



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

METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE GÉNESIS Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS TRAZA EN DEPÓSITOS DE RELAVES CHILENOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

TANIA NICOLE TRIVIÑO MADARIAGA

**PROFESOR GUÍA:
IRENE ARACENA PÉREZ**

**MIEMBROS COMISIÓN:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
ALEJANDRA ÁLVAREZ VALLEJOS**

SANTIAGO DE CHILE
2018

PROGRAMA TECNOLÓGICO ESTRÁTEGICO “RECUPERACIÓN DE ELEMENTOS DE
VALOR EN DEPÓSITOS DE RELAVES” DE CORFO, CÓDIGO 16PTECME 66527

Resumen

Chile es un país minero, destacado por ser uno de los mayores productores de Cu en el mundo, los cuales provienen de yacimientos explotados principalmente en la 2°, 3° y 4° Región. Sin embargo, como consecuencia de esta explotación del mineral se producen los relaves, los cuales a la fecha noviembre de 2016 SERNAGEOMIN ha visitado y muestreado 605 depósitos de relaves, de los cuales 100 están activos, 266 inactivos y 239 abandonados.

En este trabajo se analizan y estudian alrededor de 12 elementos químicos considerados como estratégicos por la Unión Europea (2014) con el fin de determinar si existe o no una potencial fuente de elementos traza de valor en los relaves chilenos. Sumado a estos 12 elementos, se suman algunos encontrados en concentraciones interesantes en los relaves de Chile. Es por esto que este trabajo pretende entregar una metodología para la caracterización de la génesis y distribución de estos elementos traza categorizados como críticos por la Unión Europea en conjunto con algunos elementos que se encuentran en concentraciones interesantes en los relaves chilenos.

Para ello en primera instancia se hace un análisis del catastro de relaves realizado por SERNAGEOMIN, el cual entrega los resultados de los análisis químicos realizados a todos los relaves chilenos. Esta primera fase entrega información acerca de la distribución de estos elementos traza, y como se relacionan con otros elementos u óxidos mayores

En conjunto con estos datos se realiza una campaña de terreno en la cual se muestrean 7 relaves distintos. A estos relaves se les hace un análisis químico y mineralógico.

Por tanto, los resultados de los análisis químicos se comparan con los obtenidos por Sernageomin para comprobar la congruencia a nivel regional como local, y esta información se contrasta con los análisis mineralógicos en busca de una relación entre ambos análisis para encontrar la génesis de los elementos seleccionados, respaldados a la vez por la bibliografía recopilada.

Por lo tanto, se concluye que en los relaves de la 3° y 4° Región ubicados dentro de la Franja Ferrífera las REE (principalmente La, Ce, Nd, Pr) se encuentran asociadas al apatito, el Co a la piritita y posiblemente hematita, el Cr y Ge a la hematita, y el Ga a minerales como las micas (especialmente biotita) y feldespato potásico. Lo cual atribuye un potencial económico a estos depósitos de relaves. Además, elementos con concentraciones interesantes como el Ba y Rb pueden ser encontrados en minerales como feldespato potásico, sericita y biotita, y el V posiblemente en óxidos de hierro como la hematita; lo cual puede incrementar el potencial económico de estos depósitos de relaves.

Agradecimientos

Quisiera agradecer, en primera instancia, a Corfo por financiar esta memoria y a la empresa JRI por brindarme la oportunidad de participar de este proyecto innovador con un gran impacto positivo en la minería de nuestro país.

A Bryan Townley, mi profesor co guía, por haberme presentado esta área de la geología y por ser el nexo principal en toda esta enriquecedora experiencia. A mi profesora guía, Irene Aracena, por ser una excelente guía durante todo mi proceso como memorista y brindarme todo su apoyo, dedicación y sabiduría. A Alejandra Álvarez, miembro de la comisión, por su grata disposición a siempre brindarme su ayuda.

A cada uno de mis compañeros que me acompañó durante este proceso de estudiante y me tendió una mano cuando me vio en apuros, a mi roommate Paloma por atenderme en mis momentos de crisis y al Negro y sus papis por abrirme las puertas de su casa. Especial agradecimiento a mis amigos de plan común, mis queridos amigos de geología (Vale, Pedrito, Chinito, Tami, Here, Catita) y compañeros de la carrera. A la Feña por acompañarme en esta última batalla final. Pero por sobre todo quiero agradecer a mi gran amigo Toto, por ser el mejor parner de estudio que la vida me pudo presentar, por su lealtad y cariño incondicional.

A mi pololo Eduardo por ser mi apoyo incondicional, por apañarme cuando me invadía la desmotivación, por siempre alentarme y creer en mí.

Por último, quisiera agradecer a mi familia, a mi papá, mi mamá, hermana y sobrina por siempre motivarme, preocuparse de mí y ser mi sustento emocional. Sin ustedes esto no sería posible. Gracias por tanto esfuerzo, tiempo, amor y dedicación invertidos; dieron sus frutos.

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Presentación.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Ubicación y accesos.....	3
1.4.1. Relaves de Chile.....	3
1.4.2. Zona de Estudio.....	4
2. Metodología.....	5
2.1. Muestreo con Barreno.....	5
2.2. Preparación Muestras.....	7
2.2.1. Secado de las Muestras.....	7
2.2.2. Disgregación y Separación de las muestras.....	9
2.3. Análisis químico.....	11
2.4. Análisis Mineralógico.....	11
3. Marco Teórico.....	14
3.1. Marco Geológico.....	14
3.2. Marco Metalogénico.....	15
3.2.1. Franja Metalogénica del Cretácico Inferior.....	15
3.3. Petrología Química.....	17
3.3.1. Óxidos Mayores.....	18
3.4. Elementos traza de valor y su distribución en Chile.....	25
3.4.1. Elementos traza de valor.....	25
3.4.2. Uso elementos traza.....	26
3.4.3. Génesis Elementos Traza.....	28
4. Resultados.....	31
4.1. Datos SERNAGEOMIN.....	31
4.1.1. Distribución de Fe ₂ O ₃ en los relaves de la 3° Región y su relación con otros óxidos y elementos.....	31
4.1.2. Distribución de Fe ₂ O ₃ en los relaves de la 4° Región y su relación con otros óxidos y elementos.....	46
4.2. Datos Terreno.....	67
4.2.1. Análisis Químico.....	69
4.2.2. Análisis Mineralógico.....	78
5. Discusiones.....	97
6. Conclusiones.....	102
7. Bibliografía.....	105
8. Anexos.....	111
8.1. Anexo 1.....	111
8.2. Anexo 2.....	129
8.3. Anexo 3.....	130

Índice de Tablas

Tabla 1: Agrupación de minerales realizada por el software iExplorer 5.3	12
Tabla 2: Concentración de elementos mayores en la corteza continental (Tomada de Poldevaart 1955; Ronnov y Yaroshevsky 1976).	18
Tabla 3: Concentración de óxidos mayores en distintos tipos de rocas (tomado de Le Maitre 1976).	18
Tabla 4: Concentraciones promedio de los óxidos mayores en las rocas representativas de los yacimientos chilenos (Tomadas y Modificadas de Suarez, 1977; Parada, 1992; Campano et al., 1979; Bobadilla, 2011; Ortiz, 2007; Gómez, 2015; Carrasco, 2016; Lara et al., 2001; Wäckerling, 2007; Mikacic, 2007; Aracena, 1981; Clavero et al., 2004; Gardeweg et al., 2016; Cornejo et al., 2015; Cancino et al., 1991; Gana, 1991; Montes, 2013)	19
Tabla 5 Elementos identificados como críticos por la Unión Europea (Tomado y modificado de European Comission, 2014)	25
Tabla 6 Uso industrial de las tierras raras seleccionadas (Tomado y modificado de Araya et al., 2016)	28
Tabla 7: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con $Fe_2O_3 > 10\%$. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.	37
Tabla 8: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con $Fe_2O_3 > 20\%$. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.	43
Tabla 9: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con $Fe_2O_3 > 10\%$. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.	50
Tabla 10: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con $Fe_2O_3 > 20\%$. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.	59
Tabla 11: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre especies mineralógicas y elementos en depósitos de relave correspondientes a las muestras tomadas en terreno. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.	79
Tabla 12: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre especies mineralógicas y elementos en depósitos de relave correspondientes a las muestras tomadas en terreno de la 3° Región. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.	82
Tabla 13: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre especies mineralógicas y elementos en depósitos de relave correspondientes a las muestras tomadas en terreno de la 4° Región. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.	89

Índice de Figuras

Figura 1: Distribución de relaves en Chile.	3
Figura 2: Ubicación y acceso a tranque de relave T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7.	4
Figura 3: Armado principal de equipo Barreno.	5
Figura 4 Cabeza perforadora Stony Soil.	6
Figura 5: Uso del cabezal tipo Barreno.	6
Figura 6: Registro del peso de las bandejas de aluminio.	8
Figura 7: Registro del peso de la muestra tras el proceso de secado.	8
Figura 8: Disgregación de la muestra mediante el uso del tamiz número 20. A la derecha de la foto se puede observar la brocha y espátula de cocina utilizadas en este proceso.	9
Figura 9: Resultado final de la disgregación.	9
Figura 10: Deposición de la muestra sobre trozo de cuero. B: Proceso de homogenización.	10
Figura 11: Limpieza del paño de cuero mediante el uso de alcohol.	11
Figura 12: Franja Ferrífera de Chile (Tomada y modificada de Makshev,2001).	17
Figura 13: Distribución de Fe_2O_3 en los relaves de la 3° Región.	31
Figura 14: Distribución de Fe_2O_3 en yacimientos de la 3° Región. Imagen derecha: Acercamiento a una zona de acumulación de yacimientos de interés.	32
Figura 15: Distribución de $Fe_2O_3 > 40\%$ en los yacimientos de la 3° Región.	33
Figura 16: Distribución de Fe_2O_3 en yacimientos de la 3° Región en su respectivo mapa geológico (Se descarta yacimiento Potrerillos para una mejor resolución del mapa).	34
Figura 17: Acercamiento de área con acumulación de yacimientos de interés de esta misma zona (Mapa geológico tomado de SERNAGEOMIN, 2003).	35
Figura 18: Distribución de Fe_2O_3 en los relaves de la 4° Región.	46
Figura 19: Distribución de Fe_2O_3 en yacimientos de la 4° Región.	47
Figura 20: Distribución de Fe_2O_3 en yacimientos de la 4° Región en su respectivo mapa geológico (Mapa geológico tomado de SERNAGEOMIN, 2003).	48
Figura 21: Mapa tranques de relave muestreados en la III y IV región de Chile.	67
Figura 22: Mapa yacimientos pertenecientes a las muestras tomadas en terreno en la III Región de Atacama y IV Región de Coquimbo.	68
Figura 23: Mapa geológico de yacimientos de los relaves muestreados en la III y IV región de Chile (Mapa geológico tomado de SERNAGEOMIN, 2003).	69

Índice de Gráfico

Gráfico 1: Variación de SiO ₂ en relación al tipo de roca.	20
Gráfico 2: Variación de TiO ₂ en relación al tipo de roca.	20
Gráfico 3: Variación de Al ₂ O ₃ en relación al tipo de roca.	21
Gráfico 4: Variación de Fe ₂ O ₃ en relación al tipo de roca.	21
Gráfico 5: Variación de FeO en relación al tipo de roca.	22
Gráfico 6: Variación de CaO en relación al tipo de roca.	22
Gráfico 7: Variación de MgO en relación al tipo de roca.	23
Gráfico 8: Variación de MnO en relación al tipo de roca.	23
Gráfico 9: Variación de Na ₂ O en relación al tipo de roca.	24
Gráfico 10: Variación de K ₂ O en relación al tipo de roca.	24
Gráfico 11: Variación de P ₂ O ₅ en relación al tipo de roca.	25
Gráfico 12: Recursos explotados en los yacimientos con Fe ₂ O ₃ >20% en la 3° Región.	36
Gráfico 13: Relación de entre Fe ₂ O ₃ y SiO ₂ en relaves de la 3° Región.	39
Gráfico 14: Relación entre Ce y La en relaves de la 3° Región.	39
Gráfico 15: Relación entre Ce y Nd en relaves de la 3° Región.	40
Gráfico 16: Relación entre Ce y Pr en relaves de la 3° Región.	40
Gráfico 17: Relación entre Ce y Sm en relaves de la 3° Región.	40
Gráfico 18: Relación entre Ce y Gd en relaves de la 3° Región.	41
Gráfico 19: Relación entre Pb y As en relaves de la 3° Región.	41
Gráfico 20: Relación entre Pb y Sb en relaves de la 3° Región.	41
Gráfico 21: Relación entre SiO ₂ y Zr en relaves de la 3° Región.	42
Gráfico 22: Relación entre Fe ₂ O ₃ y Nb en relaves de la 3° Región.	42
Gráfico 23: Relación entre K ₂ O y Rb en relaves de la 3° Región.	43
Gráfico 24: Relación entre K ₂ O y Ba en relaves de la 3° Región.	45
Gráfico 25: Recursos explotados en los yacimientos con Fe ₂ O ₃ >20% en la 4° Región.	49
Gráfico 26: Relación entre Fe ₂ O ₃ y P ₂ O ₅ en relaves de la 4° Región.	52
Gráfico 27: Relación entre Al ₂ O ₃ y K ₂ O en relaves de la 4° Región.	52
Gráfico 28: Relación entre Al ₂ O ₃ y TiO ₂ en relaves de la 4° Región.	53
Gráfico 29: Relación entre P ₂ O ₅ y Ce en relaves de la 4° Región.	53
Gráfico 30: Relación entre P ₂ O ₅ y Pr en relaves de la 4° Región.	54
Gráfico 31: Relación entre P ₂ O ₅ y Nd en relaves de la 4° Región.	54
Gráfico 32: Relación entre P ₂ O ₅ y Sm en la 4° Región.	54
Gráfico 33: Relación entre P ₂ O ₅ y Gd en relaves de la 4° Región.	55
Gráfico 34: Relación entre P ₂ O ₅ y Tb en relaves de la 4° Región.	55
Gráfico 35: Relación entre P ₂ O ₅ y Dy en relaves de la 4° Región.	55
Gráfico 36: Relación entre P ₂ O ₅ y Ho en relaves de la 4° Región.	56
Gráfico 37: Relación entre P ₂ O ₅ y Er en relaves de la 4° Región.	56
Gráfico 38: Relación entre P ₂ O ₅ y Tm en relaves de la 4° Región.	56
Gráfico 39: Relación entre P ₂ O ₅ e Yb en relaves de la 4° Región.	57
Gráfico 40: Relación entre P ₂ O ₅ y Lu en relaves de la 4° Región.	57
Gráfico 41: Relación entre Fe ₂ O ₃ y Co en relaves de la 4° Región.	58
Gráfico 42: Relación entre Fe ₂ O ₃ y Nb en relaves de la 4° Región.	58
Gráfico 43: Relación entre K ₂ O y Rb en relaves de la 4° Región.	59
Gráfico 44: Relación entre Fe ₂ O ₃ y P ₂ O ₅ en relaves de la 4° Región.	61
Gráfico 45: Relación entre SiO ₂ y Fe ₂ O ₃ en relaves de la 4° Región.	62
Gráfico 46: Relación entre Fe ₂ O ₃ y Ce en relaves de la 4° Región.	62

Gráfico 47: Relación entre Fe_2O_3 y Pr en relaves de la 4° Región.....	63
Gráfico 48: Relación entre Fe_2O_3 y Nd en relaves de la 4° Región.	63
Gráfico 49: Relación entre Fe_2O_3 y Sm en relaves de la 4° Región.....	63
Gráfico 50: Relación entre Fe_2O_3 y Gd en relaves de la 4° Región.	64
Gráfico 51: Relación entre Fe_2O_3 y Tb en relaves de la 4° Región.....	64
Gráfico 52: Relación entre Fe_2O_3 y Lu en relaves de la 4° Región.....	64
Gráfico 53: Relación entre SiO_2 y Zr en relaves de la 4° Región.	65
Gráfico 54: Relación entre Pb y As en relaves de la 4° Región.	65
Gráfico 55: Relación entre TiO_2 y V en relaves de la 4° Región.	66
Gráfico 56: Relación entre SiO_2 y Fe_2O_3 en muestras de terreno.	70
Gráfico 57: Relación entre Fe_2O_3 y P_2O_5 en muestras de terreno.	70
Gráfico 58: Relación entre Al_2O_3 y K_2O en muestras de terreno.....	71
Gráfico 59: Relación entre SiO_2 y Zr en muestras de terreno.	71
Gráfico 60: Relación entre K_2O y Rb en muestras de terreno.....	72
Gráfico 61: Relación entre Pb y As en muestras de terreno.....	72
Gráfico 62: Relación entre Fe_2O_3 y Ge en muestras de terreno.	73
Gráfico 63: Relación entre K_2O y Ba en muestras de terreno de la 3° Región.	73
Gráfico 64: Relación entre Fe_2O_3 y Co en muestras de terreno de la 4° Región.	74
Gráfico 65: Relación entre P_2O_5 y Ce en muestras de terreno de la 4° Región.	74
Gráfico 66: Relación entre P_2O_5 y Pr en muestras de terreno de la 4° Región.	75
Gráfico 67: Relación entre P_2O_5 y Nd en muestras de terreno de la 4° Región.	75
Gráfico 68: Relación entre P_2O_5 y Sm en muestras de terreno de la 4° Región.....	75
Gráfico 69: Relación entre P_2O_5 y Gd en muestras de terreno de la 4° Región.	76
Gráfico 70: Relación entre P_2O_5 y Tb en muestras de terreno de la 4° Región.	76
Gráfico 71: Relación entre P_2O_5 y Dy en muestras de terreno de la 4° Región.	76
Gráfico 72: Relación entre P_2O_5 y Ha en muestras de terreno de la 4° Región.	77
Gráfico 73: Relación entre P_2O_5 y Er en muestras de terreno de la 4° Región.	77
Gráfico 74: Relación entre P_2O_5 y Tm en muestras de terreno de la 4° Región.	77
Gráfico 75: Relación entre P_2O_5 e Yb en muestras de terreno de la 4° Región.	78
Gráfico 76: Relación entre P_2O_5 y Lu en muestras de terreno de la 4° Región.	78
Gráfico 77: Relación entre Hematita y Cr en muestras de terreno.....	80
Gráfico 78: Relación entre Hematita y V en muestras de terreno.....	80
Gráfico 79: Relación entre Hematita y Ge en muestras de terreno.	81
Gráfico 80: Relación entre Sericita/Muscovita y Rb en muestras de terreno.....	81
Gráfico 81: Relación entre Cuarzo y Zr en muestras de terreno.	82
Gráfico 82: Relación entre Feldespato Potásico y Zr en muestras de terreno.....	82
Gráfico 83: Relación entre Anfíbol y Eu en muestras de terreno de la 3° Región.	84
Gráfico 84: Relación entre Anfíbol y Tb en muestras de terreno de la 3° Región.....	84
Gráfico 85: Relación entre Anfíbol y Dy en muestras de terreno de la 3° Región.	85
Gráfico 86: Relación entre Anfíbol y Ha en muestras de terreno de la 3° Región.....	85
Gráfico 87: Relación entre Anfíbol y Er en muestras de terreno de la 3° Región.	85
Gráfico 88: Relación entre Anfíbol y Tm en muestras de terreno de la 3° Región.....	86
Gráfico 89: Relación entre Anfíbol e Yb en muestras de terreno de la 3° Región.....	86
Gráfico 90: Relación entre Apatito y Ce en muestras de terreno de la 3° Región.	87
Gráfico 91: Relación entre Apatito y La en muestras de terreno de la 3° Región.	87
Gráfico 92: Relación entre Apatito y Pr en muestras de terreno de la 3° Región.	87
Gráfico 93: Relación entre Apatito y Nd en muestras de terreno de la 3° Región.	88
Gráfico 94: Relación entre Biotita y Ga en muestras de terreno de la 3° Región.	88
Gráfico 95: Relación entre Biotita y Ba en muestras de terreno de la 3° Región.	89

Gráfico 96: Relación entre Apatito y Ce en muestras de terreno de la 4° Región.	91
Gráfico 97: Relación entre Apatito y Pr en muestras de terreno de la 4° Región.	91
Gráfico 98: Relación entre Apatito y Nd en muestras de terreno de la 4° Región.	91
Gráfico 99: Relación entre Apatito y Sm en muestras de terreno de la 4° Región.	92
Gráfico 100: Relación entre Apatito y Eu en muestras de terreno de la 4° Región.	92
Gráfico 101: Relación entre Apatito y Gd en muestras de terreno de la 4° Región.	92
Gráfico 102: Relación entre Apatito y Tb en muestras de terreno de la 4° Región.	93
Gráfico 103: Relación entre Apatito y Dy en muestras de terreno de la 4° Región.	93
Gráfico 104: Relación entre Apatito y Ha en muestras de terreno de la 4° Región.	93
Gráfico 105: Relación entre Apatito y Er en muestras de terreno de la 4° Región.	94
Gráfico 106: Relación entre Apatito y Tm en muestras de terreno de la 4° Región.	94
Gráfico 107: Relación entre Apatito e Yb en muestras de terreno de la 4° Región.	94
Gráfico 108: Relación entre Apatito y Lu en muestras de terreno de la 4° Región.	95
Gráfico 109: Relación entre Arcillas y La en muestras de terreno de la 4° Región.	95
Gráfico 110: Relación entre Feldespato Potásico y Ba en muestras de terreno de la 4° Región.	96

1. Introducción

1.1. Presentación

La zona de estudio se encuentra ubicada en la III región de Atacama y IV región de La Serena del norte de Chile; específicamente en los relaves correspondientes a variados yacimientos allí encontrados.

En la II región de Atacama, el sector minero representa la actividad laboral con mayor incidencia en el desarrollo económico local, representado por la extracción de minerales como cobre, hierro, oro, baritina, molibdeno y mármol. Una característica importante de la minería de esta zona es la existencia de cientos de pequeñas empresas que participan en el volumen total de producción minera.

La IV región de La Serena está caracterizada por una gran cantidad de faenas mineras que forman parte de la pequeña minería, sin embargo, estas igualmente generan sus propios tranques de relave, convirtiendo a esta región en aquella que presenta la mayor cantidad de relaves en nuestro país.

Al ser todas estas regiones mineras, estas representan un alto potencial de generar relaves mineros, los cuales se definen como un sólido finamente molido que se descarta en las operaciones mineras. Este se produce una vez que la roca ha sido molida, concentrada por procesos de flotación y procesada o vendida como concentrado; obteniendo así el resto de material muy pobre en minerales de interés como el cobre. A la fecha noviembre de 2016 se han visitado y muestreado 606 depósitos de relaves, de los cuales 100 están activos, 266 inactivos, 239 abandonados y 1 depósito en condición de emergencia. (SERNAGEOMIN)

En casos como el de China, este país posee más de 150 tipos de minerales con 8000 minas activas, con un total de 59,7 billones de toneladas de relaves, los cuales han sido desechados como desperdicio. De estos, un tercio es utilizado para la generación de menas de hierro, cuyos minerales son utilizados en materiales de pavimentación y sustitutos de arenas. También como hay relaves que contienen elementos traza como ZN, Mn, Cu, Mo, V, B, Fe, P, estos pueden ser utilizados para el crecimiento y desarrollo de plantas, lo cual está siendo estudiado por ciertas instituciones. (Zhang et al. 2006)

En Chile, la empresa líder en el procesamiento de relaves es Valle Central, ubicada en la VI Región de Rancagua, la cual recupera cobre y molibdeno de los relaves frescos provenientes de Codelco-Chile División El Teniente, y además posee los derechos para remover y procesar los relaves antiguos depositados en el Tranque Cauquenes.

Por lo tanto, debido a todos los antecedentes anteriormente nombrados, este trabajo se enmarca en la generación de una metodología capaz de caracterizar la génesis y distribución de elementos traza en los depósitos de relaves. Esto es relevante para futuras empresas en este rubro, ya que representa una herramienta de fácil utilización y bajo costo para generar estudios en una primera fase explorativa de los elementos traza que pueden ser de interés económico en este tipo de depósitos.

Una motivación adicional que acompaña la realización de este estudio es el concepto de reciclaje que engloba la explotación de los depósitos de relaves, ya que reprocessa minerales que en algún momento fueron categorizados como residuos. Además, en el caso de los depósitos de relaves abandonados, estos a menudo contienen cantidades significativas de metales potencialmente valiosos, particularmente donde la eficiencia de las tecnologías de flotación utilizadas para concentrar minerales no era tan buena como las disponibles actualmente (Falagán et al., 2016).

Se estima que en Chile la cantidad de relaves generados solo como productos de concentración de sulfuro de cobre alcanza los 481 millones de toneladas anuales, cifra que seguirá aumentando a medida que disminuyan los minerales (Videla et al., 2016), por lo cual es de suma importancia implementar medidas para aminorar estas cifras. Por último, la implementación de nuevas tecnologías y métodos para el reprocessamiento de minerales en estos depósitos implica un incentivo para la creación de empresas en este rubro, lo cual genera una nueva fuente de trabajo que aporta a la economía local de estas regiones mineras.

1.2. Objetivos

Definir una metodología para caracterizar la génesis y distribución de elementos traza en depósitos de relaves de la III región de Atacama y la IV región de Coquimbo del Norte de Chile.

1.2.1. Objetivos específicos

- Identificar una relación directa entre los elementos traza y óxidos mayores analizados por SERNAGEOMIN en los depósitos de relaves de la II, III y IV región.
- Identificar una relación directa entre los elementos traza y óxidos mayores analizados en las muestras de terreno en depósitos de relaves específicos de la II y III región.
- Identificar una asociación entre la mineralogía y los elementos traza analizados en las muestras de terreno en depósitos de relaves específicos de la II y III región.
- Evaluar el alcance y efectividad de las técnicas de análisis mineral utilizadas.

1.3. Hipótesis

Los depósitos de relaves chilenos representan una potencial fuente de elementos traza de interés económico. La concentración de estos elementos está restringida a la ocurrencia de ciertos minerales y elementos mayores (Cu, Fe, Mo, etc.) que dependen de la ubicación y tipo de

yacimiento de donde provienen estos depósitos de relave. Esta dependencia hace factible la generación de una metodología para caracterizar la génesis y distribución de estos elementos en los depósitos de relaves chilenos.

1.4. Ubicación y accesos

1.4.1. Relaves de Chile

Dado que este trabajo se conforma de dos partes, y una de estas está relacionada con todos los relaves analizados y categorizados por SERNAGEOMIN, a continuación, se presenta un mapa de la distribución de todos los relaves de Chile.

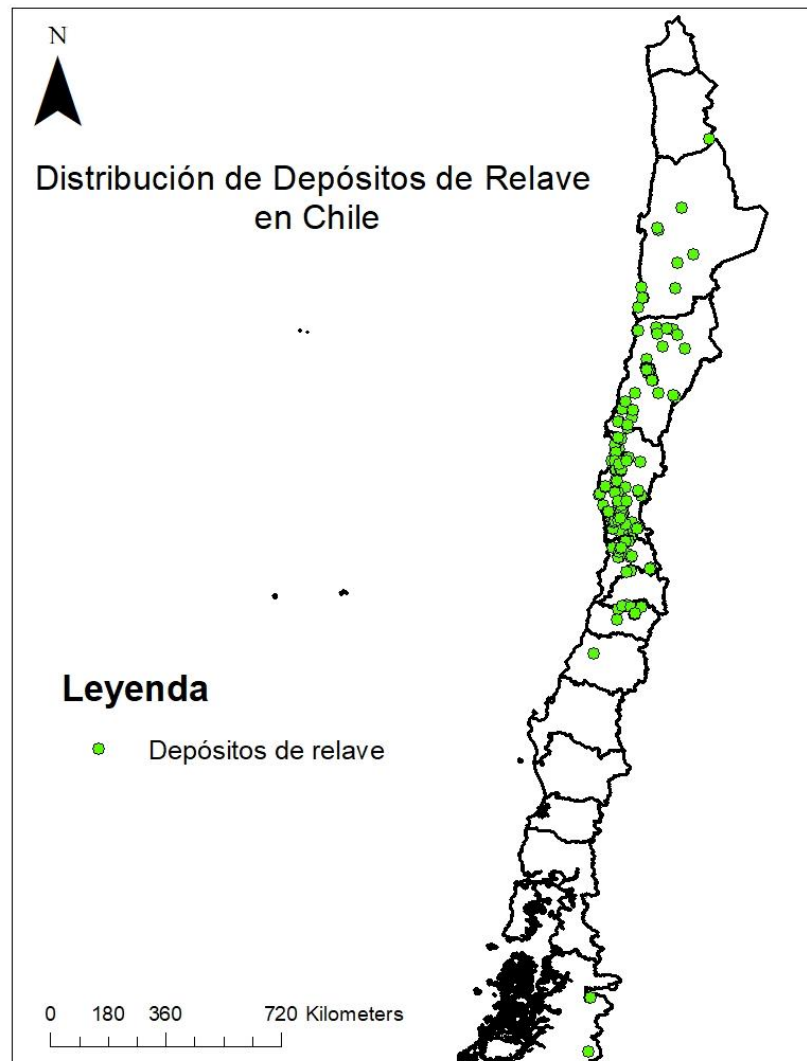


Figura 1: Distribución de relaves en Chile.

1.4.2. Zona de Estudio

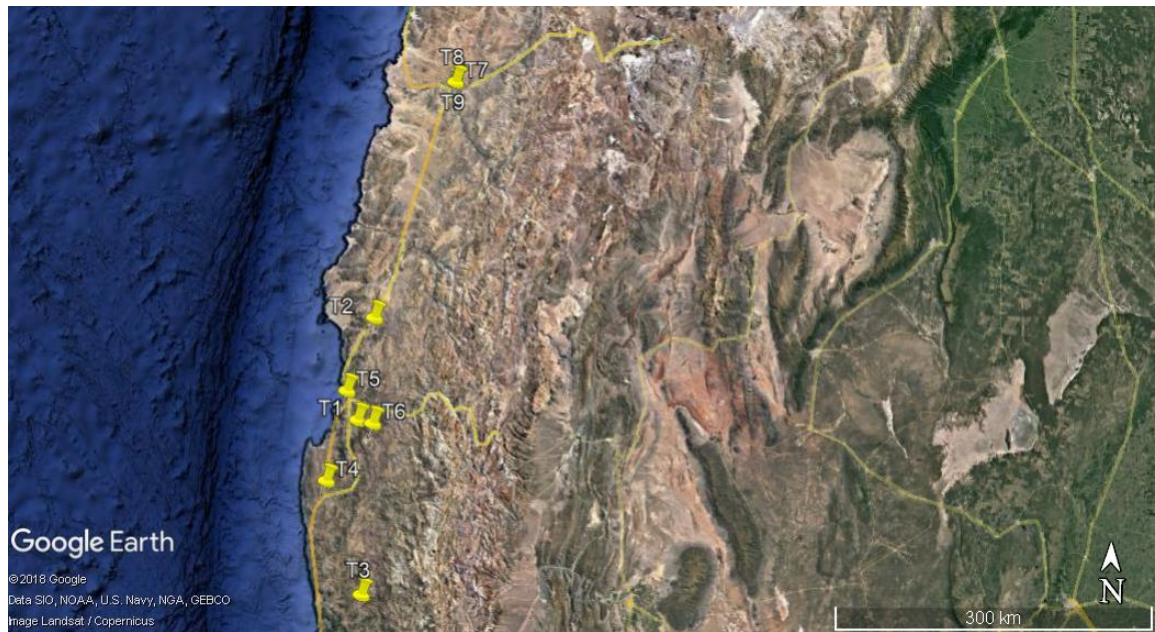


Figura 2: Ubicación y acceso a tranque de relave T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7.

Los tranques de relave T1, T2, T3, T4, T5 y T6 se encuentran en la IV región de Coquimbo y los tranques T7, T8 y T9 se encuentran en la III región de Atacama. Para acceder a todos estos depósitos desde Santiago se debe tomar la ruta 5 norte.

2. Metodología

2.1. Muestreo con Barreno

Para la obtención de las 17 muestras en terreno se hace uso del Barrero el cual es elegido debido a su fácil transporte, bajo costo y efectividad para el alcance de esta toma de muestra. Este método de muestreo responde al procedimiento explicado a continuación:

- Elección de los puntos de perforación en relación a la representatividad del relieve a muestrear y la cercanía a los puntos muestreados por SERNAGEOMIN. Una vez elegidos se deben georreferenciar mediante el uso de GPS.
- Generación de un área cuadrada de 80cmx80cm.
- Antes de comenzar a perforar, retirar la capa superficial de suelo (50 cm) del punto elegido mediante el uso de una pala.
- Armado del equipo Barreno

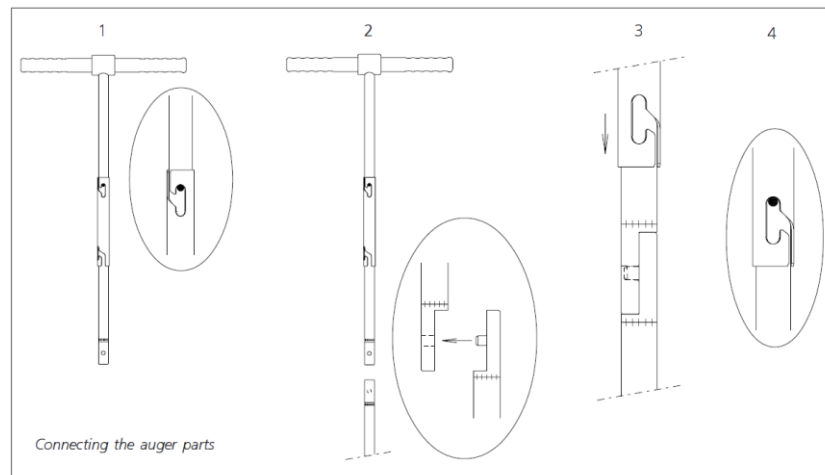


Figura 3: Armado principal de equipo Barreno

- Atornillar manualmente la manilla a la extensión principal e introducir un acople de extensión a esta misma.
- Para ajustar la altura requerida se cuenta con extensiones que proporcionan un máximo de 5 metros, las cuales deben ser unidas como se muestra en la segunda imagen de la Figura 3.
- Asegurar la unión de estas extensiones mediante el acople introducido anteriormente. Además, para evitar atrapamiento de las extensiones en los orificios de perforación, se refuerza la unión de estas mediante el uso de cinta multiuso gris.
- Unir a la última extensión la cabeza perforadora “stony soil”, asegurándolo con un acople de extensión y reforzado con cinta multiuso gris.



Figura 4 Cabeza perforadora Stony Soil.

- Proceder a la introducción del muestreador en el centro del área limpiada mediante el giro de la manilla en sentido horario y marcar el punto inicial de perforación. A medida que se alcanza profundidad y la ejecución del barrero se imposibilita, se debe volver a marcar el punto final y luego proceder a sacar el barreno.
- Medir la profundidad alcanzada mediante el punto inicial y final marcado.



Figura 5: Uso del cabezal tipo Barreno.

- Mediante el uso de guantes de nitrilo, se debe depositar esta muestra en una bolsa ziploc y proceder a su rotulación con plumones permanentes. En esta rotulación se debe dar un código lógico a la muestra y especificar el metraje de esta. En el caso de la primera muestra, su metraje sería 0,5m a 1,3m.
- Limpiar el cabezal mediante el uso de agua, cepillos y toallas húmedas para evitar contaminación de la próxima muestra.
- Repetir el proceso hasta que se obtengan la cantidad de muestras deseadas o se alcance la profundidad máxima alcanzada por el barreno (5 metros).

- Una vez finalizada la perforación, rellenar los orificios hechos para evitar tropiezos de personas y/o animales que puedan concurrir aquella zona.
- Hacer una limpieza final de la maquinaria y realizar un check list para verificar que se cuentan con todos sus implementos.

Cabe destacar que la elección de los tranques de relave muestreados se hace en base a las cantidades de tierras raras encontradas, específicamente, a la suma de los elementos La y Ce; en el catastro de relaves realizado por SERNAGEOMIN.

2.2. Preparación Muestras

La preparación de las muestras tomadas con Barreno es realizada en el Centro de Investigación de JRI, en donde se hace el respectivo secado, disgregación y separación de las muestras. Estos procedimientos son explicados a continuación.

2.2.1. Secado de las Muestras

Las muestras tomadas con Barreno se encontraban in situ, es decir, no tenían ni un tratamiento posterior a su extracción, por lo cual a continuación se describe la metodología utilizada en el secado de 3 muestras provenientes del tranque de relave T1, 4 del tranque T2, 2 del tranque T3, 4 del tranque T4, 2 del tranque T5, 4 del tranque T6, 6 del tranque T7, 4 del tranque T8 y 4 del tranque T9.

Los depósitos de relaves se caracterizan por estar compuestos por materiales muy finos producto de la molienda de la roca utilizada en los procesos mineros de recuperación de cobre. Estos procesos involucran el uso de agua para su desarrollo, por lo cual generalmente el material de estos depósitos se encuentra húmedo, inclusive saturado en humedad. Esta última característica de los depósitos de relave supone un gran problema para la ejecución de análisis químico, ya que estos deben hacerse en muestras completamente secas, es decir, libres de humedad.

2.2.1.1. Registro de muestra

Una vez recepcionadas las muestras se debe hacer un registro completo de estas, lo cual incluye el nombre de rotulación proporcionado, el metraje (desde – hasta) del pozo correspondiente, el lugar de procedencia y evaluar si se encuentran húmedas, ya sea en pequeña proporción o saturadas.

Además, a cada una de estas muestras se le ha asignado un nuevo código para facilitar la rotulación posterior de estas (Ej: 1618).

2.2.1.2. Registro del peso inicial

Una vez realizada la primera revisión de las muestras se procede a pesar y registrar el peso de cada una de estas en sus bolsas originales, mediante el uso de una balanza digital.

2.2.1.3. Registro del peso de la bandeja

Para realizar el secado de las muestras, estas fueron puestas en bandejas de aluminio, las cuales son pesadas en una primera instancia mediante el uso de la balanza y junto con ello, rotuladas con el peso que poseen (Tara) y el código de la muestra asociada.



Figura 6: Registro del peso de las bandejas de aluminio.

2.2.1.4. Registro del peso de la bandeja más la muestra mojada

Una vez pesadas y rotuladas las bandejas de aluminio se procede a depositar cada una de las muestras en sus respectivas bandejas (sin la bolsa inicial) y se hace un registro del peso de estos dos componentes.

2.2.1.5. Secado de las muestras y registro de su peso

Una vez que cada muestra es puesta en su bandeja respectiva, se procede al secado de estas a temperatura ambiente (aproximadamente 30°C).

Terminado este proceso las muestras fueron pesadas y registradas con este peso, para luego repetir el proceso de secado, pero en un tiempo reducido a 30 minutos. Tras el segundo secado estas muestras nuevamente fueron pesadas y registradas con su peso.

Una vez obtenidos los pesos de las muestras tras el primer y segundo secado se proceden a comparar estos pesos. En caso de tener una diferencia en el rango de $\pm 0,1$ gr se establece un peso constante, con lo cual la muestra se encuentra lista. En caso contrario, la muestra debe volver a ser secada a temperatura ambiente y volver a ser pesada una vez finalizado el secado, hasta obtener la variación de peso en el rango aceptable.



Figura 7: Registro del peso de la muestra tras el proceso de secado.

2.2.1.6. Peso de la muestra

Finalmente, el peso oficial de la muestra corresponde al resultado de aquel peso registrado en el último secado menos el peso de la bandeja de aluminio correspondiente.

2.2.2. Disgregación y Separación de las muestras

Antes de enviar las muestras a análisis es necesario separar en tres las muestras, ya que un tercio de esta porción es para análisis químico, otro tercio para análisis mineralógico y el restante queda como testigo en el Centro de Investigación de JRI.

2.2.2.1. Disgregación de la muestra

La disgregación de las muestras tiene por objetivo emparejar la granulometría mediante el uso de un tamiz número 20, el cual posee una abertura de 0.841 mm. Las porciones de muestra que se encuentran aglutinadas son presionadas sobre el tamiz para lograr la ruptura de estos cúmulos, lo cual se realiza mediante el uso de espátulas de cocina. Finalmente, el residuo de la muestra que puede quedar atascada en las mallas del tamiz es presionado mediante el uso de brochas para lograr una disgregación completa.

No obstante, si la muestra no puede ser disgregada completamente, es decir, posee partículas mayores a las permitidas por el tamiz número 20, la muestra no es homogenizada y simplemente es separa en pomos que contengan las partículas mayores a 0,841 mm y aquellas iguales o menores a este diámetro.



Figura 8: Disgregación de la muestra mediante el uso del tamiz número 20. A la derecha de la foto se puede observar la brocha y espátula de cocina utilizadas en este proceso.



Figura 9: Resultado final de la disgregación.

2.2.2.2. Homogenización

Una vez disgregada la muestra, esta debe ser homogenizada. El proceso utilizado para este es la homogenización por roleo, el cual consta del uso de un pedazo cuadrado de cuero. En el medio de este trozo de cuero se deposita la muestra ya disgregada y se procede a llevar una de las esquinas de este cuadrado al centro haciendo girar la muestra sobre si misma. Se repite este proceso con las siguientes tres esquinas del cuadrado, lo cual una vez finalizado se denomina una punta. El proceso de homogenización por roleo finaliza una vez completada las 20 puntas.

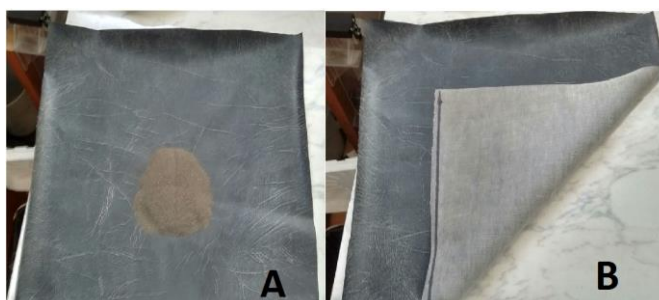


Figura 10: Deposición de la muestra sobre trozo de cuero. B: Proceso de homogenización.

2.2.2.3. Rotulación de pomos

Antes de proceder a separar la muestra, es de suma importancia rotular las bolsas ziploc en donde se dispondrán cada tercio de las muestras. En esta bolsa debe ir rotulado el código de la muestra y especificar a qué tercio corresponde.

2.2.2.4. Separación de la muestra

La muestra ya homogenizada debe ser dispuesta en una forma de fácil separación, para luego ser dividida en tres partes. Posteriormente se lleva cada tercio de la muestra a su bolsa ziploc respectiva.

2.2.2.5. Limpieza paño de cuero

Para evitar la contaminación de las muestras que serán posteriormente homogenizadas y separadas, el trozo de cuero utilizado debe ser limpiado. Este proceso se realiza mediante el uso de alcohol ya que es de rápido secado, evitando así la humectación de la muestra.



Figura 11: Limpieza del paño de cuero mediante el uso de alcohol.

2.3. Análisis químico

El análisis químico de las muestras recolectadas en terreno se hace en el Laboratorio Químico de SERNAGEOMIN el cual está especializado en el análisis de elementos mayores, trazas y ultra trazas en muestras de relaves y realiza una calibración instrumental se con patrones certificados y trazables del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos (NIST).

Los 56 elementos químicos analizados en cada muestra corresponden a:

- 10 óxidos mayores (%): SiO_2 , Na_2O , K_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , P_2O_5 y MnO .
- 45 elementos traza (ppm): Cu, V, Ni, Cr, Co, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb, Sc, As, Mo, Sb, Sn, Ag, Cd, Bi, W, Ga, Ge, U, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ha, Er, Tm, Yb, Lu, Cs, Hf, Ta, Th, Au, Hg.
- S total (%)

Para analizar los elementos y óxidos descritos anteriormente, se utiliza una muestra de 2,7 gr, sin embargo, entre algunos grupos de elementos hay variaciones en sus técnicas de análisis. Los óxidos mayores y los elementos trazas desde el Cu al W (siguiendo el orden indicado más arriba) son analizados mediante fluorescencia. En el caso del grupo de las Tierras Raras y los elementos traza desde el Ga al U, son sometidos a fusión con borato de litio y luego digestión con ácido nítrico para ser analizados mediante ICP-MS. El oro (Au) es analizado mediante Absorción Atómica y el Hg mediante un mercuriómetro. Por último, el S total es medido a través de Fluorescencia de Rayos X.

2.4. Análisis Mineralógico

El análisis mineralógico de las muestras recolectadas en terreno se realiza en el Laboratorio ASMIN, el cual está especializado en la determinación mineralógica mediante la técnica QEMSCAN. Para realizar esta técnica fue necesario entregar la información de los análisis químicos realizados.

Las muestras fueron separadas mediante cuarteador micro-riffler y una alícuota representativa de cada una de ellas, las cuales fueron montadas en una briqueta. Las 17 muestras fueron pulidas y preparadas para análisis QEMSCAN y luego las briquetas fueron carbonizadas para producir conductividad en la superficie de esta.

El método de medición QEMSCAN-BMA (Análisis Mineralógico en Masa), utilizado en el análisis de las muestras, es un método de análisis linear. Cada bloque es escaneado y produce una población estadísticamente alta con la alineación al azar de las partículas asegurando un muestreo apropiado. El sistema adquiere espectros de rayos X de energía dispersiva (EDX) e información de imagen de electrones retrodispersados (BEI) de cada punto de medición.

El método se basa en mediciones rápidas, sin imágenes, las cuales producen una mineralogía modal cuantitativa y relaciones entre los minerales.

Debido a que la data de QEMSCAN es demasiado extensa, se utiliza un software (iExplorer 5.3) para la simplificación de esta lista mediante agrupaciones minerales, las cuales se explican a continuación.

Tabla 1: Agrupación de minerales realizada por el software iExplorer 5.3

Chalcopyrite: Calcopirita y otras fases con Cu-Fe-S.
Chalcocite/Covellite: Calcosina, digenita, covelina, y otras fases con Cu-S.
Bornite: Bornita y otras fases con Cu-Fe-S.
Cu As Sulphide: Enargita, tenantita-tetrahedrita y otros sulfuros de Cu –As-Sb.
Malaquite/Azurite: Malaquita, azurita y otras fases de carbonatos de Cu.
Chrysocolla: Crisocola y otras fases de silicatos de Cu.
Other Cu Oxide: Otros óxidos de Cu como turquesa, brochantita, etc.
Cu Mica: Minerales micáceos con presencia de Cu.
Cu Chlorite: Cloritas con presencia de Cu.
Cu Clay: Arcillas con presencia de Cu.
Cu Limonites: Limonitas con presencia de Cu.
Pirite: Piritita y fases de sulfuros de Fe.
Pyrrhotite: Pirrotina y otros.
Molybdenite: Molibdenita.
Galena: Galena y fases Pb-S.
Sphalerite: Esfalerita y otras fases con Zn y Fe.
Sb Minerals: Fases minerales no definidas con Sb.
Quartz: Cuarzo y variedades de sílice.
Plagioclase: Feldespatos de Ca-Na, principalmente grupo albita-oligoclasa.
Feldspar Albite: Albita.
K-Feldspar: Feldespatos K.
Biotite /flogopite: Filosilicatos ricos en Mg y Fe, tales como biotita y/o flogopita.
Sericite: Filosilicatos tales como muscovita y otras micas.
Pyrofillite: Pirofilita.
Piroxene: Minerales del grupo de los piroxenos.
Amphibole: Anfíboles tales como hornblenda y actinolita.

Chlorite: Minerales del grupo de las cloritas.
Wallastonite: Wallastonita y otras fases de silicatos de calcio.
Tourmaline: Minerales del grupo de la turmalina como chorlita y dravita.
Andalusite: Minerales del grupo de la andalusita.
Mn Silicates: Silicatos poco definidos con presencia de Mn.
Other Silicates: Silicatos no considerados anteriormente.
Epidote: Minerales del grupo de las epidotas.
Calcite: Calcita y otros carbonatos.
Mn Carbonates: Carbonatos con manganeso tales como rodocrosita.
Dolomite: Dolomita y otros carbonatos de Mg.
Siderite: Siderita y otros carbonatos de Fe.
Anhydrite/Gypsum: Todas las fases de sulfato de Ca (anhidrita y/o yeso).
Alunite: Alunita.
Clays: Caolinita y arcillas del grupo de las esmectitas.
Fe Oxides/Hidroxides: Predominantemente magnetita y hematita.
Jarosite: Jarosita.
Cobaltite: Cobaltita y otras fases minerales con cobalto.
Sphene: Esfeno.
Ce Phosphate (Monacite): Monacita y otras fases minerales con Ce.
Al Phosphate: Fosfatos con Al.
Apatite: Apatito y otros fosfatos de Ca.
Rutile/Anatase: Minerales de titanio tales como rutilo-anatasa
Ilmenite: Minerales de titanio y Fe tales como ilmenita.
Fluorite: Fluorita y otras fases minerales con F.
Oxide (Baddeleyite): Baddeleyita y otras fases con Zr-Oxides.
Zircón: Zircón.
Barite: Baritina y otras fases de sulfatos de Ba.
Corundum: Corindón.
Others: Incluye todas las fases no incluidas anteriormente y/o que ocurren en concentraciones trazas. En este grupo también se incluyen fases artificiales productos de moliendas, tales como esquirlas que pueden contener Ti o V.

3. Marco Teórico

3.1. Marco Geológico

El área de este estudio abarca una gran variedad de litologías, enmarcadas a lo largo de toda la Cordillera de la Costa en la 3° y 4° región. Sin embargo, algunos yacimientos también pueden encontrarse en la Cordillera Principal.

