ser muy alta y confidencial, resulta ser una limitante debido a que no se puede compartir ese tipo de información, por ello es por lo que solo se presenta los datos sin coordenadas. La cantidad de datos es una limitante, debido a que para poder realizar trabajos similares y poder tener una sección de isovalores y cocientes metálicos lo

más real posible, es necesario tener una buena cantidad de datos. Por lo tanto, no se puede aplicar este método para vetas nuevas o recién descubiertas. Deben tener una buena cantidad de información de leyes. Otra limitante son la falta de conocimiento de la geología del distrito, ya que, al desconocer la geología del distrito no ayudaría mucho a realizar secciones de isovalores y cocientes metálicos sin tener conocimiento del origen de la mineralización, alteración, geología estructural, etc. Las relaciones comunitarias de la empresa, el impacto ambiental, los protocolos de seguridad de la unidad minera, podrían considerarse otras limitaciones del trabajo.

1.3 Objetivos de la tesis

1.3.1 Objetivo general

Determinar la geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de Zn, Pb, Cu y Ag para definir zonas de mayor y menor temperatura en las vetas de un yacimiento cordillerano e inducir nuevas áreas de exploración.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las características geoquímicas de las vetas cordilleranas para definir las secciones de isovalores y cocientes metálicos.
- Determinar las zonas de mayor y menor temperatura en un yacimiento cordillerano para predecir el zoneamiento mineralógico de las principales vetas e inducir nuevas áreas de exploración.

1.4 Hipótesis

La determinación de la geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de Zn, Pb, Cu y Ag en un yacimiento cordillerano definirá zonas de mayor y menor temperatura para inducir nuevas áreas de exploración.

1.5 Antecedentes investigativos

Existen numerosos trabajos relacionados al tema de investigación, entre ellos tenemos como ejemplo el trabajo realizado por Ruben de Jesus del Pozo Mendoza en el año 1980, cuyo trabajo tiene como título “Cocientes Metálicos: Un Nuevo sistema de exploración en 2270” en el distrito minero de Fresnillo, Zacatecas” (del Pozo Mendoza,

1980) que tuvo como objetivo determinar la dirección de los fluidos mineralizantes y el zoneamiento de la veta principal llamada veta 2270. En este trabajo de investigación se usaron datos de leyes de 3070 muestras de canal, tanto en contrapozos como en niveles comprendidos dentro de la zona de análisis. Se realizaron secciones de isovalores de Ag, Pb y Zn, y secciones de cocientes metálicos de Ag/Pb, Ag/Zn y Pb/Zn. Los rangos utilizados se determinaron de acuerdo con la abundancia de ellos en la estructura. Todos los resultados obtenidos fueron colocados en una sección longitudinal. Ruben del Pozo analizó las anomalías según los isovalores de contenidos metálicos y la sección de isopacas y observó que coinciden ambas anomalías, por lo que concluyó que al ensanchar la veta se depositaron los fluidos mineralizantes. Cuando realiza el análisis de cocientes metálicos para indicar la dirección del fluido mineralizante, llega a la conclusión que los valores altos en Ag se depositaron en las partes superiores del yacimiento, mientras que cuando profundiza aumenta el contenido de Pb y Zn.

Ñieriton Arquímedes Vila Godoy en el año 2020 realizó un trabajo de investigación que tiene como título “Distribución mineralógica y composicional en las vetas cordilleranas de Zn-Pb-Ag-Cu en el distrito de San Cristóbal, Domo de Yauli, Perú central” (Vila Godoy, 2020), que tuvo como objetivo identificar la distribución mineralógica y composicional que existen entre 2 sistemas de vetas principales en el distrito de San Cristóbal, a partir de la descripción detallada y comparativa de los minerales de mena y ganga, el análisis de los resultados de geoquímica, cocientes metálicos, microanálisis de fluorescencia de rayos X y espectroscopia Raman, con la finalidad de definir el zoneamiento mineralógico, metálico y definir dirección de flujo del fluido hidrotermal en las vetas, para la vectorización de nuevos targets de exploración. Ñieriton Vila, con el análisis de cocientes metálicos de la veta San Cristóbal, pudo definir que la veta San Cristóbal contiene Wolframita y minerales de Cu en la parte central y cerca al pórfito Chumpe, mientras que en las partes laterales y distales la mineralización es principalmente de Zn, Pb y Ag.

Pascual Baylon Morales Catata realizó un trabajo de investigación en el año 2014, que tiene como título “Cocientes metálicos y cálculo de reservas minerales de la veta

Cinthia – Proyecto Minero Caracol S.A.C. – Barranca Lima” (Morales Catata, 2014), que tuvo como objetivo determinar las condiciones geológicas, evaluar los cocientes metálicos Au/Ag y Ag/Pb, así como cubicar los recursos y reservas en base a las labores de exploración y leyes obtenidas del muestreo, con la finalidad de determinar la distribución de la mineralización de la veta Cinthia. Pascual Morales, con el análisis de cocientes metálicos de la veta Cinthia, pudo definir que existen 3 anomalías en su sección de cocientes metálicos, una ubicada al SE, la segunda en la parte central y la tercera al NW, y puede deducir que en esa zona se encuentran los flujos mineralizantes y que los fluidos siguen una dirección del SE hacia la superficie.

Cosme Rafael Pérez Puig, Ricardo Castroviejo, Domingo Alfonso Martín y Jorge Luis Costafreda Mustelier realizaron un trabajo de investigación en el año 2011, que tiene como título “Geotermometría, cocientes metálicos y direcciones de flujo en la veta esperanza, distrito Huachocolpa (Perú)” (Pérez Puig et al., 2011), que tuvo como objetivo caracterizar los flujos mineralizantes de la veta Esperanza. El equipo de trabajo, con el análisis de la mineralogía de mena y ganga, las distribuciones geoquímicas, la microtermometría y el análisis de cocientes metálicos, pudo definir que existe un predominio de Zn en profundidad respecto al Pb y un flujo mineralizante ascendente, accediendo por ambos lados (oeste y este) de la estructura.

Alvaro Alexis Virrueta Choque realizó un trabajo de investigación en el año 2020, que tiene como título “Isovalores, cocientes metálicos y dirección de flujo en la veta ramal piso 722, Mina San Cristóbal Volcan Compañía Minera S.A.A.” (Virrueta Choque, 2020), que tuvo como objetivo determinar los isovalores, evaluar los cocientes metálicos en base a las labores de exploración y producción desarrolladas, con leyes obtenidas a través del muestreo sistemático, y determinar las direcciones de los flujos mineralizantes en la estructura. Alvaro Virrueta, con el análisis de cocientes metálicos, pudo definir dos principales flujos mineralizantes: el primero en mayor proporción ascendente de noreste a suroeste de potencias y concentraciones mineralógicas altas donde los valores numéricos tanto para el Zn y Pb son elevados acompañado por Ag; y el segundo flujo mineralizante

en menor proporción pero a su vez de altas concentraciones en su mayoría con valores numéricos favorables para la mineralización de Pb acompañado también de Zn y en menor proporción Ag, este último ascendente de suroeste a noreste.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Tratamiento estadístico de datos geoquímicos*

La geoquímica en exploración y/o prospección minera es el conjunto de mediciones sistemáticas en la naturaleza de una o más propiedades químicas. Estas mediciones a niveles traza se realizan sobre uno o más elementos que se encuentran en las rocas, suelos, vegetación, sedimentos de ríos, agua, entre otros. Los métodos geoquímicos constituyen una herramienta muy útil para un explorador.

El principio se basa en que todos los materiales geológicos tienen una composición química promedio, conocida como valor de fondo o Background. Por lo tanto, todos los eventos que generan un cuerpo mineralizado producen un cambio en la composición del entorno cercano, ocasionando un incremento o empobrecimiento en ciertos elementos químicos dando origen a una Anomalía Geoquímica.

El tratamiento estadístico consiste en validar la base de datos antes de iniciar cualquier trabajo asociado con la misma. Ésta debe cumplir con requisitos mínimos para poder ser procesada. De lo contrario la información resultante tendrá un bajo grado de confiabilidad, lo cual puede llevarnos a tomar decisiones erradas (Guerra Seminario, Threshold y Background, 2010).

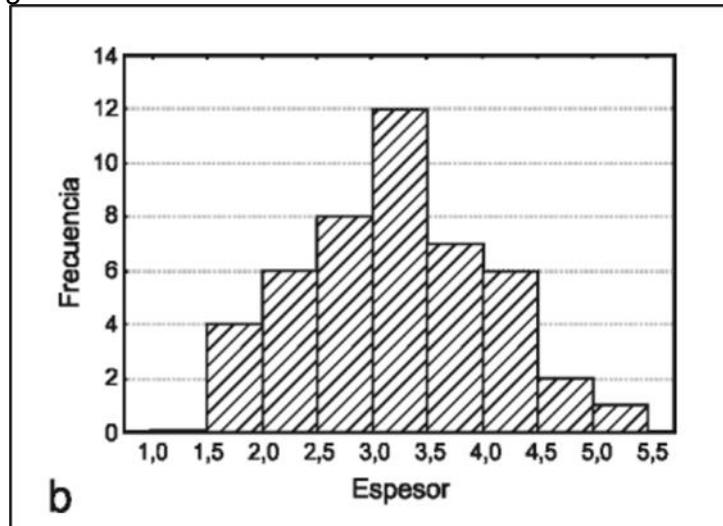
Los parámetros estadísticos que se calculan en un tratamiento estadístico son:

Histograma de frecuencias:

Son representaciones gráficas que presentan intervalos de clase para los tenores de los elementos, donde el área de cada rectángulo es proporcional a la frecuencia de la clase. En un histograma se puede visualizar la heterogeneidad de los datos, la tendencia de la distribución y la presencia de muestras anómalas (Carámbula, 2003). En la figura 1 se muestra un ejemplo de histograma.

Figura 1

Ejemplo de histograma de frecuencias



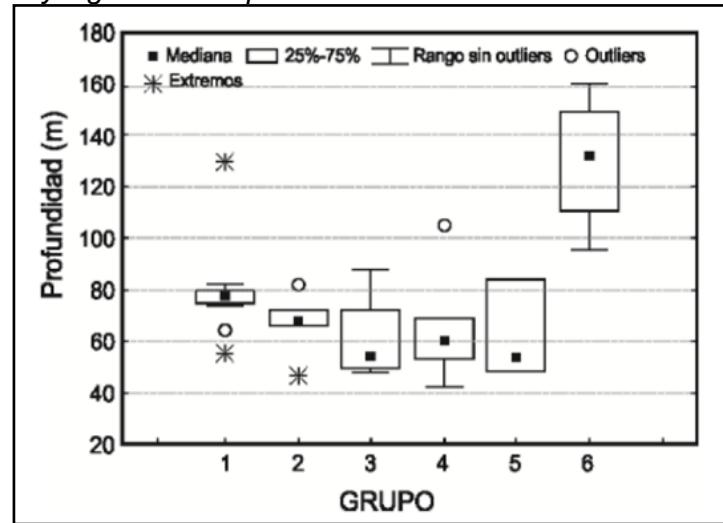
Fuente: Alperin, (2013)

Boxplot:

El Diagrama de Caja y bigotes (box and whisker plot en inglés) es un tipo de gráfico que muestra un resumen de una gran cantidad de datos en cinco medidas descriptivas, además de intuir su morfología y simetría. Este tipo de gráficos nos permite identificar valores atípicos y comparar distribuciones. Además de conocer de una forma cómoda y rápida como el 50% de los valores centrales se distribuyen (Gestión, 2010). En la figura 2 se muestra un ejemplo de box plot.

Figura 2

Diagrama de cajas y bigotes o box plot



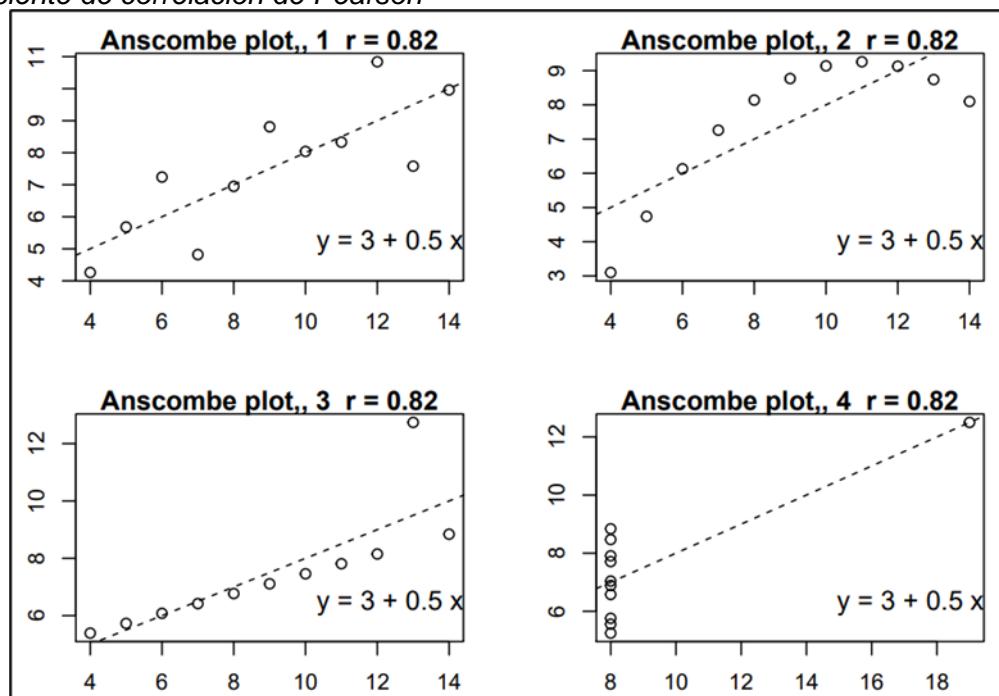
Fuente: Alperin, (2013)

Coeficiente de correlación de Pearson:

El coeficiente de correlación “r” de Pearson mide el grado de asociación lineal entre dos variables. El valor de “r” puede situarse entre -1 y +1. La prueba de significación se hace con la hipótesis nula de que no hay asociación, $r = 0$. Deben calcularse y comunicar los intervalos de confianza de “r”. Antes de decidir la aplicabilidad de una correlación lineal se debe siempre graficar en una “nube de puntos” la relación entre las dos variables. Las alternativas no paramétricas son los coeficientes de correlación de Spearman (ρ) o de Kendall (τ) (S., 2014). La figura 3 muestra la tendencia de los gráficos en base al valor numérico del coeficiente de correlación de Pearson.

Figura 3

Coeficiente de correlación de Pearson



Fuente: Pablo Vinuesa, Correlación, (2016)

Los Parámetros Geoquímicos que se calculan después de un tratamiento estadístico son:

Valor de Fondo (Background):

Es un término que, de una manera convencional, se refiere a la abundancia que de un determinado elemento o asociación de elementos tiene un área. Esta abundancia suele expresarse en porcentajes de concentración. Normalmente, en el transcurso de las

campañas geoquímicas, se observa que, para cualquier elemento, o conjunto de elementos, el valor del "background" varía considerablemente en función del tipo de material en que se encuentre. Por ello, resulta más realista contemplar al "background" como un rango en vez de como un valor absoluto (UTP, 2010). En prospección geoquímica, es más común seleccionar como background el valor que corresponde a la mediana (Guerra Seminario, Threshold y Background, 2010). Para calcular el Background se usa la fórmula:

$$B = G \cdot \frac{\frac{N}{2} - Fe}{F_1} \cdot A$$

Donde:

B = "Background".

G = Límite inferior del grupo mayor.

N = Número de muestras.

Fe = Frecuencia acumulada hasta el grupo anterior.

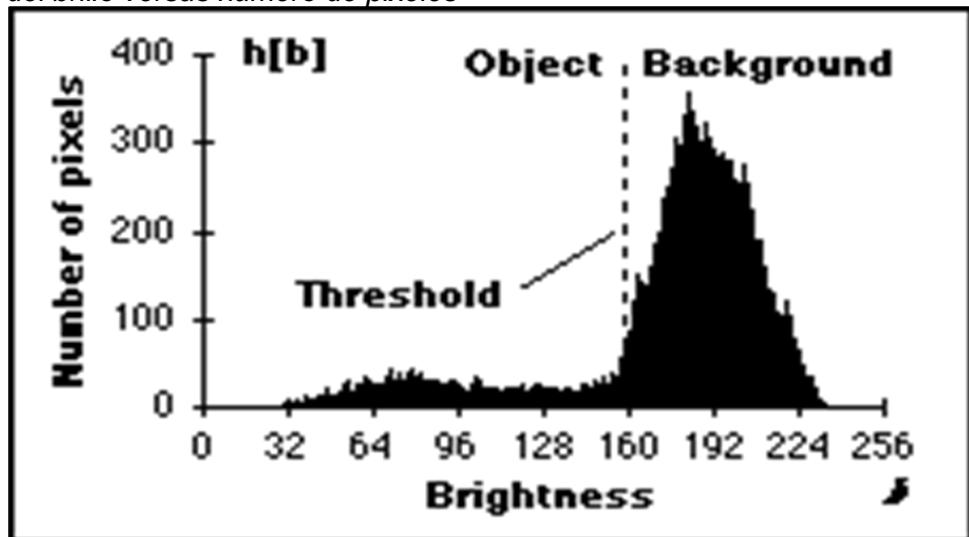
F1 = Frecuencia del grupo mayor.

A = Amplitud del intervalo.

La figura 4 muestra un ejemplo del valor de fondo (Background).

Figura 4

Ejemplo del Umbral (Threshold) y el valor de fondo (Background) en una distribución normal del brillo versus número de pixeles



Fuente : (Guerra Seminario, Threshold y Background, (2010))

Umbral (Threshold):

El nivel de Threshold (T) es una función del Background y el coeficiente de desviación, es el tercer parámetro importante en una distribución simétrica (Guerra Seminario, Threshold y Background, 2010).

Es un número real obtenido por cualquiera de las técnicas usadas por los geoquímicos para descubrir y reconocer muestras anómalas que sirvan como índice de la existencia de mineralizaciones.

Si se desea diferenciar datos anómalos de los no anómalos desde un punto de vista numérico, la barrera a considerar sería la dada por el threshold.

Queda como conclusión que todas las concentraciones que se sitúen por encima, o por debajo, del "threshold" (menor de los valores anómalos) son consideradas como anómalas (UTP, 2010).

Cuando el factor de distribución de un elemento es normal, su "threshold" se calcula por la siguiente fórmula:

$$T = B + 2sd$$

Donde:

T = "Threshold"

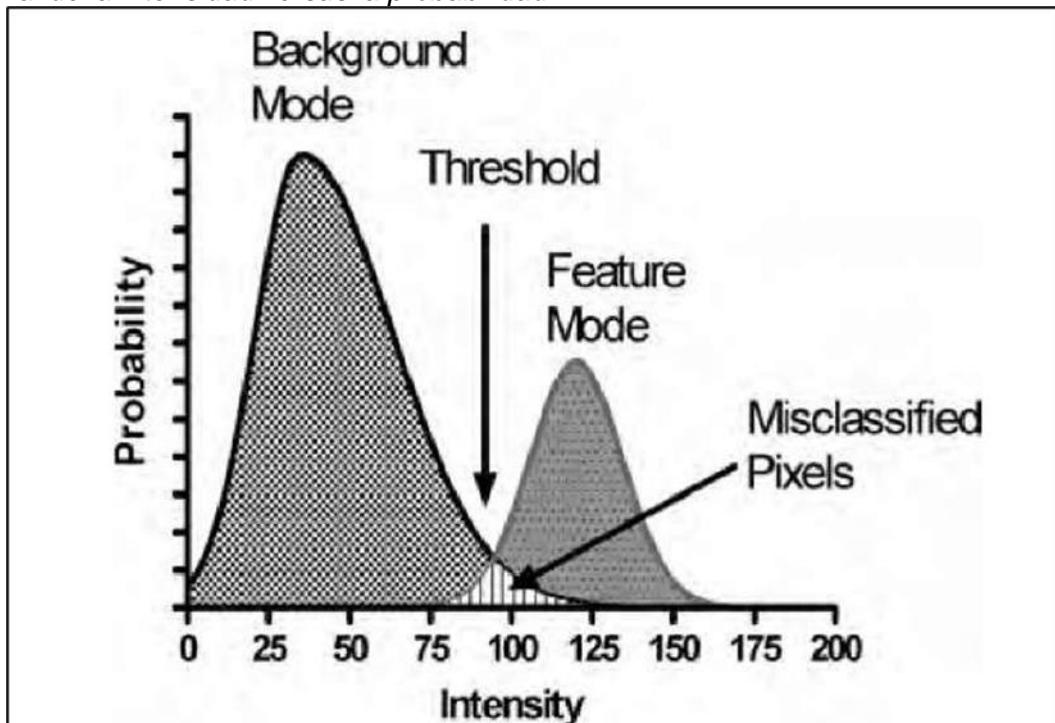
B = Background

sd = desviación estándar

El valor de fondo y el umbral sirven para detectar la extensión de anomalía con viejos métodos de la prospección geoquímica que ayudan a visualizar la inestabilidad del contenido de diversos elementos químicos. Ya que estos son datos estadísticos en donde la desviación de esta norma se llama anomalía (UTP, 2010). La figura 5 muestra un ejemplo del umbral.

Figura 5

Ejemplo del Umbral (Threshold) y el valor de fondo (Background) en una distribución normal de la intensidad versus la probabilidad



Fuente: Guerra Seminario, Threshold y Background, (2010)

Gráficos de probabilidad:

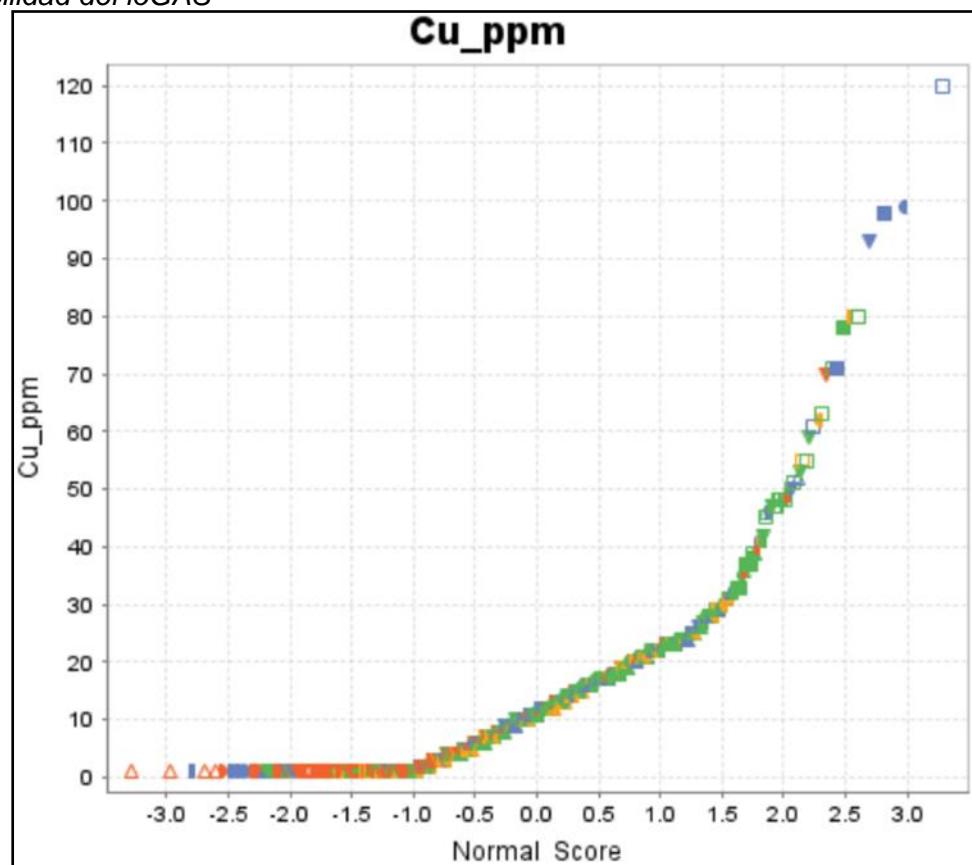
El gráfico de probabilidad muestra la distribución de una variable de datos y cómo se relaciona con una distribución normal. Gráficos de probabilidad son útiles para determinar si un conjunto de datos contiene más de una población. El gráfico de probabilidad normal se usa para ayudar a juzgar si una muestra de datos numéricos proviene o no de una distribución normal. De no ser el caso, frecuentemente se puede determinar el tipo de alejamiento de la normalidad examinando la forma en la que los datos se desvían de la línea de referencia normal (StatPoint, Inc., 2005). Cuando se generan gráficos de probabilidad en el software ioGAS, los valores representados a lo largo del eje X están en unidades de desviación estándar. Estos valores N-score representan las puntuaciones z de una distribución normal estándar (media = 0 y una desviación estándar = 1) (IMDEX Limited, 2023).

Por lo tanto, el valor “0” en el eje X representa la media o “background”, el valor “1” representa el background más la desviación estándar, el valor “2” representa el background

más dos veces la desviación estándar, es decir, el valor del umbral o “threshold”, y así sucesivamente. La figura 6 muestra un ejemplo del Threshold y Background en un gráfico de probabilidad.

Figura 6

Ejemplo del Umbral (Threshold) y el valor de fondo (Background) en un gráfico de probabilidad del ioGAS



Fuente: IMDEX Limited, (2023)

Criterios de reconocimiento de anomalías:

Cuando se realiza el tratamiento estadístico de datos geoquímicos en la exploración minera, podemos usar diversos criterios de reconocimiento de anomalías que se ponen en práctica, como, por ejemplo:

- Método primitivo, basado en la experiencia del geólogo.
 - Método convencional, basado en una perspectiva estadística de distribución normal.
 - Otros métodos estadísticos: Cuantiles 90 y 95, Gráfica de probabilidad, Gap estadístico.

- Métodos geoestadísticos: Krigeaje factorial, Krigeaje robusto.
 - Métodos de ventana deslizante: Modelo fractal / Multifractal, estadísticas de vecino cercano (vecindario local)
- (iSE - LATAM, 2020)

Criterio convencional:

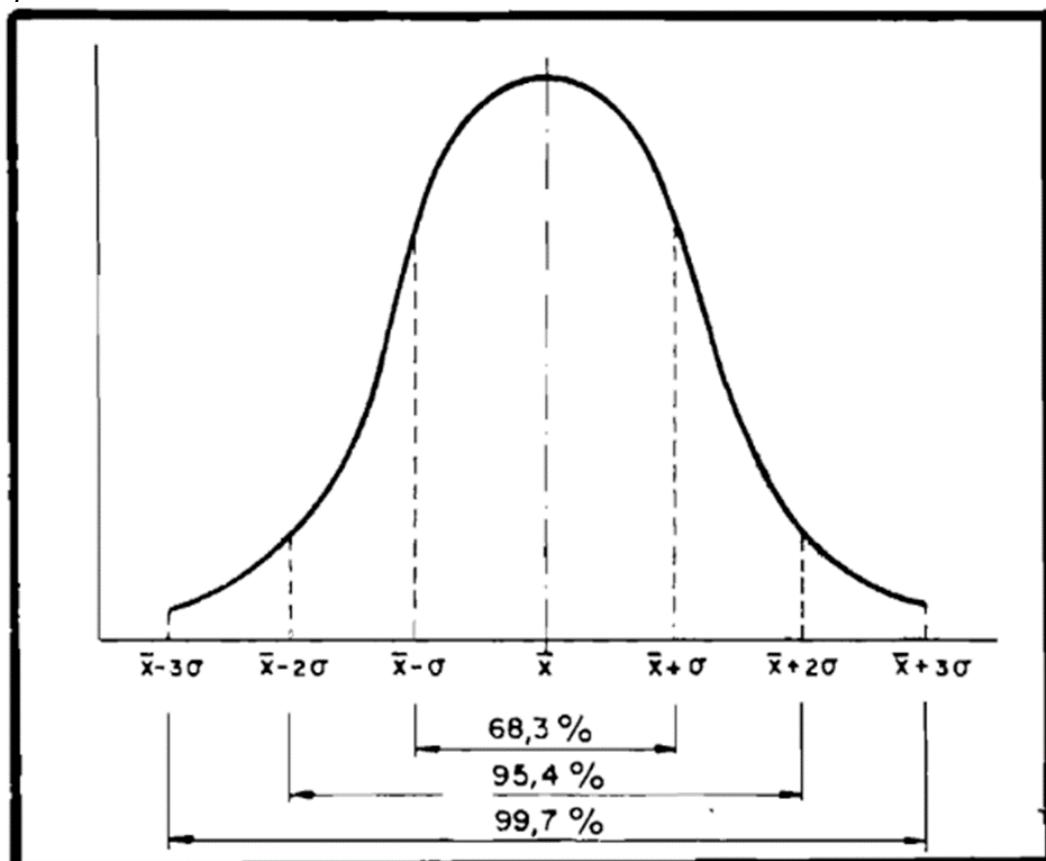
El criterio convencional es el más utilizado, tanto por su sencillez como por la fiabilidad que se desprende de su interpretación, siendo numerosas las referencias bibliográficas que lo citan. Para su correcta aplicación, es preciso realizar, antes de cualquier otra consideración, un estudio de la población de datos disponibles. Se trata de deducir a qué tipo de distribución teórica se ajustan. De este análisis exploratorio, cabe distinguir 2 opciones; la población de datos se ajusta a una distribución normal y la distribución de datos no se ajusta a una distribución normal. Caso de que se llegue a la primera de las dos opciones anteriores, se está en disposición de afrontar el "criterio convencional"; sin embargo, si ha sido la segunda opción la obtenida, será preciso llevar a cabo una transformación de las variables. En efecto, se han de transformar las variables por medio de una función matemática [logaritmo, raíz cuadrada, etc.) cuyo resultado sea una nueva población de datos que sí se ajuste a la distribución normal. Una vez llegado a este punto, se abordaría el criterio convencional. Por tanto, de lo expresado hasta ahora se puede concluir que antes de ejecutar este criterio de reconocimiento de anomalías, es necesario asegurarse de que la población de datos se ajusta a una distribución normal. Sin embargo, es desgraciadamente frecuente encontrarse con estudios que utilizan el criterio convencional de manera indiscriminada, sin antes verificar la condición de normalidad exigida (Mazadiego Martínez, 1994).

Habiéndose satisfecho la premisa de normalidad, se pasa a la resolución del problema. Lo que se busca es algún tipo de criterio o pauta, consistente tanto desde un punto de vista estadístico como geológico y geoquímico, que facilite la identificación de poblaciones de datos anómalos y de datos "background"; en definitiva, se anda detrás del "valor umbral" o "threshold". Dado que los datos pertenecen a una distribución normal, lo

más lógico es emplear los estadísticos caracterizadores de dicha distribución, esto es, la media y la desviación típica. La figura 7 muestra la curva de gauss utilizando el criterio convencional, según el número de veces que se tome la desviación típica, tanto sumando como restando, respecto del valor medio, el tanto por ciento de probabilidad de que los datos pertenezcan o no a la distribución normal (Mazadiego Martinez, 1994).

Figura 7

Ejemplo del criterio convencional en una curva de Gauss



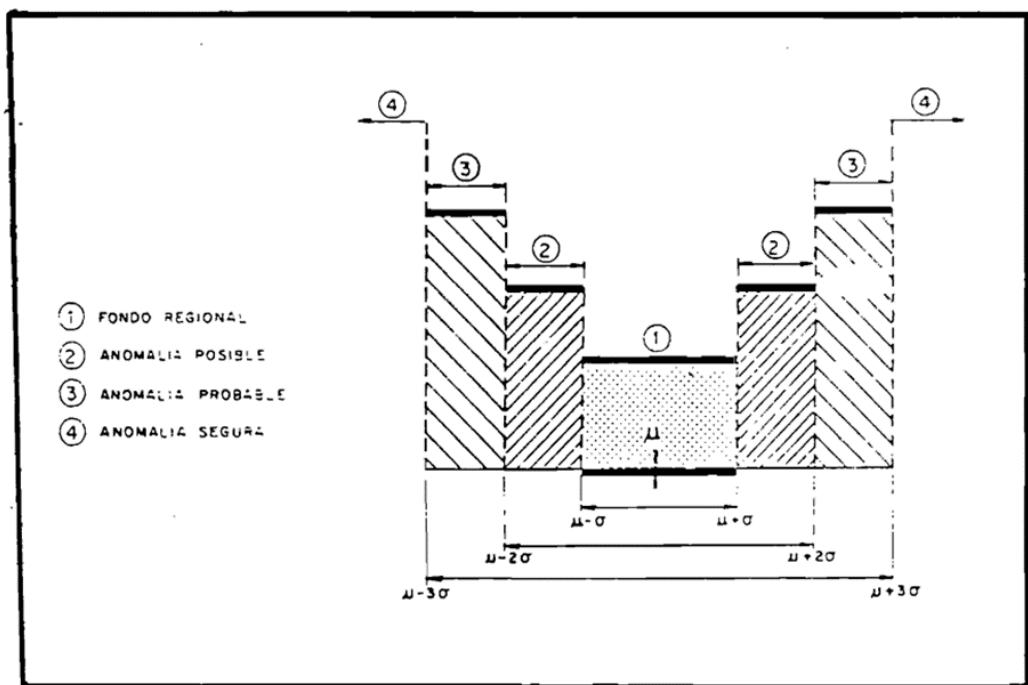
Fuente: Mazadiego Martinez, (1994)

Se debe decidir entonces el número de veces que ha de sumarse, o sustraerse, la desviación típica de la media para definir el "threshold". En varias publicaciones, se decide que el "threshold" corresponde al valor resultante de sumar la media y dos veces la desviación típica. Existe también otra alternativa basada en el "criterio convencional", según la cual se distinguen 4 grandes grupos o poblaciones, como se muestra en la figura 8. Cuando se hayan obtenido las poblaciones anómalas y de "fondo regional", se procede

a graficarlo en una sección de isovalores, al igual que se hace con cualquier otro criterio de reconocimiento de anomalías (Mazadiego Martínez, 1994).

Figura 8

Alternativa de utilización del criterio convencional



Fuente: Mazadiego Martínez, (1994)

Finalmente, para determinar los rangos geoquímicos y tener una adecuada visualización de las anomalías geoquímicas según la sección de isovalores y cocientes metálicos, utilizando el criterio convencional, se establece los rangos en base al Background y la desviación estándar, según el criterio convencional:

$$\text{Rango 1 (R1): } [0 - B]$$

$$\text{Rango 2 (R2): } [B - (B + \sigma)]$$

$$\text{Rango 3 (R3): } [(B + \sigma) - T]$$

$$\text{Rango 4 (R4): } > T$$

Donde:

B = Background

T = Threshold ($B + 2\sigma$)

σ = Desviación estándar

2.1.2 Isovalores

La palabra isovalores proviene del griego iso = igual, a partir de mediado del siglo XX el estudio de las leyes de los elementos fue cobrando gran importancia porque nos ilustraba a los geólogos mineros el probable conducto por donde salieron y se transportaron las soluciones mineralizantes.

En la actualidad, todas las empresas mineras realizan estos estudios para realizar sus modelos geológicos de sus respectivos yacimientos y los flujos que se han producido a través de los conductos que pueden ser chimeneas volcánicas, fracturas, etc. (Alva & Tumialán, 2015).

Las curvas isovalóricas manifiestan la distribución y variación de los clavos mineralizados a través de la veta.

En este tipo de secciones, se anota en la sección longitudinal la ley proporcionada por los resultados de laboratorio de cada muestra.

Después que las leyes se han anotado en su sección respectiva, se elaboran histogramas tomando en cuenta el valor numérico del ancho medio.

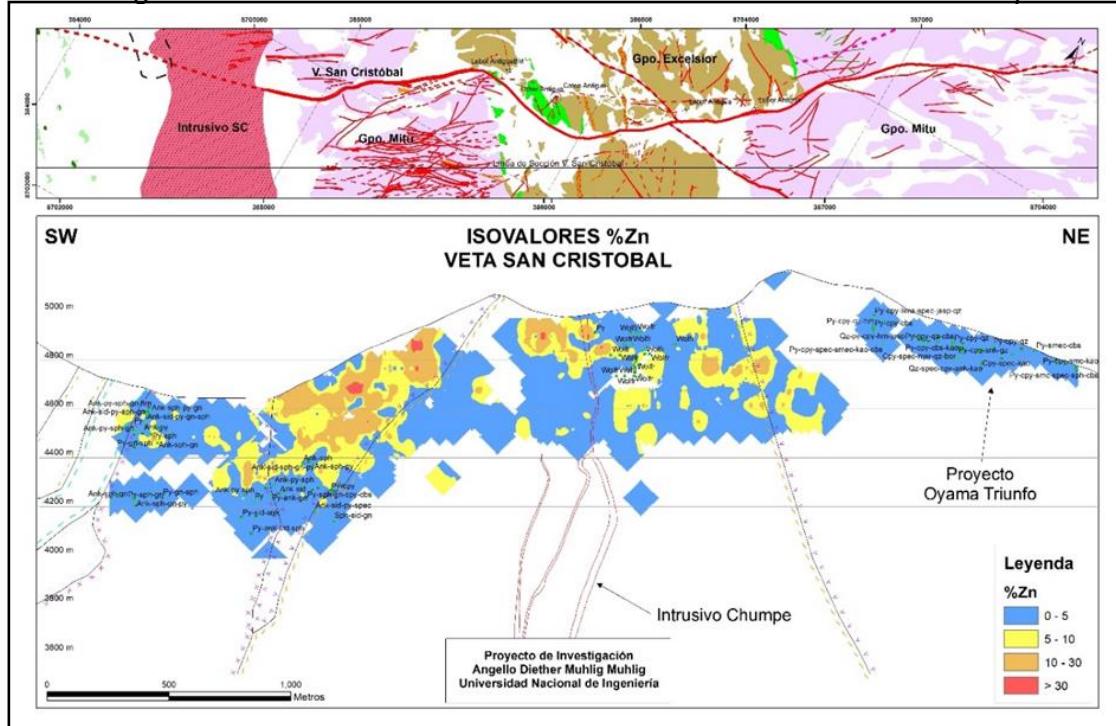
Los histogramas han servido para ver las zonas de anchos altos y bajos, para posteriormente efectuar la interpolación correcta. También existen otros métodos estadísticos para generar líneas de isovalores o áreas que son delimitadas por isovalores.

Entre los métodos estadísticos más conocidos para interpolación de datos de leyes se encuentra el método del “inverso a la distancia” y el “krigging”. Se unen cada uno de los puntos de igual valor y quedan así realizadas las secciones de isovalores de los elementos a estudiar (del Pozo Mendoza, 1980).

La figura 9 muestra un ejemplo de isovalores en una sección longitudinal de la veta San Cristóbal con los isovalores de Zn en porcentaje.

Figura 9

Sección longitudinal de la Veta San Cristóbal mostrando los isovalores de Zn en porcentaje



Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Cocientes metálicos

Los cocientes metálicos están definidos por la proporción que existe entre dos elementos de diferente temperatura de formación, colocados de tal manera que el de menor temperatura quede siempre como numerador, ejemplo.: Ag/Pb; Ag/Zn; Pb/Zn.

Una investigación permanente a base de Cocientes Metálicos permite: Cuantificar el zoneamiento regional de la mineralización y tener un modelo específico de la distribución química y mineralógica del yacimiento, que se forma por la diferenciación de las soluciones hidrotermales.

El cambio químico progresivo de las soluciones que resulta de la reacción con las rocas encajonante, del gradiente de presión y temperatura del medio ambiente y de la formación de las fases minerales a lo largo de la ruta seguida.

Establecer la dirección del movimiento de las soluciones. Correlacionar asociaciones mineralógicas de las vetas del distrito (del Pozo Mendoza, 1980). Para

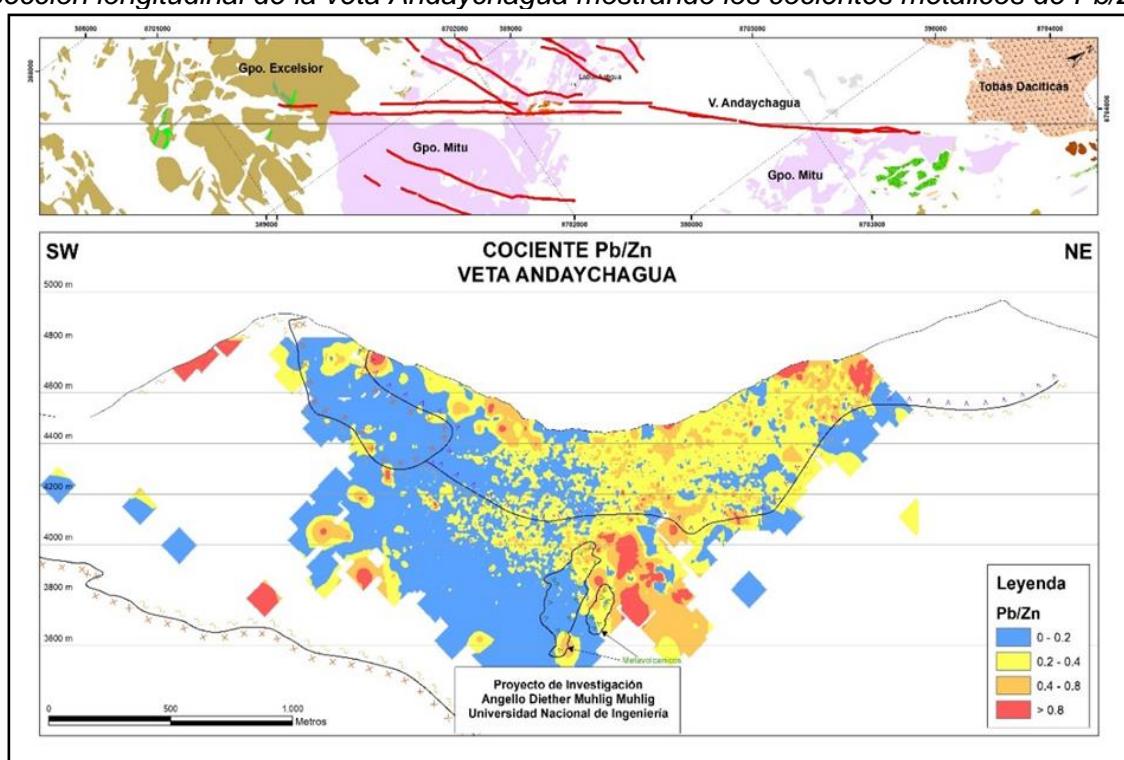
interpretar los cocientes metálicos y definir flujos de mineralización, se debe identificar las zonas de ratios altos y bajos.

La dirección de flujo de mineralización está definida por los vectores que toman la dirección desde las zonas de ratio bajo (zona de mayor temperatura) hacia la zona de ratio alto (zona de menor temperatura).

La figura 10 muestra un ejemplo de cocientes metálicos en una sección longitudinal de la veta Andaychagua con el cociente Pb/Zn.

Figura 10

Sección longitudinal de la veta Andaychagua mostrando los cocientes metálicos de Pb/Zn



Fuente: Elaboración propia

Para los geólogos mineros dedicados a exploración, es de suma importancia conocer la variación de leyes en sentido horizontal y vertical de las estructuras mineralizadas. En base al análisis efectuado, el objetivo es conocer las leyes en el área por explorar en sentido horizontal y vertical. A fin de lograr el mencionado objetivo se realiza el estudio de cocientes metálicos. Una vez que se conoce el zoneamiento con el uso de los cocientes metálicos, el paso siguiente es conocer la dirección de los flujos hidrotermales causantes de la mineralización. Los cocientes metálicos deben sujetarse al

resultado del zoneamiento que se obtiene con el método estadístico de cocientes metálicos.

La conclusión de los cocientes metálicos es que los flujos pueden ser verticales, inclinados y/o horizontales. Un concepto adicional que debe considerarse es que alejándose del eje del flujo mineralizante la temperatura es menor, dentro del eje principal del flujo mineralizante y en sentido contrario a la dirección del flujo mineralizante la temperatura incrementará.

La variación de la temperatura indicada será uno de los factores importantes en la variación de las leyes en las minas.

Conocido el zoneamiento y la dirección de los flujos mineralizantes, se procede a delinear los isovalores de cada elemento metálico con estos conceptos adicionales: los valores metálicos según el flujo mineralizante a gran profundidad serán ínfimos, dado que la temperatura es alta y el elemento en esa condición no está saturado, continuando su viaje la solución mineralizante decrece en temperatura y se inicia la deposición de los elementos metálicos contenidos, según el valor económico de cada elemento tendremos la ley mínima explotable que lo consideramos como el fondo mineralógico o frente inicial de deposición (FI), estos valores irán incrementándose hasta un valor máximo conforme prosigue su viaje la solución mineralizante, conocido como frente de máxima deposición (FM); la posición de los valores máximos dentro del flujo mineralizante no van a coincidir para los diferentes elementos, la posición de estos valores máximos estará en función del zoneamiento hallado con el método de cocientes metálicos; la solución mineralizante, al proseguir su recorrido irá depositando los elementos metálicos, pero su valor será menor y decrecerá paulatinamente hasta llegar a un valor mínimo a menor temperatura, conocido como frente final de deposición (FF).

Por lo expuesto, si la solución mineralizante ha tenido suficiente recorrido para producir la mineralización, en superficie los valores de los elementos metálicos serán bajos, a ello va a contribuir la lixiviación; conforme se explore contrario al flujo mineralizante, estos valores incrementarán en cada elemento hasta un máximo, y la

posición de este valor máximo estará en función del zoneamiento, conocido como frente de máxima deposición (FM); cada elemento, luego de un valor máximo contrario al flujo mineralizante, decrecerá paulatinamente hasta llegar a un valor mínimo, conocido como frente inicial de deposición (FI) o fondo mineralógico.

Por lo expuesto, podemos considerar razonable el aforismo del minero que expresa "que a mayor profundidad la ley mejora".

Si uno obtiene bajos valores en superficie, cabe dos posibilidades: que estemos en la parte final de la solución mineralizante o estemos cerca de la parte inicial de la solución mineralizante.

Si estamos en la parte final (FF) a mayor profundidad habrá posibilidades de incremento de ley, si estamos en la parte inicial (FI) a mayor profundidad la ley no incrementará, por el contrario, será menor (Tumialán de la Cruz, Compendio de Yacimientos Minerales del Perú, 2003).

2.1.4 Secciones de isovalores y cocientes metálicos

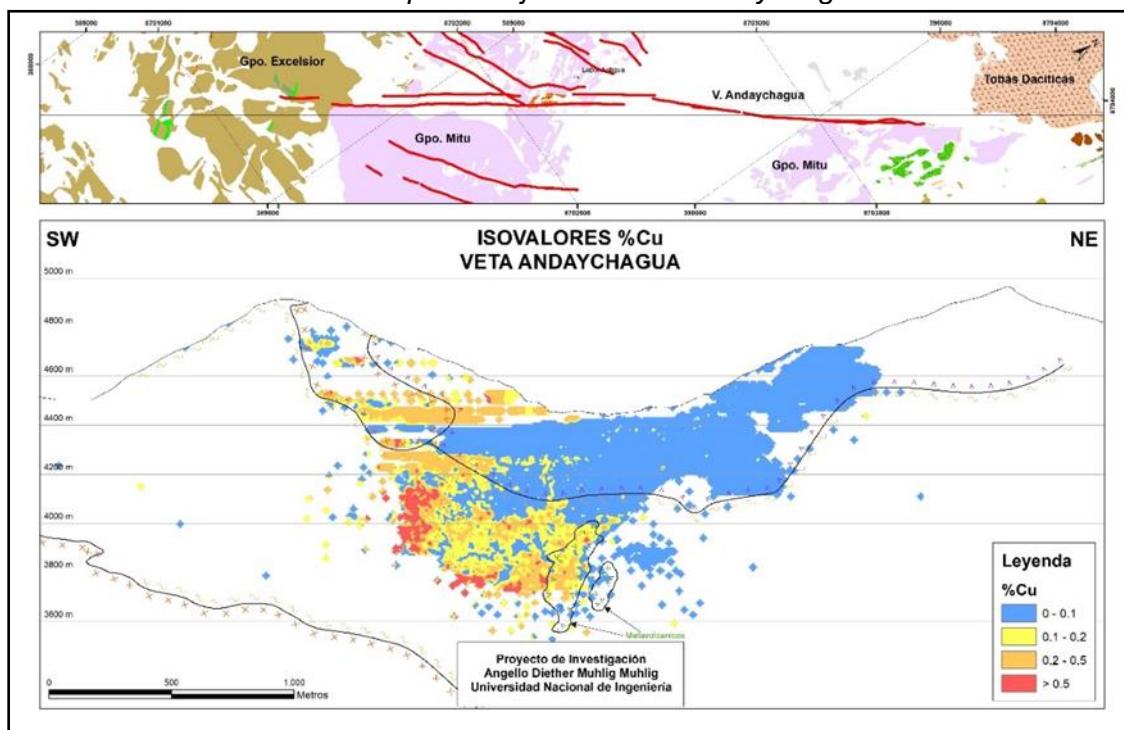
Las secciones de isovalores manifiestan la distribución y variación de los clavos mineralizados a través de la veta. Su elaboración es igual a cualquier sección en 2 dimensiones, solo que en el caso de isovalores, se emplea la ley proporcionada por los resultados de laboratorio.

Las secciones de cocientes metálicos manifiestan las variaciones geoquímicas de la veta y en consecuencia el desarrollo espacial de la mineralización. Su elaboración es igual a cualquier sección en 2 dimensiones, únicamente que en éstas se emplea el ratio de leyes proporcionadas para los isovalores.

La figura 11 muestra una sección de isovalores y la figura 12 muestra una sección de cocientes metálicos de la veta Andaychagua.

Figura 11

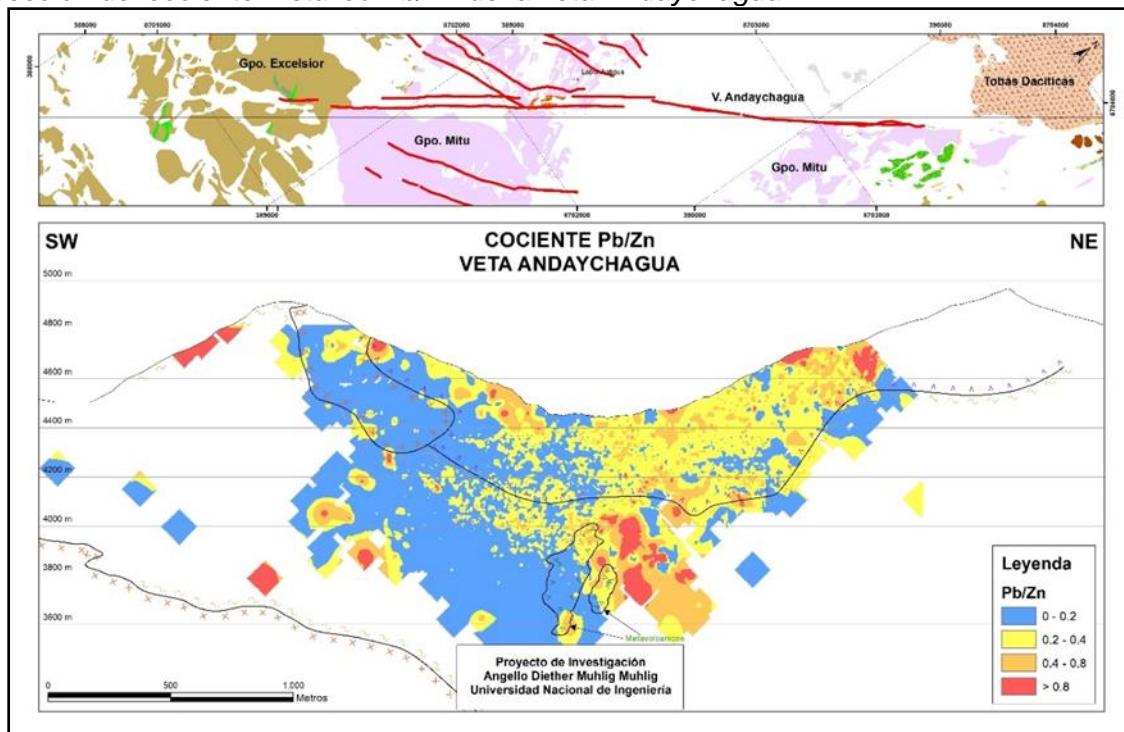
Sección de isovalores de Cu en porcentaje de la veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Sección del cociente metálico Pb/Zn de la veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

2.1.5 Zonas de mayor y menor temperatura

Las zonas de mayor temperatura corresponden a las zonas a lo largo de la veta con menor valor numérico de cociente metálico y las zonas de menor temperatura corresponden a las zonas con mayor valor numérico de cociente metálico.

Las zonas de mayor temperatura están ligados a la precipitación de minerales de alta temperatura o calentamiento del sistema hidrotermal.

Las zonas de menor temperatura están ligados a la precipitación de minerales de baja temperatura o enfriamiento del sistema hidrotermal.

Las zonas de mayor temperatura pueden sufrir enfriamiento del sistema y quedar como zonas de menor temperatura, lo que produce una contracción del sistema.

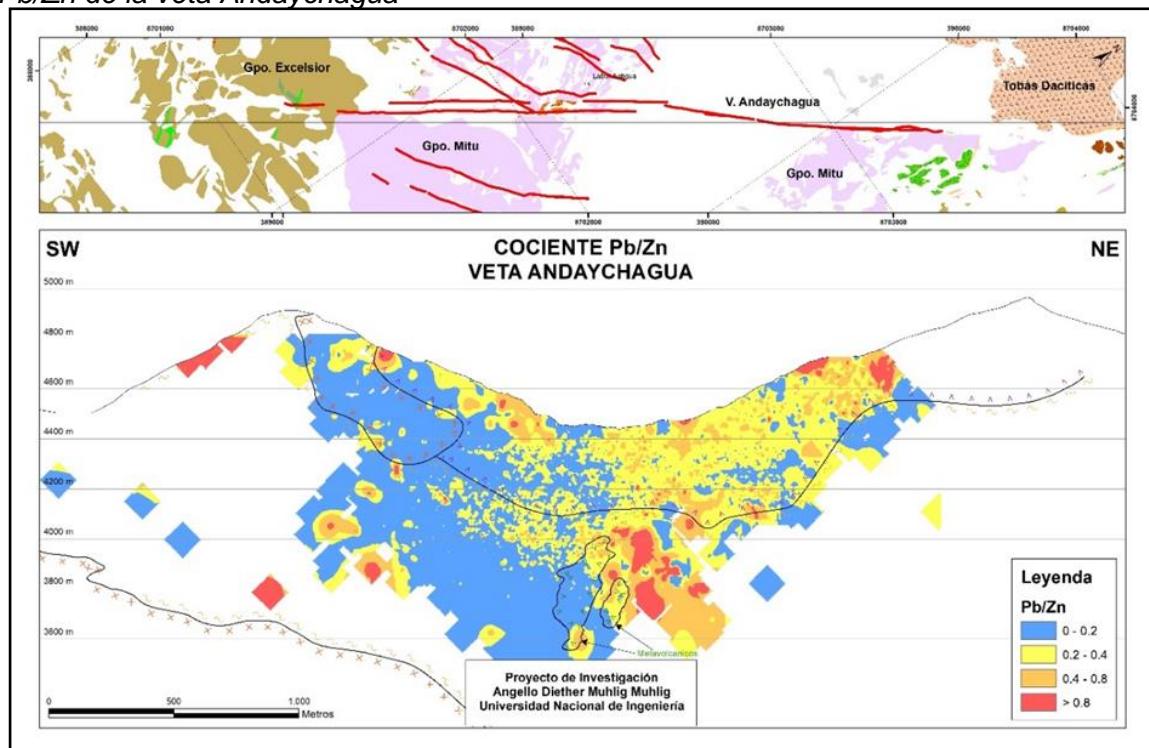
Las zonas de menor temperatura pueden sufrir calentamiento del sistema y quedar como zonas de mayor temperatura, lo que produce una expansión del sistema. La saturación y precipitación son consecuencia de un enfriamiento del fluido; debido a la migración hacia niveles más someros y/o flujos laterales que se alejan de la fuente.

De la misma manera, el descenso de la presión y otros cambios relacionados con la migración del fluido actuarán en el mismo sentido, favoreciendo la precipitación (Pérez Puig et al., 2011).

La figura 13 en este caso nos muestra un ejemplo de la identificación de las zonas de mayor y menor temperatura en una sección de cocientes metálicos en la veta Andaychagua.

Figura 13

Zonas de mayor y menor temperatura que se observa en una sección del cociente metálico Pb/Zn de la veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

2.1.6 Depósitos cordilleranos

Mucho de los yacimientos polimetálicos y de metales preciosos en el Perú ocurren como relleno de vetas y de reemplazamiento, en rocas encajonantes de intrusivos, en los mismos intrusivos.

Estos depósitos representan un gran aporte económico. A los depósitos filonianos corresponden los yacimientos de oro existentes entre Nazca y Ocoña en el Batolito de la Costa, algunas vetas de cobre en el mismo Batolito, las vetas polimetálicas en la Franja Volcánica Cenozoica; las vetas polimetálicas en la Franja Sedimentaria Mesozoica, en las rocas sedimentarias y en los intrusivos.

Además, las vetas de oro y polimetálicos en la Cordillera Oriental. Estos yacimientos tipo Cordillerano están asociados en tiempo y en espacio a un intrusivo de composición intermedia. Son de origen hidrotermal cuyas soluciones llenan fallas-fracturas. Su mineralización es típica de relleno de fallas, fracturas, o reemplazamiento en

caja calcárea. La profundidad de la mineralización podría llegar a 1000 m desde la superficie.

En los yacimientos cordilleranos se observa un zoneamiento a nivel de distrito minero, y a nivel local en la misma veta; de temperatura epitermal, mesotermal a catatermal.

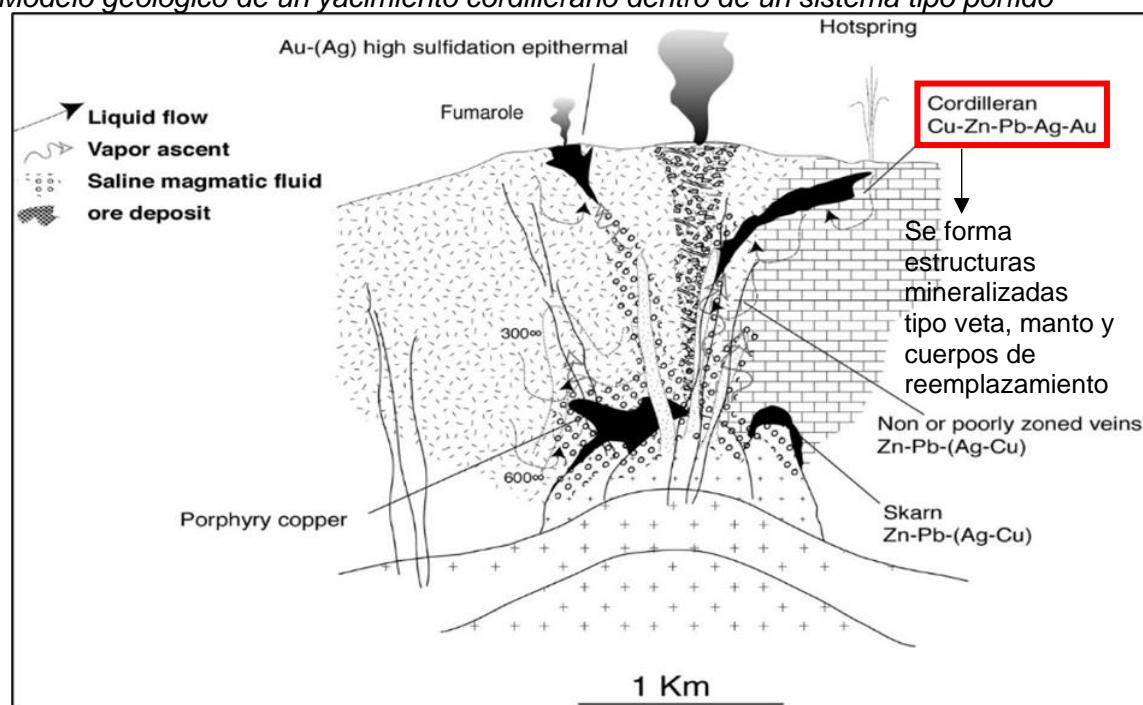
Estos depósitos filonianos cordilleranos tienen controles estructurales. Se tienen por lo general en los yacimientos filonianos un zoneamiento de mayor a menor temperatura Cu-Zn-Pb-Ag.

Muchas veces en estos depósitos hubo mezcla de fluidos hidrotermales magmáticos juveniles con fluidos de aguas meteóricas que bajaron por las fallas. Ellos están relacionados a las rocas intrusivas de composición intermedia epizonal (Boletín Nro. 10 del INGEMMET, "Compendio de Yacimientos Minerales del Perú, 2003).

La figura 14 muestra un modelo geológico de un yacimiento cordillerano en un sistema pórfido y la figura 15 muestra un modelo generalizado de un yacimiento cordillerano.

Figura 14

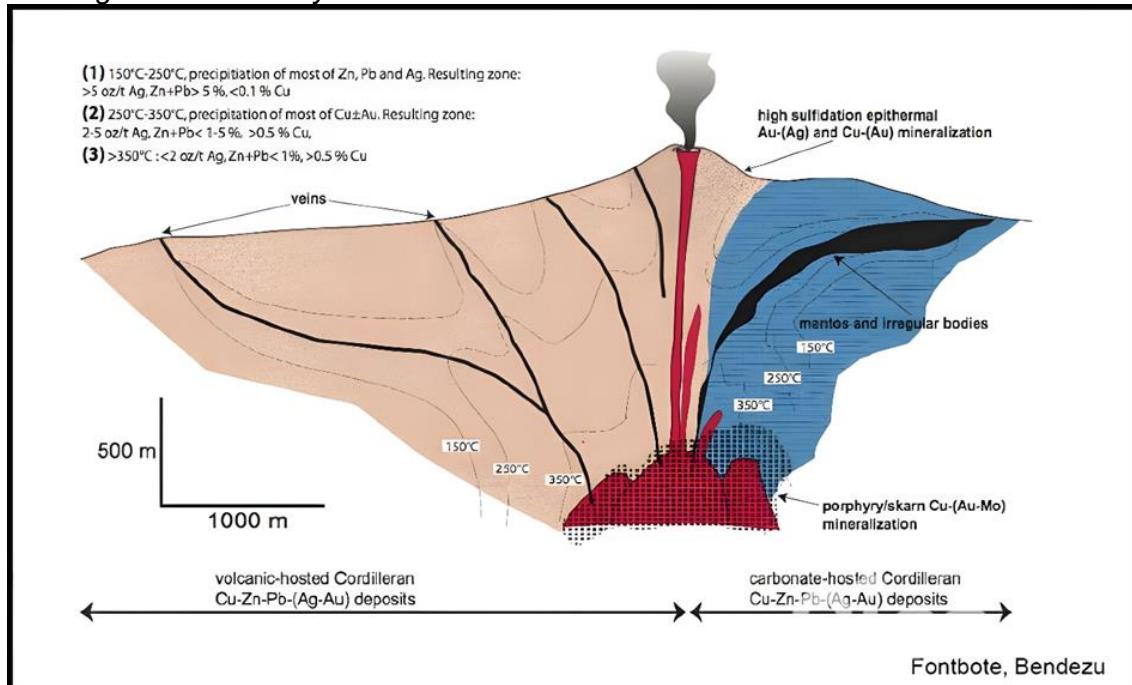
Modelo geológico de un yacimiento cordillerano dentro de un sistema tipo pórfido



Fuente: Lluís Fontboté SEG-Honorary Lecturer, (2006-2009)

Figura 15

Modelo generalizado de yacimientos cordilleranos



Fuente: Lluís Fontboté – Ronner Bendezú, (2010)

Los yacimientos epitermales polimetálicos (mayormente de Zn-Pb-Cu) pertenecen a la familia de los pórfidos de Cu-(Au-Mo). Se distinguen por las siguientes características:

- Son polimetálicos: Aunque generalmente de Cu-Zn-Pb, Au y Ag, muchos de estos depósitos contienen además menas de Bi, Sn, y W.
- Son ricos en sulfuros, típicamente mayor a 20 % en volumen, sobre todo como relleno de espacios abiertos en vetas y brechas o como cuerpos de reemplazamiento en rocas carbonatadas.
- Son zonados a partir de núcleos con Cu a zonas externas con Zn y Pb.
- Alta sulfuración y estados de oxidación de los minerales de ensamblaje asociado con alteración argílica avanzada a serícita (Bendezú, 2007).
- Mineralización masiva: El contenido de sulfuros de los cuerpos hasta más de 50% de volumen. Considerablemente más alto que otros tipos de sistema relacionado a pórfidos. (Bendezú, 2007).
- Deposición “posterior” en el sistema de pórfidos (Fontboté, 2013).