Formaciones estratificadas

Formación Punta del Cobre (Sergeyström y Ruiz, 1962): Corresponden principalmente a una secuencia de rocas volcánicas andesíticas a dacíticas, con niveles subordinados de tobas y brechas tobáceas, en su unidad inferior, y una secuencia volcánico-sedimentaria compuesta por areniscas finas a medias en su unidad superior). De edad Jurásico Superior Valanginiano Inf. (Matthews, et al., 2005), esta formación se apoya en disconformidad discordancia angular y de erosión sobre la Formación La Negra.

Formación Arqueros (Aguirre y Egert, 1962): Secuencia de andesitas porfíricas y calizas marinas que lleva en su parte superior mantos de manganeso y cuyos afloramientos más típicos se encuentran en el llano de Arqueros. La Formación Arqueros pertenece al Hauteriviano Barremiano (Aguirre y Egert, 1965) y posee un espesor entre 585m a 635m; el piso de esta formación se encuentra en discordancia con la formación volcánica La Negra y el techo es el contacto concordante con la formación Quebrada Marquesa.

Formación Quebrada Marquesa (Payne, 1995): Corresponde a una secuencia de lavas andesíticas y rocas piroclásticas continentales, que cerca de la base presenta intercalaciones de areniscas calcáreas marinas. Por su contenido fosilífero y posición estratigráfica se ha asignado al Neocomiano superior – Aptiano (Aguirre y Egert, 1965). Posee más de 500 m de espesor y sobreyace a la Formación Arqueros.

Formación Veta Negra (Thomas, 1958): Unidad volcánica constituida por dos miembros:

- Miembro Purehue (inferior): conformado por rocas volcánicas y sedimentarias rojas. Las rocas volcánicas son lavas andesíticas, frecuentemente brechosas y/o vesiculares y los sedimentos rojizos, principalmente areniscas, conglomerados y brechas
- Miembro Ocoa (superior): formado casi en su mayoría por “ocoítas”, con menores intercalaciones de tobas y areniscas

En base a sus relaciones estratigráficas se le asigna una edad BarremianoAlbiano, subyacente por la Formación Lo Prado de edad Hauteriviana e intruída en su parte superior por granitoides de edad Cenomaniana (Munizaga y Vicente, 1982). Su contacto superior con la Formación Las Chilcas ha sido descrito como discordante (Levi, 1968) y concordante (Thomas, 1958).

Cuerpos Intrusivos

El cinturón de intrusivos del Cretácico Temprano tardío al Cretácico Tardío temprano está formado por un amplio espectro litológico, incluyendo desde gabros a granitos, y definiendo una serie calcoalcalina rica en potasio (Parada et al., 2007). Dichos intrusivos cortan a las secuencias

jurásicas y cretácicas hasta la Formación Las Chilcas, y se disponen de forma general N – S, paralelos a las formaciones sedimentarias (Gröpper, 2011).

Complejo Plutónico Illapel (CPI): El Complejo Plutónico Illapel (CPI), inicialmente definido es un elemento distintivo de la geología entre los 31°25' y los 32°30' S, expuesta en un área mayor a 3.200 km² y que se encuentra emplazada principalmente en rocas intrusivas y volcánicas del Jurásico, y en rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico Inferior (Ferrando, 2014). Según Rivano et al. (1985) y Parada et al. (1999) los afloramientos del CPI se dividen en dos unidades: Chalinga (95% del total de afloramientos) y Limahuida (5% del total de afloramientos), que corresponden a granodioritas y tonalitas de anfíbol y biotita, y granodioritas y trondhjemitas respectivamente. Dataciones de U-Pb realizadas en titanitas magmáticas por Morata et al. (2006) entregaron un rango de edad entre los 105,9±1,5 y los 97,7±0,5 Ma

Plutón Caleu: Varias decenas de kilómetros al sur del CPI, también en la Cordillera de la Costa, se encuentra el Plutón Caleu, el cuerpo intrusivo más estudiado de la franja magmática del Cretácico Inferior, al menos del centro y norte de Chile (Parada y Larrondo, 1999; Parada et al., 2001; Parada et al., 2002; Parada et al., 2005a; Parada et al., 2005b). Se encuentra emplazado en potentes secuencias volcánicas y sedimentarias del Cretácico Inferior (formaciones Horqueta, Lo Prado, Veta Negra y Las Chilcas; de más vieja a más joven respectivamente) (Vergara et al., 1995). En cuanto a los datos geocronológicos, el Plutón Caleu se habría emplazado en un rango de edad entre los 97-94 Ma (Parada et al., 2005).

Si bien el Plutón Caleu es un cuerpo intrusivo mucho más acotado (en cuanto extensión areal) y que se emplaza en un intervalo más restringido de tiempo en comparación con el CPI, llama la atención su variedad composicional: gabros, dioritas, tonalitas y granodioritas.

3.2. Marco Metalogénico

Este estudio se basa en variados relaves distribuidos a lo largo de la II región de Antofagasta, III Región de Atacama y IV región de Coquimbo. Estas tres regiones nombradas abarcan la totalidad de todas las franjas metalogénicas de Chile, las cuales son la razón principal de la mineralización correspondiente a cada una de estas localidades. Estas franjas metalogénicas longitudinales poseen características distintivas en cuanto a edad (de acuerdo con numerosas dataciones), posición geográfica y tipo(s) de mineralización presente. (Maksaev, 2001). No obstante, esta tesis tiene un enfoque en la Franja Ferrífera, correspondiente a la Franja Metalogénica del Cretácico Inferior.

3.2.1. Franja Metalogénica del Cretácico Inferior

Los tipos de depósitos metalíferos asociados a las rocas de esta edad varían a lo largo del país, encontrando yacimientos del tipo pórfido cuprífero, de hierro, oxidados de hierro, estratoligados de Cu, skarn de Cu y venas de Au-Cu.

La mineralización del tipo pórfido cuprífero es reconocida en el flanco oriental de la cordillera de la Costa entre los 22 y 36°. Esta franja se extiende por 1500 km y en ella se han descubierto variados yacimientos, la mayoría de los cuales son subeconómicos a excepción de Andacollo que es el único que está en explotación (Reyes, 1991; Oyarzún et al., 1996). Este pórfido de Cu-Mo es el que contiene mayor ley de oro (0.23 g/t Au) de los pórfidos de Cu-Mo en

explotación en el país y hacia el oeste del pórfido existe mineralización de oro en vetas y en cuerpos estratoligados también del Cretácico Inferior (Maksaev, 2001).

En el caso de los yacimientos estratoligados de Cu-Ag, algunos de estos se desarrollaron durante la etapa extensional del ciclo Andino y se asocian a rocas volcánicas de la formación La Negra, y se emplazaron alrededor de los 146 Ma en la cordillera de la Costa de la II Región, entre Tocopilla y Chañaral (Espinoza et al., 1996; Vivallo y Henríquez, 1998). Los depósitos estratoligados más jóvenes se localizan entre Santiago y Copiapó y se emplazaron en rocas volcanosedimentarias de la cordillera de la Costa (Camus, 2003).

Entre los 25°30' a 32°S, se extiende un cinturón de depósitos de hierro (magnetita – apatito) a largo de unos 600 km a lo largo de la Cordillera de la Costa (Ménard 1995; Espinoza 1990). Estos depósitos están hospedados mayoritariamente en meta-andesitas del Cretácico inferior adyacentes a plutones dioríticos a granodioríticos del Albiano, aunque también ocurren vetas de magnetita masivas alojadas por dioritas. (Maksaev et al., 2007). Estos depósitos (Ej: Cerro Imán, Cerro Negro, Bandurrias, Boquerón Chañar, Algarrobo, El Tofo, Romeral) se encuentran dentro del dominio del segmento meridional del Sistema de Falla de Atacama que fue desarrollado durante el Jurásico al Cretácico temprano como una falla intra-arco relacionada con la subducción oblicua de la placa Aluk (Boric y otros 1990, Scheuber y Andriessen 1990). Existen indicios menores de mineralización de cobre y de oro ligados al mismo contexto, particularmente en la periferia de los cuerpos ferríferos o en la zona de la Falla de Atacama.

En las regiones IV y V existen skarns cupríferos (Panulcillo y La Campana) y lo largo de la Cordillera de la Costa existe un gran número de vetas auríferas mesotermales las que se emplazan ya sea en cuerpos intrusivos Cretácicos o en rocas estratificadas en la periferia de las intrusiones. Sin embargo, estas últimas carecen de importancia económica. (Maksaev, 2001)

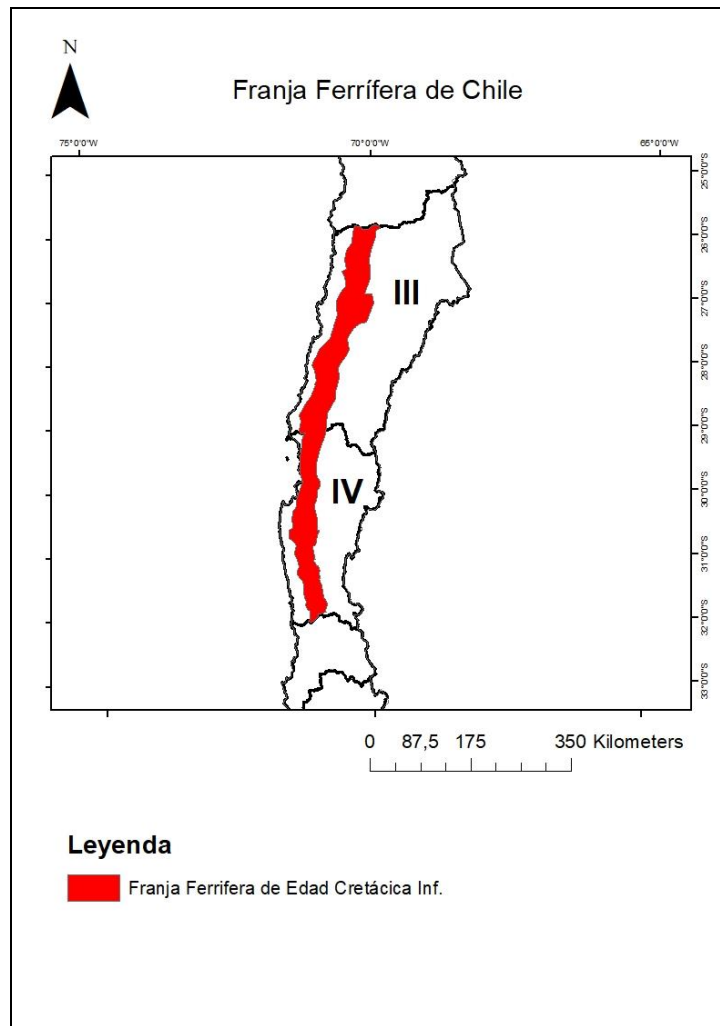


Figura 12: Franja Ferrífera de Chile (Tomada y modificada de Makshev,2001).

Al observar la Figura 12 es posible notar que la franja Ferrífera se encuentra localizada en la cordillera de la costa a lo largo de la III región de Atacama y la IV región de Coquimbo. Los límites tanto E y W, como N y S de esta franja son fijados a partir de la geología que abarcan los yacimientos definidos como parte de la Franja Ferrífera en el estudio de Makshev (2001), es decir, se hace una extrapolación de la Franja Ferrífera en base a la geología regional.

3.3. Petrología Química

La petrología se apoya en la ciencia de la química para la resolución de enigmas petrológicos. Para ello es importante comprender la clasificación de los elementos que encontramos usualmente en las rocas.

- Elementos mayores >1,0% peso
- Elementos menores 0,1 – 1,0% peso
- Elementos trazas <0,1% peso

Se denominan elementos mayores porque están presentes en altas concentraciones y controlan en gran medida la cristalización de los minerales en las rocas a partir de fundidos, en

cambio los denominados menores se encuentran sustituyendo a estos elementos mayores en los minerales principales de la roca (Mn sustituye al Fe o al Mg en los minerales máficos).

Los elementos trazas se encuentran en concentraciones mínimas y son incorporados selectivamente en las diferentes fases, por lo que son muy sensibles a los procesos de fraccionamiento.

En base a compilaciones de análisis de rocas publicados y estimaciones de las proporciones relativas de las rocas representadas en la corteza continental, se establecen los datos expresados en la Tabla 1 de los rangos promedios de los elementos mayores.

Tabla 2: Concentración de elementos mayores en la corteza continental (Tomada de Poldevaart 1955; Ronnov y Yaroshevsky 1976).

Elemento	Óxido Peso (%)	Porcentaje Atómico
O	-	60,8
Si	59,3	21,2
Al	15,3	6,4
Fe	7,5	2,2
Ca	6,9	2,6
Mg	4,5	2,4
Na	2,8	1,9
K	2,2	1,0
Total	98,5	98,5

3.3.1. Óxidos Mayores

Los elementos mayores, descritos anteriormente, forman óxidos mayores, compuestos por una combinación de estos elementos. Estos óxidos mayores son importantes ya que se encuentran en todos los tipos de rocas y representan una herramienta de gran utilidad para clasificar rocas petrográficamente (Ej: Diagrama TAS).

A continuación, se expresan los análisis químicos de algunas rocas representativas, realizada en base a más de 26.000 análisis, el promedio es tomado de Le Maitre (1976).

Tabla 3: Concentración de óxidos mayores en distintos tipos de rocas (tomado de Le Maitre 1976).

Óxidos	Peridotita	Basalto	Andesita	Riolita	Fonolita
SiO ₂	44,8	49,2	57,9	72,8	56,2
TiO ₂	0,19	1,84	0,87	0,28	0,62
Al ₂ O ₃	4,16	15,7	17	13,3	19
Fe ₂ O ₃	1,36	3,79	3,27	1,48	2,79
FeO	6,85	7,13	4,04	1,11	2,03
MnO	0,11	0,2	0,14	0,06	0,17
MgO	39,2	6,73	3,33	0,39	1,07
CaO	2,42	9,47	6,79	1,14	2,72
Na ₂ O	0,22	2,91	3,48	3,55	7,79
K ₂ O	0,05	1,10	1,62	4,3	5,24
H ₂ O	0	0,95	0,83	1,10	1,57
Total	99,36	99,02	99,27	99,51	99,2

Si bien estos elementos mayores se pueden encontrar en esas concentraciones, la variación de la petrografía de las rocas es bastante amplia, por lo cual, para obtener una clasificación más rigurosa y acertada, es mejor considerar rangos de óxidos mayores en cada uno de los tipos de rocas nombradas en la tabla anterior.

Asimismo, es importante mencionar que este trabajo está centrado en los yacimientos encontrados a lo largo de Chile, los cuales están emplazados en los siguientes tipos de rocas: basaltos

- Andesitas
- Riolitas
- Dioritas
- Granodioritas
- Monzonitas
- Monzogranitos

Por lo cual, esta investigación se basa en variadas investigaciones realizadas a lo largo de Chile para definir los rangos de concentración de óxidos mayores en las rocas necesarias para llevar a cabo esta investigación. Cabe destacar que al seleccionar investigaciones de distintas regiones del país y de rocas de diferentes edades, no se consideran las variables tectónicas, temporales y geográficas.

3.3.1.1. Estudios en Chile

A continuación, se presenta la siguiente tabla, la cual contiene los porcentajes promedios de los óxidos mayores de las rocas representativas de los yacimientos chilenos. Esta tabla está hecha a partir de variadas publicaciones realizadas en nuestro país.

Tabla 4: Concentraciones promedio de los óxidos mayores en las rocas representativas de los yacimientos chilenos (Tomadas y Modificadas de Suarez, 1977; Parada, 1992; Campano et al., 1979; Bobadilla, 2011; Ortiz, 2007; Gómez, 2015; Carrasco, 2016; Lara et al., 2001; Wäckerling, 2007; Mikacic, 2007; Aracena, 1981; Clavero et al., 2004; Gardeweg et al., 2016; Cornejo et al., 2015; Cancino et al., 1991; Gana, 1991; Montes, 2013)

Tipo Roca	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)
Basalto	51,52	1,04	17,44	5,98	5,21	8,8	5,47	0,16	3,28	0,82	0,21
Diorita	55,91	0,98	17,22	4,25	4,36	7,41	3,61	0,16	3,52	1,43	0,27
Andesita	59,25	0,70	16,9	4,75	3,07	5,72	2,66	0,1	3,68	3,14	0,28
Monzonita	64,09	0,45	15,88	3,31	1,89	3,52	1,4	0,06	3,89	3	0,17
Dacita	65,34	0,59	16,21	3,86	0,76	4,05	0,9	0,62	4,26	2,88	0,23
Granodiorita	66,29	0,5	15,85	2,32	2,75	4,04	1,61	0,67	3,49	2,46	0,16
Monzogranito	69,48	0,26	14,54	1,97	1,63	1,42	0,97	0,04	4,53	2,79	0,09
Granito	71,68	0,28	13,9	1,49	1,9	2,29	0,96	0,05	3,34	3,79	0,06
Riolita	74,36	0,16	13,7	1,44	1,15	0,96	0,21	0,04	1,99	3,08	0,1

La Tabla 4 representa el resumen de la recopilación bibliográfica de variados datos geoquímicos de las publicaciones científicas citadas anteriormente. Sin embargo, es importante esclarecer las diferencias entre cada una de las distintas rocas, típicas de los yacimientos chilenos.

Es por esto que a continuación se presentan los gráficos de cada uno de los óxidos mayores y su variación en las distintas rocas.



Gráfico 1: Variación de SiO₂ en relación al tipo de roca.

A partir del Gráfico 1 es posible observar que la mayor cantidad de sílice se encuentra en las rocas más ácidas, en este caso, el granito y la riolita, siendo esta última el máximo de sílice encontrado (>70%). Por el contrario, el basalto, que es la roca más básica, presenta la menor cantidad de sílice, bajo el 50%.



Gráfico 2: Variación de TiO₂ en relación al tipo de roca.

Mediante el Gráfico 2 es posible notar que aquellas rocas más básicas (basalto y diorita) exponen los mayores valores de TiO₂ (>1%) y el mínimo hallado en las rocas típicas de los yacimientos chilenos, se encuentra en la roca más ácida, es decir, la riolita.



Gráfico 3: Variación de Al₂O₃ en relación al tipo de roca.

Con respecto al óxido Al₂O₃ es posible observar que al igual que el caso de TiO₂, presenta sus mayores cantidades en el basalto y las menores en la riolita.

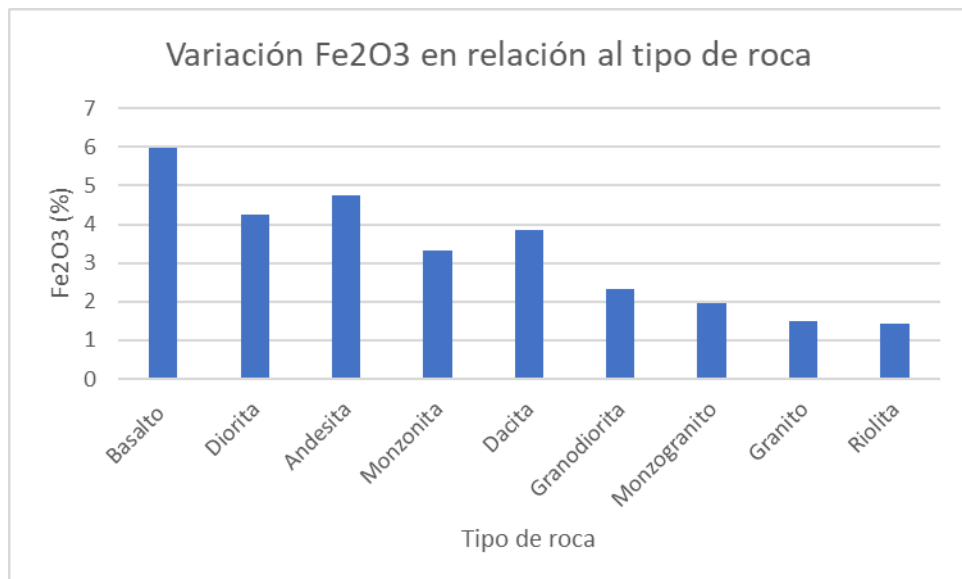


Gráfico 4: Variación de Fe₂O₃ en relación al tipo de roca.

A través del Gráfico 4 es posible observar que las mayores cantidades de óxido de hierro se concentran en los basaltos (6%), disminuyendo paulatinamente hasta la riolita, la cual presenta las cantidades más bajas (<2%)

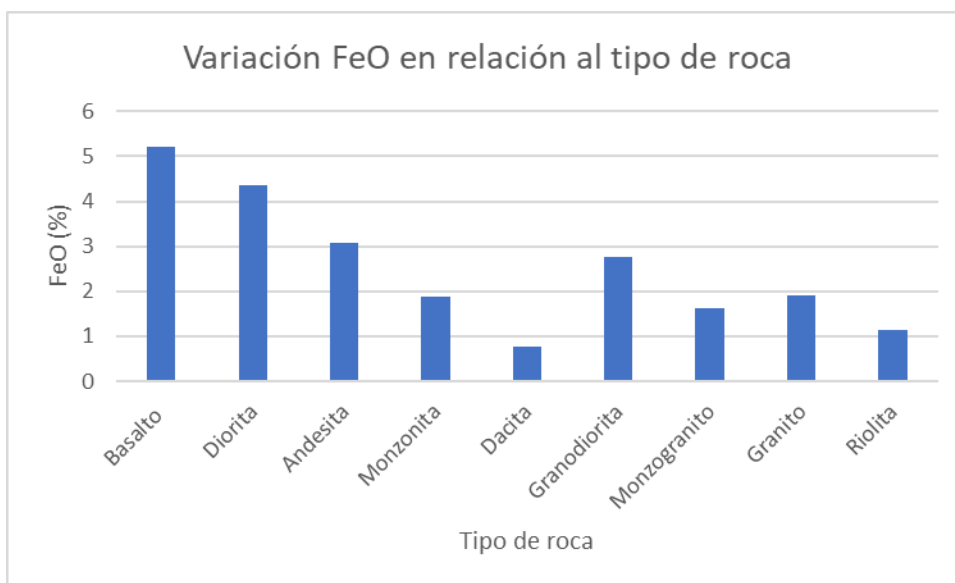


Gráfico 5: Variación de FeO en relación al tipo de roca.

Si bien este óxido también contiene hierro como en el caso anterior, la variación de FeO se comporta de manera distinta, observándose las mayores cantidades en el basalto pero las menores en la dacita (<1%).

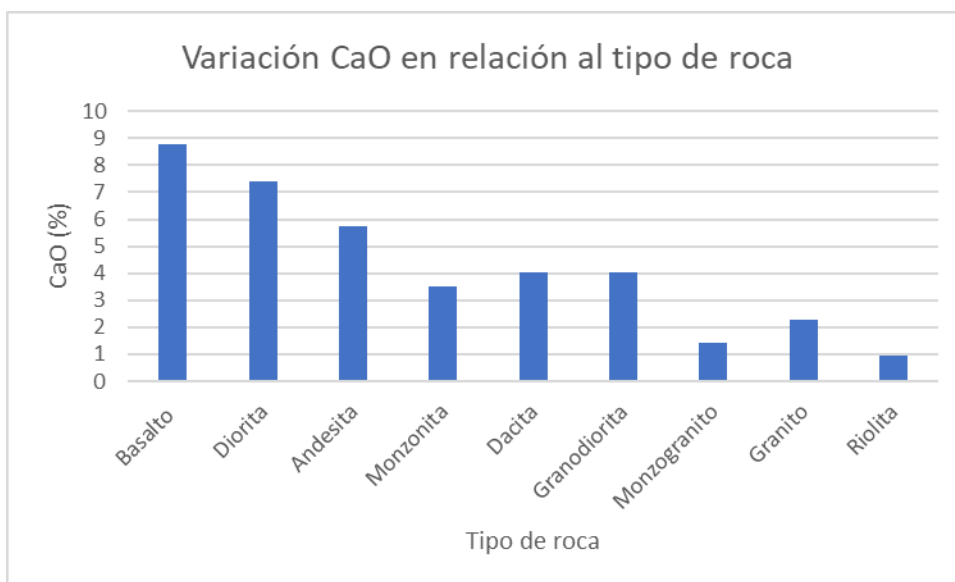


Gráfico 6: Variación de CaO en relación al tipo de roca.

Nuevamente, igual como en el caso del Fe_2O_3 , el óxido CaO presenta una relación proporcional con las rocas ácidas, es decir, la mayor cantidad de CaO (cercano al 9%) se presenta en las rocas basálticas y la menor en la riolita.



Gráfico 7: Variación de MgO en relación al tipo de roca.

Mediante el Gráfico 7 es posible observar que la mayor concentración del óxido MgO se encuentra en el basalto y la menor en la riolita. Sin embargo esta relación no es 100% lineal ya que la granodiorita exhibe un peak que estropea esta tendencia.

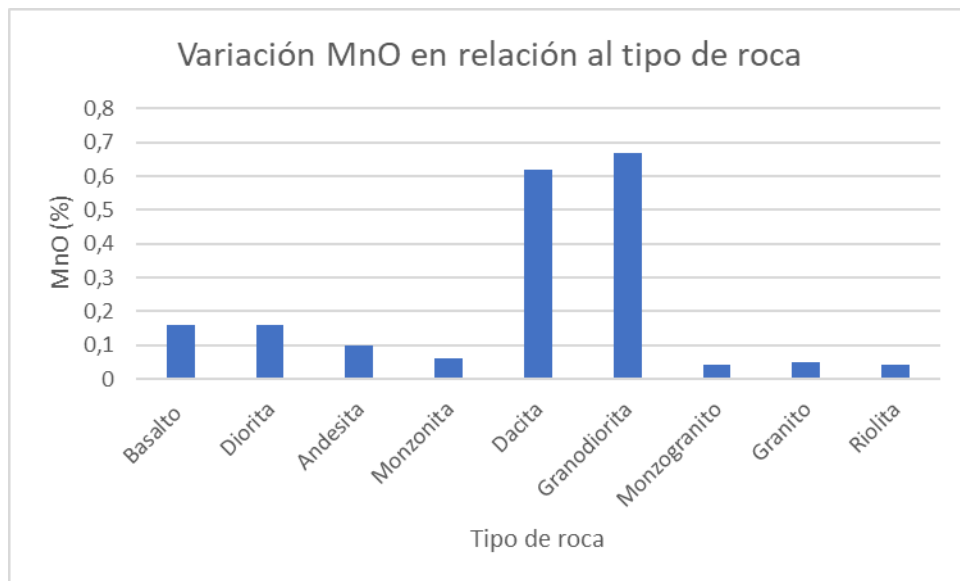


Gráfico 8: Variación de MnO en relación al tipo de roca.

A partir del Gráfico 8 es posible observar que la mayor cantidad de óxido de manganeso se encuentra en las rocas granodiorita y dacita, destacando sus peaks sobre el extremo ácido (riolita) y básico (basalto).



Gráfico 9: Variación de Na₂O en relación al tipo de roca.

A partir del Gráfico 9 es posible observar que el óxido Na₂O se encuentra en cantidades parcialmente similares en la mayoría de las rocas, a excepción de la riolita donde observamos un declive al 2% de este óxido.

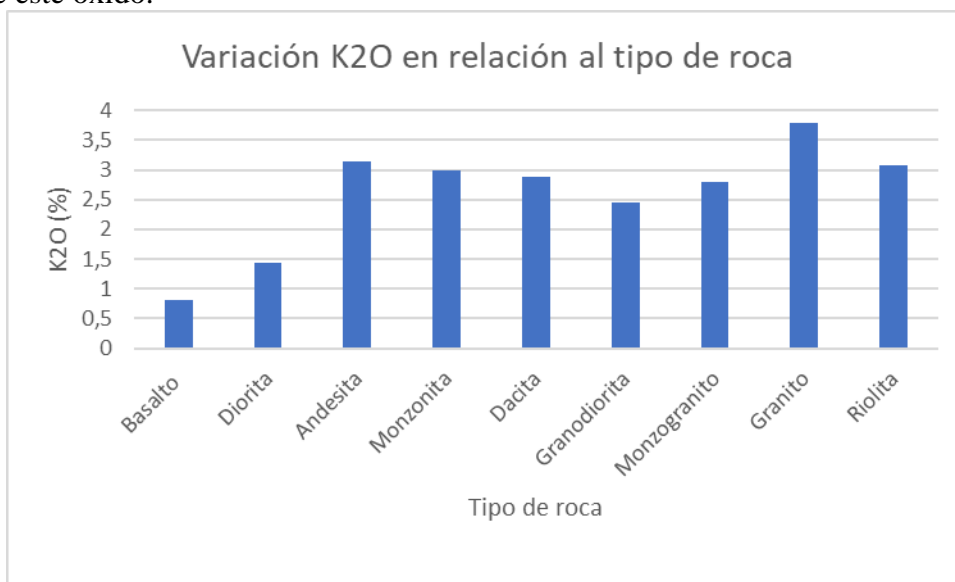


Gráfico 10: Variación de K₂O en relación al tipo de roca.

A partir del Gráfico 10 es posible observar que el óxido k₂O se encuentra en sus máximas concentraciones en las rocas más ácidas, es decir, granitos y riolitas. A su vez, las menores concentraciones están en el basalto y la diorita.

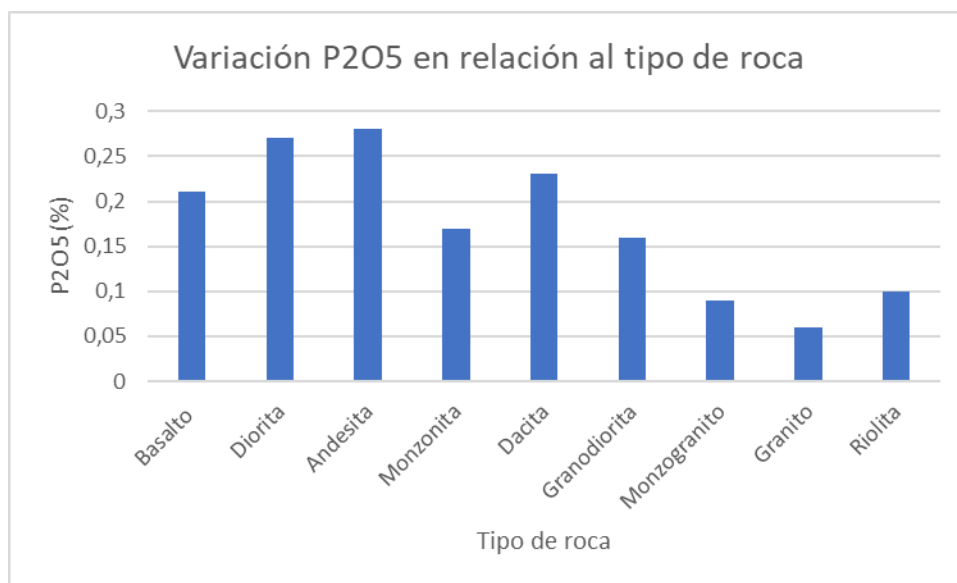


Gráfico 11: Variación de P₂O₅ en relación al tipo de roca.

En el Gráfico 11 es posible observar la variación del óxido P₂O₅, el cual encuentra su máxima concentración en la andesita, seguido de la diorita. Y a su vez, se encuentra en menores concentraciones en el granito.

3.4. Elementos traza de valor y su distribución en Chile

3.4.1. Elementos traza de valor

Como fue explicado anteriormente, esta tesis se enmarca en la contribución de una metodología para caracterizar la génesis y distribución de ciertos elementos traza de interés. Para ello, nos basamos en los elementos y materias primas identificados como críticos por la Unión Europea, las cuales se presentan a continuación en la Tabla 5, y en algunos elementos traza que se encuentran en cantidades abundantes en los relaves chilenos.

Tabla 5 Elementos identificados como críticos por la Unión Europea (Tomado y modificado de European Commission, 2014)

Elementos
Sb
Be
Cr
Co
Ga
In
Ge
Mg
Nb
W

HREE
LREE
Metales del Grupo del Platino

En conjunto con ello, se adhieren a estas listas algunos elementos traza que podemos encontrar en concentraciones interesantes (>100 ppm en la mayoría de los relaves) en los relaves de Chile como el Rb, Sr y V, Pb, As los cuales podrían aportar en su potencial económico.

3.4.2. Uso elementos traza

Debido a que no todos los elementos mencionados anteriormente se encuentran en cantidades importantes en los relaves chilenos, estos serán descartados de esta sección. Por lo tanto, a continuación, se presentan los usos en la industria de los elementos traza utilizados a lo largo de este estudio.

Plomo

El Pb es un elemento que se utiliza en la fabricación de diversos productos tales como baterías, pigmentos, aleaciones, cerámicas, plásticos, municiones, soldaduras, cubiertas de cables, plomadas y armamento. También se utiliza en la elaboración de equipo para la fabricación de ácido sulfúrico, refinamiento de petróleo y procesos de halogenación.

Vanadio

El vanadio es un elemento que mayormente se utiliza como aditivo en aceros, para generar instrumentos quirúrgicos y herramientas, motores de reacción, ejes de ruedas, componente de reactores nucleares y como catalizador en la producción de ácido sulfúrico. Es decir, está completamente ligado al área productiva automotriz y minera. Además, este elemento es importante para el área de la medicina, ya que los compuestos del V han sido objeto de investigación como agentes que disminuyen los niveles séricos de glucosa, como antihipertensivos, anorexígenos y anticancerígeno (García, 2006).

Rubidio

El rubidio es un elemento que se emplea generalmente en las fotocélulas eléctricas, en los sistemas de telecomunicaciones de fibra óptica y en la fabricación de los relojes atómicos utilizados en la navegación como el GLONASS y GPS.

Zircón

El zircón es un elemento que es utilizado en la industria como materia prima del metal circonio, empleado en la fabricación de aceros especiales, abrasivos y reactores de aviones.

Ba

El Ba es un elemento que se usa para cubrir conductores eléctricos en aparatos electrónicos y en sistemas de ignición de automóviles. Además, el sulfato de bario purificado se usa en la radiología para diagnosticar problemas gastrointestinales.

Arsénico

El As es un elemento que se utiliza principalmente en el fortalecimiento de las aleaciones de cobre y plomo para su uso en baterías de coche. Además, los compuestos químicos tienen variadas

aplicaciones en distintas industrias, por ejemplo, el arseniuro de galio (GaAs), se usa en semiconductores y para la preparación de láseres.

Estroncio

El estroncio hace algún tiempo atrás fue utilizado en gran medida para los cristales de los tubos de rayos catódicos de los televisores a color para filtrar los rayos x que producían. Sin embargo, hoy en día se utiliza mayormente para la construcción de relojes atómicos precios y modernos.

Cromo

El cromo es un elemento que se utiliza principalmente para endurecer el acero, fabricar acero inoxidable y otras aleaciones útiles. Dentro de las aleaciones más conocidas se encuentra la galvanoplastia que es utilizada en la industria automotriz.

Cobalto

El cobalto es un elemento que se usa principalmente en una aleación con el acero para hacer imanes permanentes. Además, se utiliza en las denominadas superaleaciones, las cuales son resistentes a la temperatura, por lo cual se utiliza en la industria de las turbinas de los aviones y en motores.

Galio

El galio es un elemento que tiene variados usos industriales, tales como la detecciones de neutrinos solares, fabricación de aparatos de medición de temperatura y en materiales magnéticos, semiconductor en circuitos de microondas, aparatos infrarrojo y diodos; como arma nuclear para estabilizar el plutonio. También tiene aplicación en el área de la medicina donde sirve para tratar a persona con exceso de calcio.

Germanio

El germanio es un elemento que tiene variadas aplicaciones, sin embargo, se le suele buscar elementos sustituyentes debido a su elevado precio comercial. Se destaca su uso en la electrónica, óptica de infrarrojo, endurecedor de Al, Mg y estaño; quimioterapia y como catalizador en la síntesis de polímeros.

Niobio

El Niobio es un elemento utilizado en la industria para la producción de acero, creación de imanes superconductores utilizados para navegación aeroespacial, aceleradores de partículas, lentes de cámaras, pantallas de televisores y monedas de Austria y Letonia

Tierras raras (HREE y LREE)

Las tierras raras se dividen en tierras raras livianas (LREE) y tierras raras pesadas (HREE) y los usos de estos elementos son variados, destacándose el uso en equipos de alta tecnología. A continuación, se presenta una Tabla en la cual se describen los usos de las tierras raras analizadas en este trabajo.

Tabla 6 Uso industrial de las tierras raras seleccionadas (Tomado y modificado de Araya et al., 2016)

Elemento	Aplicaciones
Escandio	Aleaciones metálicas para industria aeroespacial, para equipos deportivos y equipos de defensa.
Itrio	Cerámicas, aleaciones metálicas, láseres, eficiencia de combustibles, comunicación por microondas para industria de satélites, televisores de color, monitores de ordenador, sensores de temperatura.
Lantano	Baterías, catalizadores en refinación de petróleo, baterías de vehículos eléctricos, cámaras digitales de alta tecnología, cámaras de video, baterías de portátiles, películas de rayos X, láseres.
Cerio	Catalizadores, aleaciones de metales, pulido (de vidrio, espejos, placas frontales de televisión, cristales ópticos, microprocesadores de silicio, lentes), baterías.
Praseodimio	Mejora resistencia a la corrosión de imanes, pigmento, reflectores, lentes para señales de aeropuertos, filtros fotográficos.
Samario	Imanes de alta temperatura, barras de control de reactores.
Prometio	Fuente de radiación beta, catalizadores para fracturamiento hidráulico.
Yterbio	Tecnología de fibra óptica, paneles solares, aleaciones metálicas (acero inoxidable), láseres, fuente de radiación para unidades de rayos X portátiles
Gadolinio	Agente de contrastes para formación de imágenes por resonancia magnética, aditivo para vidrios.
Terbio	Baterías, fósforos para tubos de TV y lámparas fluorescentes.
Disprobio	Imanes de alta potencia, láseres, baterías.
Holmio	Imanes más poderosos conocidos.
Erbio	Láseres, colorante de vidrio.
Tulio	Imanes de alta potencia.
Europio	LCDs, luces fluorescentes, aditivos para el vidrio.
Lutecio	Fósforo de rayos X.
Neodimio	Imanes de alta potencia para ordenadores portátiles, motores de vehículos híbridos, generadores de turbinas de viento; láseres; catalizadores para fracturamiento hidráulico, pulido de vidrios.

3.4.3. Génesis Elementos Traza

Tierras raras

Las tierras raras no se encuentran en la naturaleza como elementos nativos, sino que se presentan como componentes, menores o mayores, de ciertos minerales. Los minerales de bastnasita y monacita contienen principalmente LHREE, con una mayor concentración de HREE en la monacita (Kanazawa y Kamitani, 2006). Por su parte la xenotima es la principal fuente de HREE en el mundo y se presentan como componente, menor o mayor, de ciertos minerales (Araya et al., 2016).

Sin embargo, en Chile no existen depósitos de mena de estos minerales si no que se encuentran asociados a minerales de otro tipo de yacimientos, los cuales se describen a continuación.

- Depósitos de Óxidos de Hierro: Las tierras raras suelen encontrarse en depósitos de óxido de hierro del tipo óxidos de hierro-cobre-oro (IOCG) y magnetita-apatito (IOA). Los minerales

con REE presentes en estos son el apatito, monacita, allanita, xenotima y fluorocarbonatos (Araya et al., 2016).

- Depósito de arcillas iónicas adsorbentes: Corresponden a grandes depósitos de arcillas con bajas concentraciones de REE (0,04-0,25%) que se forman en zonas tropicales con precipitaciones medias a altas. El proceso de formación de estos yacimientos comienza con la meteorización de granitos, dando origen a suelos ricos en arcillas sobre el granito. A la vez, las aguas subterráneas lixivian los elementos de tierras raras de las rocas graníticas, las movilizan, hasta que se fijan débilmente, por adsorción iónica, a las arcillas formadas. (Araya et al., 2016). En este tipo de depósitos, dependiendo del tipo de roca caja, los componentes que generalmente se producen a partir de esta meteorización son kaolinita, haloisita y mica con una típica composición de ~70% SiO₂, 15% Al₂O₃, 3-5% K₂O, 2-3% Fe₂O y menos de 0.5% de CaO, MgO y otros elementos (Moldoveanu et al., 2014).

Cobalto

El cobalto se encuentra principalmente asociado a otros minerales, especialmente sulfuros de cobre, níquel, arsénico y hierro; minerales que comúnmente forman asociaciones minerales en depósitos hidrotermales. Por lo cual los principales tipos de depósitos en los cuales se puede evaluar un potencial de cobalto como subproducto son los yacimientos del tipo IOCG, seguidos por los IOA y en menor medida, yacimientos del tipo pórfidos de cobre (Townley et al., 2017). Además, en yacimiento de la III región, en mapas cuantitativos de intensidad de rayos X obtenidos mediante EMPA-WDS confirman altos contenidos de Co en las piritas medidos de manera puntual, llegando hasta ~1.2 wt%” (Lagas et al., 2015).

Cromo

Citando a Hansen 1992, “Los sedimentos finos del lago de Chapala actúan como trampas eficientes para la remoción de los metales pesados tóxicos de la columna de agua. Estos sedimentos están constituidos por minerales arcillosos con presencia de agregados de Óxidos e hidróxidos de hierro (hematita). Como el cromato es un oxidante muy fuerte, puede oxidar la hematita y convertirse en cromo”. Entendiendo el contexto en el cual está inmerso este estudio, se puede extrapolar a los tranques de relave, los cuales presentan características similares en el caso de Chile, ya que en el cromato es utilizado en la depresión de la galena (Vallebuona, 2007), la cual es encontrada en los depósitos tipo IOCG/IOA, ricos en hematita.

En conjunto con esto, el cromo puede asociarse a la magnetita debido a su asociación con Fe⁺³, alcanzando sus concentraciones máximas en rocas básicas a ultra básicas (Henríquez, 1978).

Germanio

El germanio es un elemento que no se extrae como material primario si no que se encuentra como sulfuro o está asociado a los sulfuros minerales de otros elementos, en particular con los del cobre, zinc, plomo, estaño y antimonio (Universidad de Alicante).

Además de una preferencia por los sulfuros, el Ge muestra un enriquecimiento preferencial en algunos óxidos y oxihidróxidos de Fe, particularmente en hematita (Fe₂O₃), magnetita (Fe₃O₄) y goethita (FeO(OH)), debido a que la sustitución octaédrica del Ge (IV) por Fe (III) en oxihidróxidos (Bernstein y Waychunas, 1987).

Galio

Desde un punto de vista productivo, se tiene que el total de Galio producido en el mundo se obtiene a partir del hidróxido de aluminio que se obtiene del proceso Bayer en el procesamiento de bauxita (Moss, Tzimas, Kara, Willis, & Kooroshy, 2011). El galio también lo podemos encontrar en

sulfuros de Zinc como la esfalerita, la cual es mena de dicho elemento (Klein et al., 2003). También otra fuente importante de Ga es la germanita que es un sulfuro de cobre, arsénico, germanio y zinc con un 0,1%-0,8% de galio (Claramunt et al., 2015). Además, en investigaciones científicas recientes como Simons et al. (2017), se afirma que en los granitos el galio está distribuido uniformemente entre las micas (muscovitas y biotitas) y la turmalina con un promedio entre 95-157 ppm; y en menor cantidad en los feldespatos con un promedio entre 21-34 ppm.

Vanadio

El vanadio es un elemento que se encuentra en al menos 75 tipos de minerales los cuales pueden clasificarse en una variada gama como óxidos, sulfuros, fosfatos, etc. Además, este elemento también se puede encontrar como impureza dentro de otros minerales tales como la Ilmenita o dentro de la estructura interna de óxidos de Fe como la magnetita y la hematita (Henríquez, 1978).

Pb-As y Pb-Sb

Respecto a las asociaciones entre los elementos Pb, As y Sb, hay estudios en yacimientos epitermales de la II región que postulan que los elementos plata, mercurio, cobre, antimonio y plomo presentan buena correlación con los valores de oro y se asocian generalmente entre sí. Los elementos cobre, plomo, molibdeno, arsénico, zinc y cadmio se asocian en forma moderada y constituyen asociaciones locales.

4. Resultados

4.1. Datos SERNAGEOMIN

A continuación, se presentan los resultados del análisis hecho a los resultados geoquímicos de los relaves de Chile exhibidos por SERNAGEOMIN (Ver anexo 1).

4.1.1. Distribución de Fe_2O_3 en los relaves de la 3° Región y su relación con otros óxidos y elementos

4.1.1.1. Ubicación espacial y geológica

Como fue mencionado anteriormente, este estudio se centra en aquellos relaves localizados en la Franja Ferrífera de Chile, la cual se destaca por ser una zona rica en Fe. Por ello, el óxido mayor Fe_2O_3 era una herramienta clave para la búsqueda de asociaciones entre este y otros óxidos mayores y/o este óxido y ciertos elementos de valor.

Por lo tanto, en primera medida es importante evaluar la cantidad de Fe_2O_3 presente en los relaves que se encuentran dentro de la Franja Ferrífera.

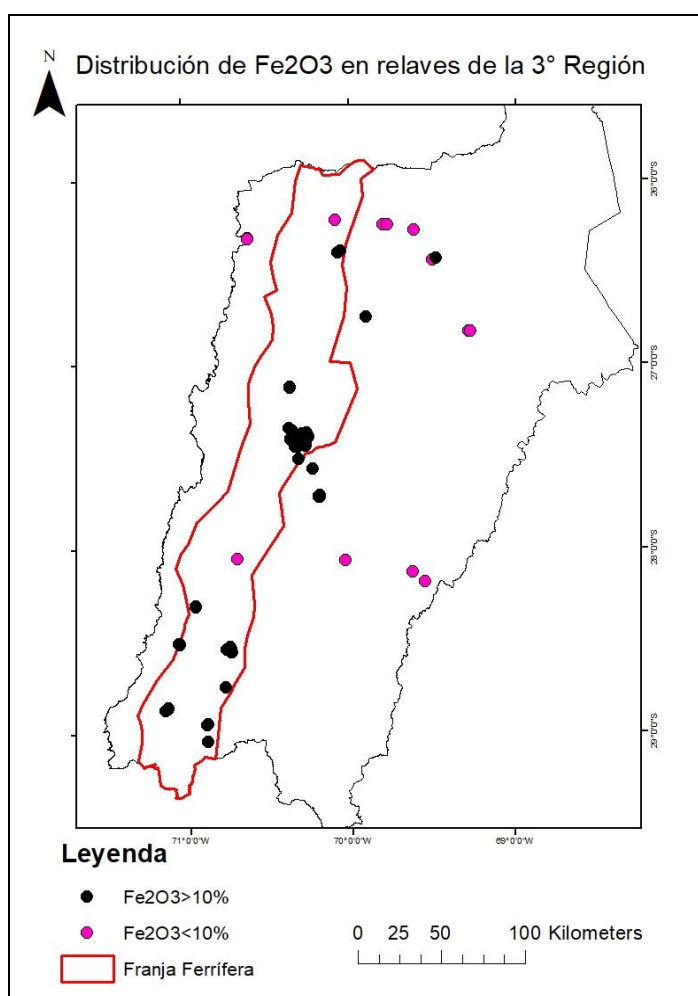


Figura 13: Distribución de Fe_2O_3 en los relaves de la 3° Región.

A partir de la Figura 13, es posible notar que la gran mayoría de los relaves que presentan un porcentaje de Fe_2O_3 superior al 10% se encuentra dentro de la franja Ferrífera de Chile, salvo 4 casos, los cuales podrían ser analizados posteriormente dependiendo de su relevancia en este estudio. Si bien algunos de los relaves pobres en Fe_2O_3 se encuentran dentro de esta franja, son algunos casos puntuales, es decir, la mayoría de estos se encuentran fuera de esta área enriquecida en Fe.

Es importante comprender que, si bien esta tesis está centrada en el análisis de los elementos y minerales presentes en los relaves, ellos provienen de otro lugar denominado yacimiento, en donde encontramos la roca in situ de donde se extraen los minerales comercialmente importantes. Por lo cual es importante hacer el análisis en el lugar original de la cristalización de los minerales y elementos de los yacimientos y sus respectivos relaves para así, efectuar análisis más reales y confiables. Por lo cual, a continuación, se presenta un mapa de la 3° región en el cual se presentan los distintos yacimientos de aquellos relaves con un porcentaje de Fe_2O_3 mayor al 10%. Sin embargo, esta vez se hace una subclasificación en aquellos yacimientos donde sus relaves presentan rangos que varían entre 10 y 20%, 20 y 30%, 30 y 40%; y aquellos que sobrepasan el 40% de Fe_2O_3 .