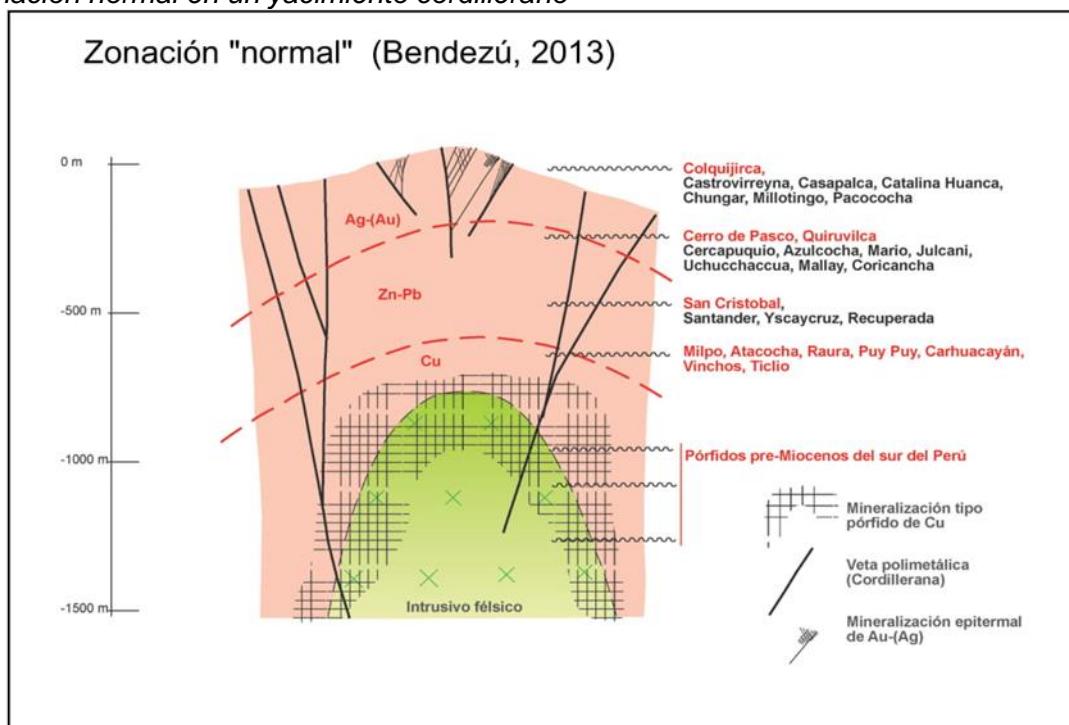
- Un conjunto polimetálico común de metales económicamente interesantes, principalmente Cu-Zn-Pb-(Ag-Au-Bi) (Bendezú, 2007).
- Principal ocurrencia como relleno de espacios abiertos (fallas, fisuras, etc.) en rocas silíceas y reemplazamiento en rocas carbonatadas (ej. Cuerpo Ariana) (Fontboté, 2013).
- Depósitos donde el término “Cordillerano” ha sido empleado en Morococha, Cerro de Pasco, Colquijirca y muchos más (Fontboté, 2013).

Los términos “Cordillerano/Butte tipo metal base” vienen siendo usados desde al menos en 1960, representan en gran medida una mineralización típicamente de metales base encontrado sobre la parte superior de sistemas porfiríticos que cortan las vetas anteriores con ensambles potásico y fílica (Fontboté, 2013).

La figura 16 y 17 nos muestra una zonación normal y contraída respectivamente, en un yacimiento cordillerano.

Figura 16

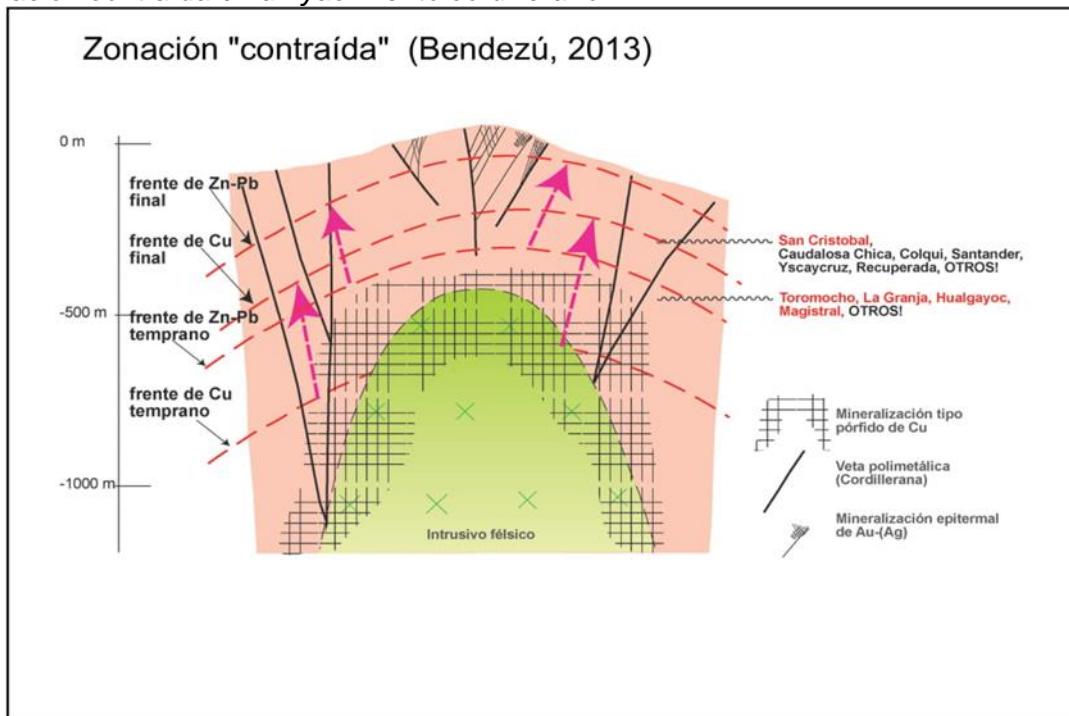
Zonación normal en un yacimiento cordillerano



Fuente: Bendezú Juárez R. A., (2013)

Figura 17

Zonación contraída en un yacimiento cordillerano



Fuente: Bendezú Juárez R. A., (2013)

Los yacimientos cordilleranos o depósitos tipo butte, es históricamente, la más importante fuente de metales base. En ciertos cinturones cordilleranos, además de Zn-Pb-Cu, concentraciones significativas de Sn, Bi, Au, Ag, y W. Actualmente en Perú, es la principal fuente de Zn, Pb y Ag.

Las principales regiones productoras son las mismas que los pórfidos de Cu-Au-Mo-W. Ejemplos más grande, en millones de toneladas: Butte, (430 mt con 3% Cu producción; 2,500 mmt 1% recurso); Cerro de Pasco, Perú; (200 mt con 7% Zn, 2% Pb y 3oz/t Ag, además de 800 m oz Ag en óxidos, 2 m oz Au, y 50 mt con 2% Cu). Colquijirca, Perú, >150 mt con 7% Zn, 2% Pb y 2-3 oz/t Ag, >100 mt con 2% Cu, >3 moz Au.

La edad de los depósitos suele ser la misma que los pórfidos de Cu. El contexto petrotectónico es el mismo que los pórfidos de Cu, pero topográficamente más alto. En los controles estructurales, las fallas extensionales activas durante la mineralización es clave. La roca caja típica suelen ser roca caja volcánica, carbonatadas, clásticas, plutónicas. La asociación y anomalías geoquímicas se presenten en los elementos como Cu, Zn, Pb, Ag, Mn, S, As, Sb (W, Sn; Au).

Las asociaciones minerales y la mena suelen ser: En vetas: (1,2) wolframita/cuarzo-calcopirita-barita (para el Cu); (3) wolframita/cuarzo, calcita, rodocrosita, epidota (para Pb-Zn-Ag). El ensamble de alteración en yacimientos cordilleranos suele ser: (1) pirita-calcosita(covelita)-enargita; (2) pirita-bornita(calcopirita)-tenantita(enargita) o pirita-calcopirita(bornita); (3) pirita-esfalerita-galena- (tetraedrita, argentita, calcopirita). De acuerdo con esta clasificación, el zoneamiento sería: (1) → (2) → (3), desde 100 metros a 1 km, y la profundidad de la formación es entre 1-2 km. Los fluidos mineralizantes mayormente son meteóricos o meteóricos-magmáticos, de salinidad moderada, entre 250-350°C, estado de alta sulfuración. Las guías locales de exploraciones son los gossans, patrones de falla, diques porfiríticos, intensa alteración hidrolítica, meteorización acida, anomalías geoquímicas complejas.

2.2 Marco conceptual

Se presenta el marco conceptual en la tabla 1, donde se detalla los términos y conceptos utilizados en la tesis.

Tabla 1

Marco conceptual

MARCO CONCEPTUAL	
Término	Definición
Brownfield	Tipo de proyectos mineros desarrollados en áreas donde existe explotación minera o hubo actividad minera.
Paragénesis	Concepto petrológico que significa una secuencia de equilibrio de fases minerales.
LOM	Vida útil de la mina

Fuente: Elaboración propia

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Tipo y diseño de la investigación

En el siguiente capítulo se explicará la metodología utilizada para el trabajo de investigación, junto con los procesos y las etapas del trabajo de investigación. Esto inicia desde la toma de datos hasta los resultados del trabajo, junto con la aplicación de este. Se recopiló toda la información geológica de la veta Andaychagua y la veta San Cristóbal, en superficie e interior mina. Se analizó el muestreo histórico de ambas vetas con sus respectivas leyes de Zn, Pb, Ag y Cu para generar secciones de isovalores y cocientes metálicos. Luego, se procedió a interpretar los resultados de isovalores y cocientes metálicos para determinar vectores de mineralización, tanto para la veta Andaychagua y la veta San Cristóbal. En la figura 18 se muestra un mapa conceptual del proceso metodológico del trabajo de investigación.

Figura 18

Mapa conceptual del proceso metodológico del trabajo de investigación



Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista del enfoque el tipo de investigación es cuantitativo y el alcance de la investigación es explicativo. El tipo de investigación es no experimental

debido a que no es posible manipular la variable independiente, ya que los valores geoquímicos materia de análisis del estudio de investigación son resultados de mediciones realizadas en un cuerpo natural.

3.1.1 Población y muestra

La población de estudio corresponde a todo el muestreo histórico realizado en ambas vetas, desde sus inicios de explotación hasta la actualidad, tomando solo el muestreo de la estructura misma.

Las muestras corresponden a canales de interior mina en la misma estructura de la veta, muestras de sondajes realizados desde superficie e interior mina de la misma estructura estudiada y muestras de superficie de afloramiento de la estructura tomados por muestreo en canales.

En la tabla 2 se detalla la cantidad de muestra que se tomará como parte de trabajo de investigación.

Tabla 2

Tabla de muestras totales utilizadas para el trabajo de investigación

Tipo de muestras	Veta Andaychagua			Veta San Cristóbal		
	Cantidad de muestras	Fecha	Análisis	Cantidad de muestras	Fecha	Análisis
Muestras de canales interior mina	28628	Desde 1998 hasta el 2018	Zn, Pb, Cu y Ag	3092	Desde 1998 hasta el 2018	Zn, Pb, Cu y Ag
Muestras de sondajes superficie e interior mina	266	Desde 2008 hasta el 2018	Zn, Pb, Cu y Ag	339	Desde 2008 hasta el 2018	Zn, Pb, Cu y Ag
Muestras de superficie (afloramiento)	40	2018 al 2020	Zn, Pb, Cu y Ag	4	2020	Zn, Pb, Cu y Ag
Bloques de la Estimación de Recursos y Reservas	-	-	Zn, Pb, Cu y Ag	307	Desde 2008 hasta el 2018	Zn, Pb, Cu y Ag
TOTAL	28934 muestras			3742 muestras		

Nota: Elaboración propia

Cabe resaltar que, del total de muestras mostradas en la tabla anterior, se utilizaron varios filtros para procesar la información y realizar una comparación entre estas.

3.2 Características de la unidad de análisis – San Cristóbal y Andaychagua

3.2.1 Ubicación y acceso

La mina de San Cristóbal - Andaychagua está ubicada en el distrito de Yauli, provincia de Yauli, del departamento de Junín.

Geográficamente se encuentra en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes centrales del Perú; a 110 Kms. en línea recta, de la ciudad de Lima.

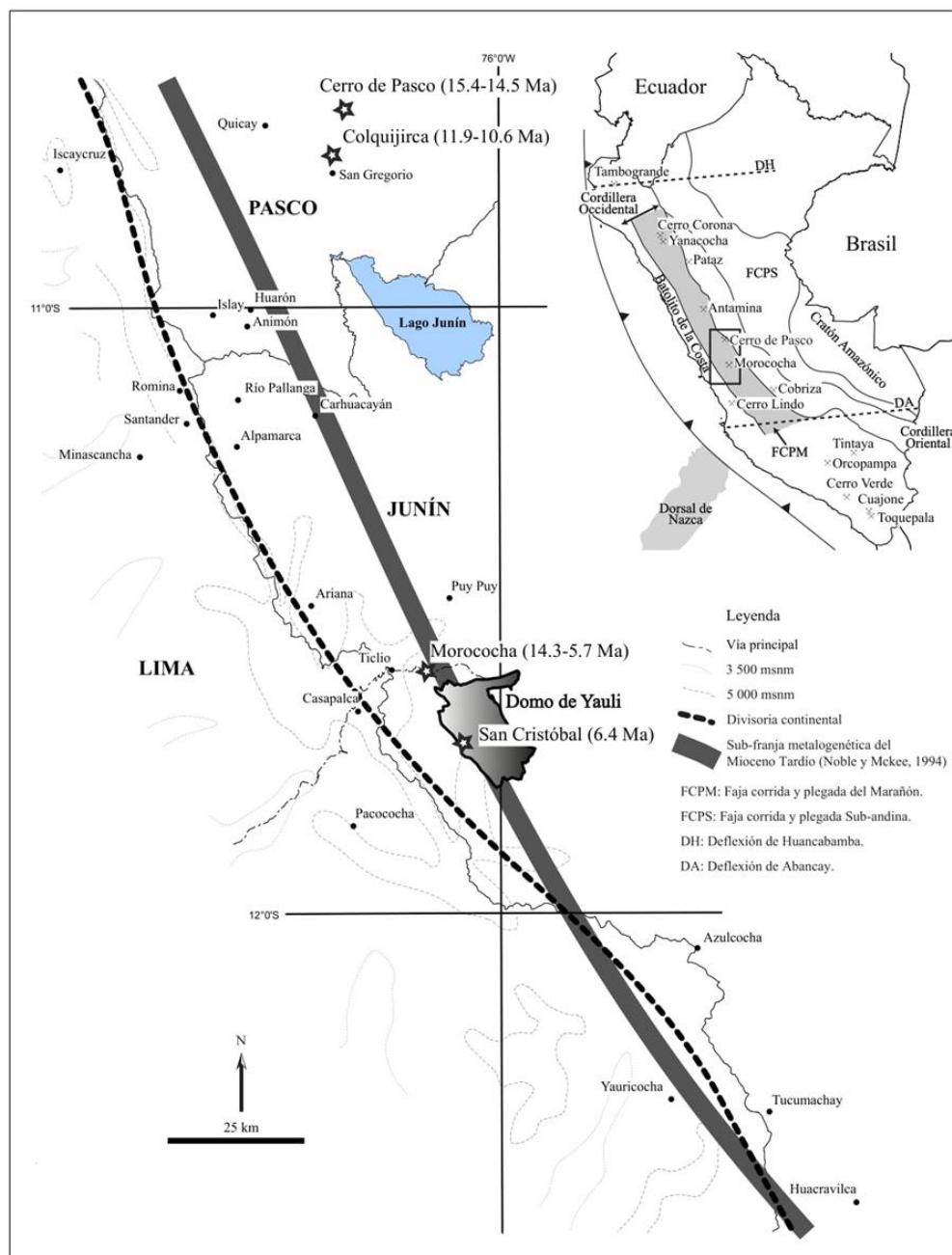
Sus coordenadas geográficas son: 76° 05' de longitud Oeste, 11° 43' de latitud Sur. La altitud media del distrito es de 4,700 mts sobre el nivel del mar.

La mina San Cristóbal - Andaychagua es fácilmente accesible, utilizando la carretera central, de la cual, cerca de la localidad de Pachachaca, parte un ramal de 20 kilómetros que conduce a San Cristóbal - Andaychagua; además, el ferrocarril central tiene una estación en Yauli a 12 kilómetros del área.

En la figura 19 se muestra la ubicación y el acceso a las unidades mineras de San Cristóbal y Andaychagua.

Figura 19

Plano de ubicación San Cristóbal – Andaychagua



Fuente: (Vila Godoy, 2020)

3.2.2 Geología regional

El distrito minero de San Cristóbal - Andaychagua está localizado en la parte sureste de una amplia estructura regional de naturaleza domática que abarca casi íntegramente los distritos de Morococha, San Cristóbal y Andaychagua, esta estructura inicialmente fue denominada "Complejo Domal de Yauli" (J.V. Harrison, 1,943) y en el presente trabajo se le denomina "Domo de Yauli". A nivel distrital resalta un basamento

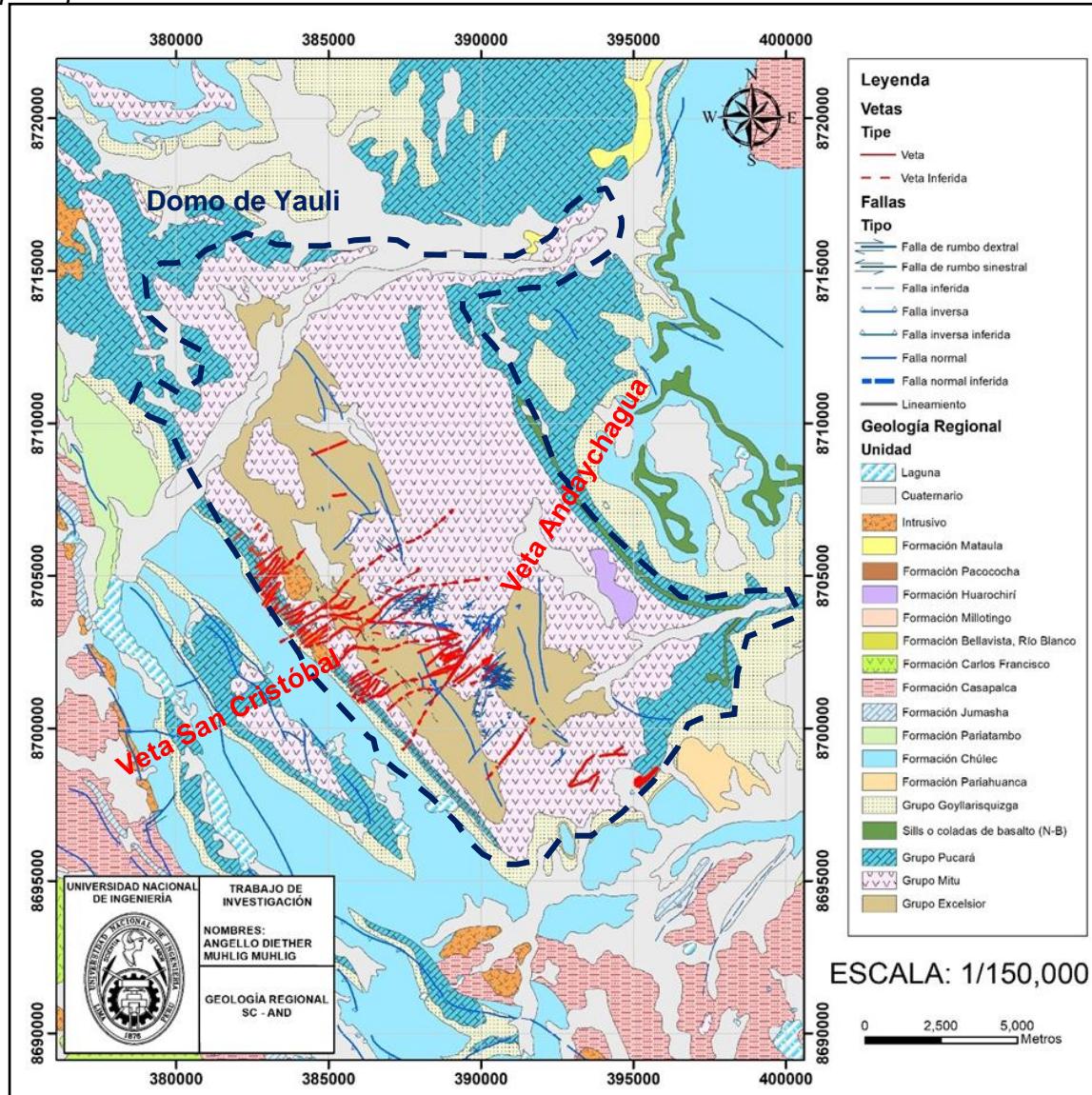
metamórfico de pizarras, filitas y areniscas Ordovícicas del Grupo Excélsior. Estratigráficamente y en discordancia angular, sobre yacen areniscas, conglomerados, lavas y conglomerados piroclásticos Pérmico-Triásicos del Grupo Mitu. Yacen sobre esta secuencia, rocas carbonatadas Triásico-Jurásicas del Grupo Pucará conformadas principalmente por calizas grises. Le siguen a esta unidad carbonatada, limolitas rojas y areniscas del Cretácico Inferior pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga. Porciones más altas son ocupadas por rocas carbonatadas del Cretácico Inferior a Superior y están representadas por las formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha. Varias unidades de rocas ígneas afloran en los alrededores del prospecto y son producto principalmente de magmatismo Terciario, siendo los más representativos los intrusivos cuarzo-monzoníticos Carahuacra, San Cristóbal y el intrusivo cuarcífero Chumpe. Dentro del distrito minero de San Cristóbal – Andaychagua, las rocas más antiguas son las pizarras y filitas negras del Grupo Excélsior de espesor desconocido. Sobre yacen en discordancia angular dos unidades litológicas del Grupo Mitu, una sedimentaria de color rojo y conformado por areniscas y conglomerados y otra unidad volcánica, hacia el tope, conformada por lavas andesíticas y brechas piroclásticas. Las rocas intrusivas terciarias están representadas por el pórfido cuarcífero Chumpe, el cual ocurre como pequeños stocks y diques subparalelos de dirección andina intruyendo las filitas del Grupo Excélsior a lo largo del eje del anticlinal Chumpe.

La principal estructura en el distrito es el Domo de Yauli, el cual conforma un anticlinorium de aproximadamente 30 Km de longitud y 10 Km de ancho, con dos anticlinales paralelos y de rumbo N 40° W: anticlinal Chumpe hacia el oeste y anticlinal Morococha hacia el este. El flanco occidental del anticlinal Chumpe constituye la porción productiva de mineralización polimetálica en vetas y mantos del distrito de Yauli, y es a lo largo de éste donde se ubican las operaciones mineras y prospecto de Volcan Compañía Minera S.A. El Domo de Yauli está constituido por varias unidades litológicas cuyas edades van desde el Paleozoico Inferior hasta el Cretáceo Inferior arregladas en una serie de anticlinales y sinclinales de ejes aproximadamente paralelos. La mina San Cristóbal y

Andaychagua se localiza en el llamado "Anticlinal de Chumpe", cuyo eje se alinea en dirección N45°0, mostrando doble hundida hacia el NO y hacia el SE. La figura 20 muestra geología regional del distrito minero San Cristóbal – Andaychagua y la zona del Domo de Yauli.

Figura 20

Mapa de la Geología regional del distrito minero San Cristóbal – Andaychagua, mostrando principalmente la zona del Domo de Yauli.



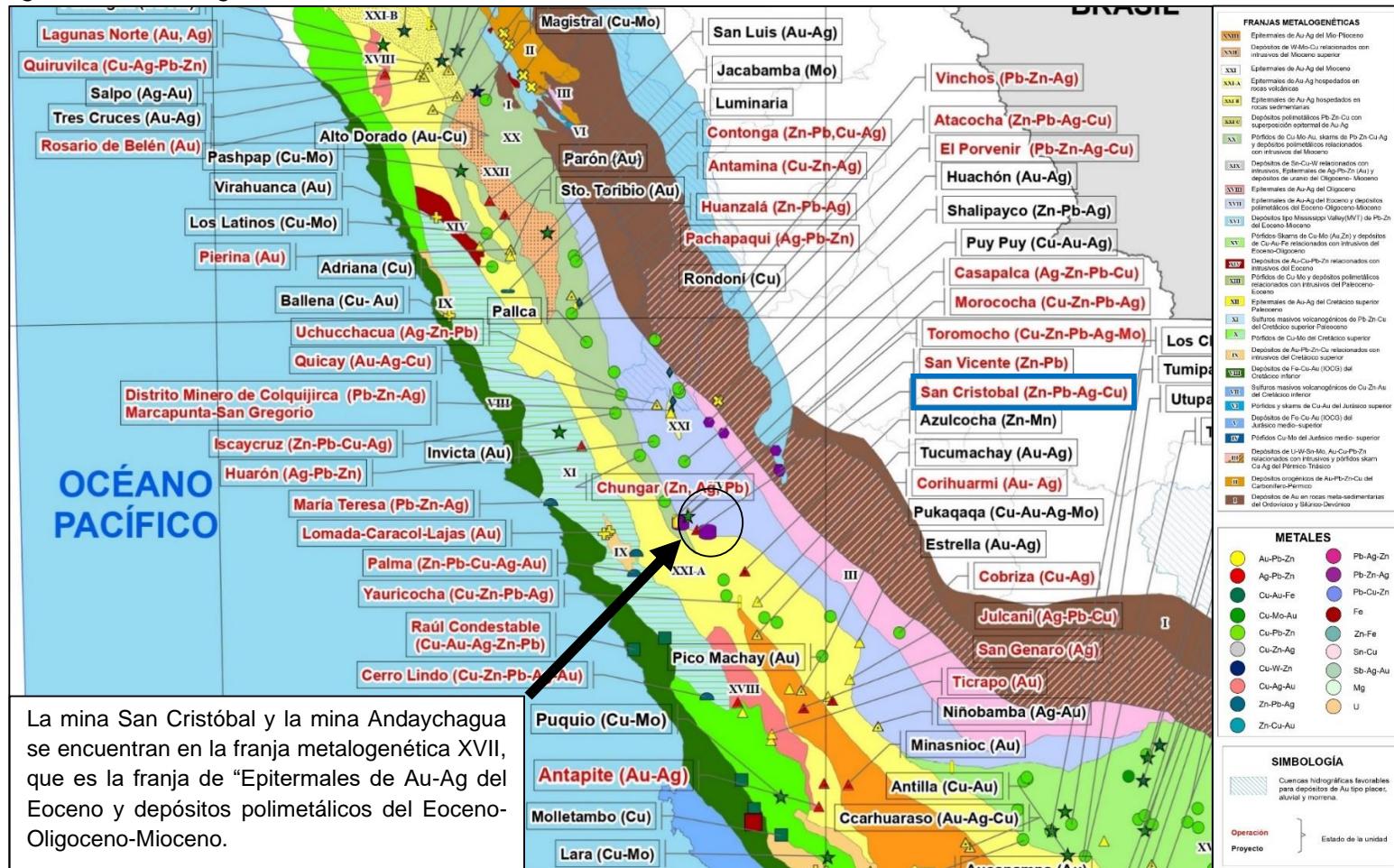
3.2.3 Metalogenia

El distrito de San Cristóbal está localizado a 18 km al sureste de la mina Morococha y Toromocho. Contiene una de las más grandes concentraciones de vetas y mantos polimetálicos en la franja metalogenética del Mioceno del norte y centro del Perú, que

hospeda numerosos depósitos cordilleranos Zn-Pb-Ag-(Cu), pórfidos de Cu-Au y depósitos de alta sulfuración de Au-(Ag) (Petersen, 1965; Einaudi, 1977; Noble y McKee, 1999; Bissig et al., 2008; Baumgartner y Fontboté, 2008; Bendezú y Fontboté, 2009). A lo largo de esta franja metalogenética, enlaces temporales y espaciales que ocurren entre los depósitos cordilleranos y pórfidos de Cu±Mo han sido demostrados en varios lugares (Catchpole et al., 2015; Rottier et al., 2018). En el distrito de San Cristóbal, la mineralización polimetálica cordillerana es íntimamente relacionada al pórfido cuarzomonzonítico Chumpe, datado en 6.6 (+1; -3.6) Ma por U/Pb en zircón (Beuchat, 2003). En superficie este pórfido está sobreimpuesto por una zona de alteración argílica avanzada (“litocap” Chumpe) y contiene numerosas vetillas de espesores milimétricos de pirita, cuarzo, molibdenita y muscovita en distintos ensambles, típicos de pórfidos de ±Cu±Mo. Cabe resaltar que la mineralización conocida en esta franja se encuentra principalmente entre 3,500 y 5,000 metros sobre el nivel del mar (Petersen, 1965; Bendezú y Fontboté, 2009). La figura 21 muestra el mapa metalogenético del Perú, haciendo énfasis en el Perú central. La figura 22 muestra el mapa metalogenético, centrándose en la zona del Domo de Yauli.

Figura 21

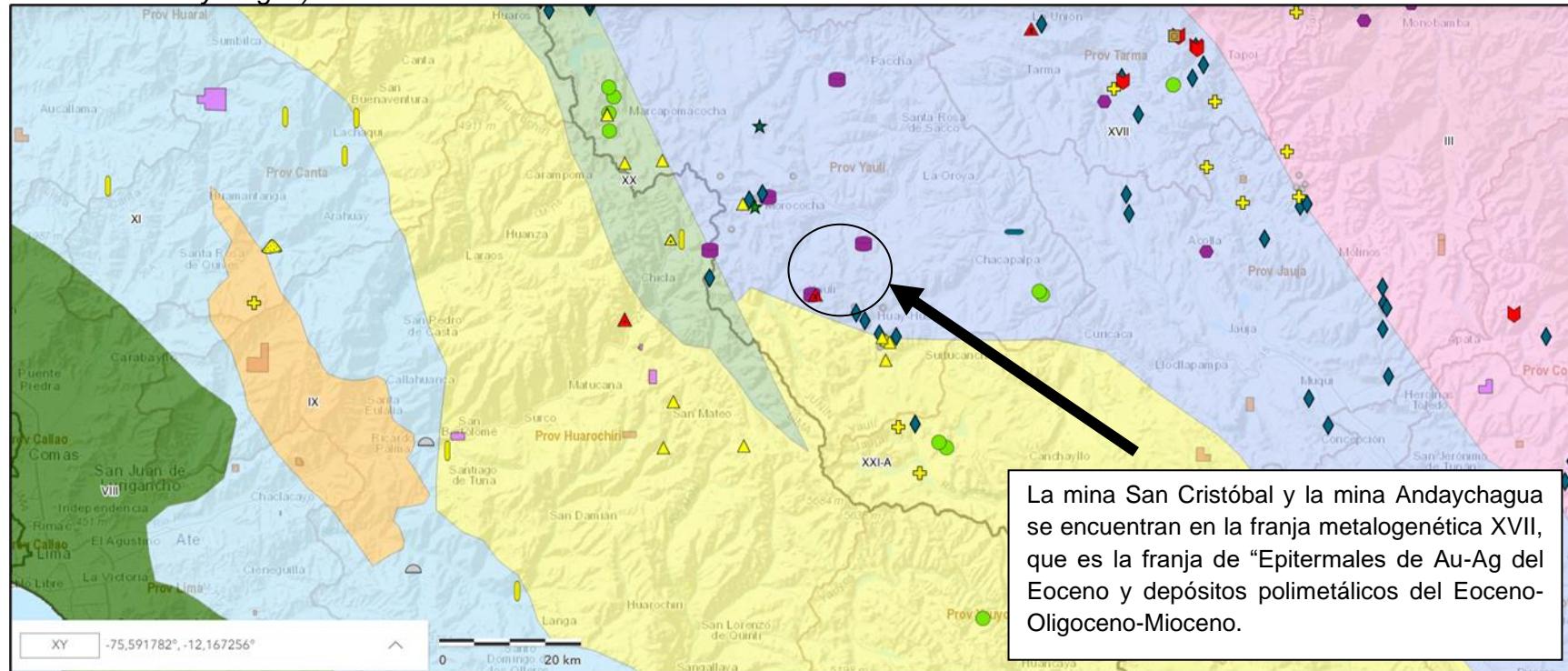
Mapa metalogenético de la región del Perú central



Fuente: Base de datos INGEMMET-2021

Figura 22

Mapa metalogenético de la región del Perú central (Imagen ampliada de la franja metalogenética XVII, donde se encuentra el distrito minero de San Cristóbal – Andaychagua)



Fuente: Base de datos INGEMMET-2021 (Geocatmin)

3.2.4 Geología local

Como parte de los trabajos de exploraciones brownfield, se realizó el mapeo geológico a escala 1/5000 en los alrededores de las zonas operativas de la mina San Cristóbal y la mina Andaychagua. Desde el 2018 hasta el 2020 se mapeo un área aproximada de 2000 Ha. En la figura 23 se muestra el área aproximada de mapeo de San Cristóbal por el equipo de Exploraciones Brownfield.

Veta San Cristóbal:

La veta San Cristóbal es una de las principales estructuras del distrito. Está ubicada a menos de 1 km al este del intrusivo Chumpe. Tiene una longitud de aproximadamente 4 km. Al este en las filitas del Grupo Excélsior la veta muestra un rumbo N 45° E y un buzamiento de 45° a 65°. En la parte central sufre una flexión pronunciada que cambia la orientación a aproximadamente E-W, aquí el buzamiento varía entre 40 y 50° al sur. Al oeste en los volcánicos del Gpo. Mitu y en el intrusivo San Cristóbal la veta exhibe un rumbo promedio N 70° E y buzamientos entre 50° y 70° al sur. La mineralización es reconocida en 4 km de largo y 600 m de profundidad desde la cota 4600 hasta la cota 4000. La potencia de la veta varía según la litología que atraviesa, desde 1 a 6 m cuando corta a las filitas del Gpo. Excélsior, hasta 10 m cuando corta al intrusivo San Cristóbal o a las rocas volcánicas del Gpo. Mitu. Su proyección al suroeste corta a las calizas del Grupo Pucará, formando cuerpos y mantos de reemplazamiento (cuerpos Escondida).

El ensamble mineralógico de la veta San Cristóbal está constituida principalmente por esfalerita – galena – calcopirita – wolframita – sulfosales de plata y una mineralogía variable tanto vertical como lateral como cuarzo – pirita – specularita - sílice calcedónica – carbonatos de Fe y Mn. La veta es reabierta por un evento de carbonatos de Mn-Fe, cuarzo y óxidos de Mn. Por tramos la veta muestra bordes de falla que contienen clastos de cuarzo y sulfuros.

La veta San Cristóbal, es la estructura más extensa que se conoce en el área, ha sido mineralizada a lo largo de tres kilómetros y trabajada con interrupciones desde 1928 por minerales de cobre, plomo, zinc y plata; a partir de 1967 con el inicio de la nueva planta

concentrador de tungsteno, cobra importancia la explotación de este metal, hasta agosto de 1984 fecha en la cual se termina el tratamiento por tungsteno. Los trabajos de explotación estuvieron limitados hacia el este por la influencia de la laguna Chumpe, una vez desaguada, facilitó para continuar con estos trabajos. Esta estructura es una fractura continua, sin embargo, su rumbo cambia de acuerdo con el tipo de fractura en que se ubique (de tensión o de cizalla) y por el tipo de roca, refracción explicable por la diferencia en la competencia de las rocas volcánicas y las filitas.

En rocas volcánicas del flanco occidental el rumbo varía entre N 50° y 60° E; para cambiar a N80° E en la parte oeste de las filitas; en la parte central de las mismas filitas el rumbo es N 40° E, mientras que más hacia el este se ha determinado un rumbo de N 30° E. El buzamiento de la veta a lo largo de toda su extensión varía de 45° a 60° al SE.

El ancho de la veta varía a lo largo de toda su extensión, así tenemos que, al oeste en rocas volcánicas, la veta puede alcanzar hasta diez metros de potencia; en la mitad occidental de las filitas la veta se estrangula completamente quedando sólo una zona de micro brecha; en la zona central y este de las filitas, la veta tiene una potencia que varía de uno a tres metros. Los minerales más comunes que ocurren en la veta San Cristóbal son: esfalerita, galena, tetraedrita, pirargirita, calcopirita, wolframita, piritita, cuarzo, carbonatos, marcasita, y barita; todos estos minerales se encuentran formando bandas paralelas dentro de la veta y muestran un marcado zoneamiento en relación con los diques intrusivos ubicados dentro del núcleo del anticlinal Chumpe.

En el área de los diques la veta presenta, de caja techo a caja piso; una banda de piritita wolframita-cuarzo, una banda de calcopirita-esfalerita-cuarzo, otra banda de esfalerita-galena-tetraedrita-calcopirita, y otra banda de carbonatos; además una zona de micro brecha se encuentra indistintamente en la caja piso o en la caja techo, y a veces atravesando las bandas de minerales. Hacia el oeste la banda que contiene wolframita disminuye gradualmente, hasta prácticamente desaparecer en el contacto entre volcánicos y filitas; en esta área de contacto, la segunda banda la de calcopirita-esfalerita-galena aumenta en forma considerable. Más hacia el oeste, en el área de los volcánicos, sólo

existen dos bandas, una de esfalerita-galena y otra de carbonatos. El extremo occidental de la veta, que está en calizas, todavía no está reconocido. Un aspecto estructural importante es la reapertura de la fractura a lo largo de la veta, en diferentes etapas de su historia.

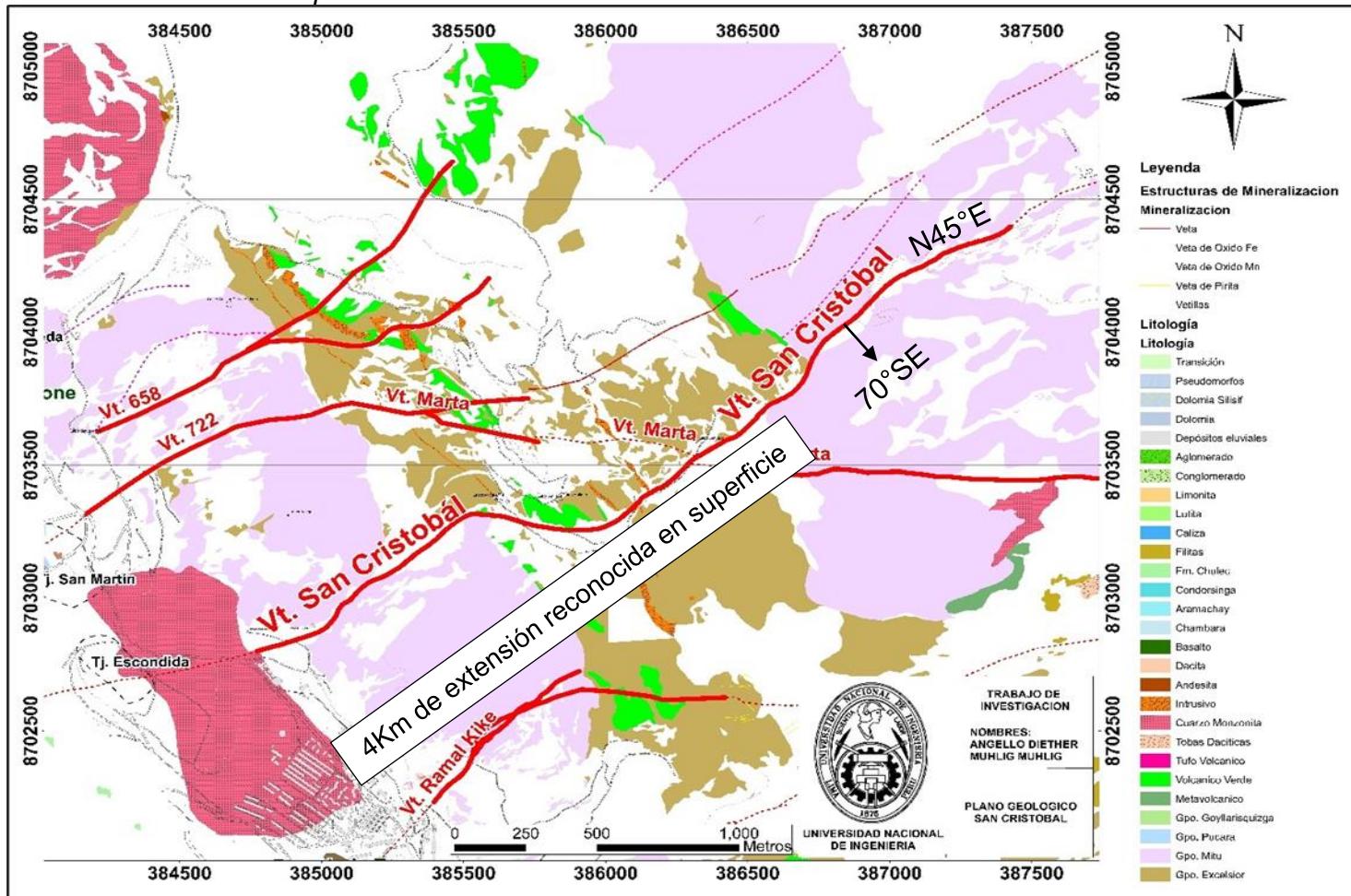
La alteración de las rocas encajonantes varía de acuerdo con el tipo de roca y mineralización.

En las filitas la alteración consiste en: silicificación de dos metros inmediata a la veta, luego una zona de cuatro metros, de caolinización y/o sericitización, y finalmente más o menos diez metros de cloritización.

En los volcánicos la silicificación se reduce a unos cuantos decímetros aumentando la cloritización a más o menos 45 metros.

Figura 23

Extensión de la veta San Cristóbal en superficie



Fuente: Elaboración propia

Veta Andaychagua:

La veta Andaychagua se encuentra al sureste del intrusivo de Chumpe y en el flanco este del anticlinal del mismo nombre. La veta Andaychagua está emplazada en los volcánicos Catalina (Grupo Mitu) y se extiende hasta las filitas del Grupo Excelsior en el extremo suroeste.

La veta Andaychagua es la segunda estructura en orden de extensión conocida en el área. La longitud de la fractura es casi de 5 Km., de los cuales cerca de 3 Km. han sido mineralizados; la estructura tiene un rumbo promedio de N 30° E y un buzamiento de 72°-90° NO, a veces con buzamientos al SE. Cuando la estructura llega al contacto con las filitas, se bifurca en varios ramales que todavía no han sido bien reconocidos. El movimiento principal a lo largo de la fractura ha sido horizontal en sentido dextral, teniendo un desplazamiento total de 200 metros. Este movimiento horizontal probablemente tuvo una componente vertical de pequeña magnitud en sentido inverso. Un movimiento rotacional mediante el cual la caja techo se ha movido en sentido de las agujas del reloj comparado con la caja piso se deduce por el desplazamiento del contacto entre los volcánicos y filitas.

La potencia de la veta Andaychagua varía de 1.8 a 7.5 metros en sus extremos, llegando hasta 18.0 metros en su unión con la veta Prosperidad. La veta tiene un rumbo promedio de N 30° E y buzamiento 75°-90° NO, en algunos tramos presenta buzamientos al SE. La veta es definida en andesitas y en el gabro, pero se bifurca cuando llega a las filitas.

En la parte central de la veta Andaychagua, donde alcanza las mayores potencias, la mineralización de alta ley se presenta cerca de las cajas; otras veces, se alejan de éstas, pero casi siempre son paralelas. Los tramos mineralizados no presentan persistencia horizontal ni vertical, donde terminan unos, comienzan otros. Dentro de la estructura aparecen cajas falsas (fallas longitudinales) que, en muchos casos, limitan la mineralización económica; en otros sigue la mineralización económica a uno y otro lado.

Los tramos pobremente mineralizados de la veta no son persistentes, muchas veces desaparecen de un piso a otro.

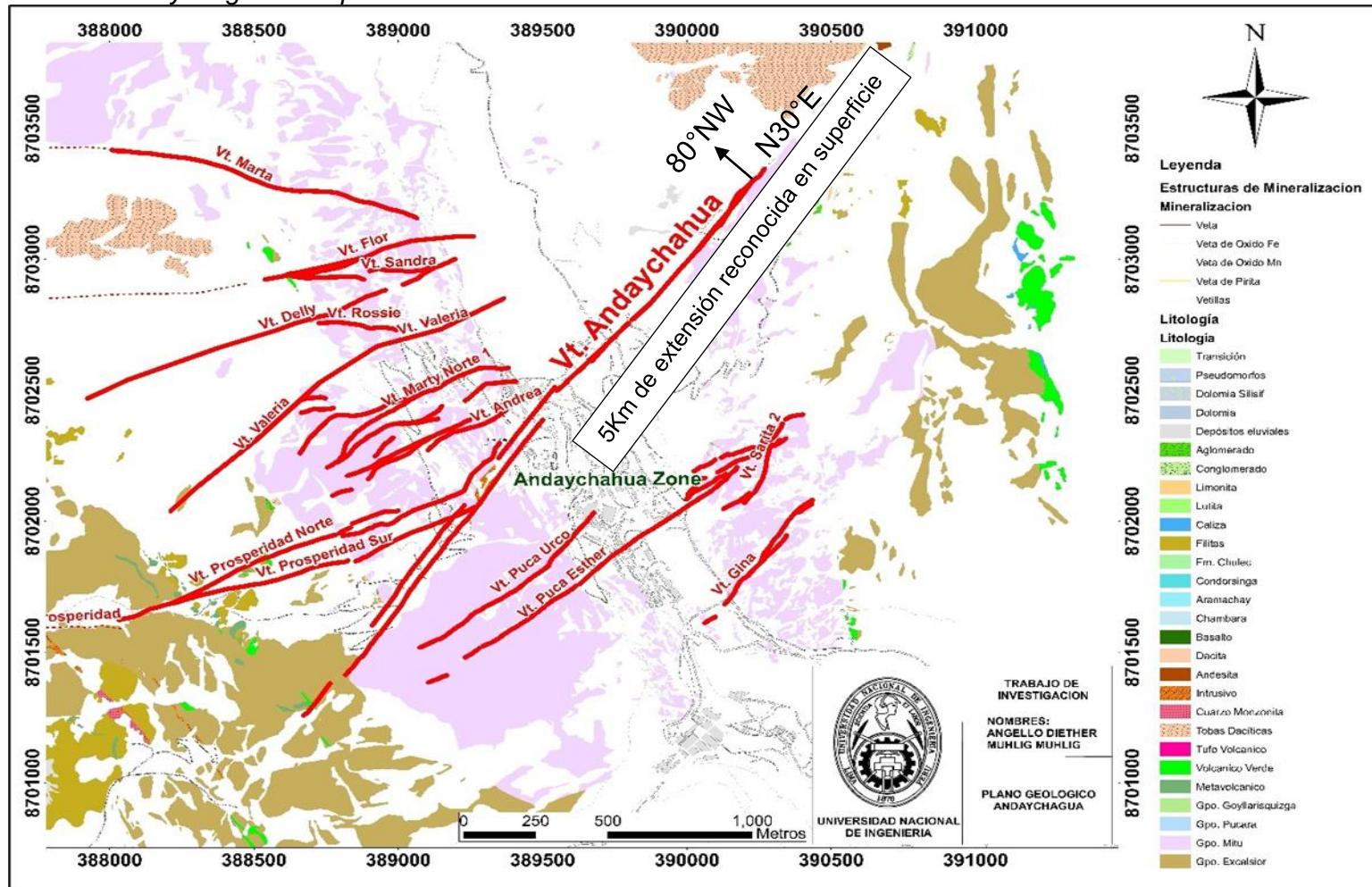
La mineralización de la veta Andaychagua está relacionada con la mineralización polimetálica terciaria y al evento tectónico post-cretácico. La veta Andaychagua presenta textura de relleno: crustificación y brechoide. El ensamble mineralógico de la veta Andaychagua está constituida principalmente por esfalerita – galena – minerales de plata, acompañada de una mineralogía variable tanto vertical como lateral de pirita, arsenopirita, rodocrosita. En la textura brechoide, la asociación es cuarzo-pirita-arsenopirita-galena-esfalerita; hay casos en que las leyes altas de plata se encuentran en las bandas de panizo con una asociación difícil de precisar microscópicamente, pero las leyes de plomo y zinc son bajas. Localmente se ha podido observar reemplazamiento en las cajas. Es un depósito hidrotermal de alcance hipo a epitermal. La esfalerita se vuelve más marmatítica en la parte suroeste de la veta; también, hay incremento de cobre y de zinc cerca a los contactos andesitas-filitas y el gabro. Las concentraciones altas de zinc se encuentran cerca a los contactos andesitas-filitas, andesitas-gabro y en la unión de la veta Prosperidad con la veta Andaychagua. Estas concentraciones altas de zinc van acompañadas de arsenopirita en cantidad significativa. Hacia el noreste del río Andaychagua, la veta presenta un decrecimiento de los valores del cobre, zinc, plomo. De acuerdo con la distribución de minerales, las soluciones han sido subhorizontales con una orientación suroeste-noreste; consecuencia de esto, es la presencia de minerales de baja temperatura como baritina y estibina en el extremo noreste del afloramiento y minerales de la primera etapa de mineralización en el contacto andesitas-filitas al suroeste.

Las andesitas presentan silicificación cerca a la veta; luego sericitización, caolinización y cloritización. En el gabro, argilización cerca a la veta; después, cloritización. En las filitas algo de silicificación cerca a la veta; le sigue argilización y cloritización. La mineralización en sentido horizontal es persistente; en sentido vertical se prolonga 350 metros por debajo del Nivel 620 (reconocido con perforaciones diamantinas). Producida la depositación de los volcánicos (andesitas y brechas andesíticas), inyección del gabro y la

formación del marco estructural, se inicia la alteración hipógena de cajas; inyección posterior de soluciones y cristalización paragenética de minerales. Posteriormente se tuvo una alteración supérgena de cajas y de minerales, dando lugar a minerales secundarios. Los cambios de rumbos y buzamientos en la veta Andaychagua, controlan la mineralización, presentando mejores valores cuando las cajas no son rectas. En las cajas y dentro de la veta, se observa una brecha volcánica de color gris oscuro de composición heterogénea (agregados de dacita y microclastos de filitas); la presencia de esta brecha hace que la veta se encuentre pobemente mineralizada. No es persistente en sentido horizontal ni vertical. En la figura 24 se muestra el área aproximada de mapeo de Andaychagua por el equipo de Exploraciones Brownfield.

Figura 24

Extensión de la veta Andaychagua en superficie



Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Muestreo geológico superficial

En febrero del 2020, se realizó una salida de campo para tomar muestras del afloramiento de la veta San Cristóbal. Esto, con el fin de alimentar la base de datos de interior mina y poder acercarnos más al detalle de la sección de isovalores y cocientes metálicos de la veta San Cristóbal. Debido a la pandemia, se realizó el pare de seguridad en toda la mina. Por ende, se paralizaron los trabajos de exploración en todas las unidades de la Compañía Minera Volcan. Sin embargo, se presentará en este punto las muestras tomadas en campo. Se realizó un muestreo superficial por canal, con 0.20 metros de ancho y una longitud de largo mínimo de 0.20 metros. El largo de la muestra se toma perpendicular al rumbo de la veta y en función de la potencia de la veta encontrada en la zona de muestreo. Cada muestra tiene un peso aproximado de 2.5 Kg. Estas muestras son enviadas a un laboratorio químico que trabaja con Compañía Minera Volcan, para luego ser analizada por 32 elementos químicos. Sin embargo, debido a que las muestras de interior mina solo presentan leyes de Zn, Pb, Ag y Cu, solo se tomaron los valores de estos 4 elementos para las muestras recogidas en superficie. Los resultados son añadidos a la base de datos que será utilizada para la generación de las secciones de isovalores y cocientes metálicos de la veta San Cristóbal. La figura 25 presenta una muestra de superficie de la veta San Cristóbal y la figura 26 el canal de muestreo realizado en la veta San Cristóbal. La figura 27 nos muestra el rumbo de la veta San Cristóbal en superficie.

Figura 25

Muestra superficial de la veta San Cristóbal en afloramiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Canal de muestreo en la veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Rumbo de la veta San Cristóbal



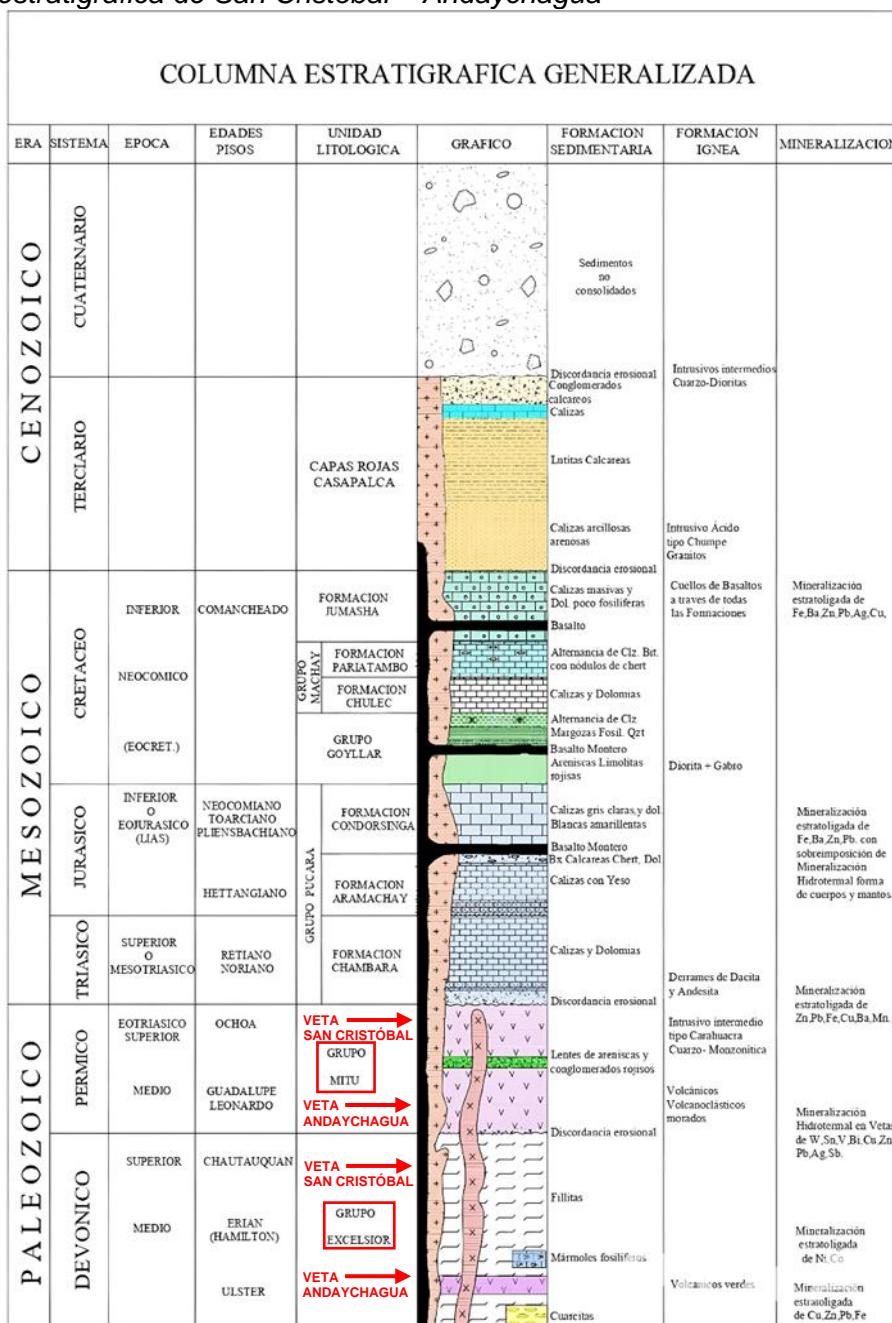
Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Estratigrafía

En el área de San Cristóbal - Andaychagua, la estratigrafía se extiende desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior. La figura 28 muestra la columna estratigráfica del área de San Cristóbal y Andaychagua. La zona de estudio (veta San Cristóbal y veta Andaychagua) está comprendida por rocas del paleozoico, pertenecientes al Grupo Excelsior (filitas) y al Grupo Mitu (rocas volcánicas).

Figura 28

Columna estratigráfica de San Cristóbal – Andaychagua



Fuente: Informes geológicos mina San Cristóbal

Grupo Excélsior (Silúrico – Devónico):

Las rocas más antiguas que afloran en el área son las del grupo Excélsior y conforman el núcleo del Anticinal Chumpe. La potencia total de este grupo es desconocida, sin embargo, J.V. Harrison (1943) determinó una potencia de 1800 metros para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma. Este grupo está constituido predominantemente por filitas (luititas metamorfosadas) con intercalaciones de cuarcitas, vulcanitas verdes y bancos calcáreos memorizados con fósiles (crinoideos); todo el conjunto está intensamente plegado, con la formación de una esquistosidad subparalela a los planos axiales de los pliegues. Mineralización en este grupo es reconocida, principalmente en filones, además de la descrita por H.W. Kobe, que reconoce dos tipos; un tipo manto en la mina Ultimátum de Fe, Zn, Pb, Ag; y la otra estrictamente estrato-ligada ubicada en el anticinal Ultimátum, de Ni, Co, As (Sb), Fe, S.

Grupo Mitú (Pérmino):

Discordante sobre las rocas del grupo Excélsior yacen una serie de rocas volcánicas, constituidas por derrames andesíticos y dacíticos, brechas, aglomerados y tuvos, formando una serie variada que localmente es conocida como volcánicos Catalina. Hacia el techo de esta serie volcánica, particularmente hacia el NE aparece una serie volcanosedimentaria con conglomerados y areniscas. La mineralización en este grupo es ampliamente reconocida a lo largo de todo el Domo de Yauli, siendo principalmente en la forma de filones y diseminado. Debido a su naturaleza irregular la potencia total del grupo Mitu es muy variable, al oeste de la mina San Cristóbal la potencia de los volcánicos Catalina es aproximadamente 800 metros. La edad del grupo Mitu fue considerada como del Carbonífero superior (Mc Laughlin 1940) y posteriormente asignada al Pérmino.

Volcánicos Catalina:

Constituyen la parte superior del Grupo Mitu. En la mina Andaychagua, están constituidos por derrames y brechas andesíticas; en la mina Toldorumi, por aglomerados, derrames, brechas y tuvos de composición dacítica; en la mina Ultimátum, por rocas densas riolíticas con laminaciones fluidales. En la mina Andaychagua, entre las vetas

Andaychagua y Ramal Sur, se encuentra una brecha andesítica con valores altos de plata, distribuidos muy irregularmente dentro de ella. En la mina Toldorrumi, los aglomerados suprayacen a las dacitas, brechas volcánicas y tuvos. En las cercanías a las vetas Catalina y Polonia los volcánicos se hallan metasomatizados e intercalados.

Grupo Pucara (Triásico Superior - Liásico):

Un conjunto de facies calcáreas denominado Grupo Pucará reposa en marcada discordancia sobre el grupo Mitu; este conjunto está dividido en tres formaciones: Chambará, Aramachay y Condorsinga, estando íntimamente relacionado a la mineralización económica del área. A continuación, se realiza una caracterización estratigráfica de ese grupo que fue descrita por varios geólogos, entre los cuales citamos a Harrison (1949), Szekely y Grosse (1972), F. Mégard (1978).

- Formación Chambará (Triásico superior), en su base figura una serie terrígena seguida por otra calcárea constituida por calizas, calizas dolomíticas, dolomías, separadas por capas calcáreo-arcillosas y tuvos de algunos centímetros; las rocas calcáreas tienen un color gris claro variando a negro, que parece ligado a un porcentaje creciente de materia orgánica. Brechas intraformacionales monogénicas están presentes, aunque raras veces.
- Formación Aramachay (Liásico: hetangiano-Sinemuriano) está representada por pizarras limosas que predominan, seguidas de areniscas de grano fino, calizas y de chert en capas; las calizas se presentan en bancos de 20 a 50 centímetros, frecuentemente lenticulares, o en nódulos discoidales de hasta un metro de diámetro; se nota también capas vulcano-detriticas.
- Formación Condorsinga (Liásico Toarciano) es casi exclusivamente calcárea, las calizas que la componen en su mayor parte son oolíticas o bioclásticas, ellas contienen chert abundante en la mitad inferior de la formación; intercalaciones tufáceas de color gris claro, de grano fino a medio, son comunes. Las calizas varían de color gris claro a gris oscuro, son de grano fino, hay zonas donde están fuertemente brechadas.

La mineralización en este grupo es ampliamente conocida en la región central del Perú; en la zona, mantos que se emplazan al techo de la Aramachay y base de la Condorsinga tienen potencias variables desde unos cuantos centímetros hasta varios metros; la mineralogía está constituida principalmente por esfalerita, hematita, minerales de plata, carbonatos como siderita, rodocrosita, etc.

Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior):

Sobre el grupo Pucará yace en discordancia paralela el grupo Goyllarisquizga, el cual se depositó en dos fases sucesivas. La primera compuesta por depósitos de granulometría fina a muy fina, de facies llanura aluvial con pelitas rojas y escasas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, depositadas en un ámbito climático semiárido mostrado en la fuerte oxidación de las pelitas. Durante la segunda fase hay un cambio brusco respecto a la primera, depositándose areniscas medianas hasta muy gruesas y niveles conglomeráticos con troncos de árboles actualmente silicificados, en un ambiente húmedo y de importante actividad ígnea evidenciada por sills de basalto. En San Cristóbal, su potencia alcanza 100 metros. El grupo Goyllarisquizga ha sido atribuido al Cretácico inferior-Valanginiano-Aptiano.

Grupo Machay (Cretácico Medio):

- Formación Chúlec, originalmente descrita por McLaughlin (1924) como el miembro inferior del grupo Machay, fue elevada al nivel de formación por Benavides (1956). Esta formación totalmente carbonatada, litológicamente está conformada por una alternancia de calizas y margas de facies de plataforma externa; es muy fosilífera y constituye la primera formación cretácica de los Andes Centrales correctamente datada.

Toda la serie en su conjunto está intensamente disturbada. En potencia varía desde 250 m justo al SO de Morococha a 350 m en Carahuacra. La base de la formación Chúlec está considerada como la base del primer horizonte calcáreo arriba de las areniscas cuarzosas del grupo Goyllarisquizga y data del Albiano medio. Un nivel de caliza bioclástica “grainstone” marca el final de la formación Chúlec y el inicio de

la formación Pariatambo; se estima un espesor de 400 metros en las proximidades de la laguna Pullcacocha.

- Formación Pariatambo, definida por McLaughlin (1924) como el miembro superior del grupo Machay, ahora se considera una formación separada. Esta formación fácil de localizar en el paisaje por su coloración negra característica, escasa resistencia a la erosión y litología monótona está constituida por una alternancia marga-caliza de pequeños bancos claros y oscuros generalmente muy bituminosos, señalados por un olor fétido muy pronunciado.

Los niveles claros son mudstones con "packstones" calcáreo-dolomíticos algunas veces ligeramente siltosos. Los bancos oscuros son margas calcáreo-dolomíticas muy bituminosas. Toda esta formación depositada en una plataforma relativamente profunda y aislada contiene numerosos amonites poco fragmentados y restos de peces. El tope, está marcado por la aparición de sílex que se halla a veces en tal cantidad que llega a formar bancos decimétricos con dolomitas intercaladas. Las variaciones de espesor son pequeñas, entre 50 y 75 m; encontrándose los extremos en Morococha con 15 m y en San Cristóbal con 130 m, además en este último también se presenta una decena de metros de areniscas finas intercaladas en la parte media de la formación. La fauna de esta formación es Albiana superior e incluye *Inoceramus* y *Exogyra* (Wilson, 1963).

Formación Jumasha (Cretácico Inferior):

Concordantemente sobre la formación Pariatambo se encuentra la formación Jumasha. Litológicamente, es la más homogénea de las formaciones cretácicas expuestas en el Domo de Yauli.

Consiste casi enteramente de una serie carbonatada dolomítica, masiva y poco fosilífera con escasos lentes de areniscas y sílex, depositada en una plataforma ligeramente confinada y de poca profundidad. Los amonites encontrados pertenecen al Albiano superior-Turoniano.

Formación Casapalca (Terciario):

Sobreyace con discordancia erosional a la formación Jumasha y se ha cartografiado al sur del domo entre el cerro Ajhuí y laguna Cuancocha. La conforman al piso secuencias de arenisca, limolita y limolita calcárea y calizas de coloración rojiza; hacia el techo se observa niveles delgados a medios de calizas masivas sin fósiles de color rojizo claro (F. Mégard, 1979; H. Salazar, 1983), por sus relaciones estratigráficas y tectónicas le asignan una edad entre el Cretáceo superior (Santoniano) y el Eoceno medio.

Intrusivos y Cuaternario:

En el área de San Cristóbal - Andaychagua, ocurren dos tipos de intrusivos: ácidos y básicos.

▪ Intrusivo Ácidos

Las rocas intrusivas ácidas están representadas en el área por stocks de monzonita cuarcífera, diorita cuarcífera y diques de alaskita ubicados a lo largo o cerca de la zona axial del anticlinal de Chumpe. Los stocks más importantes en el área son: el intrusivo Carahuacra y el intrusivo Chumpe; el primero es un stock de 1.5 kilómetros de largo por 1,0 kilómetro de ancho, que aflora en la parte NO del área de San Cristóbal, en contacto con las filitas del grupo Excélsior y los volcánicos Catalina; el intrusivo Chumpe forma el pico más alto en el área de San Cristóbal y se emplaza a lo largo de la zona axial del anticlinal que lleva su nombre.

En Andaychagua, los intrusivos ácidos están representados por el intrusivo de Chumpe que forma el pico más alto de Andaychagua y se ubica a lo largo de la zona axial del anticlinal que lleva también el nombre de Chumpe.

Existe una serie de diques irregulares, casi paralelos, con buzamientos verticales que parecen ser apófisis del intrusivo Chumpe, uno de ellos está emplazado en el área de Toldorumi entre las rocas de los Volcánicos Catalina y del grupo Pucará (extremo de la veta Polonia); este intrusivo está constituido por cuarzo diorita. Una serie de diques irregulares, paralelos, con buzamientos verticales, conocidos localmente como diques de alaskita, se encuentran intruyendo filitas del grupo

Excésior a lo largo de la zona axial del anticlinal de Chumpe; estos diques están asociados en profundidad con el intrusivo de Chumpe; petrográficamente los diques son granitos porfirítica. El Intrusivo San Cristóbal es un intrusivo de composición ácida, varia de cuarzomonzonita hasta cuarzomonzodiorita.

- **Cuarzomonzonita**

Roca leucocrata, de color gris claro a pardo en tramos, presenta una textura pórfido afanítica, con fenocristales subhendrales de plagioclásas (20-30%), cuarzo (5%), feldespato potásico (15-20%), biotita de (10-20%), pirita diseminada (20%) alteración argílica, las plagioclásas al alterarse pasan a caolinita, las hornblendas al alterarse pasan a biotitas luego a sericitas.

- **Monzonita**

Roca leucocrata, de color gris claro a pardo en tramos, presenta una textura pórfido afanítica, con fenocristales subhendrales de plagioclásas (20-30%), feldespato potásico (20-30%), biotita de (15-20%), pirita diseminada (25%) alteración argílica, las plagioclásas al alterarse pasan a caolinita, las horblendas al alterarse pasan a biotitas luego a sericitas.

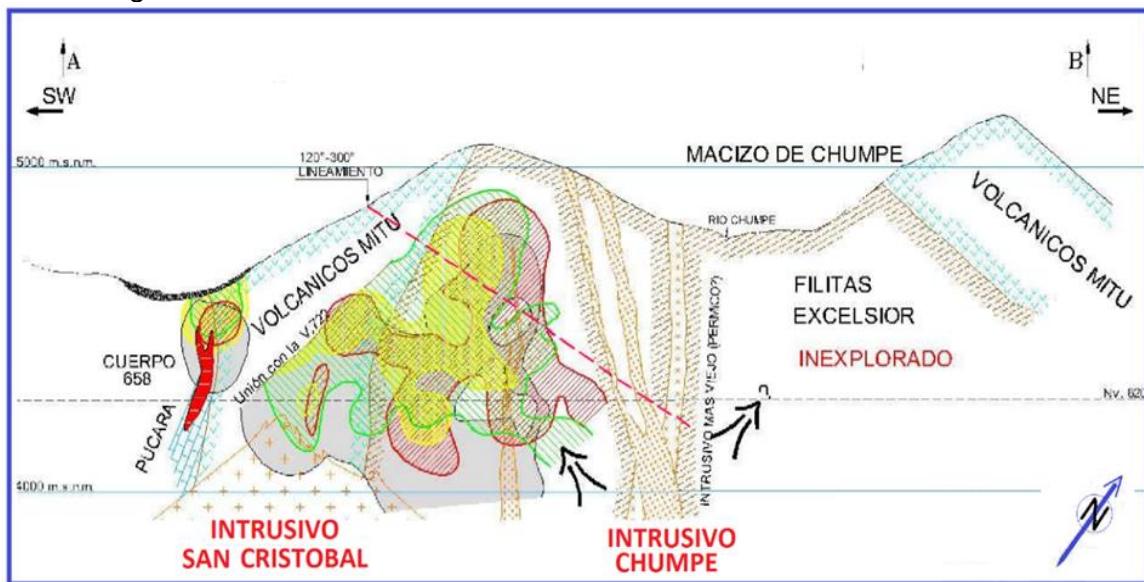
- **Cuarzomonzodiorita**

Roca leucocrata de color gris a marrón claro, textura porfirítica, con fenocristales subhendrales de plagioclásas (25-30%), ojos de cuarzo (5%), biotita (15%) en tramos feldespato potásico (10%), alterado, pasta afanítica da color gris, pirita diseminada, alteración argílica, las plagioclásas al alterarse pasan a caolinita, las biotitas al alterarse pasan a sericitas.

En la figura 29 se muestran los diversos pulsos magmáticos de la mina San Cristóbal.

Figura 29

Pulsos magmáticos de la mina San Cristóbal



Fuente: Informes geológicos mina San Cristóbal

▪ Intrusivo Básicos

Intrusivos de carácter básico han sido encontrados en la región de Andaychagua, así como cerca del intrusivo Carahuacra; los del área de Carahuacra son diques de diabasa, que se ubican casi perpendicularmente al eje del anticlinal; en Andaychagua, en los volcánicos Catalina, ocurre una intrusión de gabro tipo "pipe" de forma elipsoidal, su tamaño es de 70 x 250 metros. Además, se debe mencionar los cuellos y diques de basalto que atraviesan las formaciones, posiblemente se trata de extrusiones/intrusiones de edad variable, que podría ser la fuente de los sills en Pucará, Goyllar y Machay. Los Intrusivos básicos afloran en el área de Andaychagua, dentro de los volcánicos Catalina; se trata de una intrusión de gabro de forma elipsoidal, cuya dimensión es 250m. x 70m. la cual ha sido desplazada por la falla Andaychagua.

- Cuaternario

Durante el cuaternario la actividad glaciar, el agua meteórica y los vientos realizaron gran actividad desnudante. Como resultado de ello se tiene la considerable acumulación de sedimentos en los fondos de las quebradas y

valles, constituyen depósitos morrénicos, aluviales y fluvioglaciares que alcanzan espesores de 15 a 20 m. El material morrénico se constituye de fragmentos semiredondeados a angulosos que varían desde milimétricos hasta bloques de 2m. de diámetro, estos depósitos evidencian la Glaciación Pleistocénica, los frentes morrénicos conforman presas de las lagunas escalonadas del lugar. Estos depósitos son de naturaleza heterogénea ya sea calcárea, cuarcítica, arenácea o ígnea y se encuentran débilmente cementados por arenas y arcillas que dan una apariencia compacta, en casos han sido transportados por aguas de escorrentía transformándose en fluvioglaciares.

3.2.7 Geología estructural

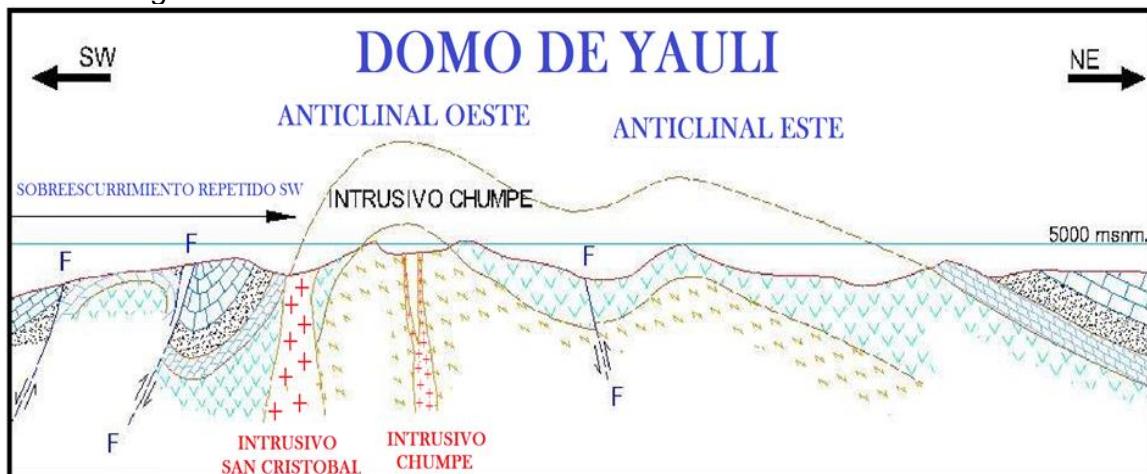
La estructura regional dominante es el Domo de Yauli, está ubicado en segmento central de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, aparece como una estructura domal tectónica que comprende, por el norte, desde el paso de Anticona en la zona de Ticlio; pasando por el distrito minero de Morococha, el distrito minero Carahuacra-San Cristóbal-Andaychagua, por el sur se extiende hasta la quebrada de Suitucancha y las proximidades de la laguna Cuancocha. La longitud de acuerdo con el rumbo del eje del domo es de 35 a 60 Km aproximadamente y el ancho es de 10 a 15 Km y su orientación mantiene la dirección andina NNW-SSE. Su flanco este buza entre 30° y 40° mientras su flanco oeste buza entre 60° y 80°; en el núcleo del domo se superponen las tectónicas Hercínicas y Andinas que afectan a las rocas desde el Excélsior hasta el Casapalca (Virrueta Choque, 2020).

En el sector oeste, las formaciones del Jurásico y Cretácico se encuentran afectadas por grandes y alargados pliegues muy apretados, fallas inversas y largos sobreescurreimientos productos de los esfuerzos compresivos, con desplazamientos hectométricos (Sector Imbricado, H. Salazar, 1983). Por los esfuerzos compresivos también se producen fracturamientos antiandinos tensionales bien desarrollados a los que está relacionada la mineralización polimetálica (Virrueta Choque, 2020).

Está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (Ultimátum). Este sistema estructural NW-SE de pliegues, fallas, fracturas y sobreescamientos constituyen el flanco oeste del Domo de Yauli. La figura 30 muestra una sección longitudinal del Domo de Yauli, donde se puede observar los rasgos estructurales más importantes del Domo de Yauli.

Figura 30

Sección longitudinal SW-NE del Domo de Yauli.



Nota: Se observa los rasgos estructurales más importantes del domo. Fuente: Informes geológicos mina San Cristóbal

El Domo de Yauli es un sistema regional mucho más amplio que excede los límites de este, abarca las hojas de Matucana y la Oroya entre las que se emplaza parcialmente el Domo de Yauli. Estas estructuras son producto de la fase compresiva de la Orogenia Andina (Fase Incaica; Salazar 1983). Dos períodos principales de tectónica son reconocidos en la región; el primero del Pérmico inferior, denominado Tectónica Tardihercínica, que dio lugar a un intenso plegamiento de las filitas Excélsior; el segundo período denominado Tectónica Andina, que plegó principalmente las rocas mesozoicas, comenzó a fines del Cretácico y continuó durante el principio y mediados del Terciario, reconociéndose tres etapas de plegamiento en la Cordillera de los Andes; el "Peruano" a fines del Cretácico, y antes de la deposición de las capas rojas; el "Incaico" a principios del Terciario, fue el más intenso y a él siguió un período de actividad ígnea; y finalmente el "Quechua" a mediados del Terciario. Al seguir actuando las fuerzas de compresión dieron lugar a la formación de fracturas de cizalla de rumbo E – W.

Sistema NE

Este sistema es el más notorio por su densidad y está desarrollado en todo el Domo.

El fracturamiento tiene azimuts que varían de entre N45-75°E con un promedio N60°E; las principales vetas del distrito minero Carahuacra-San Cristóbal-Andaychagua que pertenecen a este sistema son: 658, Split 658, 722, San Cristóbal, K, Mary, ML, Andaychagua, Polonia, etc. Todas estas estructuras se encuentran cortando las filitas, volcánicos y calizas.

También en Tincocancha las vetillas que se han identificado pertenecen a este sistema al igual que la estructura principal de Suitucancha.

Sistema NNE

Este sistema, segundo en densidad, se encuentra también en todos los lugares, pero su mayor desarrollo se encuentra en la parte norte de la zona de Pomacocha (C° Magistral). En este sistema se han incluido las estructuras de azimuts N15-45°E, con un promedio de N32°E. En el área de Tincocancha y en Andaychagua-Yuracgaga este sistema puede estar relacionado al lineamiento Norte. Al sur de la veta Andaychagua en el flanco este del valle las vetas Sarita, Caprichosa, etc. pertenecen a este sistema.

Sistema SE

Este sistema de fracturamiento es muy difuso y no tiene una localización específica; sin embargo, parece estar relacionado al sistema de fallamientos inversos en el flanco oeste del Domo de Yauli. El rango de azimuts es de N120-150°E con promedio de N136°E.

Sistema EW

En dominio incluye estructuras con azimuts entre N75-105°E cuyo promedio es N82°E; ocurre con mayor notoriedad en Abascocha y Tincocancha y también en la zona central.

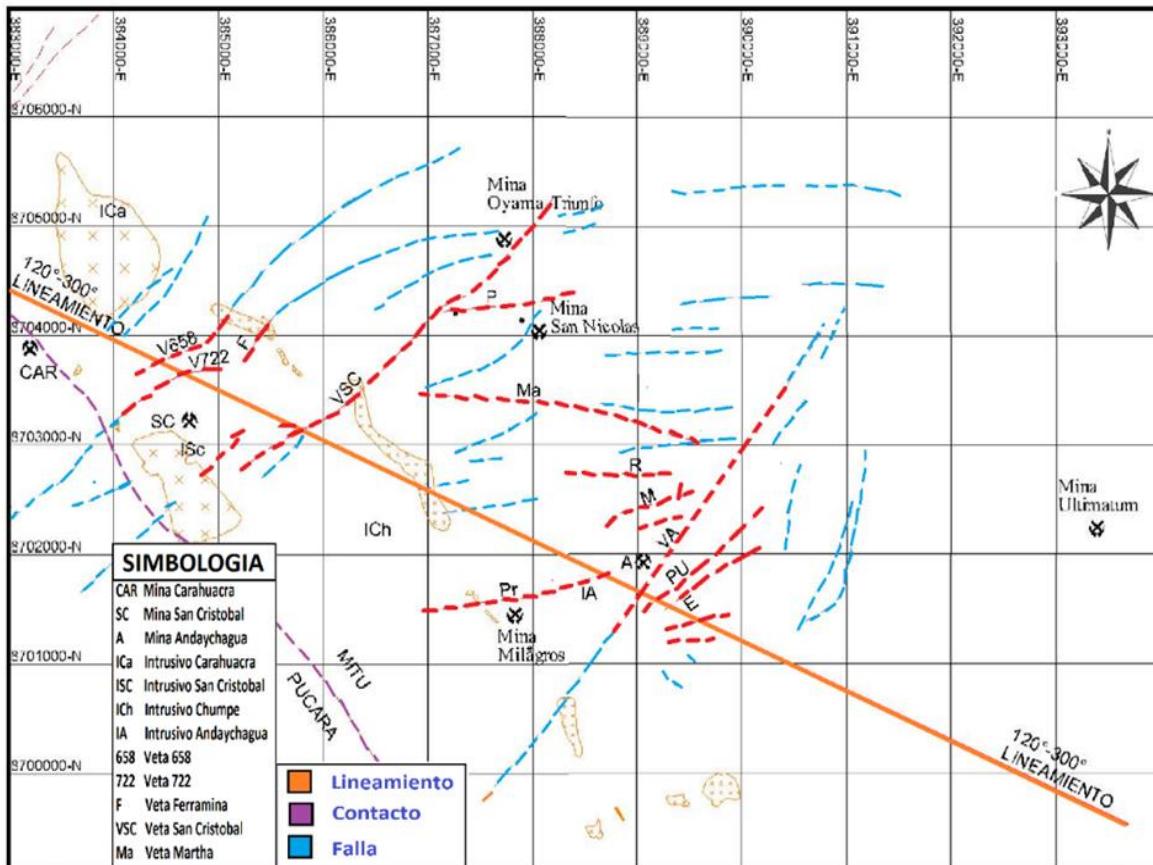
La veta Prosperidad entre Toldorumi y Andaychagua es la más notoria de este sistema y se incluyen las vetas Martha y Rocié al norte de la veta Prosperidad y suelen estar enriquecidas en plata.

Mapa estructural local

En la figura 31 se presenta el mapa estructural de las principales fracturas o fallas (vetas), que afloran en superficie de las minas Carahuacra, San Cristóbal, Andaychagua, todas están relacionadas al intrusivo Chumpe, derivadas a partir de la Imagen Satelital.

Figura 31

Mapa estructural local de las principales fallas, vetas, contactos de la mina San Cristóbal, Carahuacra, Andaychagua



Fuente: Informes geológicos mina San Cristóbal

Controles estructurales en vetas

El análisis estructural determina que la distribución de la mineralización también está relacionada a azimut y buzamientos. La veta San Cristóbal presenta un rumbo promedio de N 45° E, es una estructura de tensión, tenemos que las principales zonas de concentración de mineral (ore-shoots), se encuentran donde el azimut promedio es de 250° y el buzamiento va de 50° a 70° al SE. Se conoce 5 Km de largo y 600 m. de profundidad. Las variaciones del ancho van de 1 a 6 m. en filitas y alcanza los 10 m. en los volcánicos. La veta Andaychagua es la segunda estructura en orden de extensión conocida en el área.

La longitud de la fractura es de 3Km; la estructura tiene un rumbo promedio de N 30° E y un buzamiento de 72°-90° NO, a veces con buzamientos al SE. Cuando la estructura llega al contacto con las filitas, se bifurca en varios ramales que todavía no han sido bien reconocidos. Las variaciones del ancho van de 1.8 a 7.5 m. en andesitas y gabro. Se bifurca cuando llega a las filitas.

3.2.8 Alteraciones hidrotermales

Las alteraciones en el área de estudio obedecen a dos tipos de eventos, las alteraciones relacionadas a los cuerpos intrusivos y las alteraciones hidrotermales. Las primeras se manifiestan en grado y amplitud variables en función de la naturaleza de la roca encajante y la dimensión de los intrusivos. Las intrusiones terciarias que se manifiestan en ambos flancos del Domo de Yauli, intruyen generalmente las rocas carbonatadas del Pucará, pero también las formaciones terrígenas como el Mitu y el Casapalca. La alteración de los carbonatos varía desde una ligera recristalización, desarrollo de marmolización e incluso skarn en halos que van desde unos pocos hasta varias decenas de metros; el desarrollo de skarn está marcado por la aparición de granates, epidota, algunos piroxenos, pirrotita, magnetita y clorita; esta alteración no ha generado mineralización de metales base, son exoskarns secos; la mayor exposición es en Rangra al sur de la laguna Abascocha, se le ha encontrado también en Tincocancha y en la cabecera de la laguna Sarao. En las rocas clásticas como el Mitu y el Casapalca se desarrollan halos de alteración argílica moderada y silicificación como se observa en las proximidades de la quebrada Rangrapata al oeste de Tincocancha donde se evidencian varios apófisis dacíticos que intruyen el Mitu. Las alteraciones hidrotermales dependiendo de la roca encajante puede ser dolomitización débil a moderada en los carbonatos con halos variables donde a veces se manifiestan acompañadas de silicificación igualmente débil a moderada, esta alteración es generada por las mineralizaciones estratiformes en Pucará y Jumasha y por las vetas que cortan estos estratos; en el Mitu, la alteración generada por la mineralización filoneana está restringida a halos no mayores de 1 o 2 metros de argilización moderada y silicificación moderada.

3.3 Recolección de datos para determinar la geoquímica de isovalores

La recolección de datos consiste en obtener la mayor cantidad de datos posibles de las leyes de muestra de veta (superficie e interior mina), tanto para la veta San Cristóbal como para la veta Andaychagua, así como sus coordenadas, código de muestra y ancho de muestra (longitud). La recolección de datos ha servido para realizar las secciones de isovalores y cocientes metálicos de las vetas en estudio, para posteriormente analizar la vectorización de los fluidos mineralizantes y determinar las zonas de mayor y menor temperatura. Durante toda la fase de explotación de ambas vetas, se tomaron las coordenadas de las muestras de veta. Así mismo, se enviaron tales muestras al laboratorio para su respectivo análisis, ordenando todos los datos en archivos Excel. Estos datos fueron solicitados para el trabajo de investigación. A escala regional, estos datos ya se consideran anómalos por ser muestras de veta, sin embargo, dentro de la escala de los valores de veta, existen grupos de datos que llamaremos “anómalos” por tratarse de un grupo con mayor valor numérico que el promedio.

La información de los impactos contiene: Coordenadas, leyes de Pb, Zn, Cu y Ag, código de muestra, etc. El total de datos de leyes recolectadas fue de 28934 para la veta Andaychagua y 3742 muestras para la veta San Cristóbal.

Tabla 3

Formato de recolección de datos de los impactos veta San Cristóbal y Andaychagua

Código muestra	Desde	Hasta	Longitud	Este	Norte	Cota	% Zn	% Pb	% Cu	Oz Ag

Según el formato adjunto, se inició la recopilación de datos de leyes de veta, tanto para la veta Andaychagua como para la veta San Cristóbal, con el código de muestra, la longitud, coordenadas y leyes. Por temas de confidencialidad, solo se han presentado algunos datos de leyes sin código, sin longitud y sin coordenadas en los anexos.

3.4 Tratamiento estadístico de los datos para las vetas San Cristóbal y Andaychagua

El tratamiento estadístico de los datos tiene como objetivo principal determinar los rangos geoquímicos para una mejor visualización y un mejor contraste de los isovalores y las zonas de mayor y menor temperatura en los cocientes metálicos. También sirve para realizar un análisis con datos limpios y normalizados, para tener mayor confiabilidad en los datos y por ende en los resultados. A continuación, detallamos los beneficios de realizar el tratamiento estadístico:

- Eliminar datos anómalos que presenten posiblemente errores humanos, de laboratorio o de software, como son los altos erráticos.
- Mejorar los datos en el aspecto cuantitativo y cualitativo.
- Establecer rangos geoquímicos en la base al total de datos utilizados.
- Tener confiabilidad en los datos y en los resultados obtenidos.

Para el tratamiento estadístico de los datos, primero hay que verificar si los datos necesitan ser normalizados. En caso no sea necesario normalizar, se realizan los procedimientos estadísticos directamente. Los procedimientos estadísticos por realizar son los siguientes: Validación de datos, Normalización de datos, Diagrama de Cajas y Bigotes (Box Plots), Tabla de correlación, Diagrama de dispersión XY, Histogramas, Diagrama de probabilidad normal, tabla de variables estadísticas, intervalos de confianza, tanto para la veta San Cristóbal como para la veta Andaychagua, por separado. Todos los gráficos y tablas utilizados es parte del procedimiento estadístico para llegar a tener los rangos geoquímicos.

3.4.1 Tratamiento estadístico de los datos de la veta San Cristóbal

Para la veta San Cristóbal se tienen las leyes de Zn, Pb, Ag y Cu de 3742 muestras, en el formato anteriormente mostrado (Tabla 3). Para ello, se procede a validar la data con el software ioGAS-64, tanto para los 4 elementos metálicos y para los cocientes metálicos. En la figura 32 se muestra la depuración de datos, donde se verifica que los datos de la

veta San Cristóbal no presentan ningún error y pueden ser tratados. Las abreviaturas “pct” equivale a porcentaje y la abreviatura “Oz” equivale a onzas.

Figura 32

Depuración de datos.

Data Doctor [Cu_pct, Pb_pct, Zn_pct, Ag_Oz, Ag_Cu, Ag_Pb, (+4)]							
Variable	Problem	Value	Count	%	Apply Attributes	Replacement Value	Replace Value
Cu_pct	No Probs						
Pb_pct	No Probs						
Zn_pct	No Probs						
Ag_Oz	No Probs						
Ag_Cu	No Probs						
Ag_Pb	No Probs						
Ag_Zn	No Probs						
Pb_Zn	No Probs						
Pb_Cu	No Probs						
Zn_Cu	No Probs						

Suggest row by row Suppress Negative Rule Attribute All Replace All
 3742/3742 rows without any problems

Show Log Apply Undo Copy Close

Nota: La figura muestra que los datos a utilizar no presentan ningún error para poder ser tratados. Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 podemos verificar que no existen datos vacíos dentro de los datos utilizados.

Figura 33

Tabla de comprobación donde se observa que no existen datos vacíos

Missing Data Patterns [Cu_pct, Pb_pct, Zn_pct, Ag_Oz, Ag_Cu, Ag_Pb, Ag_Zn, Pb_Zn, Pb_Cu, Zn_Cu]			
Missing	Present	# missing	# rows
(None)	Cu_pct, Pb_pct, Zn_pct, Ag_Oz, Ag_Cu, Ag_Pb, Ag_Zn, Pb_Zn, Pb_Cu, Zn_Cu	0	3742

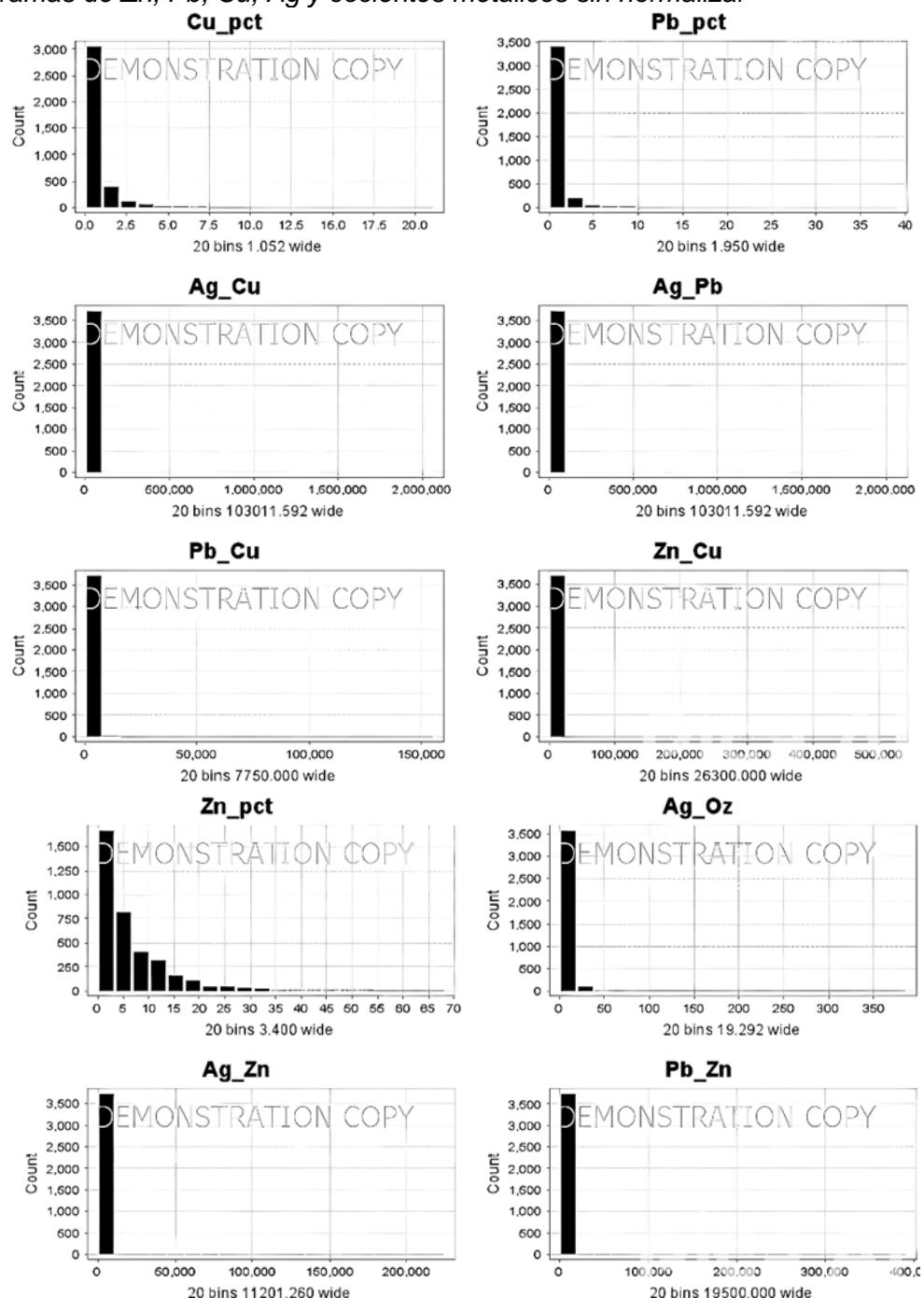
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura 34 y 35 se muestran los histogramas y box plots de todos los datos, sin normalizar, para verificar que al final sí es necesario realizar la

normalización de los datos. Los cocientes metálicos utilizados son: Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu y Zn/Cu.

Figura 34

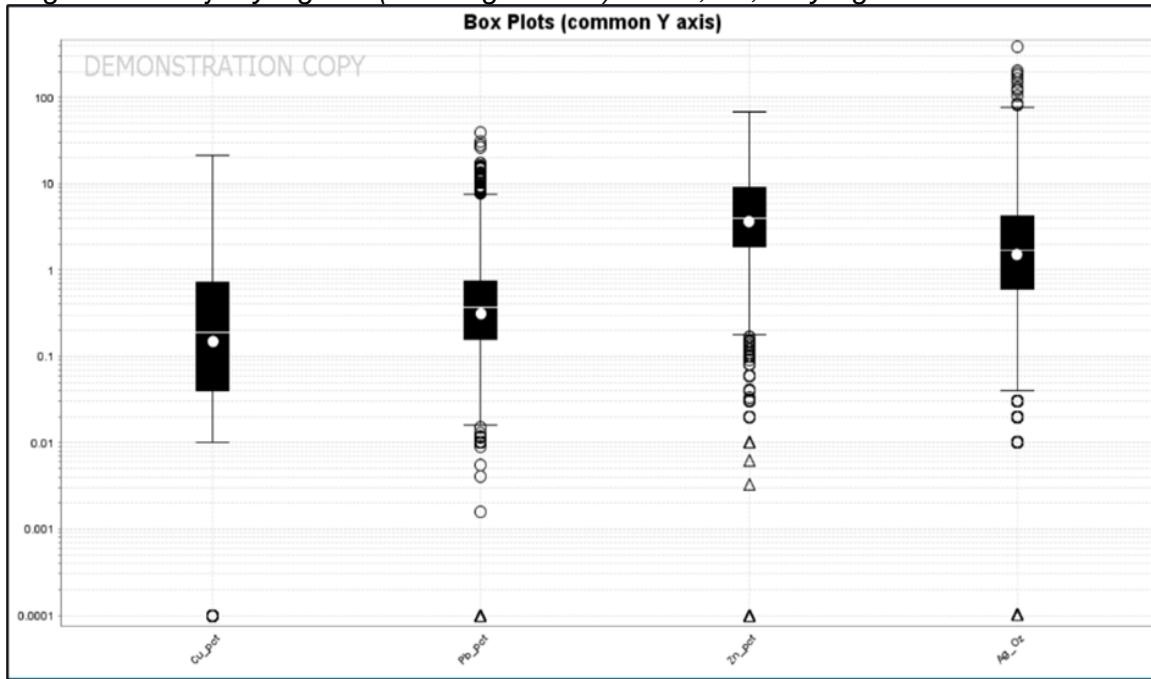
Histogramas de Zn, Pb, Cu, Ag y cocientes metálicos sin normalizar



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Diagrama de cajas y bigotes (base logarítmica) de Cu, Pb, Zn y Ag sin normalizar



Fuente: Elaboración propia

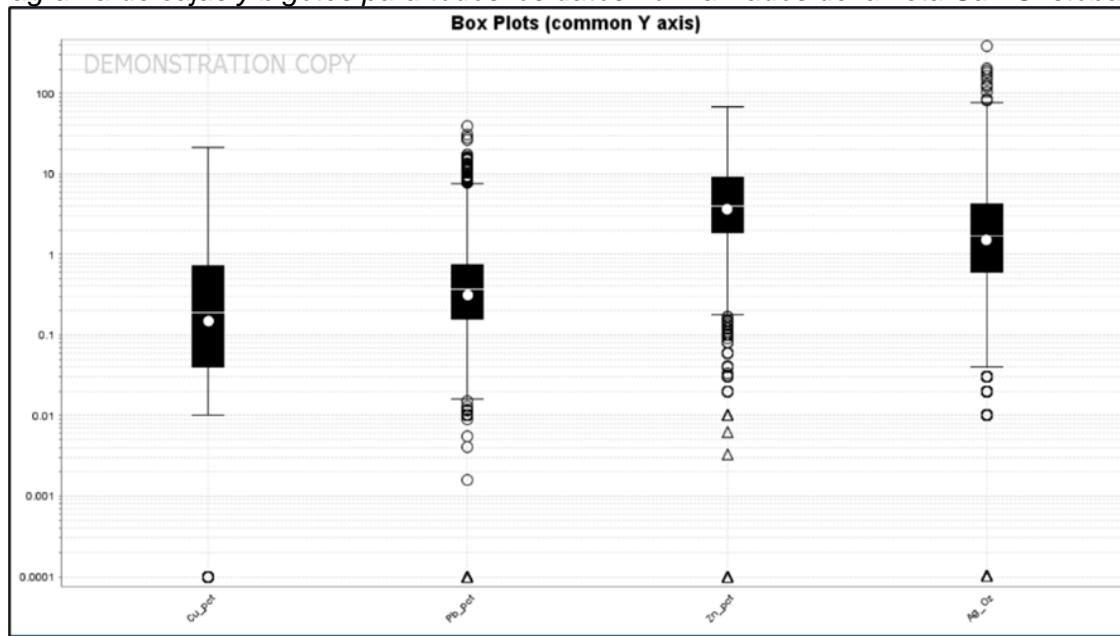
Se observa los resultados mostrados en la figura 34 y 35, se concluye que no se puede observar gráficamente poblaciones homogéneas. Por ello, es necesario realizar la normalización de los datos. Existen muchos métodos para normalizar datos, entre ellos tenemos el método de la media, mediana, logarítmico, Gauss, entre otros. Para este trabajo de investigación, usaremos el método logarítmico (Log10), debido que, al realizar una comparación de todos los métodos de normalización, se observa que para el método logarítmico los datos tienen una mejor distribución y normalización. El método logarítmico consiste en una fórmula que permite la estandarización de una población de datos. El resultado que arroja esta fórmula permite conocer cuánto de lejos está un dato concreto respecto de la media.

El método logarítmico es una técnica que sirve para normalizar los datos, lo que nos permite comparar conjuntos de datos distintos, bien porque esté en unidades diferentes, bien porque se trate de volúmenes muy dispares.

A continuación, en la figura 36 se muestra el diagrama de cajas y bigotes para la data normalizada y poder identificar la población homogénea de todos los datos:

Figura 36

Diagrama de cajas y bigotes para todos los datos normalizados de la veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia

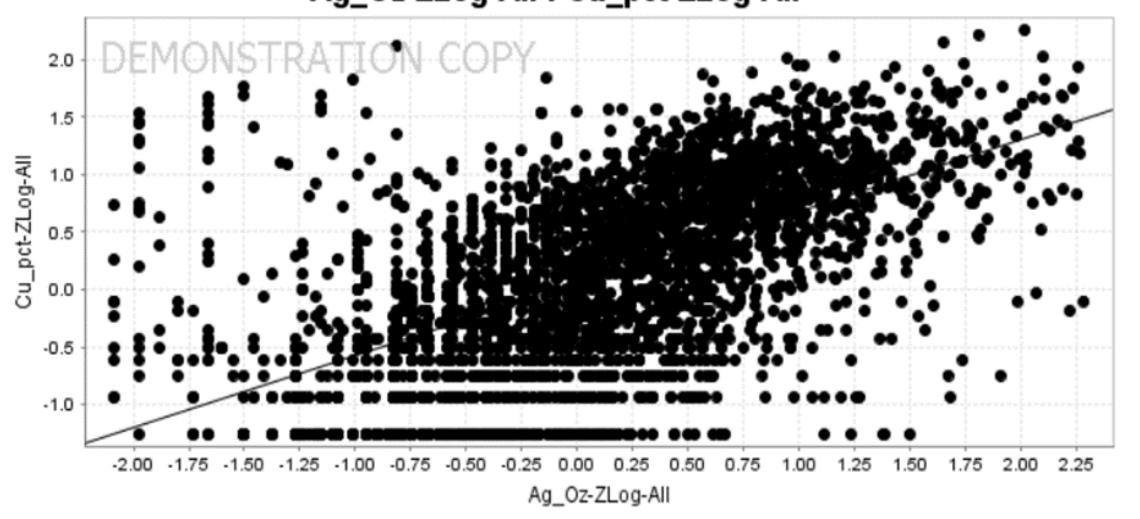
La población homogénea cuenta con 3323 datos, que representan el 88.80% del total. Las anomalías cuentan con 419 datos, que son el 11.20% del total.

A continuación, en las figuras 37, 38, 39, 40, 41 y 42, se muestran los diagramas de dispersión XY para los cuatro elementos:

Figura 37

Diagramas de dispersión XY de Ag y Cu, Veta San Cristóbal

Ag_Oz-ZLog-All : Cu_pct-ZLog-All

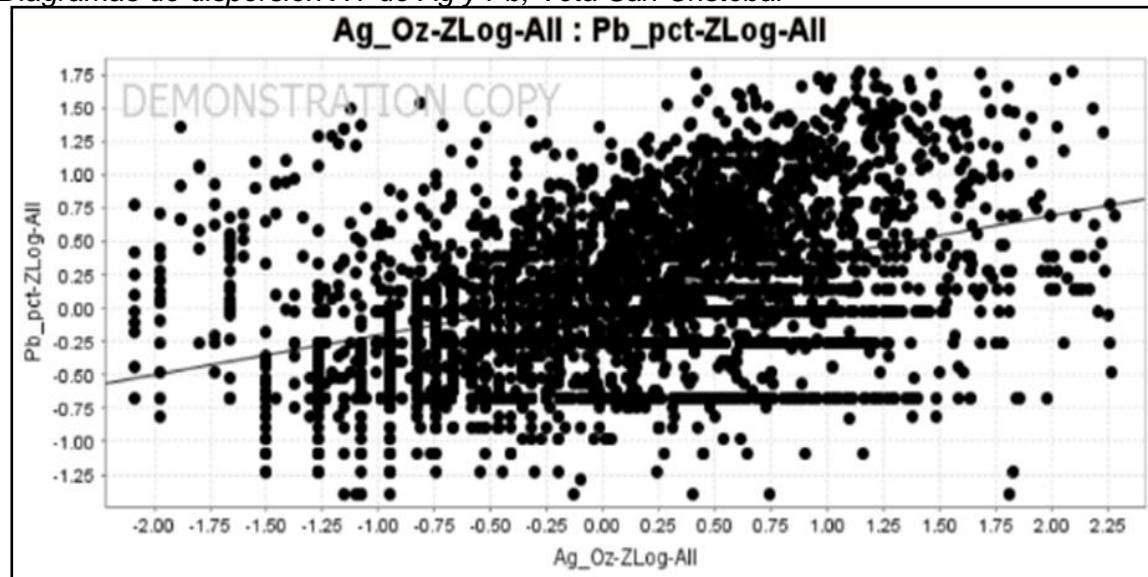


Nota: Línea de tendencia: $y = 0.62x + 0.05 / r^2 = 0.37 / r = 0.49$

Se observa que la relación entre la Ag y el Cu es regular a buena, con un coeficiente de correlación de 0.49, lo que indica una correlación de calidad media a buena en la regresión lineal.

Figura 38

Diagramas de dispersión XY de Ag y Pb, Veta San Cristóbal

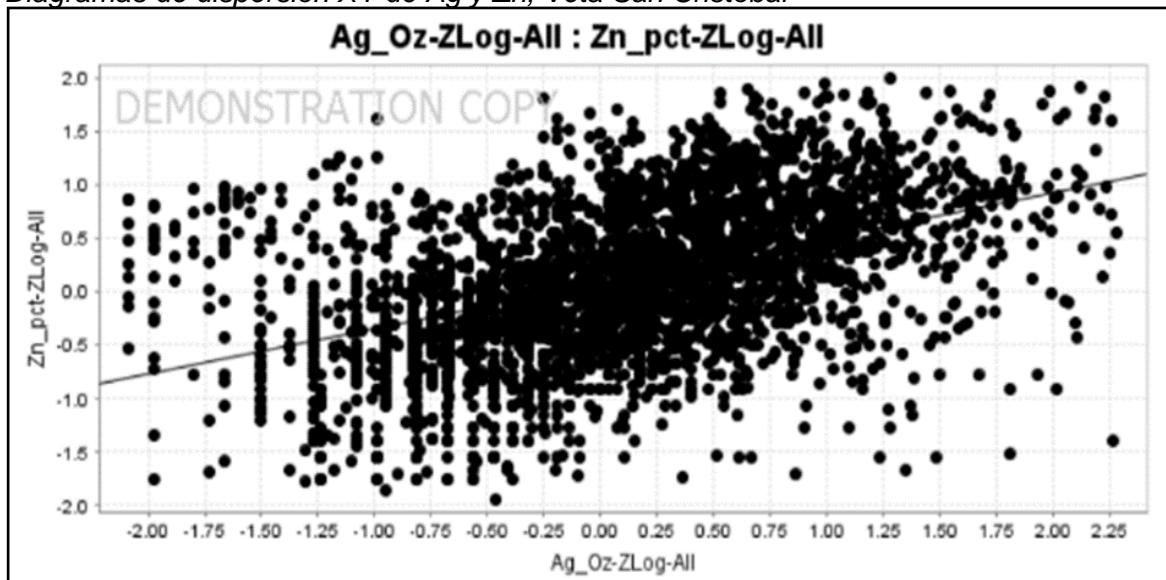


Nota: Línea de tendencia: $y = 0.30x + 0.10 / r^2 = 0.15 / r = 0.31$

Se observa que la relación entre la Ag y el Pb es regular, con un coeficiente de correlación de 0.31, lo que indica una correlación de calidad media en la regresión lineal.

Figura 39

Diagramas de dispersión XY de Ag y Zn, Veta San Cristóbal

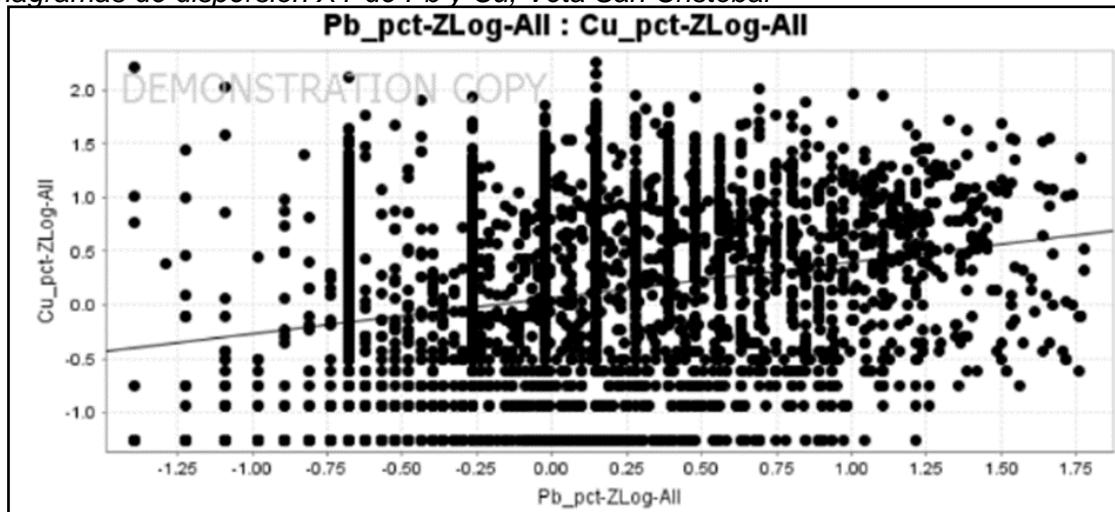


Nota: Línea de tendencia: $y = 0.42x + 0.07 / r^2 = 0.21 / r = 0.42$

Se observa que la relación entre la Ag y el Zn es regular, con un coeficiente de correlación de 0.42, lo que indica una correlación de calidad media en la regresión lineal.

Figura 40

Diagramas de dispersión XY de Pb y Cu, Veta San Cristóbal

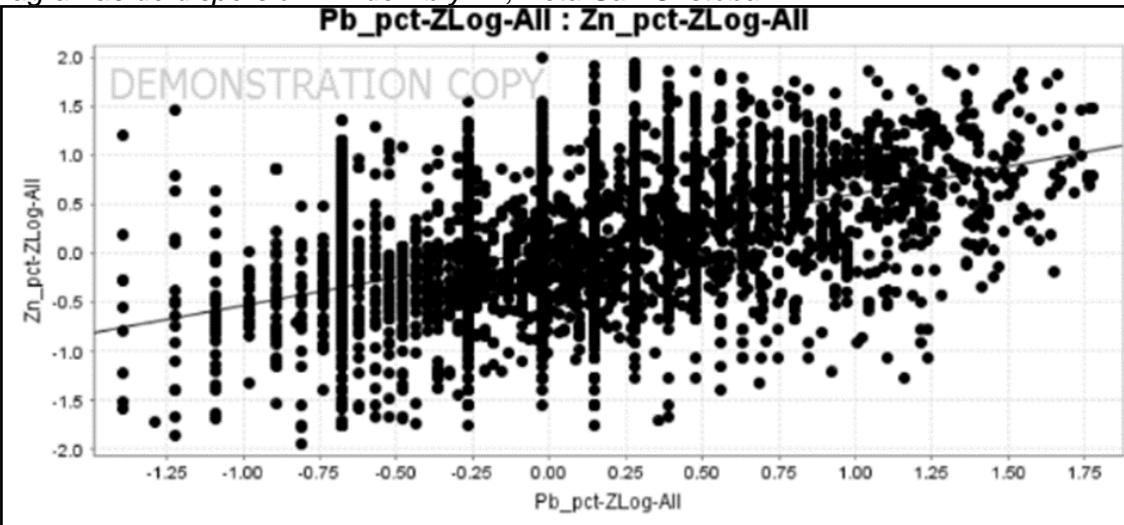


Nota: Línea de tendencia: $y = 0.33x + 0.06 / r^2 = 0.06 / r = 0.19$

Se observa que la relación entre el Pb y el Cu es mala, con un coeficiente de correlación de 0.19, lo que indica una correlación de calidad baja en la regresión lineal.

Figura 41

Diagramas de dispersión XY de Pb y Zn, Veta San Cristóbal

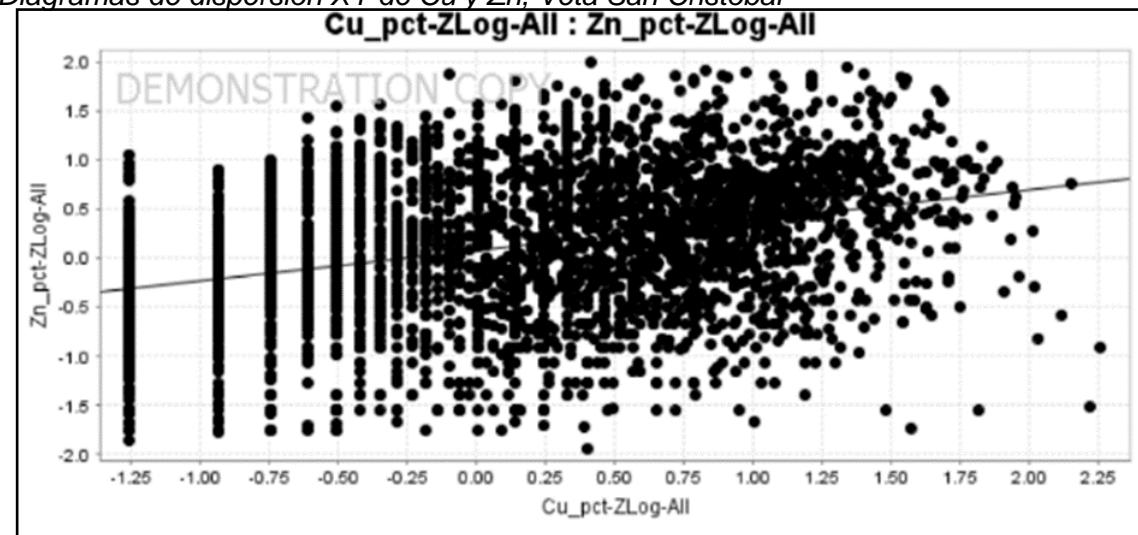


Nota: Línea de tendencia: $y = 0.56x + 0.04 / r^2 = 0.22 / r = 0.51$

Se observa que la relación entre el Pb y el Zn es buena, con un coeficiente de correlación de 0.51, lo que indica una correlación de calidad buena en la regresión lineal.

Figura 42

Diagramas de dispersión XY de Cu y Zn, Veta San Cristóbal



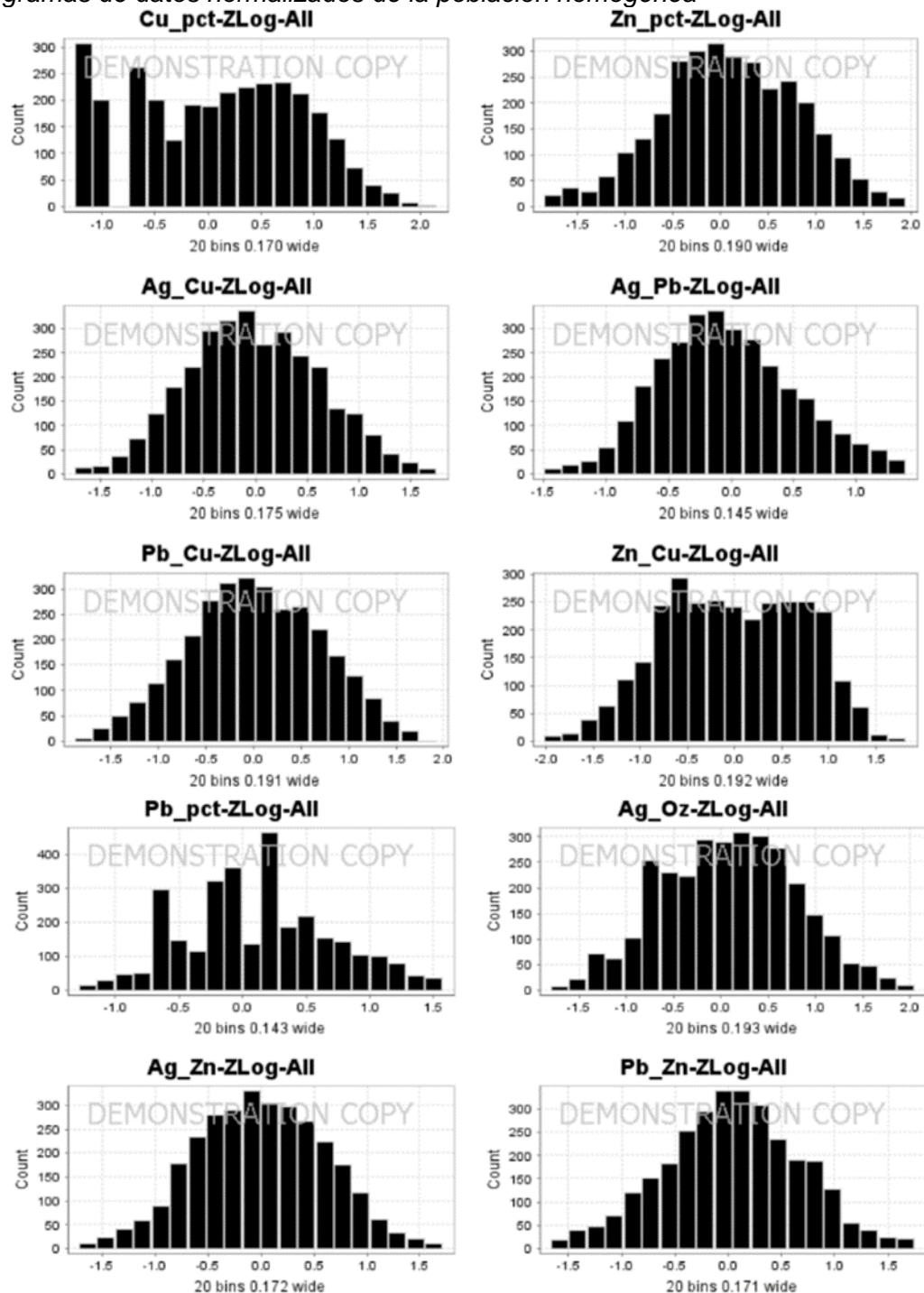
Nota: Línea de tendencia: $y = 0.31x + 0.08 / r^2 = 0.12 / r = 0.27$

Se observa que la relación entre el Cu y el Zn es regular, con un coeficiente de correlación de 0.27, lo que indica una correlación de calidad regular en la regresión lineal.

A continuación, en la figura 43 se muestran los histogramas de datos normalizados de la población homogénea.

Figura 43

Histogramas de datos normalizados de la población homogénea



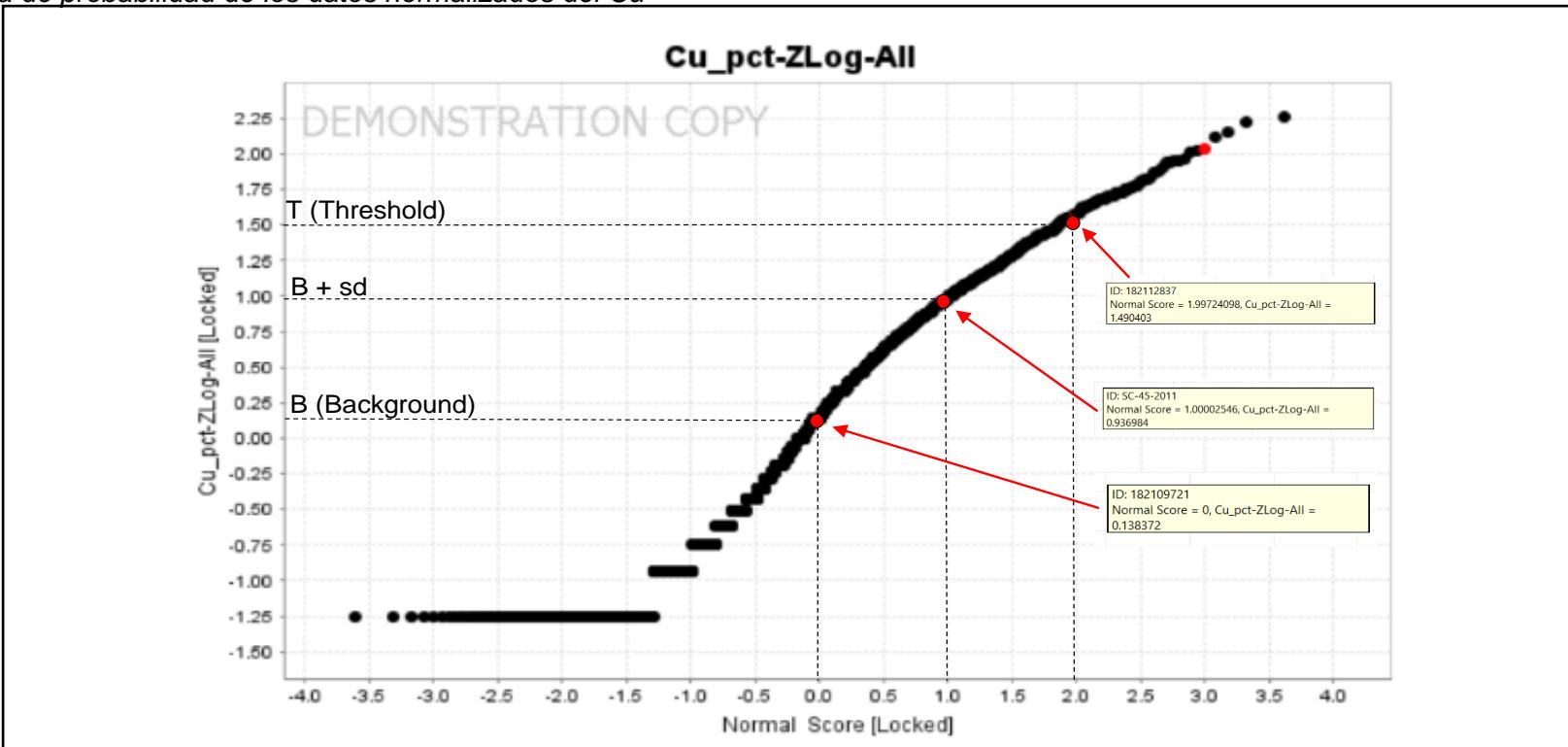
Fuente: Elaboración propia

Ahora que tenemos los datos normalizados y verificando con los histogramas que los datos se encuentran normalizados, usaremos los diagramas de probabilidad (de la figura 44 a la figura 53) para comprobar una vez más la normalidad de los datos y para definir los rangos geoquímicos, usando el método convencional del tratamiento estadísticos de datos geoquímicos.