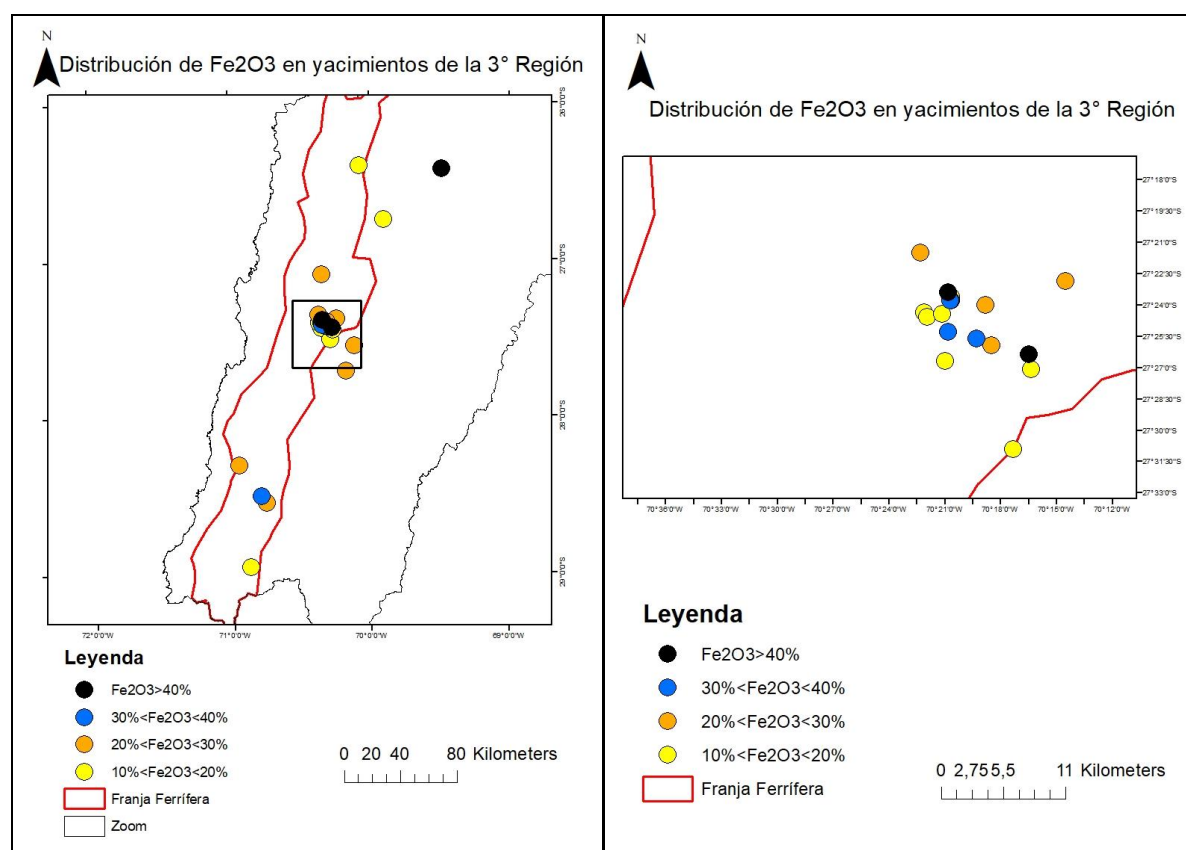


Figura 14: Distribución de Fe_2O_3 en yacimientos de la 3° Región. Imagen derecha: Acercamiento a una zona de acumulación de yacimientos de interés.

A partir de la Figura 14 es posible notar que los yacimientos no presentan una clara alineación preferencial, si no que se concentran en ciertas zonas, lo cual se muestra en la imagen derecha de esta Figura. De aquellos yacimientos que salen del margen de la franja Ferrífera de Chile, llama la atención aquel que es apuntado con una flecha, que supera el 40% de Fe_2O_3 , correspondiendo al yacimiento Potrerillos. Sin embargo, este yacimiento no se encuentra

aleatoriamente fuera del margen de la franja Ferrífera, si no que correspondería a la franja de Cu-Mo (Figura 15), lo cual podría estar relacionado con su gran porcentaje de Fe_2O_3 .

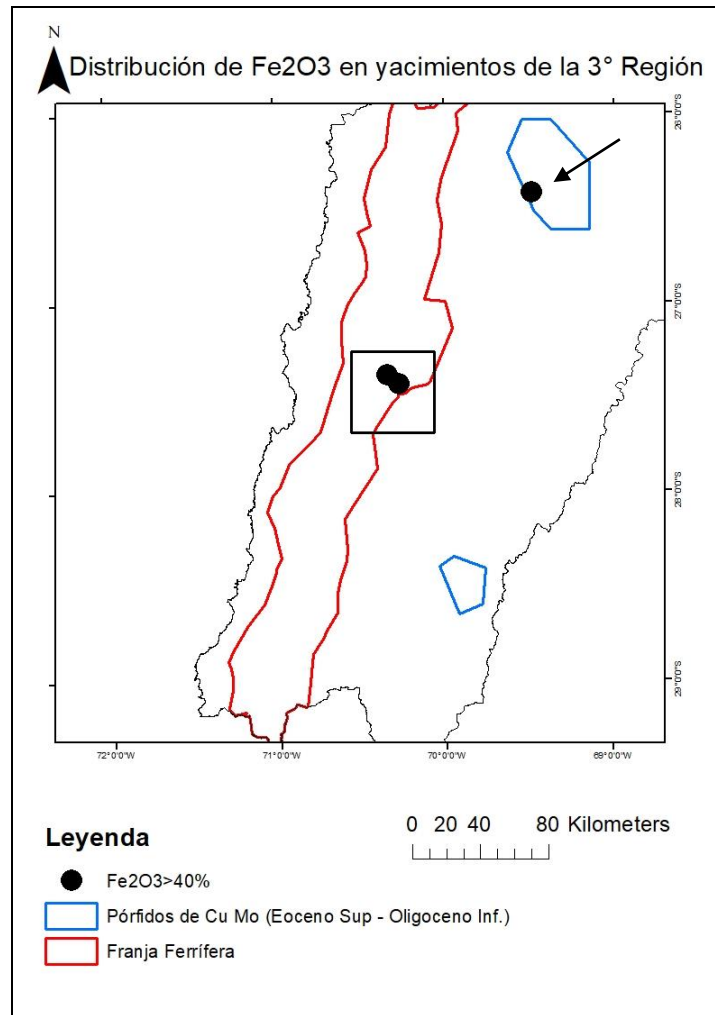


Figura 15: Distribución de $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 40\%$ en los yacimientos de la 3ª Región.

Para comprender de mejor manera la naturaleza de estos relaves ricos en Fe_2O_3 debemos tomar en cuenta la geología en la cual están asentados estos yacimientos, por lo cual a continuación se presenta la misma subclasificación que se mostró anteriormente para aquellos yacimientos cuyos relaves superan el 10% de Fe_2O_3 , pero sobre el mapa geológico correspondiente.

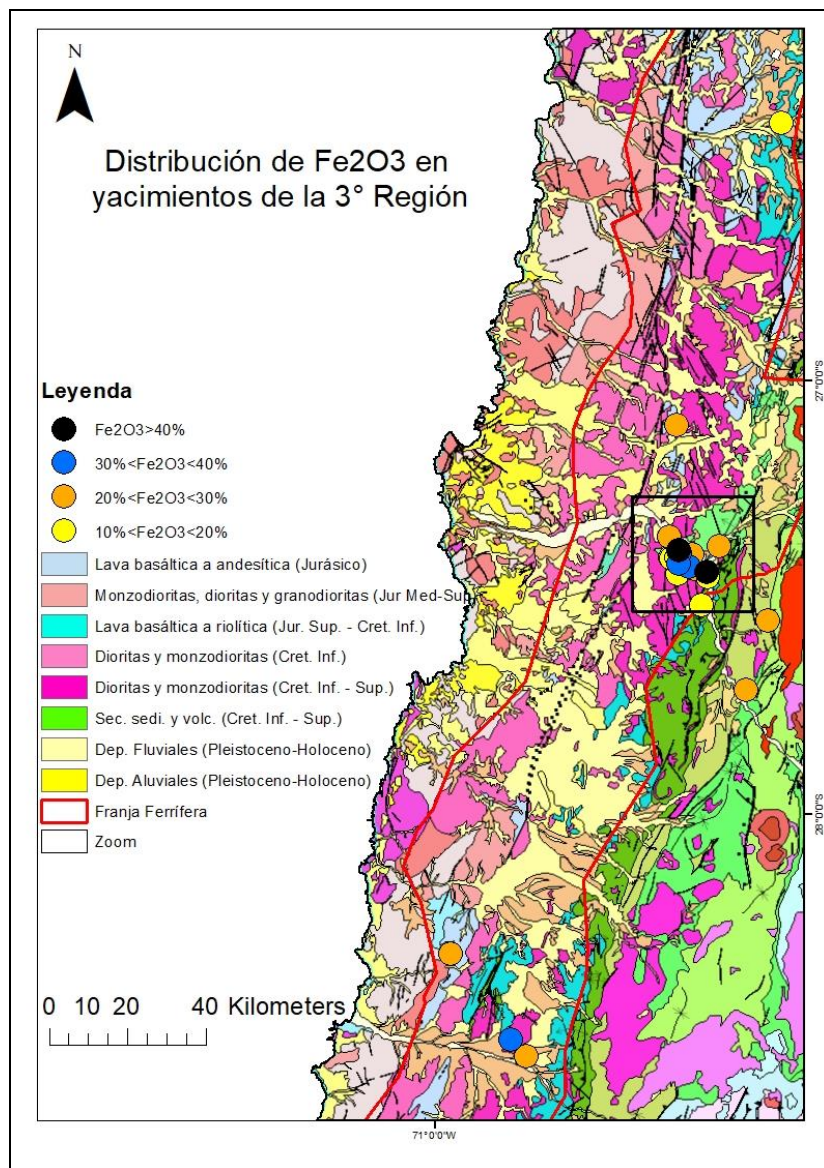


Figura 16: Distribución de Fe₂O₃ en yacimientos de la 3° Región en su respectivo mapa geológico (Se descarta yacimiento Potrerillos para una mejor resolución del mapa).

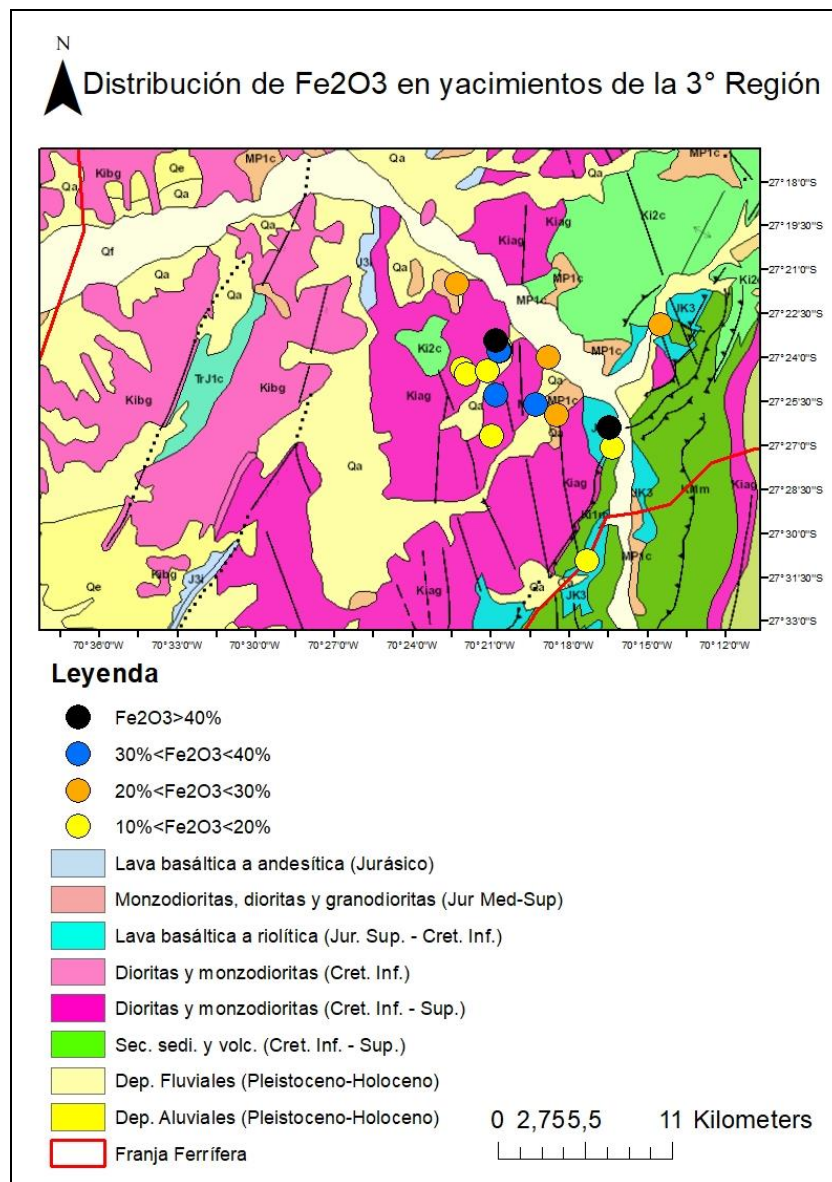


Figura 17: Acercamiento de área con acumulación de yacimientos de interés de esta misma zona (Mapa geológico tomado de SERNAGEOMIN, 2003).

Mediante las Figuras 16 y 17 es posible notar que la mayoría de los yacimientos de interés (con respecto a sus valores de Fe₂O₃) se encuentran sobre dioritas y monzodioritas pertenecientes a las formaciones intrusivas cretácicas, y en menor proporción se encuentran sobre lavas basálticas a Riolíticas pertenecientes a las Formaciones Punta del Cobre y Arqueros. Además, en general, los yacimientos se encuentran al Este del Sistema de Fallas Atacama-El Romeral, la cual controla la distribución espacial de estos.

Algo importante a destacar con respecto a la Figura 17, es que esta aglomeración de yacimientos se encuentra sobre un pequeño sistema de fallas que debe ser consecuencia de la deformación producida por una falla mayor, es este caso, el Sistema de Fallas Atacama-El Romeral.

Para ahondar más en la influencia de las grandes proporciones del óxido Fe₂O₃ se han elegido solo aquellos yacimientos con Fe₂O₃ mayor al 20%. Primeramente, se hace un análisis del recurso que se explota en estos yacimientos de interés.

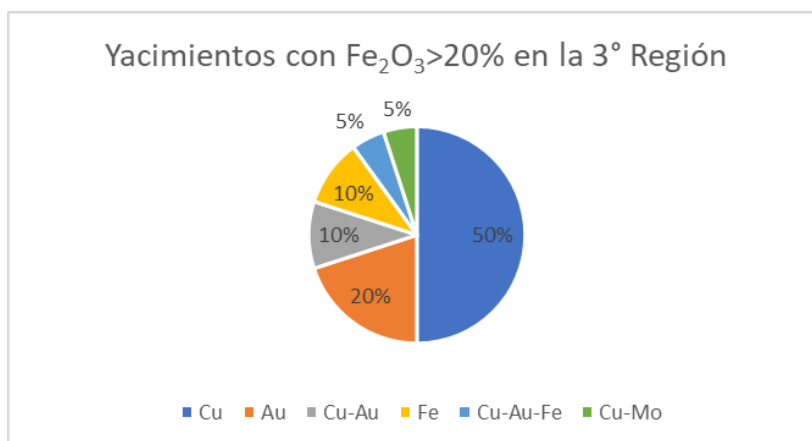


Gráfico 12: Recursos explotados en los yacimientos con Fe₂O₃ > 20% en la 3ª Región.

Por lo tanto, a partir del Gráfico 12 es posible notar que la mitad de estos yacimientos ricos en Fe₂O₃ explotan cobre, el cual destaca por ser el mineral más explotado a lo largo de Chile. En segundo lugar observamos la presencia de Au, el cual se encuentra asociado a cobre, a hierro o como único elemento comercial.

4.1.1.2. Tratamiento de datos con IOGAS

Para facilitar la búsqueda de asociaciones entre Fe₂O₃ y otros óxidos mayores, y Fe₂O₃ y elementos de valor, se hace uso del software IOGAS, herramienta estadística que facilita el manejo de datos geoquímicos a través de la realización de un análisis multivariante, es decir, estudiar el comportamiento de tres o más variables al mismo tiempo. Se usa principalmente para buscar las variables menos representativas para poder descartarlas y para comprender la relación entre varios grupos de variables, los cuales poseen un porcentaje específico de su varianza y son etiquetados con los nombres CP1, CP2, etc., abreviación de componentes principales (CP). En este caso, las variables son óxidos mayores y elementos, a los cuales se les asigna un signo y un coeficiente. Cuando en un grupo los minerales o elementos poseen coeficientes positivos, estos probablemente tienen una relación directa entre sí, y poseen una relación inversa con aquellos que tienen coeficientes negativos. No obstante, se debe tener en consideración que estas relaciones tienen más probabilidad de cumplirse mientras los coeficientes sean mayores a 0,4 y menores a -0,4.

4.1.1.2.1. Fe₂O₃ > 10%

A continuación, se presenta la Tabla entregada por el programa IOGAS para los datos de SERNAGEOMIN de los óxidos mayores y elementos de la 3ª Región, teniendo en cuenta que se descartan aquellos relaves con un contenido menor al 10% de Fe₂O₃, ya que la gran mayoría de estos está fuera de la zona de estudio, es decir, fuera de la Franja Ferrífera.

Tabla 7: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.

Scaled Coordinates	CP1	CP2	CP3
Cu (ppm)	0,149	0,230	-0,029
V (ppm)	0,227	0,121	0,119
Cr (ppm)	0,079	-0,125	0,035
Co (mg/kg)	0,133	-0,125	0,336
Ni (ppm)	-0,307	-0,202	-0,166
Zn (mg/kg)	0,283	0,046	0,191
Rb (mg/kg)	-0,066	0,474	-0,518
Sr (mg/kg)	-0,013	0,488	-0,186
Y (mg/kg)	-0,523	0,661	0,064
Zr (mg/kg)	0,032	0,679	-0,267
Nb (mg/kg)	-0,159	0,581	-0,335
Ba (mg/kg)	-0,117	0,226	-0,296
Pb (mg/kg)	0,409	0,165	0,494
Sc (mg/kg)	0,174	0,142	-0,251
Cs (mg/kg)	-0,238	0,306	-0,448
Hf (mg/kg)	-0,388	-0,077	-0,230
Ta (mg/kg)	-0,003	-0,028	0,513
Th (mg/kg)	-0,465	0,018	-0,284
U (mg/kg)	-0,286	-0,144	-0,028
As (mg/kg)	0,405	0,157	0,494
Mo (mg/kg)	0,136	-0,265	0,198
Sb (mg/kg)	0,472	0,240	0,481
Sn (mg/kg)	-0,180	-0,212	-0,326
Ag (mg/kg)	-0,295	0,002	-0,376
Cd (mg/kg)	-0,099	-0,076	-0,231
Bi (mg/kg)	0,139	0,299	-0,239
W (mg/kg)	0,135	0,067	-0,016
S Total (%)	0,093	-0,189	0,198
La (mg/kg)	-0,541	-0,502	-0,270
Ce (mg/kg)	-0,583	-0,481	-0,254
Pr (mg/kg)	-0,663	-0,438	-0,250
Nd (mg/kg)	-0,755	-0,372	-0,229
Sm (mg/kg)	-0,950	-0,056	-0,029
Eu (mg/kg)	-0,856	0,087	-0,069
Gd (mg/kg)	-0,959	0,065	0,175
Tb (mg/kg)	-0,876	0,258	0,348
Dy (mg/kg)	-0,846	0,293	0,390
Ho (mg/kg)	-0,855	0,271	0,396
Er (mg/kg)	-0,863	0,259	0,395
Tm (mg/kg)	-0,854	0,252	0,410

Yb (mg/kg)	-0,862	0,222	0,389
Lu (mg/kg)	-0,842	0,165	0,365
Au (mg/kg)	0,513	0,371	0,272
Hg (mg/kg)	0,387	0,360	0,120
SiO ₂ (%)	0,029	0,646	-0,448
Al ₂ O ₃ (%)	-0,046	0,344	-0,430
TiO ₂ (%)	-0,399	0,087	-0,353
Fe ₂ O ₃ (%)	0,058	-0,732	0,273
CaO (%)	-0,269	-0,087	0,368
MgO (%)	-0,185	-0,340	-0,077
MnO (%)	-0,114	0,202	0,341
Na ₂ O (%)	-0,179	-0,234	-0,008
K ₂ O (%)	-0,171	0,191	-0,409
P ₂ O ₅ (%)	-0,362	-0,489	-0,217

CP1: En este conjunto, con una varianza total de 22,41%, se agrupan con un aporte positivo los elementos Y, Th y las REE. Por otra parte, los elementos As, Sb y Au se agrupan con un aporte negativo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

CP2: En este conjunto, con una varianza de 10, 18%, se agrupan con un aporte negativo los elementos La, Ce y Pr, y los óxidos Fe₂O₃ y P₂O₅. Por otra parte, los elementos Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb y el óxido SiO₂ se agrupan con un aporte positivo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

CP3: En este conjunto, con una varianza de 8,88%, se agrupan con un aporte negativo los elementos Rb y Cs y los óxidos SiO₂, Al₂O₃ y K₂O. Por otra parte, los elementos Pb, As, Sb y Tm se agrupan con un aporte positivo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

Por lo tanto, basándonos en las agrupaciones de elementos y óxidos mayores anteriormente expuestas, se procede a la verificación de estas relaciones mediante gráficos de correlación.

Como es posible observar en la Tabla 7, los óxidos mayores que parecen modelar, a nivel regional, los depósitos de relaves son: Fe₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O y Al₂O₃ por lo que a continuación se presentan aquellas relaciones entre óxidos que fueron verificadas mediante gráficos de correlación.

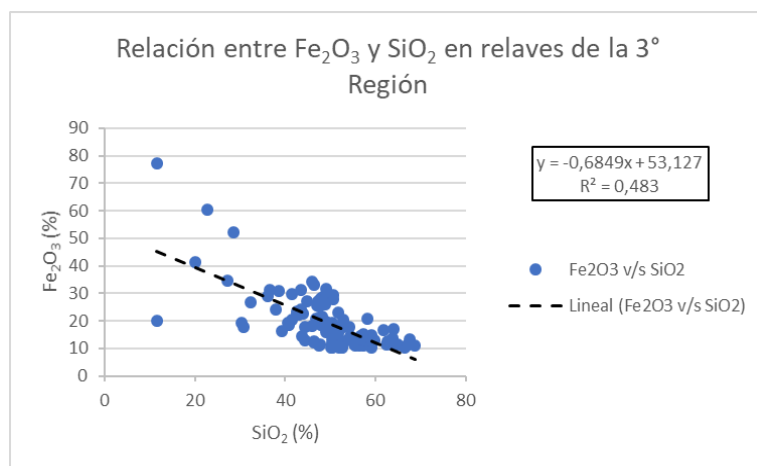


Gráfico 13: Relación de entre Fe_2O_3 y SiO_2 en relaves de la 3ª Región.

En el caso del óxido SiO_2 y Fe_2O_3 , es posible notar que presentan una relación inversa respaldada por un coeficiente de correlación igual a 0,4, es decir, cuando se alcanzan los mayores valores de Fe_2O_3 (77%) los valores de SiO_2 alcanzan sus valores mínimos, cercanos a 11, así mismo cuando los valores de Fe_2O_3 se encuentran entre 10%, los valores de SiO_2 comienzan a incrementarse hasta valores que varían entre 45 y 60%.

Una vez comprendidas las relaciones existentes entre los óxidos mayores, se procede a verificar las relaciones existentes entre estos óxidos y los elementos mencionados anteriormente.

Para la agrupación CP1 se verifica la relación que existe entre las tierras raras, y la relación entre Pb, As y Sb, las cuales se presentan en los gráficos de a continuación.

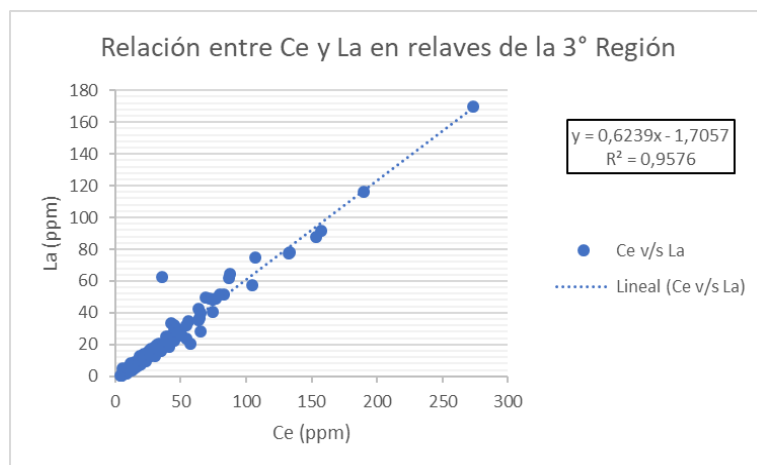


Gráfico 14: Relación entre Ce y La en relaves de la 3ª Región.

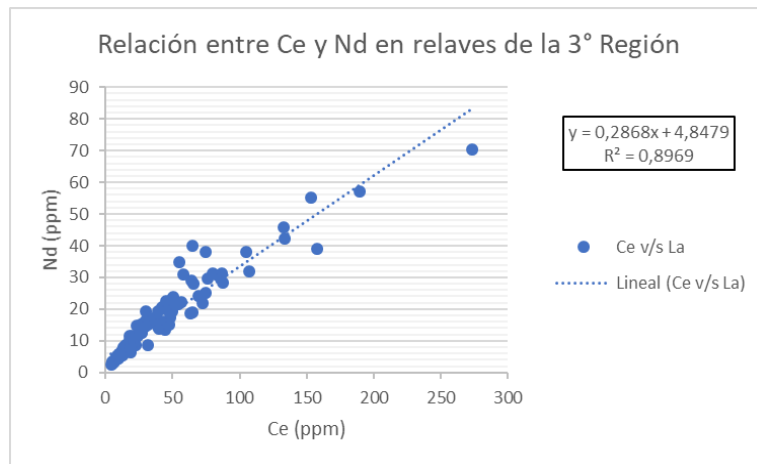


Gráfico 15: Relación entre Ce y Nd en relaves de la 3° Región.

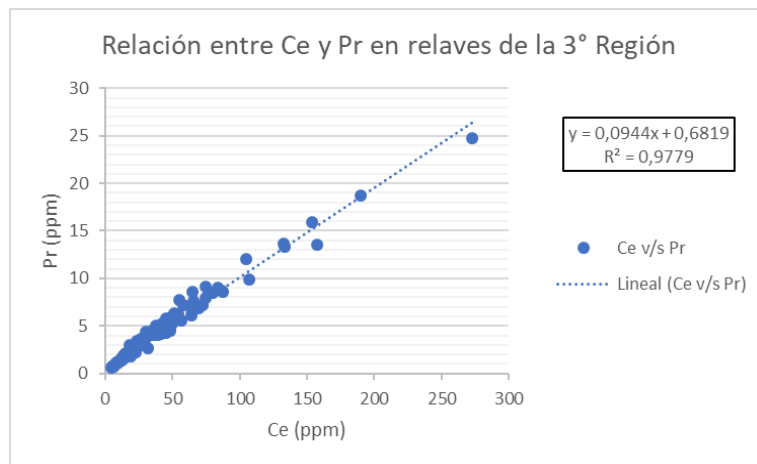


Gráfico 16: Relación entre Ce y Pr en relaves de la 3° Región

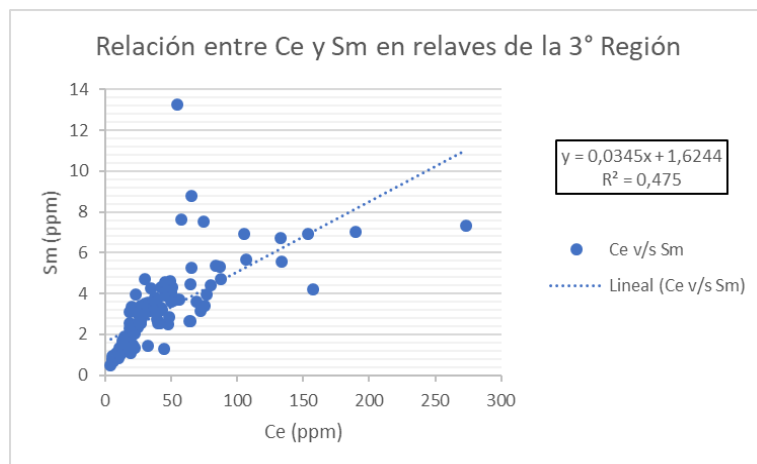


Gráfico 17: Relación entre Ce y Sm en relaves de la 3° Región

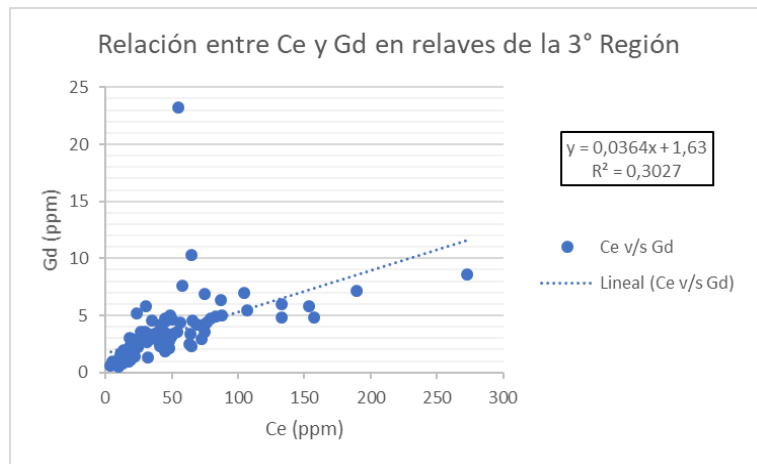


Gráfico 18: Relación entre Ce y Gd en relaves de la 3° Región.

Por lo tanto, a partir de los gráficos 14, 15, 16, 17 y 18 es posible afirmar que la relación directa entre Ce, La, Nd, Pr, Sm y Gd se cumple; con mayor énfasis entre las tierras raras Ce, La, Pr y Nd debido a sus coeficientes de correlación con un valor sobre 0,8.

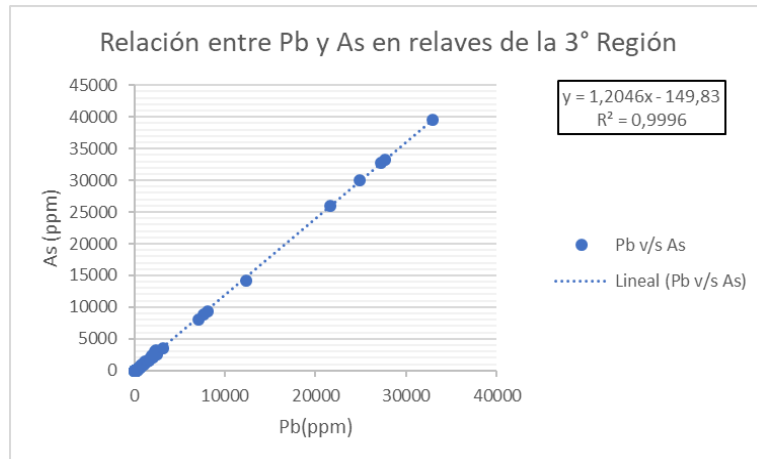


Gráfico 19: Relación entre Pb y As en relaves de la 3° Región.

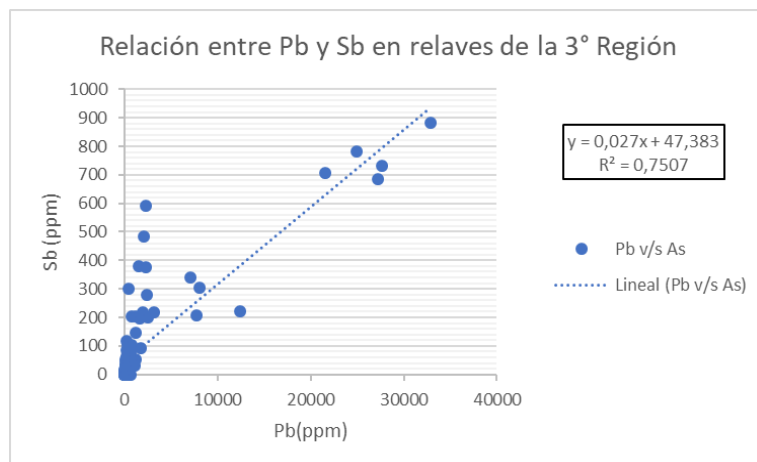


Gráfico 20: Relación entre Pb y Sb en relaves de la 3° Región.

Respecto a la relación entre Pb, As y Sb, mediante los gráficos 19 y 20 es posible observar que existe una clara relación entre Pb y As, y Pb y Sb, evidenciado en su alto coeficiente de relación (0,9 y 0,7, respectivamente). No obstante es importante destacar que la asociación As y Sb queda descartada.

Para la agrupación CP2 no se obtienen buenas relaciones entre Ce, La y Pr y Fe_2O_3 , ni estas tierras raras y P_2O_5 , por lo cual se descartan estas asociaciones a nivel regional con relaves con $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$. Sin embargo, para la asociación Zr-SiO₂ y Nb-SiO₂ se presentan los siguientes resultados.

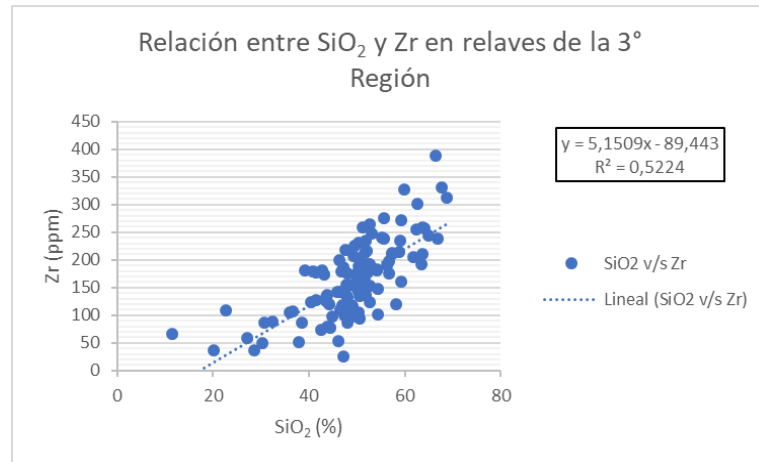


Gráfico 21: Relación entre SiO₂ y Zr en relaves de la 3ª Región

A partir del gráfico 21 es posible visualizar la relación directa entre la sílice y el zircón, evidenciada en su coeficiente de correlación sobre 0,5. Además como SiO₂ y Fe_2O_3 presentan una relación inversa, se comprueba esta misma relación inversa para Fe_2O_3 y Zr, sin embargo, con un coeficiente de correlación menor (0,36).

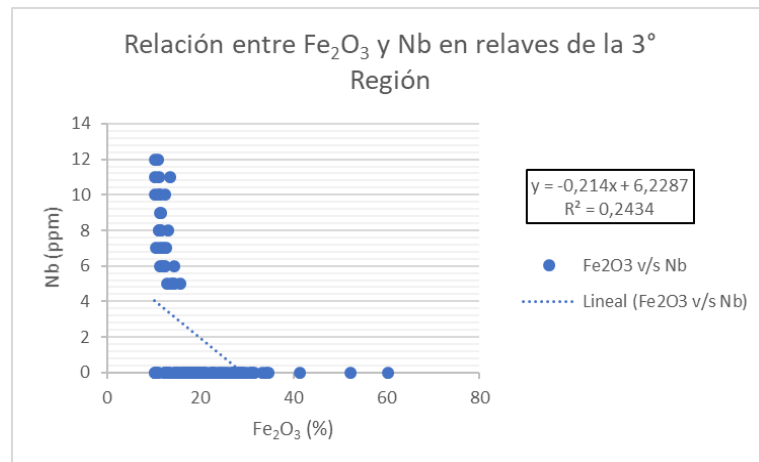


Gráfico 22: Relación entre Fe₂O₃ y Nb en relaves de la 3ª Región.

Si bien IOGAS entrega la relación Nb-SiO₂, usando el argumento de la transitividad, es posible observar, mediante el gráfico 22 que efectivamente existe una relación inversa entre Fe_2O_3 y Nb, la cual, si bien no tiene un coeficiente de correlación aceptable, es posible observar como los valores de Nb comienzan a ser distintos de 0 cuando Fe_2O_3 está bajo el 20%.

Para la agrupación CP3 se verifica la relación que existe entre Rb y el óxido mayor K_2O . K_2O y Al_2O_3

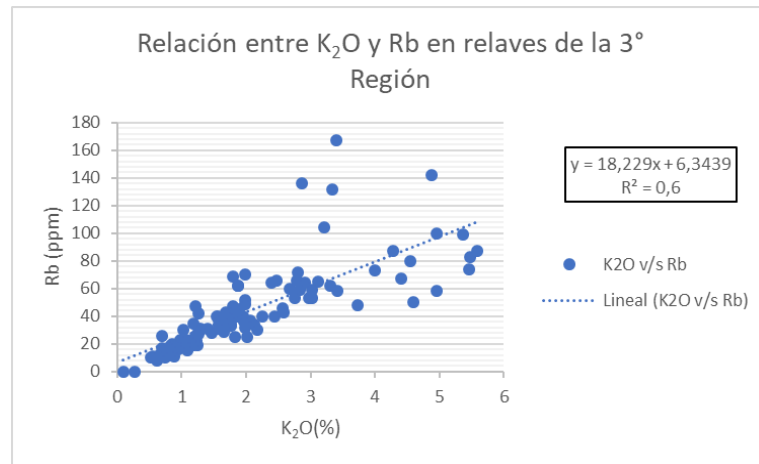


Gráfico 23: Relación entre K_2O y Rb en relaves de la 3ª Región.

A partir del gráfico 23 es posible observar que existe una relación directa entre K_2O y Rb, evidenciado en su coeficiente de correlación igual a 0,6. Cabe destacar que esta es la única asociación que se verifica de los datos entregados por el software IOGAS para CP3.

4.1.1.2.2. $Fe_2O_3 > 20\%$

A continuación, se presenta la Tabla entregada por el programa IOGAS para los datos de SERNAGEOMIN de los óxidos mayores y elementos de la 3ª Región, teniendo en cuenta que se descartan aquellos relaves con un contenido menor al 20% de Fe_2O_3 , ya que disminuye en mayor medida la probabilidad de estar fuera de la Franja Ferrífera y, además, se limita el espectro de datos con el bien de obtener asociaciones más localizadas entre óxidos mayores y elementos.

Tabla 8: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con $Fe_2O_3 > 20\%$. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.

Scaled Coordinates	PC1	PC2
Cu (ppm)	-0,274	-0,304
V (ppm)	0,012	0,268
Cr (ppm)	-0,313	-0,488
Co (mg/kg)	-0,073	-0,134
Ni (ppm)	0,545	-0,387
Zn (mg/kg)	-0,370	-0,371
Rb (mg/kg)	0,415	0,257
Sr (mg/kg)	0,085	-0,206
Y (mg/kg)	0,334	0,223
Zr (mg/kg)	0,301	0,522
Ba (mg/kg)	0,427	0,156
Pb (mg/kg)	-0,295	0,164
Sc (mg/kg)	0,005	0,369

Cs (mg/kg)	0,087	-0,418
Hf (mg/kg)	0,328	0,114
Ta (mg/kg)	0,274	0,093
Th (mg/kg)	0,516	0,194
U (mg/kg)	0,442	0,109
As (mg/kg)	-0,296	0,158
Mo (mg/kg)	-0,400	-0,473
Sb (mg/kg)	-0,380	-0,063
Sn (mg/kg)	0,068	0,431
Ag (mg/kg)	0,456	0,343
Cd (mg/kg)	0,153	0,071
S Total (%)	-0,108	-0,159
La (mg/kg)	0,602	-0,628
Ce (mg/kg)	0,586	-0,644
Pr (mg/kg)	0,630	-0,628
Nd (mg/kg)	0,700	-0,594
Sm (mg/kg)	0,874	-0,405
Eu (mg/kg)	0,776	-0,214
Gd (mg/kg)	0,865	-0,413
Tb (mg/kg)	0,956	-0,170
Dy (mg/kg)	0,941	0,031
Ho (mg/kg)	0,901	0,083
Er (mg/kg)	0,887	0,054
Tm (mg/kg)	0,843	0,132
Yb (mg/kg)	0,844	0,132
Lu (mg/kg)	0,843	0,148
SiO ₂ (%)	0,609	0,418
Al ₂ O ₃ (%)	0,384	0,399
TiO ₂ (%)	0,563	0,294
Fe ₂ O ₃ (%)	-0,451	-0,403
CaO (%)	-0,315	-0,151
MgO (%)	-0,193	-0,370
MnO (%)	-0,209	-0,200
Na ₂ O (%)	0,264	0,282
K ₂ O (%)	0,426	0,193
P ₂ O ₅ (%)	0,365	-0,095

CP1: En este conjunto, con una varianza total de 27,34%, se agrupan con un aporte positivo los elementos Ni, Rb, Ba, Th, U y REE, y los óxidos SiO₂, TiO₂ y K₂O. Por otra parte, los elementos Mo, Ag y el óxido Fe₂O₃ se agrupan con un aporte negativo.

CP2: En este conjunto, con una varianza de 10, 4%, se agrupan con un aporte negativo los elementos Cr, Cs, Mo, La, Ce, Pr, Nd, Sm y Gd, y el óxido Fe₂O₃. Por otra parte, los elementos Zn y Sn, y el óxido SiO₂ se agrupan con un aporte positivo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

Por lo tanto, basándonos en las agrupaciones de elementos y óxidos mayores anteriormente expuestas, se procede a la verificación de estas relaciones mediante gráficos de correlación.

Como es posible observar en la Tabla 8, los óxidos mayores que parecen modelar, a nivel local, los depósitos de relaves son: Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 y K_2O , sin embargo, al momento de realizar los gráficos de correlación respectivos, ninguno de estos verifica una relación directa ni inversa, salvo la relación inversa entre Fe_2O_3 y sílice que se vio comprobada anteriormente.

Una vez comprendidas las relaciones existentes entre los óxidos mayores, se procede a verificar las relaciones existentes entre estos óxidos y los elementos mencionados anteriormente.

Para la agrupación CP1 se verifica la relación que existe entre Ba y K_2O , y se descarta el gráfico de K_2O y Rb debido a que esta asociación fue comprobada anteriormente. Además es importante mencionar que si bien la asociación TiO_2 -REE era interesante, esta no entregó buenos resultados en los gráficos de correlación

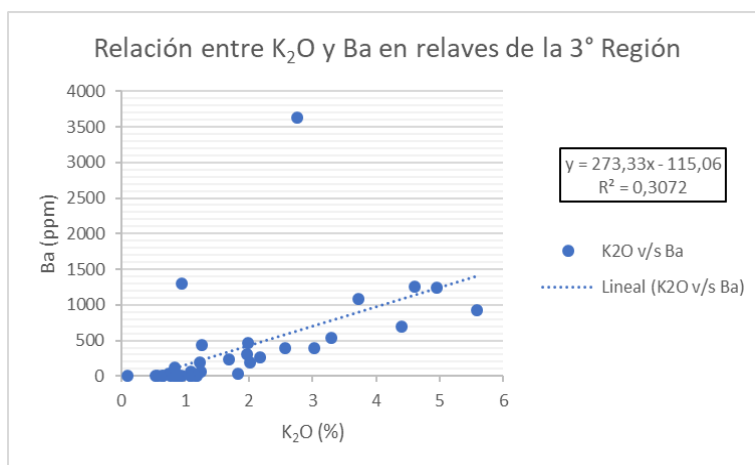


Gráfico 24: Relación entre K_2O y Ba en relaves de la 3° Región.

A partir del gráfico 24, es posible verificar que existe una relación directa entre K_2O y Ba, evidenciado en el alineamiento de las muestras, ya que probablemente el coeficiente de correlación no es tan bueno debido a dos datos que destacan por sus concentraciones muy altas de Ba y que arruinan esta relación.

Para la agrupación CP2 se descarta el gráfico de SiO_2 y Zr debido a que esta asociación fue comprobada anteriormente. Además es importante mencionar que si bien las asociaciones Fe_2O_3 -REE y Fe_2O_3 -Cr eran interesantes, estas no entregaron buenos resultados en los gráficos de correlación.

4.1.2. Distribución de Fe_2O_3 en los relaves de la 4° Región y su relación con otros óxidos y elementos

4.1.2.1. Ubicación espacial y geológica

Como fue mencionado anteriormente, este estudio se centra en aquellos relaves localizados en la Franja Ferrífera de Chile, la cual se destaca por ser una zona rica en Fe. Por ello, el óxido mayor Fe_2O_3 era una herramienta clave para la búsqueda de asociaciones entre este y otros óxidos mayores y/o este óxido y ciertos elementos de valor.

Por lo tanto, en primera medida es importante evaluar la cantidad de Fe_2O_3 presente en los relaves que se encuentran dentro de la Franja Ferrífera.

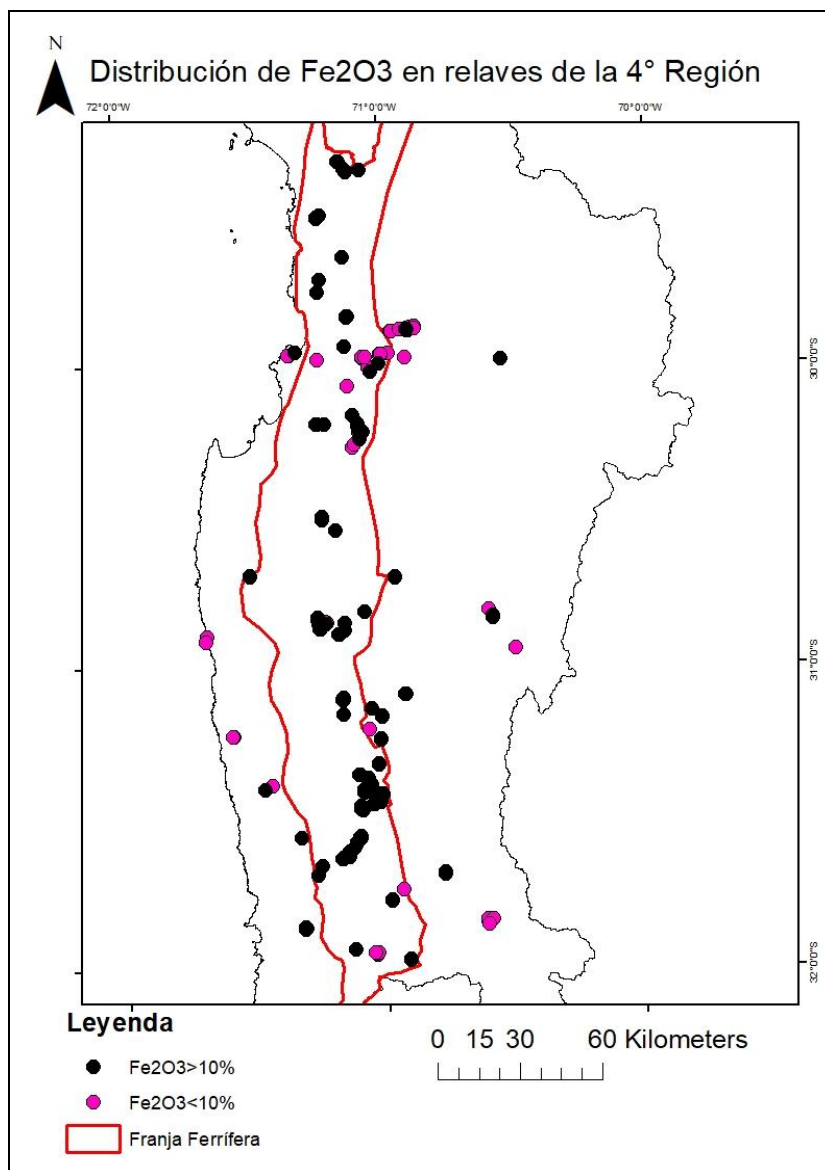


Figura 18: Distribución de Fe_2O_3 en los relaves de la 4° Región

A partir de la Figura 18 es posible evidenciar que la mayoría de los relaves con valores de Fe_2O_3 superiores al 10% se encuentran dentro de la franja Ferrífera de edad Cretácica inferior. En el caso de aquellos relaves pobres en Fe_2O_3 es posible constatar que al menos la mitad de estos se

encuentran fuera de esta franja, sin embargo, no deja de ser una gran proporción de estos relaves pobres en Fe_2O_3 que si se encuentran dentro de los márgenes de esta área rica en Fe.

Como se dijo anteriormente, para tener mayor información acerca de los relaves a estudiar, es necesario analizar y estudiar la proveniencia de la roca que termina en el relave, es decir, es importante rastrear los yacimientos a los cuales pertenecen. Por lo cual, a continuación, se presenta un mapa de la 4° región en el cual se presentan los distintos yacimientos de aquellos relaves con un porcentaje de Fe_2O_3 mayor al 10%. Sin embargo, esta vez se hace una subclasificación en aquellos yacimientos donde sus relaves presentan porcentajes entre 10 y 20%, 20 y 30%, 30 y 40%; y aquellos que sobrepasan el 40% de Fe_2O_3 .

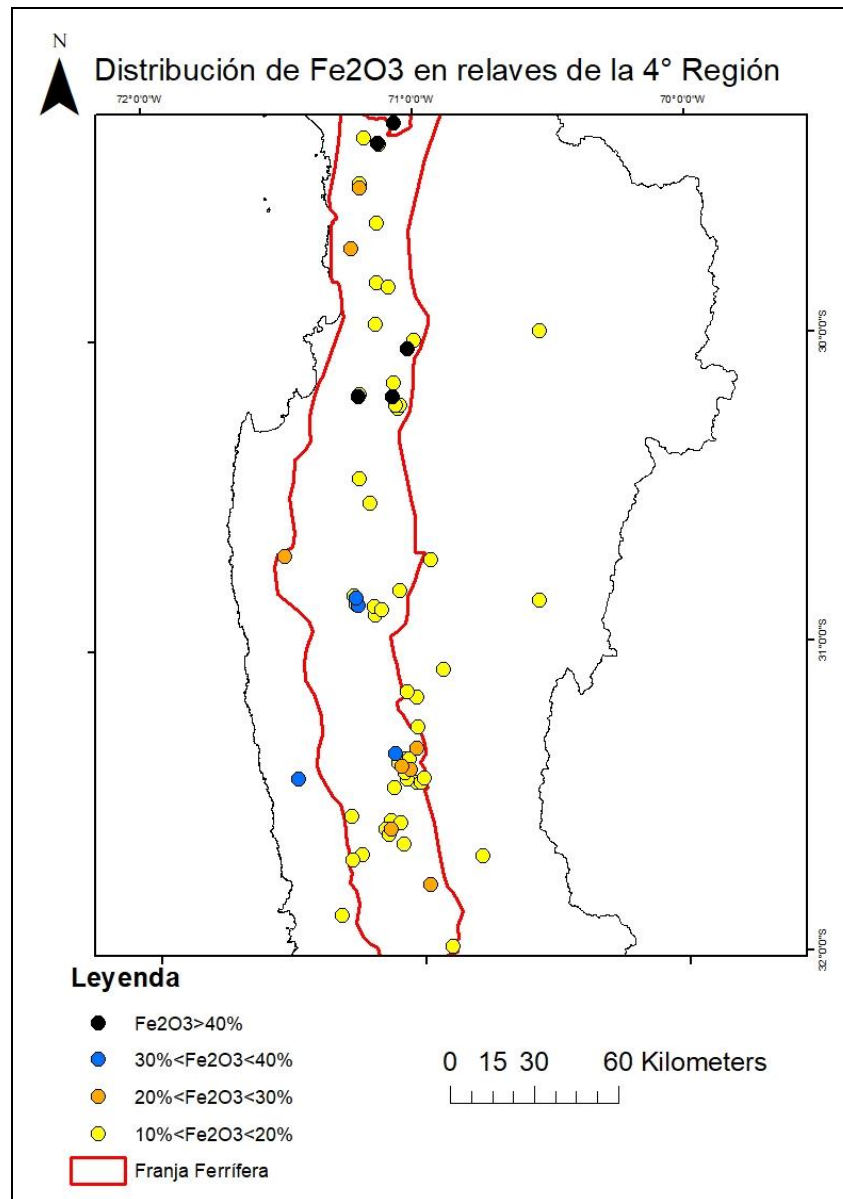


Figura 19: Distribución de Fe_2O_3 en yacimientos de la 4° Región.

Mediante la Figura 19 es posible notar que, si bien las diferentes subcategorías de concentración de Fe_2O_3 no presentan ninguna alineación característica, si es posible hacer dos afirmaciones: Aquellos yacimientos con más del 40% de Fe_2O_3 se encuentran prioritariamente en la

zona norte de la región de Serena; a diferencia de aquellos que tienen concentraciones entre 20 y 40% que se encuentran mayoritariamente en la zona sur de esta región.

Además, para contrastar con estas afirmaciones entregadas por la figura anterior, se recurre al mapa geológico de esta región para recaudar más información acerca del comportamiento de este óxido mayor.

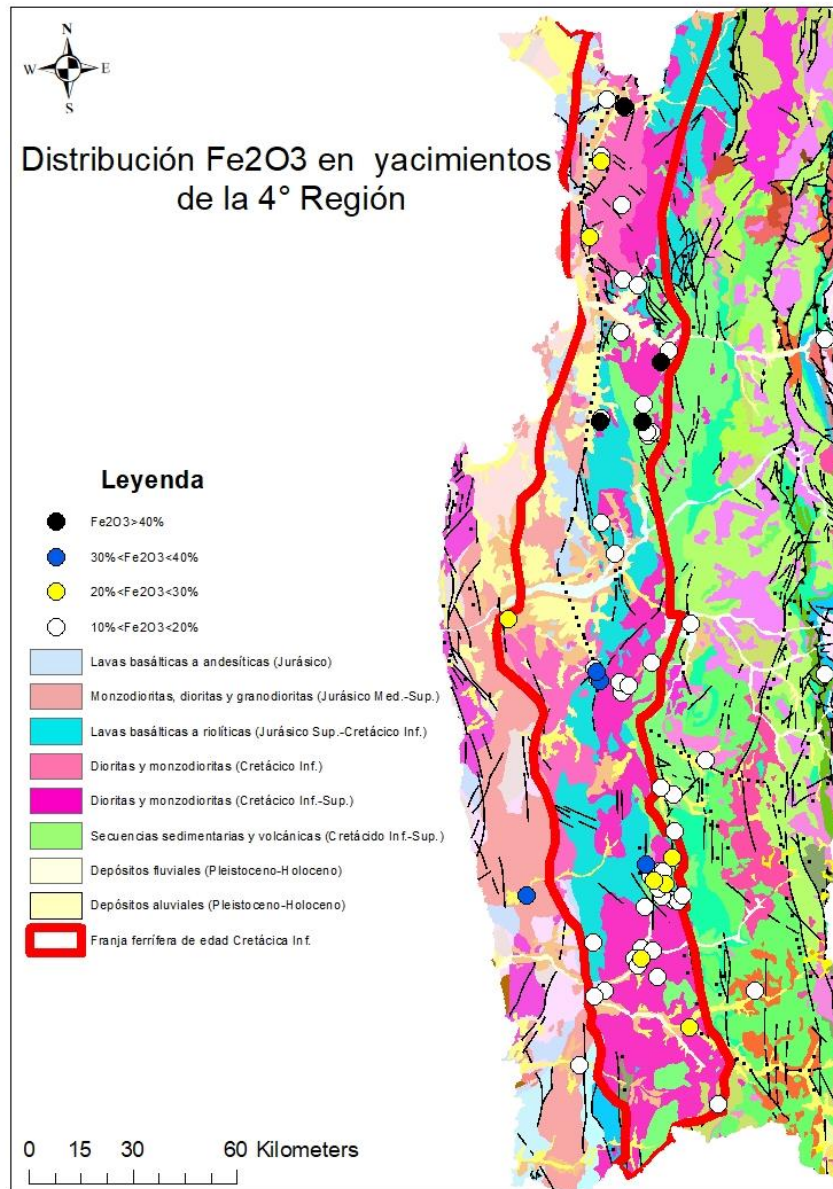


Figura 20: Distribución de Fe₂O₃ en yacimientos de la 4ª Región en su respectivo mapa geológico (Mapa geológico tomado de SERNAGEOMIN, 2003).

Mediante esta figura es posible identificar cuatro litologías principales donde se encuentran estos yacimientos de interés: Dioritas y monzonitas del Cretácico inferior a superior, lavas basálticas a riolíticas del Jurásico superior al Cretácico inferior, secuencias sedimentarias y volcánicas del

Cretácico inferior a superior, y por último dioritas y monzonitas del cretácico inferior. Ordenados de la mayor a menor concentración de yacimientos en estos.

En el caso de las dioritas y monzonitas del Cretácico inferior a superior poseen yacimientos con concentraciones desde 10% a más de 40%, abarcando la mayor cantidad de estos. Esta litología característica se encuentra al E del Sistema de Fallas de Atacama – El Romeral y pertenece a los intrusivos del Cretácico.

Las lavas basálticas a riolíticas se caracterizan por ser la litología preferencial de aquellos yacimientos que se encuentran en el rango 20-30% de Fe_2O_3 , sin embargo, también podemos encontrar en esta litología otros yacimientos de otras categorías. Esta litología pertenece a las Formaciones Punta del Cobre y Arqueros.

A diferencia de la región anterior, en Serena vemos protagonismo de la secuencia sedimentaria y volcánica compuesta por brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas y rocas sedimentarias que escapan de nuestro interés. Esta litología pertenece a las Formaciones Quebrada Marquesa y Veta Negra.

Po último y con menos protagonismo, se encuentran las monzonitas y dioritas, asociadas al sistema de fallas nombrado anteriormente y a mineralización de Fe.

Para ahondar más en la influencia de las grandes proporciones del óxido Fe_2O_3 se han elegido solo aquellos yacimientos con Fe_2O_3 mayor al 20%. Primeramente, se hace un análisis del recurso que se explota en estos yacimientos de interés.

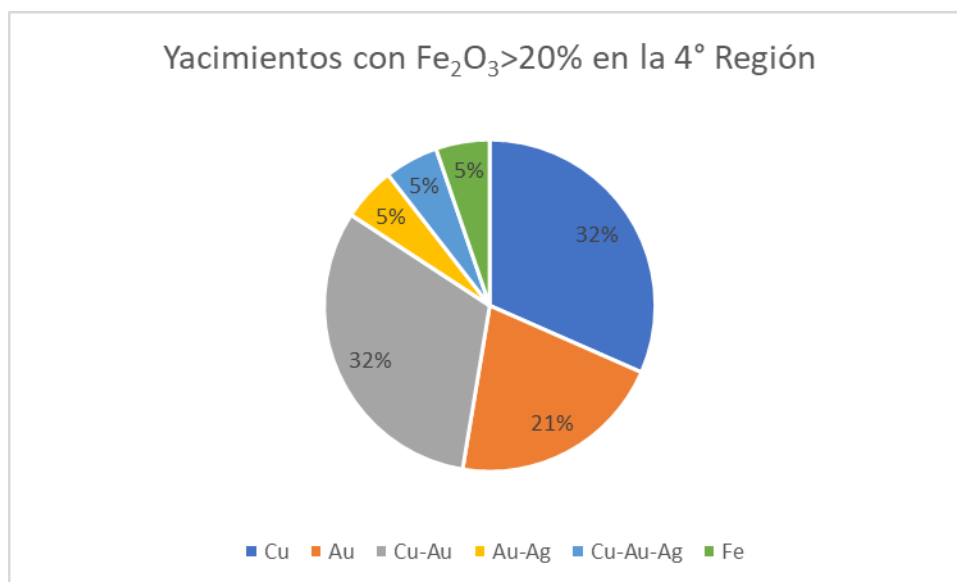


Gráfico 25: Recursos explotados en los yacimientos con $Fe_2O_3 > 20\%$ en la 4° Región.

Mediante el Gráfico 25 es posible notar que dos terceras partes de estos yacimientos de Fe_2O_3 explotan cobre o cobre y oro, respectivamente. En tercer lugar, observamos la presencia de Au sin la presencia de Cu. Por lo tanto, vemos que tanto el Au como el Cu tienen una incidencia igual de importante en los yacimientos ricos en Fe_2O_3 de la cuarta región.

4.1.2.2. Tratamiento de datos con IOGAS

Para facilitar la búsqueda de asociaciones entre Fe_2O_3 y otros óxidos mayores, y Fe_2O_3 y elementos de valor, se hace uso del software IOGAS, herramienta estadística que fue explicada anteriormente en esta misma sección, pero de la 3° Región.

Cabe destacar que se sigue utilizando como criterio para datos confiables aquellos coeficientes mayores a 0,4 y menores a -0,4.

4.1.2.2.1. $Fe_2O_3 > 10\%$

A continuación, se presenta la Tabla entregada por el programa IOGAS para los datos de SERNAGEOMIN de los óxidos mayores y elementos de la 4° Región, teniendo en cuenta que se descartan aquellos relaves con un contenido menor al 10% de Fe_2O_3 , ya que la gran mayoría de estos esta fuera de la zona de estudio, es decir, fuera de la Franja Ferrífera.

Tabla 9: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con $Fe_2O_3 > 10\%$. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.

Scaled Coordinates	CP1	CP2	CP3
Cu (ppm)	0,077	0,045	0,551
V (ppm)	-0,552	-0,581	-0,071
Cr (ppm)	-0,310	0,165	0,046
Co (mg/kg)	-0,054	0,522	0,220
Ni (ppm)	-0,174	-0,172	0,023
Zn (mg/kg)	-0,027	-0,103	0,102
Rb (mg/kg)	0,129	-0,766	0,073
Sr (mg/kg)	-0,177	-0,642	-0,090
Y (mg/kg)	0,026	-0,869	0,224
Zr (mg/kg)	0,284	-0,390	0,426
Nb (mg/kg)	0,008	-0,629	0,130
Ba (mg/kg)	0,038	-0,237	0,113
Pb (mg/kg)	0,142	0,016	0,679
Sc (mg/kg)	0,006	-0,605	0,109
Cs (mg/kg)	-0,038	-0,498	0,052
Hf (mg/kg)	0,249	-0,037	0,384
Ta (mg/kg)	0,084	-0,025	-0,063
Th (mg/kg)	-0,833	-0,091	-0,005
U (mg/kg)	-0,530	0,336	-0,083
As (mg/kg)	0,088	-0,012	0,618
Mo (mg/kg)	-0,024	0,258	0,414
Sb (mg/kg)	0,108	-0,036	0,512
Sn (mg/kg)	0,062	-0,016	-0,220
Ag (mg/kg)	-0,042	-0,015	-0,059
Cd (mg/kg)	-0,012	-0,097	-0,112
Bi (mg/kg)	0,086	-0,003	0,359
W (mg/kg)	0,020	-0,083	0,017
La (mg/kg)	-0,249	0,072	-0,181

Ce (mg/kg)	-0,911	0,142	0,053
Pr (mg/kg)	-0,948	0,102	0,071
Nd (mg/kg)	-0,960	0,069	0,075
Sm (mg/kg)	-0,967	0,003	0,110
Eu (mg/kg)	-0,714	-0,292	0,120
Gd (mg/kg)	-0,974	0,020	0,129
Tb (mg/kg)	-0,967	-0,009	0,152
Dy (mg/kg)	-0,950	-0,052	0,174
Ho (mg/kg)	-0,957	-0,010	0,170
Er (mg/kg)	-0,958	-0,917	0,153
Tm (mg/kg)	-0,940	-0,015	0,164
Yb (mg/kg)	-0,937	-0,051	0,136
Lu (mg/kg)	-0,923	-0,044	0,104
Au (mg/kg)	0,172	0,113	0,486
Hg (mg/kg)	0,184	0,211	0,529
S Total (%)	0,289	0,320	-0,120
SiO ₂ (%)	0,560	-0,213	0,515
Al ₂ O ₃ (%)	-0,050	-0,835	-0,196
TiO ₂ (%)	-0,312	-0,750	-0,284
Fe ₂ O ₃ (%)	-0,429	0,667	0,021
CaO (%)	-0,241	0,345	-0,457
MgO (%)	-0,531	-0,292	-0,329
MnO (%)	-0,048	0,040	-0,257
Na ₂ O (%)	-0,422	-0,420	-0,174
K ₂ O (%)	0,178	-0,675	0,057
P ₂ O ₅ (%)	-0,865	0,269	0,131

CP1: En este conjunto, con una varianza total de 27,97%, se agrupan con un aporte negativo los elementos Th, U, V y las REE (excepto La) y los óxidos Fe₂O₃, MgO, Na₂O y P₂O₅. Por otra parte, el óxido SiO₂ se agrupa con un aporte positivo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

CP2: En este conjunto, con una varianza de 12,61%, se agrupan con un aporte negativo los elementos V, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sc y Cs, y los óxidos K₂O, Na₂O, TiO₂ y Al₂O₃. Por otra parte, el elemento Co y el óxido Fe₂O₃ se agrupan con un aporte positivo.

CP3: En este conjunto, con una varianza de 7,17%, se agrupan con un aporte positivo los elementos Au, Ag, Hg, As, Mo, Sb, Pb, Zr, Cu y el óxido SiO₂. Por otra parte, el óxido CaO se agrupa con un aporte negativo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

Por lo tanto, basándonos en las agrupaciones de elementos y óxidos mayores anteriormente expuestas, se procede a la verificación de estas relaciones mediante gráficos de correlación.

Como es posible observar en la Tabla 9, a excepción del MnO y S, todos los óxidos mayores parecen modelar, a nivel regional, los depósitos de relaves, por lo que a continuación se presentan aquellas relaciones entre óxidos que fueron verificadas mediante gráficos de correlación.

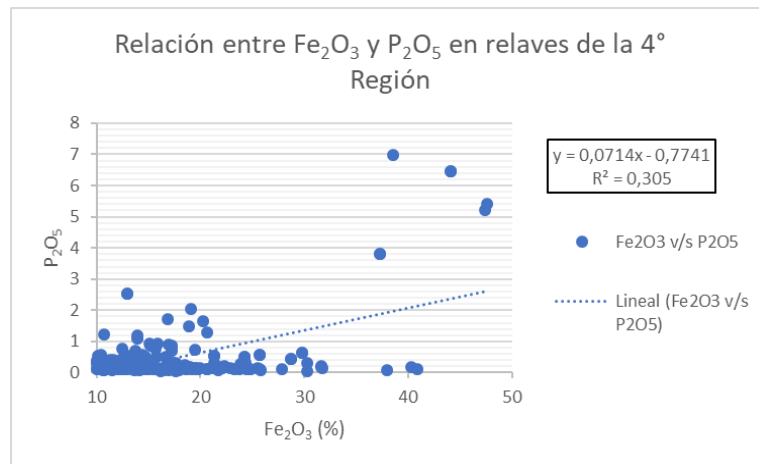


Gráfico 26: Relación entre Fe_2O_3 y P_2O_5 en relaves de la 4ª Región.

A partir del gráfico 26 es posible afirmar que existe una relación directa entre los óxidos Fe_2O_3 y P_2O_5 , sin embargo, el coeficiente no sustenta mucho esta relación debido a que cuando el óxido de hierro supera el 30% los valores de P_2O_5 son muy extremos. Por lo tanto, se verifica la relación entregada en CP1.

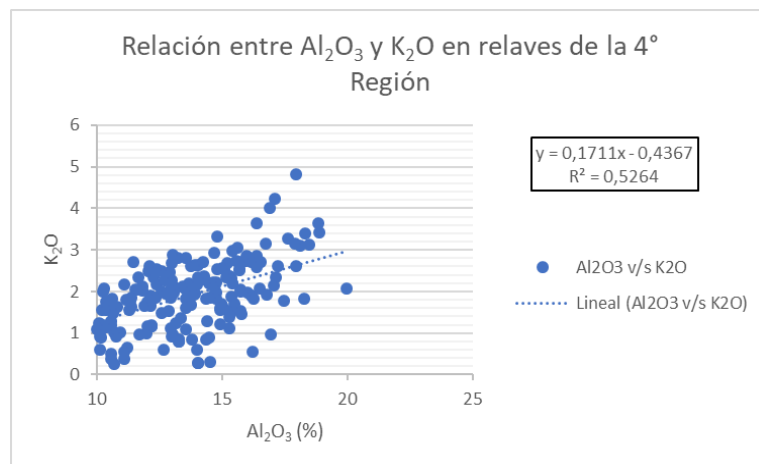


Gráfico 27: Relación entre Al_2O_3 y K_2O en relaves de la 4ª Región.

A partir del gráfico 27 es posible observar que existe una relación directa entre los óxidos Al_2O_3 y K_2O evidenciada en un coeficiente de correlación mayor a 0,5. Por lo tanto, se verifica la relación entregada en CP2.

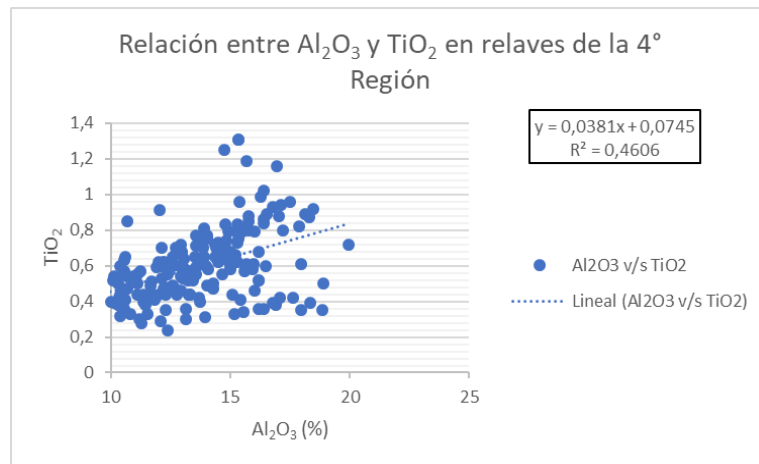


Gráfico 28: Relación entre Al_2O_3 y TiO_2 en relaves de la 4ª Región.

Mediante el gráfico 28 es posible afirmar que existe una relación directa entre los óxidos Al_2O_3 y TiO_2 , evidenciada en su coeficiente de correlación mayor a 0,45. Por lo tanto, se verifica la relación entregada en CP2.

Una vez comprendidas las relaciones existentes entre los óxidos mayores, se procede a verificar las relaciones existentes entre estos óxidos y los elementos mencionados anteriormente.

Para la agrupación CP1 se verifica la relación que existe entre las tierras raras y el óxido P_2O_5 . Cabe destacar que, si bien Fe_2O_3 y P_2O_5 están relacionados entre sí, las tierras raras y Fe_2O_3 presentan coeficientes de correlación muy bajo (todos cercanos a 0,2), por lo cual no es suficiente para afirmar que existe una asociación con el espectro de muestras de $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$.

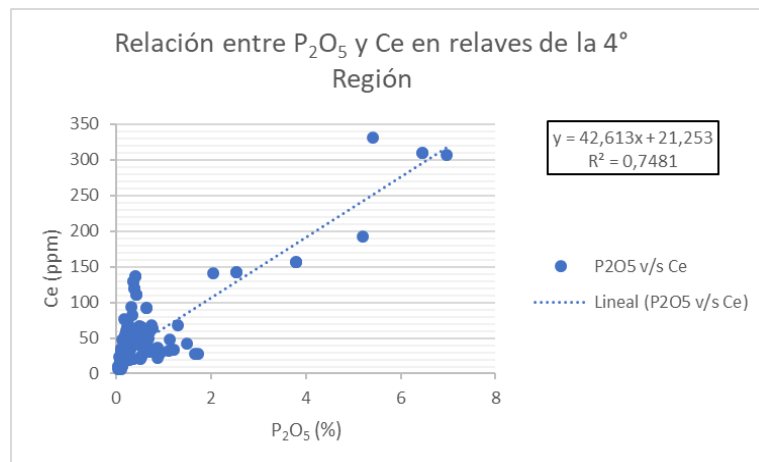


Gráfico 29: Relación entre P_2O_5 y Ce en relaves de la 4ª Región.

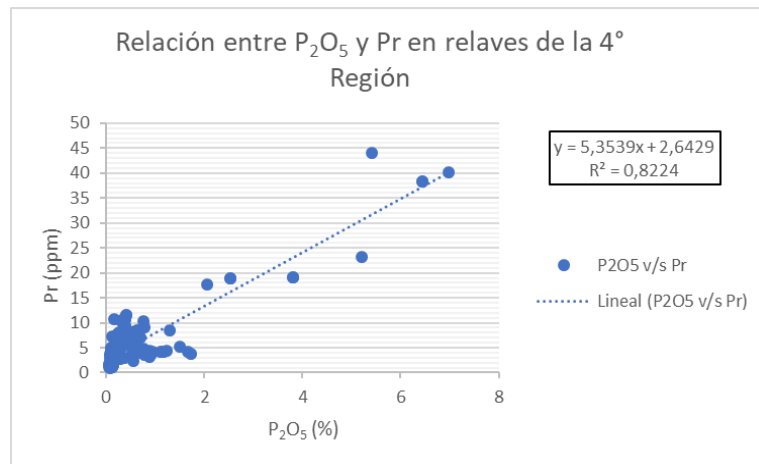


Gráfico 30: Relación entre P₂O₅ y Pr en relaves de la 4^o Región.

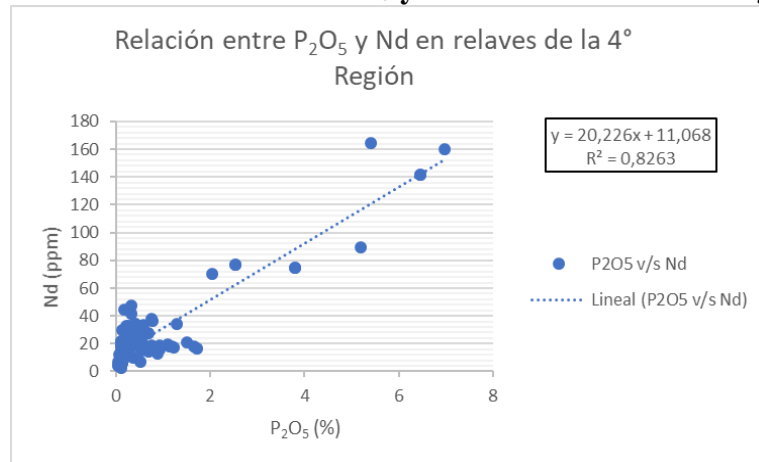


Gráfico 31: Relación entre P₂O₅ y Nd en relaves de la 4^o Región.

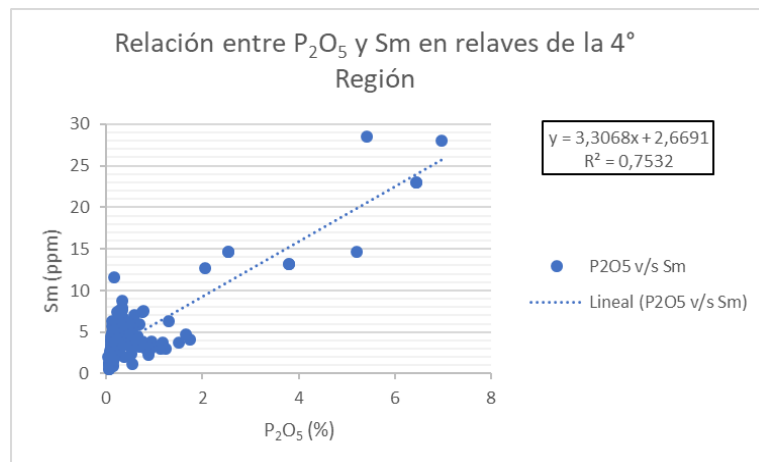


Gráfico 32: Relación entre P₂O₅ y Sm en la 4^o Región.

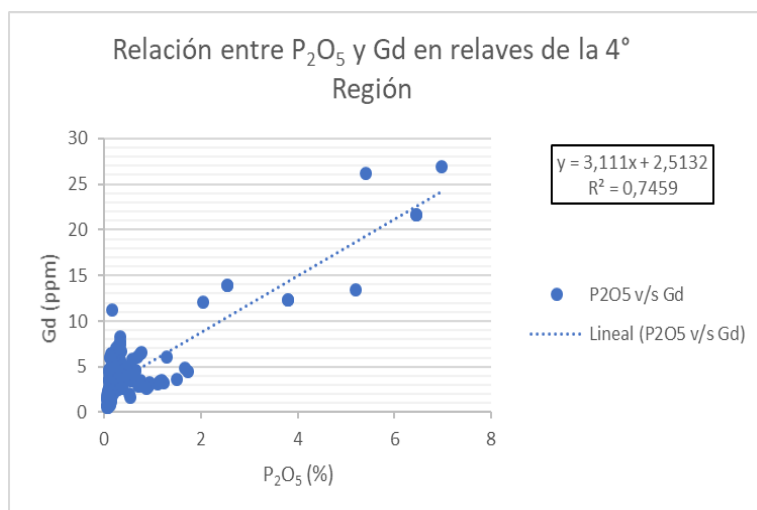


Gráfico 33: Relación entre P₂O₅ y Gd en relaves de la 4^o Región.

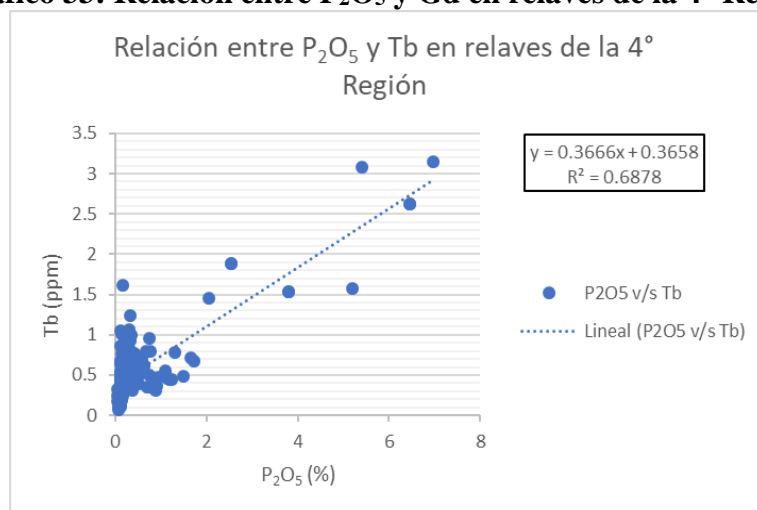


Gráfico 34: Relación entre P₂O₅ y Tb en relaves de la 4^o Región.

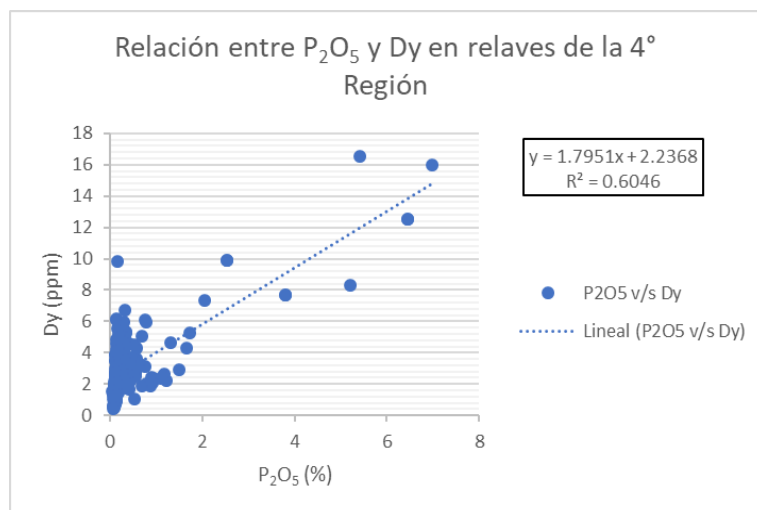


Gráfico 35: Relación entre P2O5 y Dy en relaves de la 4^o Región.

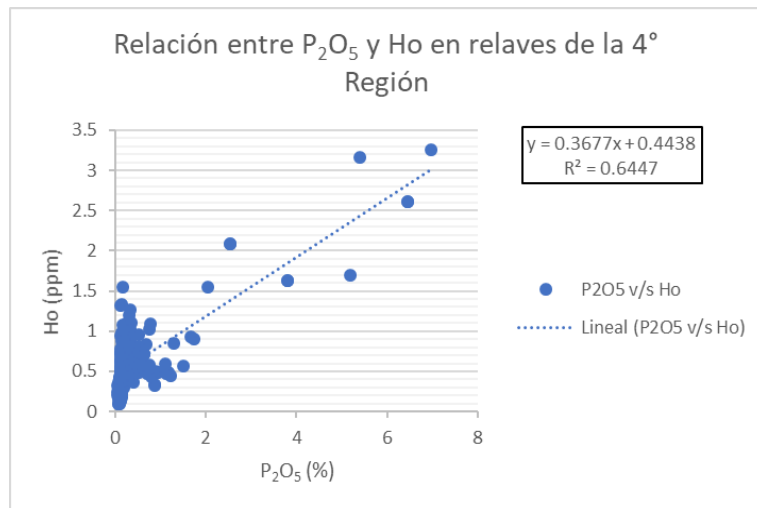


Gráfico 36: Relación entre P₂O₅ y Ho en relaves de la 4^o Región.

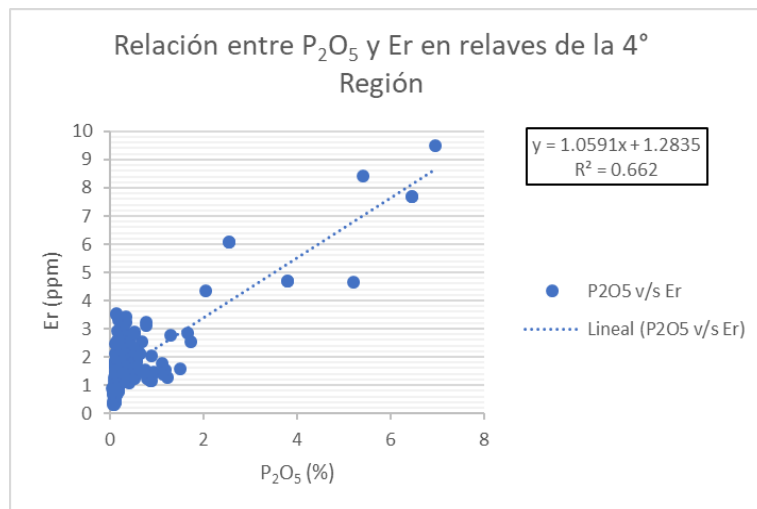


Gráfico 37: Relación entre P₂O₅ y Er en relaves de la 4^o Región.

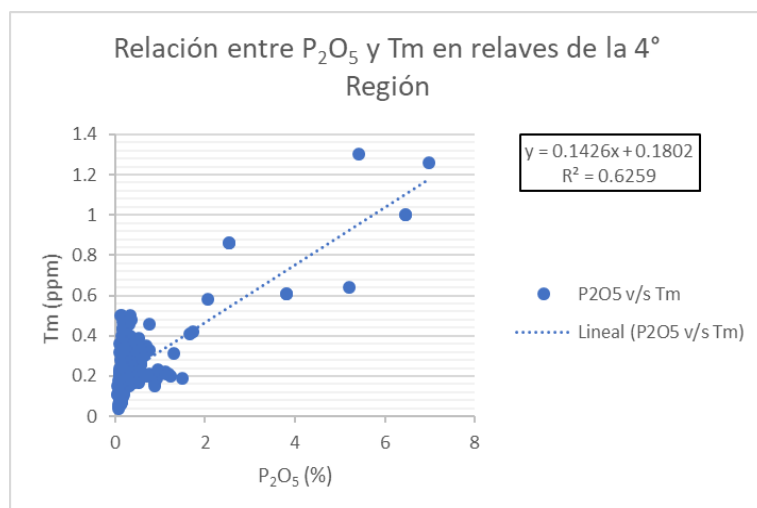


Gráfico 38: Relación entre P₂O₅ y Tm en relaves de la 4^o Región.

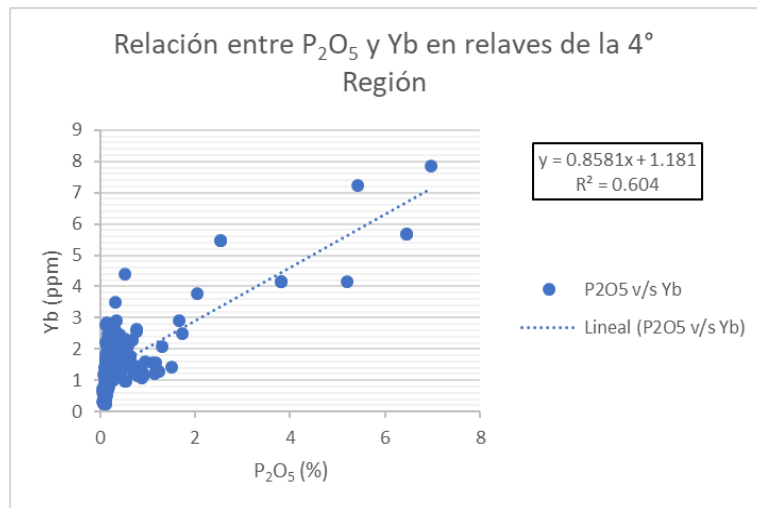


Gráfico 39: Relación entre P_2O_5 e Yb en relaves de la 4° Región.

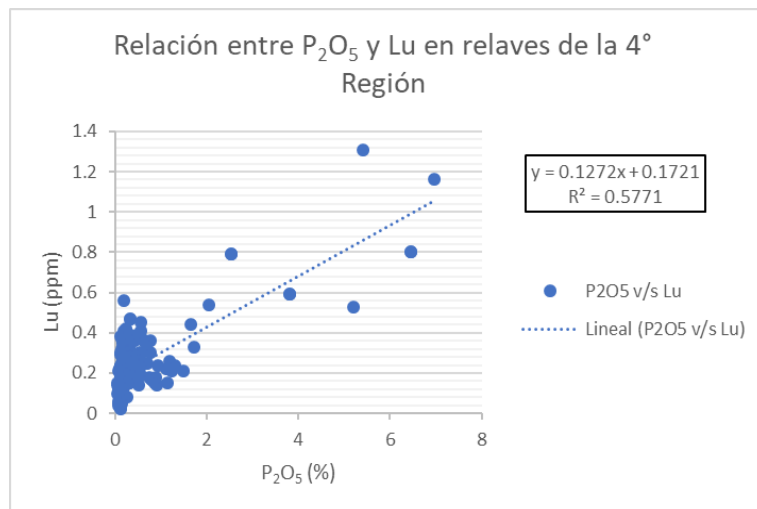


Gráfico 40: Relación entre P_2O_5 y Lu en relaves de la 4° Región.

A partir de los gráficos 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40 es posible observar que existe una relación directa entre el óxido P_2O_5 y las tierras raras (a excepción de La y Eu), evidenciado en los altos coeficientes de correlación que varían desde 0,8 a 0,5. Por lo tanto, se verifica la relación entregada por CP1.

Para la agrupación CP2 se verifica la relación que existe entre el óxido Fe_2O_3 y Co y Nb, y K_2O y Rb.

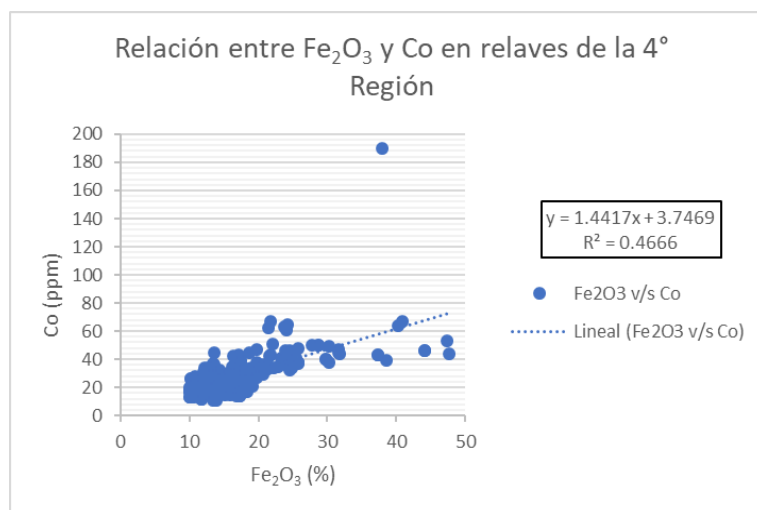


Gráfico 41: Relación entre Fe_2O_3 y Co en relaves de la 4ª Región.

Mediante el gráfico 41 es posible observar que existe una relación directa entre el óxido de hierro y Co, evidenciado en su coeficiente de correlación mayor a 0,45.

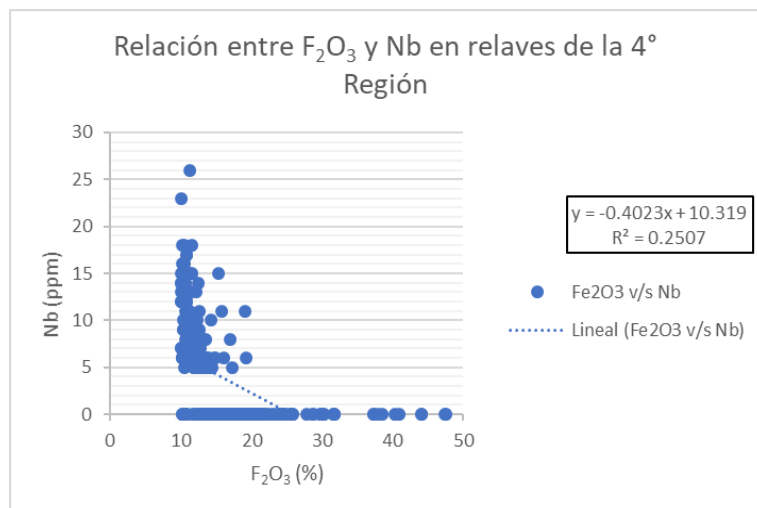


Gráfico 42: Relación entre Fe_2O_3 y Nb en relaves de la 4ª Región.

Mediante el gráfico 42 que efectivamente existe una relación inversa entre Fe_2O_3 y Nb, la cual, si bien no tiene un coeficiente de correlación aceptable, es posible observar como los valores de Nb comienzan a ser distintos de 0 cuando Fe_2O_3 está bajo el 20%.

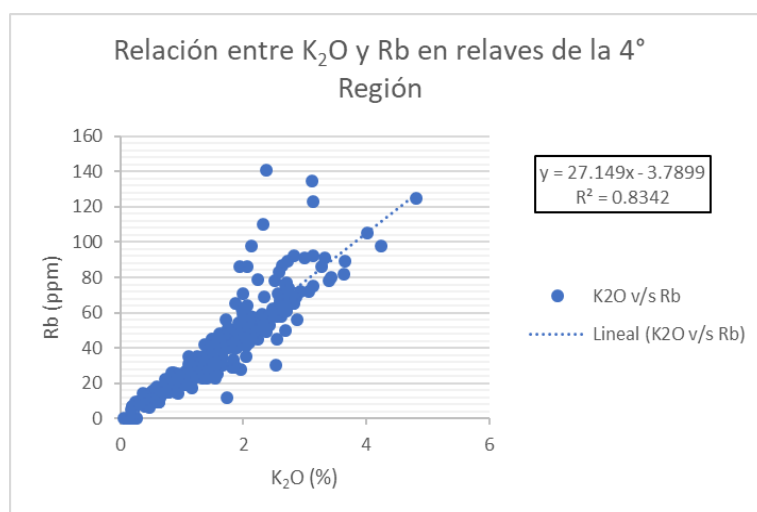


Gráfico 43: Relación entre K₂O y Rb en relaves de la 4ª Región.

Al observar el gráfico 43 es posible afirmar que existe una relación directa entre el óxido K₂O y Rb, evidenciado en el coeficiente de correlación con valor 0,8.

Para la agrupación CP3 se verifica la relación que existe entre el óxido SiO₂ y Zr, la cual exhibe un coeficiente de correlación de 0,3, el cual no es muy bueno, por lo que este dato sirve como antecedente para las relaciones entre óxidos y elementos de las muestras con Fe₂O₃>20% de a continuación, es decir, un espectro más acotado.

4.1.2.2.2. Fe₂O₃>20%

A continuación, se presenta la Tabla entregada por el programa IOGAS para los datos de SERNAGEOMIN de los óxidos mayores y elementos de la 4ª Región, teniendo en cuenta que se descartan aquellos relaves con un contenido menor al 20% de Fe₂O₃, ya que disminuye en mayor medida la probabilidad de estar fuera de la Franja Ferrífera y, además, se limita el espectro de datos con el fin de obtener asociaciones más localizadas entre óxidos mayores y elementos.

Tabla 10: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre óxidos mayores y elementos en depósitos de relave con Fe₂O₃>20%. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.

Scaled Coordinates	PC1	PC2	PC3
Cu (ppm)	-0.415	0.715	-0.038
V (ppm)	0.727	-0.187	-0.433
Cr (ppm)	0.396	-0.162	-0.386
Co (mg/kg)	-0.127	0.103	0.512
Ni (ppm)	0.017	-0.411	0.062
Zn (mg/kg)	-0.175	0.458	-0.231
Rb (mg/kg)	-0.422	0.368	-0.647
Sr (mg/kg)	0.027	-0.333	-0.082
Y (mg/kg)	-0.193	0.594	-0.168
Zr (mg/kg)	-0.663	0.189	0.238
Ba (mg/kg)	-0.072	-0.054	-0.187

Pb (mg/kg)	-0.318	0.502	0.149
Sc (mg/kg)	-0.335	0.063	-0.454
Cs (mg/kg)	-0.341	0.369	-0.485
Hf (mg/kg)	-0.521	0.157	0.437
Ta (mg/kg)	0.000	-0.377	0.013
Th (mg/kg)	0.965	-0.036	-0.021
U (mg/kg)	0.778	0.088	0.028
As (mg/kg)	-0.174	0.465	0.098
Mo (mg/kg)	-0.368	0.237	0.246
Sb (mg/kg)	-0.354	0.482	0.172
Ag (mg/kg)	-0.262	-0.115	0.505
Cd (mg/kg)	-0.132	-0.426	0.279
W (mg/kg)	-0.184	0.167	-0.195
La (mg/kg)	0.551	-0.233	-0.022
Ce (mg/kg)	0.966	0.058	0.080
Pr (mg/kg)	0.977	0.107	0.073
Nd (mg/kg)	0.977	0.134	0.062
Sm (mg/kg)	0.968	0.205	0.050
Eu (mg/kg)	0.739	0.496	-0.062
Gd (mg/kg)	0.959	0.249	0.061
Tb (mg/kg)	0.949	0.286	0.069
Dy (mg/kg)	0.923	0.348	0.034
Ho (mg/kg)	0.926	0.341	0.054
Er (mg/kg)	0.935	0.318	0.035
Tm (mg/kg)	0.931	0.316	0.062
Yb (mg/kg)	0.936	0.284	0.012
Lu (mg/kg)	0.927	0.259	0.071
S Total (%)	-0.242	-0.288	0.581
SiO ₂ (%)	-0.696	0.493	-0.010
Al ₂ O ₃ (%)	-0.056	-0.075	-0.884
TiO ₂ (%)	0.267	-0.428	-0.675
Fe ₂ O ₃ (%)	0.726	-0.065	0.213
CaO (%)	0.585	-0.491	0.195
MgO (%)	0.441	-0.568	-0.401
MnO (%)	-0.084	0.256	-0.158
Na ₂ O (%)	0.570	-0.537	-0.208
K ₂ O (%)	-0.347	0.290	-0.663
P ₂ O ₅ (%)	0.968	0.061	0.052

CPI: En este conjunto, con una varianza total de 38,4%, se agrupan con un aporte positivo los elementos V, Th, U y REE, y los óxidos Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O y P₂O₅. Por otra parte, los elementos Cu, Rb, Zr, Hf y el óxido SiO₂ se agrupan con un aporte negativo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

CP2: En este conjunto, con una varianza de 11,27%, se agrupan con un aporte negativo los elementos Ni y Cd, y los óxidos TiO₂, CaO, MgO, Na₂O. Por otra parte, los elementos Cu, Zn, Y, Pb, As, Sb, Eu y el óxido SiO₂ se agrupan con un aporte positivo. Por lo que es probable que la agrupación con aporte positivo se encuentre en una relación contraria con la agrupación de aporte negativo.

CP3: En este conjunto, con una varianza de 9,6%, se agrupan con un aporte positivo los elementos Co, Hf, Ag y el óxido S_{total}. Po otra parte, los elementos V, Rb, Sc, Cs, y los óxidos Al₂O₃, TiO₂, MgO y K₂O se agrupan con un aporte negativo.

Por lo tanto, basándonos en las agrupaciones de elementos y óxidos mayores anteriormente expuestas, se procede a la verificación de estas relaciones mediante gráficos de correlación.

Como es posible observar en la Tabla 10, los óxidos mayores que parecen modelar, a nivel local, los depósitos de relaves son todos (excepto MnO), por lo que a continuación se presentan los gráficos de correlación que verifican algunas de estas asociaciones, salvo la relación directa entre alúmina y K₂O, y alúmina y TiO₂ que fueron verificadas anteriormente para esta región.

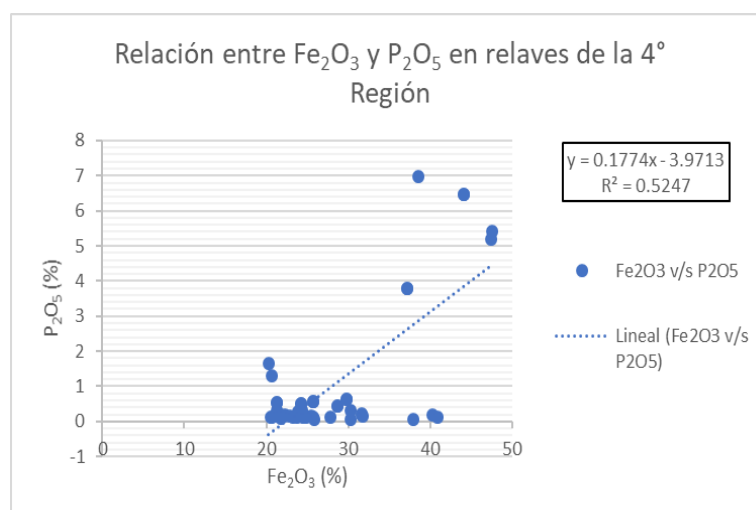


Gráfico 44: Relación entre Fe₂O₃ y P₂O₅ en relaves de la 4° Región.

A partir del gráfico 44 es posible observar que la relación verificada anteriormente entre Fe₂O₃ y P₂O₅ es mejorada cuando las muestras presentan mayor cantidad de óxido de hierro (>20%).

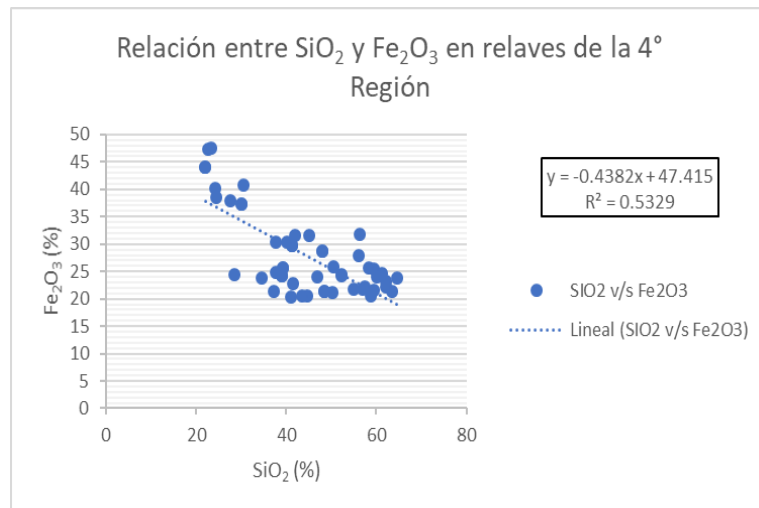


Gráfico 45: Relación entre SiO_2 y Fe_2O_3 en relaves de la 4° Región.

A partir del gráfico 45 es posible observar que entre la sílice y el óxido de hierro existe una relación inversa evidenciada en su coeficiente de correlación mayor a 0,5.