Para el Cu, Pb, Zn, Ag y los cocientes metálicos Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu, Zn/Cu:

Figura 44

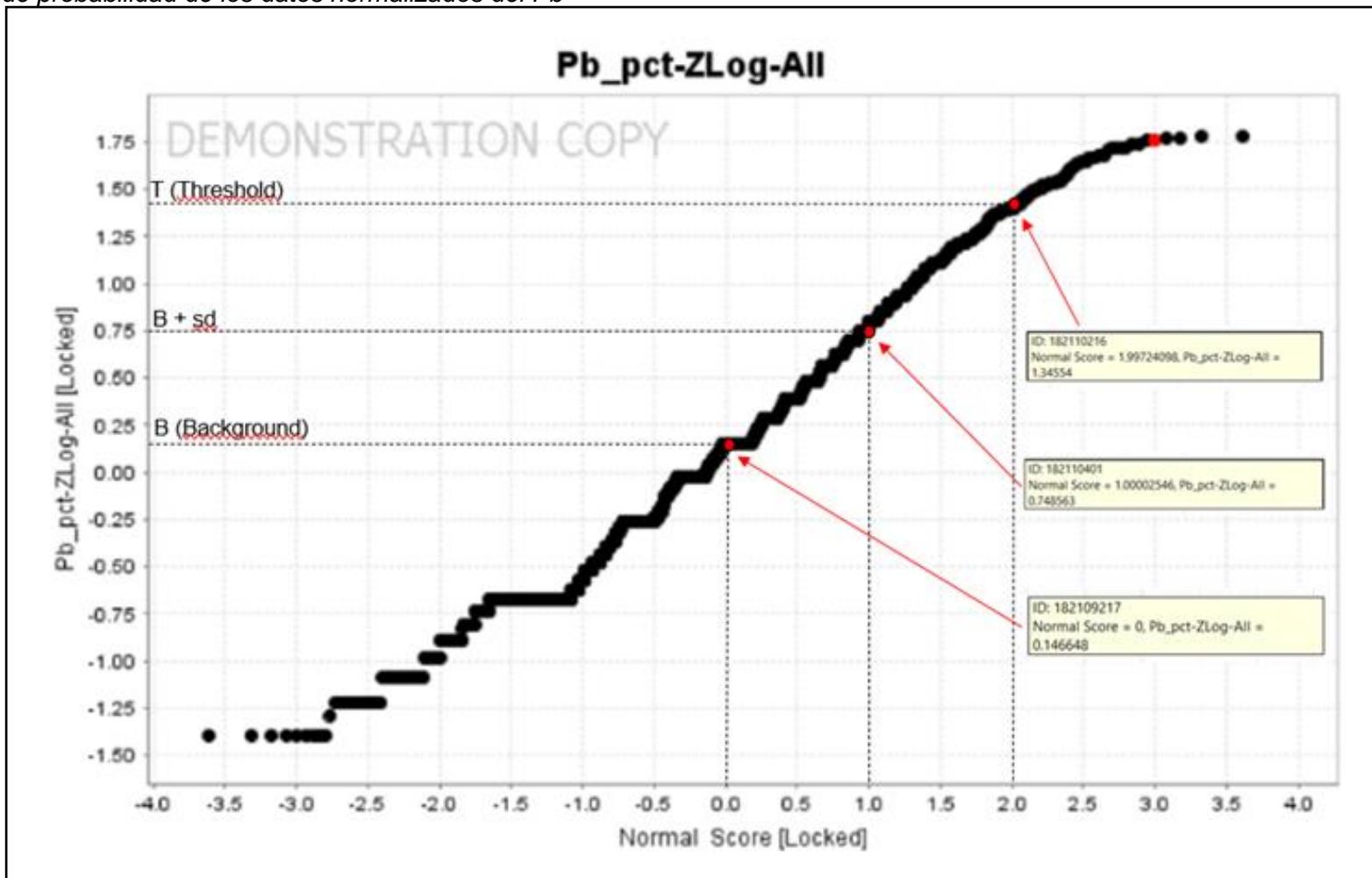
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Cu



Fuente: Elaboración propia

Figura 45

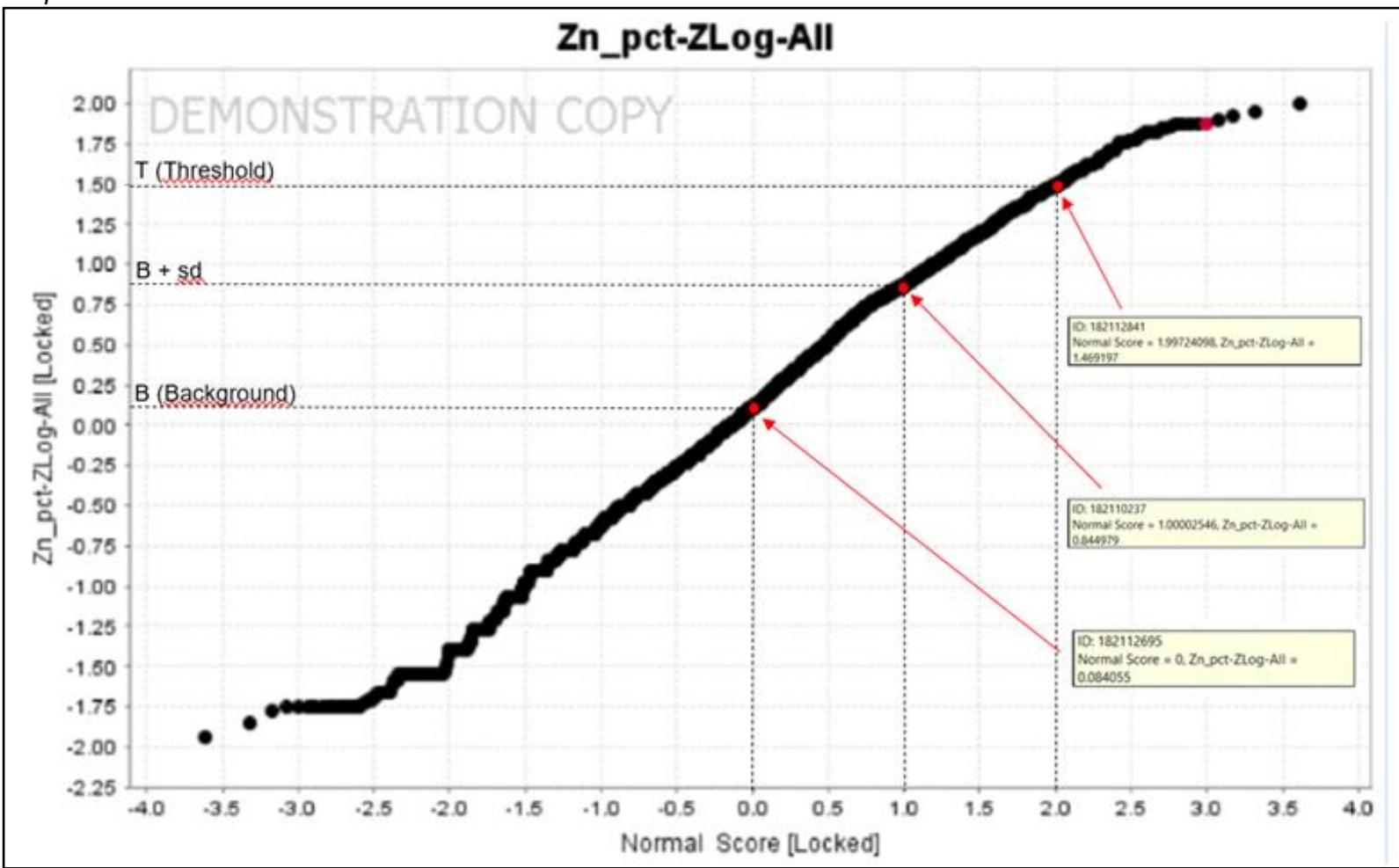
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Pb



Fuente: Elaboración propia

Figura 46

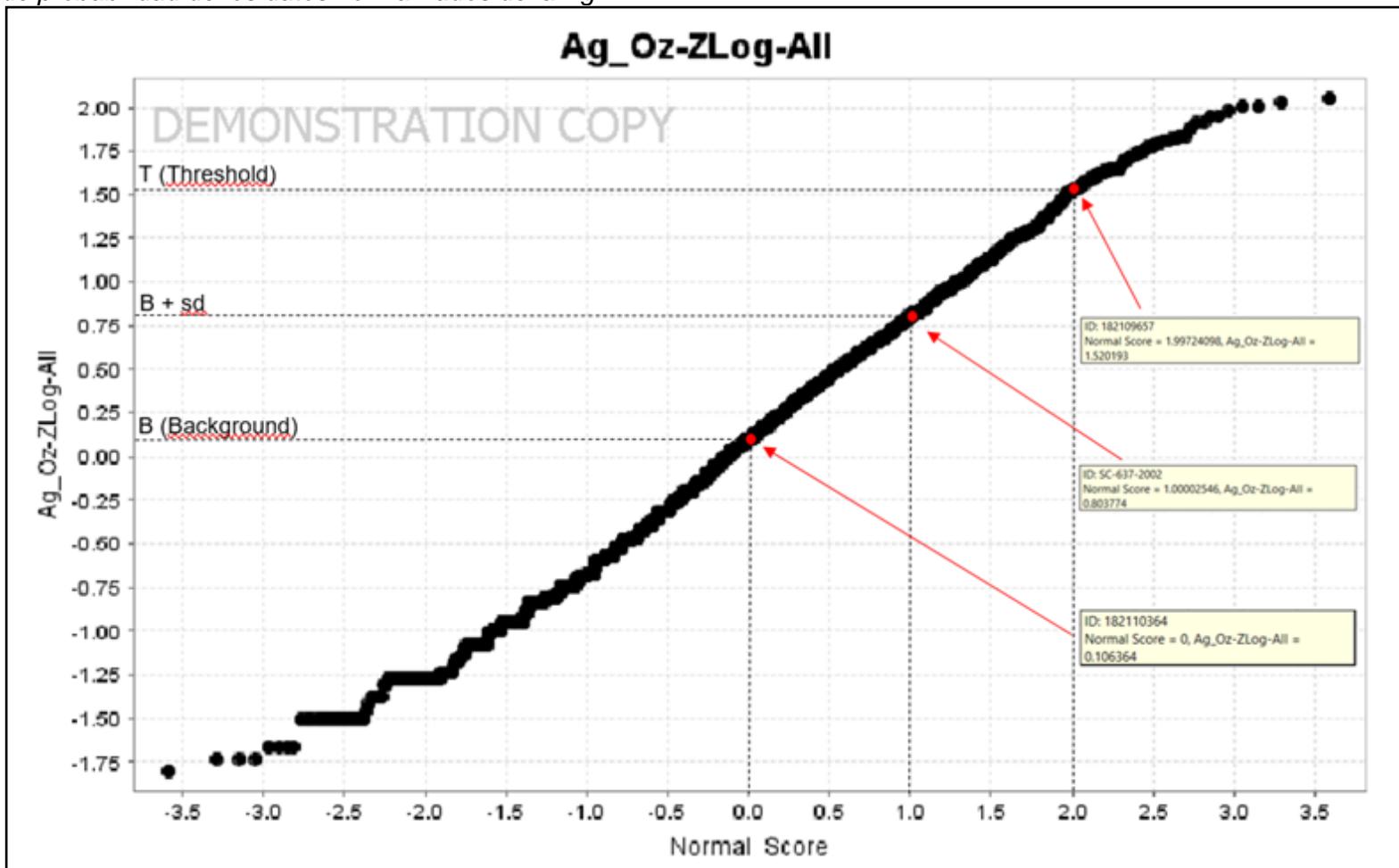
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Zn



Fuente: Elaboración propia

Figura 47

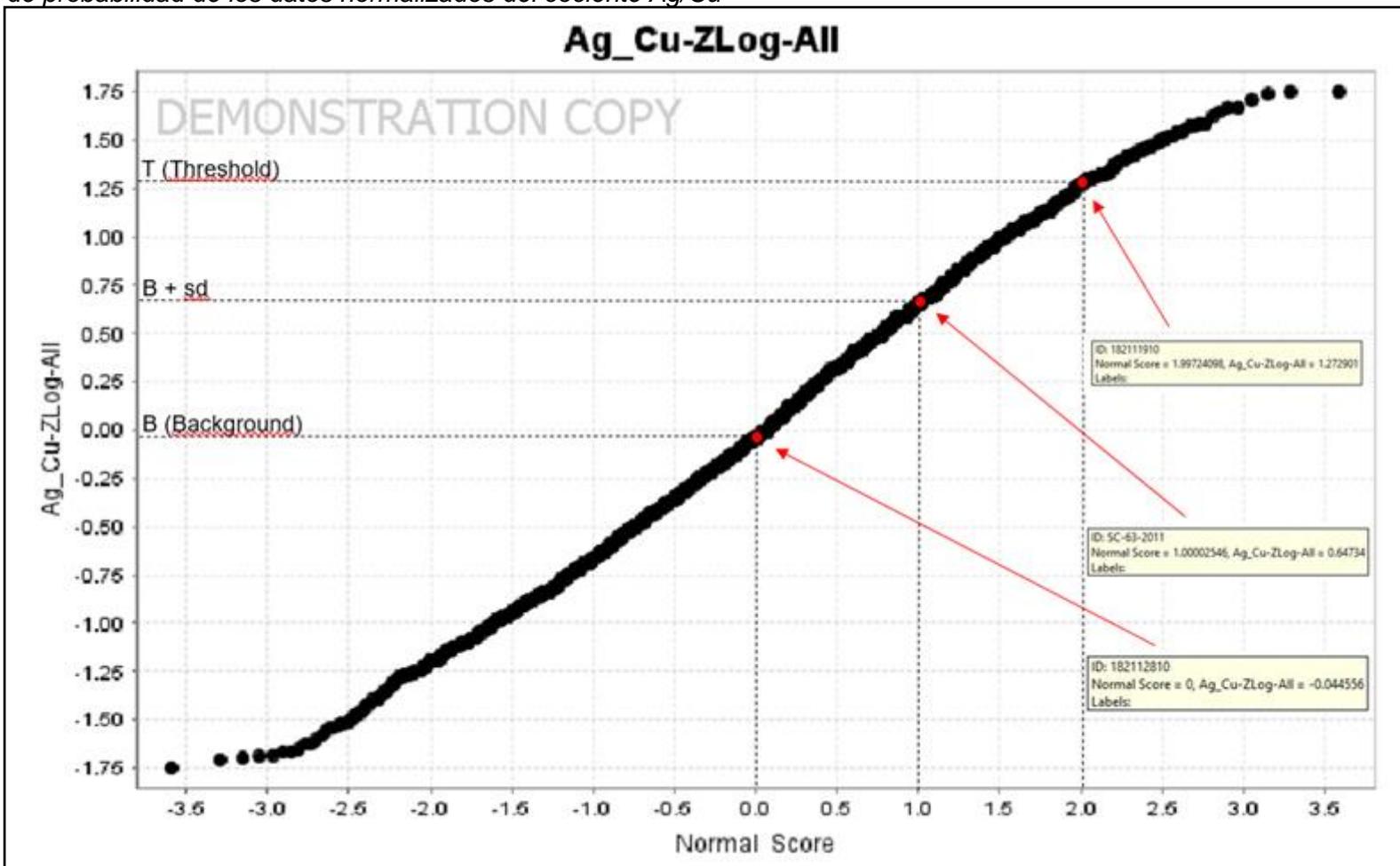
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados de la Ag



Fuente: Elaboración propia

Figura 48

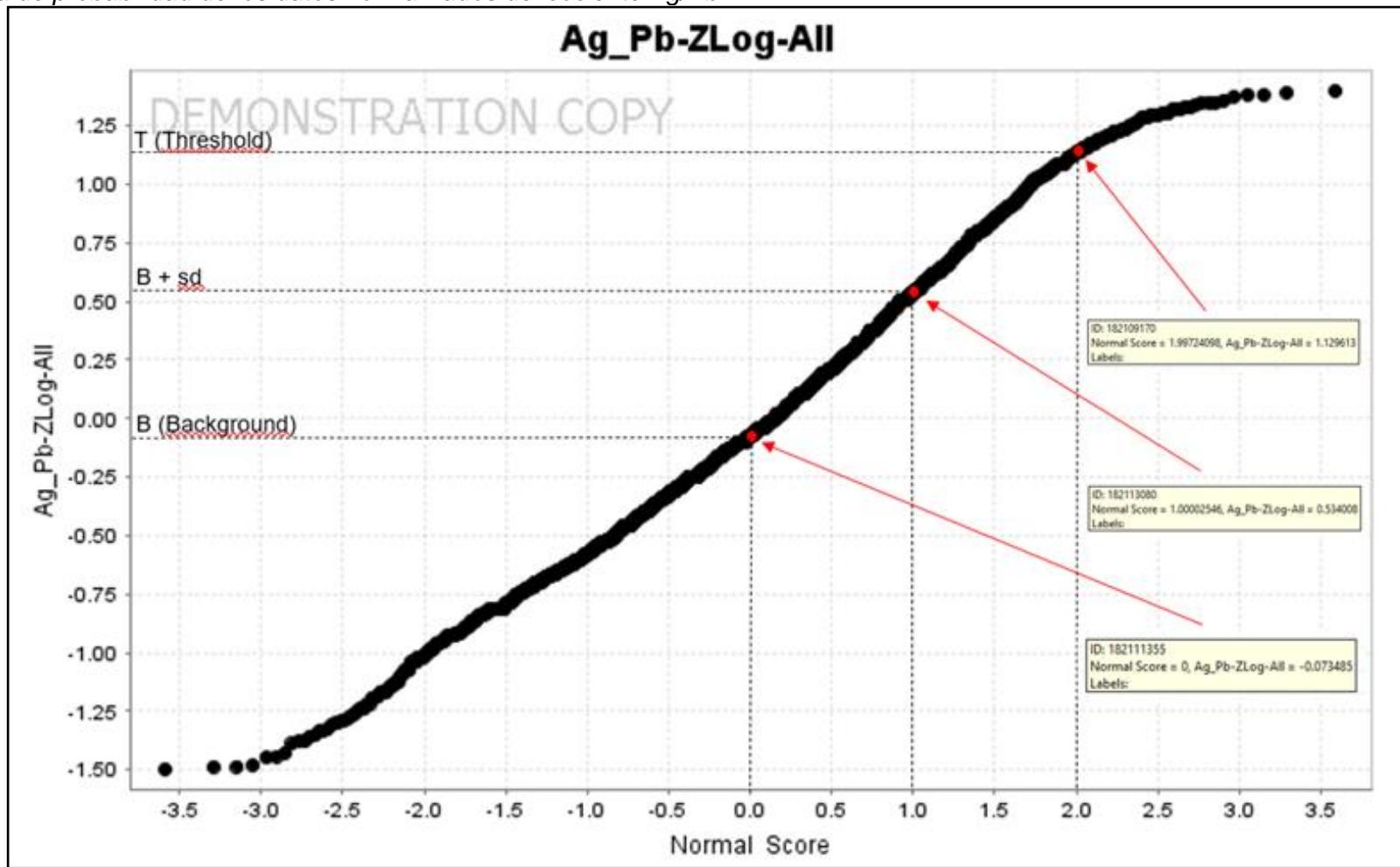
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Cu



Fuente: Elaboración propia

Figura 49

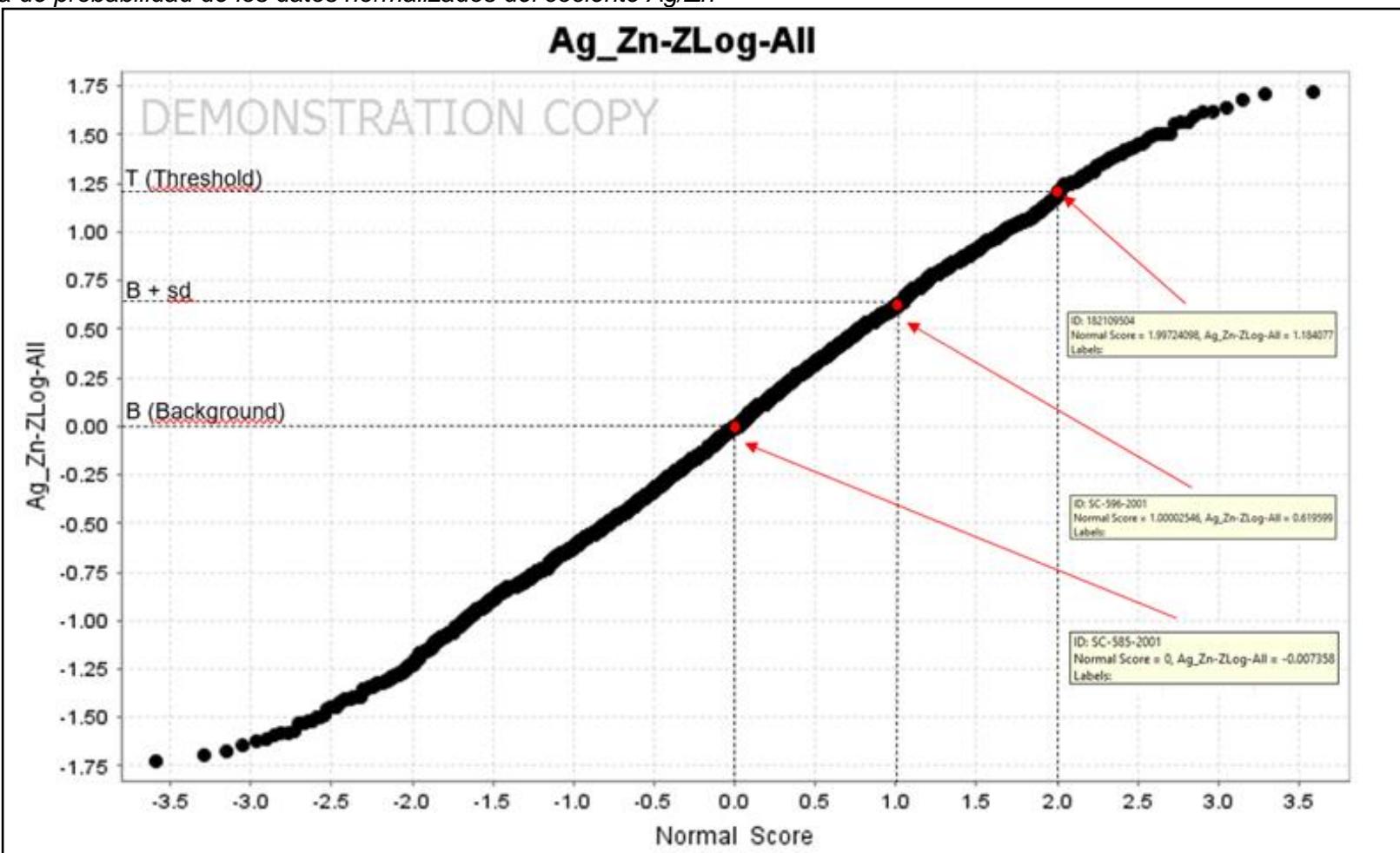
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Pb



Fuente: Elaboración propia

Figura 50

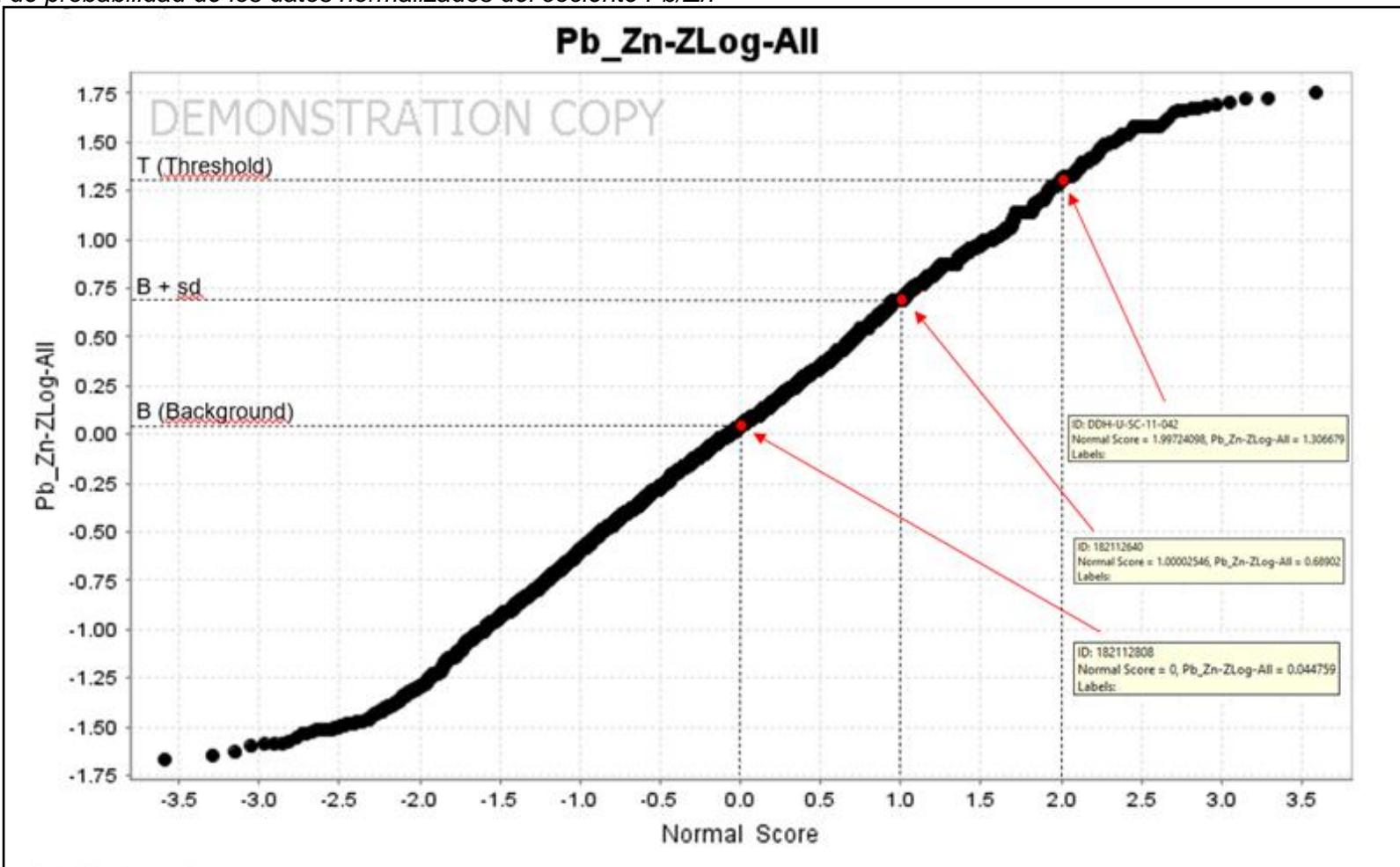
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Zn



Fuente: Elaboración propia

Figura 51

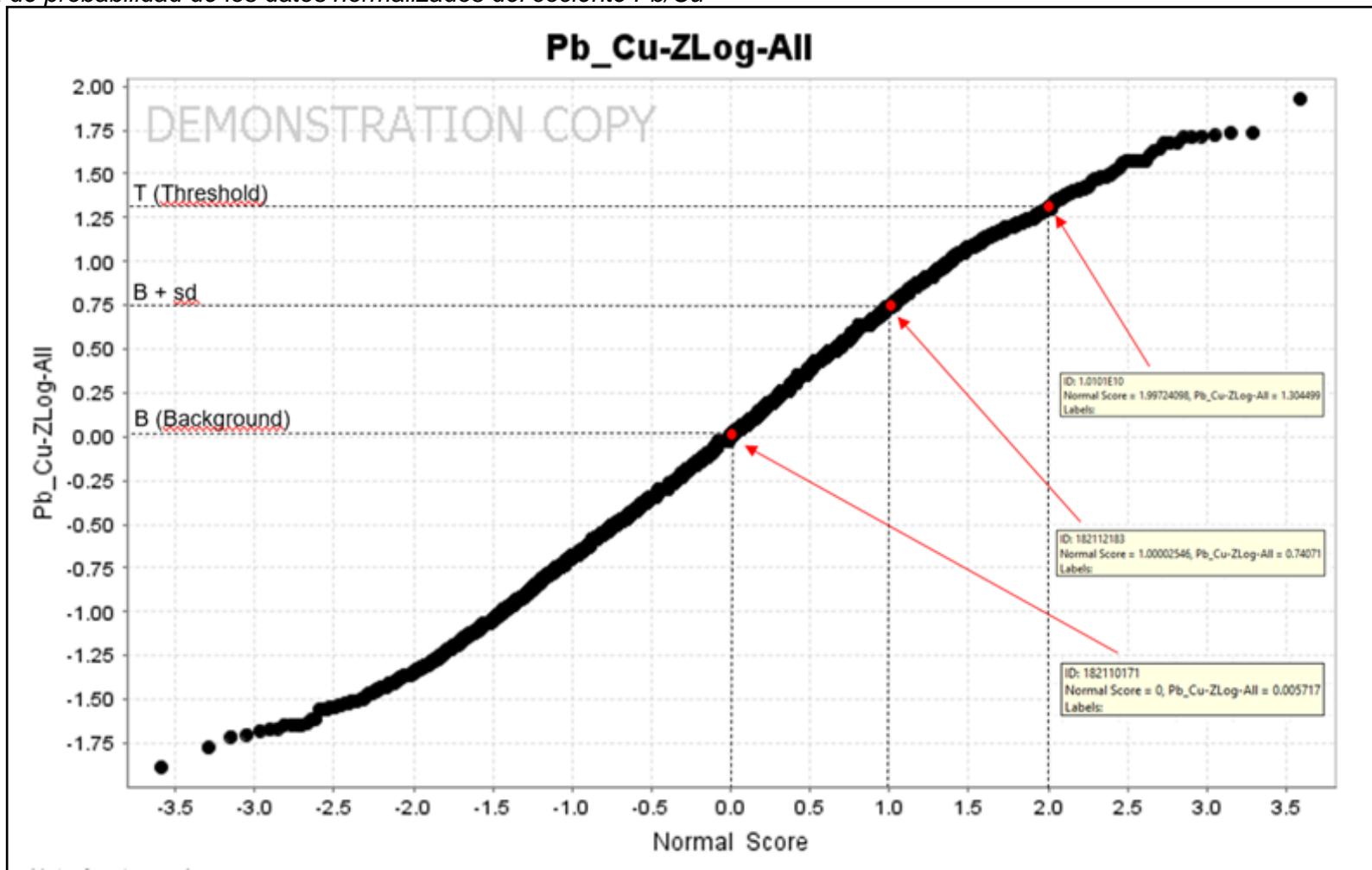
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Zn



Fuente: Elaboración propia

Figura 52

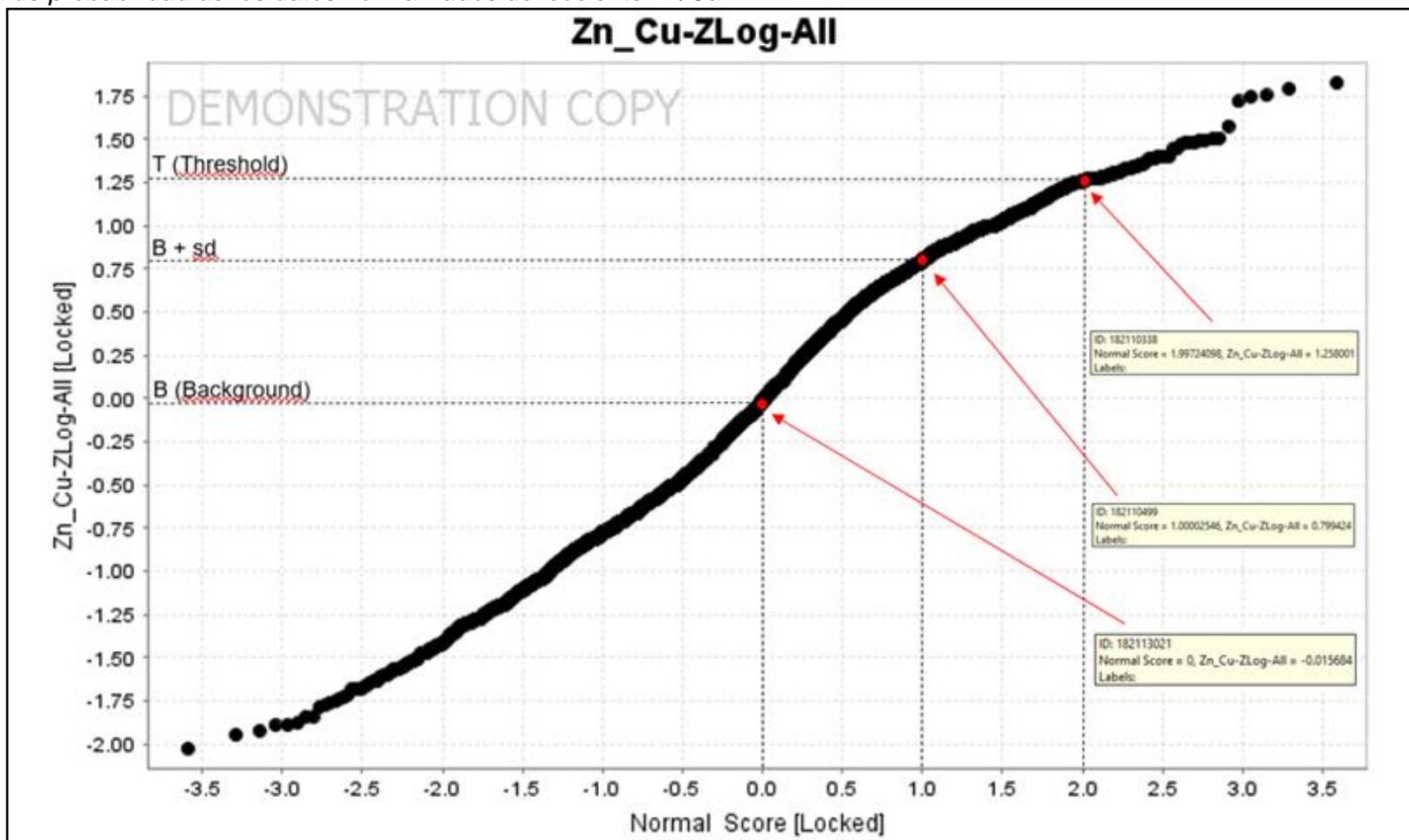
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Cu



Fuente: Elaboración propia

Figura 53

Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Zn/Cu



Fuente: Elaboración propia

Según los diagramas de probabilidad de los datos normalizados de los elementos en estudio y los cocientes metálicos, se han calculado los valores de “background” y “threshold” según el método convencional de tratamiento de datos geoquímicos. Estos datos calculados se encuentran transformados según el método “ZLog” para poder normalizar los datos. Por lo tanto, para calcular el valor real del background y threshold, debemos regresar a la tabla inicial calculada cuando los datos no estaban normalizados y verificar que valor corresponde al valor normalizado calculado. Para ello, presentamos una tabla resumen de datos sin normalizar y normalizados cuando el normal score es 0, 1 y 2, para el cálculo del background y threshold para el Cu, Pb, Zn, Ag y los cocientes metálicos Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu y Zn/Cu (los datos completos se encuentran en los anexos). El cálculo del background y threshold servirán para determinar los rangos geoquímicos de isovalores y cocientes metálicos.

Tabla 4

Presentación de resultados del Background y Threshold para todos los elementos. Veta San Cristóbal

Cu_pct-ZLog-All	Cu_pct	Normal Score	Pb_pct-ZLog-All	Pb_pct	Normal Score
0.138372	0.20	0	0.146648	0.40	0
0.936984	1.11	1	0.748563	1.10	1
1.490403	3.64	2	1.34554	3.00	2
Zn_pct-ZLog-All	Zn_pct	Normal Score	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Oz	Normal Score
0.084055	4.10	0	0.106364	1.80	0
0.844979	12.10	1	0.803774	5.62	1
1.469197	29.40	2	1.520193	18.10	2
Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Cu	Normal Score	Ag_Pb-ZLog-All	Ag_Pb	Normal Score
-0.044556	9.33	0	-0.073485	4.19	0
0.64734	36.00	1	0.534008	13.66	1
1.272901	122.01	2	1.129613	43.50	2
Ag_Zn-ZLog-All	Ag_Zn	Normal Score	Pb_Zn-ZLog-All	Pb_Zn	Normal Score
-0.007358	0.41	0	0.044759	0.09	0
0.619599	1.15	1	0.68902	0.25	1
1.184077	2.92	2	1.306679	0.65	2
Pb_Cu-ZLog-All	Pb_Cu	Normal Score	Zn_Cu-ZLog-All	Zn_Cu	Normal Score
0.005717	2.13	0	-0.015684	23.63	0
0.74071	13.00	1	0.799424	146.00	1
1.304499	52.00	2	1.258001	406.66	2

Fuente: Elaboración propia

Teniendo calculados los valores numéricos del background y threshold, se definen los rangos geoquímicos según el criterio convencional. Para ello, presentamos las tablas con los rangos geoquímicos calculados versus elegidos, las cuales, fueron seleccionados tomando números enteros para una adecuada visualización y comprensión de las secciones de isovalores y cocientes metálicos. Se presentan los rangos geoquímicos para el Cu, Pb, Zn, Ag y los cocientes metálicos Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu y Zn/Cu de la veta San Cristóbal.

Tabla 5

Presentación de los rangos geoquímicos para todos los elementos. Veta San Cristóbal

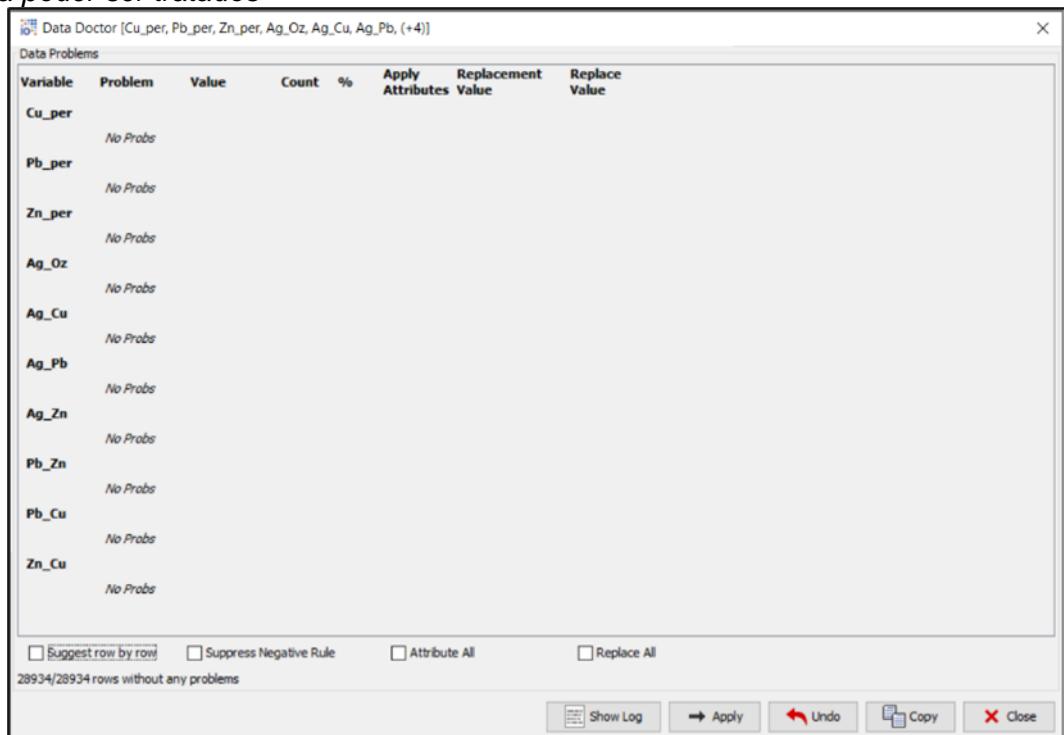
Elemento	Rangos	Calculado	Elegido	Elemento	Rangos	Calculado	Elegido
%Cu	Rango 1	0.00 - 0.20	0.00 - 0.20	%Pb	Rango 1	0.00 - 0.40	0.00 - 0.50
	Rango 2	0.20 - 1.11	0.20 - 1.00		Rango 2	0.40 - 1.10	0.50 - 1.00
	Rango 3	1.11 - 3.64	1.00 - 4.00		Rango 3	1.10 - 3.00	1.00 - 3.00
	Rango 4	> 3.64	> 4.00		Rango 4	> 3.00	> 3.00
Elemento	Rangos	Calculado	Elegido	Elemento	Rangos	Calculado	Elegido
%Zn	Rango 1	0.00 - 4.10	0.00 - 5.00	Oz Ag	Rango 1	0.00 - 1.80	0.00 - 2.00
	Rango 2	4.10 - 12.10	5.00 - 10.00		Rango 2	1.80 - 5.62	2.00 - 6.00
	Rango 3	12.10 - 29.40	10.00 - 30.00		Rango 3	5.62 - 18.10	6.00 - 20.00
	Rango 4	> 29.40	> 30.00		Rango 4	> 18.10	> 20.00
Cociente	Rangos	Calculado	Elegido	Cociente	Rangos	Calculado	Elegido
Ag/Cu	Rango 1	0.00 - 9.33	0.00 - 10.00	Ag/Pb	Rango 1	0.00 - 4.19	0.00 - 5.00
	Rango 2	9.33 - 36.00	10.00 - 35.00		Rango 2	4.19 - 13.66	5.00 - 15.00
	Rango 3	36.00 - 122.01	35.00 - 130.00		Rango 3	13.66 - 43.50	15.00 - 75.00
	Rango 4	> 122.01	> 130.00		Rango 4	> 43.50	> 75.00
Cociente	Rangos	Calculado	Elegido	Cociente	Rangos	Calculado	Elegido
Ag/Zn	Rango 1	0.00 - 0.41	0.00 - 0.50	Pb/Zn	Rango 1	0.00 - 0.09	0.00 - 0.10
	Rango 2	0.41 - 1.15	0.50 - 1.50		Rango 2	0.09 - 0.25	0.10 - 0.25
	Rango 3	1.15 - 2.92	1.50 - 4.50		Rango 3	0.25 - 0.65	0.25 - 0.75
	Rango 4	> 2.92	> 4.50		Rango 4	> 0.65	> 0.75
Cociente	Rangos	Calculado	Elegido	Cociente	Rangos	Calculado	Elegido
Pb/Cu	Rango 1	0.00 - 2.13	0.00 - 2.00	Zn/Cu	Rango 1	0.00 - 23.63	0.00 - 20.00
	Rango 2	2.13 - 13.00	2.00 - 10.00		Rango 2	23.63 - 146.00	20.00 - 150.00
	Rango 3	13.00 - 52.00	10.00 - 60.00		Rango 3	146.00 - 406.66	150.00 - 400.00
	Rango 4	> 52.00	> 60.00		Rango 4	> 406.66	> 400.00

3.4.2 Tratamiento estadístico de los datos de la veta Andaychagua

Para la veta Andaychagua se tienen las leyes de Zn, Pb, Ag y Cu de 28934 muestras, en el formato anteriormente mostrado (Tabla 3). Para ello, se procede a validar la data con el software ioGAS-64, tanto para los 4 elementos metálicos y para los cocientes metálicos. En la figura 54 se muestra la depuración de datos, donde se verifica que los datos de la veta Andaychagua no presentan ningún error y pueden ser tratados. La abreviatura “per” equivale a porcentaje y la abreviatura “oz” equivale a onzas.

Figura 54

Depuración de datos. La figura muestra que los datos a utilizar no presentan ningún error para poder ser tratados



Fuente: Elaboración propia

En la figura 55 podemos verificar que no existen datos vacíos.

Figura 55

Tabla de comprobación donde se observa que no existen datos vacíos.

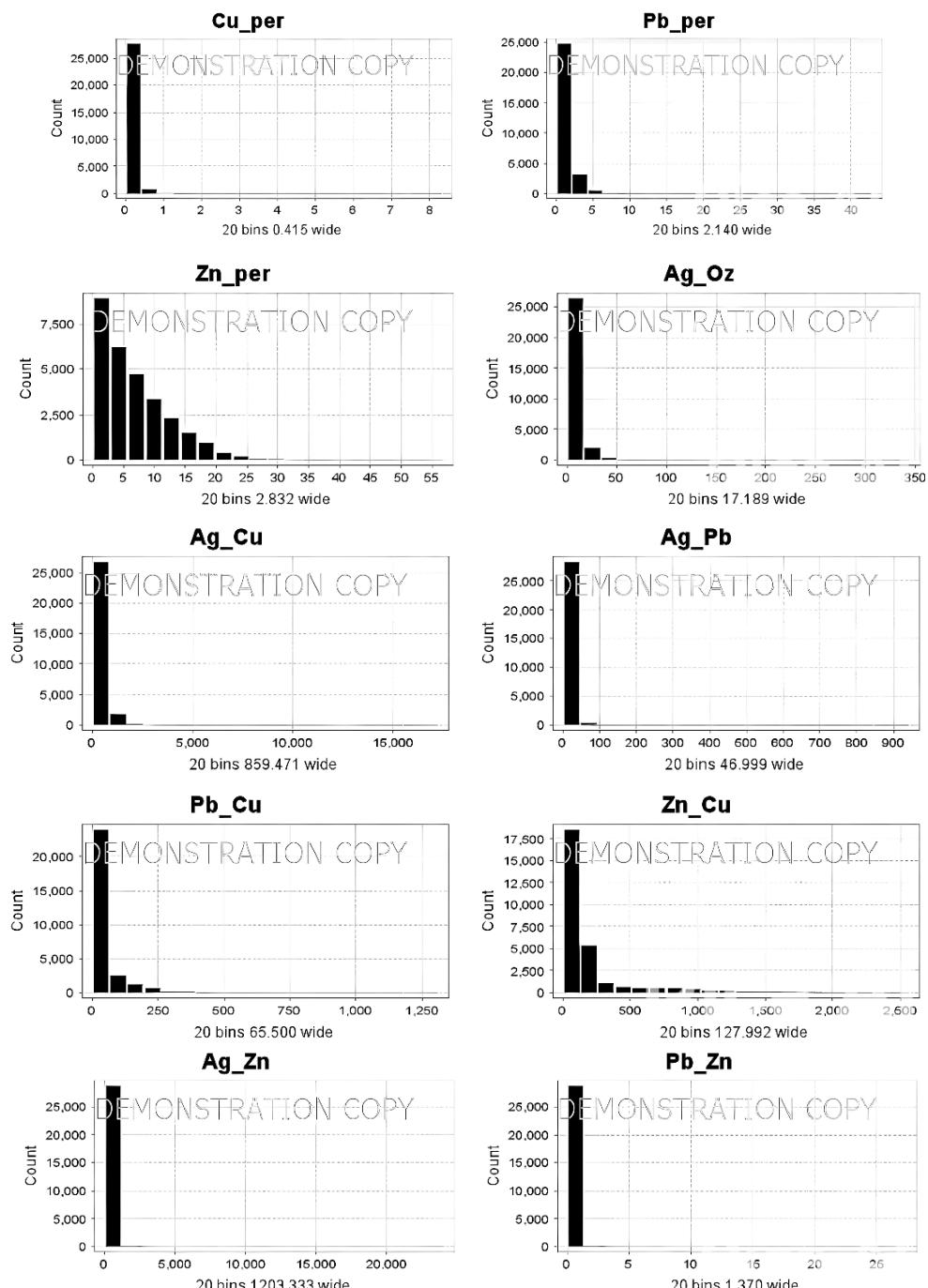
Missing Data Patterns [Cu_per, Pb_per, Zn_per, Ag_Oz, Ag_Cu, Ag_Pb, Ag_Zn, Pb_Zn, Pb_Cu, Zn_Cu]			
Missing	Present	# missing	# rows
(None)	Cu_per, Pb_per, Zn_per, Ag_Oz, Ag_Cu, Ag_Pb, Ag_Zn, Pb_Zn, Pb_Cu, Zn_Cu	0	28934

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura 56 y 57 se muestran los histogramas y box plots de todos los datos, sin normalizar, para verificar que al final sí es necesario realizar la normalización de los datos. Los cocientes metálicos utilizados son: Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu y Zn/Cu.

Figura 56

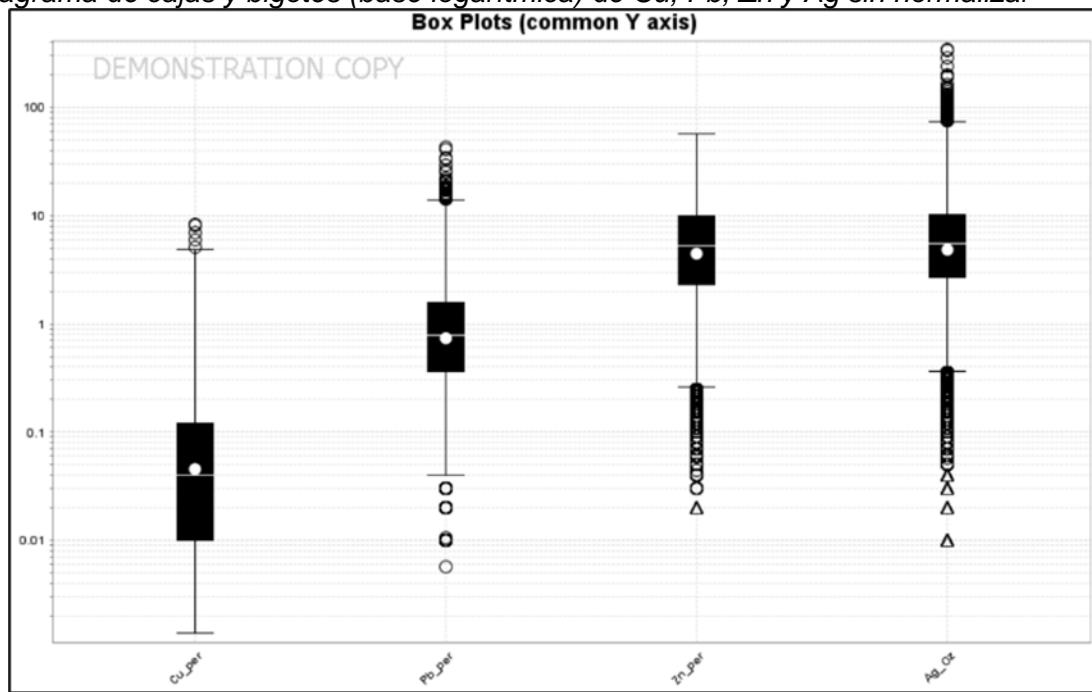
Histogramas de Zn, Pb, Cu, Ag y cocientes metálicos sin normalizar



Fuente: Elaboración propia

Figura 57

Diagrama de cajas y bigotes (base logarítmica) de Cu, Pb, Zn y Ag sin normalizar



Fuente: Elaboración propia

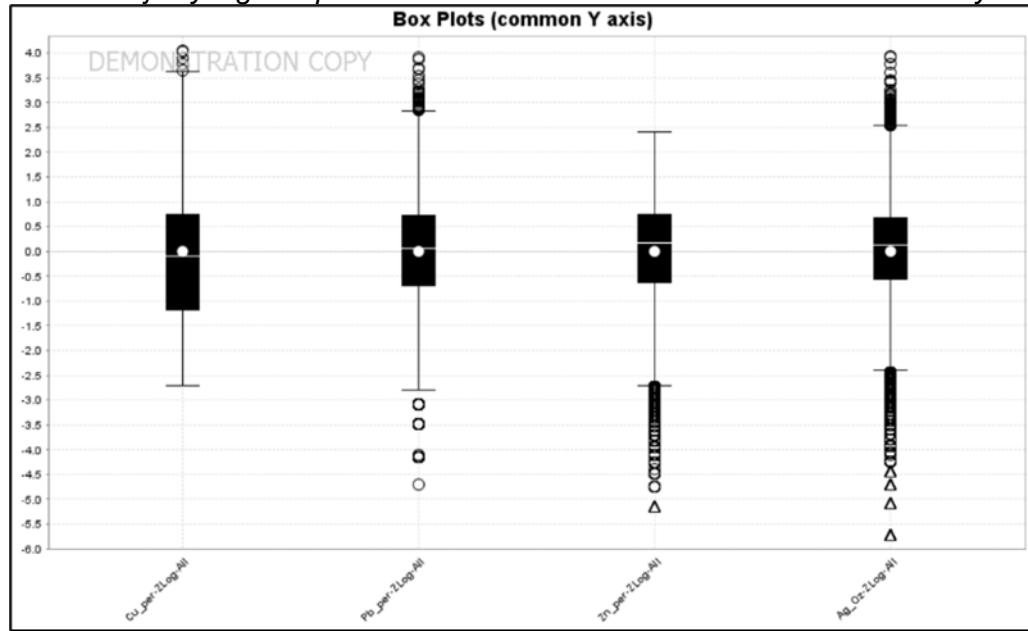
Se observa los resultados mostrados en la figura 52, se concluye que no se puede observar gráficamente poblaciones homogéneas. Por ello, es necesario realizar la normalización de los datos. Existen muchos métodos para normalizar datos, entre ellos tenemos el método de la media, mediana, logarítmico, Gauss, entre otros. Para este trabajo de investigación, usaremos el método logarítmico (Log10), debido que, al realizar una comparación de todos los métodos de normalización, se observa que para el método logarítmico los datos tienen una mejor distribución y normalización. El método logarítmico consiste en una fórmula que permite la estandarización de una población de datos. El resultado que arroja esta fórmula permite conocer cuánto de lejos está un dato concreto respecto de la media.

El método logarítmico es una técnica que sirve para normalizar los datos, lo que nos permite comparar conjuntos de datos distintos, bien porque esté en unidades diferentes, bien porque se trate de volúmenes muy dispares.

A continuación, en la figura 58 se muestra el diagrama de cajas y bigotes para la data normalizada y poder identificar la población homogénea de todos los datos:

Figura 58

Diagrama de cajas y bigotes para todos los datos normalizados de la veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

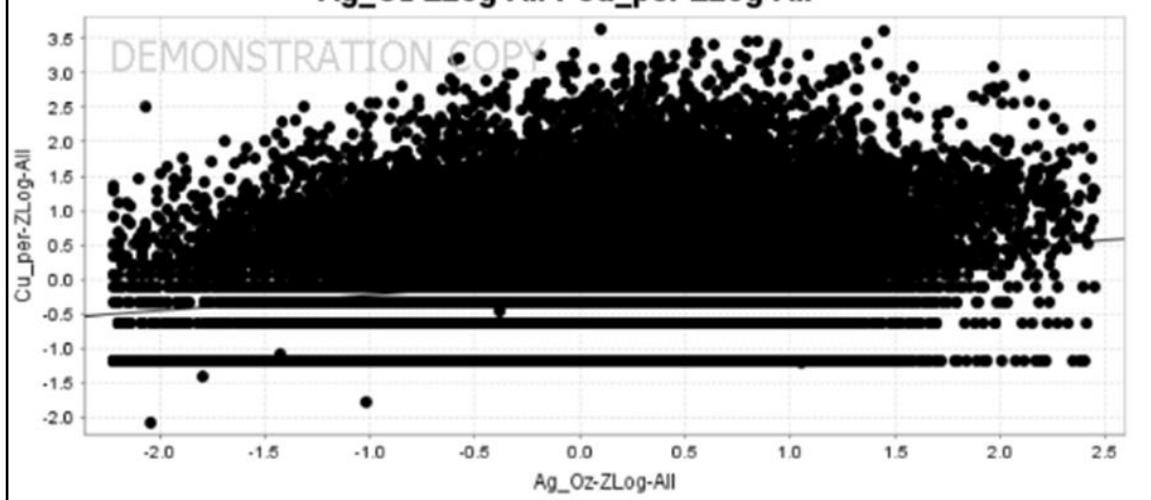
La población homogénea cuenta con 27779 datos, que representan el 96.00% del total. Las anomalías cuentan con 1155 datos, que son el 4.00% del total.

A continuación, en la figura 59 se muestran los diagramas de dispersión XY para los cuatro elementos:

Figura 59

Diagramas de dispersión XY de Ag y Cu, Veta Andaychagua

Ag_Oz-ZLog-All : Cu_per-ZLog-All

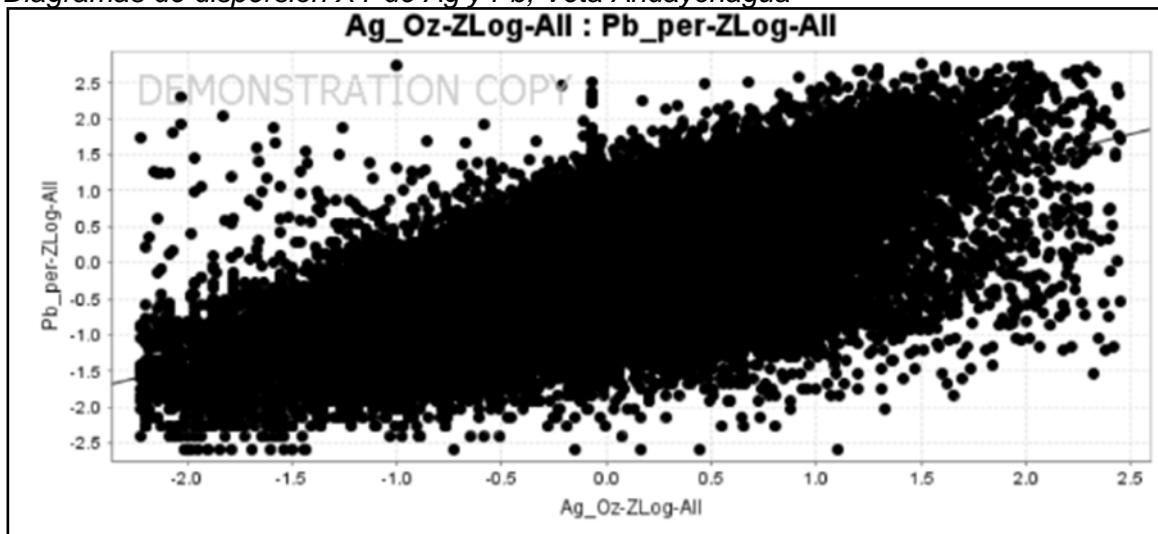


Nota: Líneas de tendencia: $y = 0.22x + 0.00 / r^2 = 0.03 / r = 0.19$

Se observa que la relación entre la Ag y el Cu es mala, con un coeficiente de correlación de 0.19, lo que indica una correlación de calidad baja en la regresión lineal.

Figura 60

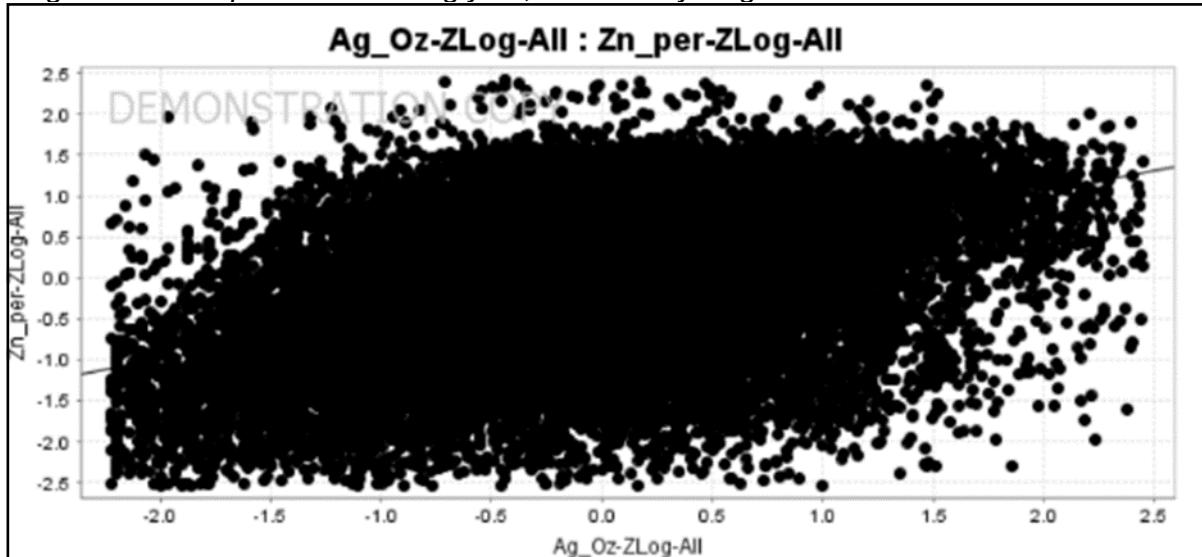
Diagramas de dispersión XY de Ag y Pb, Veta Andaychagua



Se observa que la relación entre la Ag y el Pb es buena, con un coeficiente de correlación de 0.67, lo que indica una correlación de calidad buena en la regresión lineal.

Figura 61

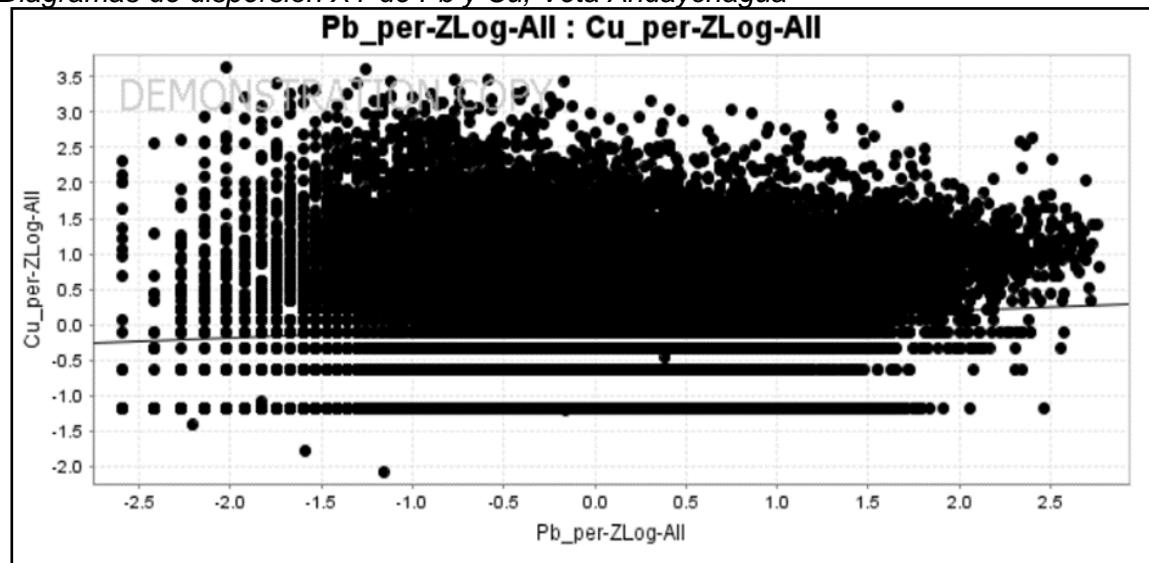
Diagramas de dispersión XY de Ag y Zn, Veta Andaychagua



Se observa que la relación entre la Ag y el Zn es buena, con un coeficiente de correlación de 0.48, lo que indica una correlación de calidad buena en la regresión lineal.

Figura 62

Diagramas de dispersión XY de Pb y Cu, Veta Andaychagua

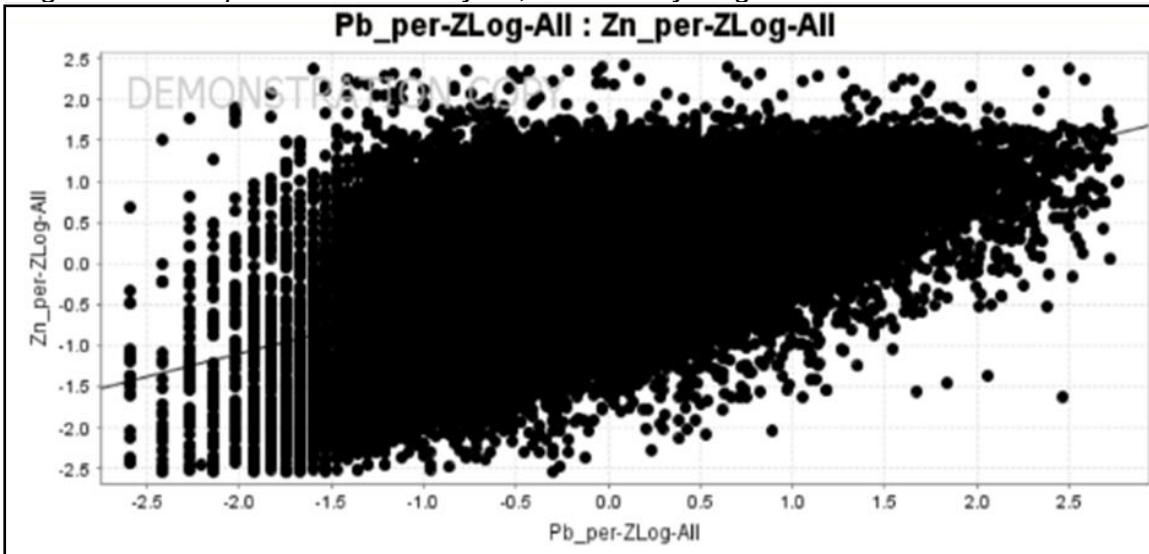


Nota: Líneas de tendencia: $y = 0.09x + 0.01 / r^2 = 0.00 / r = 0.08$

Se observa que la relación entre el Pb y el Cu es muy mala, con un coeficiente de correlación de 0.08, lo que indica una correlación de calidad muy baja en la regresión lineal.

Figura 63

Diagramas de dispersión XY de Pb y Zn, Veta Andaychagua

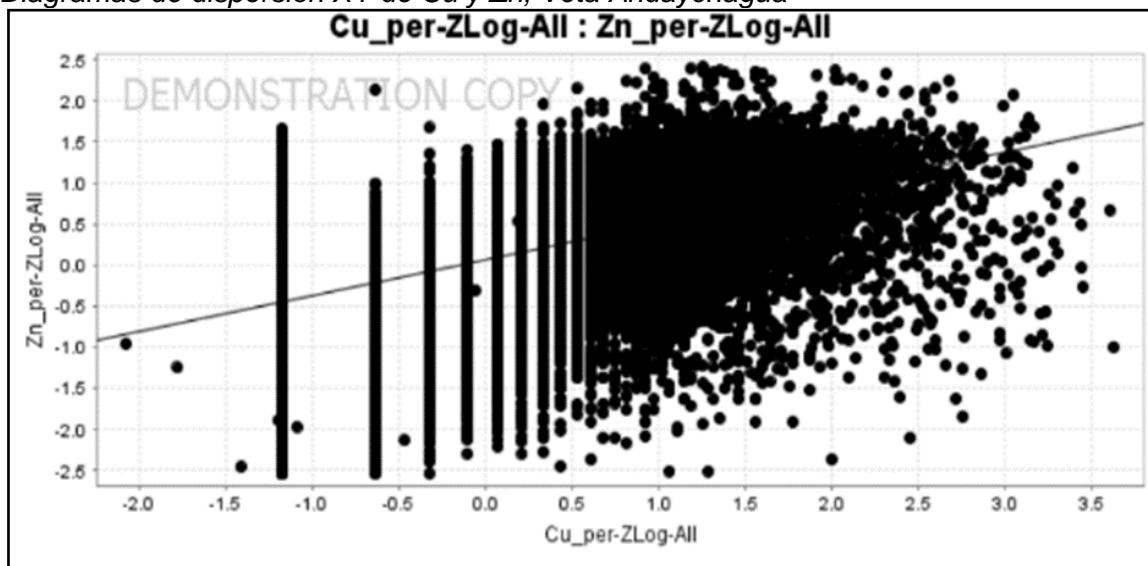


Nota: Líneas de tendencia: $y = 0.56x + 0.03 / r^2 = 0.32 / r = 0.57$

Se observa que la relación entre el Pb y el Cu es muy mala, con un coeficiente de correlación de 0.08, lo que indica una correlación de calidad muy baja en la regresión lineal.

Figura 64

Diagramas de dispersión XY de Cu y Zn, Veta Andaychagua



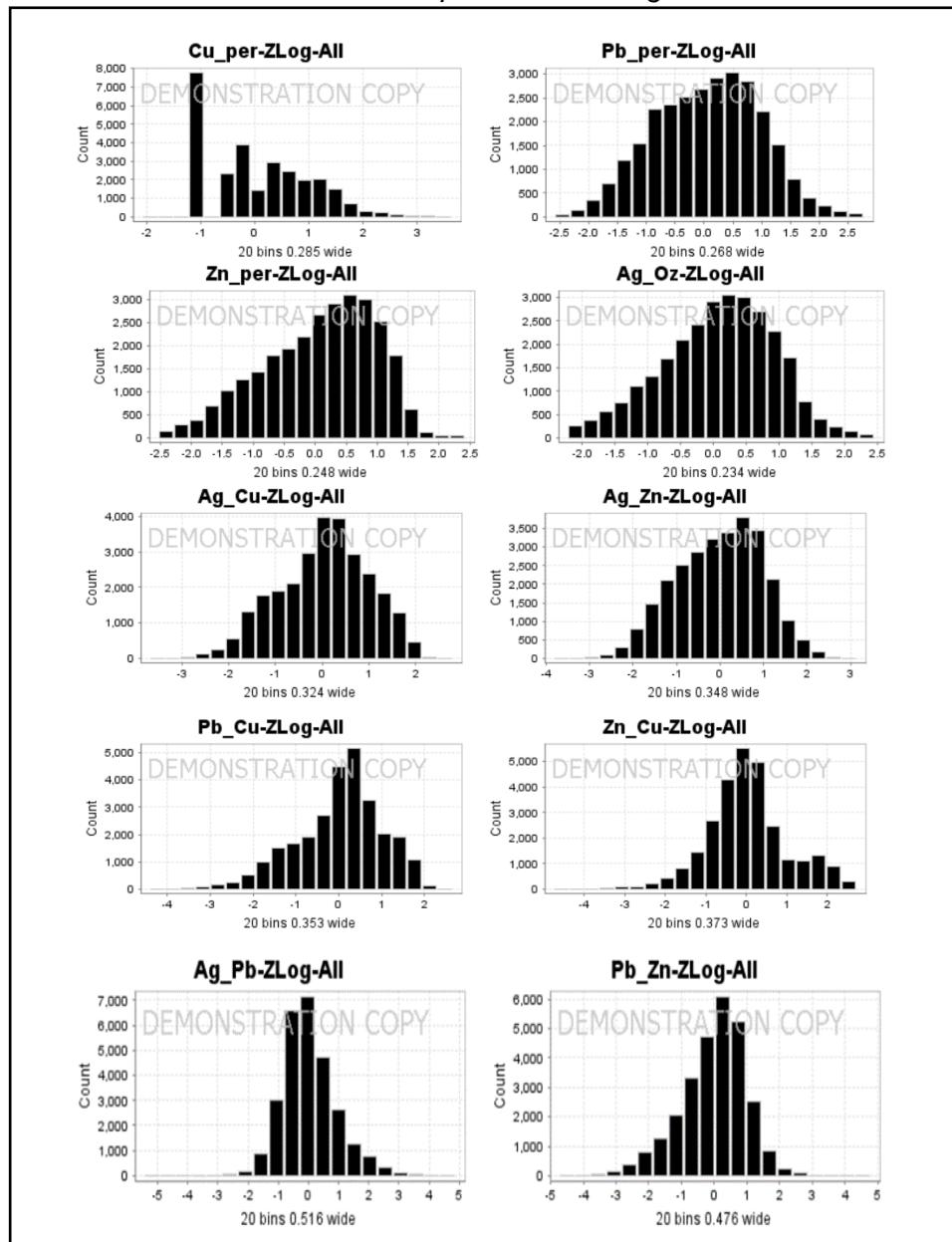
Nota: Líneas de tendencia: $y = 0.43x + 0.06$ / $r^2 = 0.23$ / $r = 0.48$

Se observa que la relación entre el Cu y el Zn es buena, con un coeficiente de correlación de 0.48, lo que indica una correlación de calidad buena en la regresión lineal.

A continuación, en la figura 65 se muestran los histogramas de datos normalizados de la población homogénea.