Una vez comprendidas las relaciones existentes entre los óxidos mayores, se procede a verificar las relaciones existentes entre estos óxidos y los elementos mencionados anteriormente.

Para la agrupación CP1 se verifica la relación que existe entre las tierras raras y el óxido Fe_2O_3 , y Zr y SiO_2 . No obstante, se descartan los gráficos de P_2O_5 y tierras raras, Fe_2O_3 y Co, y K_2O y Rb debido a que estas asociaciones fueron verificadas anteriormente.

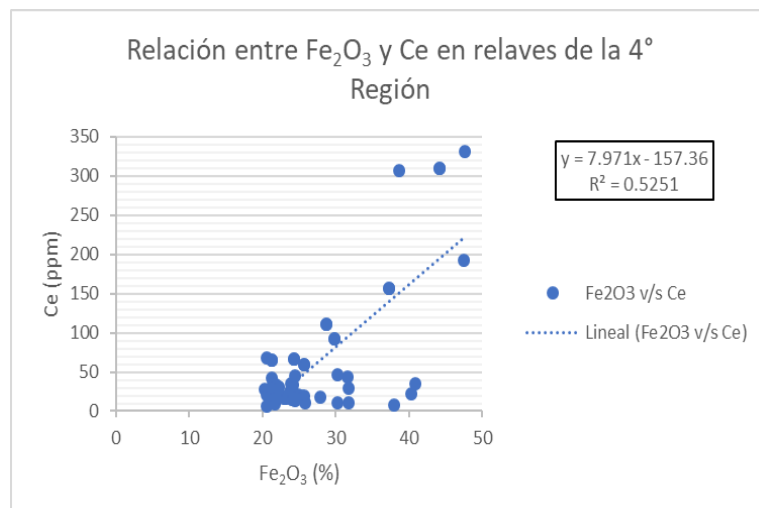


Gráfico 46: Relación entre Fe_2O_3 y Ce en relaves de la 4° Región.

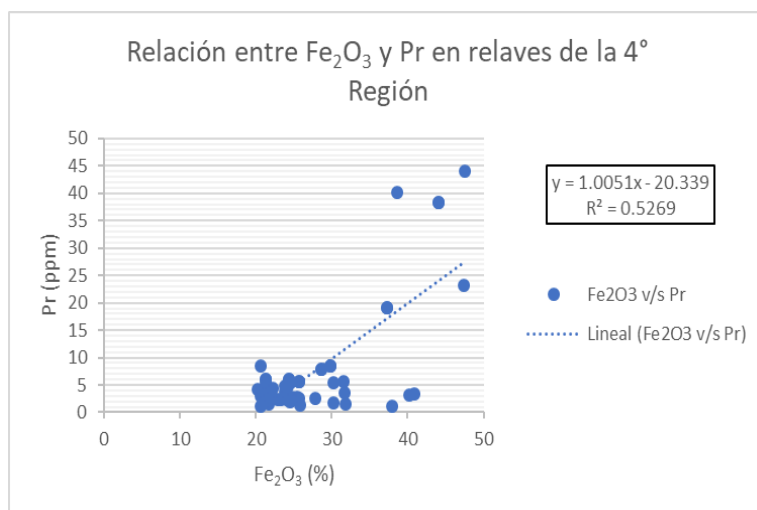


Gráfico 47: Relación entre Fe_2O_3 y Pr en relaves de la 4^o Región.

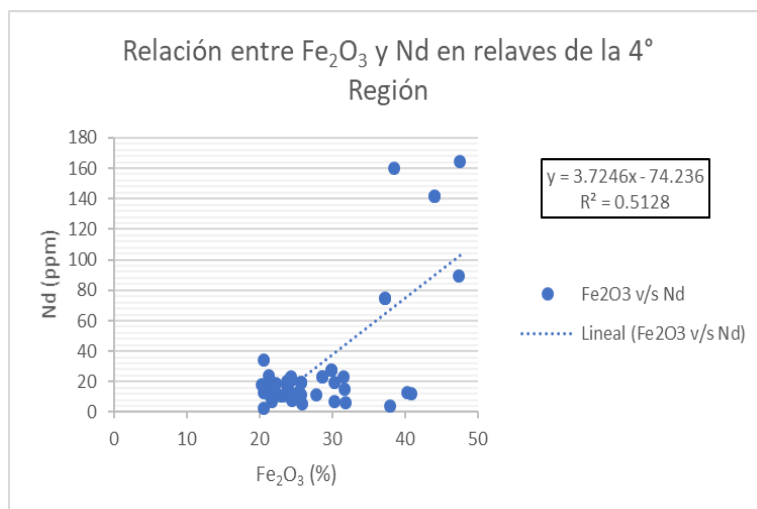


Gráfico 48: Relación entre Fe_2O_3 y Nd en relaves de la 4^o Región.

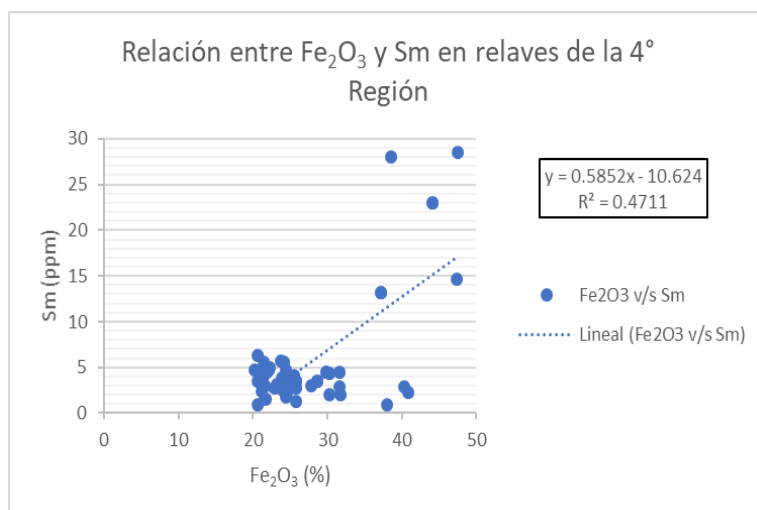


Gráfico 49: Relación entre Fe_2O_3 y Sm en relaves de la 4^o Región.

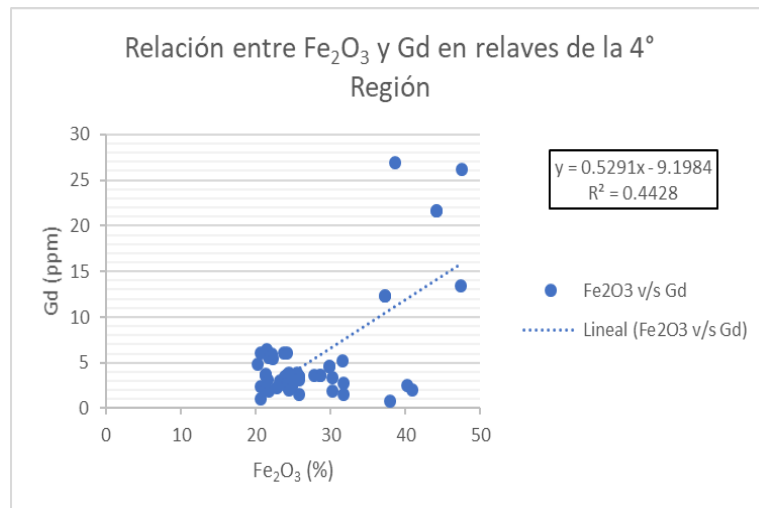


Gráfico 50: Relación entre Fe_2O_3 y Gd en relaves de la 4^o Región.

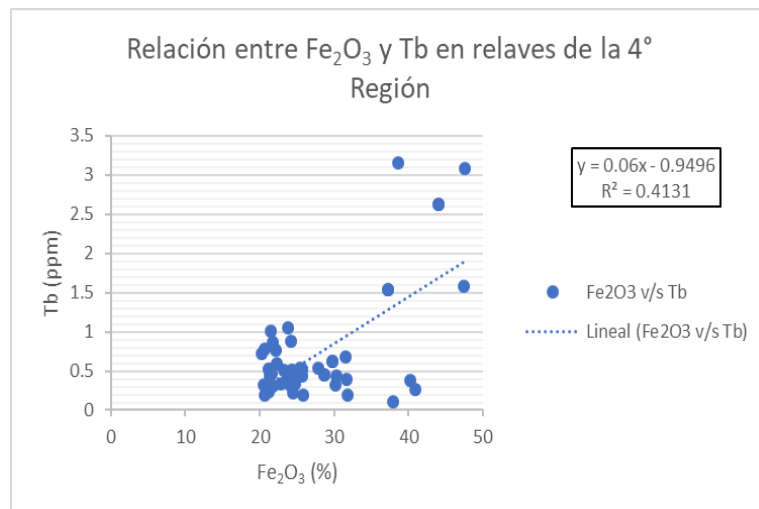


Gráfico 51: Relación entre Fe_2O_3 y Tb en relaves de la 4^o Región.

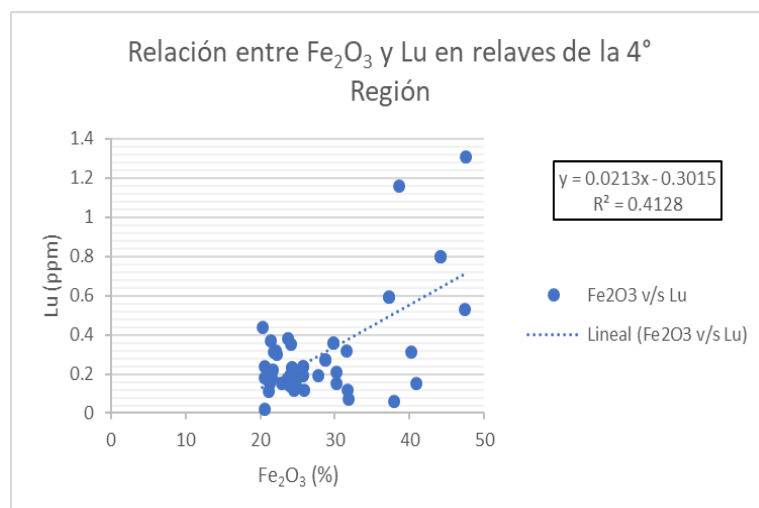


Gráfico 52: Relación entre Fe_2O_3 y Lu en relaves de la 4^o Región.

A partir de los gráficos 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52 es posible apreciar que Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb y Lu presentan una relación directa con Fe_2O_3 evidenciado en coeficientes de correlación que varían desde 0,4 a 0,5. Cabe destacar que el resto de las tierras raras (a excepción de La y Eu) si bien no presentan un coeficiente de correlación mayor a 0,4, estos presentan coeficientes entre 0,35-0,4 por lo que no es posible descartar por completo su asociación con Fe_2O_3 . Por lo cual, se verifica la asociación de CP1.

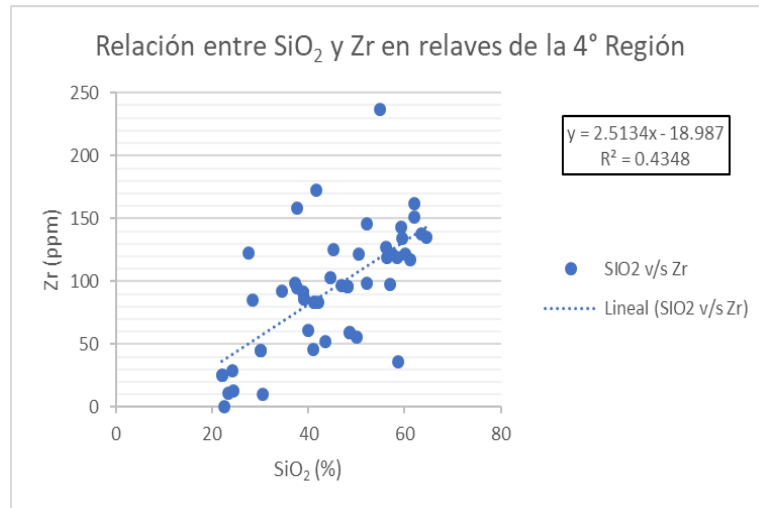


Gráfico 53: Relación entre SiO_2 y Zr en relaves de la 4° Región.

A partir del gráfico 53 es posible visualizar que existe una relación directa entre SiO_2 y Zr, evidenciado en su coeficiente de correlación mayor a 0,4.

Para la agrupación CP2 se verifica la relación que existe entre los elementos Pb y As.

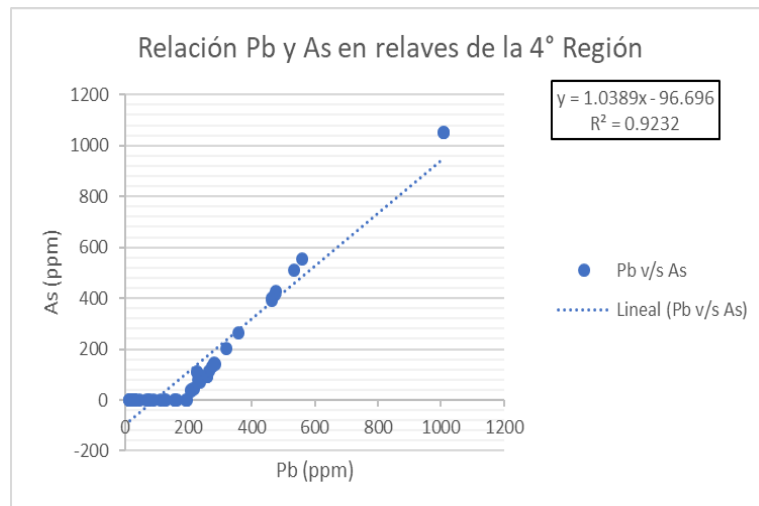


Gráfico 54: Relación entre Pb y As en relaves de la 4° Región.

A partir del gráfico 54 es posible visualizar que entre los elementos Pb y As existe una relación directa evidenciada en el alto valor de su coeficiente de correlación (0,9).

Para la agrupación CP3 se verifica la relación que existe entre V y el óxido TiO₂. No obstante, se descartan los gráficos de Fe₂O₃ y Co, y K₂O y Rb debido a que estas asociaciones fueron verificadas anteriormente.

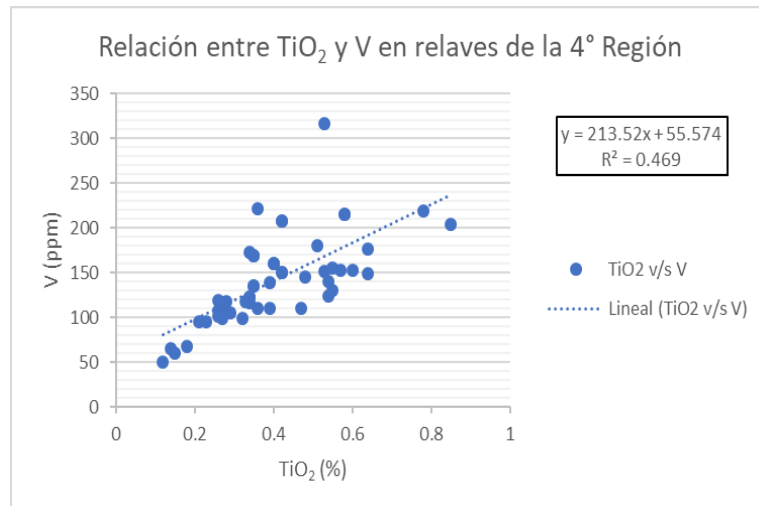


Gráfico 55: Relación entre TiO₂ y V en relaves de la 4ª Región.

Al observar el gráfico 55 es posible notar que existe una relación directa entre TiO₂ y V evidenciado en un coeficiente de correlación de valor 0,4.

4.2. Datos Terreno

Los datos químicos y mineralógicos analizados a continuación son generados a partir de las muestras tomadas en terreno, en 9 relaves distintos. Tres de estos relaves pertenecen a la III región de Atacama y los 6 restantes a la IV Región de Serena de Chile, como se ilustra en la Figura 34.

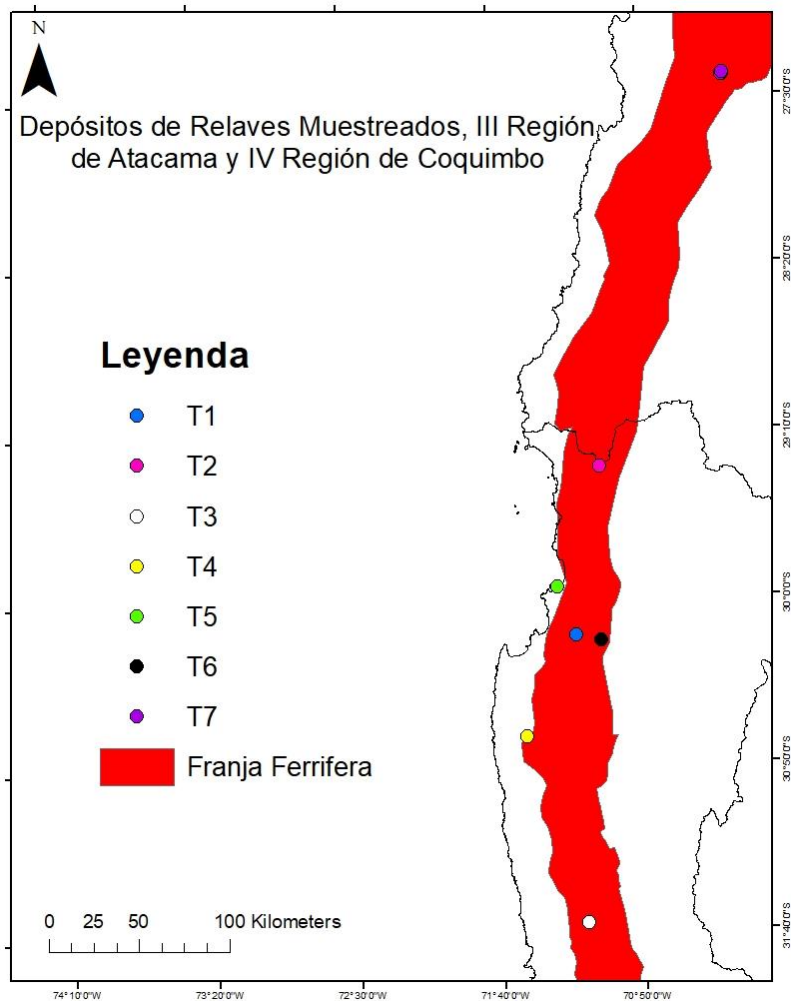


Figura 21: Mapa tranques de relave muestreados en la III y IV región de Chile.

A partir del mapa de la Figura 21 es posible observar que la mayoría de los tranques (a excepción de uno) se encuentran dentro de la Franja Ferrífera. Y a continuación se constatará si los yacimientos de donde provienen estos relaves también se encuentran dentro de esta área rica en Fe.

Cabe destacar que el punto color negro representa a 5 tranques de relave debido a la cercanía de estos, ya que a la escala que está hecho este mapa, no es posible diferenciarlos.

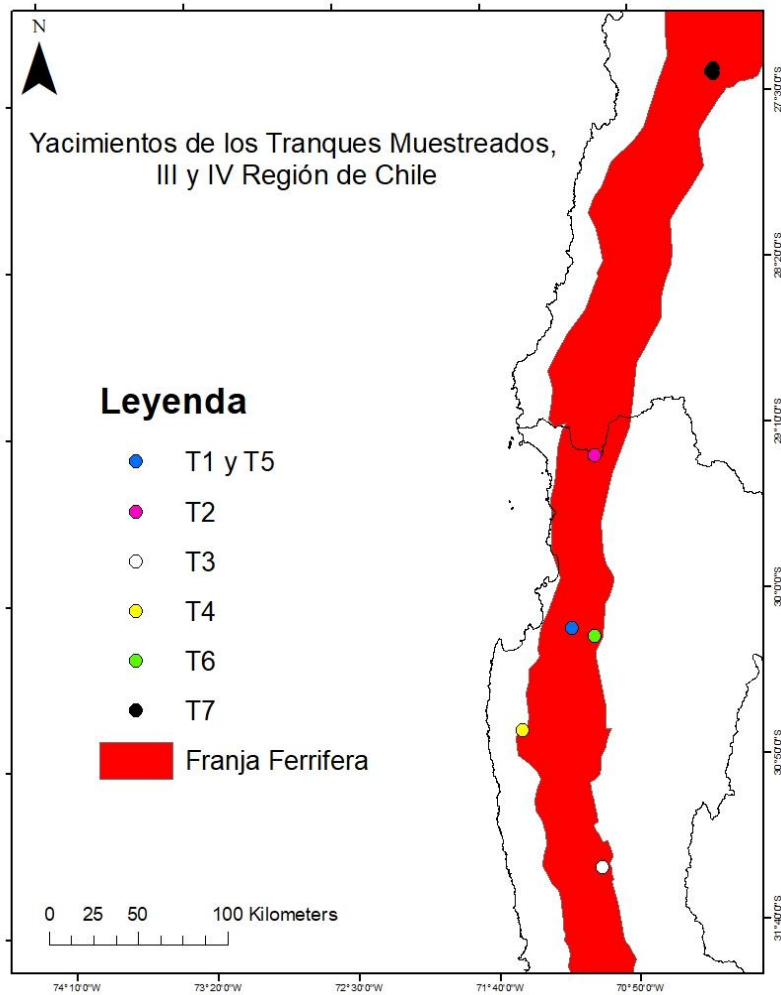


Figura 22: Mapa yacimientos pertenecientes a las muestras tomadas en terreno en la III Región de Atacama y IV Región de Coquimbo.

A partir de la Figura 22 es posible constatar que todos los yacimientos de los tranques de relaves muestreados pertenecen a la Franja Ferrífera, inclusive aquel tranque que en la Figura 34 se encontraba fuera de esta área, ya que como es posible apreciar, pertenece al mismo yacimiento que el tranque T1.

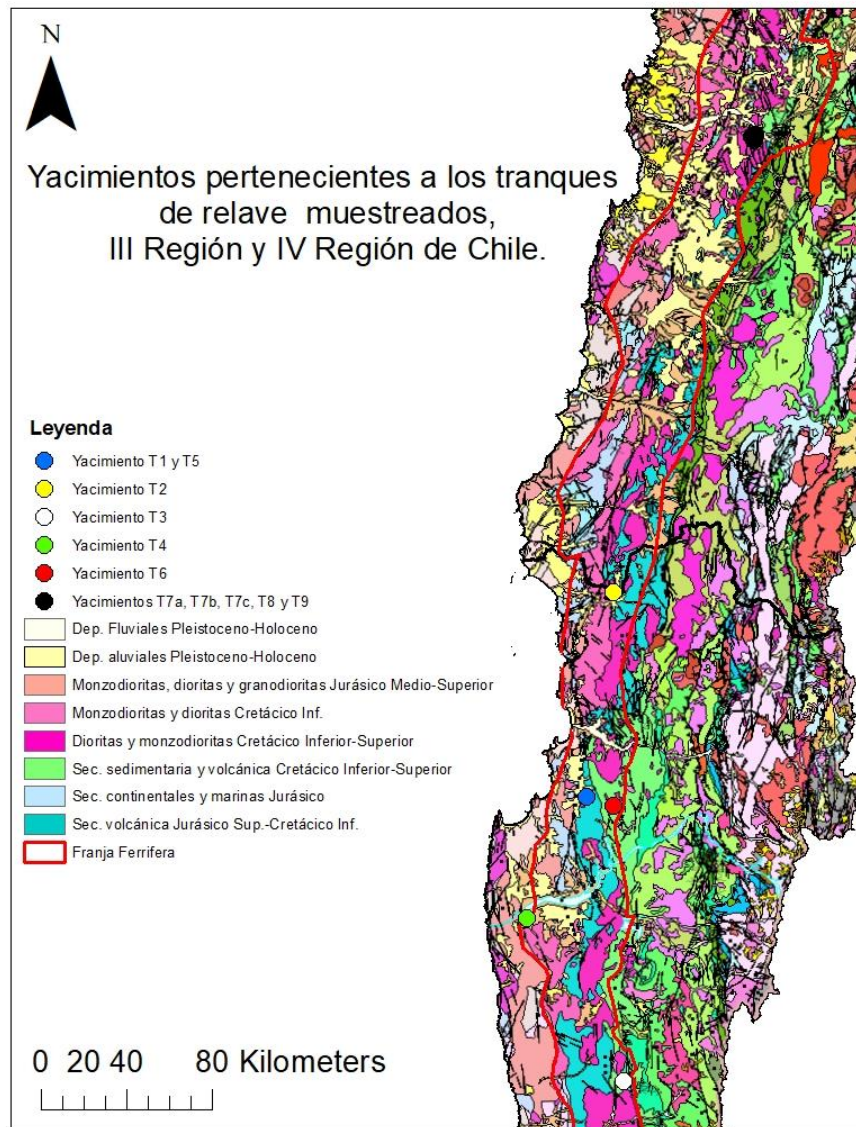


Figura 23: Mapa geológico de yacimientos de los relaves muestreados en la III y IV región de Chile (Mapa geológico tomado de SERNAGEOMIN, 2003).

A partir de la Figura 23 es posible notar que la mayoría de los yacimientos (yacimientos de los tranques T2, T4, T7, T8 y T9) se originan en dioritas y monzodioritas del Cretácico Inferior-Superior, seguido de dos yacimientos de los tranques T6 y T3 que se originan en secuencias volcánicas del Cretácico Inferior-Superior. Por último, el yacimiento del tranque de relave T1 y T5 corresponde a una secuencia volcánica del Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

4.2.1. Análisis Químico

En los tranques de relaves anteriormente nombrados se tomaron 17 muestras, las cuales fueron enviadas a análisis químico (Anexo 2). Estos análisis químicos fueron comparados con el fin de encontrar ciertas relaciones entre óxidos mayores y ciertos elementos traza. Por lo cual, usando como guía los resultados anteriores, se verifica si se cumplen las relaciones que comparten ambas regiones, como las específicas de cada una de estas, en comparación con las muestras de terreno.

4.2.1.1. Asociaciones Óxido Mayor-Óxido Mayor

A continuación, se presentan los gráficos de correlación de aquellos óxidos mayores que comparten las asociaciones verificadas anteriormente con los datos de SRNAGEOMIN, tanto para la 3° como 4° región de Chile.

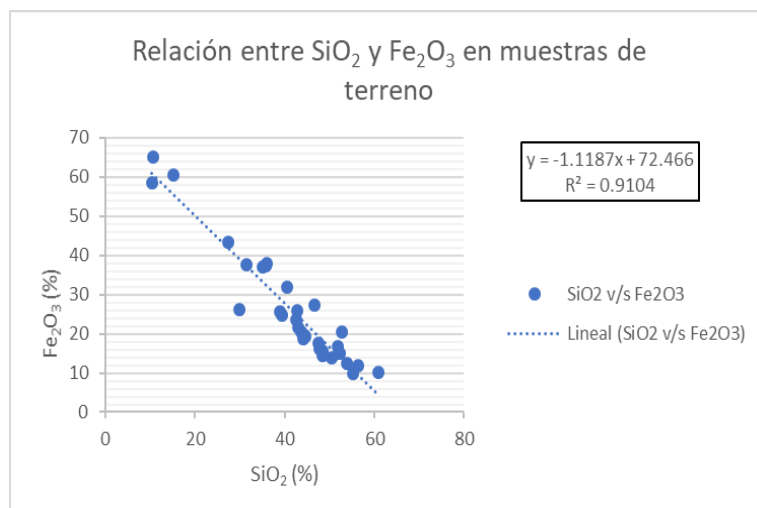


Gráfico 56: Relación entre SiO_2 y Fe_2O_3 en muestras de terreno.

A partir del Gráfico 56 es posible observar que existe una estrecha relación entre el óxido de hierro y la sílice, siendo esta relación una proporción inversa. Podemos ver que esta relación es excelente debido a su alto coeficiente de correlación de 0,9.

Si se observa las cantidades máximas de óxido de hierro encontradas en estas muestras (60% aproximadamente) es posible notar que la cantidad de sílice que hay en estos relaves es escasa, bordeando los 10-15%.

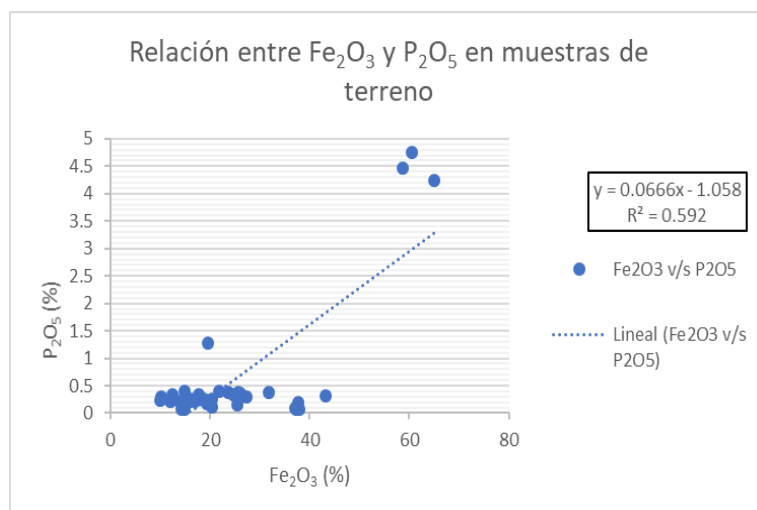


Gráfico 57: Relación entre Fe_2O_3 y P_2O_5 en muestras de terreno.

Mediante el gráfico 57 es posible observar que existe una relación directa entre Fe_2O_3 y P_2O_5 , evidenciado en su coeficiente de correlación cercano a 0,6. Se alcanzan los mayores % de P_2O_5 cuando Fe_2O_3 supera el 55%.

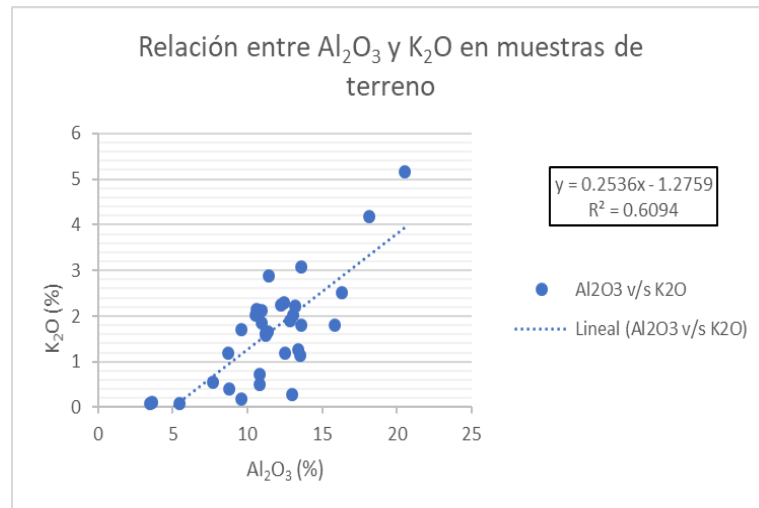


Gráfico 58: Relación entre Al_2O_3 y K_2O en muestras de terreno.

Mediante el gráfico 58 es posible afirmar que existe una relación directa entre la alúmina y K_2O , evidenciado en su coeficiente de correlación mayor a 0,6.

4.2.1.2. Asociaciones Óxido Mayor-Elemento

Una vez verificar las relaciones existentes entre los óxidos mayores, se procede con las asociaciones entre los óxidos mayores y elementos que comparten ambas regiones, como aquellas específicas de cada una.

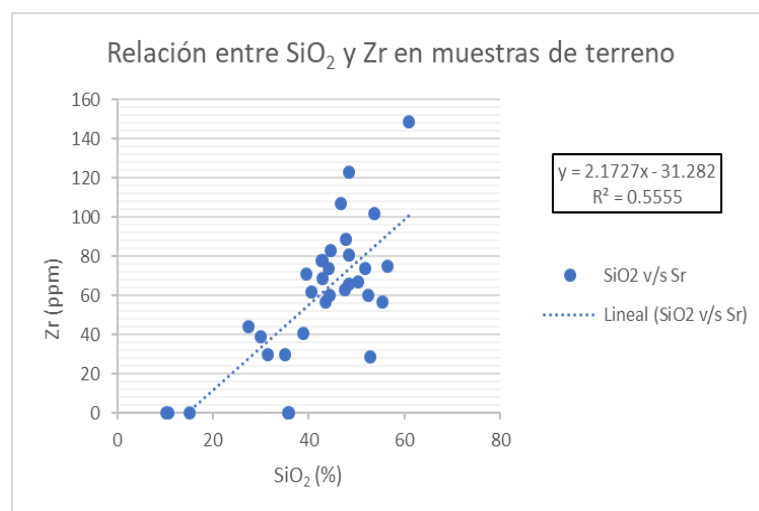


Gráfico 59: Relación entre SiO_2 y Zr en muestras de terreno.

A partir del gráfico 59 es posible observar que se verifica la asociación entre SiO_2 y Zr en las muestras de terreno, evidenciado en el coeficiente de correlación mayor a 0,5.

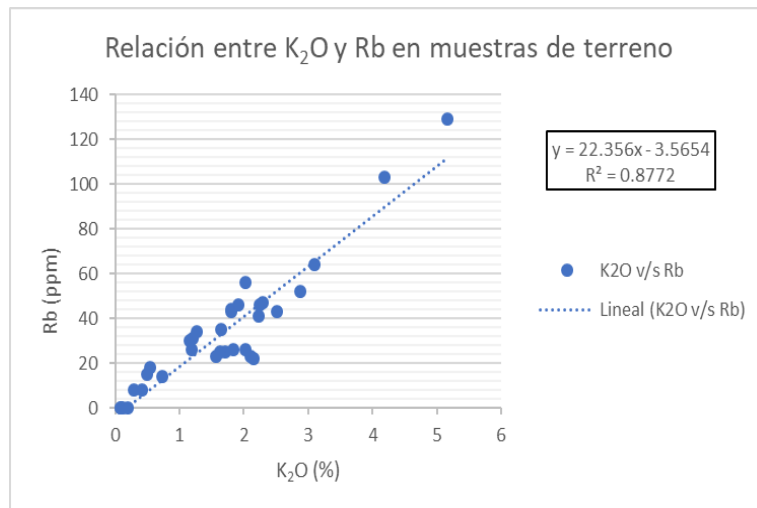


Gráfico 60: Relación entre K_2O y Rb en muestras de terreno.

Mediante el gráfico 60 es posible apreciar que se verifica la asociación entre K_2O y Rb en las muestras de terreno, evidenciado en el coeficiente de correlación mayor a 0,8.

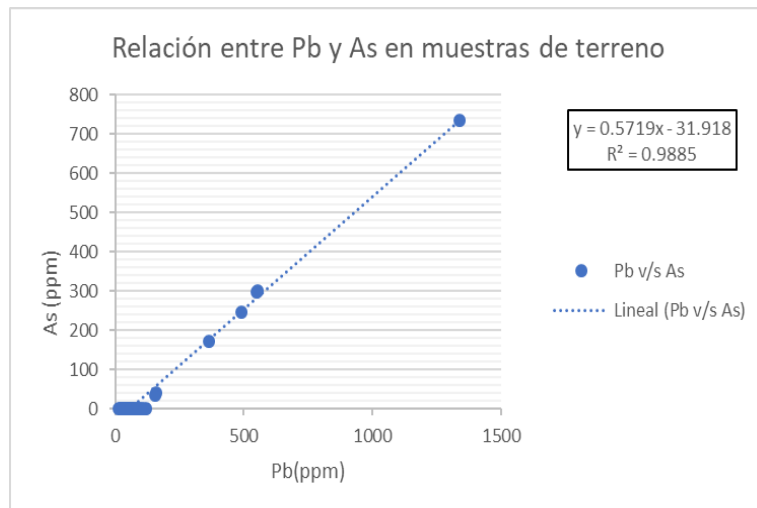


Gráfico 61: Relación entre Pb y As en muestras de terreno.

Al observar el gráfico 61 es posible afirmar que se verifica la asociación entre Pb y As en las muestras de terreno, evidenciado en el coeficiente de correlación mayor 0,9.

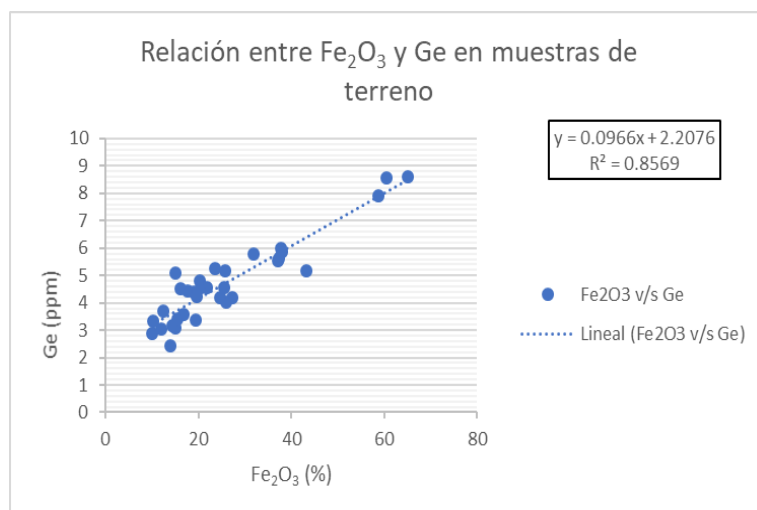


Gráfico 62: Relación entre Fe_2O_3 y Ge en muestras de terreno.

A partir del Gráfico 62 es posible observar la estrecha relación que existe entre Fe_2O_3 y el elemento Ge, ya que cuando Fe_2O_3 supera el 60%, el elemento Ge alcanza valores de hasta 8,5 ppm. Además, al observar el coeficiente de relación es posible observar que este tiene un valor de 0,8.

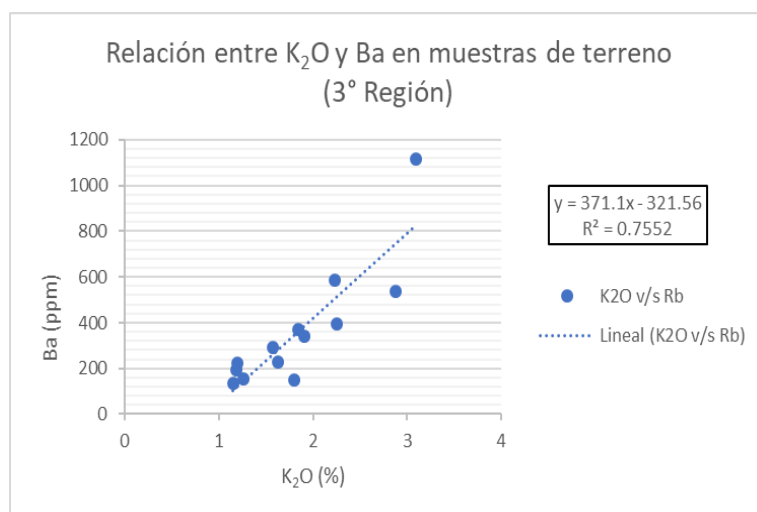


Gráfico 63: Relación entre K_2O y Ba en muestras de terreno de la 3° Región.

Mediante el gráfico 63 es posible observar que se verifica la relación directa entre K_2O y Ba en muestras de terreno que pertenecen a la 3° Región. Esto se ve respaldado en el coeficiente de correlación entre este óxido y elemento, el cual supera el valor de 0,7

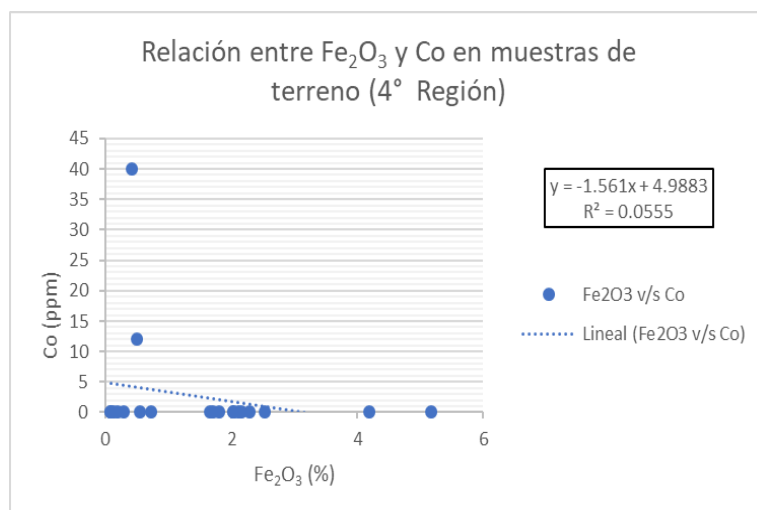


Gráfico 64: Relación entre Fe_2O_3 y Co en muestras de terreno de la 4° Región.

A partir del Gráfico 64 es posible observar que las muestras de terreno no exhiben una relación entre el óxido de hierro y el elemento cobalto. Esto se ve reflejado en su coeficiente de correlación, el cual es menor a 0,1. Además, la mayoría de las muestras poseen cantidades casi indetectables (<5 ppm).

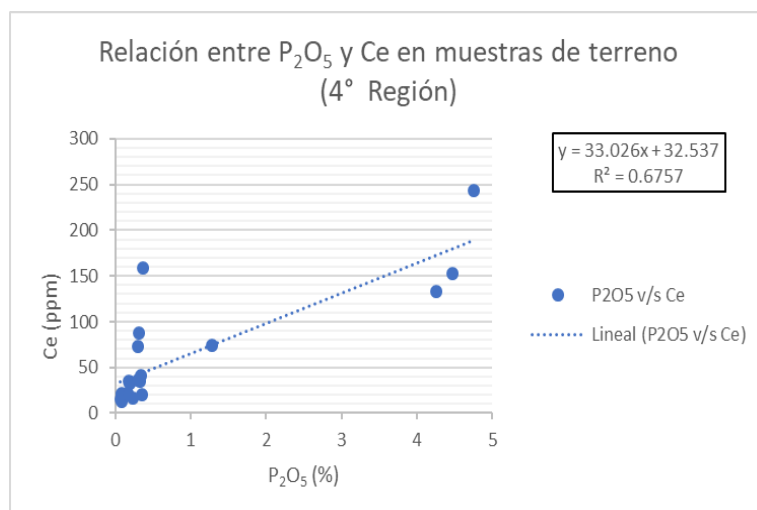


Gráfico 65: Relación entre P_2O_5 y Ce en muestras de terreno de la 4° Región.

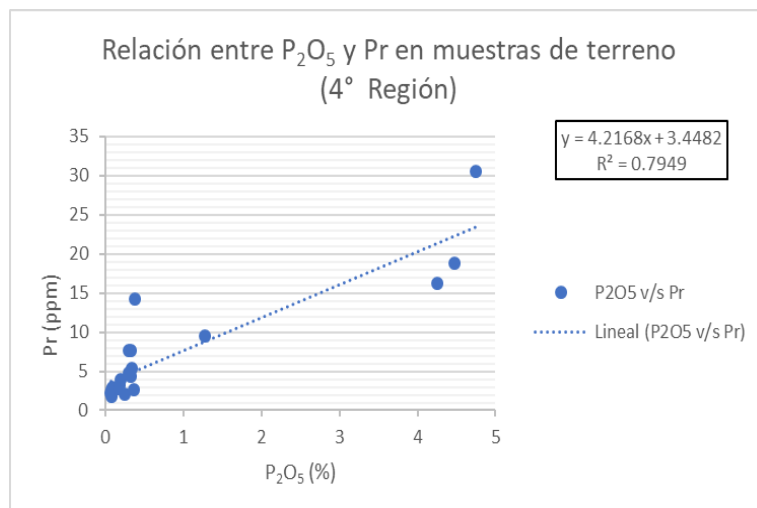


Gráfico 66: Relación entre P₂O₅ y Pr en muestras de terreno de la 4° Región.

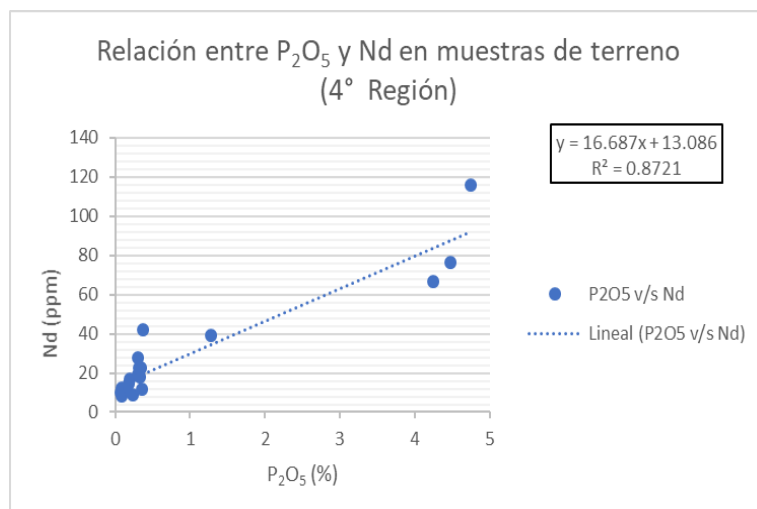


Gráfico 67: Relación entre P₂O₅ y Nd en muestras de terreno de la 4° Región.

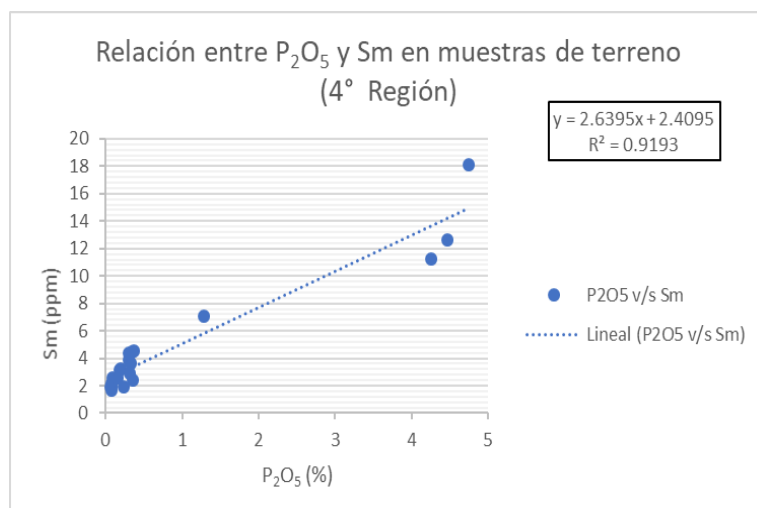


Gráfico 68: Relación entre P₂O₅ y Sm en muestras de terreno de la 4° Región.

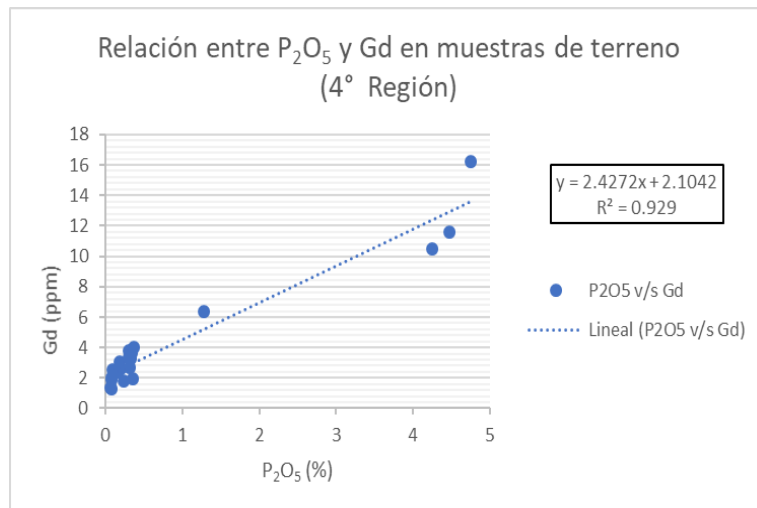


Gráfico 69: Relación entre P_2O_5 y Gd en muestras de terreno de la 4° Región.

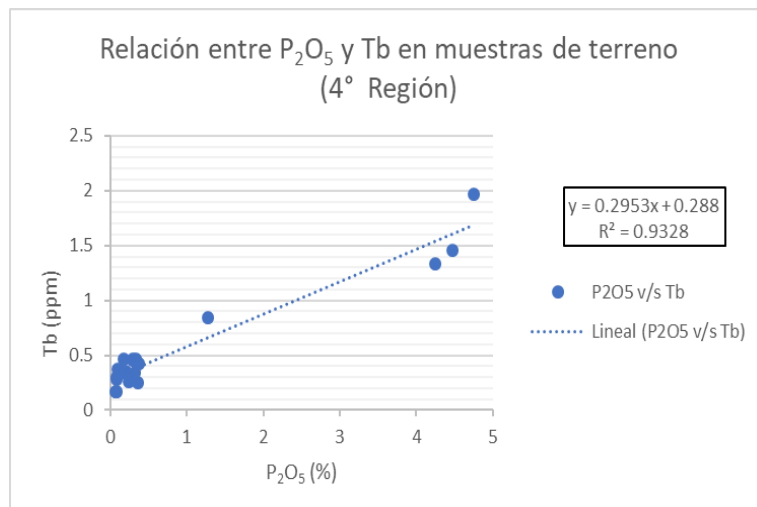


Gráfico 70: Relación entre P_2O_5 y Tb en muestras de terreno de la 4° Región.