Figura 65

Histogramas de datos normalizados de la población homogénea



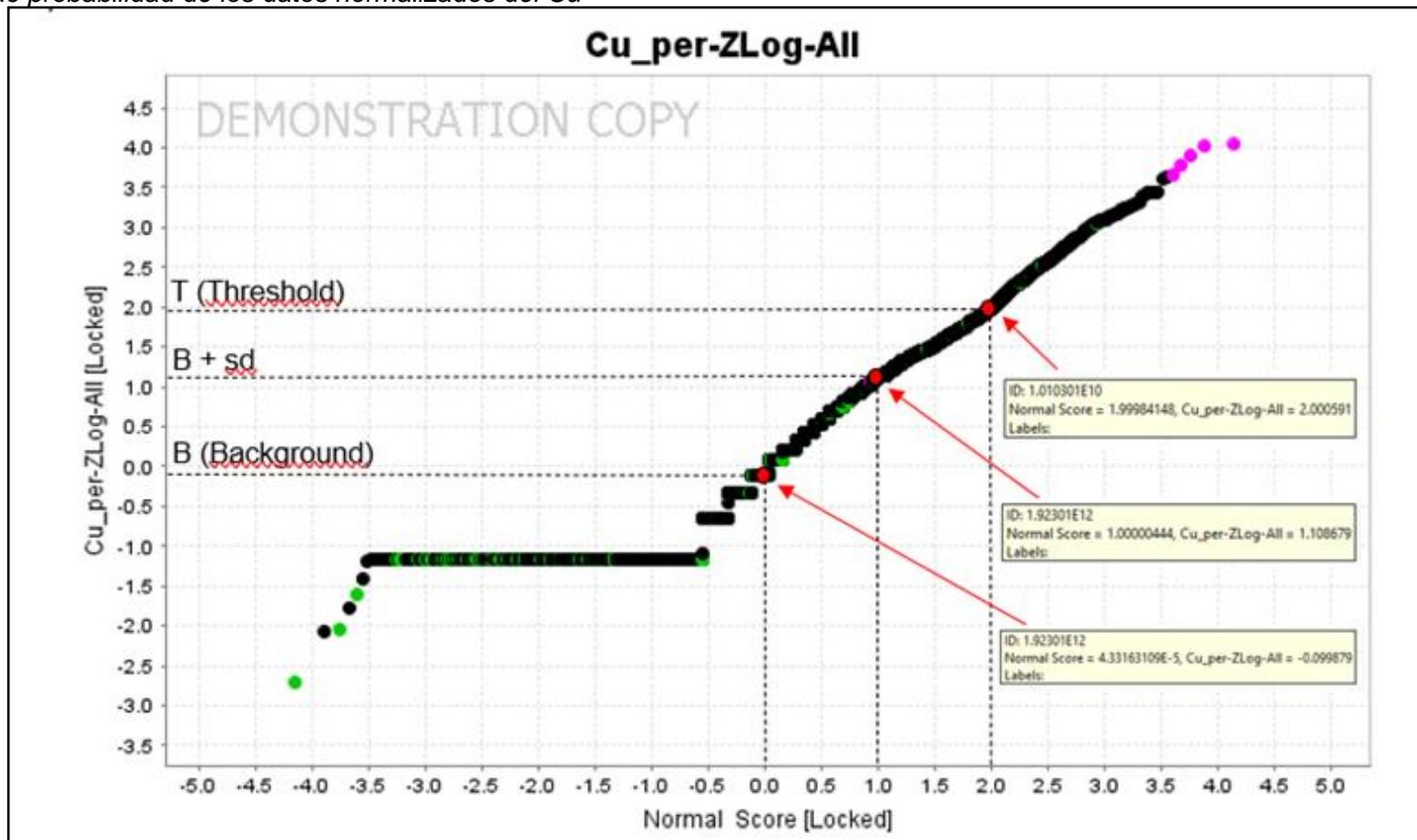
Fuente: Elaboración propia

Ahora que tenemos los datos normalizados y verificando con los histogramas que los datos se encuentran normalizados, usaremos los diagramas de probabilidad (de la figura 56 a la figura 65) para comprobar una vez más la normalidad de los datos y para definir los rangos geoquímicos, usando el método convencional del tratamiento estadísticos de datos geoquímicos.

Para el Cu, Pb, Zn, Ag y los cocientes metálicos Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu, Zn/Cu:

Figura 66

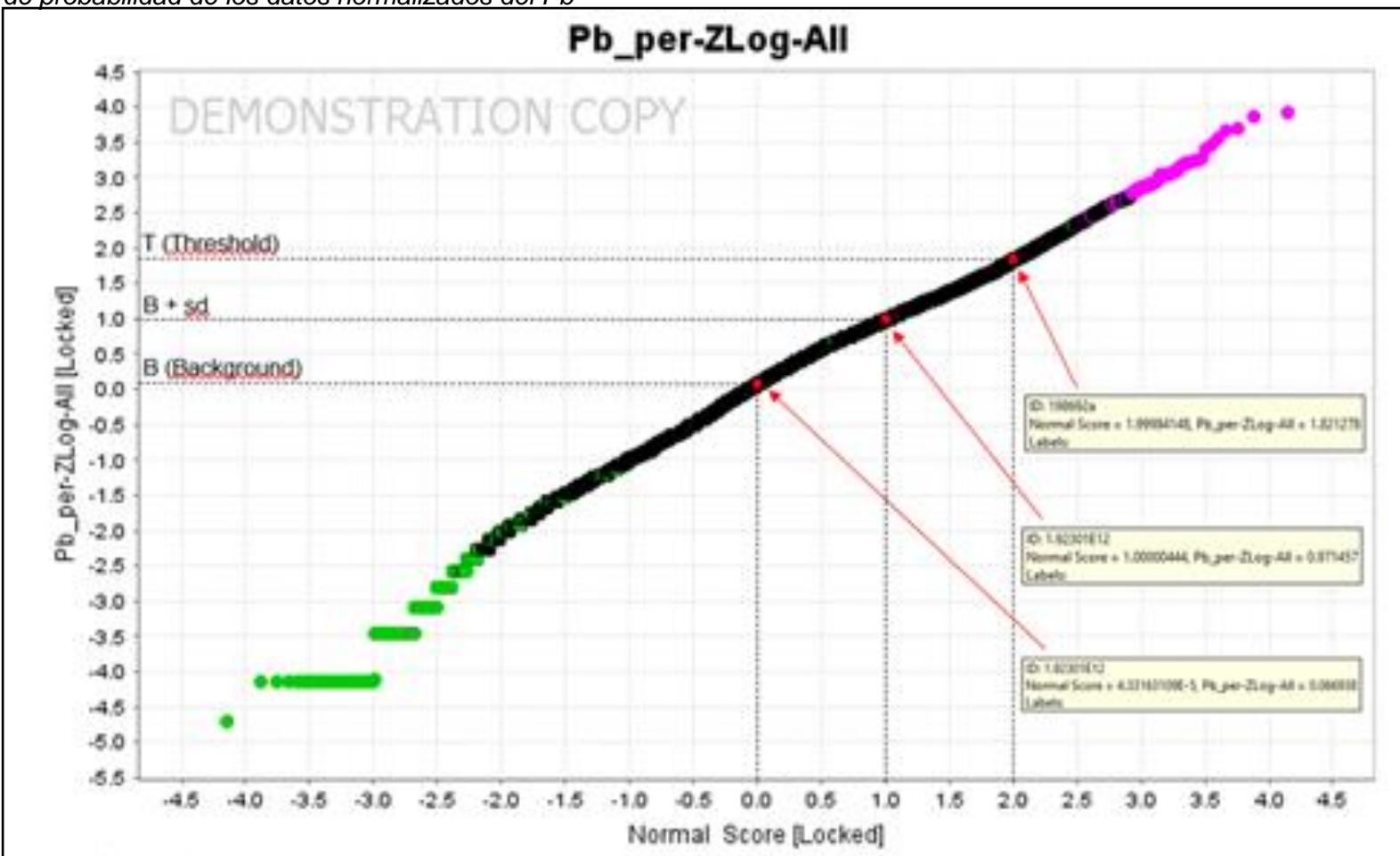
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Cu



Fuente: Elaboración propia

Figura 67

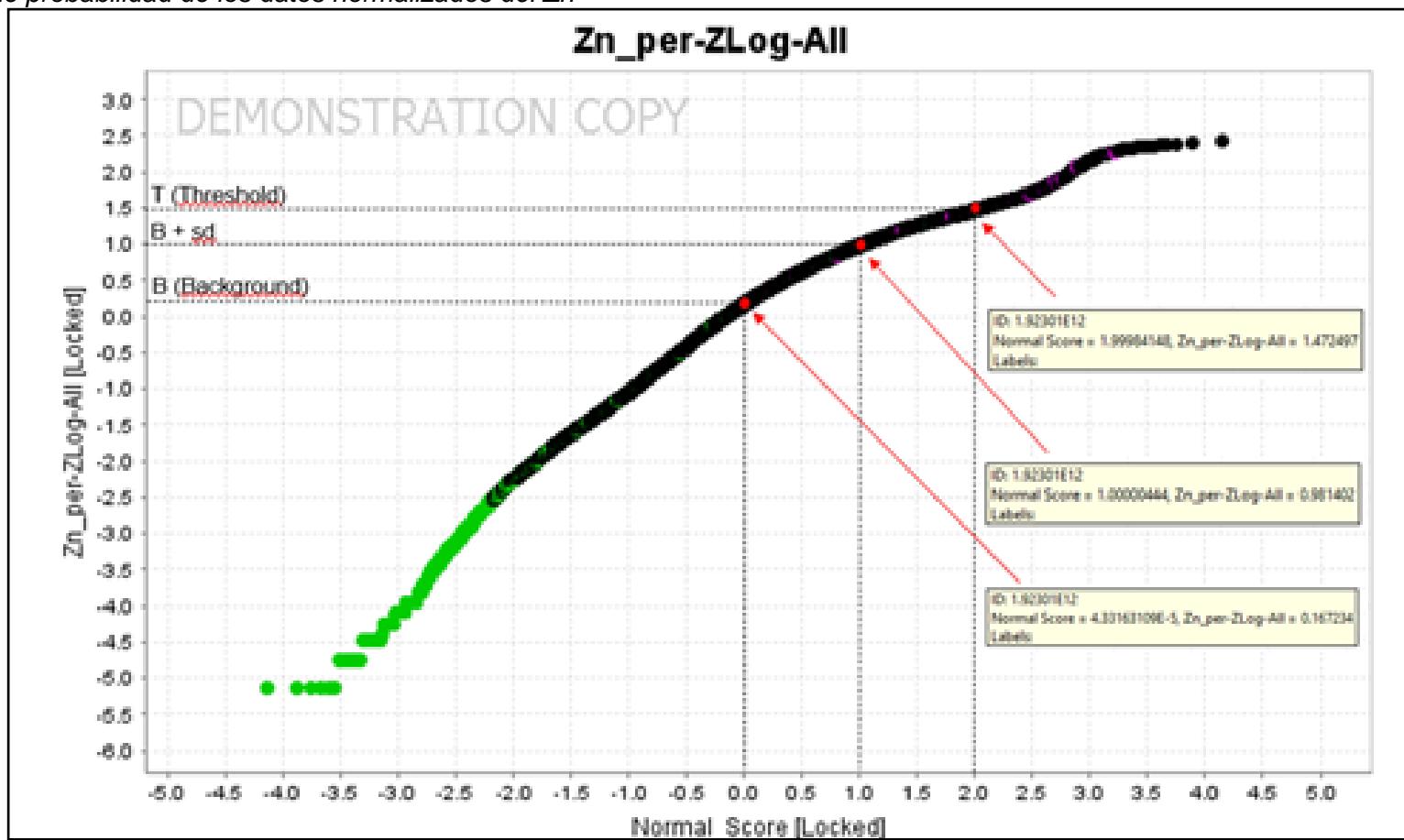
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Pb



Fuente: Elaboración propia

Figura 68

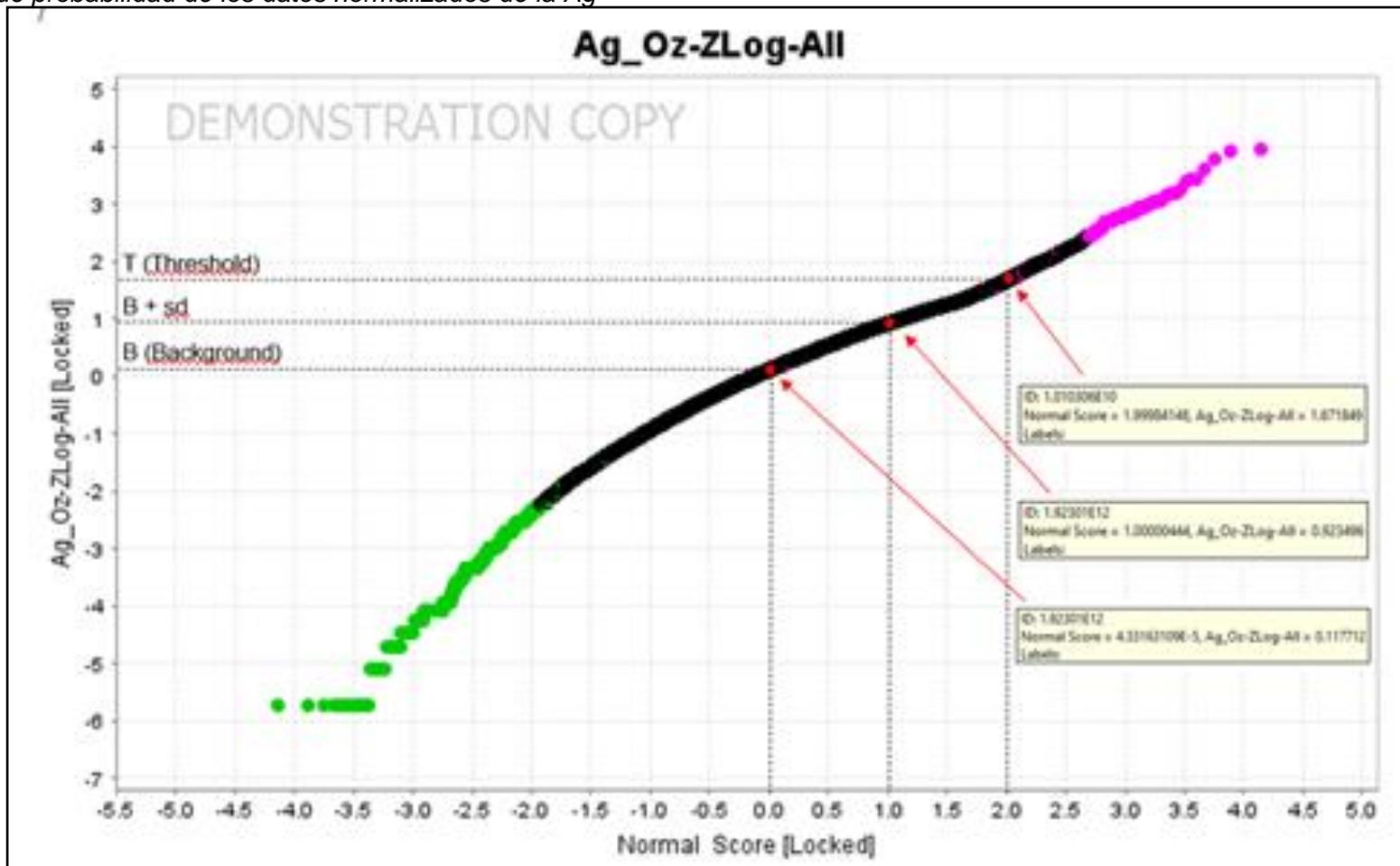
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del Zn



Fuente: Elaboración propia

Figura 69

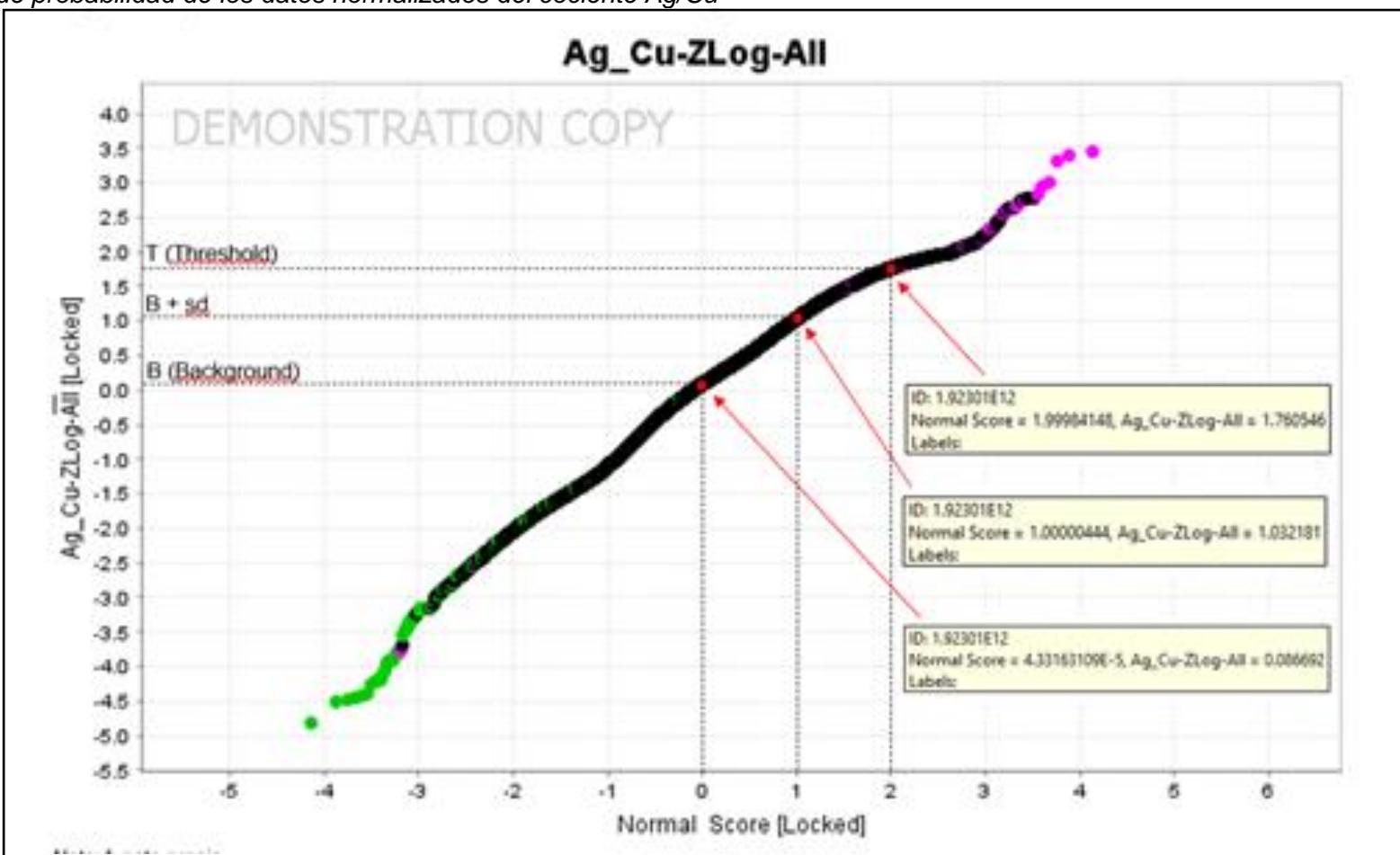
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados de la Ag



Fuente: Elaboración propia

Figura 70

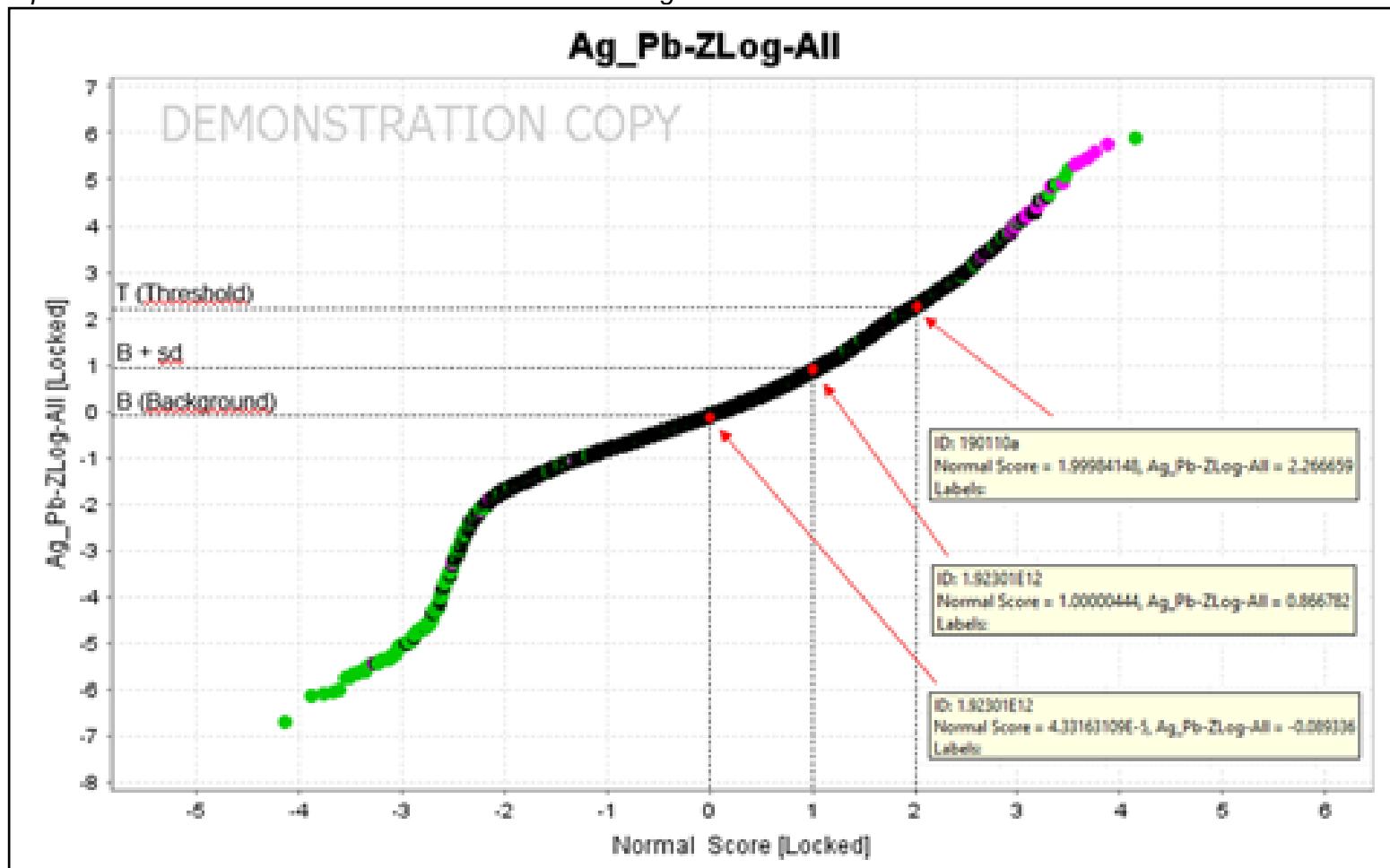
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Cu



Fuente: Elaboración propia

Figura 71

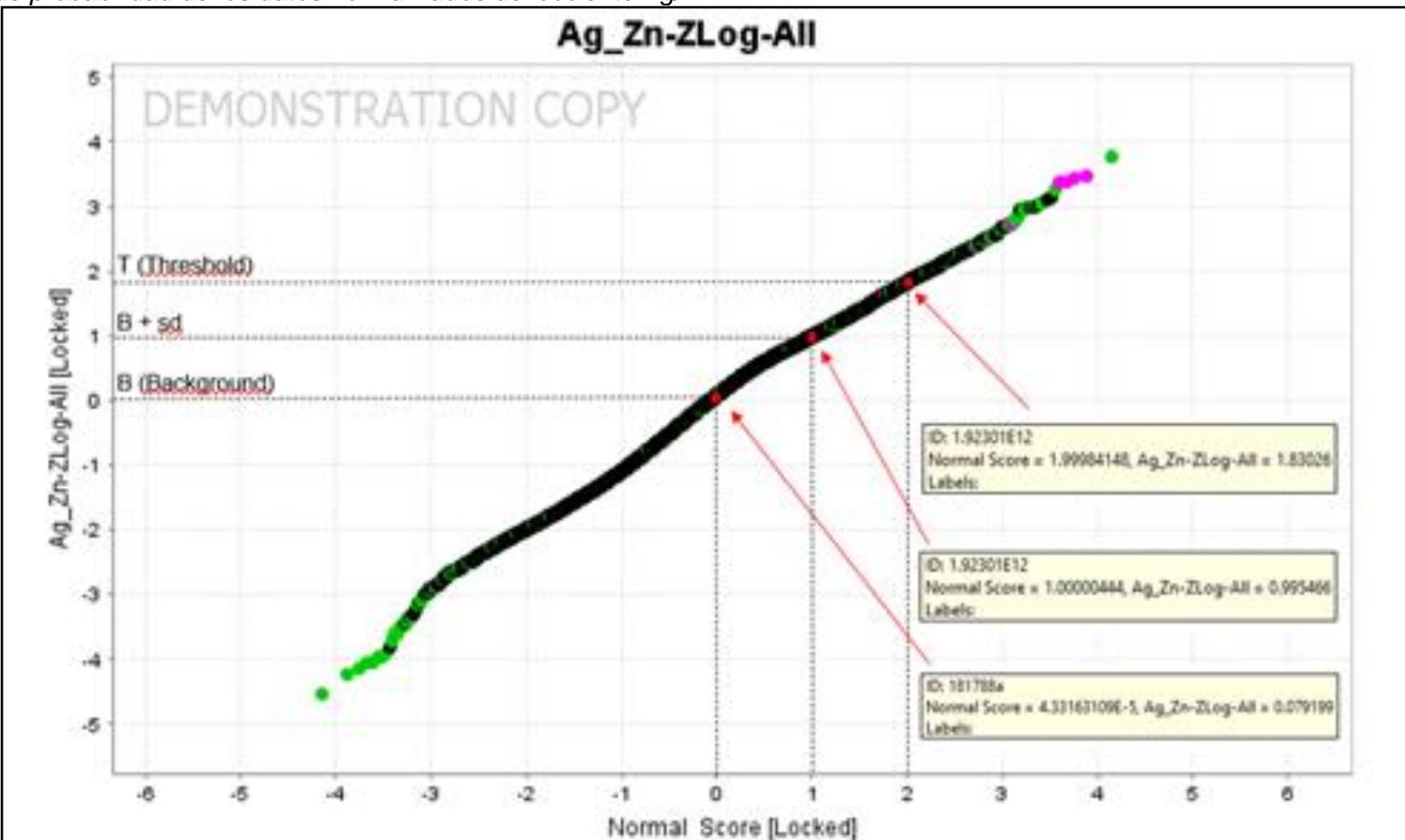
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Pb



Fuente: Elaboración propia

Figura 72

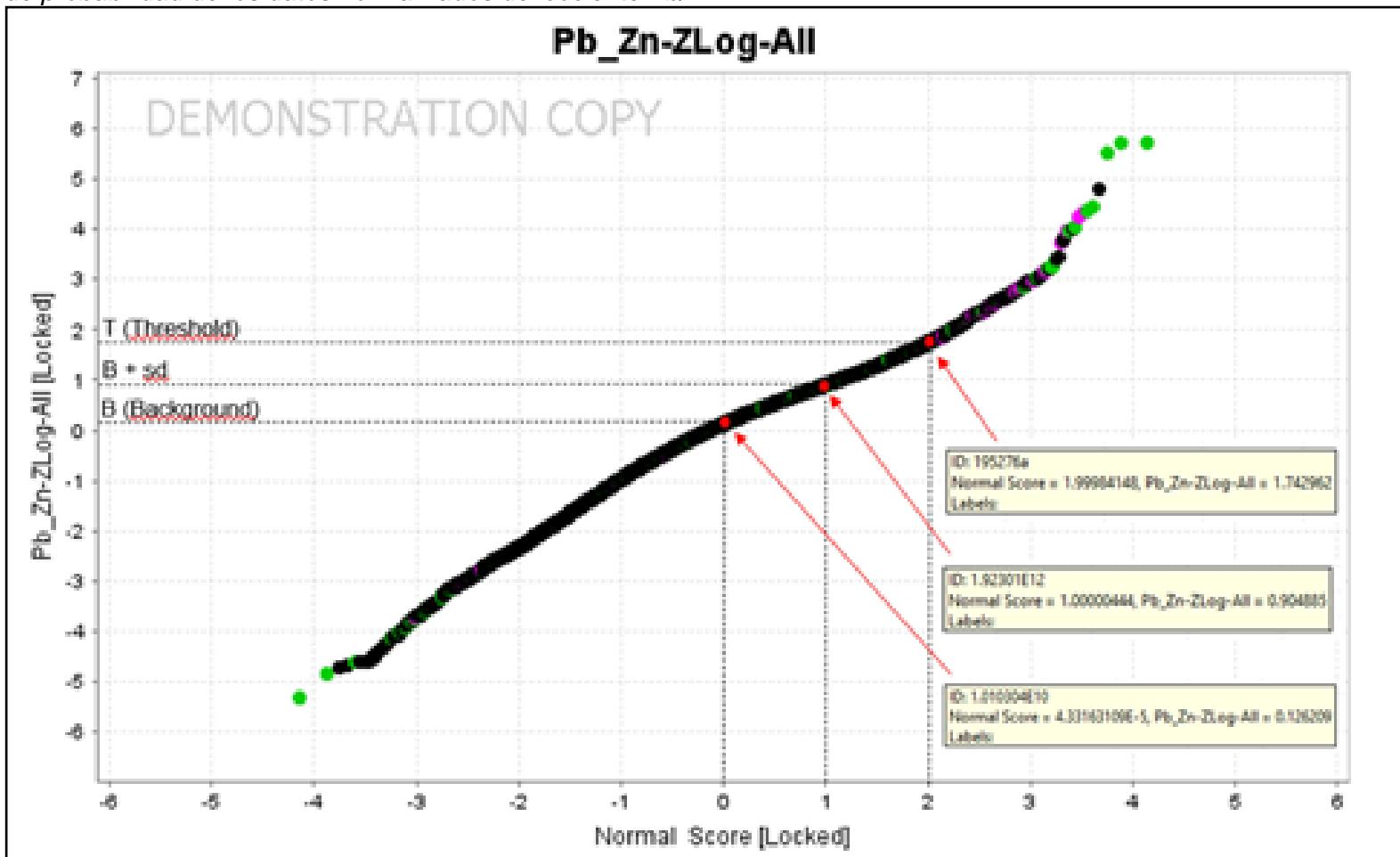
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Ag/Zn



Fuente: Elaboración propia

Figura 73

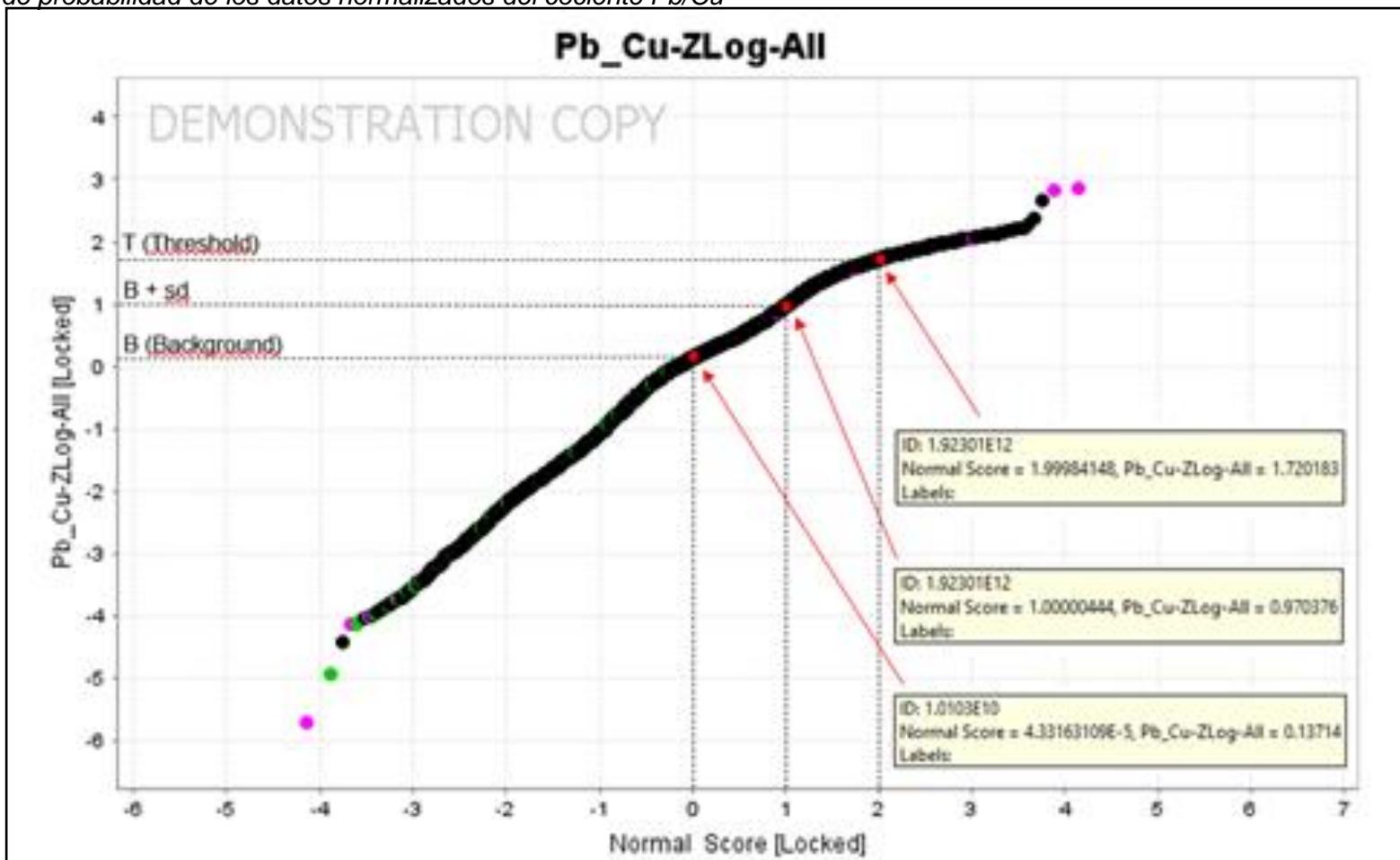
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Zn



Fuente: Elaboración propia

Figura 74

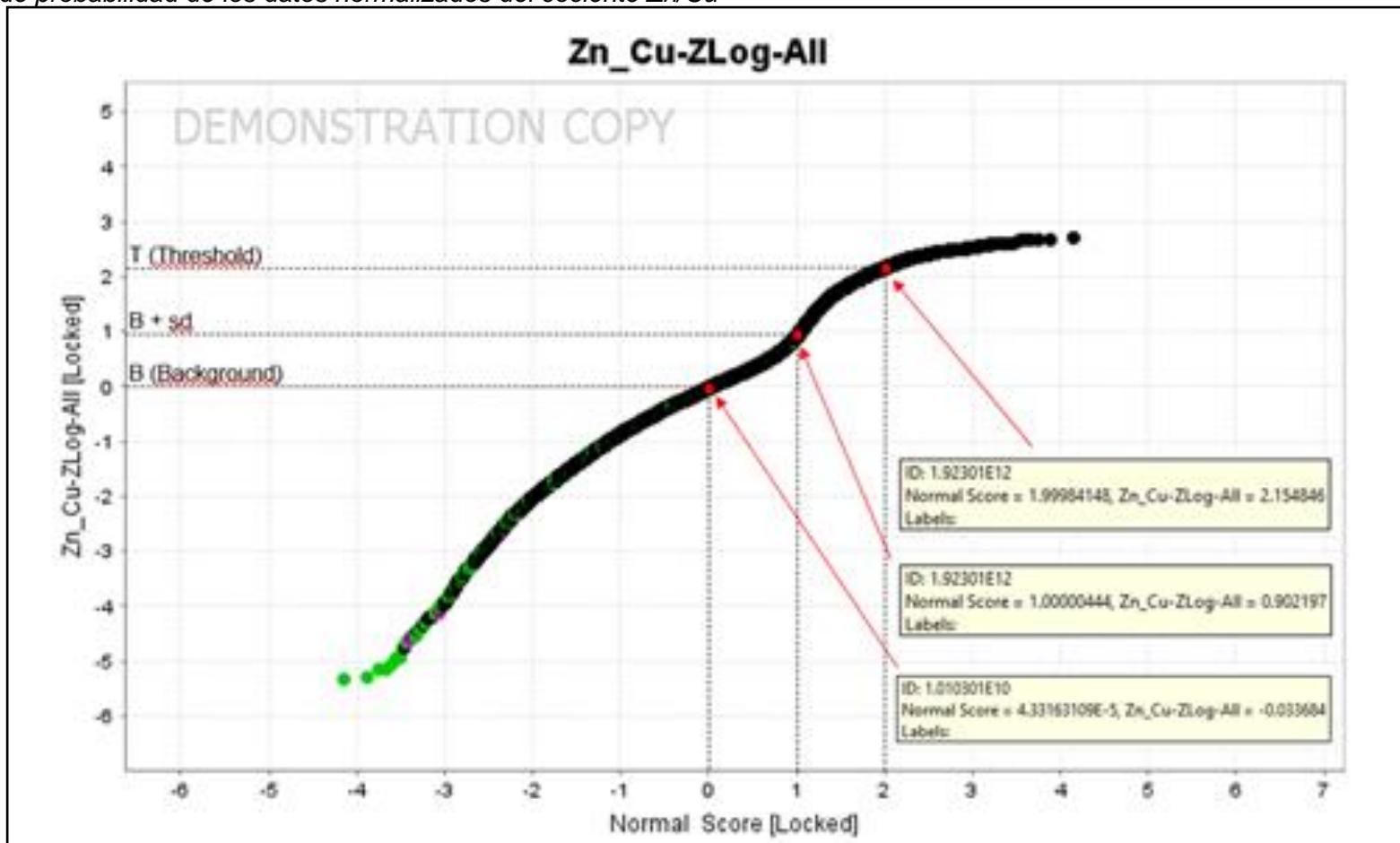
Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Pb/Cu



Fuente: Elaboración propia

Figura 75

Diagrama de probabilidad de los datos normalizados del cociente Zn/Cu



Fuente: Elaboración propia

Según los diagramas de probabilidad de los datos normalizados de los elementos en estudio y los cocientes metálicos, se han calculado los valores de “background” y “threshold” según el método convencional de tratamiento de datos geoquímicos. Estos datos calculados se encuentran transformados según el método “ZLog” para poder normalizar los datos. Por lo tanto, para calcular el valor real del background y threshold, debemos regresar a la tabla inicial calculada cuando los datos no estaban normalizados y verificar que valor corresponde al valor normalizado calculado. Para ello, presentamos una tabla resumen de datos sin normalizar y normalizados cuando el normal score es 0, 1 y 2, para el cálculo del background y threshold para el Cu, Pb, Zn, Ag y los cocientes metálicos Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu y Zn/Cu (los datos completos se encuentran en los anexos). El cálculo del background y threshold servirán para determinar los rangos geoquímicos de isovalores y cocientes metálicos.

Tabla 6

Presentación de resultados del Background y Threshold para todos los elementos. Veta Andaychagua.

Cu_per-ZLog-All	Cu_per	Normal Score	Pb_per-ZLog-All	Pb_per	Normal Score
-0.099879	0.04	0	0.066938	0.79	0
1.108679	0.19	1	0.971457	2.02	1
2.000591	0.60	2	1.821278	4.88	2
Zn_per-ZLog-All	Zn_per	Normal Score	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Oz	Normal Score
0.167234	5.31	0	0.117712	5.50	0
0.981402	12.50	1	0.923496	13.13	1
1.472497	20.95	2	1.671849	29.46	2
Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Cu	Normal Score	Ag_Pb-ZLog-All	Ag_Pb	Normal Score
0.086692	121.00	0	-0.089336	6.09	0
1.032181	489.00	1	0.866782	13.64	1
1.760546	1434.00	2	2.266659	44.35	2
Ag_Zn-ZLog-All	Ag_Zn	Normal Score	Pb_Zn-ZLog-All	Pb_Zn	Normal Score
0.079199	27.64	0	0.126209	0.18	0
0.995466	149.02	1	0.904885	0.37	1
1.83026	691.50	2	1.742962	0.78	2
Pb_Cu-ZLog-All	Pb_Cu	Normal Score	Zn_Cu-ZLog-All	Zn_Cu	Normal Score
0.13714	20.00	0	-0.033684	94.00	0
0.970376	72.00	1	0.902197	290.00	1
1.720183	228.00	2	2.154846	1310.00	2

Fuente: Elaboración propia

Teniendo calculados los valores numéricos del background y threshold, se definen los rangos geoquímicos según el criterio convencional. Para ello, presentamos las tablas con los rangos geoquímicos calculados versus elegidos, las cuales, fueron seleccionados tomando números enteros para una adecuada visualización y comprensión de las secciones de isovalores y cocientes metálicos. Se presentan los rangos geoquímicos para el Cu, Pb, Zn, Ag y los cocientes metálicos Ag/Cu, Ag/Pb, Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu y Zn/Cu de la veta San Cristóbal.

Tabla 7

Presentación de los rangos geoquímicos para todos los elementos. Veta Andaychagua.

Elemento	Rangos	Calculado	Elegido	Elemento	Rangos	Calculado	Elegido
%Cu	Rango 1	0.00 - 0.04	0.00 - 0.10	%Pb	Rango 1	0.00 - 0.79	0.00 - 1.00
	Rango 2	0.04 - 0.19	0.10 - 0.20		Rango 2	0.79 - 2.02	1.00 - 2.00
	Rango 3	0.19 - 0.60	0.20 - 0.50		Rango 3	2.02 - 4.88	2.00 - 5.00
	Rango 4	> 0.60	> 0.50		Rango 4	> 4.88	> 5.00
Elemento	Rangos	Calculado	Elegido	Elemento	Rangos	Calculado	Elegido
%Zn	Rango 1	0.00 - 5.31	0.00 - 5.00	Oz Ag	Rango 1	0.00 - 5.50	0.00 - 5.00
	Rango 2	5.31 - 12.50	10.00		Rango 2	5.50 - 13.13	10.00
	Rango 3	12.50 - 20.95	10.00 - 20.00		Rango 3	13.13 - 29.46	10.00 - 25.00
	Rango 4	> 20.95	> 20.00		Rango 4	> 29.46	> 25.00
Cociente	Rangos	Calculado	Elegido	Cociente	Rangos	Calculado	Elegido
Ag/Cu	Rango 1	0.00 - 121.00	0.00 - 125.00	Ag/Pb	Rango 1	0.00 - 6.09	0.00 - 5.00
	Rango 2	121.00 - 489.00	125.00 - 500.00		Rango 2	6.09 - 13.64	5.00 - 15.00
	Rango 3	489.00 - 1434.00	500.00 - 1400.00		Rango 3	13.64 - 44.35	15.00 - 40.00
	Rango 4	> 1434.00	> 1400.00		Rango 4	> 44.35	> 40.00
Cociente	Rangos	Calculado	Elegido	Cociente	Rangos	Calculado	Elegido
Ag/Zn	Rango 1	0.00 - 27.64	0.00 - 25.00	Pb/Zn	Rango 1	0.00 - 0.18	0.00 - 0.20
	Rango 2	27.64 - 149.02	25.00 - 150.00		Rango 2	0.18 - 0.37	0.20 - 0.40
	Rango 3	149.02 - 691.50	150.00 - 650.00		Rango 3	0.37 - 0.78	0.40 - 0.80
	Rango 4	> 691.50	> 650.00		Rango 4	> 0.78	> 0.80
Cociente	Rangos	Calculado	Elegido	Cociente	Rangos	Calculado	Elegido
Pb/Cu	Rango 1	0.00 - 20.00	0.00 - 20.00	Zn/Cu	Rango 1	0.00 - 94.00	0.00 - 100.00
	Rango 2	20.00 - 72.00	20.00 - 75.00		Rango 2	94.00 - 290.00	100.00 - 300.00
	Rango 3	72.00 - 228.00	75.00 - 230.00		Rango 3	290.00 - 1310.00	300.00 - 1350.00
	Rango 4	> 228.00	> 230.00		Rango 4	> 1310.00	> 1350.00

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

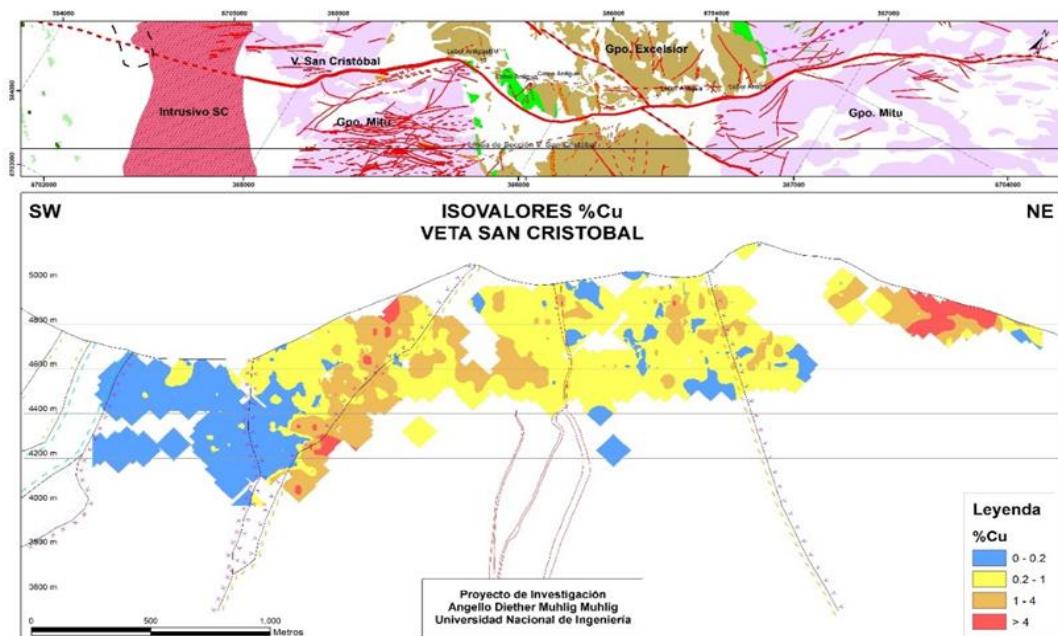
4.1 Presentación de resultados

A continuación, se presenta las secciones isovalóricas de Cu, Pb, Zn en porcentaje y Ag en onzas de la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua, junto con sus secciones de cocientes metálicos. Estas secciones fueron generadas en base a una sección longitudinal de la traza de la veta San Cristóbal y Andaychagua, con todos los datos que se están trabajando en la presente tesis. Los datos tomados en la generación de las secciones de isovalores y cocientes metálicos son de leyes de muestras de la misma veta y fueron tomados según la tabla que se encuentra en los anexos 1 y 2 (una parte de todos los datos). Las secciones son generadas en el software Geosoft Target for ArcGis. Una vez que se tiene en sección los datos geoquímicos de la veta, tanto para isovalores como para cocientes metálicos, se realiza la interpolación en base a un método geoestadístico (krigging) y se grafican los mapas o GRD. Al final se añaden los rangos que se calcularon en el análisis estadístico para representar mejor las zonas de mayor y menor temperatura.

4.1.1 Construcción de los isovalores y cocientes metálicos de la veta San Cristóbal

Figura 76

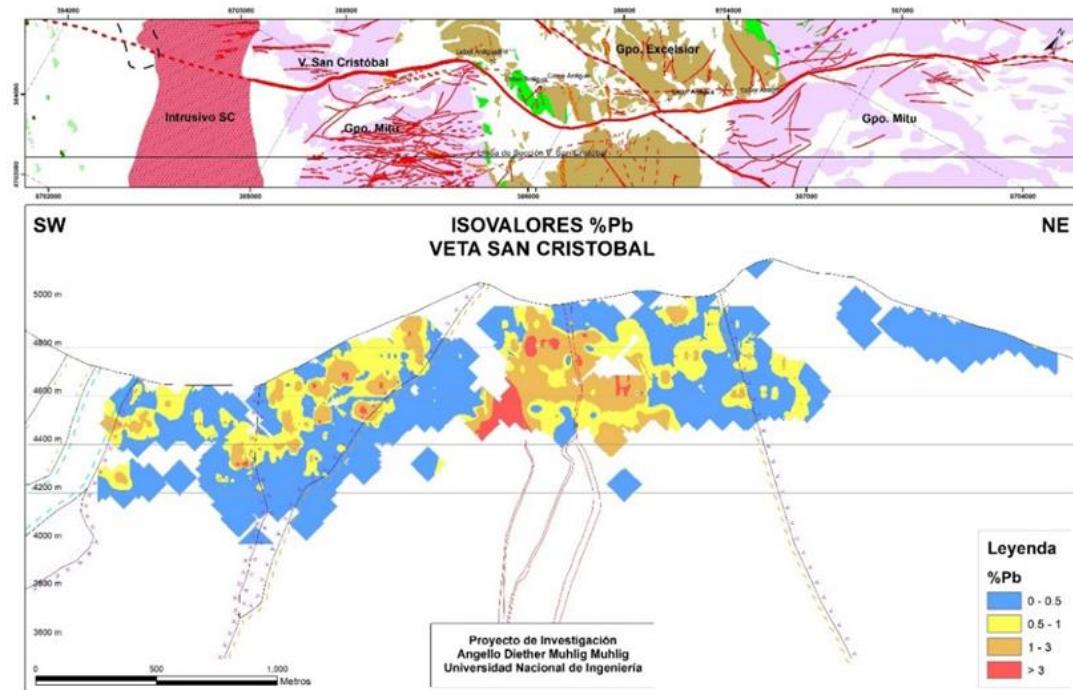
Sección de isovalores de Cu en porcentaje. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 77

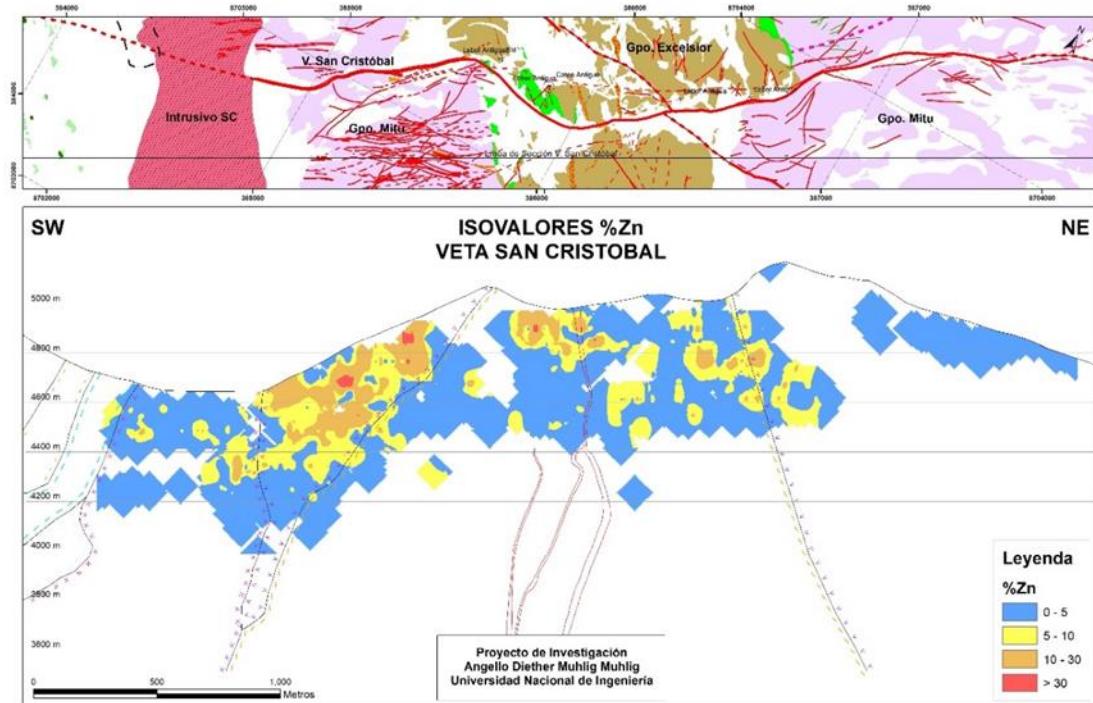
Sección de isovalores de Pb en porcentaje. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 78

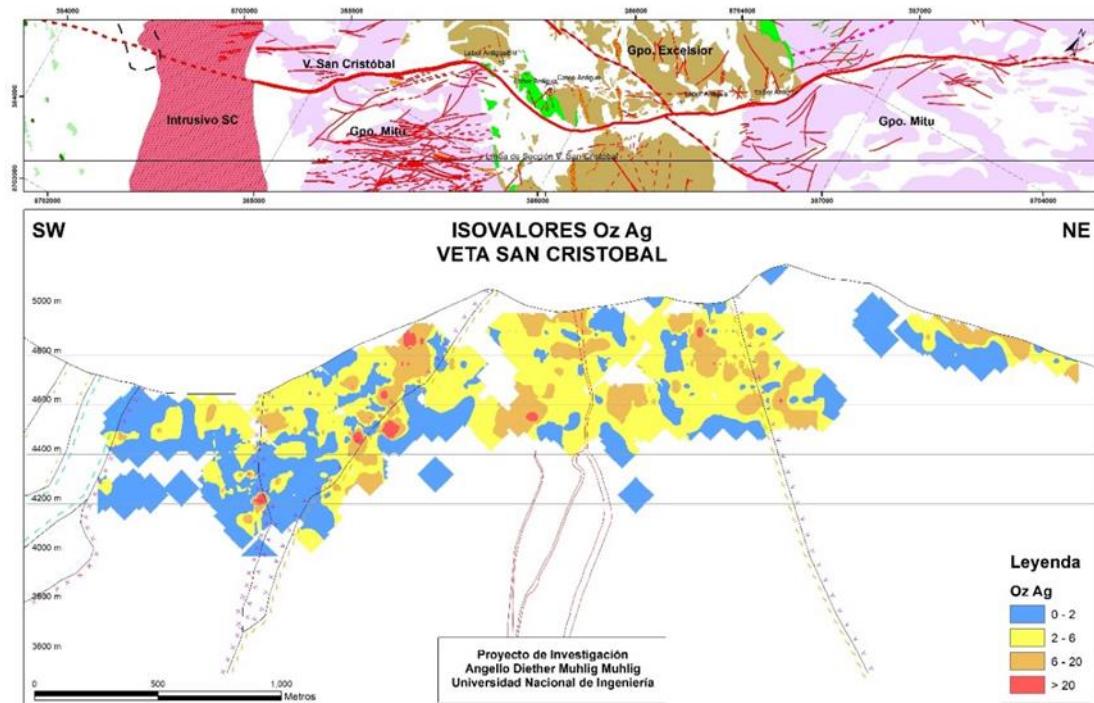
Sección de isovalores de Zn en porcentaje. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 79

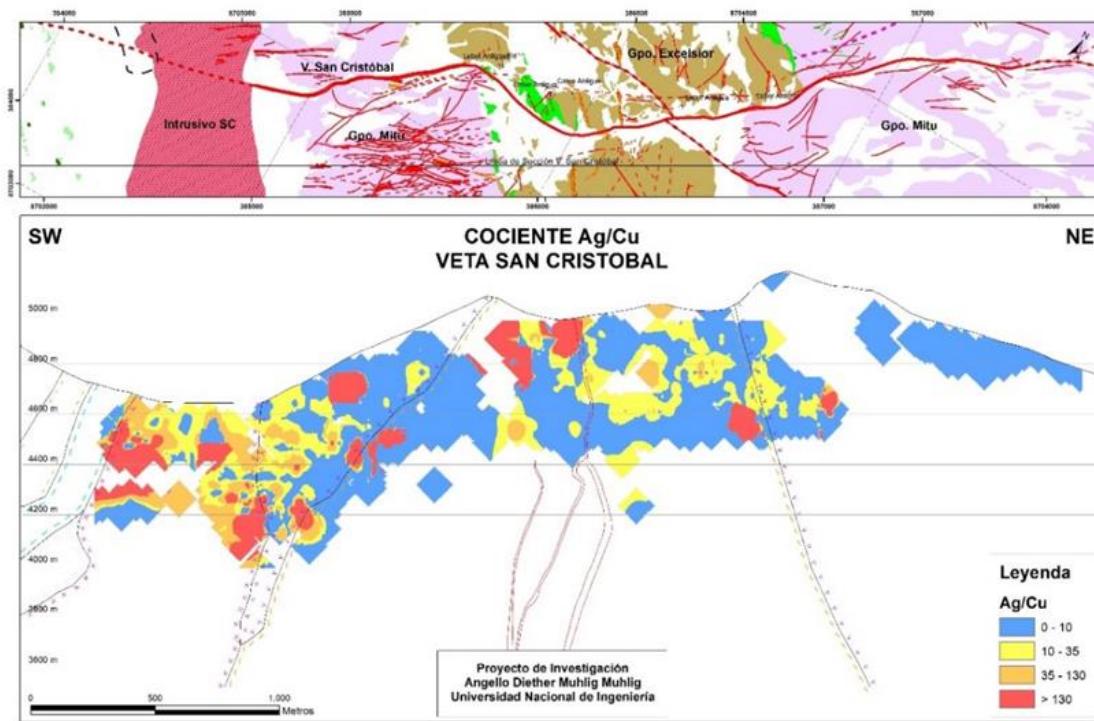
Sección de isovalores de Ag en onzas. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 80

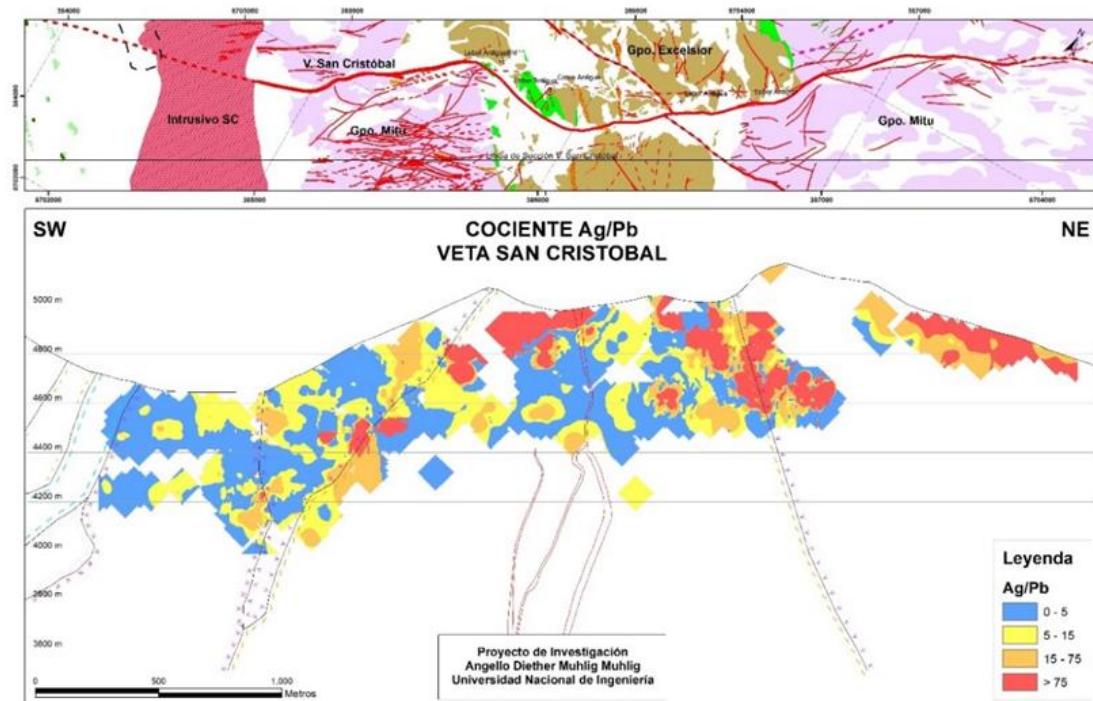
Sección del cociente metálico Ag/Cu. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 81

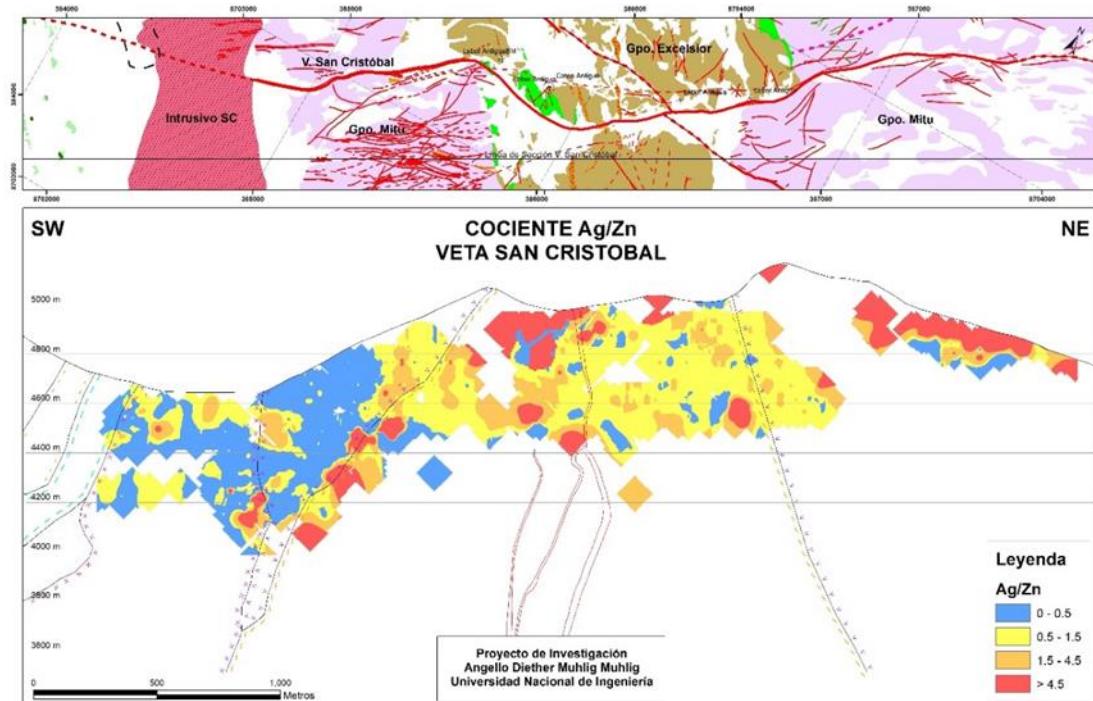
Sección del cociente metálico Ag/Pb. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 82

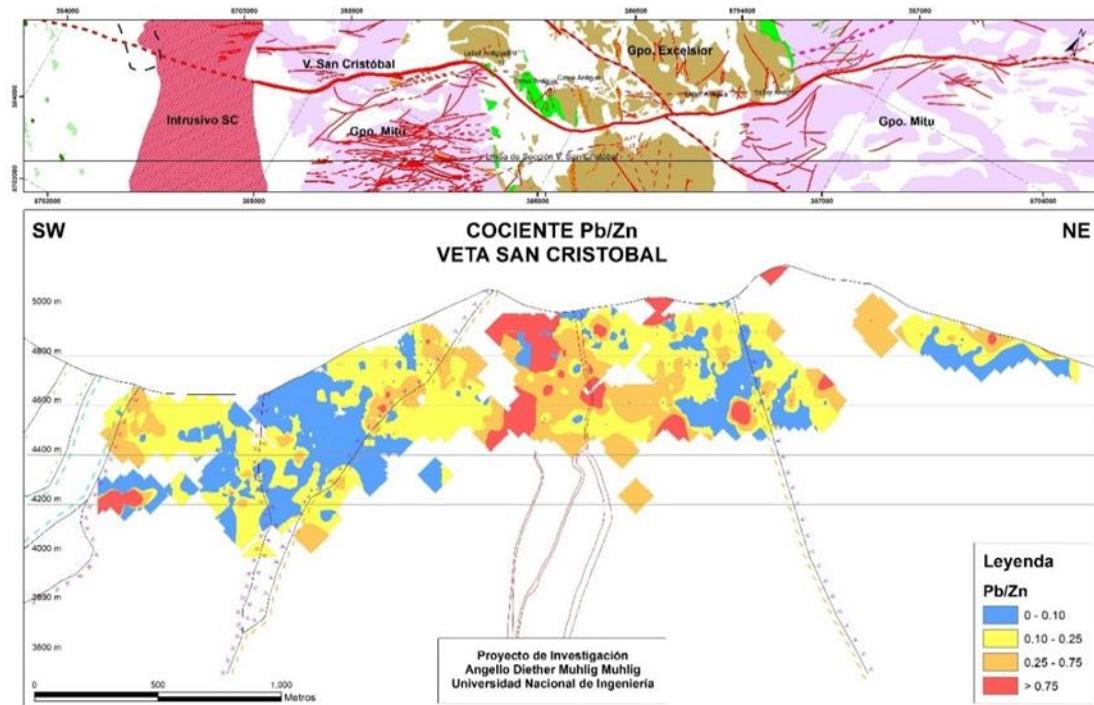
Sección del cociente metálico Ag/Zn. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 83

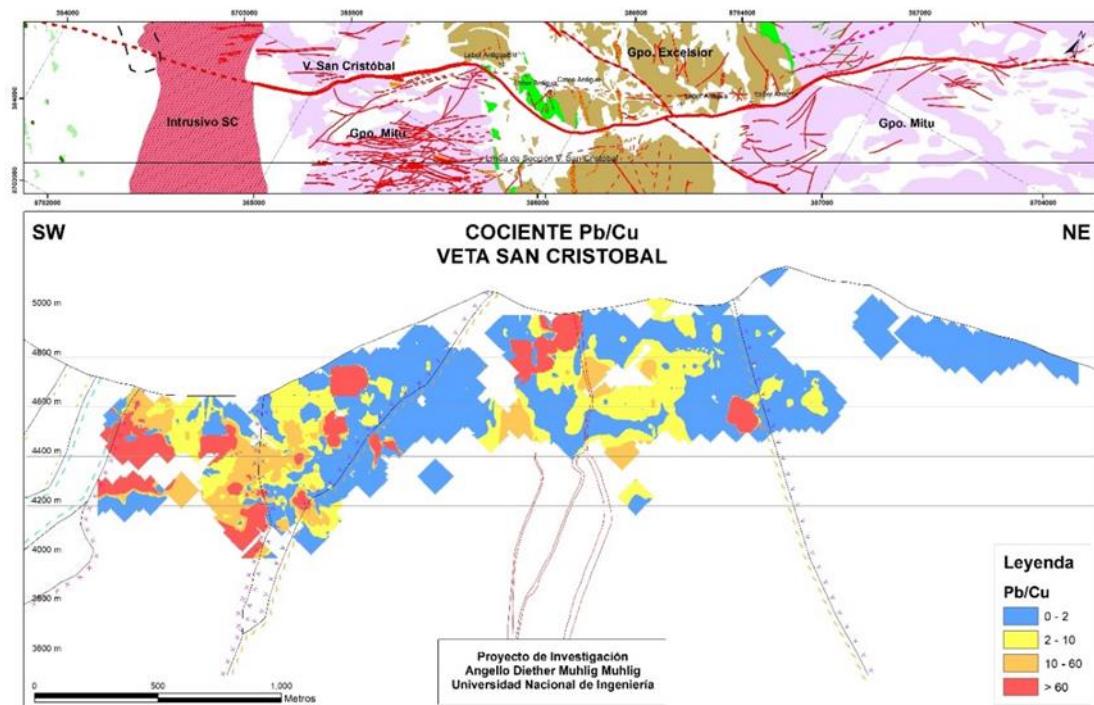
Sección del cociente metálico Pb/Zn. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 84

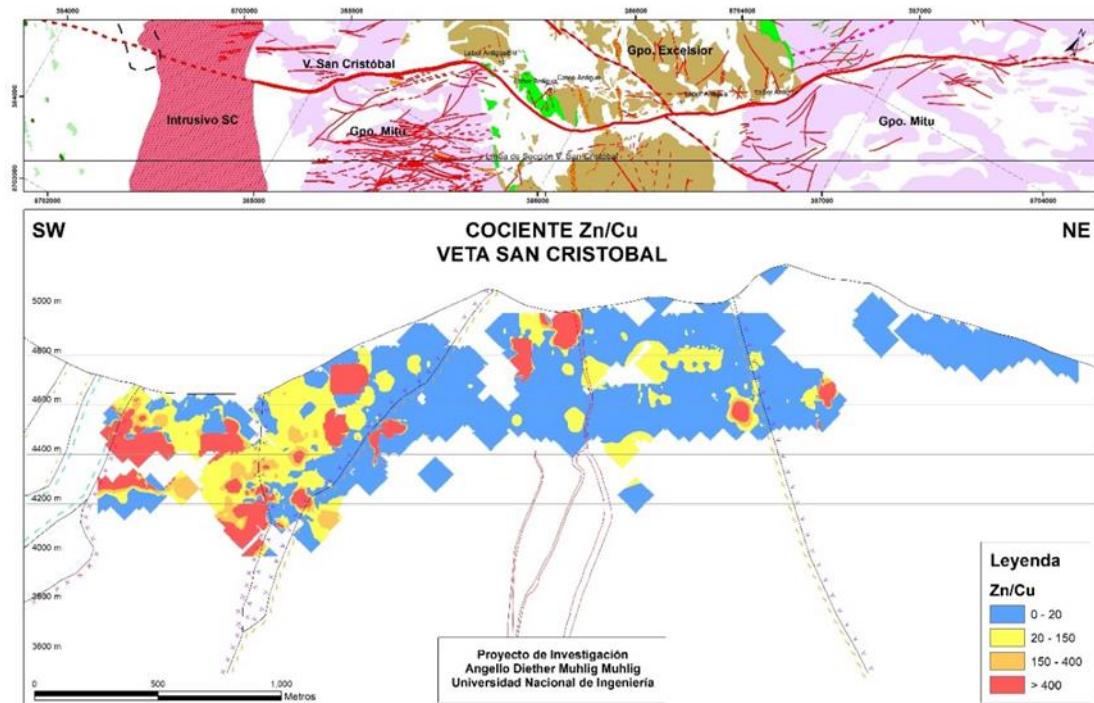
Sección del cociente metálico Pb/Cu. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 85

Sección del cociente metálico Zn/Cu. Veta San Cristóbal

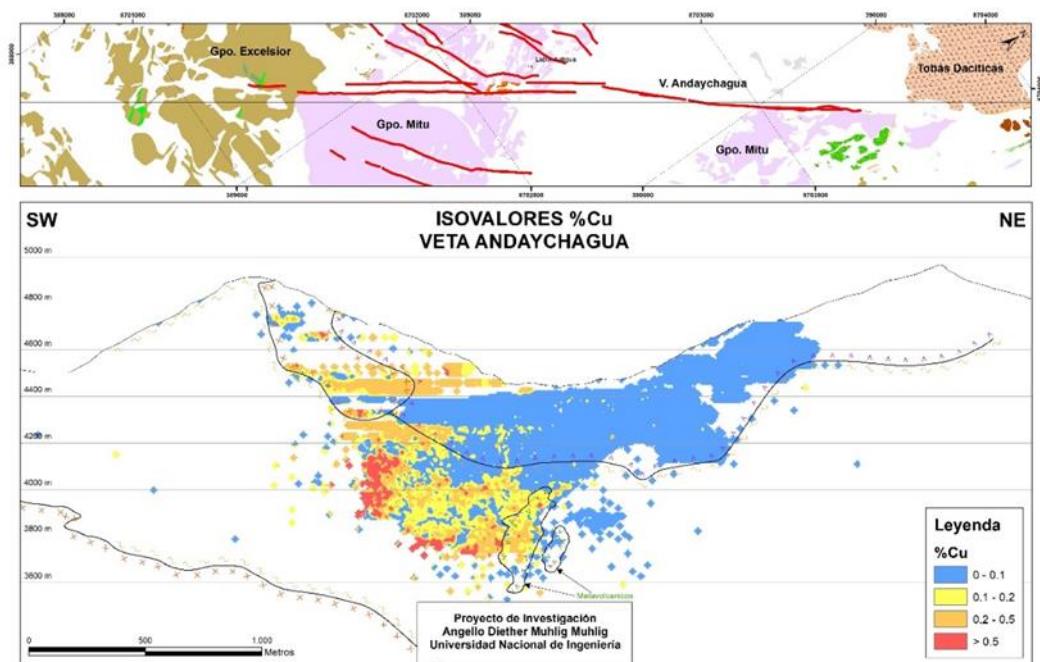


Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Construcción de los isovalores y cocientes metálicos de la veta Andaychagua

Figura 86

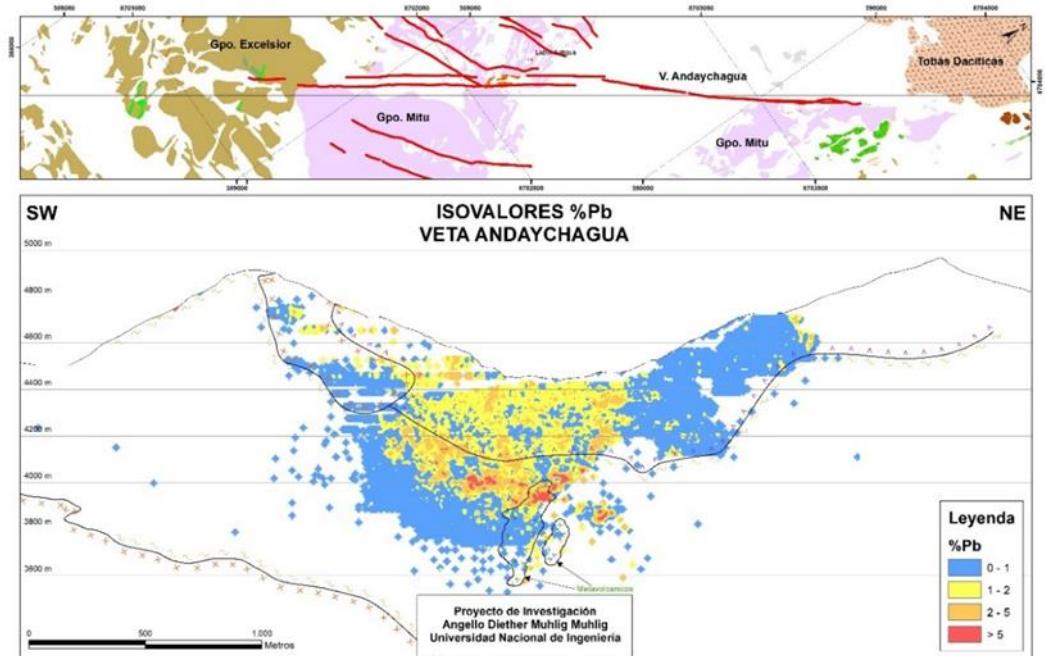
Sección de isovalores de Cu en porcentaje. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 87

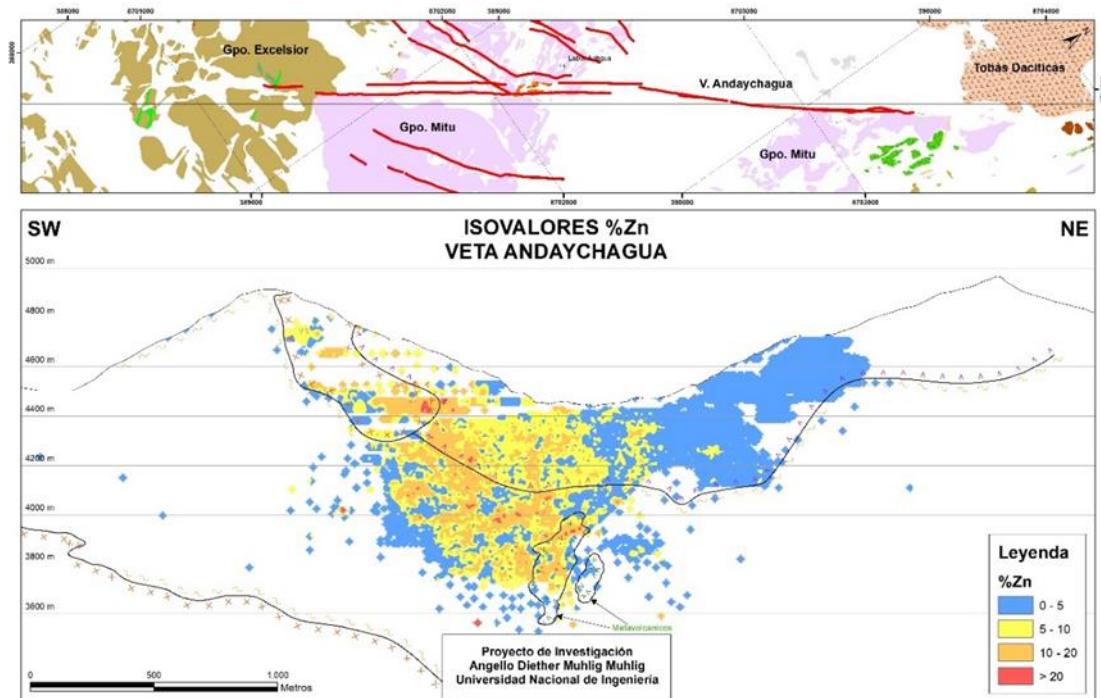
Sección de isovalores de Pb en porcentaje. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 88

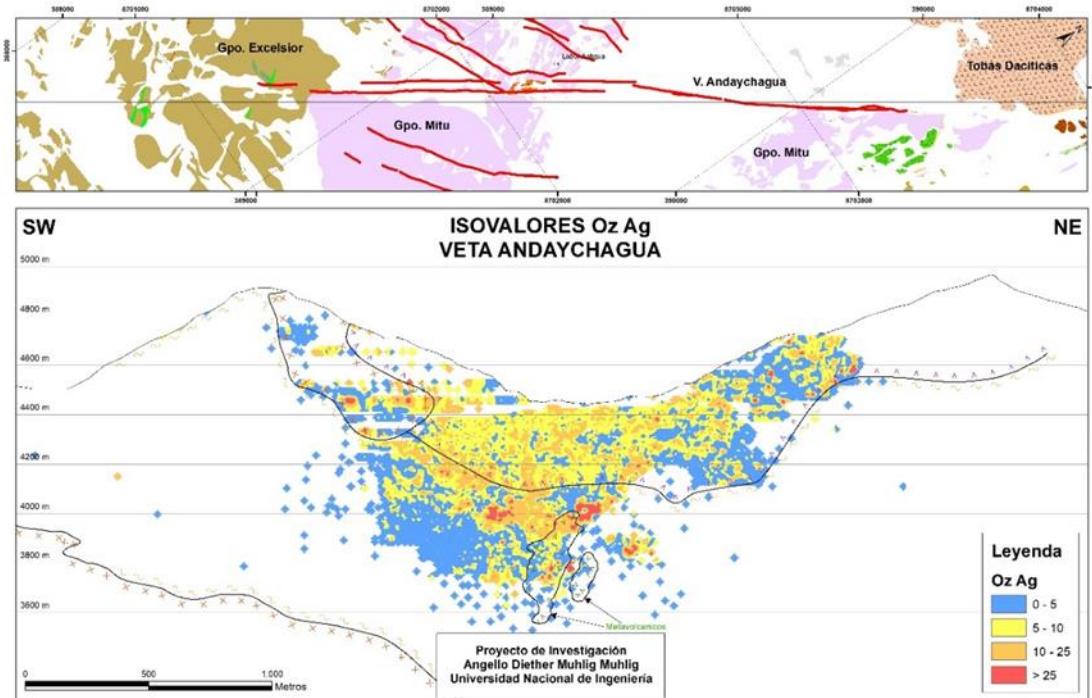
Sección de isovalores de Zn en porcentaje. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 89

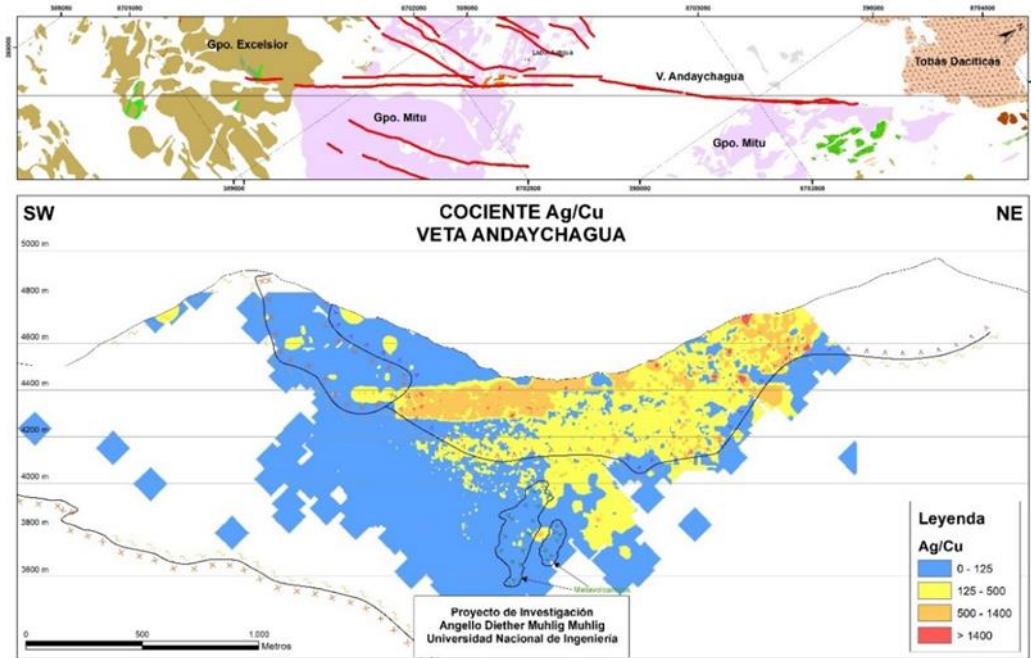
Sección de isovalores de Ag en onzas. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 90

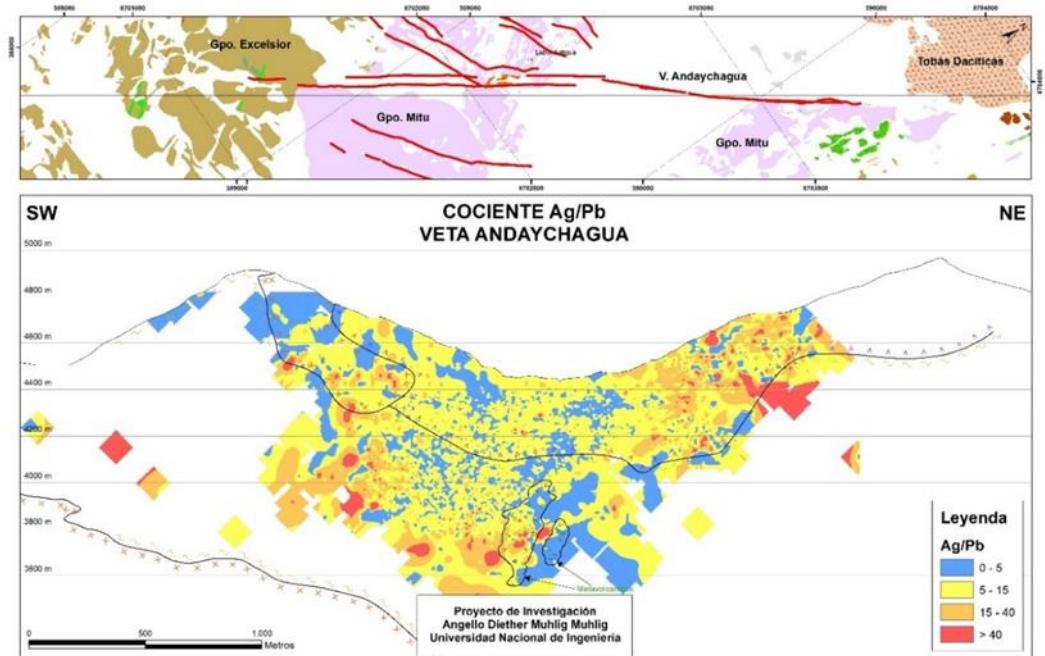
Sección del cociente metálico Ag/Cu. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 91

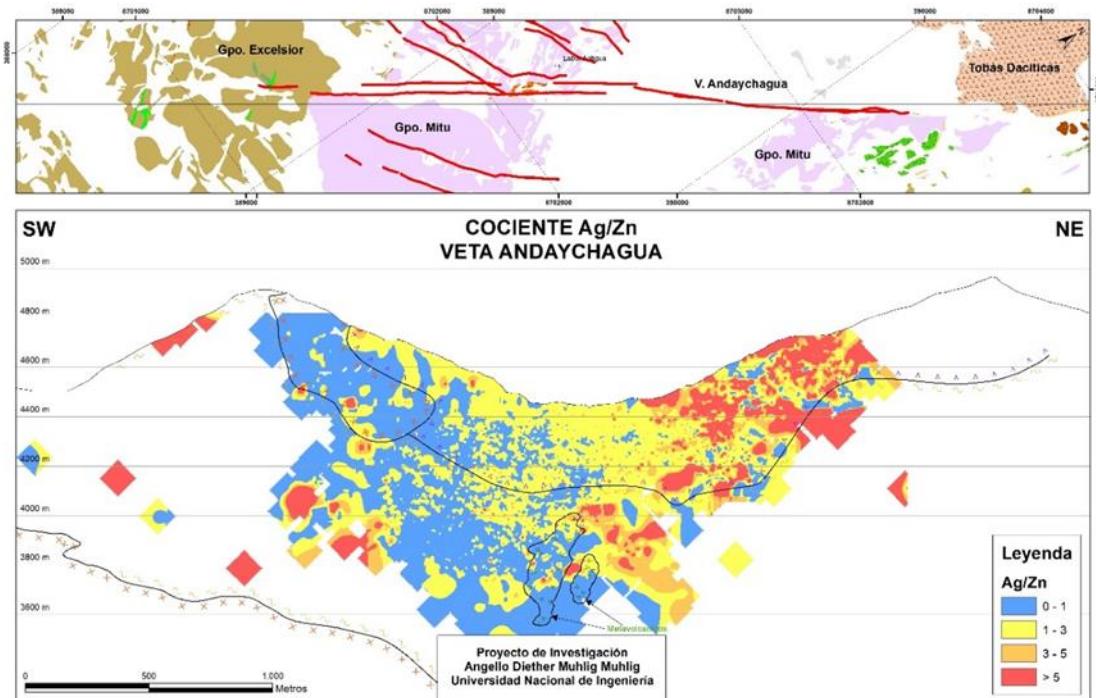
Sección del cociente metálico Ag/Pb. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 92

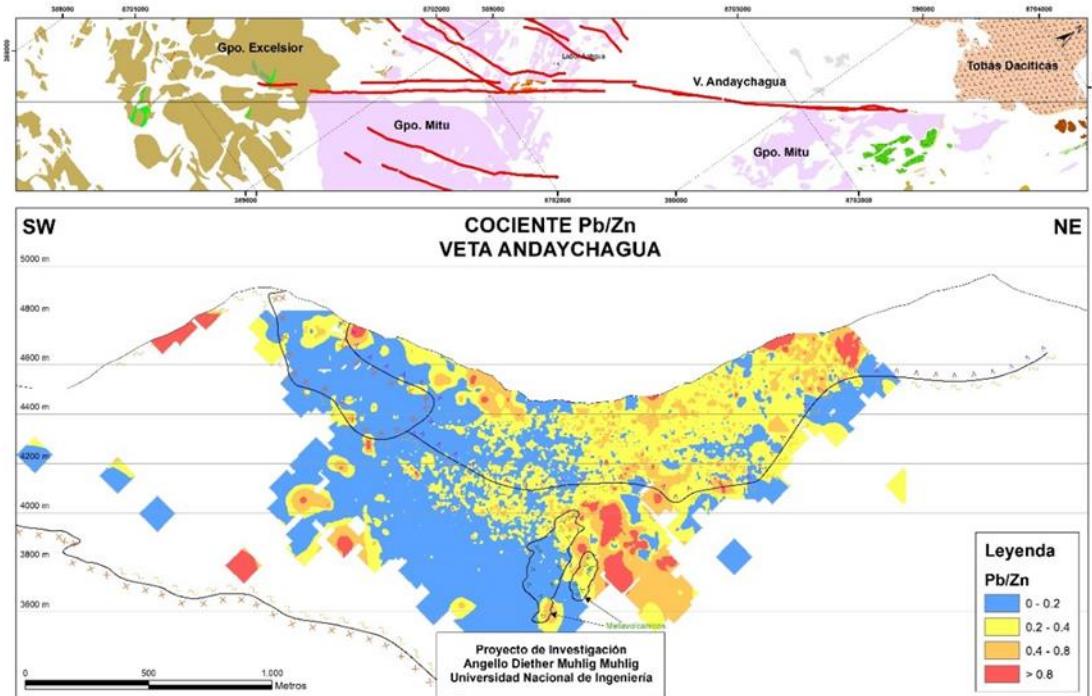
Sección del cociente metálico Ag/Zn. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 93

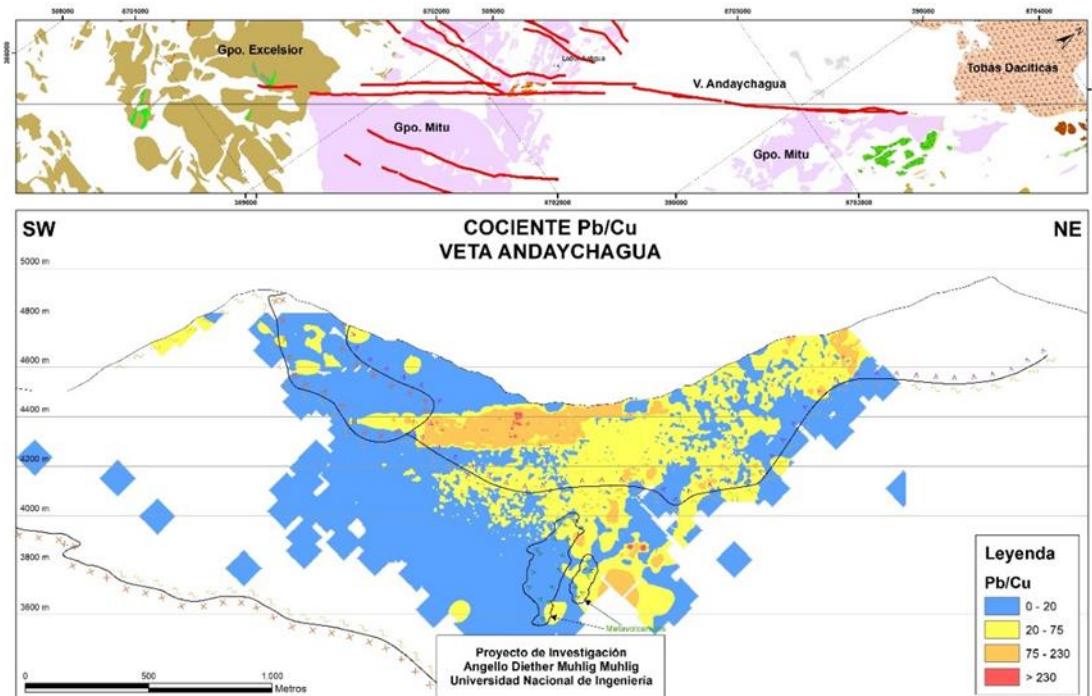
Sección del cociente metálico Pb/Zn. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 94

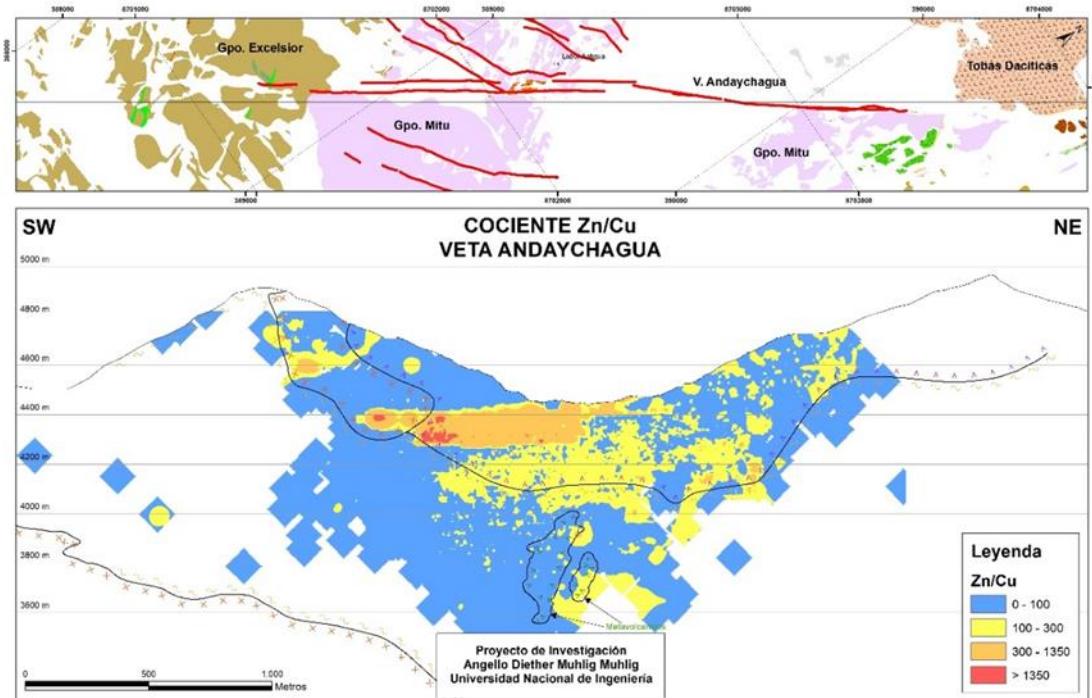
Sección del cociente metálico Pb/Cu. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Figura 95

Sección del cociente metálico Zn/Cu. Veta Andaychagua



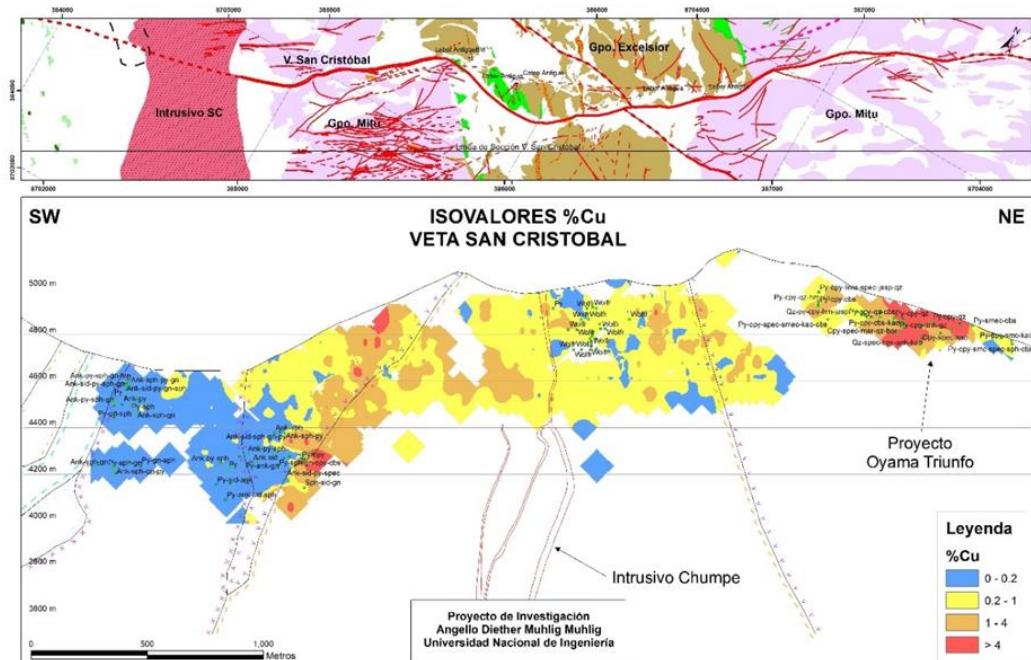
Fuente: Elaboración propia

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Veta San Cristóbal

Figura 96

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Cu. Veta San Cristóbal

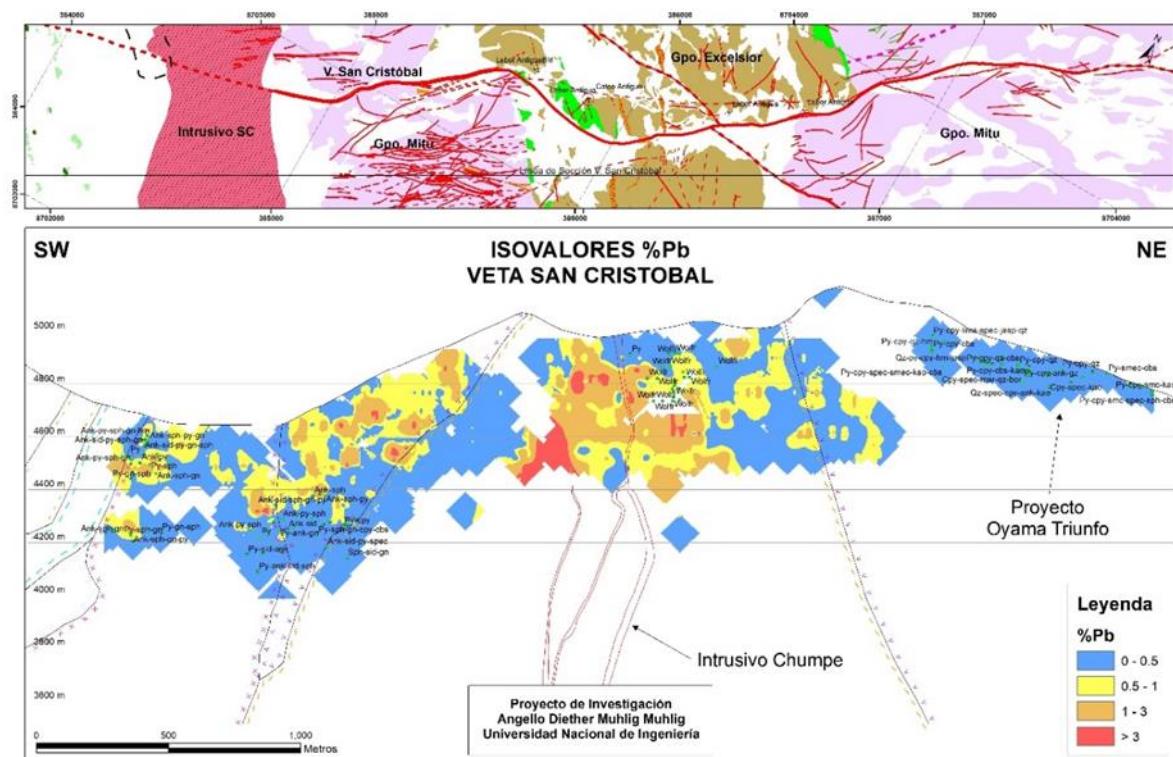


Fuente: Elaboración propia

Según la sección isovalórica de Cu de la veta San Cristóbal, observamos que la mayor concentración de Cu proviene desde la zona suroeste de la veta y parte de la zona noreste (Oyama Triunfo). Según los registros geológicos tomados de antiguos sondajes, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Cu se relaciona con la mineralización de calcopirita. Para la zona de Oyama Triunfo (zona noreste de la veta San Cristóbal), la mineralización de Cu se encuentra prospectiva a profundidad, sin embargo, se puede sacar más conclusiones sobre la prospectividad en base a una comparación de los isovalores con los cocientes metálicos. Los isovalores de Cu solo indican las zonas con mayor concentración del elemento en estudio.

Figura 97

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Pb. Veta San Cristóbal



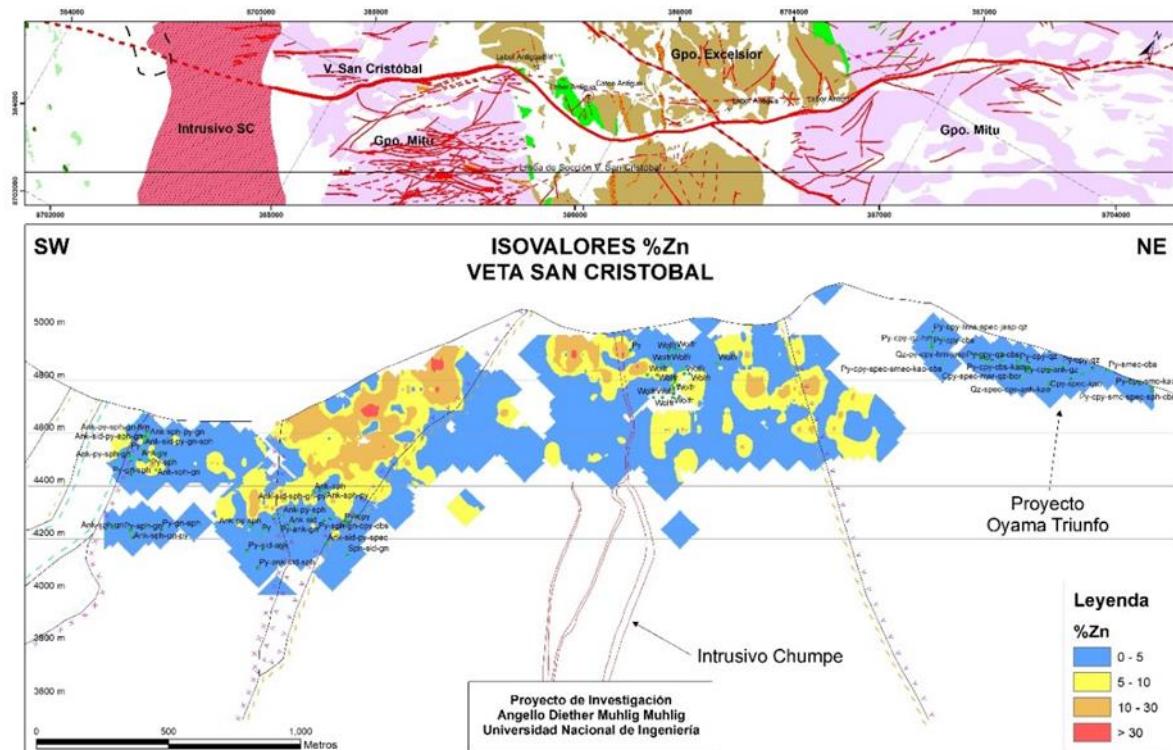
Fuente: Elaboración propia

Según la sección isovalórica de Pb de la veta San Cristóbal, observamos que la mayor concentración de Pb proviene desde la zona central. Añadiendo el ensamble de mineralización de la veta según los registros geológicos tomados, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Pb se relaciona con la mineralización de galena.

La profundización cerca a los intrusivos Chumpe se vuelve prospectivo en mineralización de Pb en esta zona.

Figura 98

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Zn. Veta San Cristóbal

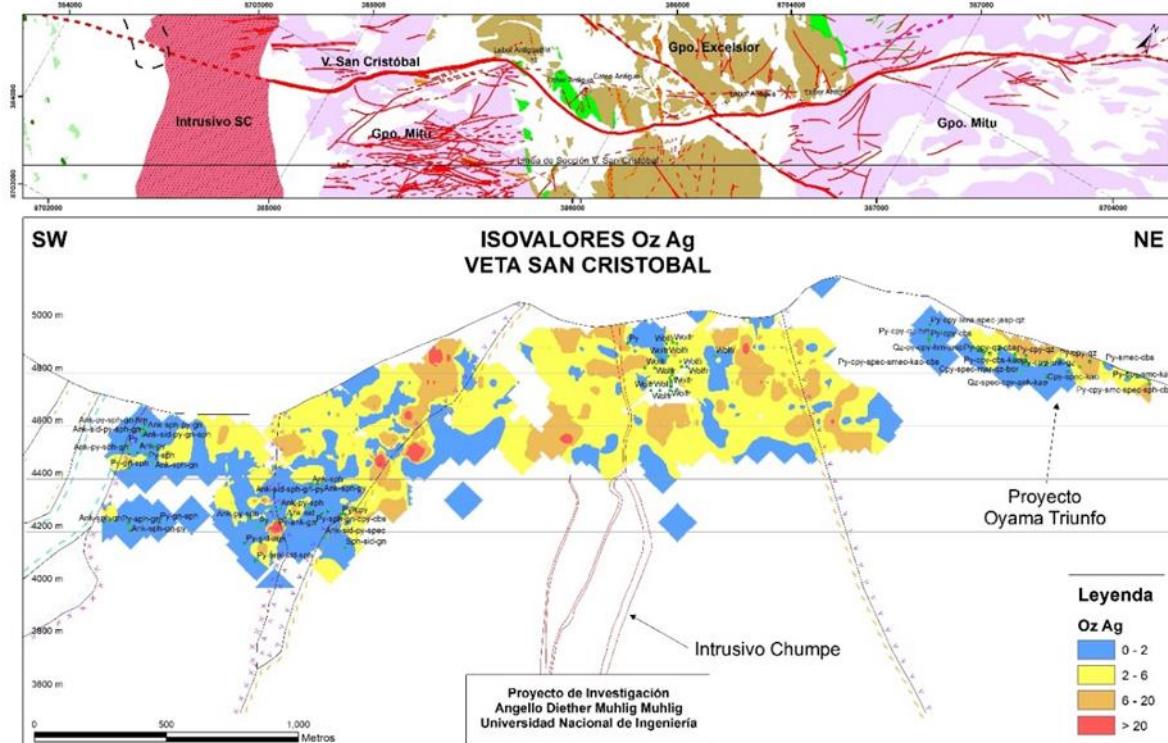


Fuente: Elaboración propia

Según la sección isovalórica de Zn de la veta San Cristóbal, observamos que la mayor concentración de Zn proviene desde la zona suroeste de la veta San Cristóbal. Añadiendo el ensamble de mineralización de la veta según los registros geológicos tomados, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Zn se relaciona con la mineralización de esfalerita. También se puede apreciar que la mineralización de Zn guarda relación directa con Gpo. Mitu, ya que vemos una delimitación de la mineralización de Zn solo dentro del Gpo. Mitu y cerca al intrusivo San Cristóbal. Se sabe que las principales vetas en San Cristóbal se presentan dentro del Gpo. Mitu en su mayor parte y son ricas en Pb-Zn.

Figura 99

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Ag. Veta San Cristóbal



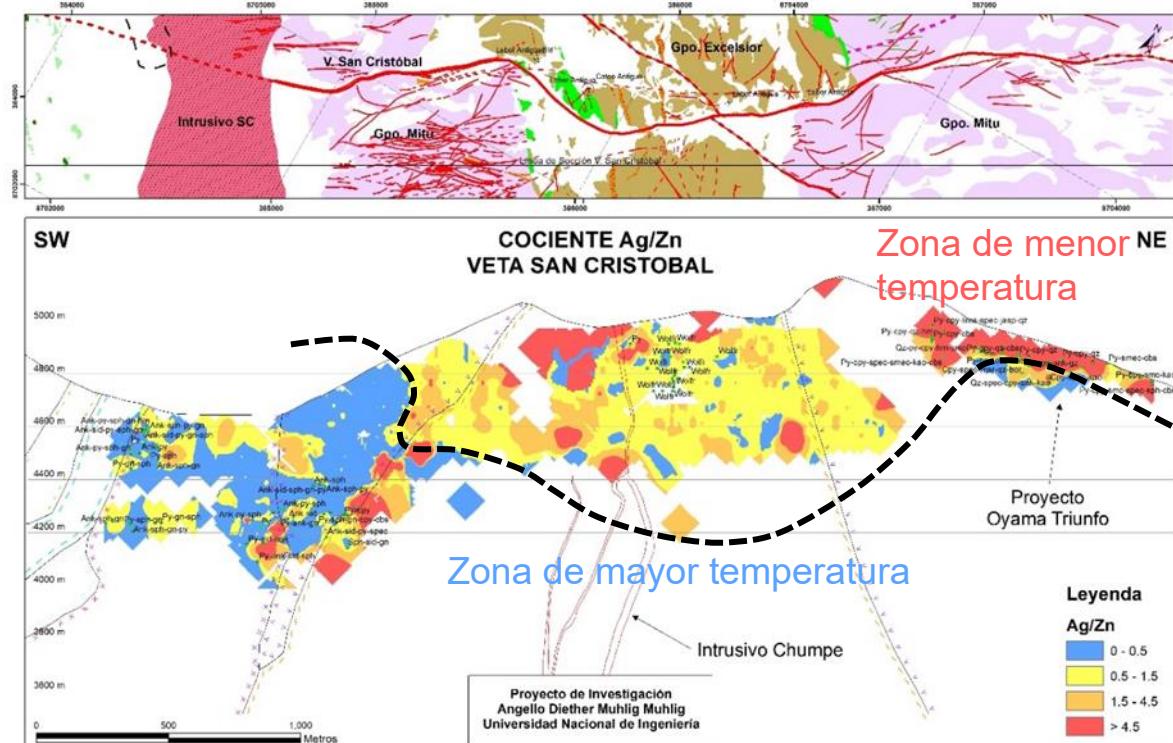
Fuente: Elaboración propia

Según la sección isovalórica de Ag de la veta San Cristóbal, observamos que la concentración alta de Ag es variable a lo largo de la veta, sin embargo, existe una relación con la alta ley de Ag en el contacto del Gpo. Mitu con el Gpo. Excelsior. Añadiendo el ensamble de mineralización de la veta según los registros geológicos tomados, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Ag se relaciona con la mineralización de sulfosales de plata. La mineralización de Ag está asociada con el Cu y con el Pb según la correlación de Pearson. Así mismo, la mineralización de cobres grises en Oyama Triunfo se presenta en superficie y en dirección hacia el noreste de la veta San Cristóbal.

Para el análisis y discusión de los resultados de los cocientes metálicos, solo se tomará en cuenta los siguientes cocientes metálicos: Ag/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu y Zn/Cu, debido a que estos cocientes metálicos muestran un mejor contraste para el análisis de las zonas de mayor y menor temperatura.

Figura 100

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Ag/Zn. Veta San Cristóbal



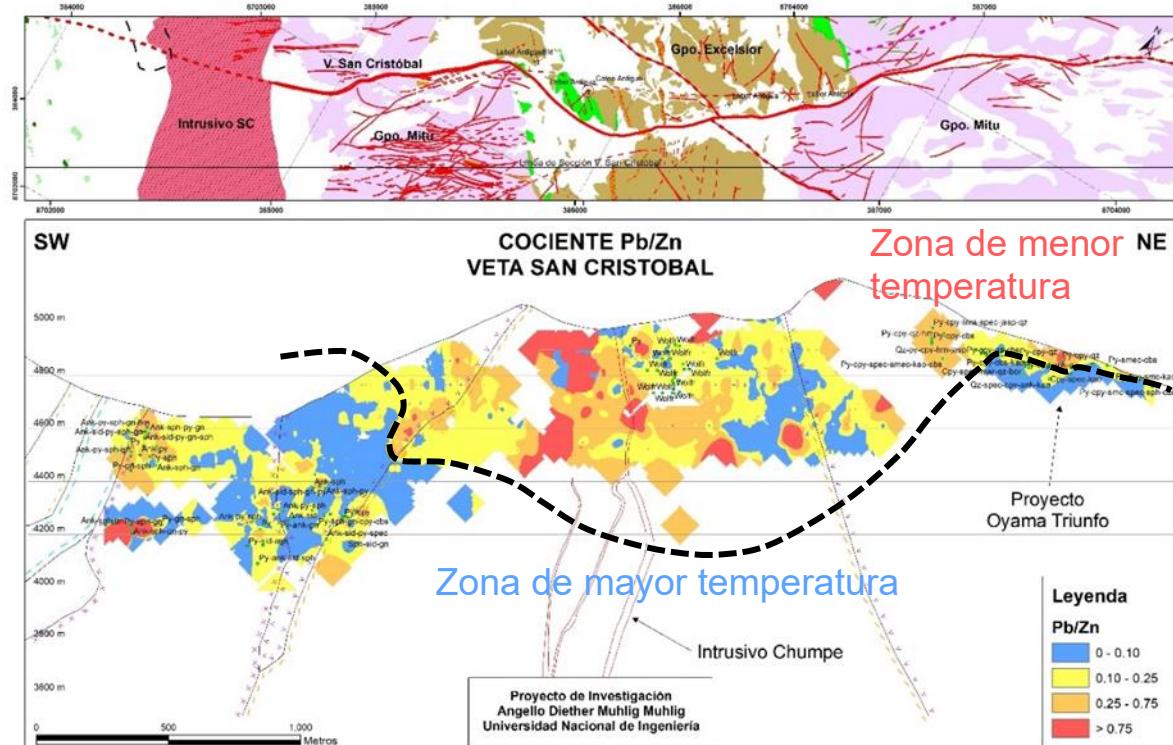
Fuente: Elaboración propia

Según la sección de cocientes metálicos de Ag/Zn de la veta San Cristóbal, observamos que la zona de mayor temperatura se encuentra en el flanco suroeste de la veta San Cristóbal, en la parte central por debajo de los 4200 msnm y hacia la profundidad de la zona de Oyama Triunfo, según las líneas graficadas. La zona de menor temperatura se encuentra en la zona central y al NE hacia la superficie. El flanco suroeste de mayor temperatura guarda relación con el intrusivo San Cristóbal, mientras que el flanco noreste solo se encuentra ligado al proyecto Oyama Triunfo. Por lo tanto, la zona prospectiva se encuentra hacia ambos flancos de la veta (SW y NE). El escenario más lógico según el análisis de cocientes metálicos es que el fluido mineralizante de la veta San Cristóbal proviene de un fluido de mayor temperatura (núcleo con alto contenido de Cu) que ha sido sobreimpuesto por otro fluido de menor temperatura, que inicialmente estuvo hacia las zonas más altas en superficie (actualmente erosionado) y que aún puede observarse remanentes de este fluido de menor temperatura en superficie en la parte central de la veta y que originó procesos de contracción en la veta. Zonas con cocientes bajos se compara

con la zona de Cu, para confirmar la zona de mayor temperatura. A partir de la zona de mayor temperatura, el fluido se enfria lateralmente hacia el este y oeste. A partir de los cocientes, se debe ver la magnitud del enfriamiento y determinar el desarrollo del zoneamiento mineralógico de la veta en base a mínimo un tercio de la zona más desarrollada.

Figura 101

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Zn. Vista San Cristóbal



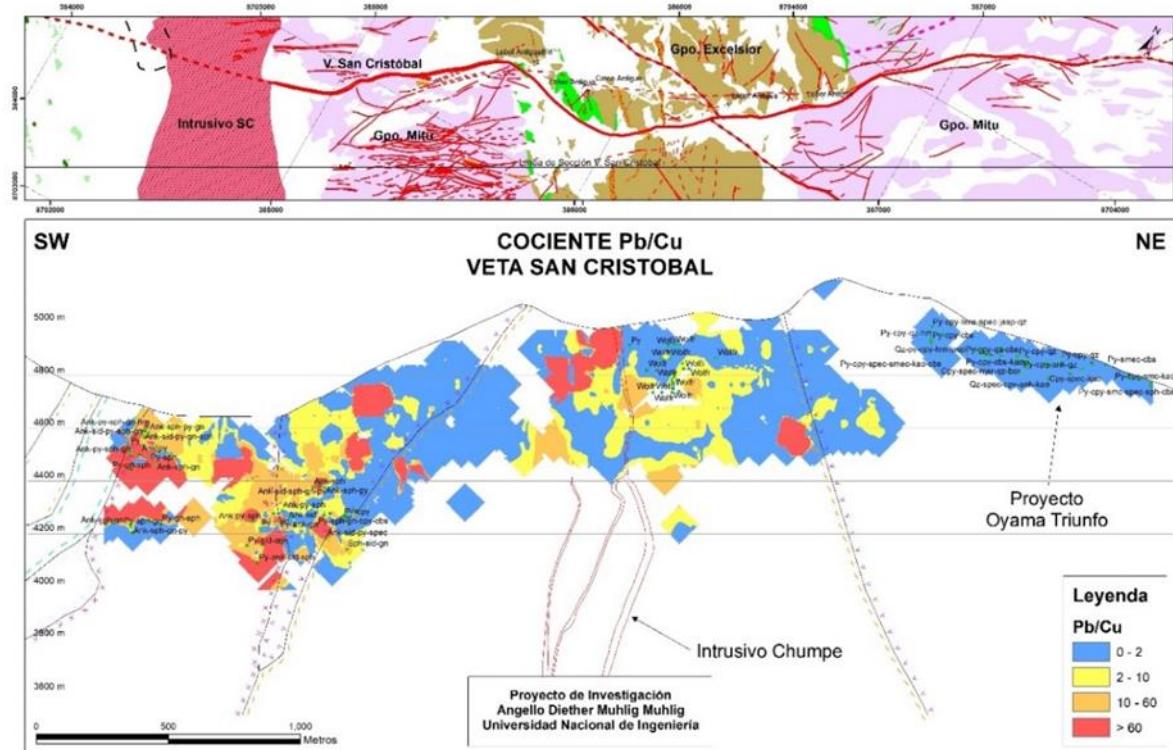
Fuente: Elaboración propia

Según la sección de cocientes metálicos de Pb/Zn de la veta San Cristóbal, observamos la misma distribución que el cociente metálico Ag/Zn, que la zona de mayor temperatura se encuentra en el flanco suroeste de la veta San Cristóbal, en la parte central por debajo de los 4200 msnm y hacia la profundidad de la zona de Oyama Triunfo, según las líneas graficadas. La zona de menor temperatura se encuentra en la zona central y al NE hacia la superficie. Al igual que el análisis del cociente metálico Ag/Zn, la zona prospectiva se encuentra hacia ambos flancos de la veta (SW y NE). Para la zona de mayor temperatura aislada dentro de una zona de menor temperatura, al suroeste de Oyama Triunfo, encontramos una zona prospectiva que posiblemente esté relacionada con el

intrusivo Chumpe. Las porciones de mayor temperatura dentro de la zona de menor temperatura vienen a ser la evidencia que el fluido inicialmente era de mayor temperatura y hubo sobreimposición de un evento más frío, generando contracción en el sistema y dejó remanentes de estas zonas de alta temperatura en el sistema, los cuales no se encuentran interconectadas con otras zonas de mayor temperatura.

Figura 102

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Cu. Veta San Cristóbal



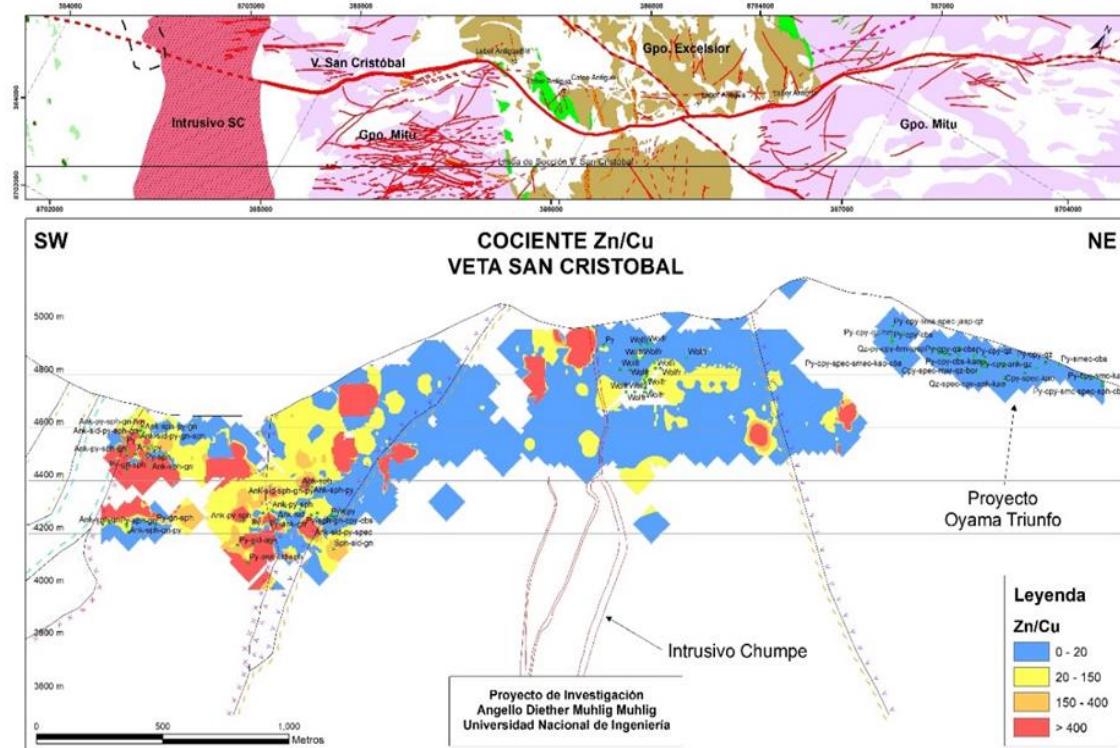
Fuente: Elaboración propia

Según la sección de cocientes metálicos de Pb/Cu de la veta San Cristóbal, el patrón observado es diferente a lo que vimos en el cociente metálico Ag/Zn y Pb/Zn. Lo primero que podemos concluir es que la veta San Cristóbal ha sufrido múltiples eventos de contracción y expansión del sistema, no dejando un patrón claro observable y una analogía entre los cocientes estudiados. La razón de esta variación en los cocientes metálicos podría estar relacionada con el intrusivo Chumpe y la interacción de la veta San Cristóbal con otras vetas aledañas. Observamos que la parte central de la veta, cerca al intrusivo Chumpe es una zona de mayor temperatura con remanentes de zonas de menor temperatura, evidenciando un enriquecimiento de Cu y W (según evidencias de los

isovalores de Cu y registros de sondajes con presencia de Wolframita). Si extraemos el contenido de Cu, tendríamos una zona de menor temperatura que en eventos tempranos se habría formado la mineralización de la veta con contenido de Pb según los isovalores de Pb. Esto es una evidencia clara de múltiples eventos de sobreimposición. Por lo tanto, sin considerar este posible evento de enriquecimiento de Cu y W en la parte central de la veta, la correlación del cociente Pb/Cu con el cociente Ag/Zn y Pb/Zn tendría mayor analogía. Es decir, la evidencia de la zona de mayor temperatura estaría a mayor profundidad según las líneas graficadas en los cocientes Ag/Zn y Pb/Zn.

Figura 103

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Zn/Cu. Veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia

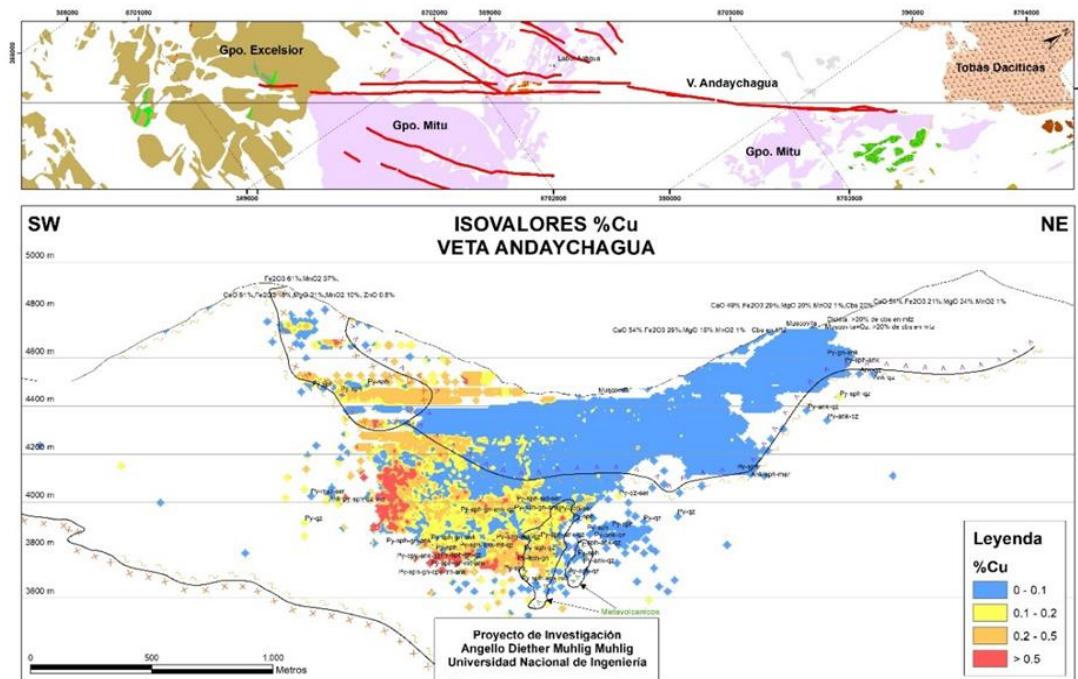
Según la sección de cocientes metálicos de Zn/Cu de la veta San Cristóbal, el patrón observado es diferente a lo que vimos en el cociente metálico Ag/Zn y Pb/Zn, similar a lo observado en el cociente Pb/Cu. Lo primero que podemos concluir es que la veta San Cristóbal ha sufrido múltiples eventos de contracción y expansión del sistema, no dejando un patrón claro observable y una analogía entre los cocientes estudiados. La razón de esta variación en los cocientes metálicos podría estar relacionada con el intrusivo Chumpe y la

interacción de la veta San Cristóbal con otras vetas aledañas. Observamos que la parte central de la veta, cerca al intrusivo Chumpe es una zona de mayor temperatura con remanentes de zonas de menor temperatura, evidenciando un enriquecimiento de Cu y W (según evidencias de los isovalores de Cu y registros de sondajes con presencia de Wolframita). Si extraemos el contenido de Cu, tendríamos una zona de menor temperatura que en eventos tempranos se habría formado la mineralización de la veta con contenido menores de Zn según los isovalores de Zn. Esto es una evidencia clara de múltiples eventos de sobreimposición. Por lo tanto, sin considerar este posible evento de enriquecimiento de Cu y W en la parte central de la veta, la correlación del cociente Zn/Cu con el cociente Ag/Zn y Pb/Zn tendría mayor analogía. Es decir, la evidencia de la zona de mayor temperatura estaría a mayor profundidad según las líneas graficadas en los cocientes Ag/Zn y Pb/Zn.

4.2.2 Veta Andaychagua

Figura 104

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Cu. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Según la sección isovalórica de Cu de la veta Andaychagua, observamos que la mayor concentración de Cu se encuentra en el flanco suroeste de la veta hacia la zona central en profundidad, desde los 4200 m hasta los 3700 m aproximadamente.

La zona con alto contenido de Cu está restringida en el Gpo. Excelsior, cerca al contacto con el Gpo. Mitu y cerca de los contactos de los Metavolcánicos.

Añadiendo el ensamble de mineralización de la veta según los registros geológicos tomados, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Cu se relaciona con la mineralización de calcopirita.

Según los isovalores, se genera zona prospectiva de Cu en profundidad con dirección hacia el suroeste. La zona con alto contenido de Cu representa posiblemente el núcleo del fluido mineralizante de la veta Andaychagua.

Más adelante se realizará una comparación de la zona de Cu con los cocientes metálicos para determinar la zona de mayor temperatura en la veta Andaychagua.

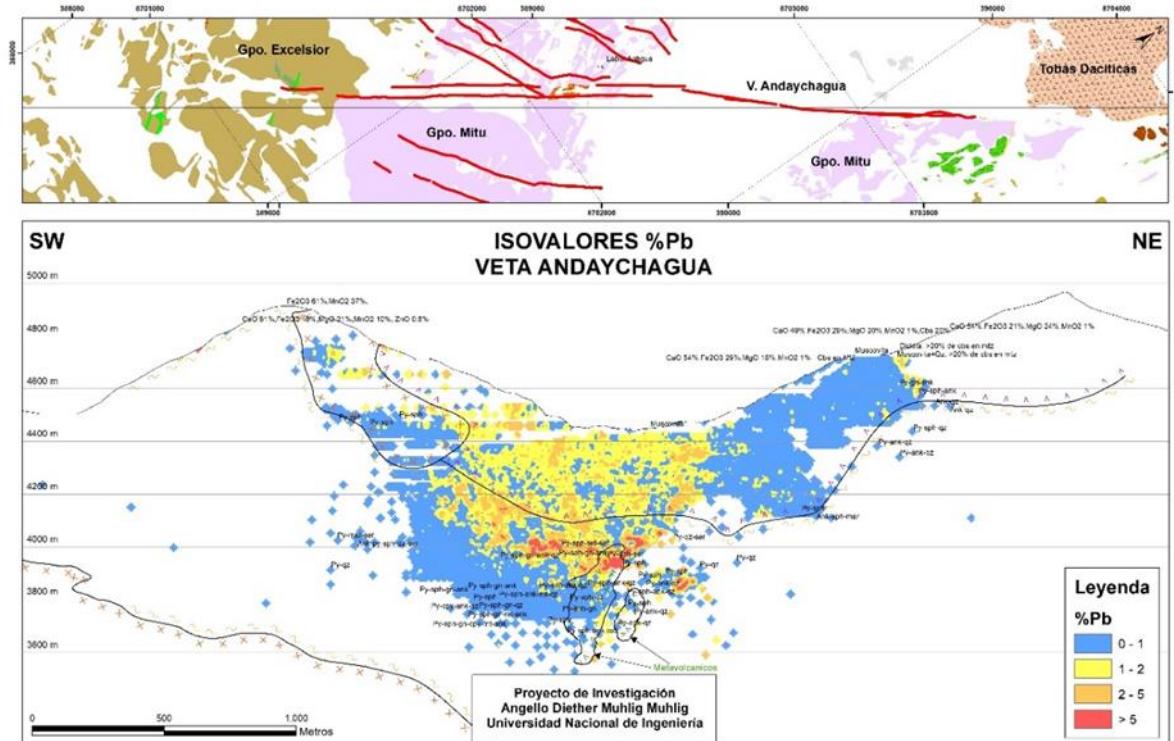
Cuando se tiene la zona caliente de Cu, el desarrollo de los extremos de la veta de Zn-Pb hacia uno y otro lado no van a ser muy diferentes.

Según datos estadísticos, se ha determinado que el desarrollo del zoneamiento mineralógico de la veta es aproximadamente entre el 50% y 60% del desarrollo del otro extremo del zoneamiento mineralógico de la veta, siendo el peor escenario un desarrollo del 35%. Nunca se ve un desarrollo menor al 35%.

El desarrollo mínimo en ambos extremos de la veta es de 35% en comparación. Las razones por la cual, en algunas ocasiones, el desarrollo de Zn-Pb en una veta cordillerana polimetálica es diferente, se debe a factores como: Geoquímica de la roca encajonante, sistemas de fallas, etc.