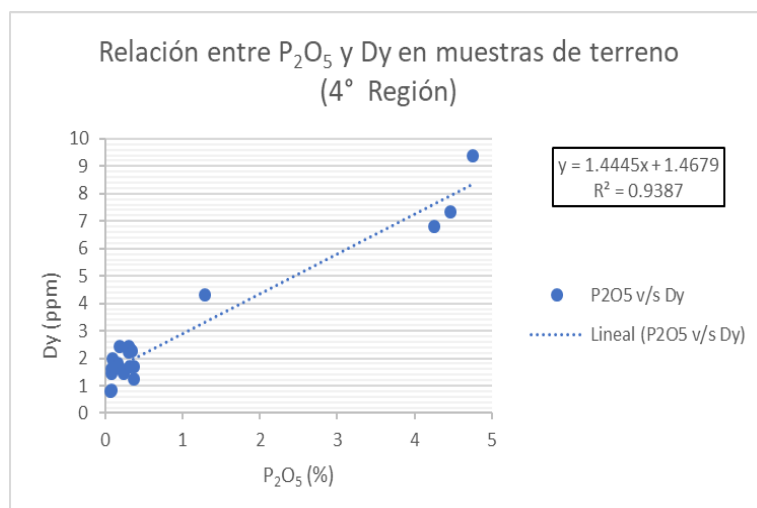


Gráfico 71: Relación entre P_2O_5 y Dy en muestras de terreno de la 4° Región.

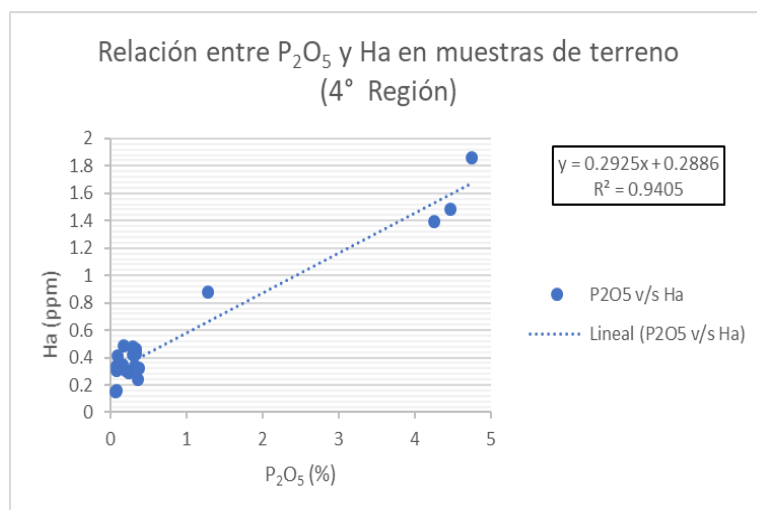


Gráfico 72: Relación entre P_2O_5 y Ha en muestras de terreno de la 4° Región.

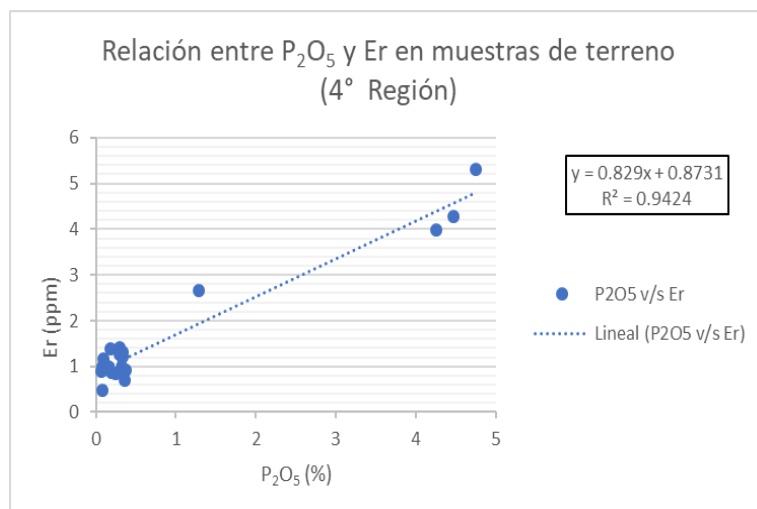


Gráfico 73: Relación entre P_2O_5 y Er en muestras de terreno de la 4° Región.

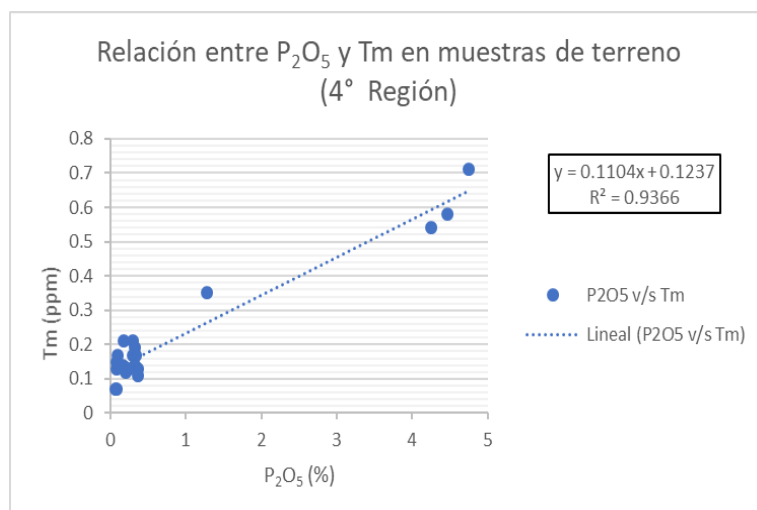


Gráfico 74: Relación entre P_2O_5 y Tm en muestras de terreno de la 4° Región.

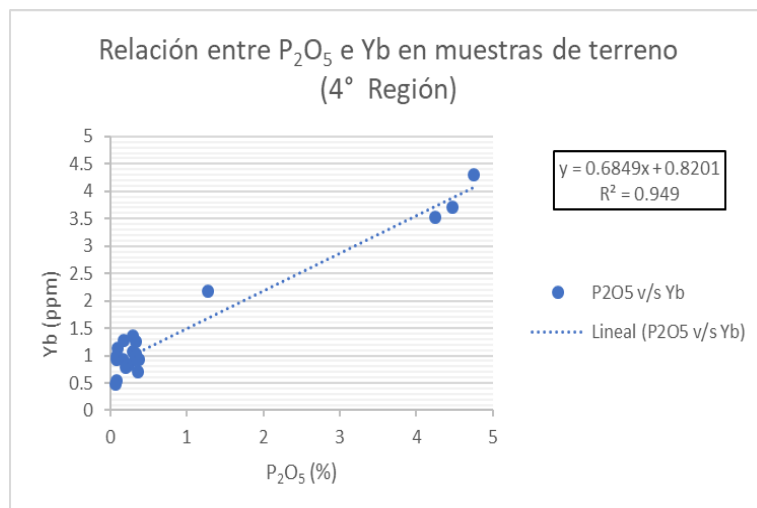


Gráfico 75: Relación entre P_2O_5 e Yb en muestras de terreno de la 4° Región.

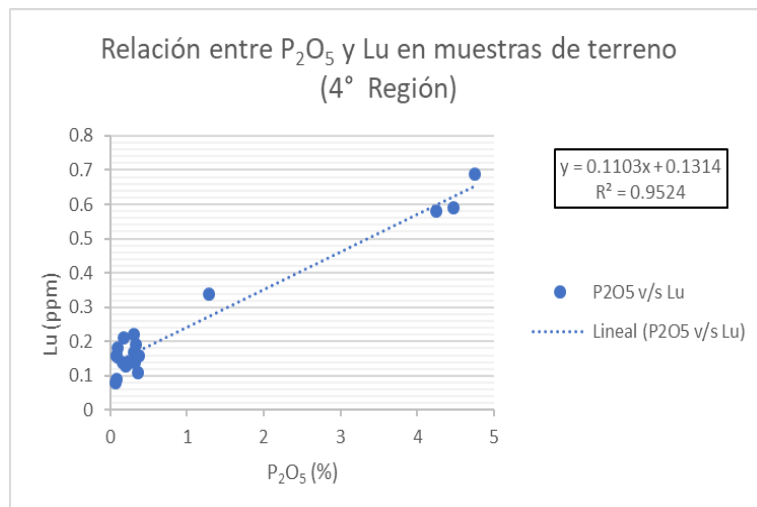


Gráfico 76: Relación entre P_2O_5 y Lu en muestras de terreno de la 4° Región.

A partir del gráfico 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75 y 76, es posible afirmar que se verifica la relación existente entre las tierras raras (a excepción de La) y el óxido P_2O_5 en las muestras de terreno pertenecientes a la 4° Región.

4.2.2. Análisis Mineralógico

A continuación, se hace un análisis de los resultados químicos (Anexo 2) en conjunto con los resultados del análisis QEMSCAN (Anexo 3).

Para facilitar la búsqueda de asociaciones entre las especies mineralógicas y los elementos traza, se hace uso del software IOGAS, herramienta estadística que fue explicada anteriormente. Cabe destacar que se sigue utilizando como criterio para datos confiables aquellos coeficientes mayores a 0,4 y menores a -0,4.

Tabla 11: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre especies mineralógicas y elementos en depósitos de relave correspondientes a las muestras tomadas en terreno. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.

Scaled Coordinates	PC1	PC2
Cu(ppm)	0.336	-0.631
V(ppm)	-0.956	0.140
Cr(ppm)	-0.899	0.270
Rb(ppm)	0.888	0.128
Sr(ppm)	0.316	-0.060
Zr(ppm)	0.870	0.196
Pb	0.551	-0.362
Ga(ppm)	0.040	-0.420
Ge(ppm)	-0.919	-0.089
Calcopirita	-0.403	0.099
Calcosina/Covelina	0.124	-0.802
Crisocola	0.243	-0.548
Pirita	0.426	0.107
Pirrotina	-0.345	0.561
Cuarzo	0.750	0.421
Plagioclasa	0.323	-0.649
Albita	0.612	0.610
Feldespato K	0.687	0.488
Biotita	0.598	-0.352
Sericita/Muscovita	0.705	0.142
Piroxeno	-0.444	-0.669
Anfibol	-0.136	-0.725
Clorita	0.241	-0.581
Wollastonita	0.569	0.235
Turmalina	0.323	-0.417
Epidota	-0.199	0.396
Calcita	0.590	-0.002
Anhidrita/Yeso	0.233	0.369
Alunita	0.363	-0.326
Arcillas	0.417	-0.606
Magnetita	-0,790	0,147
Hematita	-0,947	0,157
Limonita	-0,590	-0,417
Goethita	-0,910	0.150
Jarosita	0.435	0.517
Esfeno	-0.203	0.090
Monacita	0.432	-0.382
Fosfato de Al	0.205	0.465
Apatito	-0.953	0.089
Rutilo/Anatasa	0.487	0.724
Ilmenita	-0.525	-0.315
Zircón	0.593	-0.264

PC1: En este conjunto, con una varianza total de 31,12%, se agrupan con un aporte negativo los elementos V, Cr y Ge y las especies mineralógicas Calcopirita, Piroxeno, Óxidos/Hidróxidos de

Fe, Apatito e Ilmenita. Por otra parte, los elementos Rb, Zr y Pb y los minerales Pirita, Cuarzo, Albita, Feldespato K, Biotita, Sericita/Muscovita, Wollastonita, Calcita, Arcillas, Jarosita, Monacita, Rutilo/Anatasa y Zircón se agrupan con un aporte positivo.

CP2: En este conjunto, con una varianza de 18,35%, se agrupan con un aporte negativo los elementos Cu y Ga, y las especies mineralógicas Calcosina/Covelina, Crisocola, Plagioclasa, Piroxeno, Anfíbol, Clorita, Turmalina y Arcillas

A continuación, se presentan aquellas asociaciones Mineralogía-Elemento Traza que fueron verificadas mediante gráficos de correlación.

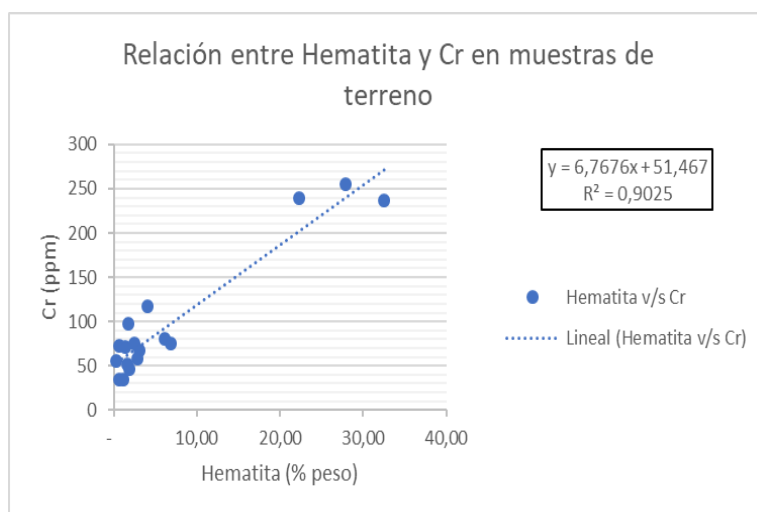


Gráfico 77: Relación entre Hematita y Cr en muestras de terreno.

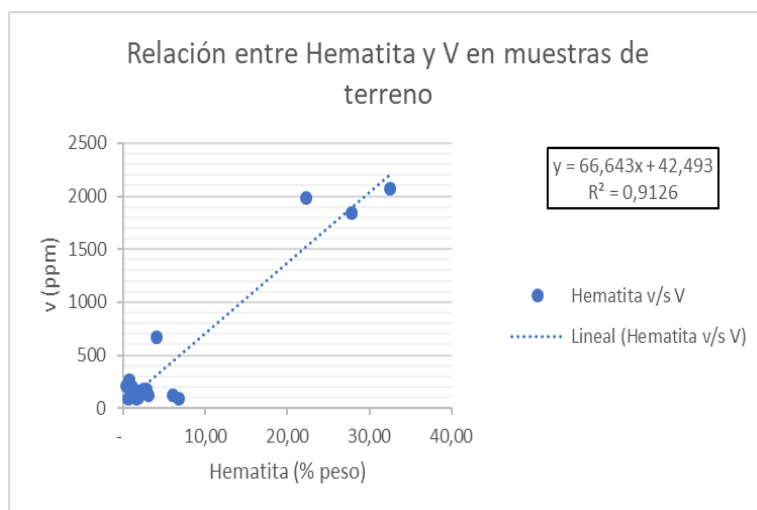


Gráfico 78: Relación entre Hematita y V en muestras de terreno.

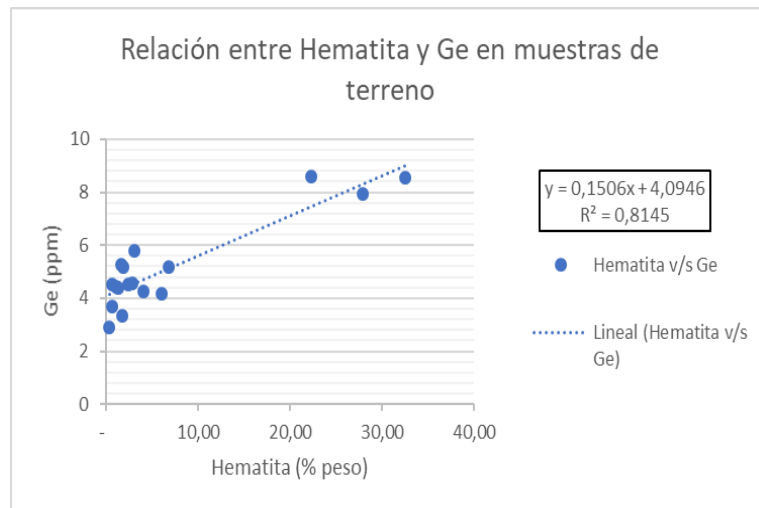


Gráfico 79: Relación entre Hematita y Ge en muestras de terreno.

A partir de los gráficos 77, 78 y 79 es posible afirmar que los elementos Cr, V y Ge presentan una relación directa con la hematita, evidenciado en los coeficientes de correlación que varían desde 0,8 a 0,9. Además, estos tres elementos presentan relación con el hidróxido de Fe Goethita, evidenciado en su coeficiente de correlación que varía entre 0,5 y 0,7.

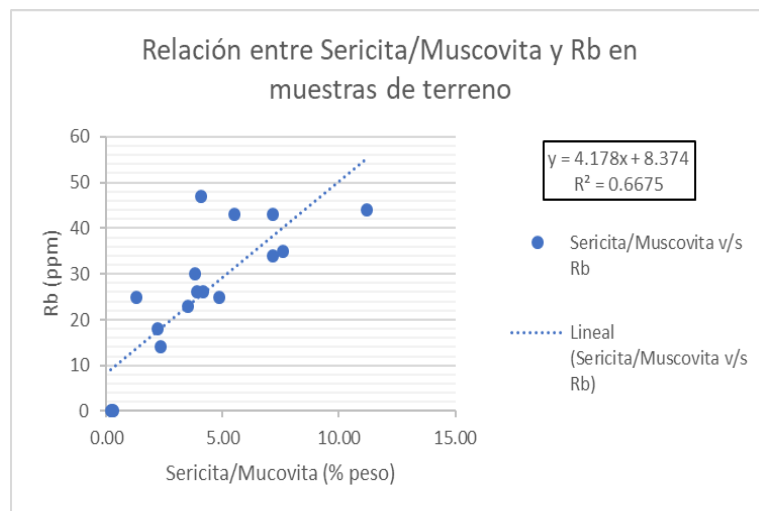


Gráfico 80: Relación entre Sericita/Muscovita y Rb en muestras de terreno.

Mediante el gráfico 80 es posible observar que existe una relación directa entre el mineral Sericita/Muscovita y el elemento Rb, lo cual está evidenciado en el coeficiente de correlación mayor a 0,6.

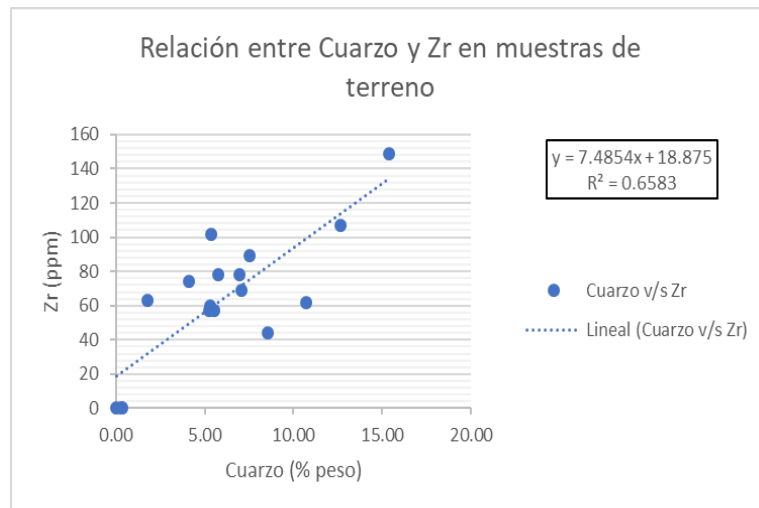


Gráfico 81: Relación entre Cuarzo y Zr en muestras de terreno.

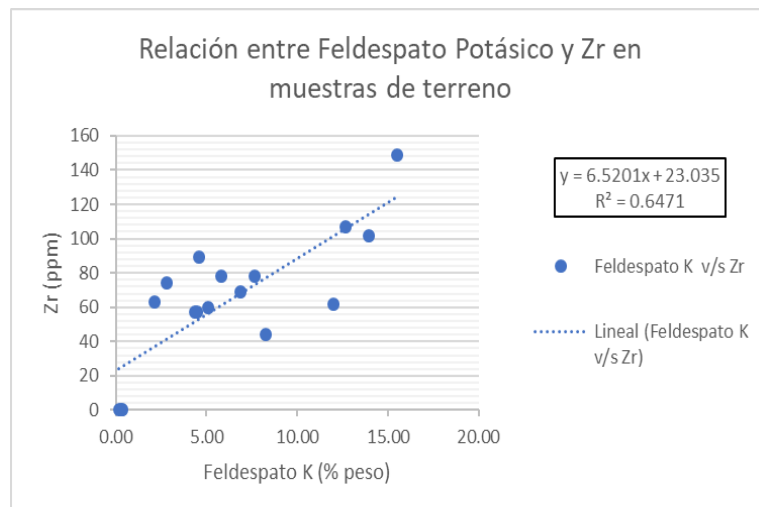


Gráfico 82: Relación entre Feldespato Potásico y Zr en muestras de terreno.

Mediante el gráfico 81 y 82 es posible observar que existe una relación directa entre el mineral Cuarzo y el elemento Zr, y Feldespato Potásico y Zr, lo cual está evidenciado en el coeficiente de correlación mayor a 0,6.

Debido a que no todas las relaciones se cumplen a nivel de ambas regiones (3° y 4°), a continuación, se hace un análisis en cada región.

Tabla 12: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre especies mineralógicas y elementos en depósitos de relave correspondientes a las muestras tomadas en terreno de la 3° Región. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.

Scaled Coordinates	PC1
Sr(ppm)	-0.968
Ba(ppm)	0.888
Ga(ppm)	0.907
Ge(ppm)	0.828
La(ppm)	0.712

Ce(ppm)	0.700
Pr(ppm)	0.623
Nd(ppm)	0.501
Sm(ppm)	-0.006
Eu(ppm)	-0.623
Gd(ppm)	-0.047
Tb(ppm)	-0.645
Dy(ppm)	-0.877
Ha(ppm)	-0.891
Er(ppm)	-0.902
Tm(ppm)	-0.884
Yb(ppm)	-0.842
Lu(ppm)	0.661
Calcopirita	0.461
Calcosina/Covelina	-0.232
Crisocola	-0.893
Pirita	0.892
Pirrotina	0.795
Cuarzo	0.680
Plagioclasa	-0.750
Albita	-0.687
Feldespatos K	0.868
Biotita	0.816
Sericita/Muscovita	-0.675
Piroxeno	0.370
Anfibol	-0.722
Clorita	0.620
Wollastonita	0.056
Turmalina	-0.605
Epidota	-0.797
Calcita	0.204
Anhidrita/Yeso	0.451
Alunita	-0.454
Arcillas	-0.752
Óxidos/Hidróxidos de Fe	0.391
Jarosita	-0.332
Esfeno	-0.950
Monacita	0.856
Fosfato de Al	0.142
Apatito	0.814
Rutilo/Anatasa	0.722
Ilmenita	-0.863
Zircón	0.762

CP1: En este conjunto, con una varianza total de 48,84%, se agrupan con un aporte negativo los elementos Sr, Eu, Tb, Dy, Ha, Er, Tm, Yb y las especies mineralógicas Crisocola, Plagioclasa, Albita, Sericita/Muscovita, Anfíbol, Turmalina, Epidota, Arcillas, Esfeno e Ilmenita. Por otra parte, los elementos Ba, Ga, Ge, La, Ce, Pr, Nd, Lu y los minerales Calcopirita, Pirita, Pirrotina, Cuarzo, Feldespato K, Biotita, Clorita, Yeso, Alunita, Monacita, Apatito y Rutilo/Anatasa se agrupan con un aporte positivo.

A continuación, se presentan aquellas asociaciones Mineralogía-Elemento Traza que fueron verificadas mediante gráficos de correlación.

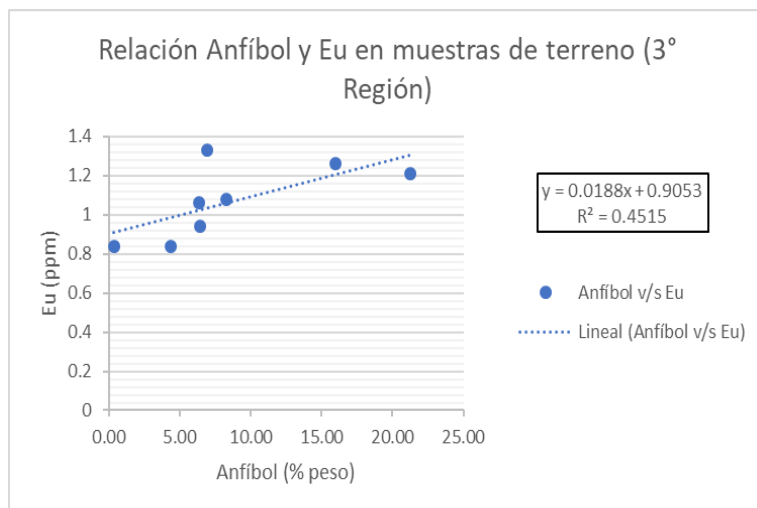


Gráfico 83: Relación entre Anfíbol y Eu en muestras de terreno de la 3ª Región.

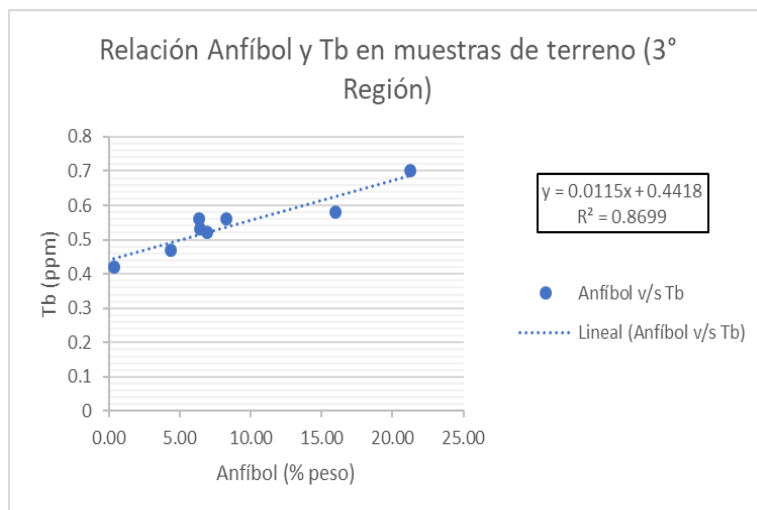


Gráfico 84: Relación entre Anfíbol y Tb en muestras de terreno de la 3ª Región.

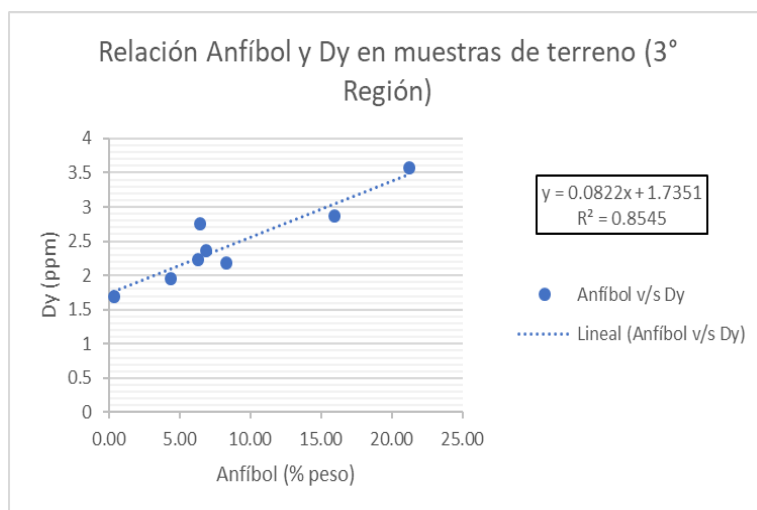


Gráfico 85: Relación entre Anfíbol y Dy en muestras de terreno de la 3° Región.

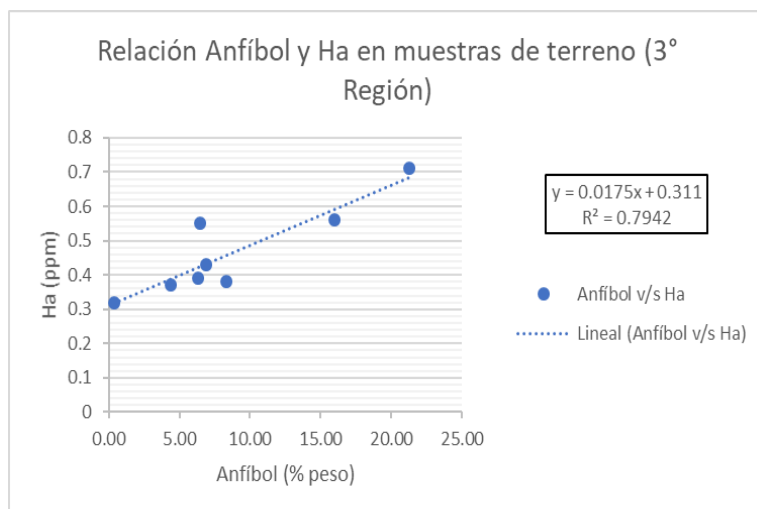


Gráfico 86: Relación entre Anfíbol y Ha en muestras de terreno de la 3° Región.

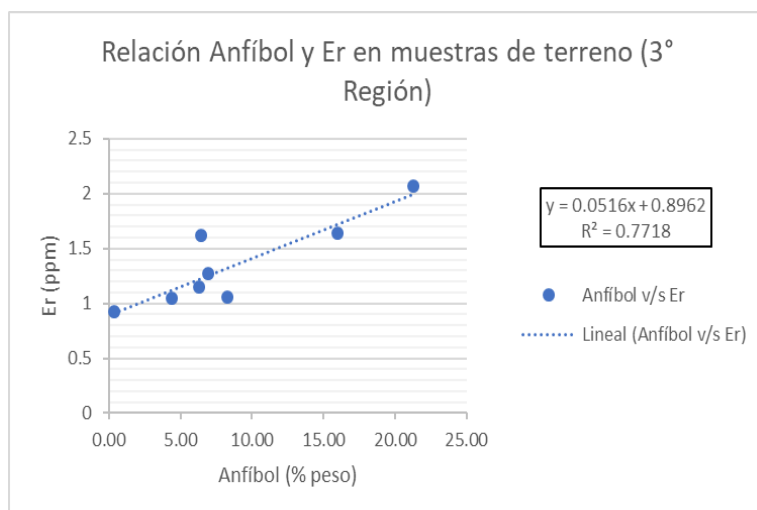


Gráfico 87: Relación entre Anfíbol y Er en muestras de terreno de la 3° Región.

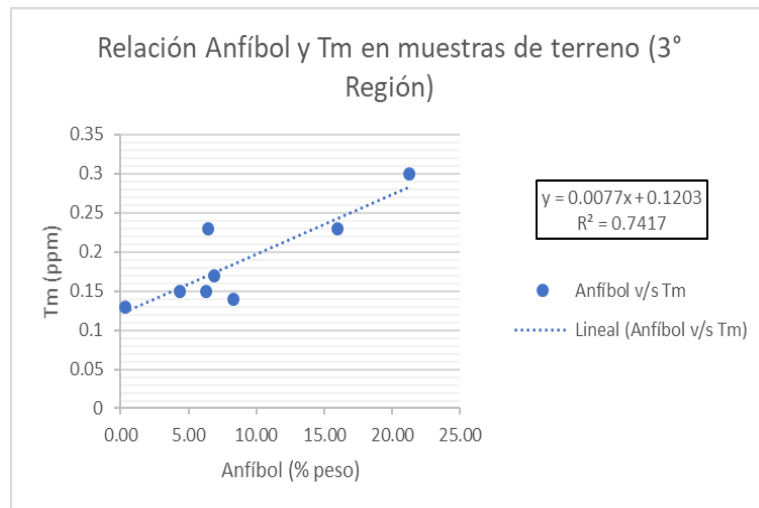


Gráfico 88: Relación entre Anfíbol y Tm en muestras de terreno de la 3° Región.

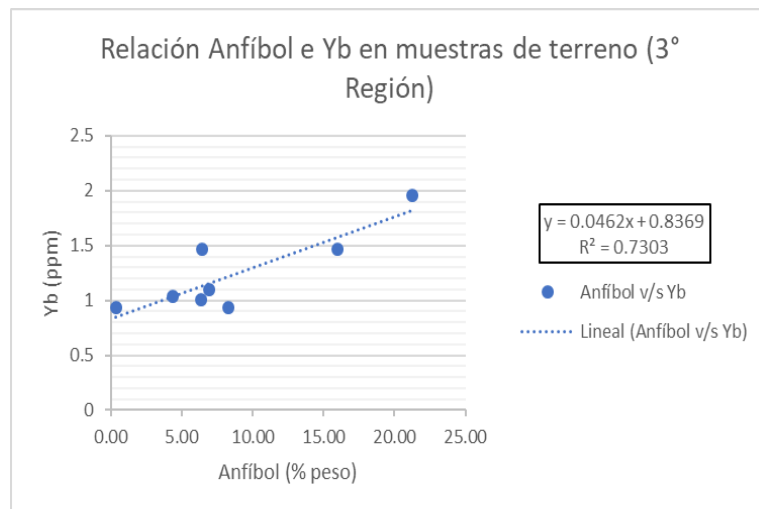


Gráfico 89: Relación entre Anfíbol e Yb en muestras de terreno de la 3° Región.

A partir de los gráficos 83, 84, 85, 86, 87, 88 y 89 es posible observar que las tierras raras Eu, Tb, Dy, Ha, Er, Tm e Yb presentan una relación directa con el mineral Anfíbol, evidenciado en los coeficientes de correlación que varían entre 0,7 y 0,8, a excepción de Eu que presenta un coeficiente de 0,4.

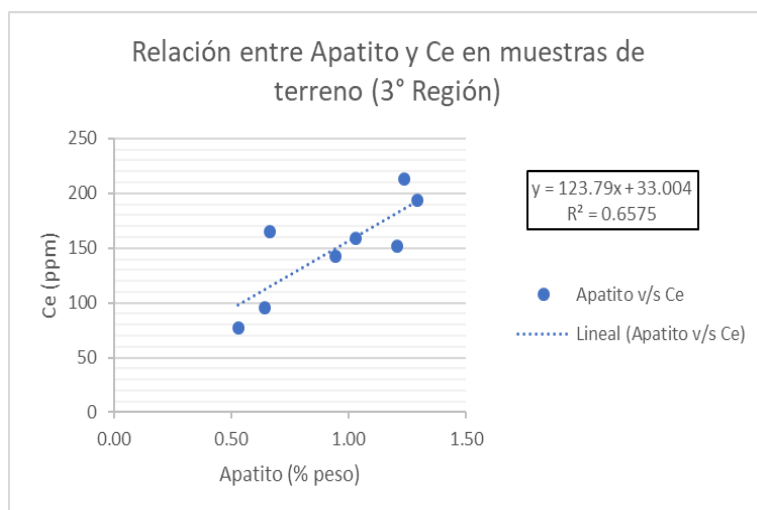


Gráfico 90: Relación entre Apatito y Ce en muestras de terreno de la 3° Región.

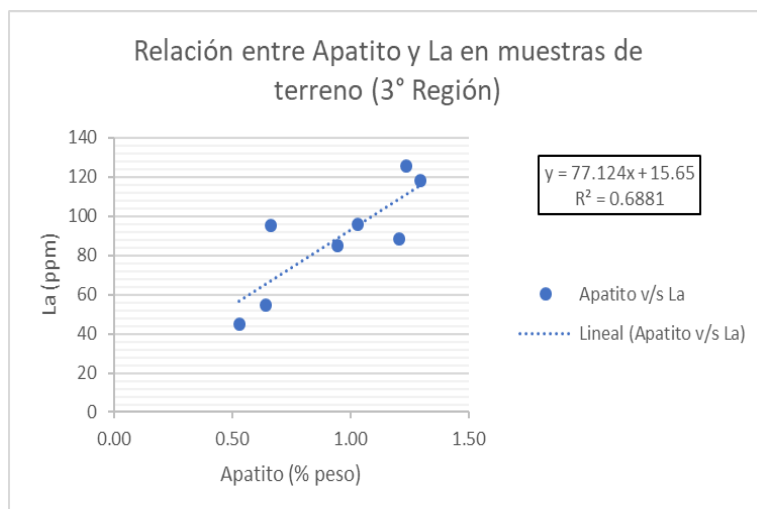


Gráfico 91: Relación entre Apatito y La en muestras de terreno de la 3° Región.

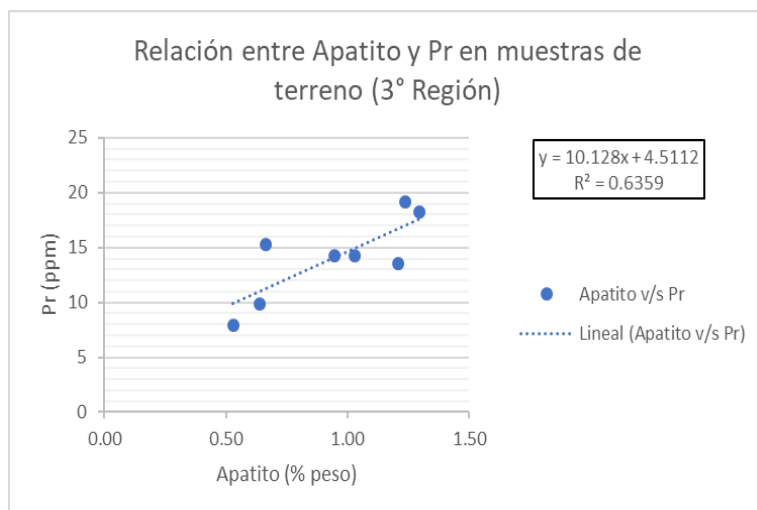


Gráfico 92: Relación entre Apatito y Pr en muestras de terreno de la 3° Región.

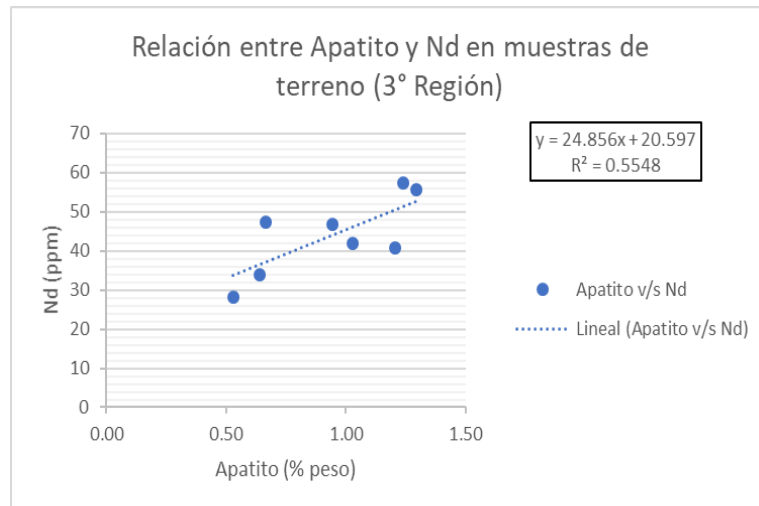


Gráfico 93: Relación entre Apatito y Nd en muestras de terreno de la 3° Región.

Mediante los gráficos 90, 91, 92 y 93 es posible visualizar que las tierras raras Ce, La, Pr y Nd poseen una relación directa con el Apatito, evidenciado en sus coeficientes de correlación que varían entre 0,5 y 0,6. Además es importante destacar que La presenta un coeficiente de correlación de 0,5 con la Monacita, y 0,4 en el caso del Ce. Por lo cual, este mineral si bien se encuentra en bajas concentraciones, no puede ser descartado.

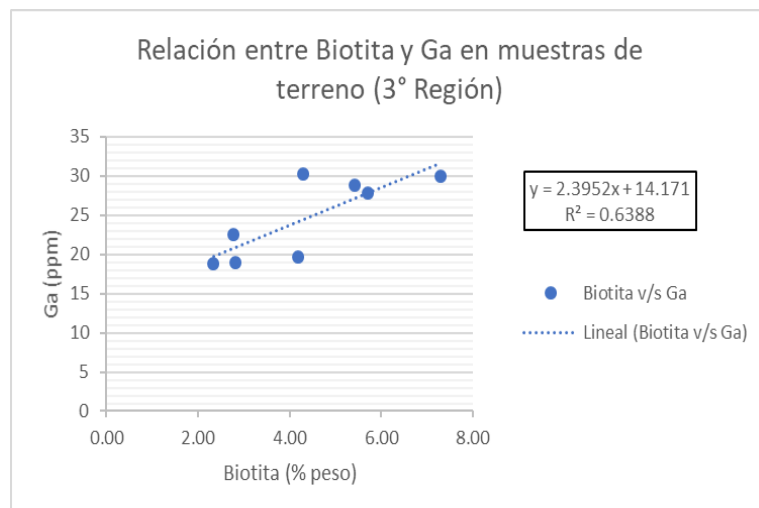


Gráfico 94: Relación entre Biotita y Ga en muestras de terreno de la 3° Región.

Mediante el gráfico 94 es posible observar que el galio presenta una relación directa con la Biotita, evidenciado en el coeficiente de correlación de valor 0,6. Además este elemento también presenta un buen coeficiente de correlación con el mineral Feldespato Potásico (0,4), por lo que no también se debe tomar en consideración.

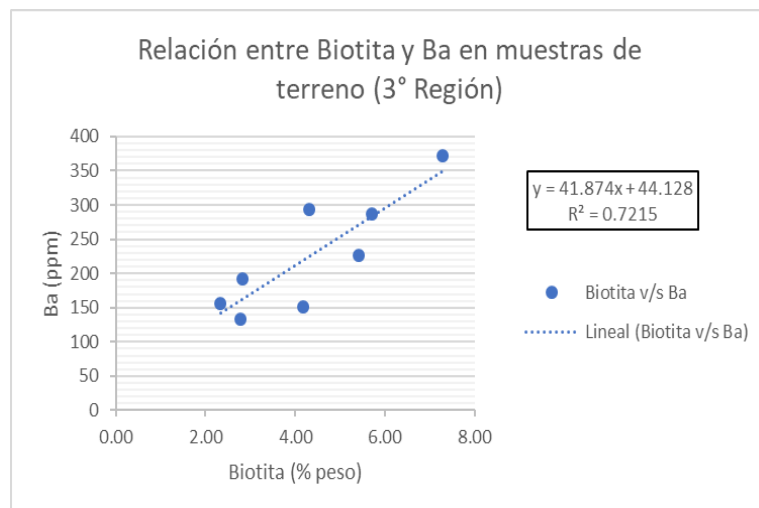


Gráfico 95: Relación entre Biotita y Ba en muestras de terreno de la 3° Región.

Mediante el gráfico 95 es posible observar que el bario presenta una relación directa con la Biotita, evidenciado en el coeficiente de correlación de valor 0,7. Además este elemento también presenta un buen coeficiente de correlación con el mineral Feldespato Potásico (0,5), por lo que no también se debe tomar en consideración.

Tabla 13: Componentes principales utilizados en la discriminación de asociaciones entre especies mineralógicas y elementos en depósitos de relave correspondientes a las muestras tomadas en terreno de la 4° Región. En morado se destacan los valores mayores a 0,4 y en naranja los menores a -0,4.

Scaled Coordinates	PC1	PC2
Sr(ppm)	0.513	-0.265
Ba(ppm)	0.519	-0.076
Ga(ppm)	-0.342	-0.014
Ge(ppm)	-0.970	-0.082
La(ppm)	-0.033	0.740
Ce(ppm)	-0.956	-0.076
Pr(ppm)	-0.967	0.010
Nd(ppm)	-0.975	0.050
Sm(ppm)	-0.972	0.089
Eu(ppm)	-0.749	-0.466
Gd(ppm)	-0.977	0.096
Tb(ppm)	-0.976	0.106
Dy(ppm)	-0.976	0.117
Ha(ppm)	-0.977	0.117
Er(ppm)	-0.977	0.109
Tm(ppm)	-0.974	0.125
Yb(ppm)	-0.974	0.119
Lu(ppm)	-0.971	0.138
Calcopirita	-0.631	-0.127
Calcosina/Covelina	-0.500	-0.152

Crisocola	0.325	-0.368
Pirita	0.767	-0.094
Pirrotina	0.147	0.409
Cuarzo	0.751	-0.430
Plagioclasa	0.115	-0.589
Albita	0.927	0.217
Feldespatos K	0.772	-0.398
Biotita	0.718	0.687
Sericita/Muscovita	0.785	0.481
Piroxeno	-0.954	0.169
Anfíbol	-0.511	-0.361
Clorita	-0.023	-0.213
Wollastonita	0.580	-0.361
Turmalina	0.116	0.205
Epidota	-0.114	-0.805
Calcita	0.651	-0.401
Anhidrita/Yeso	0.452	0.835
Alunita	0.817	0.387
Arcillas	0.640	0.379
Magnetita	-0.757	0.223
Hematita	-0.970	0.039
Limonita	-0.723	-0.165
Goethita	-0.899	-0.179
Jarosita	0.584	-0.140
Esfeno	-0.133	-0.557
Monacita	0.567	-0.348
Fosfato de Al	0.260	-0.325
Apatito	-0.975	0.170
Rutilo/Anatasa	0.745	0.262
Ilmenita	-0.842	-0.140
Zircón	0.593	-0.630

CP1: En este conjunto, con una varianza total de 51,27%, se agrupan con un aporte negativo los elementos Ge, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ha, Er, T, Yb, y las especies mineralógicas Calcopirita, Calcosina/Covelina, Piroxeno, Anfíbol, Óxidos e Hidróxidos de Fe, Apatito e Ilmenita. Por otra parte, los elementos Sr y Ba, y los minerales Pirita, Cuarzo, Albita, Feldespato K, Biotita, Sericita/Muscovita, Wollastonita, Calcita, Yeso, Alunita, Arcillas, Jarosita, Monacita y Rutilo/Anatasa se agrupan con un aporte positivo.

CP2: En este conjunto, con una varianza total de 13,67%, se agrupan con un aporte positivo el elemento La y las especies minerales Biotita, Sericita/Muscovita,

A continuación, se presentan aquellas asociaciones Mineralogía-Elemento Traza que fueron verificadas mediante gráficos de correlación.

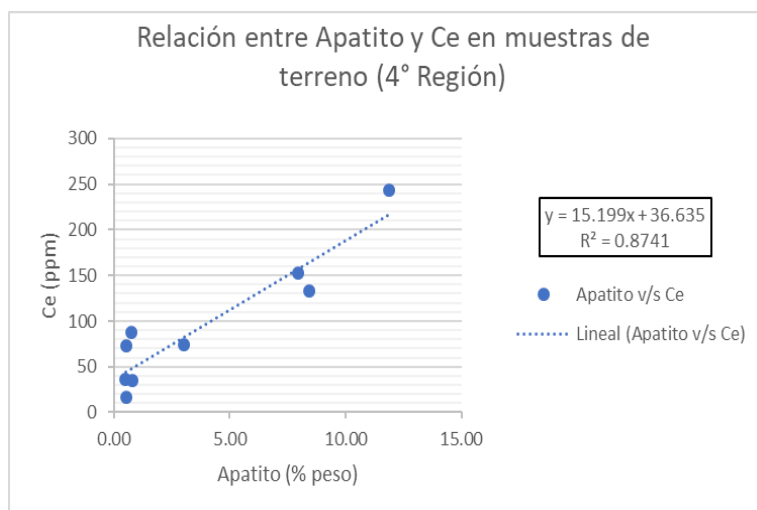


Gráfico 96: Relación entre Apatito y Ce en muestras de terreno de la 4° Región.

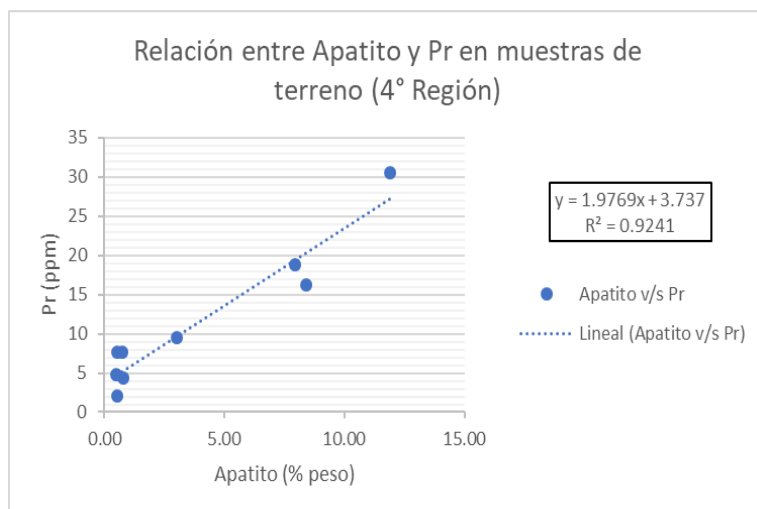


Gráfico 97: Relación entre Apatito y Pr en muestras de terreno de la 4° Región.

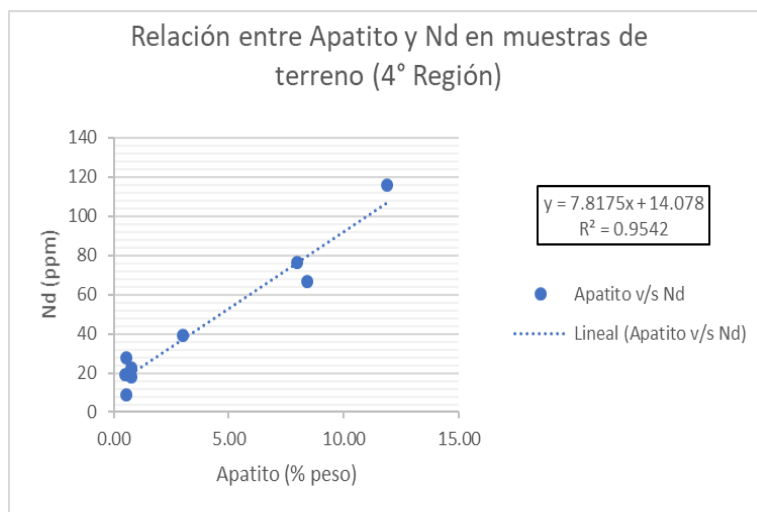


Gráfico 98: Relación entre Apatito y Nd en muestras de terreno de la 4° Región.