Figura 105

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Pb. Veta Andaychagua



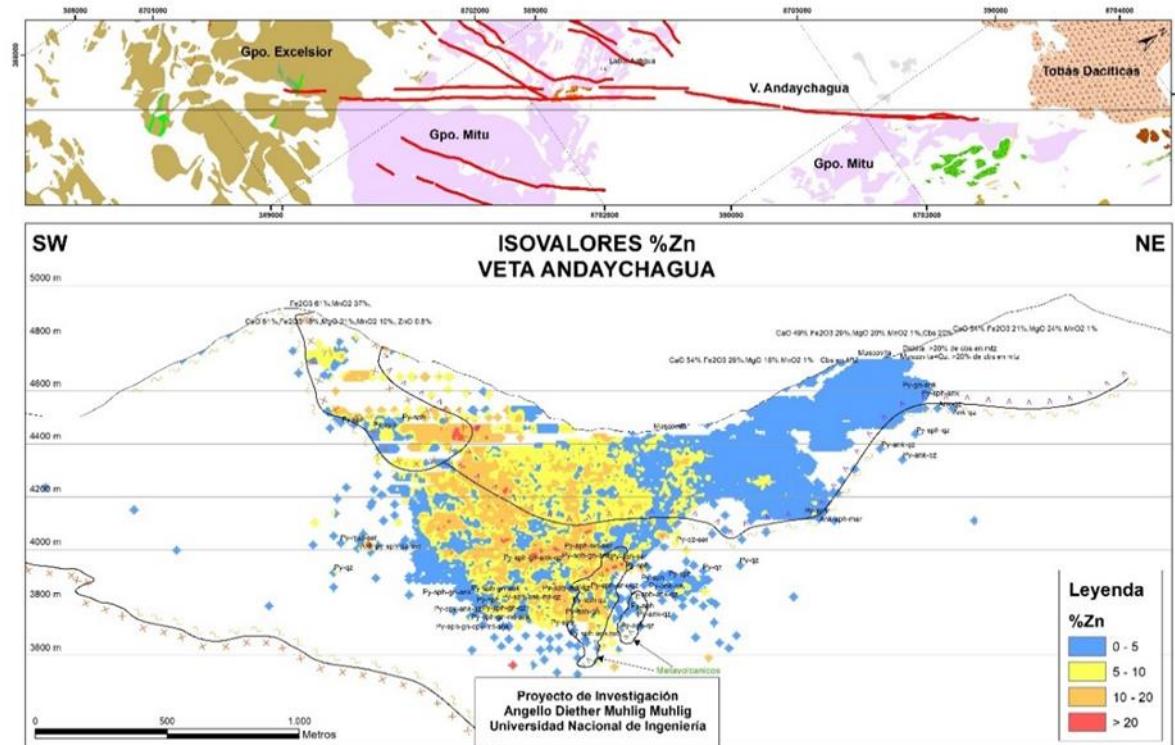
Fuente: Elaboración propia

Según la sección isovalórica de Pb de la veta Andaychagua, observamos que la mayor concentración de Pb se encuentra en el flanco noreste de la veta hacia la zona central en profundidad, desde los 4100 m hasta los 3800 m aproximadamente, como se puede apreciar en las líneas punteadas graficadas.

La zona con alto contenido de Pb está restringida en el Gpo. Excelsior, cerca al contacto con el Gpo. Mitu y cerca de los contactos de los Metavolcánicos. Añadiendo el ensamble de mineralización de la veta según los registros geológicos tomados, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Pb se relaciona con la mineralización de galena.

Figura 106

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Zn. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

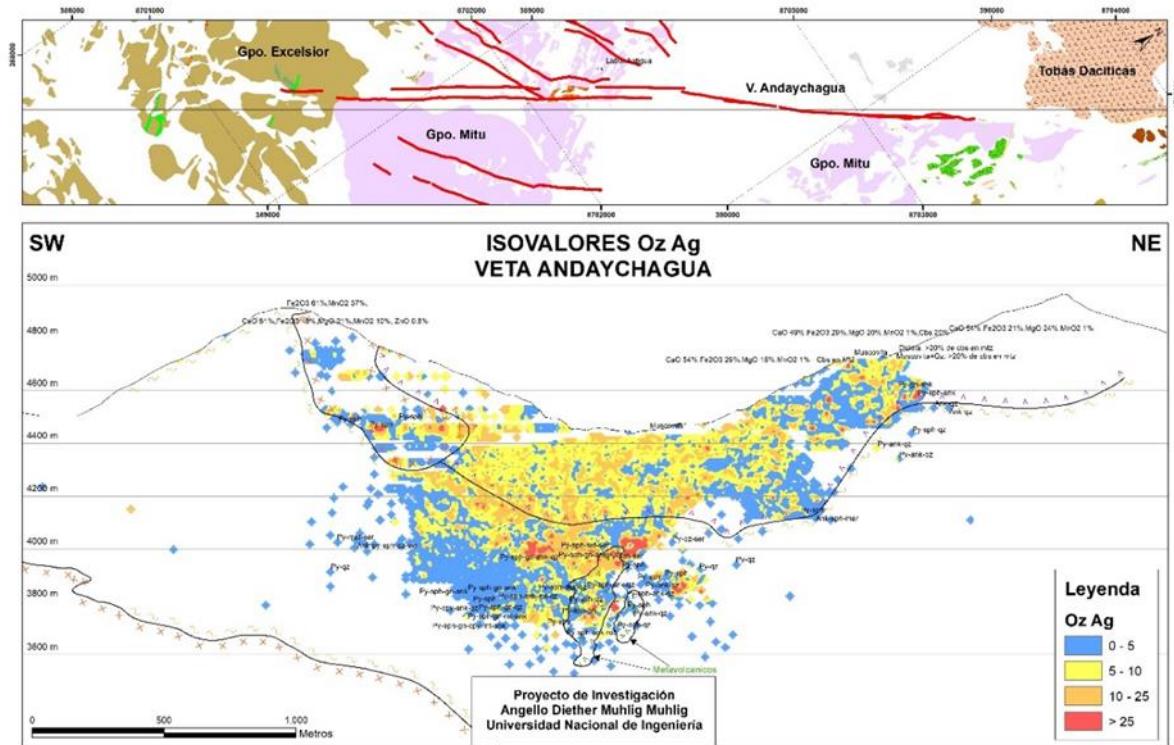
Según la sección isovalórica de Zn de la veta Andaychagua, observamos que la mayor concentración de Zn proviene desde el noreste hacia la zona central en profundidad, desde los 4500 m hasta los 3700 m aproximadamente, como se puede apreciar en las líneas punteadas graficadas.

La zona con alto contenido de Zn se encuentra en el Gpo. Excelsior, en el Gpo. Mitu, los Metavolcánicos y el intrusivo Andaychagua.

Añadiendo el ensamble de mineralización de la veta según los registros geológicos tomados, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Zn se relaciona con la mineralización de esfalerita.

Figura 107

Análisis y discusión de la sección isovalórica de Ag. Veta Andaychagua

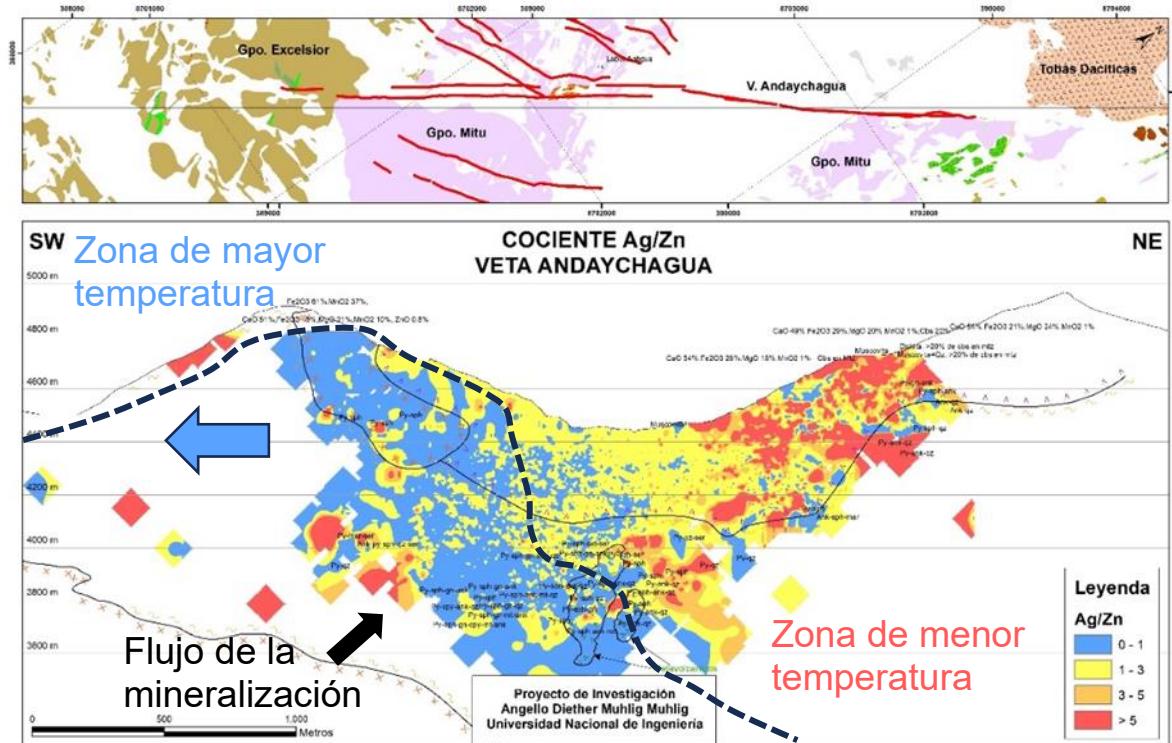


Fuente: Elaboración propia

Según la sección isovalórica de Ag de la veta Andaychagua, observamos que la mayor concentración de Ag proviene desde la zona central de la veta en profundidad, desde los 4100 m hasta los 3700 m aproximadamente, como se puede apreciar en las líneas punteadas graficadas. La zona con alto contenido de Ag se encuentra en el Gpo. Excelsior, cerca de los Metavolcánicos y parte en el Gpo. Mitu. Añadiendo el ensamble de mineralización de la veta según los registros geológicos tomados, se puede apreciar que la zona con mayor contenido metálico de Ag se relaciona con la mineralización de sulfosales de plata.

Figura 108

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Ag/Zn. Veta Andaychagua

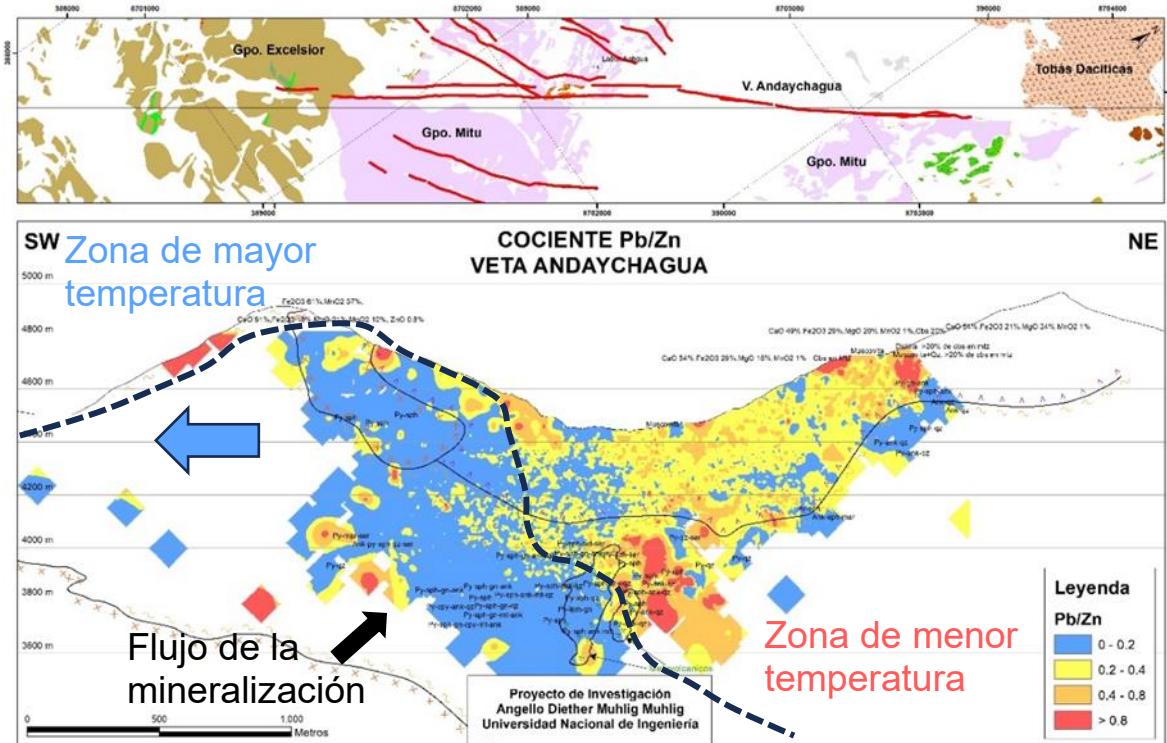


Fuente: Elaboración propia

Según la sección de cocientes metálicos de Ag/Zn de la veta Andaychagua, observamos que la zona de mayor temperatura se encuentra en el flanco suroeste de la veta Andaychagua según la línea graficada. La zona de menor temperatura se encuentra en el flanco noreste de la veta. Por lo tanto, la zona prospectiva se encuentra básicamente en el flanco suroeste de la veta. Las porciones de menor temperatura dentro de una zona de mayor temperatura sobreimpuesta están relacionadas a procesos de contracción de la veta donde existe sobreimposición de diferentes eventos mineralizantes en la veta. Se puede concluir que el posible flujo mineralizante de la veta Andaychagua (enfriamiento del fluido desde la zona de mayor temperatura hacia la zona de menor temperatura) ocurre desde el suroeste hacia el noreste. Por lo tanto, el desarrollo del extremo suroeste de la veta es prospectiva viendo el desarrollo de la zona de mayor temperatura hacia el suroeste. Para este cociente metálico, se utilizó rangos arbitrarios, debido a que los rangos estadísticos no graficaban un buen gradiente geoquímico para el análisis respectivo.

Figura 109

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Zn. Veta Andaychagua

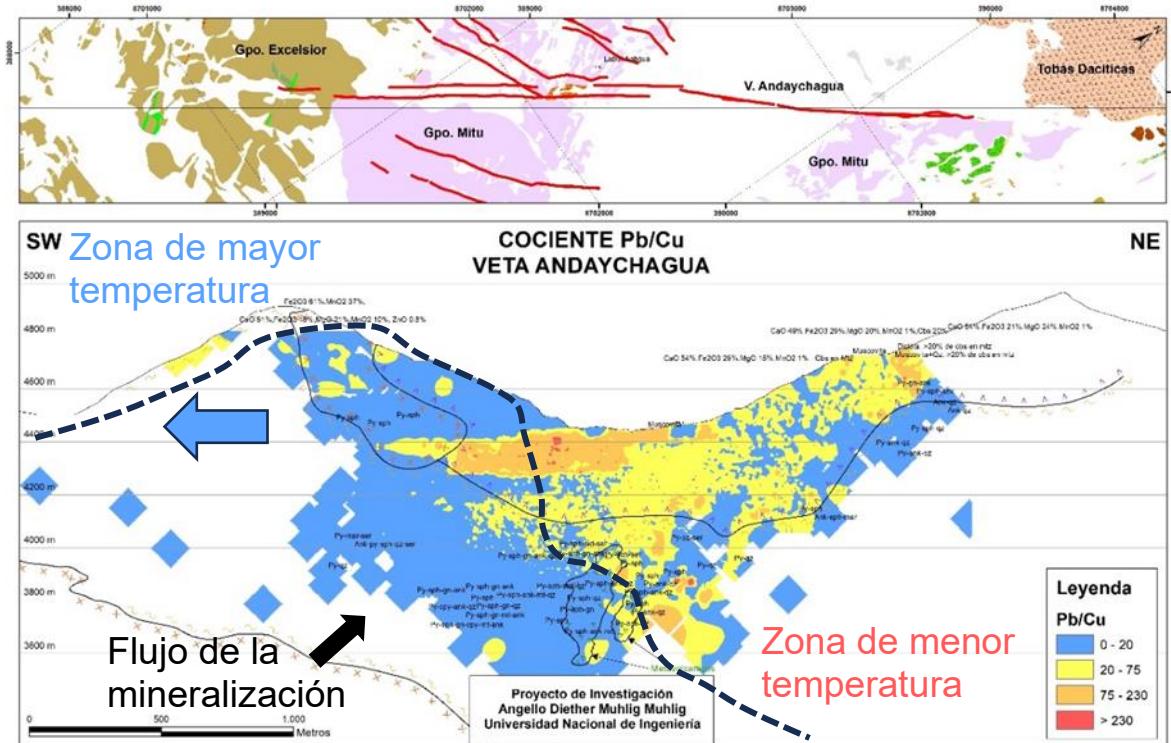


Fuente: Elaboración propia

Según la sección de cocientes metálicos de Pb/Zn de la veta Andaychagua, observamos que la zona de mayor temperatura se encuentra en el flanco suroeste de la veta Andaychagua según la línea graficada. El patrón observado en el cociente Pb/Zn es el mismo patrón que se observó en el cociente Ag/Zn, por lo tanto, tendrían las mismas conclusiones. La zona de menor temperatura se encuentra en el flanco noreste de la veta. Por lo tanto, la zona prospectiva se encuentra básicamente en el flanco suroeste de la veta. Las porciones de menor temperatura dentro de una zona de mayor temperatura sobreimpuesta están relacionadas a procesos de contracción de la veta donde existe sobreimposición de diferentes eventos mineralizantes en la veta. Se puede concluir que el posible flujo mineralizante de la veta Andaychagua (enfriamiento del fluido desde la zona de mayor temperatura hacia la zona de menor temperatura) ocurre desde el suroeste hacia el noreste. Por lo tanto, el desarrollo del extremo suroeste de la veta es prospectiva viendo el desarrollo de la zona de mayor temperatura hacia el suroeste.

Figura 110

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Pb/Cu. Veta Andaychagua

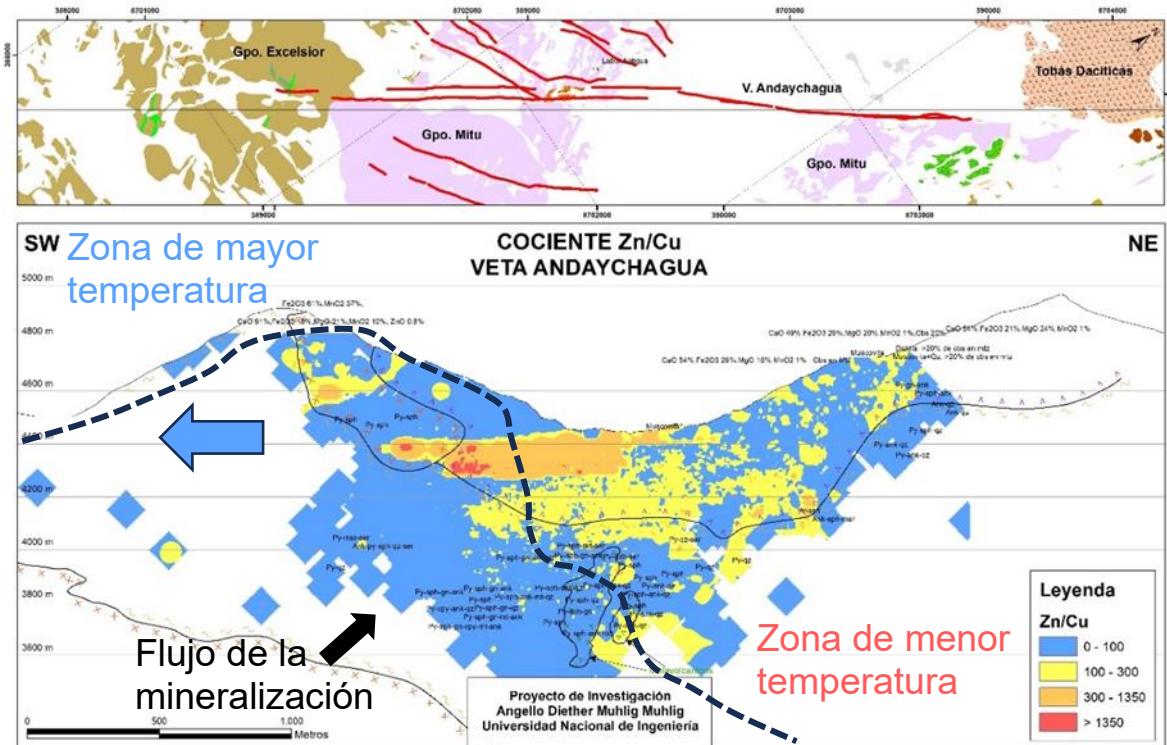


Fuente: Elaboración propia

Según la sección de cocientes metálicos de Pb/Cu de la veta Andaychagua, observamos que la zona de mayor temperatura se encuentra en el flanco suroeste de la veta Andaychagua según la línea graficada. El patrón observado en el cociente Pb/Cu es el mismo patrón que se observó en el cociente Pb/Zn, por lo tanto, tendrían las mismas conclusiones. La zona de menor temperatura se encuentra en el flanco noreste de la veta. Por lo tanto, la zona prospectiva se encuentra básicamente en el flanco suroeste de la veta. Las porciones de menor temperatura dentro de una zona de mayor temperatura sobreimpuesta están relacionadas a procesos de contracción de la veta donde existe sobreimposición de diferentes eventos mineralizantes en la veta. Se puede concluir que el posible flujo mineralizante de la veta Andaychagua (enfriamiento del fluido desde la zona de mayor temperatura hacia la zona de menor temperatura) ocurre desde el suroeste hacia el noreste. Por lo tanto, el desarrollo del extremo suroeste de la veta es prospectiva viendo el desarrollo de la zona de mayor temperatura hacia el suroeste.

Figura 111

Análisis y discusión de la sección de cocientes metálicos de Zn/Cu. Veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

Según la sección de cocientes metálicos de Zn/Cu de la veta Andaychagua, observamos que la zona de mayor temperatura se encuentra en el flanco suroeste de la veta Andaychagua según la línea graficada. El patrón observado en el cociente Zn/Cu es el mismo patrón que se observó en el cociente Pb/Cu, por lo tanto, tendrían las mismas conclusiones. La zona de menor temperatura se encuentra en el flanco noreste de la veta. Por lo tanto, la zona prospectiva se encuentra básicamente en el flanco suroeste de la veta. Las porciones de menor temperatura dentro de una zona de mayor temperatura sobreimpuesta están relacionadas a procesos de contracción de la veta donde existe sobreimposición de diferentes eventos mineralizantes en la veta. Se puede concluir que el posible flujo mineralizante de la veta Andaychagua (enfriamiento del fluido desde la zona de mayor temperatura hacia la zona de menor temperatura) ocurre desde el suroeste hacia el noreste. Por lo tanto, el desarrollo del extremo suroeste de la veta es prospectiva viendo el desarrollo de la zona de mayor temperatura hacia el suroeste.

4.2.3 Comentarios adicionales

Cuando se aprecian manchas hacia los bordes de la veta donde ha disminuido la temperatura del fluido, pero estas manchan demuestran un aumento de temperatura del fluido, posiblemente se debe a estadios de retroceso (colapso del sistema) o también conocido como sobreimposición de eventos (telescoping). Este aumento de temperatura del fluido es llamado proceso de expansión de fluido mineralizante. Es importante reconocer si estas expresiones distales aún tienen mineralización de Zn-Pb-Cu-Ag. Estos eventos se entienden como zonas de Cu que se meten en zonas de Zn-Pb (overprint) y es posible homogenizar estas zonas haciendo métodos de sustracción de valores en cocientes para separar las fases de sobreimposición.

Este escenario también es una posibilidad que suceda, tanto para la veta Andaychagua como para la veta San Cristóbal. Sin embargo, según el análisis de cocientes metálicos, este proceso no sucede.

Una primera interpretación que se puede concluir es que inicialmente el fluido es de mayor temperatura y luego disminuye la temperatura de casi todo el fluido mineralizante (proceso de contracción), dejando porciones de zonas de mayor temperatura donde el fluido no disminuyó su temperatura. Es más probable que esta interpretación sea verdadera según el análisis de cocientes metálicos. Se mineralizó con alta temperatura (300°C) y luego toda la parte alta de menor temperatura se ha contraído (telescoping) y se ha sobreimpuesto en gran parte a la zona de mayor temperatura, dejando porciones de zonas de mayor temperatura.

Es la mejor explicación, debido a que las zonas de mayor temperatura no están interconectadas entre sí.

El pulso de menor temperatura se ha sobreimpuesto sobre el pulso de mayor temperatura, dejando porciones de mayor temperatura en los cocientes.

Para definir el zoneamiento mineralógico de una veta en base a los cocientes metálicos, podemos decir lo siguiente:

Veta Andaychagua: Para definir el límite de mineralización del extremo de la veta Andaychagua, podemos usar una sección de cocientes metálicos asistido con los resultados históricos de registros geológicos en sondajes y secciones de isovalores. Elegimos la sección de cociente Pb/Zn y los isovalores de Cu.

Figura 112

Definición del zoneamiento mineralógico de la veta Andaychagua en la sección del cociente metálico Pb/Zn



Fuente: Elaboración propia

Según los registros geológicos históricos en Andaychagua, se ha evidenciado que en el extremo este de la veta Andaychagua no existen cortes con mineralización económica, incluso en el desarrollo de las labores subterráneas que interceptan a la veta Andaychagua.

En la cota 4400m, se observa que no existe mineralización económica hacia la superficie. También existen sondajes históricos que muestran que las leyes de la veta son marginales (baja ley). De modo similar, el frente de mineralización hacia el lado este según la sección de isovalores de Cu es menor a 0.1% de Cu.

Hacia el este de la veta Andaychagua, en superficie, se observa en la cresta que la veta Andaychagua está constituida, en su mayoría, por carbonatos de Fe, Mg, Mn y Zn, con óxidos de Fe y Mn, en forma de abanico desde superficie hacia profundidad. No existen óxidos masivos de Fe que indiquen remanentes de sulfuros (galena y esfalerita). En base a estos resultados, el límite del extremo este de la veta sería el que vemos en la sección. Las dimensiones del extremo este de la veta Andaychagua serían de aproximadamente 1.8km en la horizontal. Se observa porciones de la zona lateral de la veta con cociente entre 0.2 y 0.4 (porciones amarillas) que podrían estar indicando que la zona con cociente bajo (porciones azules) se esté cerrando, quedando como una isla hacia el extremo este del límite de mineralización.

Se observa los cocientes de Pb/Zn y los isovalores de Cu, el extremo oeste de la veta tiene cocientes menores (zona de mayor temperatura) y se observa que los bordes contienen información sobre presencia de sulfuros económicos. En base a este enunciado, podemos determinar dos posibles escenarios.

El primer escenario es que el límite de mineralización este sea la porción mayor de mineralización. Esto quiere decir que las dimensiones de la porción oeste sean, como mínimo, la tercera parte de la porción mayor (extremo este), es decir, 0.6km en la horizontal. Esta zona se encuentra abierta para continuar su desarrollo como zona prospectiva a explorar.

El segundo escenario es que la porción este sea la menor. Esto quiere decir que las dimensiones de la porción este sean, como máximo, la tercera parte de la porción mayor (extremo oeste), es decir, 5.4km en la horizontal.

Esta zona se encuentra abierta para continuar su desarrollo como zona prospectiva a explorar.

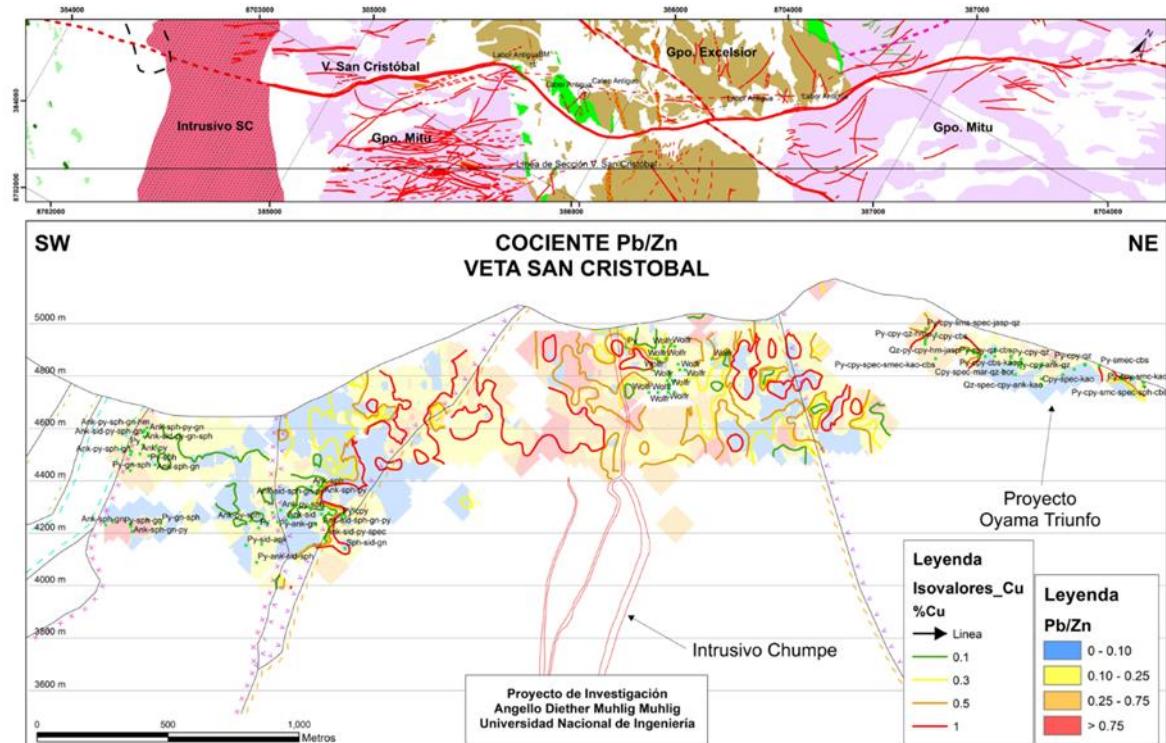
En la sección de isovalores de Cu de la veta Andaychagua, podemos apreciar que los valores de Cu mayores a 0.5% se encuentran hacia el oeste, además existen registros de mineralización con sulfuros económicos en el borde oeste de la sección de isovalores

y cocientes y se encuentra una zona abierta con altos valores de Cu, dando sustento a que esa zona es prospectiva para explorar.

Veta San Cristóbal: Para definir el límite de mineralización del extremo de la veta San Cristóbal, utilizaremos la sección de cocientes metálicos Pb/Zn y los isovalores de Cu, utilizando los mismos métodos y principios que se usaron para la veta Andaychagua.

Figura 113

Definición del límite de mineralización de la veta San Cristóbal en la sección del cociente metálico Pb/Zn



Fuente: Elaboración propia

En la sección del cociente metálico Pb/Zn e isovalores de Cu de la veta San Cristóbal, se observa que para ambos lados existen zonas con cocientes menores entre 0 y 0.10, superpuestas por zonas con cocientes mayores (mayores a 0.75), hacia el este, cerca al contacto del Gpo. Mitu, Gpo. Excelsior y hacia el Proyecto Oyama Triunfo. Acompañado con esta interpretación, se observan los registros geológicos históricos, que muestran sulfuros económicos en el borde de las secciones de cocientes metálicos e isovalores. En base a lo descrito, podemos concluir que el límite de mineralización en ambos extremos de la veta san Cristóbal no se encuentran en nuestra zona de análisis.

Esto es importante como exploración, ya que tenemos mucha área como zona prospectiva dentro de la veta San Cristóbal, hasta encontrar el límite de mineralización de la veta San Cristóbal.

Para la zona de la porción este tenemos el Proyecto Oyama Triunfo, proyecto el cual tiene campañas de perforación pero que aún tiene potencial por explorar en profundidad y hacia el este, según los registros de logeo y mapeo geológico. Para la zona del extremo oeste tenemos las calizas del Gpo. Pucará. Según los registros geológicos, se han encontrado mineralización económica en las calizas del Pucará en forma de cuerpos y mantos (Cuerpo Escondida), lo que indica que la zona oeste también es prospectiva para la veta San Cristóbal, ya que serviría como alimentador de los mantos y cuerpos encontrados en las calizas. No se puede definir las dimensiones del área prospectiva hacia el este y oeste de la veta, sin embargo, a medida que se continúe la exploración y se realice una buena descripción mineralógica de la veta, podemos definir los límites de mineralización de la veta. En base a todas las secciones de isovalores de San Cristóbal, tenemos mineralización de Cu y Ag a lo largo de toda la veta reconocida en un 80% aproximadamente, con mayor concentración en el Proyecto Oyama Triunfo, mineralización de Zn hacia el oeste, cerca al contacto con el intrusivo San Cristóbal (Proyecto vetas Kike y Aracely) y mineralización de Pb en el centro de la veta reconocida en el proyecto Chumpe.

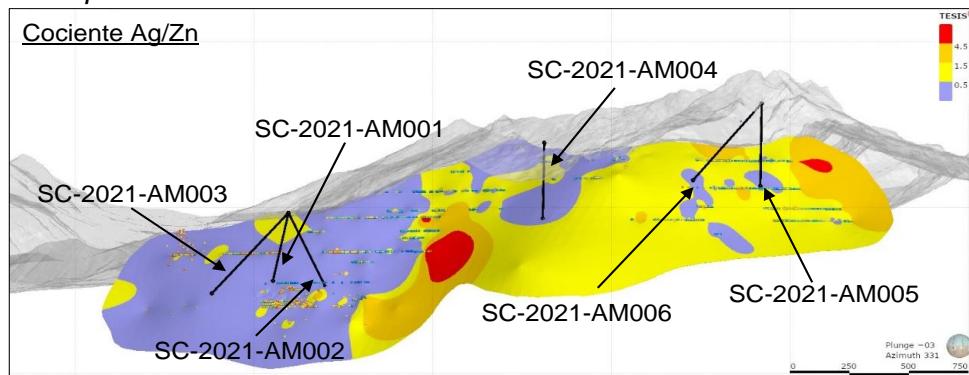
4.3 Aportes del trabajo de investigación

4.3.1 Programa de perforación

Según los resultados y análisis de las secciones de isovalores y cocientes metálicos, se propone un programa de perforación para la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua. Los datos de coordenadas, rumbo, buzamiento y profundidad fueron elegidos en base a los resultados del análisis de isovalores y cocientes metálicos, apuntando hacia las zonas de mayor temperatura que falta explorar.

Figura 114

Programa de perforación en la veta San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia

En base al análisis de isovalores y cocientes metálicos, se presenta la siguiente tabla como propuesta de perforación para la veta San Cristóbal:

Tabla 8

Programa de perforación veta San Cristóbal

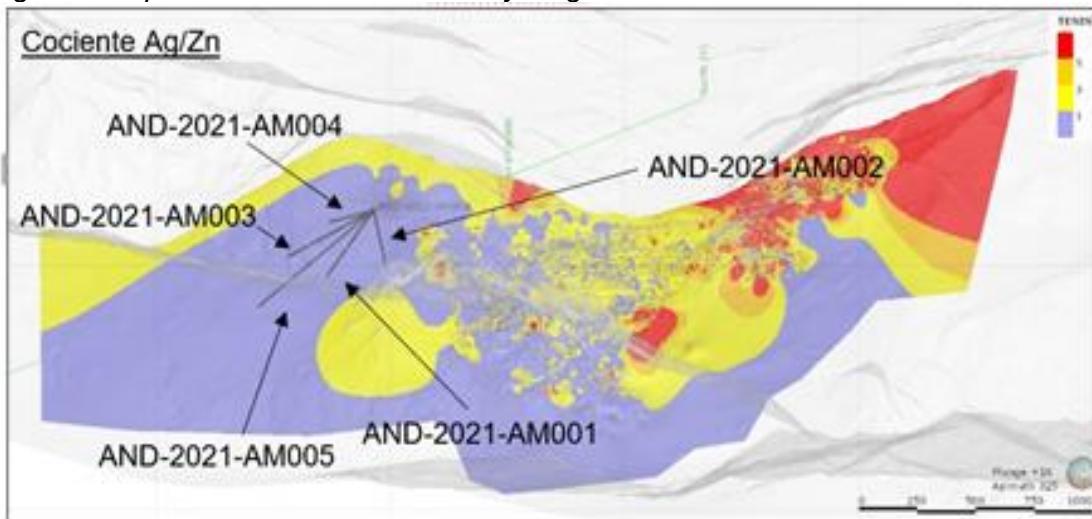
Drillhole Name	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Target Depth
SC-2021-AM001	384915.9563	8702457.272	4651.660338	0	45	450
SC-2021-AM002	384915.9563	8702457.272	4651.660338	320	40	450
SC-2021-AM003	384915.9563	8702457.272	4651.660338	290	35	600
SC-2021-AM004	386003.7679	8702710.603	49.51.480951	330	40	500
SC-2021-AM005	386732.4006	8703279.597	5138.226081	330	45	500
SC-2021-AM006	386732.4006	8703279.597	5138.226081	280	42	500

Fuente: Elaboración propia

La propuesta de perforación consta de una campaña de perforación de 3000 metros divididos en 6 sondajes.

Figura 115

Programa de perforación en la veta Andaychagua



Fuente: Elaboración propia

En base al análisis de isovalores y cocientes metálicos, se presenta la siguiente tabla como propuesta de perforación para la veta Andaychagua:

Tabla 9

Programa de perforación veta Andaychagua

Drillhole Name	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Target Depth
AND-2021-AM001	389088.9666	8701099.643	4702.214927	300	40	700
AND-2021-AM002	389088.9666	8701099.643	4702.214927	330	35	700
AND-2021-AM003	389088.9666	8701099.643	4702.214927	280	30	700
AND-2021-AM004	389088.9666	8701099.643	4702.214927	300	20	600
AND-2021-AM005	389088.9666	8701099.643	4702.214927	270	40	850

Fuente: Elaboración propia

La propuesta de perforación consta de una campaña de perforación de 3550 metros divididos en 5 sondajes.

Conclusiones

El análisis de isovalores y cocientes metálicos de una veta en un yacimiento cordillerano ha servido para encontrar nuevas zonas para explorar.

Las zonas con cocientes metálicos bajos en ambas vetas se habrían formado a mayor temperatura con respecto a otras porciones que tienen dichos cocientes con mayor valor numérico.

La identificación de las zonas de mayor temperatura permite encontrar una porción central de referencia espacial cuando se quiere explorar la veta a escala de toda su extensión.

Los isovalores de Cu con mayor valor numérico se encuentran hacia los sectores con cocientes de Pb/Zn de menor valor numérico en la veta Andaychagua, soportando que estamos en una zona de mayor temperatura. A partir de la zona de mayor temperatura, existe una disminución de temperatura del fluido hacia los extremos de la veta, generando porciones con cocientes de Pb/Zn de mayor valor numérico, es decir, zona de menor temperatura.

En un contexto general, cuando se aprecian inversiones en los patrones de distribución de cocientes, puede ser explicado por el avance o retroceso de los fluidos mineralizantes (expansión o contracción del sistema hidrotermal) o también conocido como sobreimposición de eventos (“telescoping”) (Einaudi M. T., Environment of ore deposition at Cerro de Pasco, Perú. Econ.Geol., v. 72, p. 893-924, 1977). La sobreimposición de eventos se podría reconocer observando detalladamente las porciones de cocientes metálicos de las vetas, como sucede en San Cristóbal y Andaychagua según los resultados obtenidos.

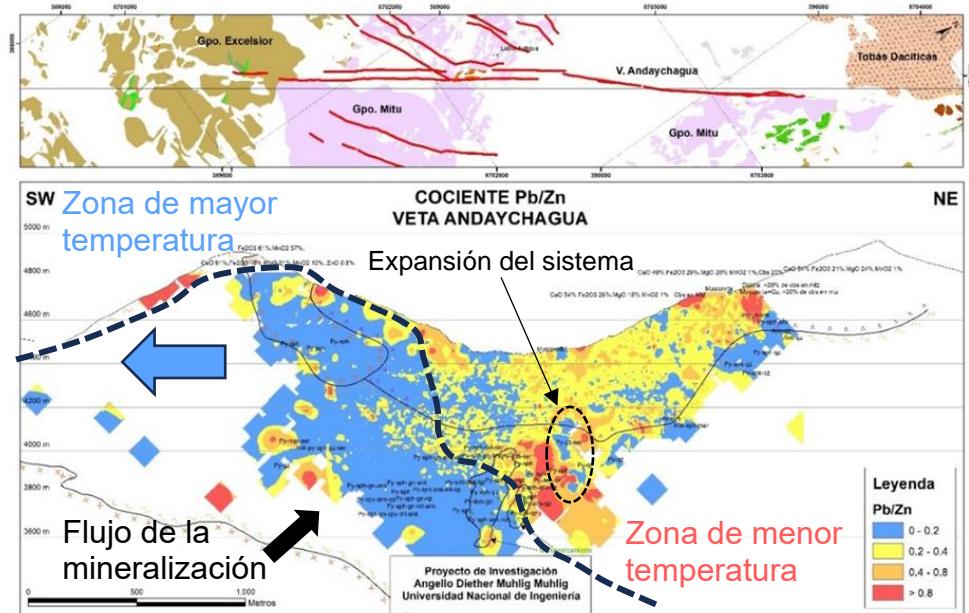
Tomando como referencia la zona de mayor temperatura, esto es, la zona de menor cociente metálico (e.g., Ag/Zn, Pb/Zn), podemos distinguir el grado de desarrollo de las porciones laterales de Zn-Pb-Ag en términos de sus dimensiones. De este modo, se puede

distinguir la porción que muestra un aparente menor desarrollo espacial con respecto a la otra.

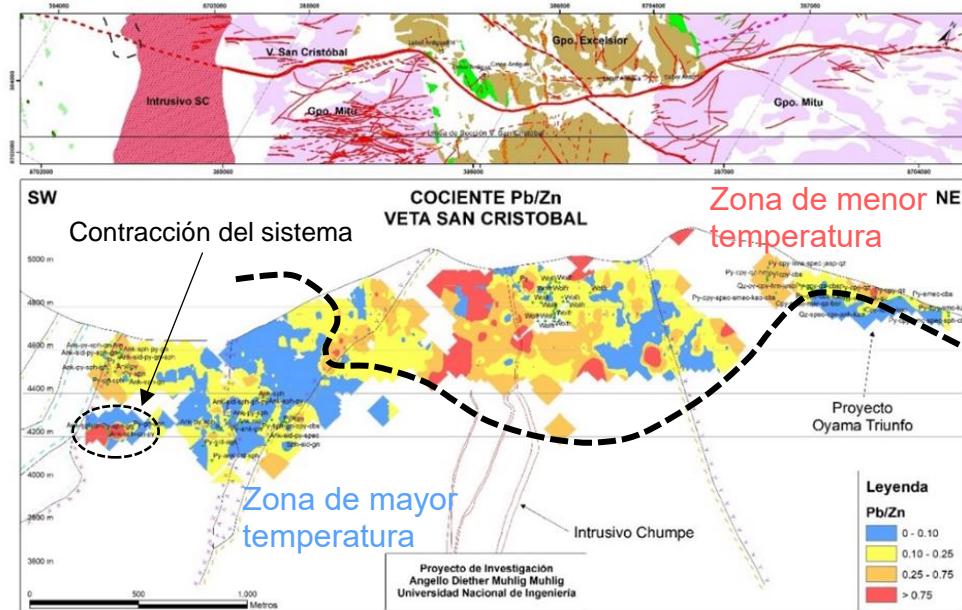
En base a los resultados obtenidos del estudio de los cocientes metálicos, se concluye que en la veta San Cristóbal no se conoce el límite de mineralización lateral, por lo que no se tiene definida las dimensiones de sus porciones extremas como en el caso de la veta Andaychagua. Esto es muy importante ya que la prospectividad estaría abierta hacia ambos lados de la veta (SW y NE).

En base a los resultados obtenidos del estudio de los cocientes metálicos, se concluye que en la veta Andaychagua, sabiendo que el límite de la mineralización ha sido alcanzado hacia el este y conociendo las dimensiones del extremo este de la veta (1.8 Km en la horizontal) se tienen dos posibles escenarios. El primer escenario sugiere que el extremo este sea considerado como la porción mayor. En este caso, tenemos zona prospectiva abierta por explorar hacia el extremo oeste, con dimensiones mínimas que alcanzan los 0.6 Km en la horizontal desde el límite de la porción este hacia la porción oeste. El segundo escenario sugiere que el extremo este sea considerado como la porción menor. En este caso, tenemos zona prospectiva abierta por explorar hacia el extremo oeste, con dimensiones máximas que alcanzan los 5.4 Km en la horizontal, que serían tres veces las dimensiones del extremo este, ya que la porción este solo tendría la tercera parte del extremo oeste al ser la porción menor. Sin embargo, este escenario es poco probable dado que en superficie no se observan afloramientos más allá de los 2.5 Km en la horizontal hacia el SW. Por lo tanto, el rango de dimensiones de la zona prospectiva en el extremo oeste de la veta Andaychagua estaría entre los 0.6 Km y los 2.5 Km.

La expansión del sistema hidrotermal se puede observar en los remanentes de cocientes menores (zona de mayor temperatura) en una zona con cocientes mayores (zona de menor temperatura), es decir, aumento de temperatura del sistema. Utilizaremos como ejemplo a la veta Andaychagua.



La contracción del sistema hidrotermal se puede observar en los remanentes de cocientes mayores (zona de menor temperatura) en una zona con cocientes menores (zona de mayor temperatura), es decir, disminución de temperatura del sistema. Utilizaremos como ejemplo a la veta San Cristóbal.



Recomendaciones

Realizar un análisis petrográfico detallado y caracterización mineralógica de todas las muestras posible de la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua para complementar el estudio de isovalores y cocientes metálicos.

Realizar un estudio de inclusiones fluidas y microtermometría para complementar el estudio de isovalores y cocientes metálicos.

Es recomendable seguir alimentando la base de datos de las leyes de veta para afinar mejor los modelos de isovalores y cocientes metálicos.

Realizar una campaña de relogueo de los sondajes que impactan la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua, ayudarían a mejorar el entendimiento del zoneamiento mineralógico de la veta, para realizar una comparación con los resultados de las secciones de isovalores y cocientes metálicos.

Realizar una campaña de perforación a las zonas de mayor temperatura a lo largo de la veta y en zonas de rocas carbonatadas, según la vectorización de los fluidos mineralizantes, para confirmar los beneficios del uso de isovalores y cocientes metálicos.

Realizar un trabajo detallado de la geología estructural de la zona estudiada, enfocada en la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua, debido a que existe un control estructural evidente en la zona de estudio y la geología estructural puede jugar un rol importante en el resultado de los isovalores y cocientes metálicos, ya que puede formar cúpulas y zonas de concentración mineralógica.

Referencias bibliográficas

- Alperin, M. (2013). *INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS GEOLOGICOS*. Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de la Plata.
- Bartlett, M. W. (1984). *Petrology and Genesis of Carbonate-Hosted Pb-Zn-Ag Ores, San Cristobal District, Department of Junin, Peru*. Junin - Peru: Oregon State University.
- Bendezú Juárez, A. (2007). *MINERALIZACIÓN TIPO PÓRFIDO DE Cu-Mo ASOCIADAS A VENAS CORDILLERANAS DE METALES BASE: TOROMOCHO-MOROCOCHA, DISTRITO DE MOROCHA, PERÚ*. Lima: Tesis - UNI.
- Bendezú Juárez, R. A. (2009). *Yacimientos de tipo cordillerano*. Lima: Volcan Compañía Minera.
- Bendezú, R. (2006). *Shallow polymetallic and precious metal mineralization associated to a Miocene diatreme-dome complex of the Peruvian Andes*. Lima: University of Geneva.
- Bernaola, R., Espinoza, S., Díaz, M., Figueroa, O., Farfán, C., & Fontboté, L. (2019). *Estadíos de mineralización en La Tapada, yacimiento cordillerano polimetálico Carhuacayán, Perú Central: su aplicación para modelar recursos y definir nuevos targets de exploración*. ProExplor 2019, 73-77.
- Beuchat, S. (2000). *Geochronological, structural, isotope and fluid inclusions constraints of the polymetallic Domo de Yauli district, Perú*. Yauli: Université de Genève.
- Beuchat, S., Moritz, R., Sartori, M., & Chiaradia, M. (2001). *High-precision geochronology and structural constraints on ore formation in the Zn-Pb-Ag-Cu Domo de Yauli district, central Perú*. Mineral Deposits, 1-4.
- Bissig, T., Ullrich, T. D., Tosdal, R. M., Friedman, R., & Ebert, S. (2007). *The time-space distribution of Eocene to Miocene magmatism in the central Peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications*. Journal of South American Earth Sciences, Elsevier, 16-35.

- Carámbula, M. (2003). *INTERPRETACION ESTADISTICA DE DATOS GEOQUIMICOS.* Geología , 1-39.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Fontboté, L., Guillong, M., & Heinrich, C. (2011). *Fluid evolution in zoned Cordilleran polymetallic veins - Insights from microthermometry and LA-ICP-MS of fluid inclusions.* Chemical Geology, 1-12.
- Cobbing, J., Quispesivana Q., L., Paz M., M., & INGEMMET. (1996). *Geología de los cuadrangulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores.* Lima: INGEMMET.
- Dalheimer, M. (1990). *The Zn-Pb-(Ag) Deposits Huaripampa and Carahuacra in the Mining District of San Cristóbal, Central Perú. Yauli: Stratabound Ore Deposits in the Andes.*
- del Pozo Mendoza, R. d. (1980). *Cocientes Metálicos: Un nuevo sistema de exploración en 2270. Distrito Minero Fresnillo, Zacatecas:* Trabajo de Tesis.
- Fontboté, L. (2009). *G4 Cordilleran (~ well zoned) base metal veins and replacement bodies as "normal" constituents of porphyry systems.* Lima: SEG-Honorary Lecture.
- Fontboté, L. (2013). *Zinc, Lead, Silver in Porphyry Systems From Byproducts to World Class Deposits "Cordilleran" or "Butte-type" deposits.* Geneva ore Deposits Group, 1-38.
- Fontboté, L. (2017). *Cordilleran Polymetallic Deposits as a Class in Porphyry Systems: Exploration implications.* SEG Honorary lecturer, 1-30.
- Fontboté, L., & Bendezú, R. (2009). *Cordilleran or Butte-type Veins and Replacement Bodies as a Deposit Class in Porphyry Systems.* Society of Geology Applied to Ore Deposits , 521-523.
- Guerra Seminario, K. (2010). *Threshold y Background.* Consultoría, 1-6.
- Guerra Seminario, K. (2013). *Procesamiento de Datos Geoquímicos y Control de Calidad en la Exploración Minera.* Consultoría, 1-87.
- Guerra Seminario, K. (2020). *GEOQUÍMICA APLICADA A LA PROSPECCION DE DEPOSITOS MINERALES.* SGA Perú Student Chapter, 1-29.

- Kobe, H. W. (1990). *Metallogenic Evolution of the Yauli Dome, Central Perú*. Yauli: University of Auckland.
- Kobe, H. W. (2000). *A Strata-Bound Ni-Co Arsenide/Sulphide Mineralization in the Paleozoic of the Yauli Dome, Central Peru*. The University of Auckland, 1-11.
- Lepry Jr., L. A. (1981). *THE STRUCTURAL GEOLOGY OF THE YAULI DOME REGION, CORDILLERA OCCIDENTAL, PERÚ*. Yauli: Tesis - The University of Arizona.
- Lisboa, H. (1998). *Etude de la veine 722 à Zn-Pb-Ag de la mine San Cristobal-Huaripampa (District minier de Domo de Yauli), Pérou central*. Yauli: Université de Genéve.
- Mégard, F. (1979). *Estudio Geológico de los Andes del Perú central. Boletín Nro. 8 Serie D. Estudios Especiales*, INGEMMET, 1-252.
- Minera, V. C. (2014). *Reporte de Reservas y Recursos Minerales San Cristóbal*. Yauli: Mina San Cristóbal.
- Minera, V. C. (2016). *Inventario de Reservas y Recursos*. Yauli: San Cristóbal.
- Morales Catata, P. B. (2014). *Cocientes Metálicos y Cálculo de reservas minerales de la veta Cinthia - Proyecto Minero Caracol S.A.C. Barranca - Lima*: Universidad Nacional del Altiplano.
- Morche, D. (2019). *Estudio Petrográfico en Andaychagua*. Yauli: Consultoría.
- Morche, D. (2020). *Estudio Petrográfico en San Cristóbal*. Yauli: Consultoría.
- Pastor Figueroa, J. A. (1932). *The mineralization in San Cristobal Mine*. Yauli: Tesis - The University of Arizona.
- Pérez Puig, C. R., Castroviejo, R., Alfonso Martín, D., & Costafreda Mustelier, J. L. (2011). *GEOTERMOMETRÍA, COCIENTES METÁLICOS Y DIRECCIONES DE FLUJO EN LA VETA ESPERANZA, DISTRITO HUACHOCOLPA (PERÚ)*. ISBN, 1-6.
- Petersen, U. (1965). *REGIONAL GEOLOGY AND MAJOR ORE DEPOSITS OF CENTRAL PERU*. United States: Economic Geology.
- Petersen, U. (1990). *Ore Distribution, Zoning, and Exploration of Hydrothermal Ore Deposits*. Economic Geology, 424-435.

Quispe Saez, J. W. (2018). *Caracterización Mineragráfica de la Veta 722, U.E.A. San Cristóbal - Yauli La Oroya. Yauli*: Tesis - Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Ramírez Bolívar, F. M. (2017). *Estudio geológico y mineralización de la unidad minera Carahuacra, proyecto de exploración y estimación de recursos de la veta mary - nv.1020. Yauli*: Tesis de grado.

S., J. D. (2014). *Correlación. Coeficiente de Correlación lineal de Pearson*, págs. 150-153. Stack overflow. (23 de Agosto de 2018). Stack overflow Boxplot. Stack overflow: Stucky, P. (2001). *La veine de Pb, Zn, Cu, Ag d'Andaychagua, Domo de Yauli,, Andes centrales, Pérou. Yauli*: Universite de Lausanne.

Tumialán de la Cruz, P. H. (2003). *Compendio de Yacimientos Minerales del Perú* (Vol. Boletín Nro.10 Serie B). Lima - Universidad Nacional de Ingeniería, Perú: Geología Económica del INGEMMET.

UTP. (2010). *El Threshold (TH) y background (BG)*. Docsity, 1-9.

Vila Godoy, Ñ. A. (2020). *Distribución mineralógica y composicional en las vetas cordilleranas de Zn-Pb-Ag-(Cu) en el distrito de San Cristóbal, domo de Yauli. Yauli*: Tesis de grado.

Virrueta Choque, A. (2020). *Isovalores, cocientes metálicos y dirección de flujo en la veta principal ramal piso 722, mina San Cristóbal. Yauli* : Tesis

Anexos

	Pag.
Anexo 1: Tabla de datos de elementos y cocientes metálicos normalizados y sin normalizar de la veta San Cristóbal.....	1
Anexo 2: Tabla de datos de elementos y cocientes metálicos normalizados y sin normalizar de la veta Andaychagua	5
Anexo 3: Matriz de Consistencia.....	9

Anexo 1: Tabla de datos de elementos y cocientes metálicos normalizados y sin normalizar de la veta San Cristóbal

En el presente anexo se presenta la tabla con todos los datos de leyes de Cu, Pb, Zn y Ag, así como sus respectivos cocientes metálicos, normalizado y sin normalizar, de la veta San Cristóbal. Por temas prácticos y debido a la gran cantidad de información trabajada, se presentará solo una parte de los datos.

[Order]	Cu_pct	Pb_pct	Zn_pct	Ag_Oz	Ag_Cu	Ag_Pb	Ag_Zn	Pb_Zn	Pb_Cu	Zn_Cu	Cu_pct-ZLog-All	Pb_pct-ZLog-All	Zn_pct-ZLog-All	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Pb-ZLog-All	Ag_Zn-ZLog-All	Pb_Zn-ZLog-All	Pb_Cu-ZLog-All	Zn_Cu-ZLog-All
1	0.06	0.19	6.98	2.31	38.50	12.16	0.33	0.03	3.17	116.33	-0.42	-0.30	0.46	0.26	0.68	0.47	-0.14	-0.74	0.17	0.70
2	0.03	0.04	0.50	0.19	6.33	4.75	0.38	0.08	1.33	16.67	-0.75	-1.22	-1.40	-1.27	-0.24	-0.01	-0.05	-0.05	-0.19	-0.17
3	0.02	0.64	3.64	3.02	151.02	4.72	0.83	0.18	32.00	182.00	-0.93	0.43	0.00	0.42	1.38	-0.01	0.42	0.46	1.11	0.90
4	0.35	0.60	5.58	5.27	15.06	8.78	0.94	0.11	1.71	15.94	0.40	0.39	0.30	0.76	0.20	0.31	0.50	0.14	-0.08	-0.19
5	0.24	0.20	4.48	3.22	13.42	16.10	0.72	0.04	0.83	18.67	0.22	-0.27	0.15	0.46	0.14	0.62	0.33	-0.42	-0.38	-0.12
6	0.05	0.35	5.42	0.71	14.20	2.03	0.13	0.06	7.00	108.40	-0.51	0.07	0.28	-0.46	0.17	-0.45	-0.70	-0.18	0.49	0.67
7	0.01	0.32	2.62	0.77	77.01	2.41	0.29	0.12	32.00	262.00	-1.26	0.01	-0.23	-0.41	1.04	-0.36	-0.21	0.23	1.11	1.06
8	0.03	0.31	2.44	0.77	25.67	2.48	0.32	0.13	10.33	81.33	-0.75	-0.01	-0.28	-0.41	0.47	-0.34	-0.17	0.25	0.65	0.54
9	0.42	0.16	3.42	3.67	8.74	22.94	1.07	0.05	0.38	8.14	0.48	-0.40	-0.04	0.54	-0.08	0.80	0.58	-0.39	-0.69	-0.49
10	0.50	0.26	6.80	4.57	9.14	17.58	0.67	0.04	0.52	13.60	0.57	-0.11	0.44	0.68	-0.06	0.66	0.29	-0.52	-0.57	-0.26
11	0.20	0.18	3.66	2.25	11.25	12.50	0.61	0.05	0.90	18.30	0.14	-0.33	0.00	0.24	0.05	0.49	0.24	-0.36	-0.35	-0.13
12	0.05	0.25	4.50	1.16	23.20	4.64	0.26	0.06	5.00	90.00	-0.51	-0.13	0.15	-0.16	0.42	-0.02	-0.29	-0.28	0.35	0.58
13	0.15	0.65	4.30	1.03	6.87	1.58	0.24	0.15	4.33	28.67	0.00	0.44	0.12	-0.24	-0.20	-0.57	-0.33	0.36	0.29	0.07
14	0.24	0.13	16.32	1.80	7.50	13.85	0.11	0.01	0.54	68.00	0.22	-0.52	1.06	0.11	-0.16	0.54	-0.81	-1.53	-0.55	0.46
15	0.26	0.16	1.36	0.26	1.00	1.63	0.19	0.12	0.62	5.23	0.26	-0.40	-0.69	-1.08	-1.19	-0.56	-0.47	0.20	-0.50	-0.69
16	0.00	0.82	2.04	0.32	3200.36	0.39	0.16	0.40	8200.00	20400.00	-3.40	0.57	-0.41	-0.95	2.95	-1.30	-0.59	1.00	3.36	3.01
17	0.01	0.52	5.38	0.77	77.01	1.48	0.14	0.10	52.00	538.00	-1.26	0.30	0.28	-0.41	1.04	-0.61	-0.65	0.08	1.30	1.38
18	0.02	1.42	3.90	1.86	93.01	1.31	0.48	0.36	71.00	195.00	-0.93	0.90	0.05	0.13	1.13	-0.67	0.08	0.93	1.43	0.93
19	0.02	0.14	3.46	0.58	29.00	4.14	0.17	0.04	7.00	173.00	-0.93	-0.48	-0.04	-0.59	0.54	-0.08	-0.55	-0.49	0.49	0.88
20	0.03	0.14	2.00	0.58	19.34	4.14	0.29	0.07	4.67	66.67	-0.75	-0.48	-0.42	-0.59	0.33	-0.08	-0.22	-0.13	0.32	0.45
21	0.01	0.38	4.18	0.77	77.01	2.03	0.18	0.09	38.00	418.00	-1.26	0.12	0.10	-0.41	1.04	-0.45	-0.49	0.04	1.18	1.27
22	0.01	0.41	6.92	1.54	154.02	3.76	0.22	0.06	41.00	692.00	-1.26	0.16	0.45	0.01	1.39	-0.13	-0.38	-0.24	1.21	1.50
23	0.03	0.19	5.90	1.80	60.01	9.47	0.31	0.03	6.33	196.67	-0.75	-0.30	0.34	0.11	0.91	0.35	-0.19	-0.63	0.45	0.93
24	0.01	0.28	2.66	0.32	32.00	1.14	0.12	0.11	28.00	266.00	-1.26	-0.07	-0.22	-0.95	0.59	-0.74	-0.75	0.13	1.05	1.07
25	0.23	0.53	3.38	1.80	7.83	3.40	0.53	0.16	2.30	14.70	0.20	0.31	-0.05	0.11	-0.13	-0.18	0.15	0.39	0.04	-0.23
26	0.03	0.11	2.58	1.03	34.34	9.36	0.40	0.04	3.67	86.00	-0.75	-0.62	-0.24	-0.24	0.62	0.34	-0.02	-0.45	0.23	0.56
27	0.01	0.31	1.42	0.32	32.00	1.03	0.23	0.22	31.00	142.00	-1.26	-0.01	-0.66	-0.95	0.59	-0.79	-0.37	0.60	1.09	0.79
28	0.02	0.36	2.30	0.45	22.50	1.25	0.20	0.16	18.00	115.00	-0.93	0.08	-0.32	-0.74	0.41	-0.70	-0.46	0.39	0.87	0.69
29	0.04	0.13	1.90	0.90	22.50	6.92	0.47	0.07	3.25	47.50	-0.61	-0.52	-0.46	-0.32	0.41	0.18	0.08	-0.15	0.18	0.30
30	0.01	0.22	2.18	0.71	71.01	3.23	0.33	0.10	22.00	218.00	-1.26	-0.21	-0.36	-0.46	1.00	-0.21	-0.15	0.10	0.95	0.98
31	0.03	1.96	11.00	4.05	135.02	2.07	0.37	0.18	65.33	366.67	-0.75	1.09	0.78	0.60	1.32	-0.44	-0.07	0.47	1.40	1.21
32	0.05	0.21	2.16	1.41	28.20	6.72	0.65	0.10	4.20	43.20	-0.51	-0.24	-0.37	-0.04	0.52	0.17	0.27	0.08	0.28	0.25
33	0.19	0.18	3.72	2.96	15.58	16.45	0.80	0.05	0.95	19.58	0.11	-0.33	0.02	0.41	0.22	0.63	0.39	-0.37	-0.32	-0.10
34	0.25	0.26	7.78	7.39	29.56	28.43	0.95	0.03	1.04	31.12	0.24	-0.11	0.53	0.97	0.55	0.91	0.50	-0.61	-0.29	0.11
35	0.06	0.23	3.26	1.67	27.84	7.26	0.51	0.07	3.83	54.33	-0.42	-0.18	-0.08	0.06	0.52	0.21	0.13	-0.13	0.24	0.36
36	0.01	0.68	3.52	1.03	103.01	1.51	0.29	0.19	68.00	352.00	-1.26	0.46	-0.02	-0.24	1.19	-0.60	-0.21	0.52	1.41	1.19
37	0.01	0.40	5.56	1.29	129.01	3.23	0.23	0.07	40.00	556.00	-1.26	0.15	0.30	-0.10	1.30	-0.21	-0.35	-0.11	1.20	1.40
38	0.04	0.20	3.26	2.38	59.51	11.90	0.73	0.06	5.00	81.50	-0.61	-0.27	-0.08	0.28	0.90	0.46	0.34	-0.22	0.35	0.54
39	0.46	0.20	3.22	2.25	4.89	11.25	0.70	0.06	0.43	7.00	0.53	-0.27	-0.09	0.24	-0.38	0.43	0.31	-0.21	-0.64	-0.56
40	0.02	0.19	3.66	0.26	13.00	1.37	0.07	0.05	9.50	183.00	-0.93	-0.30	0.00	-1.08	0.13	-0.65	-1.07	-0.33	0.61	0.90
41	0.00	0.11	1.30	0.13	1300.15	1.18	0.10	0.08	1100.00	13000.00	-3.40	-0.62	-0.72	-1.50	2.49	-0.73	-0.86	-0.01	2.55	2.81
42	0.01	0.38	2.48	0.45	45.01	1.18	0.18	0.15	38.00	248.00	-1.26	0.12	-0.27	-0.74	0.76	-0.72	-0.50	0.37	1.18	1.04
43	0.01	0.32	3.02	0.58	58.01	1.81	0.19	0.11	32.00	302.00	-1.26	0.01	-0.13	-0.59	0.89	-0.51	-0.47	0.14	1.11	1.12
44	0.96	0.35	5.30	5.40	5.63	15.43	1.02	0.07	0.36	5.52	0.87	0.07	0.26	0.78	-0.30	0.60	0.54	-0.17	-0.71	-0.67
45	0.42	0.58	7.12	7.39	17.60	12.74	1.04	0.08	1.38	16.95	0.48	0.37	0.47	0.97	0.28	0.50	0.55	-0.03	-0.17	-0.16
46	0.96	0.57	4.30	11.00	11.46	19.30	2.56	0.13	0.59	4.48	0.87	0.36	0.12	1.22	0.06	0.71	1.10	0.28	-0.51	-0.76
47	0.01	0.11	4.28	0.51	51.01	4.64	0.12	0.03	11.00	428.00	-1.26	-0.62	0.11	-0.67	0.83	-0.02	-0.76	-0.78	0.67	1.28
48	0.24	0.02	3.52	1.06	4.42	53.01	0.30	0.01	0.08	14.67	0.22	-1.64	-0.02	-0.22	-0.43	1.23	-0.20	-1.75	-1.31	-0.23
49	0.40	0.04	11.20	2.23	5.58	55.76	0.20	0.00	0.10	28.00	0.46	-1.22	0.79	0.24	-0.31	1.26	-0.45	-2.05	-1.24	0.06
50	0.29	0.02	14.25	2.98	10.28	149.02	0.21	0.00	0.07	49.14	0.31	-1.64	0.96	0.42	0.00	1.76	-0.42	-2.65	-1.39	0.31
51	0.77	0.03	20.28	5.09	6.61	169.69	0.25	0.00	0.04	26.34	0.77	-1.39	1.21	0.74	-0.22	1.83	-0.31	-2.62	-1.62	0.03
52	0.02	0.05	0.34	0.77	38.50	15.40	2.26	0.15	2.50	17.00	-0.93	-1.09	-1.67	-0.41	0.68	0.60	1.03	0.35	0.07	-0.16
53	0.12	0.04	0.76	0.92	7.67	23.00	1.21	0.05	0.33	6.33	-0.10	-1.22	-1.10	-0.30	-0.15	0.80	0.65	-0.32	-0.75	-0.61
54	0.19	0.12	0.69	1.45	7.63	12.08	2.10	0.17	0.63	3.63	0.11	-0.57	-1.17	-0.03	-0.15	0.47	0.98	0.45	-0.49	-0.85
55	0.27	0.02	4.46	0.94	3.48	47.01	0.21	0.00	0.07	16.52	0.28	-1.64	0.14	-0.29	-0.55	1.17	-0.41	-1.91	-1.36	-0.18
56	0.18	0.04	2.11	0.62	3.44	15.50	0.29	0.02												