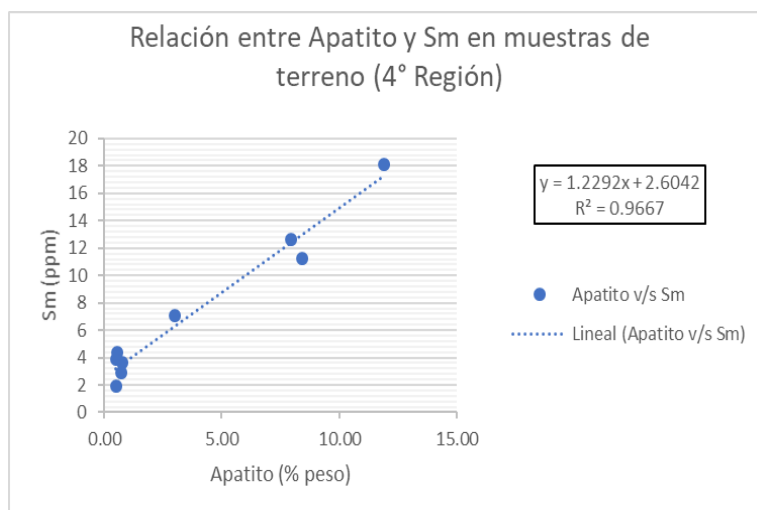


Gráfico 99: Relación entre Apatito y Sm en muestras de terreno de la 4° Región.

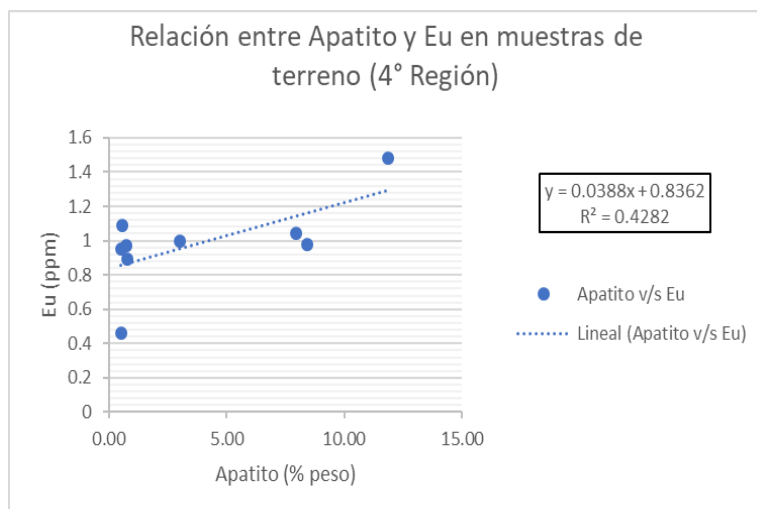


Gráfico 100: Relación entre Apatito y Eu en muestras de terreno de la 4° Región.

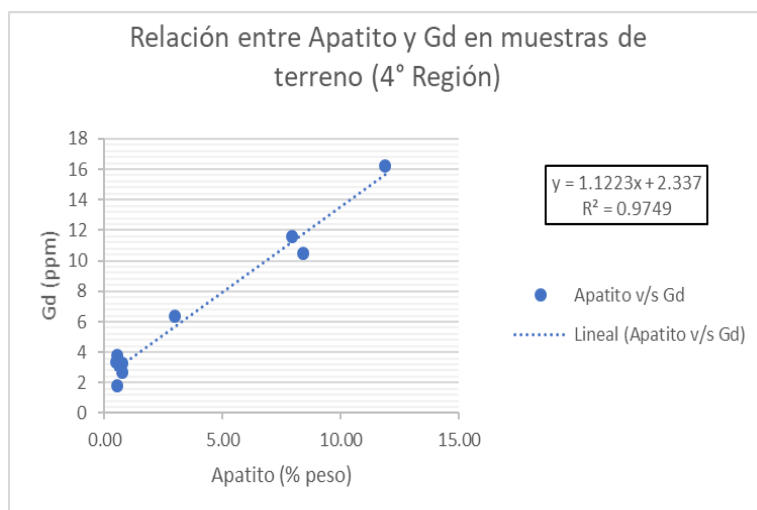


Gráfico 101: Relación entre Apatito y Gd en muestras de terreno de la 4° Región.

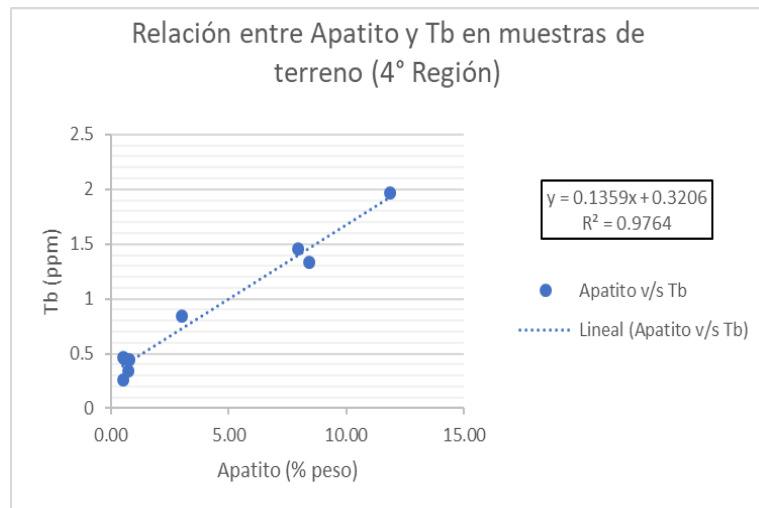


Gráfico 102: Relación entre Apatito y Tb en muestras de terreno de la 4° Región.

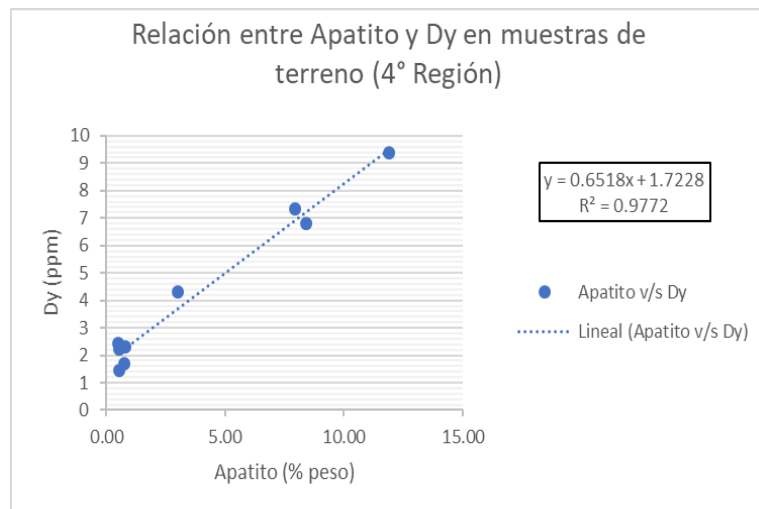


Gráfico 103: Relación entre Apatito y Dy en muestras de terreno de la 4° Región.

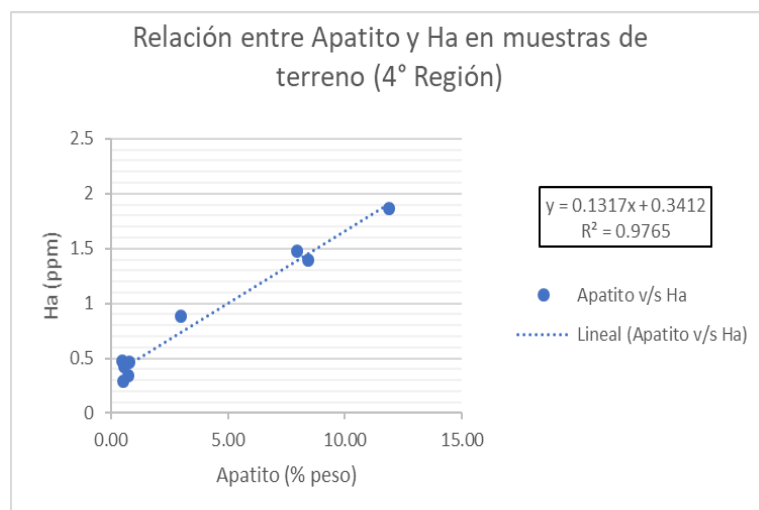


Gráfico 104: Relación entre Apatito y Ha en muestras de terreno de la 4° Región.

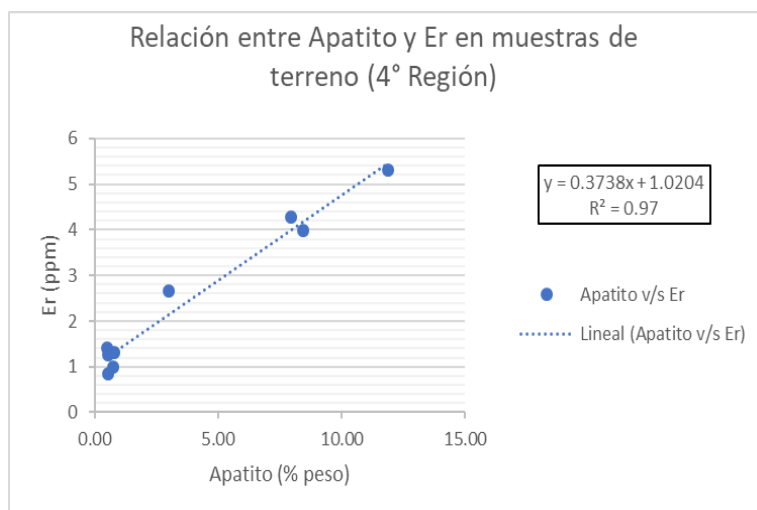


Gráfico 105: Relación entre Apatito y Er en muestras de terreno de la 4° Región.

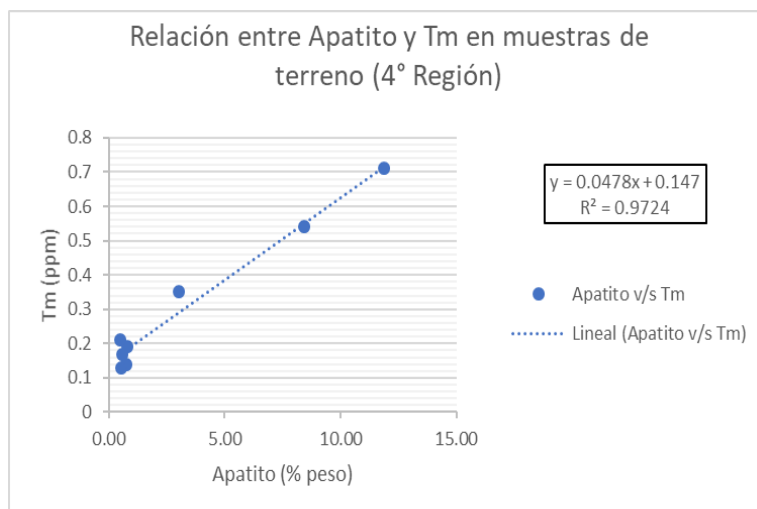


Gráfico 106: Relación entre Apatito y Tm en muestras de terreno de la 4° Región.

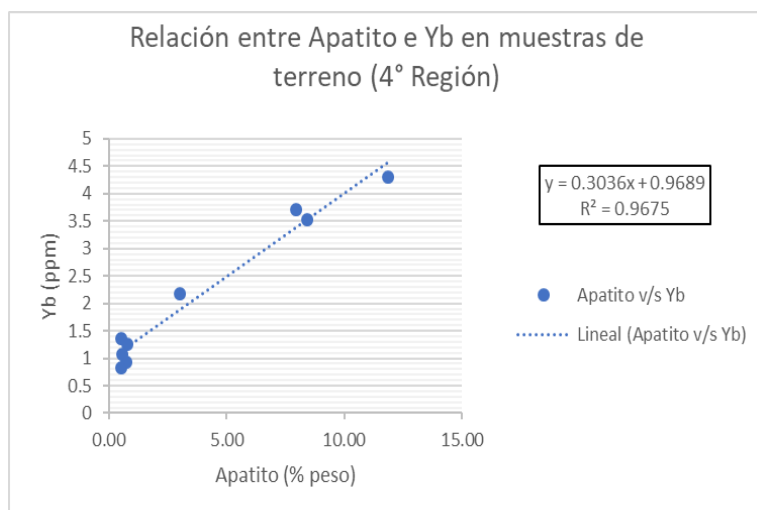


Gráfico 107: Relación entre Apatito e Yb en muestras de terreno de la 4° Región.

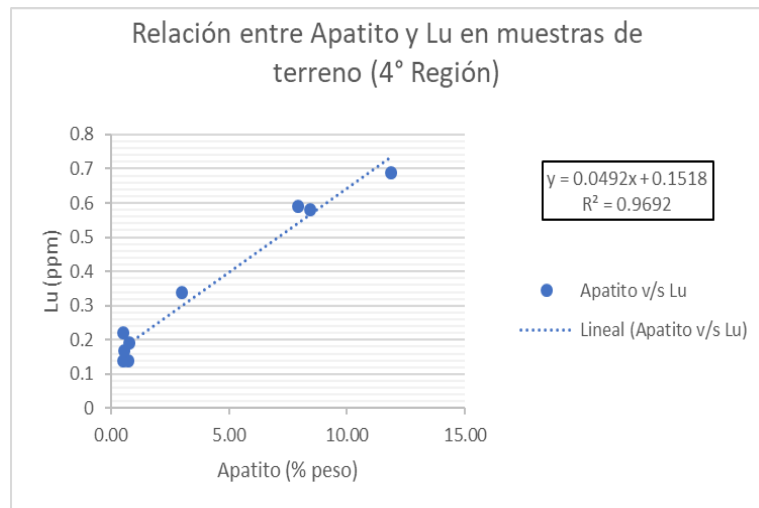


Gráfico 108: Relación entre Apatito y Lu en muestras de terreno de la 4° Región.

A partir de los gráficos 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 y 108 es posible notar que las Tierras Raras (a excepción de La) presentan una excelente relación con el mineral Apatito evidenciado en los coeficientes de correlación que tienen un valor de 0,9, salvo por Ce (0,8) y Eu (0,4). Cabe destacar que estas tierras raras también presentan un relación directa con Hematita, evidenciado en sus coeficientes de correlación de 0,8-0,9 para todos los casos salvo el Eu (0,3).

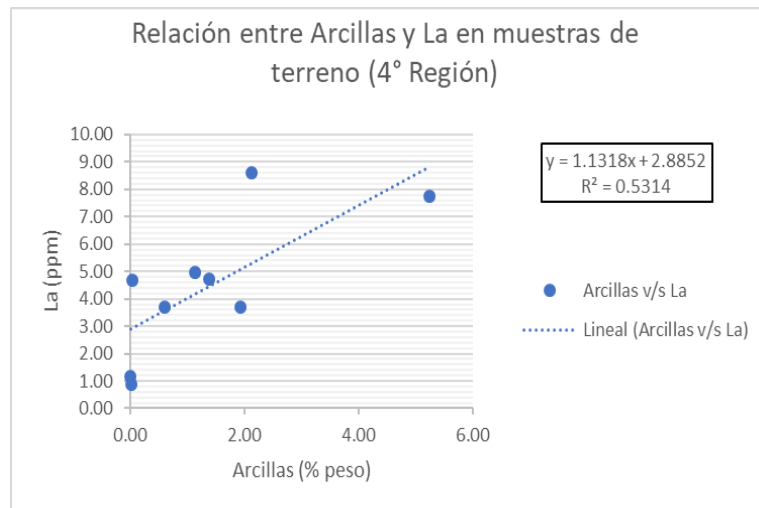


Gráfico 109: Relación entre Arcillas y La en muestras de terreno de la 4° Región.

Mediante el gráfico 109 es posible observar que existe una relación directa entre la tierra rara La y las Arcillas, evidenciado en su coeficiente de correlación mayor a 0,5.

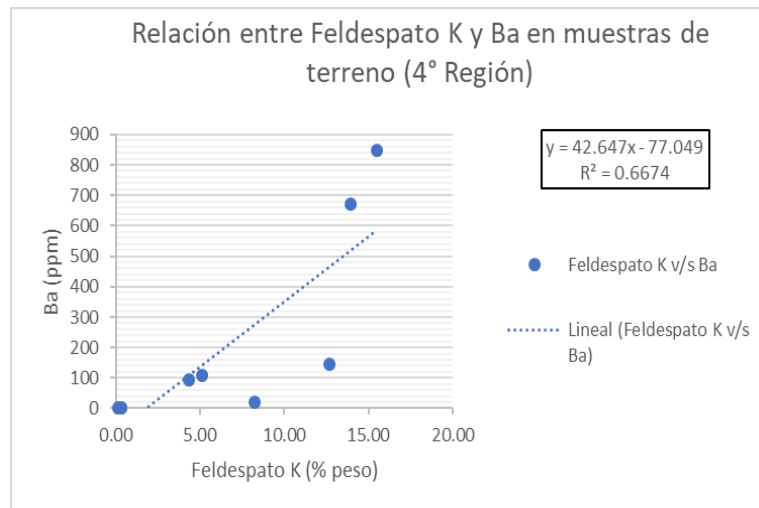


Gráfico 110: Relación entre Feldespato Potásico y Ba en muestras de terreno de la 4° Región.

A partir del gráfico 110 es posible observar que existe una relación directa entre el bario y el mineral feldespato potásico, evidenciado en su coeficiente de correlación mayor a 0,5.

5. Discusiones

Respecto a los resultados a nivel regional, es importante afirmar que la acotación de la zona de estudio a la Franja Ferrífera abarca la mayoría de los relaves que pertenecen tanto a la 3° como la 4° región de Chile, por lo que es posible afirmar que los datos analizados corresponden a una muestra significativa de la población de depósitos de relaves de estas regiones. Además, observando el Anexo 1, es posible afirmar que efectivamente dentro de esta Franja coexisten aquellos relaves que poseen las concentraciones más altas de Fe_2O_3 a niveles regionales.

Por otro lado, respecto a la geología de los yacimientos de proveniencia de estos depósitos de relave, mediante las Figuras 17 y 20, es posible afirmar que la geología no juega un rol muy importante dentro de este estudio, ya que no existen alineaciones o acumulaciones en cierto tipo de roca que nos pueda entregar información respecto a una distribución preferencial de ciertos depósitos de relave.

En este estudio también se intenta encontrar una relación entre los relaves ricos en óxido de hierro y el mineral explotado en sus yacimientos de proveniencia, sin embargo, tanto en la 3° como en la 4° región, la mayoría de los relaves rico en este óxido provienen de yacimientos que explotan Cu, por lo tanto, este no es un factor decisivo en la discriminación de relaves ya que en Chile la mayoría de los yacimientos explotan como principal mineral al Cu.

En relación a las asociaciones entre óxidos mayores, tanto en la 3° como 4° región se evidencia una relación indirecta entre SiO_2 y Fe_2O_3 en los relaves analizados. Sin embargo, esta relación en la 3° Región se cumple a partir de los relaves con concentraciones de Fe_2O_3 sobre el 10% y en la 4° Región cuando las concentraciones superan el 20%, es decir, en la 4° región esta relación inversa se encuentra en una cantidad de relaves más acotada. No obstante, en ambas regiones si la búsqueda de elementos traza de valor está enfocada en relaves con alto contenido de óxidos de hierro se debe esperar que estos se encuentren empobrecidos en sílice.

Por otro lado, la asociación entre los óxidos Fe_2O_3 y P_2O_5 solo es posible observarla en los relaves pertenecientes a la 4 región con concentraciones de $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$, sin embargo, es importante mencionar que esta asociación se ve mejorada cuando nos encontramos en un rango más acotado de depósitos de relaves ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$), evidenciado en una mejora del valor del coeficiente de correlación entre estos óxidos. Por lo cual, es probable que aquellos minerales ricos en Fe, estén relacionados con los fosfatos, lo que es consistente con la presencia de yacimientos tipo IOA (y sus respectivos relaves) en la 4° región. Además de esta asociación, en la 4° región los óxidos Al_2O_3 y TiO_2 también se encuentran relaciones directamente.

Dentro de los elementos críticos a evaluar por este estudio se encuentra el Co, el cual se encuentra concentrado en relaves que pertenecen a la Franja Ferrífera (tanto en la 3° como la 4° región) y provienen de yacimientos localizados en rocas ígneas del Cretácico. Sin embargo, solo en la 4° región es posible afirmar que hay una directa relación entre el Co y el óxido Fe_2O_3 , sin embargo, la mayoría de las concentraciones observadas no alcanzan los 100 ppm (salvo un tranque de relave). Por otra parte, el análisis químico generado en las muestras obtenidas en terreno, reflejan una contradicción con lo expresado anteriormente, ya que las concentraciones de la mayoría de los relaves analizados, tanto de la 3° como 4° región, presentaban concentraciones menores a las detectables (< 5 ppm). Sin embargo, teniendo como respaldo la existencia de las Cobalteras en Chile, es poco probable que existan cantidades tan bajas de Co en los relaves chileno, por ende las causas de esta contradicción están mayormente enfocadas en la toma de la muestra (profundidad y localización del punto de muestreo) o la preparación de la muestra. Esta contradicción de los datos

químicos afectó la búsqueda de la génesis del Cobalto, ya que no se hizo posible la comparación entre los análisis químicos y los mineralógicos producto de la baja cantidad de Co encontrado. Sin embargo, según Townley et al., 2017, el cobalto se encuentra principalmente asociado a sulfuros de cobre, níquel, arsénico y hierro; y en recientes estudios en yacimientos de la III región (Lagas et al., 2015) se han encontrado hasta 1,2 wt% de Co en piritas. Por lo que es probable que la génesis de este elemento traza de valor se encuentre en la pirita, puesto que es un sulfuro de Fe (46,55% de Fe) y corresponde a un mineral ganga típico de los relaves chilenos.

Respecto a la Tierras Raras, es posible observar que en la 4° región la mayoría de estas (a excepción del La y Eu) se encuentran asociadas al óxido mayor P_2O_5 cuando los relaves presentan cantidades mayores al 10% de óxido de Fe. Y cuando estos relaves poseen mayor cantidad de este óxido ($> 20\% Fe_2O_3$) estas mismas tierras raras se encuentran asociadas a Fe_2O_3 . Por lo que es probable que estos elementos traza de valor se encuentren asociados principalmente a minerales del tipo fosfato y secundariamente a minerales ricos en Fe. Esta última aseveración se ve comprobada en los resultados mineralógicos de los datos de terreno, ya que en aquellos relaves pertenecientes a la 4° Región es posible observar una asociación entre el apatito (fosfato) y las tierras raras anteriormente nombradas. Además, es posible afirmar que esta asociación también se presenta con el mineral hematita (óxido de Fe). Estas asociaciones tienen gran relevancia, ya que el apatito y la hematita son parte de los minerales principales que encontramos en los yacimientos tipo IOA, que se encuentran en la Franja Ferrífera de la 4° Región, sin embargo, como estos no son minerales tipo mena sino que ganga, son comunes dentro de los depósitos de relaves de esta zona. Por lo tanto, la información anteriormente expuesta en conjunto con el estudio de Araya et al., 2016, hace posible afirmar que el Apatito es el protagonista de la génesis de las tierras raras (a excepción de La y Eu). Respecto a la hematita no hay estudios que respalden la génesis de las tierras raras en este mineral, sin embargo, estos dos minerales están completamente relacionados, por lo cual un relave ubicado en la 4° región, en la franja Ferrífera, con gran cantidad de hematita es una potencial fuente de tierras raras debido a su asociación con el apatito.

En el caso de la tierra rara La en la 4° región, se evidencia una relación con las arcillas, sin embargo, no hay asociaciones óxido mayor-elemento traza que ayuden a dar más sustento a este resultado. No obstante, si nos evocamos a la bibliografía recopilada es posible afirmar que estudios como el de Moldoveanu et al., 2014, respaldan dicha asociación. Por lo tanto, es probable que las arcillas sean la protagonista principal respecto a la génesis del La en algunos de los relaves de la 4° región.

En el caso de la 3° región, es posible afirmar que en los depósitos de relave con $Fe_2O_3 > 10\%$ las tierras raras Ce, La, Nd, Pr, Sm y Gd se encuentran totalmente relacionadas entre sí, lo cual se condice con los resultados mineralógicos de las muestras de terreno de la 3° región, en los cuales las tierras raras Ce, La, Pr y Nd se encuentran asociadas al mineral Apatito. Por lo tanto, si bien no hay una asociación óxido mayor-elemento traza que de mayor sustento a la asociación anteriormente nombrado, mediante el estudio de Araya et al., 2016 y los resultados obtenidos en la 4° región, si es posible afirmar que es probable que la génesis de estas tierras raras (Ce, La, Nd y Pr) en gran parte de los relaves de la 3° región, este atribuida al mineral apatito.

Respecto a las tierras raras Eu, Tb, Dy, Ha, Er, Tm e Yb, estas presentan una buena relación con el mineral anfíbol en el análisis mineralógico de las muestras de terreno pertenecientes a la 3° región. Sin embargo, no hay asociaciones óxido mayor-elemento traza que de mayor sustento a esta asociación y la bibliografía respecto a la posibilidad de la asociación anfíbol-tierras raras es rebuscada y poco clara, por lo cual se sugieren estudios mas específicos respecto a esta asociación

como análisis en briquetas con altas concentraciones de este mineral para evaluar la posibilidad de atribuir al anfíbol la génesis de ciertas tierras raras.

Otros de los elementos críticos a evaluar es el Ge, el cual no fue posible analizar a nivel regional, ya que no se encuentra en los datos del catastro de relaves realizado por SERNAGEOMIN. No obstante, si fue posible analizar a nivel más local el Ge, en las muestras de terreno extraídas de tranques de relave de la 4° y 3° región, los cuales se encuentran dentro de la Franja Ferrífera del Cretácico Inferior, es decir, se encuentran en una zona rica en Fe.

Dentro de los resultados más importantes a nivel químico es la estrecha relación que tiene este elemento con el óxido Fe_2O_3 tanto para las muestras de la 3° como 4° región, lo cual se ve evidenciado en su gran coeficiente de relación, el cual es cercano a 0,9. Esta relación tiene una gran incidencia en los resultados mineralógicos de las muestras de terreno, ya que en ambas regiones este elemento presenta una relación directa con el mineral hematita, correspondiente a un óxido de Fe.

Si bien según la Universidad de Alicante el germanio puede ser encontrado en sulfuros minerales de zinc, arsénico, plomo, antimonio y cobre, esto no es aplicable a los depósitos de relave ya que las concentraciones de estos sulfuros son muy bajas (muchas de ellas cercanas o igual a 0) debido a que estos minerales son clasificados como mena, por lo cual fueron procesados durante la extracción de los minerales de interés. Por otra parte, según Bernstein y Waychunas, 1987 los minerales hematita, magnetita y goethita presentan enriquecimiento en Ge.

Por lo tanto, a partir de la información anteriormente expuesta, es posible atribuir la génesis del Ge al mineral Hematita tanto en relaves de la 3° como 4° región dentro de la Franja Ferrífera. No obstante, es importante destacar que las cantidades de Ge en estos relaves se encuentra en cantidades cercanas a los 8 ppm, lo cual no pareciera una gran cantidad en términos económicos. Por lo cual, quizás este elemento no representa un potencial económico para los depósitos de relaves chilenos

El Ga es un elemento que también se encuentra como crítico en el mundo, por lo cual se hace una evaluación de este. Sin embargo, al igual que en el caso del Ge, sus concentraciones no se encuentran publicadas en el catastro de relaves realizado por SERNAGEOMIN. No obstante, se hace una evaluación más localizada de este, en las muestras tomadas en terreno.

Respecto a los resultados químicos, no fue encontrada ninguna relación de este elemento con un óxido mayor u otro elemento mismo, debido a que los coeficientes de relación de estos eran muy pequeños.

Con respecto a los resultados mineralógicos, en las muestras de la 3° región, si fue posible relacionar este elemento con el mineral biotita, lo cual se condice con estudios recientes como el de Simons et al., 2017, quien afirma que en Muscovitas y biotitas de granitos (rocas típicas de los yacimientos en Chile) es posible encontrar entre 95 a 157 ppm de Ga cuando se hacen estudios en briquetas concentradas en estos minerales. Por lo cual es posible atribuir la génesis de este elemento a minerales como la biotita. No obstante, se sugieren mayores estudios enfocados en análisis de briquetas concentradas en minerales como las micas, turmalina y feldespato potásico que pueden estar asociados a este elemento, ya que, si se confirman las concentraciones de Ga exhibidas en el estudio de Simons et al. (2017), se podría reafirmar el potencial económicos de los relaves en Chile, ya que estos minerales se encuentran en gran cantidad en los relaves chilenos ya que forman parte de los minerales ganga encontrados en las rocas que conforman los yacimientos de los cuales provienen estos depósitos de relave.

El elemento Nb también se encuentra categorizado como crítico y fue analizado en este estudio. Con respecto a su distribución, es posible afirmar que los relaves de la 3° y 4° región con

mayores concentraciones de este elemento no se encuentran localizados en la Franja Ferrífera, lo cual se condice con el análisis de los resultados químicos (tanto para la 3° como 4° región), ya que si bien esta relación inversa no es tan estrecha debido a los bajos coeficientes de relación (0,3 en la 3° región y 0,2 en la 4° región) a partir de los Gráficos 42 y 58 es posible visualizar como las cantidades de Nb comienzan a aumentar bajo el 20% de Fe_2O_3 . Además, esta relación también se ve evidenciada en los resultados de los análisis mineralógicos de las muestras de terreno, ya que las concentraciones de Nb en los relaves seleccionados para análisis QEMSCAN eran bajos.

Respecto al Cr, si bien no fue posible evidenciar una asociación con algún óxido mayor, en los resultados mineralógicos de las muestras de terreno fue posible apreciar una relación directa entre Cr y Hematita. Sumado a ello, extrapolando la teoría de Hansen, 1992, el cromato en solución (utilizado en la depresión de la Galena) en presencia de hematita puede oxidar a esta y transformarse en cromo, lo cual posibilita el protagonismo de la hematita en la génesis de cromo.

Por lo tanto, es posible atribuir la génesis del cromo al mineral hematita en algunos relaves de la 3° y 4° región; elemento que atribuye potencial económico a los depósitos de relaves chilenos, ya que este elemento se encuentra mayoritariamente sobre 100 ppm en los relaves ubicados dentro de la Franja Ferrífera y puede llegar a alcanzar valores sobre 500 ppm en la 3° región y sobre 350 ppm en la 4° Región.

Dentro de los elementos que no son críticos, pero fueron analizados en esta tesis debido a sus concentraciones interesantes, se encuentra el Rubidio, el cual, se encuentra asociado al óxido mayor K_2O en los relaves de la 3° y 4° región que se encuentran localizados en la Franja Ferrífera y que contienen más de 10% de Fe_2O_3 . Esta aseveración se ve respaldada en los resultados mineralógicos de las muestras de terreno, en las cuales se evidencia la asociación entre este elemento y el mineral Sericita/Muscovita quien contiene 11,81% de K_2O dentro de su estructura interna. Por lo tanto, es posible atribuir la génesis de este elemento a aquellos minerales ricos en potasio como la Sericita/Muscovita, ya que el ion K puede ser sustituido parcialmente por pequeñas cantidades de Rb debido a la similitud en su radio iónico.

Respecto al Ba (también presente en concentraciones interesantes) es posible evidenciar que en los relaves de la 3° región ubicados en la Franja Ferrífera y con concentraciones de $Fe_2O_3 > 20\%$ es posible asociar este elemento al óxido mayor K_2O , lo cual es verificado en los resultados mineralógicos de las muestras de terreno de la 3° región, en las cuales se observa la asociación entre Ba y el mineral Biotita quien contiene 10,86% de K_2O dentro de su estructura interna. Además, en las muestras de terreno de la 4° región se evidencia una asociación entre este elemento y el mineral Feldespato Potásico, quien contiene 16,92% de K_2O dentro de su estructura interna.

Por lo tanto, al igual que el Rb, es posible atribuir la génesis de Ba a aquellos minerales ricos en potasio como la Biotita o el Feldespato Potásico, ya que el ion K puede ser sustituido parcialmente por pequeñas cantidades de Ba debido a la similitud en su radio iónico.

Respecto al Zr (elemento con concentraciones interesantes) es posible observar que en los depósitos de relaves ubicado en la Franja Ferrífera tanto en la 3° como la 4° región, se presenta la relación de este elemento con el óxido SiO_2 , lo cual se condice con los resultados mineralógicos de las muestras en terreno, en las cuales se aprecia la asociación entre Zr y el mineral cuarzo y feldespato potásico quienes contienen 100% y 64% de sílice, respectivamente, dentro de su estructura interna. Por lo tanto, si bien no hay información suficiente para atribuir la génesis de este elemento al cuarzo y el feldespato, es importante mencionar que en los cortes transparentes el zircón normalmente se encuentra dentro del cuarzo o el feldespato K.

Cabe destacar que, si se pretende hacer un estudio más enfocado en este elemento, este debe ser fuera de la Franja Ferrífera, ya que al ser una zona rica en Fe_2O_3 , a la vez es pobre en SiO_2 .

Respecto al V (también presente en concentraciones interesantes) es posible afirmar que en los relaves de la 4° región localizados dentro de la Franja Ferrífera y con concentraciones sobre el 20% de Fe_2O_3 , es posible encontrar la asociación TiO_2 -V. Sin embargo, esta asociación no converge con los resultados mineralógicos de las muestras de terreno, las cuales presentan una relación entre V y el mineral Hematita (en ambas regiones), el cual, si bien puede tener trazas de Titanio, no contiene grandes cantidades como el mineral Rutilo/Anatasa. No obstante, este elemento se puede encontrar como impureza dentro de minerales como la ilmenita y los óxidos de Fe como la Hematita y Magnetita (Henríquez, 1978). Por lo tanto, es posible atribuir la génesis del V con mayor probabilidad a minerales como la Hematita en depósitos de relaves chilenos dentro de la Franja Ferrífera, con altas concentraciones de Fe_2O_3 .

Otro elemento con concentraciones interesantes es el Pb, el cual en los relaves de la 4° región dentro de la Franja Ferrífera y con $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$ se encuentra asociado al As. Por otra parte, en los relaves de la 3° región también localizados en esta Franja y con menores cantidades de óxido de hierro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$) el Pb se encuentra asociado tanto al As como al Sb, sin embargo, no existe asociación entre As y Sb. Esta relación en la bibliografía recopilada se encuentra descrita en yacimientos epitermales (Lagas et al., 2015), por lo cual para hacer búsquedas más específicas de estos 3 elementos se debe enfocar el estudio en relaves que provienen de yacimientos epitermales.

Por último, el elemento Sr también se encuentran en cantidades interesantes en los relaves chilenos (Anexo 1), sin embargo, no fue posible descubrir una relación con algún óxido u elemento que permita generar una hipótesis con respecto a su distribución y génesis. Sin embargo, es necesario crear estudios enfocados en estos elementos, ya que no solo se encuentra en concentraciones interesantes, sino que también estas cantidades se presentan en la mayoría de los relaves analizados por SERNAGEOMIN, lo que hace de este elemento un buen candidato para aumentar el potencial económico de los relaves chilenos.

6. Conclusiones

Como este estudio pretende entregar una metodología para encontrar la génesis y distribución de elementos traza de valor en depósitos de relaves chilenos, es importante destacar que el primer factor predominante es enfocar la búsqueda en relaves pertenecientes a la Franja Ferrífera, con alto contenido de óxidos de hierro y baja cantidad de sílice. Por lo tanto, el óxido mayor Fe_2O_3 si es una buena herramienta explorativa, ya que sus mayores concentraciones se encuentran en una zona específica y delimitada (Franja Ferrífera) en donde es posible encontrar la mayoría de los relaves tanto en la 3° como la 4° región. Además, a partir de los resultados expuestos anteriormente, en ambas regiones es posible evidenciar que este enriquecimiento en Fe arrastra consigo la concentración de algunos elementos.

Las tierras raras en los relaves de la 3° y 4° región de Chile se encuentran en la Franja Ferrífera, en rocas principalmente del cretácico, desde secuencias volcánicas a rocas ácidas (dioritas y granodioritas principalmente). Con respecto a la génesis, en los relaves de la 4° región la mayoría de estas tierras raras (a excepción del La) se encuentran asociadas al apatito (predominante en los yacimientos tipo IOA) y en el caso del La, se encuentra probablemente asociado a las arcillas. En los relaves de la 3° región de Chile las tierras raras La, Ce, Pr y Nd también se encuentran asociadas al Apatito y un gran porcentaje de las tierras raras restantes se encuentran asociadas al anfíbol, sin embargo, no hay suficiente información para atribuir la génesis de esas tierras raras al mineral anfíbol, por lo que se sugieren estudios. Cabe destacar que, si bien solo el La y Ce presentan concentraciones relevantes en los depósitos de relaves chilenos, el resto de las tierras raras puede aportar en la evaluación del potencial económico de estos

Habiendo expresado lo anterior, se recomienda hacer análisis de briquetas concentradas en apatito para evaluar las cantidades de tierras raras dentro de la estructura de este mineral.

El Ge en los relaves de la 3° y 4° región que se encuentra dentro de la Franja Ferrífera, se encuentra asociado al mineral hematita, mineral ganga que puede ser encontrado en los relaves de Chile, principalmente en aquellos que provienen de yacimientos tipo IOC/IOA. Con respecto a las cantidades de Ge, es posible afirmar que la mayor concentración hallada en los relaves analizados fue de 8 ppm, sin embargo, se sugiere analizar el Ge en yacimientos tipo IOA/IOCG de gran minería como Candelaria para poder tener un mayor rango respecto a las cantidades existentes de este elemento en los relaves de Chile.

Por lo tanto, es posible afirmar que existe un potencial económico de Ge en los relaves chilenos inmersos en la Franja Ferrífera de la 3° y 4° Región, provenientes de yacimientos localizados en rocas del Cretácico Inferior; el cual puede ser mejor evaluado en cuanto más análisis se hagan de este elemento en los demás relaves de Chile.

Con respecto al Ga, es posible afirmar que, si bien no se encontraron relaciones de este elemento con óxidos mayores, los resultados mineralógicos en conjunto con la bibliografía recopilada señalan al mineral biotita como principal protagonista en la génesis de este elemento en las muestras de la 3° región. Además, estudios recientes también señalan al feldespato potásico, micas y turmalina como posibles protagonistas de la génesis de este mineral. Por lo que de ser así, este elemento podría significar un gran potencial económico para los relaves en Chile, ya que estos minerales del tipo silicatos son clasificados como ganga y se encuentran en grandes cantidades en estos tipos de depósitos.

Se sugieren estudios de este elemento en briquetas concentradas de los minerales tipo silicato como biotita, feldespato potásico, turmalina y micas.

En relación el Co, es posible afirmar que este se encuentra en relaves que están localizados en la Franja Ferrífera, ya que presenta una estrecha relación con el óxido de hierro (en base a los análisis químicos de SERNAGEOMIN) tanto en la 3° como 4° Región. Con respecto a su génesis, Townley et al., 2017 afirma que el cobalto se encuentra asociados a sulfuros de cobre, níquel, arsénico y hierro, los cuales se encuentran en depósitos tipo IOA/IOCG, típicos de la Franja Metalogénica Ferrífera. Además autores como Lagas respaldan esta información ya que el sulfuro de hierro, pirita, puede llegar a presentar hasta 1,2 wt% de Co en su estructura. Sin embargo, esto no pudo ser comprobado debido a la falta de congruencia entre los datos químicos entregados por SERNAGEOMIN y los generados a partir de este estudio.

Por lo tanto, el Co presenta un posible potencial económico en los relaves de la 3° y 4° región debido a su relación con los sulfuros de hierro y su posible génesis en los depósitos tipo IOA/IOCG. Pese a ello, esto debe ser respaldado mediante mayor cantidad de datos que hagan posible el análisis con resultados de estudios mineralógicos como el QEMSCAN.

Respecto al Cr, es posible afirmar que los relaves localizados en la Franja Ferrífera poseen altos valores de este elemento pudiendo alcanzar hasta los 500 ppm en la 3° región. Además, estos relaves ricos en Cr provienen de yacimientos localizados en rocas ígneas del Cretácico. Con respecto a su génesis, mediante los resultados del análisis químico y mineralógico realizado en las muestras de terreno, es posible afirmar que existe una relación directa entre las concentraciones de Cr y las concentraciones de hematita, por lo cual, se le atribuye a este óxido de hierro la génesis de este elemento. Sin embargo, la teoría en base al estudio de Hansen, 1992 debe ser comprobada con mayores estudios enfocados en la génesis del Cr en la hematita.

Por lo tanto, los relaves chilenos de la 3° y 4° región de Chile localizados en la Franja Ferrífera si presentan un potencial económico del elemento Cr, el cual se encuentra localizado en las hematitas de los depósitos tipo IOCG/IOA.

El Nb, al igual que el resto de los elementos nombrados, también se encuentra categorizado como crítico, sin embargo, es posible afirmar que los relaves que contienen este elemento no se encuentran en sus cantidades máximas en la Franja Ferrífera y tiene una relación inversa con los óxidos de hierro. Por lo tanto, si bien este elemento no tiene un potencial económico en los relaves de la Franja Ferrífera, si es posible que lo tenga en relaves localizados en otras Franjas Metalogénicas, pobres en óxido de hierro, por lo cual se sugiere hacer estudios de estos elementos fuera de esta Franja Metalogénica.

El Rb, si bien no es un elemento crítico si se encuentra en concentraciones interesantes en los relaves chilenos. Mediante los análisis químicos fue posible establecer la asociación entre este mineral y el óxido K_2O , y a partir del análisis mineralógico fue posible señalar a la sericita/muscovita como protagonista en su génesis. Sin embargo, más que la sericita/muscovita en sí, este elemento está relacionado con aquellos minerales que contienen este óxido dentro de su estructura interna ya que el ion K puede ser sustituido parcialmente por Rb.

El Ba, al igual que el Rb, presenta una relación con K_2O , pero solo en la 3° región. Sin embargo, a través de los resultados mineralógicos es posible aseverar que este mineral se encuentra relacionado con biotita en la 3° región y con feldespato K en la 4, lo que hace sentido con la

asociación con el óxido de potasio, ya que ambos minerales contienen este óxido en su estructura, al igual que en el caso del Rb.

En relación al V, si bien los resultados químicos y mineralógicos no convergen, si es posible contrastar los datos obtenidos con la bibliografía, la cual señala al óxido de hierro hematita como uno de los minerales posibles dentro del protagonismo en su génesis.

Respecto al Zircón este se encuentra asociado al óxido mayor SiO_2 , y por ende se relaciona con minerales altos en sílice como el cuarzo y el feldespato K. Es por esto que este elemento debe ser mayormente estudiado en relaves que no se encuentren dentro de esta Franja, ya que el Fe presenta una relación contraria a la sílice.

El Pb también está en concentraciones interesantes en relaves tanto de la 3° como 4° región y se encuentra asociado al As en ambas regiones y al Sb solo en la 3° región de Atacama. Esta asociación de elementos en la bibliografía se encuentra definida en yacimientos epitermales, por lo que para estudiar con mayor profundidad estos elementos se debe enfocar la búsqueda en relaves que provengan de este tipo de yacimientos.

Con respecto al Sr es posible afirmar que se encuentran en concentraciones interesantes en la mayoría de los relaves chilenos, por lo cual se sugiere hacer un estudio avocado en este elemento que podrían aumentar el potencial económico de los relaves chilenos.

Por lo tanto, los relaves de la 3° y 4° región de Chile, ubicados en la Franja Ferrífera, representan una fuente potencial económica debido a la presencia de elementos traza de valor como las REE, Co, Cr, Ge y Ga, y la presencia de elementos con concentraciones interesantes como el Rb, Ba, Zr, V, Pb, As y Sr.

7. Bibliografía

- Aguirre, L.; Egert, E. 1965. Cuadrángulo Quebrada Marquesa, provincia de Coquimbo. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile 15:92 p., mapa 1:50.000.
- Aracena, I., 1981, Geología y alteración del complejo plutónico del sector del yacimiento de Chuquicamata. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Araya, J., Donoso, F., Olavarría, D., 2016, Situación actual de mercado de tierras raras y su potencial en Chile. Comisión Chilena del Cobre, DEPP 15/2016.
- Bernstein, L., Waychunas, G., 1987, Germanium crystal chemistry in hematite and goethite from the Apex Mine, Utha, and some new data on germanium in aqueous solution and in stottite. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51: 623-630.
- Bobadilla, H., 2011, Petrogénesis del Batolito de la Península Antártica, Costa Occidental del Extremo Norte de la Península Antártica e Islas Aledañas: Implicancias Tectónicas. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Boric, R., Díaz, F. Y Maksaev, V., 1990. Geología y yacimientos metalíferos de la Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 40, Santiago, 246 p.
- Campano, G., Guerra, N., 1979. Contribución al Estudio Geoquímico de Rocas Volcánicas del Norte de Chile comprendidas entre las latitudes 22°00' y 26°30'S, Segundo Congreso Geológico.
- Camus, F., 2003, Geología de los Sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, 267 p., Santiago, Chile.
- Cancino, A., López, L., Vergara, M., 1991, The Pichidangui Formation; Some Geochemical Characteristics and Tectonic Implications of the Triassic Marine Volcanism in Central Chile (31°55' to 32°20'S). *Andean Magmatism and Its Tectonic Setting*, Special Paper 265, pg. 93-98.
- Carrasco, C., 2016, Petrología y Geoquímica del Volcán Casablanca y Centros Eruptivos Cercanos, Complejo Volcánico Antillanca, Región de Los Lagos, Chile. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Claramunt, R., Cornago, M., Esteban, S., Farrán M., Perez, M., Sanz, D., 2015, Principales Compuestos Químicos. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Clavero, J., García, M., Gardeweg, M., Hérail, G., 2004, Hoja Arica, Región de Tarapacá, Escala 1:250.000. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N°84, Servicio Nacional de Geología y Minería.

- Cornejo, P., Espinoza, F., González, R., Herrera, C., Matthews, S., Menzies, A., Riquelme, R., Wilke, 2015, Carta Sierra de Varas, Región de Antofagasta, Escala 1:100.000. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N°178, Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Díaz, A., Luca, R., Townley, B., Potencial de Exploración y Explotación de Recursos Minerales de Cobalto en Chile. Comité de Minería No Metálica – Corfo.
- Espinoza, S., Véliz, H., Esquivel, J., Arias, J., y Moraga, A., 1996. The Cupriferous Province of the Coastal Range, Northern Chile. In: Camus, F., Sillitoe, R.H., and Petersen, R., eds. Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny. Society of Economic Geologists, Special Publication Number 5, pp. 19-32.
- European Commission, 2014. Report on Critical Raw Materials for The EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials.
- Falagán, C., Grail, B., Johnson, B., 2016, New approaches for extracting and recovering metals from mine tailing. Minerals Engineering, vol. 106, pg. 71-78.
- Ferrando, R., 2014, Estudio Paleomagnético del Complejo Plutónico Illapel 31°25' - 32°30' S: Implicancias acerca de sus Mecanismos de Emplazamiento y su relación con la Evolución Tectónica Regional. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Gana, P., 1991, Magmatismo Bimodal del Triásico Superior-Jurásico Inferior, en la Cordillera de la Costa, Provincias de Elqui y Limarí, Chile. Revista Geológica de Chile, Vol. 18, N°1, pg. 55-67.
- García, G., 2006, El Vanadio, Un Elemento Ambiguo. Acta toxicológica de Argentina, Vo.14, N°6.
- Gardeweg, M., Garibaldi, N., Sellés, D., 2016, Geología del Área Pampa Lirima-Cancosa, Región de Tarapacá, Escala 1:100.000. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N°182, Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Gómez, A., 2015, Petrología del Complejo de las Islas Caroline, Thomas, Sidney y London, Batolito Fueguino: XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Gröpper, J., 2011, Franjas Metalogénicas de Edad Jurásica y Cretácica en la Cordillera de la Costa de Chile Central, entre los 32° y los 35°20' de Latitud Sur. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Hansen, A., 1992, Metales pesados en el sistema Lerma-Chapala: distribución y migración. Ingeniería Hidráulica en México, (2-3): 92-98.