[Order]	Cu_pct	Pb_pct	Zn_pct	Ag_Oz	Ag_Cu	Ag_Pb	Ag_Zn	Pb_Zn	Pb_Cu	Zn_Cu	Cu_pct-ZLog-All	Pb_pct-ZLog-All	Zn_pct-ZLog-All	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Pb-ZLog-All	Ag_Zn-ZLog-All	Pb_Cu-ZLog-All	Zn_Cu-ZLog-All	
61	5.40	2.30	39.00	43.00	7.96	18.70	1.10	0.06	0.43	7.22	1.67	1.19	1.67	2.05	-0.13	0.70	0.59	-0.24	-0.65	-0.55
62	7.00	0.60	13.20	21.40	3.06	35.67	1.62	0.05	0.09	1.89	1.80	0.39	0.91	1.62	-0.62	1.03	0.83	-0.41	-1.30	-1.15
63	2.48	2.70	18.80	11.60	4.68	4.30	0.62	0.14	1.09	7.58	1.31	1.28	1.15	1.25	-0.40	-0.06	0.24	0.33	-0.27	-0.52
64	5.56	3.90	36.60	53.61	9.64	13.75	1.46	0.11	0.70	6.58	1.69	1.50	1.62	2.19	-0.03	0.54	0.76	0.14	-0.45	-0.59
65	1.72	0.70	17.60	11.60	6.74	16.57	0.66	0.04	0.41	10.23	1.14	0.48	1.11	1.25	-0.21	0.63	0.28	-0.50	-0.67	-0.39
66	1.16	3.30	17.80	13.90	11.98	4.21	0.78	0.19	2.84	15.34	0.96	1.40	1.12	1.36	0.08	-0.07	0.38	0.50	0.12	-0.21
67	2.36	1.17	35.40	60.71	25.72	51.89	1.71	0.03	0.50	15.00	1.29	0.79	1.60	2.26	0.48	1.22	0.86	-0.62	-0.59	-0.22
68	0.64	0.50	5.20	2.20	3.44	4.40	0.42	0.10	0.78	8.13	0.68	0.28	0.25	0.23	-0.56	-0.05	0.01	0.07	-0.40	-0.49
69	0.68	0.50	3.60	2.60	3.82	5.20	0.72	0.14	0.74	5.29	0.71	0.28	-0.01	0.33	-0.50	0.04	0.33	0.31	-0.43	-0.69
70	1.00	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00	1.25	1.00	0.80	0.89	0.69	-1.06	-0.39	-1.30	-0.93	0.53	1.73	-0.30	-1.53
71	0.65	0.50	2.20	1.10	1.69	2.20	0.50	0.23	0.77	3.38	0.69	0.28	-0.35	-0.20	-0.92	-0.41	0.11	0.63	-0.41	-0.89
72	0.72	0.80	12.60	5.90	8.20	7.38	0.47	0.06	1.11	17.50	0.74	0.56	0.87	0.83	-0.11	0.22	0.07	-0.20	-0.26	-0.15
73	0.96	0.60	4.60	4.80	5.00	8.00	1.04	0.13	0.63	4.79	0.87	0.39	0.16	0.71	-0.36	0.26	0.56	0.27	-0.49	-0.73
74	1.08	0.70	6.00	4.40	4.07	6.29	0.73	0.12	0.65	5.56	0.92	0.48	0.35	0.65	-0.47	0.13	0.34	0.20	-0.48	-0.66
75	2.28	17.20	18.00	37.90	16.62	2.20	2.11	0.96	7.54	7.89	1.27	2.38	1.12	1.97	0.25	-0.40	0.98	1.55	0.52	-0.51
76	5.48	0.90	35.60	22.20	4.05	24.67	0.62	0.03	0.16	6.50	1.68	0.63	1.60	1.65	-0.47	0.84	0.25	-0.79	-1.04	-0.59
77	3.24	1.20	34.60	20.40	6.30	17.00	0.59	0.03	0.37	10.68	1.44	0.80	1.58	1.59	-0.25	0.65	0.21	-0.59	-0.71	-0.37
78	1.80	0.20	15.60	8.70	4.83	43.50	0.56	0.01	0.11	8.67	1.16	-0.27	1.02	1.07	-0.38	1.13	0.18	-1.23	-1.20	-0.46
79	1.23	0.50	1.20	1.20	0.98	2.40	1.00	0.42	0.41	0.98	0.98	0.28	-0.78	-0.14	-1.20	-0.36	0.53	1.02	-0.67	-1.44
80	0.40	0.40	2.00	1.20	3.00	3.00	0.60	0.20	1.00	5.00	0.46	0.15	-0.42	-0.14	-0.63	-0.25	0.22	0.55	-0.30	-0.71
81	0.52	0.40	0.80	0.70	1.35	1.75	0.88	0.50	0.77	1.54	0.58	0.15	-1.06	-0.47	-1.04	-0.52	0.45	1.14	-0.41	-1.24
82	0.48	2.50	1.20	0.60	1.25	0.24	0.50	2.08	5.21	2.50	0.55	1.24	-0.78	-0.57	-1.08	-1.55	0.11	2.06	0.37	-1.02
83	3.24	0.60	19.00	4.60	1.42	7.67	0.24	0.03	0.19	5.86	1.44	0.39	1.16	0.68	-1.01	0.24	-0.33	-0.65	-0.99	-0.64
84	3.20	0.50	30.80	7.00	2.19	14.00	0.23	0.02	0.16	9.63	1.43	0.28	1.50	0.94	-0.79	0.55	-0.37	-1.08	-1.06	-0.42
85	0.88	0.40	2.00	1.00	1.14	2.50	0.50	0.20	0.45	2.27	0.83	0.15	-0.42	-0.25	-1.12	-0.34	0.11	0.55	-0.62	-1.06
86	3.72	0.90	37.40	7.60	2.04	8.45	0.20	0.02	0.24	10.05	1.50	0.63	1.64	0.99	-0.82	0.29	-0.43	-0.82	-0.88	-0.40
87	0.40	0.40	3.20	1.60	4.00	4.00	0.50	0.13	1.00	8.00	0.46	0.15	-0.09	0.03	-0.48	-0.10	0.11	0.24	-0.30	-0.50
88	0.30	0.60	2.80	1.90	6.33	3.17	0.68	0.21	2.00	9.33	0.33	0.39	-0.18	0.14	-0.24	-0.22	0.30	0.59	-0.02	-0.43
89	1.30	0.80	2.40	0.90	0.69	1.13	0.38	0.33	0.62	1.85	1.01	0.56	-0.29	-0.32	-1.38	-0.75	-0.06	0.87	-0.50	-1.16
90	1.30	0.20	2.40	3.20	2.46	16.00	1.33	0.08	0.15	1.85	1.01	-0.27	-0.29	0.46	-0.73	0.62	0.71	-0.02	-1.06	-1.16
91	0.65	0.10	0.10	0.60	0.92	6.00	6.00	1.00	0.15	0.15	0.69	-0.68	-2.53	-0.57	-1.23	0.11	1.62	1.58	-1.06	-2.27
92	2.40	0.40	0.80	2.40	1.00	6.00	3.00	0.50	0.17	0.33	1.30	0.15	-1.06	0.28	-1.19	0.11	1.20	1.14	-1.03	-1.92
93	1.40	0.30	0.80	3.70	2.64	12.33	4.63	0.38	0.21	0.57	1.05	-0.02	-1.06	0.55	-0.69	0.48	1.46	0.95	-0.93	-1.68
94	2.75	0.80	5.00	3.20	1.16	4.00	0.64	0.16	0.29	1.82	1.36	0.56	0.22	0.46	-1.11	-0.10	0.26	0.40	-0.80	-1.16
95	8.16	0.40	6.80	3.80	0.47	9.50	0.56	0.06	0.05	0.83	1.87	0.15	0.44	0.56	-1.58	0.35	0.18	-0.24	-1.53	-1.51
96	0.56	1.20	17.20	3.20	5.71	2.67	0.19	0.07	2.14	30.71	0.62	0.80	1.09	0.46	-0.30	-0.31	-0.49	-0.13	0.01	0.10
97	0.36	0.60	11.80	1.30	3.61	2.17	0.11	0.05	1.67	32.78	0.41	0.39	0.83	-0.09	-0.53	-0.41	-0.81	-0.34	-0.09	0.13
98	0.50	0.80	7.40	1.20	2.40	1.50	0.16	0.11	1.60	14.80	0.57	0.56	0.50	-0.14	-0.74	-0.60	-0.57	0.15	-0.11	-0.23
99	0.44	1.10	38.40	4.80	10.91	4.36	0.13	0.03	2.50	87.27	0.51	0.75	1.66	0.71	0.04	-0.05	-0.73	-0.71	0.07	0.57
100	0.50	0.80	11.00	5.80	11.60	7.25	0.53	0.07	1.60	22.00	0.57	0.56	0.78	0.82	0.07	0.21	0.14	-0.11	-0.11	-0.05
101	1.84	1.00	5.80	2.00	1.09	2.00	0.34	0.17	0.54	3.15	1.17	0.69	0.33	0.17	-1.15	-0.45	0.45	0.45	-0.55	-0.92
102	1.08	0.50	4.00	0.40	0.37	0.80	0.10	0.13	0.46	3.70	0.92	0.28	0.07	-0.81	-1.70	-0.93	-0.86	0.24	-0.62	-0.85
103	1.00	0.80	4.60	0.80	0.80	1.00	0.17	0.17	0.80	4.60	0.89	0.56	0.16	-0.39	-1.30	-0.81	-0.53	0.45	-0.39	-0.75
104	3.36	0.60	15.20	4.20	1.25	7.00	0.28	0.04	0.18	4.52	1.45	0.39	1.01	0.63	-1.08	0.19	-0.25	-0.50	-1.00	-0.76
105	1.60	0.50	8.80	2.60	1.63	5.20	0.30	0.06	0.31	5.50	1.11	0.28	0.33	-0.94	0.04	-0.21	-0.27	-0.78	-0.67	-0.67
106	1.40	0.70	2.80	1.10	0.79	1.57	0.39	0.25	0.50	2.00	1.05	0.48	-0.18	-0.20	-1.31	-0.58	-0.03	0.69	-0.58	-1.12
107	1.64	0.50	3.60	2.60	1.59	5.20	0.72	0.14	0.30	2.20	1.12	0.28	-0.01	0.33	-0.95	0.04	0.33	0.31	-0.79	-1.08
108	0.80	0.60	0.60	0.70	0.88	1.17	1.17	1.00	0.75	0.75	0.78	0.39	-1.27	-0.47	-1.26	-0.73	0.63	1.58	-0.42	-1.56
109	1.65	1.20	3.40	1.20	0.73	1.00	0.35	0.35	0.73	2.06	1.12	0.80	-0.05	-0.14	-1.35	-0.81	-0.10	0.91	-0.43	-1.11
110	2.92	0.60	17.00	49.01	16.78	81.68	2.88	0.04	0.21	5.82	1.39	0.39	1.08	2.13	0.26	1.45	1.17	-0.57	-0.95	-0.64
111	2.64	0.50	58.00	7.60	2.88	15.20	0.13	0.01	0.19	21.97	1.34	0.28	1.95	0.99	-0.65	0.59	-0.70	-1.48	-0.98	-0.05
112	0.88	0.40	55.80	48.21	54.78	120.51	0.86	0.01	0.45	63.41	0.83	0.15	1.92	2.12	0.86	1.65	0.44	-1.60	-0.62	0.43
113	1.20	0.50	54.00	4.39	3.66	8.78	0.08	0.01	0.42	45.00	0.97	0.28	1.90	0.65	-0.52	0.31	-0.99	-1.44	-0.66	0.27
114	4.32	0.70	4.60	2.10	0.49	3.00	0.46	0.15	0.16	1.06	1.57	0.48	0.16	0.20	-1.56	-0.25	0.06	0.37	-1.04	-1.40
115	4.88	0.60	1.80	12.00	2.46	20.00	6.67	0.33	0.12	0.37	1.63	0.39	-0.49	1.27	-0.73	0.73	1.68	0.87	-1.15	-1.88
116	5.76	0.40	2.60	18.40	3.19	46.01	7.08	0.15	0.07	0.45	1.70	0.15	-0.24	1.53	-0.59	1.16	1.72	0.38	-1.39	

[Order]	Cu_pct	Pb_pct	Zn_pct	Ag_Oz	Ag_Cu	Ag_Pb	Ag_Zn	Pb_Zn	Pb_Cu	Zn_Cu	Cu_pct-ZLog-All	Pb_pct-ZLog-All	Zn_pct-ZLog-All	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Pb-ZLog-All	Ag_Zn-ZLog-All	Pb_Zn-ZLog-All	Pb_Cu-ZLog-All	Zn_Cu-ZLog-All
121	1.16	0.30	2.52	15.20	13.10	50.67	6.03	0.12	0.26	2.17	0.96	-0.02	-0.26	1.41	0.13	1.21	1.62	0.21	-0.85	-1.08
122	0.72	0.50	41.60	11.60	16.11	23.20	0.28	0.01	0.69	57.78	0.74	0.28	1.71	1.25	0.24	0.81	-0.24	-1.27	-0.45	0.38
123	1.56	0.50	44.00	36.60	23.46	73.21	0.83	0.01	0.32	28.21	1.10	0.28	1.75	1.95	0.43	1.40	0.42	-1.31	-0.77	0.06
124	1.04	0.50	50.00	25.20	24.23	50.41	0.50	0.01	0.48	48.08	0.91	0.28	1.84	1.72	0.44	1.21	0.12	-1.39	-0.60	0.30
125	1.60	0.30	30.80	2.58	1.61	8.60	0.08	0.01	0.19	19.25	1.11	-0.02	1.50	0.33	-0.94	0.30	-0.97	-1.40	-0.98	-0.11
126	1.00	0.60	51.80	15.90	15.90	26.50	0.31	0.01	0.60	51.80	0.89	0.39	1.87	1.44	0.23	0.87	-0.18	-1.29	-0.51	0.34
127	2.08	0.50	18.60	28.40	13.66	56.81	1.53	0.03	0.24	8.94	1.23	0.28	1.15	1.80	0.15	1.27	0.79	-0.75	-0.88	-0.45
128	2.88	1.50	37.00	21.30	7.40	14.20	0.58	0.04	0.52	12.85	1.38	0.93	1.63	1.62	-0.16	0.55	0.20	-0.48	-0.57	-0.29
129	3.32	0.20	11.00	8.40	2.53	42.00	0.76	0.02	0.06	3.31	1.45	-0.27	0.78	1.05	-0.71	1.11	0.37	-1.00	-1.44	-0.90
130	5.80	0.30	4.20	9.20	1.59	30.67	2.19	0.07	0.05	0.72	1.71	-0.02	0.10	1.11	-0.95	0.95	1.01	-0.12	-1.51	-1.58
131	0.40	0.10	1.20	1.00	2.50	10.00	0.83	0.08	0.25	3.00	0.46	-0.68	-0.78	-0.25	-0.72	0.37	0.42	-0.02	-0.87	-0.94
132	0.40	0.10	2.80	0.80	2.00	8.00	0.29	0.04	0.25	7.00	0.46	-0.68	-0.18	-0.39	-0.83	0.26	-0.23	-0.57	-0.87	-0.56
133	3.16	0.60	40.80	19.80	6.27	33.00	0.49	0.01	0.19	12.91	1.42	0.39	1.70	1.58	-0.25	0.99	0.09	-1.14	-0.98	-0.29
134	6.68	1.10	15.20	12.60	1.89	11.46	0.83	0.07	0.16	2.28	1.77	0.75	1.01	1.30	-0.86	0.44	0.42	-0.11	-1.04	-1.06
135	5.08	0.20	9.20	9.10	1.79	45.51	0.99	0.02	0.04	1.81	1.65	-0.27	0.65	1.10	-0.89	1.15	0.53	-0.89	-1.62	-1.17
136	9.44	0.70	4.80	15.60	1.65	22.29	3.25	0.15	0.07	0.51	1.93	0.48	0.19	1.43	-0.93	0.79	1.25	0.34	-1.36	-1.73
137	6.32	0.30	1.80	16.30	2.58	54.34	9.06	0.17	0.05	0.28	1.75	-0.02	-0.49	1.46	-0.70	1.24	1.87	0.43	-1.54	-1.99
138	3.32	0.80	2.80	5.10	1.54	6.38	1.82	0.29	0.24	0.84	1.45	0.56	-0.18	0.74	-0.97	0.14	0.90	0.78	-0.88	-1.51
139	2.88	1.30	12.60	4.20	1.46	3.23	0.33	0.10	0.45	4.38	1.38	0.85	0.87	0.63	-1.00	-0.21	-0.13	0.12	-0.63	-0.77
140	7.20	0.40	13.40	26.60	3.69	66.51	1.99	0.03	0.06	1.86	1.81	0.15	0.92	1.76	-0.52	1.35	0.95	-0.68	-1.48	-1.15
141	2.32	0.20	5.60	5.30	2.28	26.50	0.95	0.04	0.09	2.41	1.28	-0.27	0.30	0.77	-0.77	0.87	0.50	-0.57	-1.30	-1.04
142	18.84	0.40	1.00	40.80	2.16	102.01	40.80	0.40	0.02	0.05	2.26	0.15	-0.91	2.02	-0.79	1.57	2.78	0.99	-1.87	-2.75
143	9.55	0.20	10.20	60.21	6.30	301.03	5.90	0.02	0.02	1.07	1.94	-0.27	0.72	2.26	-0.25	2.12	1.61	-0.95	-1.87	-1.40
144	0.25	0.40	0.80	1.20	4.80	3.00	1.50	0.50	1.60	3.20	0.24	0.15	-1.06	-0.14	-0.39	-0.25	0.78	1.14	-0.11	-0.91
145	1.50	2.40	12.00	19.90	13.27	8.29	1.66	0.20	1.60	8.00	1.08	1.21	0.84	1.58	0.14	0.28	0.84	0.55	-0.11	-0.50
146	0.80	0.20	1.20	2.20	2.75	11.00	1.83	0.17	0.25	1.50	0.78	-0.27	-0.78	0.23	-0.67	0.42	0.90	0.43	-0.87	-1.25
147	0.50	1.00	2.40	5.70	11.40	5.70	2.38	0.42	2.00	4.80	0.57	0.69	-0.29	0.81	0.06	0.08	1.06	1.02	-0.02	-0.73
148	0.80	2.60	26.40	6.20	7.75	2.38	0.23	0.10	3.25	33.00	0.78	1.26	1.39	0.86	-0.14	-0.36	-0.35	0.09	0.18	0.13
149	0.35	2.00	36.20	3.30	9.43	1.65	0.09	0.06	5.71	103.43	0.40	1.10	1.62	0.48	-0.04	-0.55	-0.92	-0.29	0.41	0.65
150	0.50	0.10	3.40	1.30	2.60	13.00	0.38	0.03	0.20	6.80	0.57	-0.68	-0.05	-0.09	-0.70	0.51	-0.05	-0.69	-0.96	-0.57
151	0.50	1.10	19.60	4.70	9.40	4.27	0.24	0.06	2.20	39.20	0.57	0.75	1.18	0.69	-0.04	-0.06	-0.33	-0.27	0.02	0.21
152	2.00	1.90	13.00	8.40	4.20	4.42	0.65	0.15	0.95	6.50	1.21	1.07	0.90	1.05	-0.45	-0.05	0.27	0.34	-0.32	-0.59
153	0.70	1.20	26.60	9.40	13.43	7.83	0.35	0.05	1.71	38.00	0.72	0.80	1.40	1.12	0.14	0.25	-0.10	-0.42	-0.08	0.20
154	0.45	6.20	11.20	45.81	101.79	7.39	4.09	0.55	13.78	24.89	0.52	1.78	0.79	2.09	1.18	0.22	1.39	1.20	0.76	0.01
155	0.70	3.60	11.00	10.50	15.00	2.92	0.95	0.33	5.14	15.71	0.72	1.45	0.78	1.19	0.20	-0.26	0.50	0.86	0.36	-0.20
156	0.10	0.60	5.40	1.70	17.00	2.83	0.31	0.11	6.00	54.00	-0.18	0.39	0.28	0.07	0.26	-0.28	-0.17	0.17	0.43	0.35
157	0.15	0.80	3.00	0.80	5.33	1.00	0.27	0.27	5.33	20.00	0.00	0.56	-0.14	-0.39	-0.33	-0.81	-0.27	0.73	0.38	-0.09
158	0.10	0.80	2.80	0.70	7.00	0.88	0.25	0.29	8.00	28.00	-0.18	0.56	-0.18	-0.47	-0.19	-0.88	-0.31	0.78	0.54	0.06
159	0.15	1.20	1.40	0.50	3.33	0.42	0.36	0.86	8.00	9.33	0.00	0.80	-0.67	-0.68	-0.57	-1.26	-0.09	1.48	0.54	-0.43
160	0.30	0.60	22.00	0.30	1.00	0.50	0.01	0.03	2.00	73.33	0.33	0.39	1.27	-0.99	-1.19	-1.17	-2.07	-0.74	-0.02	0.49
161	0.10	0.40	3.60	0.70	7.00	1.75	0.19	0.11	4.00	36.00	-0.18	0.15	-0.01	-0.47	-0.19	-0.52	-0.46	0.17	0.26	0.17
162	0.30	1.90	27.40	1.80	6.00	0.95	0.07	0.07	6.33	91.33	0.33	1.07	1.42	0.11	-0.27	-0.84	-1.12	-0.14	0.45	0.59
163	0.30	1.50	23.50	1.70	5.67	1.13	0.07	0.06	5.00	78.33	0.33	0.93	1.31	0.07	-0.30	-0.75	-1.06	-0.19	0.35	0.52
164	0.15	1.00	4.40	1.30	8.67	1.30	0.30	0.23	6.67	29.33	0.00	0.69	0.13	-0.09	-0.08	-0.68	-0.21	0.63	0.47	0.08
165	0.53	0.30	1.40	0.60	1.13	2.00	0.43	0.21	0.57	2.64	0.59	-0.02	-0.67	-0.57	-1.13	-0.45	0.02	0.59	-0.53	-1.00
166	0.90	0.40	3.40	1.30	1.44	3.25	0.38	0.12	0.44	3.78	0.84	0.15	-0.05	-0.09	-1.00	-0.20	-0.05	0.20	-0.63	-0.84
167	0.60	0.70	2.60	1.20	2.00	1.71	0.46	0.27	1.17	4.33	0.65	0.48	-0.24	-0.14	-0.83	-0.53	0.06	0.74	-0.24	-0.78
168	1.30	0.60	2.60	1.80	1.38	3.00	0.69	0.23	0.46	2.00	1.01	0.39	-0.24	0.11	-1.02	-0.25	0.31	0.64	-0.62	-1.12
169	0.30	0.40	3.00	0.30	1.00	0.75	0.10	0.13	1.33	10.00	0.33	0.15	-0.14	-0.99	-1.19	-0.96	-0.86	0.28	-0.19	-0.40
170	0.30	0.90	17.20	2.30	7.67	2.56	0.13	0.05	3.00	57.33	0.33	0.63	1.09	0.26	-0.15	-0.33	-0.69	-0.32	0.14	0.38
171	0.70	0.30	2.00	0.70	1.00	2.33	0.35	0.15	0.43	2.86	0.72	-0.02	-0.42	-0.47	-1.19	-0.38	-0.10	0.36	-0.65	-0.96
172	0.57	0.40	1.60	0.70	1.23	1.75	0.44	0.25	0.70	2.81	0.63	0.15	-0.58	-0.47	-1.08	-0.52	0.03	0.69	-0.45	-0.97
173	0.40	0.10	1.60	1.80	4.50	18.00	1.13	0.06	0.25	4.00	0.46	-0.68	-0.58	0.11	-0.42	0.68	0.60	-0.21	-0.87	-0.81
174	0.65	0.10	4.40	1.90	2.92	19.00	0.43	0.02	0.15	6.77	0.69	-0.68	0.13	0.14	-0.64	0.70	0.02	-0.86	-1.06	-0.58
175	1.50	0.10	2.00	2.90	1.93	29.00	1.45	0.05	0.07	1.33	1.08	-0.68	-0.42	0.40	-0.85	0.92	0.76	-0.35	-1.40	-1.30
176	0.65	0.10	1.40	2.60	4.00	26.00	1.86	0.07	0.											

Anexo 2: Tabla de datos de elementos y cocientes metálicos normalizados y sin normalizar de la veta Andaychagua

En el presente anexo se presenta la tabla con todos los datos de leyes de Cu, Pb, Zn y Ag, así como sus respectivos cocientes metálicos, normalizado y sin normalizar, de la veta Andaychagua. Por temas prácticos y debido a la gran cantidad de información trabajada, se presentará solo una parte de los datos.

[Order]	Cu_per	Pb_per	Zn_per	Ag_Oz	Ag_Cu	Ag_Pb	Ag_Zn	Pb_Zn	Pb_Cu	Zn_Cu	Cu_per-ZLog-All	Pb_per-ZLog-All	Zn_per-ZLog-All	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Zn-ZLog-All	Ag_Pb-ZLog-All	Pb_Zn-ZLog-All	Pb_Cu-ZLog-All	Zn_Cu-ZLog-All
1	0.13	0.70	4.88	4.60	35.38	6.57	0.94	0.14	5.38	37.54	0.81	-0.05	0.09	-0.05	-0.75	-1.76	0.00	-0.16	-0.72	-0.80
2	0.69	0.75	13.31	10.00	14.49	13.33	1.09	0.06	1.09	19.29	2.11	0.02	1.04	0.67	-1.35	-1.68	0.84	-1.21	-1.76	-1.35
3	0.20	2.66	20.16	9.64	48.20	3.62	2.39	0.13	13.30	100.80	1.15	1.24	1.44	0.64	-0.54	-1.25	-0.71	-0.25	-0.13	0.02
4	0.30	0.27	5.14	1.03	3.43	3.81	0.67	0.05	0.90	17.13	1.46	-0.97	0.14	-1.43	-2.32	-1.95	-0.65	-1.29	-1.88	-1.45
5	0.23	0.21	38.61	1.80	7.83	8.57	0.20	0.01	0.91	167.87	1.26	-1.21	2.05	-0.92	-1.77	-2.59	0.32	-3.83	-1.87	0.45
6	0.06	0.35	3.24	0.71	11.83	2.03	3.65	0.11	5.83	54.00	0.21	-0.72	-0.30	-1.78	-1.49	-1.02	-1.40	-0.48	-0.66	-0.49
7	0.07	0.22	1.10	0.77	11.00	3.50	10.00	0.20	3.14	15.71	0.33	-1.16	-1.33	-1.70	-1.54	-0.47	-0.75	0.21	-1.07	-1.52
8	0.27	0.47	52.72	3.02	11.19	6.43	0.21	0.01	1.74	195.26	1.38	-0.43	2.35	-0.44	-1.53	-2.57	-0.03	-3.28	-1.45	0.57
9	0.09	0.57	9.80	1.41	15.67	2.47	1.60	0.06	6.33	108.89	0.53	-0.25	0.75	-1.14	-1.30	-1.47	-1.16	-1.17	-0.61	0.09
10	0.04	0.72	4.92	2.44	61.00	3.39	12.40	0.15	18.00	123.00	-0.10	-0.02	0.09	-0.63	-0.38	-0.36	-0.79	-0.14	0.07	0.19
11	0.23	0.81	56.66	3.02	13.13	3.73	0.23	0.01	3.52	246.35	1.26	0.09	2.42	-0.44	-1.42	-2.52	-0.67	-2.75	-0.99	0.77
12	0.34	0.20	18.30	1.16	3.41	5.80	0.19	0.01	0.59	53.82	1.56	-1.26	1.34	-1.32	-2.33	-2.64	-0.15	-3.05	-2.16	-0.50
13	0.02	0.04	0.46	0.26	13.00	6.50	28.26	0.09	2.00	23.00	-0.64	-2.81	-2.16	-2.71	-1.42	0.09	-0.01	-0.72	-1.36	-1.20
14	0.04	0.20	1.68	1.03	25.75	5.15	15.33	0.12	5.00	42.00	-0.10	-1.26	-0.93	-1.43	-0.96	-0.24	-0.29	-0.37	-0.76	-0.70
15	0.26	0.77	4.64	2.12	8.15	2.75	1.76	0.17	2.96	17.85	1.35	0.04	0.04	-0.77	-1.74	-1.42	-1.03	0.00	-1.11	-1.41
16	0.02	0.43	1.32	0.64	32.00	1.49	24.24	0.33	21.50	66.00	-0.64	-0.52	-1.16	-1.87	-0.81	0.01	-1.76	0.76	0.18	-0.33
17	0.10	1.56	32.17	21.99	219.90	14.10	6.84	0.05	15.60	321.70	0.61	0.72	1.88	1.40	0.49	-0.68	0.91	-1.38	-0.02	0.99
18	0.06	15.54	19.24	33.89	564.83	2.18	29.36	0.81	259.00	320.67	0.21	2.94	1.39	1.80	1.13	0.11	-1.31	1.78	1.80	0.99
19	0.01	0.17	0.68	0.64	64.00	3.76	94.12	0.25	17.00	68.00	-1.18	-1.41	-1.79	-1.87	-0.34	0.75	-0.66	0.46	0.03	-0.30
20	0.02	0.17	0.64	0.90	45.00	5.29	70.31	0.27	8.50	32.00	-0.64	-1.41	-1.84	-1.56	-0.58	0.59	-0.26	0.53	-0.42	-0.93
21	0.01	0.26	0.70	1.35	135.00	5.19	192.86	0.37	26.00	70.00	-1.18	-1.00	-1.76	-1.18	0.16	1.14	-0.28	0.91	0.31	-0.28
22	0.10	1.45	35.49	19.23	192.30	13.26	5.42	0.04	14.50	354.90	0.61	0.65	1.97	1.28	0.40	-0.81	0.83	-1.57	-0.07	1.07
23	0.12	0.20	0.90	1.58	13.17	7.90	14.63	0.22	1.67	7.50	0.75	-1.26	-1.52	-1.04	-1.41	-0.27	0.22	0.33	-1.48	-2.13
24	0.10	0.38	1.94	2.38	23.80	6.26	12.27	0.20	3.80	19.40	0.61	-0.64	-0.79	-0.66	-1.01	-0.36	-0.06	0.19	-0.94	-1.34
25	0.14	0.48	2.74	12.15	86.79	25.31	31.67	0.18	3.43	19.57	0.87	-0.41	-0.46	0.85	-0.14	0.15	1.60	0.06	-1.01	-1.34
26	0.22	2.82	37.57	3.99	18.14	1.41	0.48	0.08	12.82	170.77	1.22	1.29	2.03	-0.18	-1.20	-2.12	-1.82	-0.89	-0.15	0.46
27	0.50	18.90	9.90	19.80	16.78	1.05	0.03	1.18	37.80	1.86	-0.21	1.37	0.66	-1.14	-1.70	1.11	-1.87	-1.70	-0.79	
28	0.25	0.40	3.52	4.05	16.20	10.13	4.60	0.11	1.60	14.08	1.32	-0.59	-0.22	-0.17	-1.27	-0.90	0.51	-0.42	-1.51	-1.61
29	0.06	1.00	3.68	2.31	38.50	2.31	10.46	0.27	16.67	61.33	0.21	0.29	-0.18	-0.69	-0.45	-1.24	0.56	0.02	-0.39	
30	0.05	0.09	0.48	0.58	11.60	6.44	24.17	0.19	1.80	9.60	0.07	-2.03	-2.12	-1.97	-1.50	0.01	-0.02	0.14	-1.43	-1.93
31	0.08	0.18	2.38	0.90	11.25	5.00	4.73	0.08	2.25	29.75	0.44	-1.36	-0.60	-1.56	-1.52	-0.88	-0.32	-0.88	-1.28	-0.99
32	0.08	0.23	1.96	1.35	16.88	5.87	8.61	0.12	2.88	24.50	0.44	-1.12	-0.78	-1.18	-1.25	-0.56	-0.13	-0.39	-1.12	-1.15
33	0.24	2.78	51.27	4.69	19.54	1.69	0.38	0.05	11.58	213.63	1.29	1.28	2.32	-0.03	-1.15	-2.25	-1.61	-1.25	-0.22	0.65
34	0.01	0.53	0.78	0.77	77.00	1.45	98.72	0.68	53.00	78.00	-1.18	-0.32	-1.66	-1.70	-0.22	0.77	-1.79	1.58	0.77	-0.19
35	0.29	1.16	15.20	16.08	55.45	13.86	3.65	0.08	4.00	52.41	1.44	0.44	1.17	1.11	-0.44	-1.02	0.89	-0.87	-0.91	-0.52
36	0.18	0.20	5.52	1.41	7.83	7.05	1.42	0.04	1.11	30.67	1.07	-1.26	0.20	-1.14	-1.77	-1.54	0.08	-1.70	-1.74	-0.96
37	0.27	0.80	5.92	4.82	17.85	6.03	3.02	0.14	2.96	21.93	1.38	0.08	0.27	0.00	-1.21	-1.13	-0.10	-0.23	-1.11	-1.24
38	0.31	0.57	7.50	5.72	18.45	10.04	2.46	0.08	1.84	24.19	1.49	-0.25	0.50	0.15	-1.19	-1.24	0.50	-0.87	-1.42	-1.16
39	0.24	0.54	26.57	4.05	16.88	7.50	0.64	0.02	2.25	110.71	1.29	-0.30	1.70	-0.17	-1.25	-1.97	0.16	-2.35	-1.28	0.10
40	0.12	0.60	2.66	1.29	10.75	2.15	4.04	0.23	5.00	22.17	0.75	-0.20	-0.49	-1.23	-1.55	-0.97	-1.33	0.35	-0.76	-1.23
41	0.07	0.26	0.70	0.26	3.71	1.00	5.31	0.37	3.71	10.00	0.33	-1.00	-1.76	-2.71	-2.27	-0.82	-2.24	0.91	-0.96	1.90
42	0.02	2.60	1.74	115.74	5787.00	44.52	3325.86	1.49	130.00	87.00	-0.64	1.21	-0.89	2.94	2.71	2.68	2.27	2.47	1.35	-0.10
43	0.04	0.24	1.82	0.77	19.25	3.21	10.58	0.13	6.00	45.50	-0.10	-1.08	-0.85	-1.70	-1.16	-0.44	-0.85	-0.25	-0.65	-0.64
44	0.01	0.27	1.22	0.77	77.00	2.85	63.11	0.22	27.00	122.00	-1.18	-0.97	-1.23	-1.70	-0.22	0.53	-0.99	0.33	0.33	0.18
45	0.06	0.49	1.72	2.12	35.33	4.33	20.54	0.28	8.17	28.67	0.21	-0.39	-0.90	-0.75	-0.08	-0.50	0.61	-0.45	-1.02	
46	0.01	0.39	1.30	0.64	64.00	1.64	49.23	0.30	39.00	130.00	-1.18	-0.61	-1.17	-1.87	-0.34	0.39	-1.65	0.67	0.57	0.24
47	0.07	0.44	3.06	1.99	28.43	4.52	9.29	0.14	6.29	43.71	0.33	-0.50	-0.36	-0.82	-0.89	-0.51	-0.44	-0.16	-0.62	-0.67
48	0.02	1.22	3.18	5.14	257.00	4.21	80.82	0.38	61.00	159.00	-0.64	0.49	-0.32	0.06	0.60	0.66	-0.53	0.94	0.86	0.40
49	0.01	0.29	0.56	0.58	58.00	2.00	103.57	0.52	29.00	56.00	-1.18	-0.90	-1.97	-1.97	-0.41	0.80	-1.41	1.28	0.38	-0.46
50	0.06	1.14	4.34	11.83	197.17	10.38	45.43	0.26	19.00	72.33	0.21	0.42	-0.02	0.83	0.42	0.35	0.54	0.52	0.10	-0.25
51	0.01	0.28	2.06	0.64	64.00	2.29	31.07	0.14	28.00	206.00	-1.18	-0.93	-0.73	-1.87	-0.34	0.14	-1.25	-0.22	0.36	0.62
52	0.01	0.66	1.18	1.54	154.00	2.33	130.51	0.56	66.00	118.00	-1.18	-0.11	-1.26	-1.06	0.25	0.92	-1.23	1.37	0.91	0.16
53	0.01	0.11	1.38	1.45	145.00	13.18	105.07	0.08	11.00	138.00	-1.18	-1.83	-1.11	-1.12	0.21	0.81	0.83	-0.82	-0.25	0.29
54	0.01	0.10	0.50	0.32	32.00	3.20	64.00	0.20	10.00	50.00	-1.18	-1.92	-2.08	-2.52	-0.81	0.54	-0.85	0.21	-0.31	-0.56
55	0.01	0.59	1.38	4.76	476.00	8.07	344.93	0.43	59.00	138.00	-1.18	-0.21	-1.11	-0.02	1.01	1.45	0.24	1.06	0.84	0.29
56	0.05	3.68	13.08	12.47																

[Order]	Cu_per	Pb_per	Zn_per	Ag_Oz	Ag_Cu	Ag_Pb	Ag_Zn	Pb_Zn	Pb_Cu	Zn_Cu	Cu_per-ZLog-All	Pb_per-ZLog-All	Zn_per-ZLog-All	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Zn-ZLog-All	Ag_Pb-ZLog-All	Pb_Zn-ZLog-All	Pb_Cu-ZLog-All	Zn_Cu-ZLog-All
61	0.09	0.28	1.58	0.90	10.00	3.21	6.33	0.18	3.11	17.56	0.53	-0.93	-0.99	-1.56	-1.60	-0.72	-0.85	0.08	-1.07	-1.43
62	0.17	0.21	3.80	1.09	6.41	5.19	1.69	0.06	1.24	22.35	1.02	-1.21	-0.15	-1.38	-1.90	-1.44	-0.28	-1.23	-1.67	-1.23
63	0.06	0.31	1.52	0.77	12.83	2.48	8.44	0.20	5.17	25.33	0.21	-0.83	-1.02	-1.70	-1.43	-0.57	-1.16	0.23	-0.74	-1.12
64	0.72	0.34	9.70	5.66	7.86	16.65	0.81	0.04	0.47	13.47	2.14	-0.75	0.74	0.14	-1.76	-1.84	1.10	-1.74	-2.30	-1.65
65	0.35	0.25	9.56	11.12	31.77	44.48	3.32	0.03	0.71	27.31	1.58	-1.04	0.73	0.77	-0.82	-1.07	2.27	-2.07	-2.03	-1.06
66	0.17	2.92	41.51	6.93	40.76	2.37	0.98	0.07	17.18	244.18	1.02	1.33	2.12	0.33	-0.65	-1.74	-1.21	-0.96	0.04	0.76
67	0.09	0.72	10.16	2.12	23.56	2.94	2.32	0.07	8.00	112.89	0.53	-0.02	0.78	-0.77	-1.02	-1.27	-0.95	-0.95	-0.46	0.12
68	0.06	0.33	1.26	0.96	16.00	2.91	12.70	0.26	5.50	21.00	0.21	-0.77	-1.20	-1.50	-1.28	-0.34	-0.97	0.51	-0.70	-1.28
69	0.20	0.19	4.78	6.30	31.50	33.16	6.59	0.04	0.95	23.90	1.15	-1.31	0.07	0.24	-0.82	-0.70	1.92	-1.60	-1.84	-1.17
70	0.90	0.69	51.89	2.83	3.14	4.10	0.06	0.01	0.77	57.66	2.32	-0.06	2.34	-0.50	-2.38	-3.25	-0.56	-2.83	-1.98	-0.44
71	0.07	0.34	3.68	15.43	220.43	45.38	59.90	0.09	4.86	52.57	0.33	-0.75	-0.18	1.07	0.49	0.50	2.29	-0.65	-0.78	-0.52
72	0.34	0.48	34.04	17.62	51.82	36.71	1.52	0.01	1.41	100.12	1.56	-0.41	1.93	1.20	-0.49	-1.50	2.04	-2.76	-1.59	0.02
73	0.05	0.17	0.86	0.64	12.80	3.76	14.88	0.20	3.40	17.20	0.07	-1.41	-1.56	-1.87	-1.43	-0.26	-0.66	0.20	-1.02	-1.44
74	0.01	0.01	0.07	0.13	13.00	13.00	185.71	0.14	1.00	7.00	-1.18	-4.14	-3.95	-3.35	-1.42	1.12	0.81	-0.16	-1.81	-2.19
75	0.27	0.08	16.82	4.12	15.26	51.50	0.91	0.00	0.30	62.30	1.38	-2.14	1.26	-0.15	-1.32	-1.78	2.44	-3.98	-2.60	-0.38
76	0.03	0.08	0.56	1.54	51.33	19.25	91.67	0.14	2.67	18.67	-0.32	-2.14	-1.97	-1.06	-0.49	0.73	1.28	-0.16	-1.17	-1.38
77	0.70	0.21	48.78	5.98	8.54	28.48	0.18	0.00	0.30	69.69	2.12	-1.21	2.28	0.20	-1.71	-2.67	1.74	-4.09	-2.59	-0.28
78	0.12	0.58	21.60	2.57	21.42	4.43	0.99	0.03	4.83	180.00	0.75	-0.23	1.50	-0.59	-1.09	-1.73	-0.47	-2.04	-0.79	0.51
79	0.05	0.40	8.56	1.22	24.40	3.05	2.85	0.05	8.00	171.20	0.07	-0.59	0.62	-1.28	-1.00	-1.16	-0.91	-1.42	-0.46	0.46
80	0.10	0.73	2.62	3.92	39.20	5.37	14.96	0.28	7.30	26.20	0.61	-0.01	-0.50	-0.20	-0.68	-0.25	-0.24	0.58	-0.52	-1.09
81	0.86	0.41	16.72	7.97	9.27	19.44	0.55	0.02	0.48	19.44	2.28	-0.56	1.26	0.46	-1.65	-2.05	1.29	-2.14	-2.29	-1.34
82	0.12	0.36	2.98	3.54	29.50	9.83	9.90	0.12	3.00	24.83	0.75	-0.69	-0.38	-0.29	-0.87	-0.48	0.48	-0.35	-1.10	-1.14
83	0.05	0.13	1.08	1.03	20.60	7.92	19.07	0.12	2.60	21.60	0.07	-1.67	-1.35	-1.43	-1.11	-0.12	0.22	-0.36	-1.19	-1.26
84	0.13	0.02	0.07	0.26	2.00	13.00	28.57	0.29	0.15	0.54	0.81	-3.48	-3.95	-2.71	-2.69	0.10	0.81	0.61	-3.03	-4.32
85	0.07	0.51	1.90	0.90	12.86	1.76	6.77	0.27	7.29	27.14	0.33	-0.35	-0.81	-1.56	-1.43	-0.69	-1.56	0.54	-0.52	-1.07
86	0.14	0.40	27.61	3.86	27.57	9.65	1.00	0.01	2.86	197.21	0.87	-0.59	1.74	-0.21	-0.91	-1.73	0.46	-2.73	-1.13	0.58
87	0.06	0.16	0.48	1.22	20.33	7.63	42.36	0.33	2.67	8.00	0.21	-1.47	-2.12	-1.28	-1.12	0.31	0.18	0.79	-1.17	-2.08
88	0.01	0.06	0.22	0.13	13.00	2.17	59.09	0.27	6.00	22.00	-1.18	-2.42	-2.86	-3.35	-1.42	0.49	-1.32	0.56	-0.65	-1.24
89	0.19	0.46	27.48	8.10	42.63	17.61	1.55	0.02	2.42	144.63	1.11	-0.45	1.73	0.48	-0.62	-1.49	1.17	-2.57	-1.24	0.32
90	0.11	0.08	3.86	1.22	11.09	15.25	2.87	0.02	0.73	35.09	0.68	-2.14	-0.14	-1.28	-1.53	-1.15	1.00	-2.33	-2.02	-0.85
91	0.21	0.62	23.76	2.89	13.76	4.66	0.58	0.03	2.95	113.14	1.19	-0.17	1.59	-0.48	-1.39	-2.02	-0.41	-2.07	-1.11	0.12
92	0.12	0.39	2.66	4.18	34.83	10.72	13.10	0.15	3.25	22.17	0.75	-0.61	-0.49	-0.14	-0.76	-0.33	0.58	-0.14	-1.04	-1.23
93	0.04	0.41	2.62	1.16	29.00	2.83	11.07	0.16	10.25	65.50	-0.10	-0.56	-0.50	-1.32	-0.88	-0.42	-1.00	-0.06	-0.30	-0.33
94	0.04	0.35	1.06	0.77	19.25	2.20	18.16	0.33	8.75	26.50	-0.10	-0.72	-1.37	-1.70	-1.16	-0.15	-1.30	0.77	-0.40	-1.09
95	0.20	0.43	9.30	3.47	17.35	8.07	1.87	0.05	2.15	46.50	1.15	-0.52	0.70	0.31	-1.23	-1.39	0.24	-1.43	-1.31	-0.62
96	0.13	0.29	2.14	1.86	14.31	6.41	6.69	0.14	2.23	16.46	0.81	-0.90	-0.70	-0.89	-1.36	-0.69	-0.03	-0.22	-1.29	-1.48
97	0.16	0.15	0.80	1.09	6.81	7.27	8.52	0.19	0.94	5.00	0.98	-1.53	-1.63	-1.38	-1.86	-0.56	0.12	0.14	-1.85	-2.47
98	0.11	0.36	3.46	1.48	13.45	4.11	3.89	0.10	3.27	31.45	0.68	-0.69	-0.24	-1.10	-1.40	-0.99	-0.56	-0.52	-1.04	-0.94
99	0.25	1.51	50.00	3.34	13.36	2.21	0.27	0.03	6.04	200.00	1.32	0.69	2.30	-0.34	-1.41	-2.44	-1.29	-1.91	-0.64	0.59
100	0.07	0.14	0.50	0.90	12.86	6.43	25.71	0.28	2.00	7.14	0.33	-1.60	-2.08	-1.56	-1.43	0.04	-0.03	0.59	-1.36	-2.17
101	0.22	0.37	3.76	3.34	15.18	9.03	4.04	0.10	1.68	17.09	1.22	-0.66	-0.16	-0.34	-1.32	-0.97	0.38	-0.58	-1.47	-1.45
102	0.07	0.16	4.30	0.96	13.71	6.00	3.19	0.04	2.29	61.43	0.33	-1.47	-0.03	-1.50	-1.39	-1.10	-0.11	-1.67	-1.27	-0.39
103	0.31	0.23	36.76	5.92	19.10	25.74	0.52	0.01	0.74	118.58	1.49	-1.12	2.01	0.19	-1.16	-2.08	1.62	-3.67	-2.01	0.16
104	0.05	0.29	2.08	0.84	16.80	2.90	8.08	0.14	5.80	41.60	0.07	-0.90	-0.72	-1.62	-1.25	-0.59	-0.97	-0.19	-0.67	-0.71
105	0.02	0.26	0.98	0.26	13.00	1.00	13.27	0.27	13.00	49.00	-0.64	-1.00	-1.44	-2.71	-1.42	-0.32	-2.24	0.53	-0.14	-0.57
106	0.03	0.37	6.06	0.64	21.33	1.73	3.52	0.06	12.33	202.00	-0.32	-0.66	0.29	-1.87	-1.09	-1.04	-1.58	-1.12	-0.18	0.60
107	0.10	0.29	3.80	0.90	9.00	3.10	2.37	0.08	2.90	38.00	0.61	-0.90	-0.15	-1.56	-1.67	-1.26	-0.89	-0.87	-1.12	-0.79
108	0.46	0.41	25.53	1.80	3.91	4.39	0.15	0.02	0.89	55.50	1.79	-0.56	1.66	-0.92	-2.24	-2.75	-0.48	-2.62	-1.89	-0.47
109	0.02	0.11	1.58	0.71	35.50	6.45	22.47	0.07	5.50	79.00	-0.64	-1.83	-0.99	-1.78	-0.74	-0.03	-0.97	-0.70	-0.18	-0.18
110	1.04	4.44	40.47	11.25	10.82	2.53	0.27	0.11	4.27	38.91	2.43	1.73	2.10	0.78	-1.55	-2.44	-1.13	-0.46	-0.87	-0.77
111	0.08	0.39	2.76	1.80	22.50	4.62	8.15	0.14	4.88	34.50	0.44	-0.61	-0.46	-0.46	-0.92	-1.05	-0.59	-0.42	-0.18	-0.87
112	0.02	0.14	1.22	0.26	13.00	1.86	10.66	0.11	7.00	61.00	-0.64	-1.60	-1.23	-2.71	-1.42	-0.44	-1.50	-0.41	-0.55	-0.39
113	0.03	0.14	1.00	1.48	49.33	10.57	49.33	0.14	4.67	33.33	-0.32	-1.60	-1.42	-1.10	-0.52	0.39	0.56	-0.19	-0.81	-0.89
114	0.16	0.69	4.36	1.93	12.06	2.80	2.77	0.16	4.31	27.25	0.98	-0.06	-0.02	-0.85	-1.47	-1.17	-1.01	-0.05	-0.86	-1.06
115	0.14	0.45	2.50	1.54	11.00	3.42	4.40	0.18	3.21	17.86	0.87	-0.48	-0.55	-1.06	-1.54	-0.92	-0.77	0.09	-1.05	-1.41
116	0.13	0.32	3.90	3.47	26.69	10.84														

[Order]	Cu_per	Pb_per	Zn_per	Ag_Oz	Ag_Cu	Ag_Pb	Ag_Zn	Pb_Zn	Pb_Cu	Zn_Cu	Cu_per-ZLog-All	Pb_per-ZLog-All	Zn_per-ZLog-All	Ag_Oz-ZLog-All	Ag_Cu-ZLog-All	Ag_Zn-ZLog-All	Ag_Pb-ZLog-All	Pb_Zn-ZLog-All	Pb_Cu-ZLog-All	Zn_Cu-ZLog-All
121	0.01	0.03	0.19	0.06	6.00	2.00	31.58	0.16	3.00	19.00	-1.18	-3.08	-3.00	-4.07	-1.95	0.15	-1.41	-0.05	-1.10	-1.36
122	0.76	0.76	44.63	6.75	8.88	0.20	0.02	1.00	58.72	2.18	0.03	2.19	0.31	-1.68	-2.60	0.36	-2.55	-1.81	-0.42	
123	0.08	0.46	2.56	1.54	19.25	3.35	7.52	0.18	5.75	32.00	0.44	-0.45	-0.53	-1.06	-1.16	-0.63	-0.80	0.09	-0.67	-0.93
124	0.08	0.03	0.20	0.39	4.88	13.00	24.38	0.15	0.38	2.50	0.44	-3.08	-2.95	-2.33	-2.09	0.01	0.81	-0.11	-2.45	-3.05
125	0.06	0.29	2.52	1.35	22.50	4.66	8.93	0.12	4.83	42.00	0.21	-0.90	-0.54	-1.18	-1.05	-0.54	-0.41	-0.79	-0.70	
126	0.03	0.20	1.20	0.77	25.67	3.85	21.39	0.17	6.67	40.00	-0.32	-1.26	-1.25	-1.70	-0.96	-0.06	-0.63	0.01	-0.58	-0.74
127	0.04	0.32	4.08	1.09	27.25	3.41	6.68	0.08	8.00	102.00	-0.10	-0.80	-0.08	-1.38	-0.92	-0.69	-0.78	-0.84	-0.46	0.03
128	0.01	0.06	0.17	0.32	32.00	5.33	188.24	0.35	6.00	17.00	-1.18	-2.42	-3.11	-2.52	-0.81	1.12	-0.25	0.85	-0.65	-1.45
129	0.08	0.25	0.58	2.12	26.50	8.48	45.69	0.43	3.13	7.25	0.44	-1.04	-1.94	-0.77	-0.94	0.35	0.30	1.07	-1.07	-2.16
130	0.25	0.49	7.78	7.19	36.76	18.76	4.72	0.06	1.96	31.12	1.32	-0.39	0.53	0.59	-0.72	-0.88	1.24	-1.08	-1.37	-0.95
131	0.02	0.88	6.34	7.46	373.00	8.48	58.83	0.14	44.00	317.00	-0.64	0.17	0.34	0.40	0.85	0.49	0.30	-0.20	0.65	0.98
132	0.05	1.80	13.37	10.61	212.20	5.89	15.87	0.13	36.00	267.40	0.07	0.86	1.05	0.73	0.47	-0.22	-0.13	-0.23	0.52	0.83
133	0.01	0.54	1.32	1.29	129.00	2.39	97.73	0.41	54.00	132.00	-1.18	-0.30	-1.16	-1.23	0.13	0.77	-1.20	1.02	0.78	0.25
134	0.01	0.57	3.75	1.84	184.00	3.23	49.07	0.15	57.00	375.00	-1.18	-0.25	-0.16	-0.90	0.37	0.39	-0.84	-0.10	0.82	1.12
135	0.01	0.14	0.44	4.95	495.00	35.36	1125.00	0.32	14.00	44.00	-1.18	-1.60	-2.20	0.02	1.04	2.09	2.00	0.73	-0.09	-0.66
136	0.01	0.27	1.26	7.72	772.00	28.59	612.70	0.21	27.00	126.00	-1.18	-0.97	-1.20	0.43	1.34	1.76	1.75	0.29	0.33	0.21
137	0.01	0.11	0.44	1.41	141.00	12.82	320.45	0.25	11.00	44.00	-1.18	-1.83	-2.20	-1.14	0.19	1.41	0.79	0.46	-0.25	-0.66
138	0.01	0.53	2.72	1.16	116.00	2.19	42.65	0.19	53.00	272.00	-1.18	-0.32	-0.47	-1.32	0.06	0.31	-1.31	0.18	0.77	0.85
139	0.05	0.63	3.04	6.49	129.80	10.30	42.70	0.21	12.60	60.80	0.07	-0.15	-0.36	0.27	0.13	0.32	0.53	0.25	-0.16	-0.40
140	0.03	0.21	2.28	6.11	203.67	29.10	89.33	0.09	7.00	76.00	-0.32	-1.21	-0.64	0.22	0.44	0.72	1.77	-0.66	-0.55	-0.21
141	0.01	0.12	0.58	0.51	51.00	4.25	87.93	0.21	12.00	58.00	-1.18	-1.75	-1.94	-2.08	-0.50	0.71	-0.52	0.25	-0.20	-0.43
142	0.01	0.31	3.42	0.84	84.00	2.71	24.56	0.09	31.00	342.00	-1.18	-0.83	-0.25	-1.62	-0.16	0.01	-1.05	-0.68	0.42	1.04
143	0.01	0.62	1.80	2.19	219.00	3.53	121.67	0.34	62.00	180.00	-1.18	-0.17	-0.86	-0.74	0.49	0.89	-0.74	0.82	0.87	0.51
144	0.01	0.14	0.96	1.35	135.00	9.64	140.63	0.15	14.00	96.00	-1.18	-1.60	-1.46	-1.18	0.16	0.96	0.46	-0.14	-0.09	-0.02
145	0.01	0.10	0.24	0.77	77.00	7.70	320.83	0.42	10.00	24.00	-1.18	-1.92	-2.78	-1.70	-0.22	1.41	0.19	1.04	-0.31	-1.17
146	0.01	0.10	1.98	0.84	84.00	8.40	42.42	0.05	10.00	198.00	-1.18	-1.92	-0.77	-1.62	-0.16	0.31	0.29	-1.33	-0.31	0.59
147	0.02	0.46	2.76	9.26	463.00	20.13	167.75	0.17	23.00	138.00	-0.64	-0.45	-0.46	0.60	1.00	1.06	1.33	0.01	0.23	0.29
148	0.02	0.39	0.90	14.34	717.00	36.77	796.67	0.43	19.50	45.00	-0.64	-0.61	-1.52	1.01	1.29	1.91	2.04	1.08	0.12	-0.65
149	0.01	0.26	1.14	0.68	68.00	2.62	59.65	0.23	26.00	114.00	-1.18	-1.00	-1.30	-1.82	-0.30	0.50	-1.09	0.36	0.31	0.13
150	0.01	0.11	7.14	2.12	212.00	19.27	29.69	0.02	11.00	714.00	-1.18	-1.83	0.45	-0.77	0.47	0.12	1.28	-2.66	-0.25	1.65
151	0.01	0.25	1.26	0.90	90.00	3.60	71.43	0.20	25.00	126.00	-1.18	-1.04	-1.20	-1.56	-0.11	0.60	-0.71	0.20	0.28	0.21
152	0.03	0.78	16.00	9.71	323.67	12.45	20.23	0.05	26.00	533.33	-0.32	0.05	1.22	0.64	0.75	-0.09	0.76	-1.37	0.31	1.41
153	0.01	0.09	0.64	4.37	437.00	48.56	682.81	0.14	9.00	64.00	-1.18	-2.03	-1.84	-0.10	0.96	1.82	2.37	-0.18	-0.38	-0.35
154	0.01	0.08	0.38	2.96	296.00	37.00	778.95	0.21	8.00	38.00	-1.18	-2.14	-2.34	-0.46	0.69	1.90	2.05	0.27	-0.46	-0.79
155	0.01	0.09	0.28	0.90	90.00	10.00	321.43	0.32	9.00	28.00	-1.18	-2.03	-2.63	-1.56	-0.11	1.41	0.50	0.74	-0.38	-1.04
156	0.01	0.09	0.30	1.41	141.00	15.67	470.00	0.30	9.00	30.00	-1.18	-2.03	-2.57	-1.14	0.19	1.62	1.03	0.67	-0.38	-0.98
157	0.01	0.04	0.15	0.13	13.00	3.25	86.67	0.27	4.00	15.00	-1.18	-2.81	-3.22	-3.35	-1.42	0.70	-0.84	0.54	-0.91	-1.56
158	0.09	3.70	42.65	24.31	270.11	6.57	6.33	0.09	41.11	473.89	0.53	1.55	2.15	1.49	0.63	-0.72	0.00	-0.72	0.61	1.31
159	0.01	0.24	1.02	6.49	649.00	27.04	636.27	0.24	24.00	102.00	-1.18	-1.08	-1.40	0.27	1.22	1.78	1.68	0.39	0.26	0.03
160	0.01	0.16	0.72	0.32	32.00	2.00	44.44	0.22	16.00	72.00	-1.18	-1.47	-1.73	-2.52	-0.81	0.34	-1.41	0.33	-0.01	-0.26
161	0.01	0.25	2.40	1.22	122.00	4.88	50.83	0.10	25.00	240.00	-1.18	-1.04	-0.59	-1.28	0.09	0.41	0.35	-0.52	0.28	0.74
162	0.01	1.30	7.56	4.63	463.00	3.56	61.24	0.17	13.00	756.00	-1.18	0.55	0.50	-0.04	1.00	0.51	-0.73	0.04	1.35	1.70
163	0.01	0.35	1.30	0.39	39.00	1.11	30.00	0.27	35.00	130.00	-1.18	-0.72	-1.17	-2.33	-0.68	0.12	-2.11	0.55	0.50	0.24
164	0.01	0.18	0.92	0.19	19.00	1.06	20.65	0.20	18.00	92.00	-1.18	-1.36	-1.50	-3.00	-1.17	-0.08	-2.17	0.19	0.07	-0.05
165	0.01	0.13	1.32	0.39	39.00	3.00	29.55	0.10	13.00	132.00	-1.18	-1.67	-1.16	-2.33	-0.68	0.12	-0.93	-0.58	-0.14	0.25
166	0.05	4.22	10.70	24.05	481.00	5.70	44.95	0.39	84.40	214.00	0.07	1.68	0.83	1.48	1.02	0.34	-0.17	0.97	1.07	0.65
167	0.04	1.70	5.16	13.05	326.25	7.68	63.23	0.33	42.50	129.00	-0.10	0.81	0.14	0.92	0.76	0.53	0.18	0.77	0.63	0.23
168	0.01	0.19	0.64	0.96	96.00	5.05	150.00	0.30	19.00	64.00	-1.18	-1.31	-1.84	-1.50	-0.07	1.00	-0.31	0.66	0.10	-0.35
169	0.01	0.22	0.24	1.16	116.00	5.27	483.33	0.92	22.00	24.00	-1.18	-1.16	-2.78	-1.32	0.06	1.64	-0.26	1.92	0.20	-1.17
170	0.01	0.08	0.36	0.45	45.00	5.63	125.00	0.22	8.00	36.00	-1.18	-2.14	-2.39	-2.20	-0.58	0.90	-0.18	0.33	-0.46	-0.83
171	0.01	0.24	1.22	1.03	103.00	4.29	84.43	0.20	24.00	122.00	-1.18	-1.08	-1.23	-1.43	-0.02	0.69	-0.51	0.19	0.26	0.18
172	0.02	0.35	0.82	17.23	861.50	49.23	1050.61	0.43	17.50	41.00	-0.64	-0.72	-1.61	1.18	1.42	2.06	2.39	1.06	0.05	-0.72
173	0.01	0.29	0.92	5.53	553.00	19.07	601.09	0.32	29.00	92.00	-1.18	-0.90	-1.50	0.12	1.12	1.75	1.26	0.72	0.38	-0.05
174	0.01	0.20	1.76	0.90	90.00	4.50	51.14	0.11	20.00	176.00	-1.18	-1.26	-0.88	-1.56	-0.11	0.41	-0.45	-0.42	0.14	0.49
175	0.01	0.18	1.12	0.45	45.00	2.50	40.18	0.16	18.00	112.00	-1.18</td									

Anexo 3: Matriz de Consistencia

En el presente anexo se presenta la matriz de consistencia, donde se tiene una tabla donde se explica de manera ordenada y resumida el problema del trabajo de investigación, los objetivos generales y específicos, la hipótesis, las variables, la metodología utilizada y la población de datos.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACIÓN
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera la geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de Zn, Pb, Cu y Ag de una veta en un yacimiento cordillerano definirá nuevas áreas de exploración?</p>	<p>Objetivo General: Determinar la geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de Zn, Pb, Cu y Ag para definir zonas de mayor y menor temperatura en las vetas de un yacimiento cordillerano e inducir nuevas áreas de exploración.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las características geoquímicas de las vetas cordilleranas para definir las secciones de isovalores y cocientes metálicos. - Determinar las zonas de mayor y menor temperatura en un yacimiento cordillerano para predecir el zoneamiento mineralógico de las principales vetas e inducir nuevas áreas de exploración. 	<p>La determinación de la geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de Zn, Pb, Cu y Ag en un yacimiento cordillerano definirá zonas de mayor y menor temperatura para inducir nuevas áreas de exploración.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nuevas áreas de exploración. - Zonas de mayor y menor temperatura. <p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geoquímica de isovalores y cocientes metálicos de Zn, Pb, Cu y Ag. 	<p>- Tipo y Diseño de la investigación: Científica aplicada.</p> <p>- Diseño: Cuantitativa.</p> <p>- Unidad de Análisis: Selección de vetas Veta San Cristóbal y Veta Andaychagua.</p> <p>- Tamaño de vetas: La Veta San Cristóbal tiene una extensión de 4Km de largo y 600 metros de profundidad. Las variaciones del ancho van de 1 a 6 metros en filitas y alcanza los 10 metros en los volcánicos.</p> <p>La Veta Andaychagua tiene una extensión de 3Km de largo y 900 metros de profundidad. Las variaciones del ancho van de 1.8 a 7.5 metros.</p>	<p>- Veta San Cristóbal: 3742 datos de leyes de Cu, Zn, Pb y Ag.</p> <p>- Veta Andaychagua: 28934 datos de leyes de Cu, Zn, Pb y Ag.</p> <p>Los datos de las leyes corresponden a muestras de canales de interior mina de la misma estructura de la veta, muestras de sondajes realizados desde superficie e interior mina de la misma estructura estudiada y muestras de superficie de afloramiento de la estructura tomados por muestreo en canales.</p> <p>La recolección de datos se realizó descargando desde la base de datos, las leyes de todas las muestras de la veta San Cristóbal y la veta Andaychagua.</p> <p>Los datos fueron analizados, validados y tratados mediante el software de base de datos, mediante software geoquímico y manualmente, aplicando un tratamiento estadístico general.</p>