- Henriquez, F., 1978, Posibilidades de subproductos en la minería de Hierro en Chile. *Revista Geológica de Chile*, N°6, pp. 53-57.
- Kamitani, M., Kanazawa, Y., 2006, Rare Earth Minerals and Resources in the World. *Journal of Alloys and Compounds*, 408–412, 1339–1343.
- Klein, C., Hurlbut, C., 2003, *Manual de Mineralogía*, 4° Edición, Basado en la obra de J. D. Dana.
- Lagas, G., Reich, M., Deditius, A., Chryssoulis, S., Barra, F., Munizaga, R., 2015. *Química Mineral de Pirita del Yacimiento Los Colorados, III Región de Atacama, Chile. XIV Congreso Geológico Chileno.*
- Lara, L., Moreno, H., Pérez, C., Rodríguez, C., 2001, Geocronología K-Ar y Geoquímica del Volcanismo Plioceno Superior-Pleistoceno de los Andes del Sur (39-42°S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 28, N°1.
- Levi B (1968) Cretaceous volcanic rocks from a part of the Coast Range west from Santiago, Chile: A study on lithology variation and burial metamorphism in the Andean geosyncline. Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 121 p.
- Makshev, V., 2001. Metallogenesis of Chile. Class notes, Department of Geology, University of Chile.
- Makshev, V., Townley, B., Palacios, C., Camus, F. 2007, Metallic ore deposits (Chapter 6). In: *The Geology of Chile*, T. Moreno, W. Gibbons (eds.), England, p. 181-201.
- Matthews, S. J.; Cornejo, P.; Riquelme, R. 2005. *Geología de la Hoja de Inca de Oro, Región de Atacama, escala 1:100000*. Subdirección Nacional de Geología.
- Mikacic, G., 2007, *Geoquímica de Rocas Ígenas en el Distrito Escondida, Región de Antofagasta Chile. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.*
- Moldoveanu, G., Papangelakis, V., 2014, Recovery of Rare Earth Elements from Clay Minerals. 1st European Rare Earth Resources Conference.
- Montes, M., 2013, *Evolución Magmática del Batolito Fuegoino, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.*
- Morata, D., Féraud, G., Schärer, U., Aguirre, L., Belmar, M., Cosca, M. 2006. A new geochronological framework for Lower Cretaceous magmatism in the Coastal Range of central Chile. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 11, Actas 2: 509-512. Antofagasta.
- Moss, R. L., Tzimas, E., Kara, H., Willis, P., & Kooroshy, J. (2011). *Critical Metals in Strategic Energy Technologies*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

- Munizaga, F.; Vicente, J. C. 1982. Acerca de la zonación plutónica y del volcanismo miocénico en los Andes de Aconcagua (Lat. 32° -33° S): Datos Radiométricos KAr. *Revista Geológica de Chile*, No. 16, p. 3-21.
- Ortiz, M., 2007, Condiciones de Formación del Complejo Metamórfico Cordillera Darwin, al Sur del Seno Almirantazgo, Región de Magallanes, Chile. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R., and Oyarzun, J., 1996. The manto-type deposits of Andacollo (Chile) revisited: a model based on fluid inclusion and geologic evidence. *Economic Geology*, V. 91, pp. 1298-1309.
- Parada, M., 1992. Contribución a la Geoquímica del Complejo Plutónico Papudo-Quintero, Chile Central: Implicaciones petrogenéticas, *Revista Geológica de Chile*, vol.19, N°2, pg. 199-210.
- Parada, M.; López-Escobar, L.; Oliveros, V.; Fuentes, F.; Morata, D.; Calderón, M.; Aguirre, L.; Féraud, G.; Espinoza, F.; Moreno, H.; Figueroa, O.; Muñoz, J.; Troncoso, R.; Stern, CH. "Andean magmatism". En: Moreno, T.; Gibbons, W. (ed.). *The Geology of Chile*. London: The Geological Society. 2007, p. 115-146.
- Parada, M.A., Féraud, G., Aguirre, L., Fuentes, F., Morata, D., Vergara, M., Larrondo, P., Palacios, C. 2001. U-Pb, 40Ar-39Ar and fission-track geochronology of the Early Cretaceous Caleu pluton and its volcanic envelope, Coastal Range of central Chile: Tectonic and metamorphic implications. In *Symposium on Isotope Geology*, No. 3, Abstracts: 612-615. Pucón (Chile).
- Parada, M.A., Féraud, G., Fuentes, F., Aguirre, L., Morata, D., Larrondo, P. 2005a. Ages and cooling history of the Early Cretaceous Caleu pluton: testimony of a switch from a rifted to a compressional continental margin in central Chile. *Journal of the Geological Society of London* 162: 273-287.
- Parada, M.A., Larrondo, P. 1999. Thermochronology of the Lower Cretaceous Caleu Pluton in the coast range of Central Chile: tectonostratigraphic implications. In *International Symposium on Andean Geodynamic (ISAG)*, No. 4, Abstracts: 563-566. Gottingen (Germany).
- Parada, M.A., Larrondo, P., Guirresse, C., Roperch, P. 2002. Magmatic gradients in the Cretaceous Caleu pluton (central Chile): injections of pulses from a stratified magma reservoir. *Gondwana Research* 5: 307-324.
- Parada, M.A., Roperch, P., Gírese, C. and Ramírez, E. 2005b. Magnetic fabrics and compositional evidence for the construction of the Caleu pluton by multiple injections, Coastal Range of central Chile. *Tectonophysics* 399: 399-420.
- Payne, J. 1995. *Geology Progress Report on the Talcuna District Region III, Chile*. Informe Interno.

- Reyes, M., 1991. The Andacollo Strata-Bound Gold Deposit, Chile, and its Position in a Porphyry Copper-Gold System. *Economic Geology*, V. 86, N° 6, pp. 1301-1318.
- Rivano, S., Sepúlveda, P., Hervé, M., Puig, A. 1985. Cronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32°S, latitud sur, Chile. *Revista Geológica de Chile* 24: 63-74.
- Scheuber, E. and Andriessen, P.A.M., 1990. The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault zone, northern Chile. *Journal of Structural Geology*, V. 12, No 2, pp. 243-257.
- Segerstrom, K.; Ruiz, C. 1962. Cuadrángulo Copiapó, Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile No. 6. Santiago.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.
- SERNAGEOMIN. Minería, Depósitos de Relaves.
- Simons, B., Andersen, J., Shail, R., Jenner, F., 2017, Fractionation of Li, Be, Ga, Nb, Ta, In, Sn, Sb, W and Bi in the peraluminous Early Permian Variscan granites of the Cornubian Batholith: precursor processes to magmatic-hydrothermal mineralisation. *LITHOS* (2017), Vol. 278-281, pp. 491-512.
- Suárez, M., 1977. Notas Geoquímicas Preliminares del Batolito Patagónico al Sur de Tierra del Fuego, Chile, *Revista Geológica de Chile* N°4, pg. 15-33.
- Thomas, H. 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta Barriga. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 2, 86 p. 2 Mapas.
- U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2017, Germanium and Indium. Critical Mineral Resources of the United States-Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply.
- Universidad de Alicante, Proceso de floculación para la recuperación de Germanio en disolución. Oferta Tecnológica, Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación.
- Vallebuona, G., 2007, Reactivos y flotación. Class notes, Department of Mining Engineering, University of Chile.
- Vergara, M., Levi, B., Nyström, J., Cancino, A. 1995. Jurassic and Early Cretaceous island arc volcanism, extension and subsidence in the Coast Range of central Chile. *Geological Society of America Bulletin* 107: 1427–1440.
- Vivallo, W. Y Henriquez, F., 1998. Génesis común de los depósitos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile*, V. 25, N° 2, pp. 199-228.

- Wäckerling, S., 2007, Petrología y Geoquímica del Plutón Plomo, 47°00'S – 72°55'W, Región de Aysen, Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Zhang, S., Xue, X., Liu, X., Duan, P., Yang, H., Jiang, T., Wang, D., Liu, R., 2006, Current situation and comprehensive utilization of iron ore tailing resources. Journal of Mining Science, vol. 42, pg. 403-408.

8. Anexos

8.1. Anexo 1

Empresa	Deposito	Recurs o	Re gio n	V (pp m)	Cr (pp m)	Co (mg/ kg)	Zn (mg/ kg)	Rb (mg/ kg)	Sr (mg/ kg)	Nb (m g/k g)	Pb (mg/ kg)	SiO2 (%)	Al2O 3 (%)	Fe2O 3 (%)	La (mg/ kg)	Ce (mg/ kg)	Pr (mg/ kg)	Nd (mg/ kg)	Sm (mg/k g)	Gd (mg/ kg)	Yb (mg/ kg)
SOC. EXPLODE SA DOS AMIGOS (EX MINERA DOMEYK O)	DOME YKO 3	ORO- COBR E- PLAT A	III	144	39	<5	<5	31	204	<5	298	50,15	15,08	10,14	3,19	9,54	1,27	4,73	0,86	0,47	0,07
SOC. MINERA CANDELA RIA	CORO NA	COBR E	III	134	36	18	122	33	58	12	187	59,23	12,66	10,17	8,91	18,39	2,54	10,32	2,3	2,22	0,51
JOSE ARANDA (IRRIBAR REN)	FLORE NCIA 1	COBR E- ORO	III	131	832	20	407	39	229	<5	316	52,38	14,56	10,22	20,58	36,66	4,41	17,08	3,37	3,27	1,23
GILBERTO ACIAR T	EMBA LSE DE RELAV E	COBR E	III	143	498	18	76	33	495	10	102	52,54	15,53	10,25	16,48	32,09	4,06	16,46	3,55	3,35	1,29
LOS COBRES DE ATACAMA	TRAN QUE COBRE S DE ATAC AMA	COBR E	III	115	27	19	58	42	318	11	92	50,4	13,28	10,29	40,49	74,74	9,15	38,18	7,52	6,88	2,95
RODRIGO BARRERA BARRERA (EX NELSON SOTO)	MARIA ISABE L 1	COBR E	III	98	45	<5	627	132	171	7	269	52,04	16,54	10,38	5,57	15,6	1,93	7,32	1,48	1,21	0,6
RUBEN JOFRE	TRAN QUE DE RELAV E RUBEN JOFRE	S/I	III	217	102	<5	261	22	98	<5	7692	66,41	8,2	10,45	3,09	10,58	1,35	5,57	1,35	1,12	0,47
HERNAN SOLIS	SOLIS 2	ORO	III	158	65	<5	1247	40	85	<5	2078	66,91	7,56	10,87	2,39	7,96	1,09	4,09	0,88	0,87	0,37
HERNAN SOLIS	SOLIS 2	ORO	III	225	63	<5	106	40	46	<5	770	68,77	9,4	10,92	0,38	4,91	0,75	2,92	0,75	0,67	0,37
CIA EXPLORA CIÓN DE MINAS SAN ANDRÉS	ELISA DE BORD OS 1	COBR E	III	98	41	16	77	142	94	12	134	58,77	14,4	10,96	18,58	41,28	4,16	14,28	2,54	2,33	1,18
JOSE ARANDA (IRRIBAR REN)	FLORE NCIA 2	COBR E- ORO	III	94	33	22	210	31	116	8	232	47,54	8,08	11,03	23,63	54,69	7,78	34,96	13,25	23,23	13,49
PEDRO JESUS CASTILLO VEGA	RAPEL INA	ORO	III	118	106	18	88	60	118	10	78	57,38	12,81	11,06	13,21	24,47	3,1	12,3	2,52	2,34	0,95
RODRIGO BARRERA BARRERA (EX NELSON SOTO)	MARIA ISABE L 2	COBR E	III	47	29	<5	182	167	60	8	191	56,34	14,23	11,19	4,13	13,16	1,67	5,98	1,12	1,04	0,44
COMERCI AL LEDESMA REPRESEN TACIONES	PLANT A ANDR EA	ORO- COBR E	III	150	83	19	770	64	180	11	118	55,6	13,35	11,19	16,5	29,78	3,88	16,49	3,53	3,33	1,12
GILBERTO ACIAR T	EMBA LSE DE RELAV E	COBR E	III	358	117	18	281	28	112	9	11	50,46	12,85	11,3	20,31	57,79	7,14	31,07	7,64	7,65	2,77
SOC. GUERRER O HERMAN OS Y CIA. LTDA.	ARCA DIO	COBR E- ORO	III	135	42	17	114	53	88	10	101	55,74	11,93	11,33	21,86	42,33	5,23	20,35	4,3	4,15	1,98
RODRIGO BARRERA BARRERA (EX	MARIA ISABE L 2	COBR E	III	41	23	<5	123	136	35	8	183	64,88	11,72	11,35	4,23	11,79	1,38	5,27	1,05	0,95	0,55

NELSON SOTO)																					
MIGUEL DAY	DAY 2	ORO	III	131	150 3	20	735	31	224	7	776	55,27	11,26	11,35	12,41	23,89	3,1	11,96	2,48	2,41	0,96
DUÑO DESCONOCIDO QUEBRADA EL MORADO	NN 34		III	218	164	<5	1225	47	151	6	289	47,79	15,31	11,42	4,33	13,14	1,67	7,58	1,56	1,47	0,72
HERNAN SOLIS	SOLIS 2	ORO	III	192	137	<5	245	64	82	8	3119	62,51	13,42	11,58	5,5	13,46	1,56	6,03	1,33	0,93	0,41
MIGUEL DAY	DAY 2	ORO	III	131	122	20	496	44	193	9	1236	63,67	9,99	11,58	12,72	24,34	3,05	11,68	2,35	2,26	0,78
OP MINING CHILE SPA	EMBALSE OP	COBRE-ORO	III	130	50	22	180	42	82	6	232	50,4	10,92	11,84	25,89	49,11	5,91	22,97	4,6	4,96	1,79
SOC. MINERA CANDELARIA	CORONA	COBRE	III	140	110	20	241	62	203	7	324	52,78	11,24	12,01	12,97	26,46	3,41	13,11	2,62	2,67	0,89
MINEX S.A	EMBALSE SAN EDUARDO	COBRE	III	144	108 19	27	1242	40	196	<5	1706	46,39	11,33	12,08	7,75	15,28	1,89	7,62	1,57	1,43	0,69
MINERA SAN MARINO	PLANTA AURICOP	ORO-COBRE	III	120	96	38	574	66	126	6	349	52,75	13,84	12,16	6,68	13,47	1,81	7,29	1,77	1,99	1,15
DUÑO DESCONOCIDO	CACHI YUYO 1 2	COBRE	III	217	47	<5	216	41	129	<5	1614	63,43	10,43	12,35	3,43	8,11	1,06	4,59	0,92	0,9	0,42
SOC. GUERRERO HERMANOS Y CIA. LTDA.	ARCA DIO	COBRE-ORO	III	154	96	20	169	45	247	10	273	53,02	13,65	12,36	22,64	45,02	5,77	22,6	4,55	4,44	1,77
MINERA SAN MARINO	PLANTA AURICOP	ORO-COBRE	III	153	118	20	149	62	204	6	243	51,68	14,55	12,39	15,51	29,72	3,7	14,49	3,1	3,56	1,35
ELIAS RESK CONTRERAS (SOC. MINERA SANTA TERESA)	SANTA TERESA 1 2	ORO	III	181	190	16	99	26	278	<5	63	46,34	14,63	12,62	12,89	26,54	3,66	15,18	3,43	3,61	1,25
ZSC MINERAL S	MARIA ISABEL	HIERRO	III	173	90	24	95	69	173	7	185	62,65	8,89	12,63	18,54	37,62	4,98	17,45	3,8	3,39	1,21
INVERSIONES NUTRAM	COBRE NORTE	COBRE	III	123	98	30	134	47	113	5	304	44,31	9,84	12,89	49,63	69,14	6,89	24,12	3,59	4,21	1,57
SOC. GUERRERO HERMANOS Y CIA. LTDA.	ARCA DIO	COBRE-ORO	III	142	82	22	462	38	184	8	1221	59,82	9,94	13	15,75	31,27	3,93	15	3,08	2,68	1,36
JUAN FERNANDO DAY	DAY	COBRE-ORO	III	144	811	23	758	37	217	<5	757	51,74	13,2	13	62,33	35,73	4,08	15,61	3,2	3,34	1,38
JOSE ARANDA (IRRIBARREN)	FLORENCIA 1	COBRE-ORO	III	138	102	22	639	44	198	<5	574	54,19	12,59	13,11	20,79	33,9	4,1	15,85	3,13	2,97	1,21
ELIAS RESK CONTRERAS (SOC. MINERA SANTA TERESA)	SANTA TERESA 1 2	ORO	III	137	64	22	181	35	195	<5	126	50,51	12,36	13,16	27,45	50,14	5,9	21,6	4,04	4,67	1,58
DUÑO DESCONOCIDO (POSIBLE MARTA)	NN 32	COBRE-ORO	III	79	31	<5	1996	40	68	<5	587	54,29	10,63	13,41	2,73	9,32	1,19	5,55	1	1,02	0,47
SOTRATEC MINART	TRANQUE DE RELAVE	COBRE	III	121	94	25	57	31	103	11	146	67,62	8,57	13,42	11,4	21,17	2,65	10,47	2,26	1,91	0,96
CIA EXPLORACION DE MINAS SAN ANDRÉS	TRANQUE SAN ANDRÉS	COBRE	III	109	61	22	425	104	59	5	1946	63,75	8,53	13,66	10,73	18,4	2,52	9,03	2,55	1,72	0,64
COMERCIAL LEDESMA REPRESENTACION	PLANTA ANDREA	ORO-COBRE	III	123	87	22	671	70	49	5	157	59,03	10,56	14,15	29,45	48,45	4,95	17,37	2,83	2,79	0,78

TACIONES																					
SLM NENITA PRIMERA	TRAN QUE DE RELAVE	ORO	III	147	93	26	214	66	103	6	303	56,79	12,91	14,28	12,56	19,2	2,49	10,95	2,41	2,31	0,87
MINERA ALOE S.A (EX RÍO SAL)	NN 7	COBRE-ORO	III	139	109	23	484	39	211	<5	288	43,77	13,68	14,33	17,1	27,49	3,67	15,39	2,81	3,15	0,73
DUÑO DESCONOCIDO	CACHUYUYO 1 2	COBRE	III	204	54	<5	352	59	118	5	2376	54,38	13,96	14,38	3,93	12,38	1,61	6,11	1,22	1,09	0,54
SOC. EXPLODESA DOS AMIGOS (EX MINERA DOMEYKO)	DOMEYKO 2	ORO-COBRE-PLATA	III	203	61	31	2442	22	63	<5	8058	56,7	6,67	14,51	2,49	6,44	0,83	3,56	0,78	0,76	0,34
HERNAN SOLIS 1	SOLIS 1	ORO	III	212	51	<5	7777	38	74	<5	2496	59,22	9,95	14,76	6,45	13,08	1,53	5,51	1,18	0,77	0,5
HERNAN SOLIS 1	SOLIS 1	ORO	III	325	63	<5	11775	40	69	<5	12394	57,28	10,32	15,09	8,45	17,71	1,88	7,31	1,17	0,99	0,32
JOSE ARANDA (IRRIBAREN)	FLORENCIA 1	COBRE-ORO	III	124	194	26	350	58	44	<5	309	51,66	13,95	15,35	20,45	37,82	4,47	16,86	3,25	3,14	1,19
SOTRATACIONART	TRAN QUE DE RELAVE	COBRE	III	151	94	29	163	72	197	5	173	49,04	14,94	15,76	21,59	38,89	4,84	19,44	3,72	3,47	1,38
INVERSIONES NUTRAM	COBRE NORTE	COBRE	III	131	76	37	258	87	61	<5	722	50,82	12,03	15,84	64,78	87,68	8,57	28,49	4,73	5,02	1,9
JOSE ARANDA (IRRIBAREN)	FLORENCIA 2	COBRE-ORO	III	133	174	29	823	52	76	<5	751	50,08	13	16,06	28,62	49,49	5,28	19,45	3,61	3,12	1,11
DUÑO DESCONOCIDO	CAPOTE	ORO	III	201	207	426	1416	37	77	<5	27646	39,27	11,97	16,43	2,39	6,05	0,77	3,15	0,71	0,67	0,34
JUAN FERNANDO DAY	DAY	COBRE-ORO	III	101	67	26	69	23	<5	<5	46	51,83	9,83	16,62	12,68	30,16	4,38	19,17	4,71	5,79	5,12
CIA. CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA	CANDELARIA	COBRE	III	167	103	26	123	83	19	<5	54	49,05	12,59	16,7	77,51	132,58	13,7	45,65	6,7	4,81	1,99
NATIMAN FLORES DIAZ	OJOS DE AGUA	ORO	III	140	106	28	311	39	82	<5	1179	61,74	9,6	16,77	11,15	19,92	2,47	9,55	1,95	1,7	0,72
PLANTA MONSERRAT	MONSERRAT	ORO	III	130	131	31	387	29	45	<5	1041	64,03	8,57	16,86	5,67	9,71	1,16	4,49	0,92	0,9	0,43
GILBERTO ACIAR T	EMBALSE DE RELAVE	COBRE	III	127	186	35	193	43	49	<5	182	51,15	11,63	17,13	32,11	54,21	6,23	21,51	3,72	3,54	1,24
EDUARDO ALTAMIRANO	TRAN QUE DE RELAVE EDUARDO ALTA MIRANO	ORO-COBRE	III	153	115	221	142	33	73	<5	1564	51,22	10,21	17,7	9,76	18,99	1,77	6,41	1,09	1,18	1,26
SOC. EXPLODESA DOS AMIGOS (EX MINERA DOMEYKO)	DOMEYKO 2	ORO-COBRE-PLATA	III	207	77	<5	2471	26	61	<5	7069	54,23	7,46	17,72	4,27	8,5	1,02	4,57	0,91	0,81	0,29
EDUARDO ALTAMIRANO	TRAN QUE DE RELAVE EDUARDO ALTA MIRANO	ORO-COBRE	III	203	90	358	179	65	78	<5	2289	44,42	17,14	17,87	19,71	31,83	2,66	8,66	1,43	1,29	1,53
INVERSIONES NUTRAM	COBRE NORTE	COBRE	III	136	81	29	144	99	23	<5	336	49,66	12,18	17,88	32,02	45,19	4,86	19,89	4,19	4,71	2,11

ELIAS RESK CONTRERAS (SOC. MINERA SANTA TERESA)	SANTA TERESA 1 2	ORO	III	138	78	27	33	30	177	<5	14	52,8	13,4	17,91	24,85	39,19	4,11	14,5	2,73	2,94	1,23
DUENO DESCONOCIDO	CAPOTE	ORO	III	194	285	325	781	43	95	<5	32868	30,76	14,26	17,95	5,13	5,48	0,75	3,53	0,96	0,93	0,96
NELSON ZUÑIGA CARVAJAL	TRANQUE DE RELAVE	COBRE	III	166	120	39	105	34	103	<5	186	45,94	12,66	18,04	57,44	104,97	12,07	38,08	6,94	6,94	3,12
SOC. PUNTA DEL COBRE S.A.	LAS CRUCES	COBRE	III	127	79	25	58	73	<5	<5	39	48,82	12,13	18,1	10,3	18,94	2,32	10,09	1,48	1,14	0,28
SCM ATACAMA KOZAN	EL GATO	COBRE	III	170	78	28	91	40	84	<5	84	50,06	13,06	18,28	39,79	65,31	7,57	27,93	5,26	4,52	2,05
JUAN FERNANDO DAY	DAY	COBRE-ORO	III	90	73	24	78	17	<5	<5	50	48,12	7,75	18,46	9,75	23,34	3,39	14,75	3,96	5,2	5,33
COEMIN S.A.	TRANQUE DE RELAVE 1	COBRE	III	122	106	26	776	80	14	<5	68	48	11,99	18,5	28,18	64,99	8,55	39,87	8,79	10,29	4,33
DUENO DESCONOCIDO	CAPOTE	ORO	III	206	229	<5	368	40	77	<5	27248	40,86	12,87	18,53	1,96	8,52	1,18	4,56	1,09	0,9	0,36
CMC SALI HOCHSCHILD S.A.	OJANCOS 1	COBRE	III	81	62	25	100	8	28	<5	811	30,28	6,08	19,1	9,65	19,32	2,7	11,59	2,11	2,41	1,4
MIGUEL DAY	DAY 2	ORO	III	146	204	66	216	49	107	<5	412	50,31	11,83	19,11	11,6	22,02	2,72	10,13	2,04	2,4	1,29
SOC. PUNTA DEL COBRE S.A.	LAS CRUCES	COBRE	III	124	105	30	60	53	<5	<5	38	48,71	11,46	19,33	13,91	27,12	3,07	12,73	2,57	2,76	2,16
DUENO DESCONOCIDO	CAPOTE	ORO	III	159	266	<5	168	34	115	<5	24884	40,49	11,48	19,4	0,83	5,66	0,77	3,46	0,79	0,83	0,53
INVERSIONES NUTRAM	COBRE NORTE	COBRE	III	154	124	31	43	100	20	<5	48	48,99	12,33	19,72	61,74	86,79	8,69	31,42	5,32	6,37	2,21
CIA. CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA	CANDELARIA	COBRE	III	166	129	29	113	74	<5	<5	49	47,39	12,42	19,84	87,67	153,55	15,9	55,2	6,92	5,78	2,18
PEDRO JESUS CASTILLO VEGA	RAPELINA	ORO	III	53	180	19	90	11	6	<5	88	11,55	3,5	20,11	8,71	14,74	1,89	7,14	1,39	1,22	0,82
ENAMI PLANTA MATTA	TRANQUE DE RELAVE 3	COBRE	III	102	90	34	185	59	<5	<5	95	52,77	10,86	20,29	42,24	63,7	6,13	18,57	2,65	2,51	0,79
ENAMI PLANTA MATTA	TRANQUE DE RELAVE 3	COBRE	III	116	79	42	98	32	<5	<5	304	41,45	9,27	20,53	12,34	21,5	2,35	9,09	1,32	1,51	0,69
ENAMI PLANTA MATTA	TRANQUE DE RELAVE 3	COBRE	III	133	95	40	138	46	16	<5	305	47,2	11,13	20,66	28,14	44,81	4,33	13,52	1,31	1,85	0,48
HNOS. NUÑEZ	LLAUCAVEN 1	ORO-COBRE	III	115	86	29	96	53	44	<5	151	58,14	10,09	20,69	16,3	34,76	4,48	16,95	4,24	4,56	2,27
NELSON ZUÑIGA CARVAJAL	TRANQUE DE RELAVE	COBRE	III	174	128	39	134	32	80	<5	250	46,8	12,33	20,93	74,93	106,9	9,92	31,83	5,67	5,41	2,45
ELIAS RESK CONTRERAS (SOC. MINERA SANTA TERESA)	SANTA TERESA 1 2	ORO	III	160	102	32	114	23	117	<5	58	48,08	12,73	21,36	78,09	133,25	13,29	42,36	5,57	6,02	1,56
ENAMI PLANTA MATTA	TRANQUE DE RELAVE 3	COBRE	III	145	104	48	88	36	15	<5	356	43,16	11,31	22,31	13,88	22,29	2,2	8,5	1,32	1,43	0,54

COEMIN S.A.	TRANQUE DE RELAVE 1	COBRE	III	132	115	33	249	62	<5	<5	55	43,85	12	22,62	34,63	56,23	5,55	22,2	3,7	4,36	2,13
COEMIN S.A.	TRANQUE DE RELAVE 1	COBRE	III	124	130	34	764	67	<5	<5	75	42,57	11,43	22,63	24,95	42,09	4,38	20,44	3,28	4	1,68
SCM ATACAMA KOZAN	EL GATO	COBRE	III	153	95	33	60	58	<5	<5	52	51,75	11,01	22,94	48,68	76,55	8,57	29,68	3,94	4,35	1,76
SOC. CAPOTE	CAPOTE		III	249	233	<5	186	25	69	<5	21601	42,71	11,21	23,43	2,18	7,4	1	4,17	0,97	0,9	0,49
CMC SALI HOCHSCHILD S.A.	BODEGA ALTO 3	COBRE-ORO	III	99	95	36	56	10	23	<5	106	37,82	7,4	24,28	14,06	26,81	3	12,67	2,6	2,77	2,29
ELIAS RESK CONTRERAS (SOC. MINERA SANTA TERESA)	SANTA TERESA 1 2	ORO	III	177	130	33	98	20	112	<5	36	43,61	12,67	24,32	115,97	189,77	18,7	57,21	7,01	7,15	1,53
INVERSIONES NUTRAM	COBRE NORTE	COBRE	III	147	131	43	41	87	<5	<5	40	47,54	11,84	25,11	33,49	43,04	4,44	15,93	3,18	3,38	1,69
SCM ATACAMA KOZAN	EL GATO	COBRE	III	163	94	39	66	48	<5	<5	91	47,06	10,13	25,57	51,48	83,41	9,04	30,72	5,36	4,87	1,98
SCM ATACAMA KOZAN	EL GATO	COBRE	III	157	96	38	77	50	<5	<5	68	48,96	10,7	26,17	51,63	79,62	8,52	31,13	4,43	4,73	1,86
DUENO DESCONOCIDO (POSIBLE MARTA)	NN 32	COBRE-ORO	III	100	60	<5	3771	22	47	<5	647	32,43	8,88	26,92	3,85	11,22	1,36	5,93	1,14	1,04	0,48
CMC SALI HOCHSCHILD S.A.	BODEGA ALTO 4	COBRE-ORO	III	85	94	41	27	<5	<5	<5	12	47,3	6,83	26,98	35,62	64,08	6,99	28,84	4,48	3,36	2,15
OP MINING CHILE SPA	FARAH	COBRE-ORO-FIERRO	III	110	81	40	47	30	<5	<5	50	44,94	9,9	27,05	91,66	157,55	13,52	38,93	4,21	4,82	0,8
ENAMI PLANTA VALLENER	TRANQUE DE RELAVE	COBRE	III	153	125	37	26	18	<5	<5	14	50,55	10,77	27,69	15,74	25,55	3,45	14,59	2,97	3,07	1,2
ENAMI PLANTA VALLENER	TRANQUE DE RELAVE	COBRE	III	149	116	38	31	27	<5	<5	27	48,02	10,13	28,1	18,67	30,5	3,94	15,26	3,08	3,34	1,31
SOC. CONTRACTUAL MINERA ALIANZA	TRANQUE DE RELAVE 3	COBRE	III	146	105	39	29	12	<5	<5	8	49,35	11,45	28,42	6,84	18,37	2,98	11,39	3,1	3	1,92
SOC. CONTRACTUAL MINERA ALIANZA	TRANQUE 3	COBRE	III	142	104	39	25	10	<5	<5	7	49,61	11,07	28,5	7,84	19,74	2,81	11,38	3,35	2,9	1,84
ENAMI PLANTA VALLENER	TRANQUE DE RELAVE	COBRE	III	131	137	38	42	19	<5	<5	83	48,51	9,1	28,64	31,01	44,96	5,11	20,25	3,93	3,47	1,21
CIA. MINERA DEL PACIFICO	ESPESADOS	HIERRO	III	116	195	73	25	18	29	<5	17	36,03	10,64	29,01	49,1	72,37	7,2	22,05	3,15	2,97	0,84
SOC. CONTRACTUAL MINERA ALIANZA	TRANQUE 2	COBRE	III	125	119	39	26	18	<5	<5	8	50,68	10,42	29,23	6,43	13,33	1,88	8,15	1,7	1,88	0,81
CIA EXPLORACION DE MINAS SAN ANDRÉS	ELISA DE BORDOS 3	COBRE	III	111	121	42	96	16	5	<5	28	41,48	10,3	29,79	48,35	74,88	7,99	25,26	3,43	3,6	1,3
OP MINING CHILE SPA	FARAH	COBRE-ORO-FIERRO	III	111	90	46	46	25	<5	<5	49	38,51	9,8	30,72	169,62	273	24,7	70,43	7,35	8,59	0,99
PEDRO JESUS	RAPELINA	ORO	III	111	557	37	332	16	34	<5	237	36,6	7,27	31,09	26,33	50,81	6,37	23,8	4,29	3,4	1,35

CASTILLO VEGA																						
CIA EXPLORACION DE MINAS SAN ANDRÉS	ELISA DE BORDOS 3	COBRE	III	100	112	43	26	10	<5	<5	22	43,59	8,98	31,2	24,92	40,15	4,25	13,81	2,57	2,65	1,1	
SOC. CONTRACTUAL MINERA ALIANZA	TRANQUE 2	COBRE	III	135	119	42	28	12	<5	<5	7	49,19	9,73	31,63	6,62	14,73	2,12	8,77	1,88	1,81	0,92	
SINDICATO ART. MINERO POZO SECO	TRANQUE DE RELAVE	ORO	III	115	128	44	65	19	<5	<5	49	46,49	5,99	33,28	8,31	11,74	1,55	6,54	1,06	1,59	0,74	
SLM CHARLOTTE	CHARLOTTE 2	COBRE	III	290	89	473	64	11	74	<5	466	46,05	8	34,25	28,81	47,81	4,51	15,1	2,49	2,14	0,88	
DUÑO DESCONOCIDO (POSIBLE FAMILIA CALLEJAS)	NN 33		III	195	116	<5	53	19	33	<5	21	27,15	13,6	34,61	0,62	5,06	0,7	3,29	0,69	0,68	0,31	
DUÑO DESCONOCIDO (POSIBLE FAMILIA CALLEJAS)	NN 33		III	172	82	<5	6	15	28	<5	17	20,06	12,13	41,41	0,18	4,09	0,58	2,55	0,51	0,57	0,26	
CIA. MINERA FORTUNA LTDA.	EMBALSE 4	COBRE	III	105	6895	60	6267	12	43	<5	2324	28,61	5,42	52,22	11,13	20,52	2,39	8,43	1,5	1,4	0,58	
ZSC MINERAL S	MARÍA ISABEL	HIERRO	III	89	190	92	24	<5	<5	<5	14	22,78	3,75	60,36	36,88	64,7	6,66	18,95	2,64	2,31	0,79	
CODELCO SALVADOR	FILTADO POTRE RILLO	COBRE-MOLIBDENO	III	144	674	88	1861	12	<5	<5	300	11,67	5,85	77,07	18,16	34,46	3,56	12,87	2,35	2,13	0,92	
R. MENA D.	CENTRAL	ORO	IV	172	73	17	40	79	503	23	21	50,23	14,77	10,04	85,77	61,14	8,19	29,9	5,6	4,56	1,37	
LEOPOLDO HERNANDEZ	TRANQUE 1-2	COBRE-ORO	IV	107	84	19	41	48	39	15	437	71,31	8,15	10,05	8,95	18,61	2,54	11,87	2,4	2,3	1	
HECTOR GAHONA	BLANQUITA	COBRE-ORO	IV	107	42	13	31	7	150	7	19	49,62	5,21	10,07	108,82	130,09	10,82	32,21	4,44	4,59	1,9	
HECTOR GAHONA	BLANQUITA	COBRE-ORO	IV	107	42	13	31	7	150	7	19	49,62	5,21	10,07	108,82	130,09	10,82	32,21	4,44	4,59	1,9	
MINERA DON ALBERTO	LAS VACAS 1	ORO	IV	166	74	18	73	65	186	12	20	59,38	15,36	10,08	32,34	59,24	8,05	31,17	6,16	6,16	2,6	
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 1	ORO	IV	116	54	18	43	48	99	14	106	67,96	11,81	10,08	11,02	23	2,87	13,06	2,38	1,68	1,29	
SERGIO CONTADOR	PAJONALES	COBRE	IV	203	72	17	202	87	408	12	81	41,09	14,04	10,09	19,09	41	5,92	25,45	6,15	4,5	2,33	
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 2A	COBRE-ORO	IV	99	63	18	37	59	23	13	393	69,98	9,99	10,12	8,5	17,37	2,4	9,61	2,19	1,71	0,85	
ROBERTO CORTES	LLAHUIN	ORO-PLATA	IV	80	75	20	74	26	70	14	1540	74,62	6,35	10,14	16,81	32,69	4,42	18,68	3,55	3,78	1,66	
DUÑO DESCONOCIDO	NN 3	COBRE-ORO	IV	148	67	18	70	56	261	<5	143	58,47	14,47	10,17	140,81	31,21	4,27	17,91	3,69	3,47	1,47	
DUÑO DESCONOCIDO	NN 11	COBRE-ORO	IV	149	75	18	109	26	235	<5	44	54,45	13,79	10,18	11,05	22,94	3,32	14,09	3,72	3,16	1,1	
SLM ANTA COLLA 1	ANTA COLLA 1	NO APLICACION	IV	174	84	18	116	62	310	18	84	48,82	16	10,18	18,51	37,04	4,76	20,49	4,65	4,29	1,79	
SLM ANTA COLLA 2	ANTA COLLA 2	COBRE-ORO	IV	176	81	18	117	59	304	13	91	53,03	15,75	10,19	19,01	36,8	4,65	20,06	4,58	4,2	1,85	
CIA. MINERA ARENILLAS	ARENILLAS 3	ORO	IV	131	60	26	39	43	188	6	11	48,02	16,17	10,22	5,57	29,32	3,82	15,35	3,26	3,78	1,83	
CIA. MINERA ARENILLAS	ARENILLAS 3	ORO	IV	131	60	26	39	43	188	6	11	48,02	16,17	10,22	5,57	29,32	3,82	15,35	3,26	3,78	1,83	

S																					
SLM FLAMENCA	LETICIA 1	ORO	IV	141	102	19	40	28	186	16	54	61,63	12,96	10,24	9,65	19,88	2,99	12,47	2,98	2,81	1,26
MINERAS LOS CRISTALES DIVISADERO S.LTDA.	LOS CRISTALES DIVISADERO 12	COBRE	IV	179	121	18	102	55	425	6	40	49,92	15,41	10,28	37,32	60,25	7,12	26,58	5,43	5,11	1,71
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 1	COBRE-ORO	IV	115	129	19	89	51	121	12	501	68,28	10,36	10,33	9,84	19,42	3,03	10,84	3,09	2,83	1,06
LEOPOLDO HERNANDEZ	TRANQUE 1-2	COBRE-ORO	IV	127	74	19	354	50	181	9	1700	66,81	9,53	10,35	13,29	24,26	3,83	13,57	3,05	2,8	1,02
MINERA CONDOR S.A	LAMBERT 2	ORO	IV	162	46	18	52	16	93	14	15	46,71	16,2	10,39	7,12	15,53	2,28	10,23	2,59	2,87	1,39
PIZZARRO, GUERRA Y CIA. (WILSON PIZARRO GUERRA)	IRENE 1	ORO	IV	174	67	17	183	40	133	10	67	52,8	13,64	10,39	31,34	62,2	8,24	33,45	6,99	5,86	2,1
TRIMERALS (EX RMC LAS BARRACAS)	EMBALSE DE RELAVES	ORO	IV	231	73	17	114	83	385	9	23	51,7	16,39	10,39	20,38	44,15	6,7	26,17	5,58	5,76	2,08
HECTOR GONZALEZ CASTILLO	HUANA 2	COBRE	IV	227	29	16	146	78	132	13	57	49,98	15,68	10,4	19,82	46,04	6,36	29,38	6,72	6,73	2,92
MINERA TALCUNA LTDA.	TALCUNA 3	COBRE	IV	173	58	18	184	86	198	18	137	41,56	19,95	10,45	13,52	31	4,62	21,7	5,21	5,48	2,77
DARIO CORTES	PUNTA CALETONES 4	COBRE-ORO	IV	153	61	20	152	45	62	14	68	57,5	14,64	10,47	45,31	38,33	5,04	20,78	4,81	3,74	1,61
GERARDO TORO	ANA MARÍA 2	COBRE-ORO	IV	203	78	17	100	54	370	16	52	52,29	16,78	10,47	14,63	32,91	4,54	19,93	4,44	4,66	1,71
EDUARDO LERY LERY	KATTIA 3	COBRE	IV	93	36	19	50	47	<5	7	99	60,18	11,54	10,51	5,45	12,55	1,97	9,39	1,92	2,12	1,48
SOC. AGUIRRE MOYANO LTDA.	TRANQUE ORIENTE	ORO	IV	254	192	17	174	71	214	13	35	52,42	14,73	10,51	13,45	27,81	4	15,07	4,07	4,01	2,03
BELTRAN DEL TRANSITO PIZARRO	MARIANITA	ORO	IV	201	51	17	154	70	356	5	25	49,95	17,21	10,52	15,95	33,01	4,64	19,81	4,77	4,5	1,76
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 2B	COBRE-ORO	IV	74	56	19	29	43	<5	12	33	67,15	7,83	10,6	5,05	10,68	1,41	5,4	0,95	0,6	0,42
MINERA CONDOR S.A	LAMBERT 3	ORO	IV	161	66	24	154	34	95	14	327	50,02	14,92	10,63	12,76	23,74	3,14	12,45	2,84	2,89	1,28
CIA. MINERA TAHUINCO	EL ARENAL	COBRE-ORO	IV	136	59	13	187	32	271	<5	126	47,86	14,42	10,64	10,14	19,24	2,93	12,13	2,8	2,67	1,19
SOC. EXPLOTADORA MINERARA LTDA.	EMBALSE DE RELAVE	COBRE	IV	192	72	16	162	135	117	12	43	49,05	18,12	10,66	16,76	36,77	5,04	20,88	4,69	4,53	2,06
EDUARDO LERY LERY	KATTIA 1	COBRE	IV	80	78	26	31	26	<5	<5	45	68,28	8,55	10,69	6,16	13,56	1,99	8,38	1,74	2,35	0,87
SOC. MINERA ALTAMIRA	EL BRONCE	COBRE-ORO	IV	136	70	18	145	65	106	11	218	59,48	13,22	10,7	20,34	43,09	5,65	21,29	3,72	3,72	1,56
JAIME PEREZ GOMEZ	EL ROMERO 2	COBRE	IV	141	76	17	109	141	91	10	219	52,69	15,28	10,7	11,18	25,68	4,05	12,23	3,4	3,01	1,27
MINERAS JUNTAS (EX MINAS SAN ANDRES)	RELAVES ANTIGUOS	COBRE-ORO	IV	107	51	15	302	41	96	8	55	30,36	11,9	10,71	31,51	33,46	4,34	17,05	2,98	3,21	1,29
DUÑO DESCONO	NN 11	COBRE	IV	124	46	15	407	11	132	<5	71	53,61	11,1	10,79	8,75	25,61	2,74	12,08	3,39	3,26	1,5

CIDO		ORO																				
EDUARDO LERY LERY	KATTIA 3	COBRE	IV	154	58	18	52	66	111	12	116	53,22	17,95	10,81	8,58	20,78	3,31	14,07	3,07	3,11	1,75	
PIZARRA, GUERRA Y CIA. (WILSON PIZARRA GUERRA)	IRENE 3	ORO	IV	181	56	18	242	49	57	12	39	50,2	15,29	10,83	140,76	23,81	3,34	15,38	3,46	3,47	1,51	
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 1	ORO	IV	118	48	19	41	57	75	15	247	65,63	11,68	10,84	11	24,33	3,34	12,91	2,64	2,04	1,07	
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPÓSITO	COBRE-ORO	IV	131	69	28	70	58	362	<5	41	43,15	12,12	10,85	8,41	19,05	2,63	11,65	2,4	2,31	1,32	
COMPANÍA MINERA QUEBRADA HONDA (EX SOC. MINERA SAN ALEJANDRO LTDA.)	SAN ALEJANDRO (EX TRAPICHE 1 2)	COBRE-ORO	IV	134	77	22	82	61	118	7	166	58,18	12,61	10,89	26,7	44,2	5,25	19,65	3,53	3,41	1,36	
LUIS DONOSO GARCIA HUIDOBRO	ARIZONA 1	ORO-COBRE-PLATA	IV	248	242	17	167	45	239	17	132	44,35	15,35	10,89	10,96	37,67	4,91	20,7	4,7	4,46	1,09	
LUIS DONOSO GARCIA HUIDOBRO	ARIZONA 1	ORO-COBRE-PLATA	IV	248	242	17	167	45	239	17	132	44,35	15,35	10,89	10,96	37,67	4,91	20,7	4,7	4,46	1,09	
JUAN POLO OSSES	TRANQUE DE RELAVES PLANTA TUNQUEN	COBRE	IV	207	120	18	100	50	358	15	63	52,23	18,29	10,9	13,17	40,35	3,94	15,11	2,7	3,22	1,14	
WALDO FERREL OJAVO	PUNITAQUI 1	ORO	IV	117	56	21	89	45	56	7	124	55,52	10,27	10,95	18,47	37,63	4,59	20,44	3,99	3,85	1,48	
SOC. AGUIRRE MOYANO LTDA.	TRANQUE PONIENTE	ORO	IV	131	61	17	44	92	<5	11	642	58,3	13,55	10,95	12,8	29,52	3,84	18,25	4,14	4,71	1,36	
MINERA DON ALBERTO	LAS VACAS 1	ORO	IV	147	111	18	200	76	129	6	223	47,81	15,23	10,98	13,41	27,93	4,3	16,49	3,53	3,32	1,15	
DUEÑO DESCONOCIDO	NN 11	COBRE-ORO	IV	127	58	19	82	18	99	7	54	55,87	12,69	11	8,91	17,45	2,53	11,01	3,23	2,62	0,96	
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 0	COBRE-ORO	IV	102	151	20	53	31	53	9	392	73,63	7,02	11,06	6,91	14,6	1,9	9,06	2,24	1,62	0,97	
ENAMI DELTA	DELTA	COBRE	IV	215	104	18	62	69	149	13	26	49,01	17,13	11,06	24,3	47,49	7,33	29,64	6,33	5,98	2,21	
CIA. MINERA KALLEU	CANELA 3	COBRE-ORO	IV	144	65	21	78	56	382	10	89	58,53	14,99	11,07	15,57	44,42	4,49	18,49	4,32	3,58	1,26	
SCM VENTANA MINERALS	EX LA COLOMIA 2	COBRE	IV	190	63	18	135	89	254	9	53	44,38	16,53	11,08	21,6	47,11	6,1	26,05	5,65	5,51	1,79	
REGINALDO CALLEJAS	NN 10	ORO	IV	210	85	18	91	46	360	26	49	50,32	17,48	11,21	17,37	34,49	5,44	21,85	4,96	4,21	1,7	
RALGOMET LTDA. (OSCAR MUNIZAGA)	MÁSTER 2	COBRE-ORO	IV	111	55	17	127	91	35	11	101	47,45	15,42	11,26	21,65	25,92	3,84	13,26	2,83	2,41	1	
RALGOMET LTDA. (OSCAR MUNIZAGA)	MÁSTER 1	COBRE-ORO	IV	154	75	19	105	24	91	15	83	54,09	14,36	11,27	10,78	21,19	3,05	12,91	2,85	2,42	1,11	
CIA. MINERA CLAUDIO ALBERTO ISA	TRANQUE DE RELAVES	COBRE-ORO	IV	180	92	21	325	86	131	6	475	52,85	13,92	11,28	13,9	39,92	4,17	17,04	4,09	3,87	1,57	
SOC. MINERA ALTAMIRA	EL BRONCE	COBRE-ORO	IV	111	54	20	131	61	42	10	195	67,25	11,46	11,29	10,74	18,2	2,1	9,04	2,24	1,74	1,09	

ENAMI DELTA	DELTA	COBRE	IV	168	64	19	184	42	59	7	83	51,56	15,31	11,29	20,68	43,65	6	24,42	5,46	4,88	1,98
LEOPOLDO HERNANDEZ	TRANQUE 1-2	COBRE-ORO	IV	100	77	19	78	40	20	13	485	67,49	7,92	11,33	10,45	22,13	3,07	12,95	3,41	3,49	1,62
MINERA ILLAPEL S.A	ILLAPEL 1 2 3	COBRE	IV	154	77	21	270	52	177	7	105	54,25	14,76	11,33	15,32	29,61	4,17	17,94	4,52	3,29	1,48
SERGIO CONTADOR	PAJONALES	COBRE	IV	164	51	19	128	64	237	6	42	48,27	16,49	11,34	20,9	43,48	6,13	27,47	6,19	5,1	2,47
GERARDO TORO	ANA MARÍA 1	COBRE-ORO	IV	213	88	18	93	48	376	13	55	51,55	16,26	11,36	14,2	32,9	4,57	19,8	4,44	3,67	1,43
SOC. EXPLOTADORA MINERA RA LTDA.	EMBALSE DE RELAVE	COBRE	IV	188	84	15	170	110	25	8	33	44,24	15,37	11,36	11,86	27,78	3,91	16,49	3,33	3,81	1,48
JUAN SALINAS	EL HUILMO 2	ORO	IV	188	54	19	72	47	399	9	48	52,41	15,75	11,39	37,25	81,64	10,72	47,52	8,73	8,26	2,16
JUAN POLOSSES	RELAVES 1	COBRE	IV	155	132	19	63	54	178	6	370	57,52	12,59	11,48	17,67	35,69	4,08	16,04	3,8	2,84	0,83
MINERA DON ALBERTO	LAS VACAS SUR	COBRE	IV	111	107	21	125	46	25	7	612	68,71	8,48	11,5	9,07	17,1	2,15	8,56	1,98	1,92	0,87
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPÓSITO	COBRE-ORO	IV	81	67	19	27	22	<5	18	69	73,66	5,51	11,51	3,86	7,68	1,01	3,96	0,5	0,52	0,26
JORGE HONORES MILLA	VICTORIA 2	COBRE-ORO	IV	206	97	19	121	82	216	10	47	54,05	16,4	11,52	20,82	49,25	5,85	27,61	5,71	5,13	2,32
DARIO CORTES	PUNTA CALETONES 4	COBRE-ORO	IV	173	59	19	106	45	59	15	72	56,54	14,82	11,61	25,41	48,5	6,19	25,86	4,41	3,36	1,29
SOC. SANTA CAMILA	CAMILA 1 2	ORO	IV	154	86	22	32	35	54	9	61	66,51	10,41	11,68	12,29	19,02	2,81	12,27	2,75	2,51	1,18
SOC. AGUIRRE MOYANO LTDA.	TRANQUE PONIENTE	ORO	IV	192	123	21	174	77	210	10	960	50,07	16,42	11,7	16,05	35,92	4,88	18,88	4,31	3,81	1,46
PUENTE NEGRO	PUENTE NEGRO	COBRE	IV	73	39	12	1448	9	<5	<5	1773	46,07	5,53	11,74	11,7	21	3,01	9,58	2,05	2,58	1,59
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 0	COBRE-ORO	IV	103	32	27	31	47	<5	10	31	61,12	11,82	11,75	11,24	28,92	4,1	17,72	2,7	3,71	1,59
SOC. MINERA MONTE ALTO	SEGURA 1 2	COBRE-ORO	IV	120	139	22	55	16	101	9	102	60,75	9,46	11,78	8,69	19,23	2,83	12,62	3,06	2,35	0,91
RENÉ SOLIS VEGA	TRANQUE DE RELAVES 1	COBRE	IV	112	50	12	91	16	151	<5	31	41,8	13,99	11,78	47	27,26	3,53	14,98	4,05	3,53	1,54
MINERA DON ALBERTO	LAS VACAS 1	ORO	IV	147	97	19	85	54	110	6	73	53,29	13,54	11,85	17,94	34,31	5,05	19,94	4,35	3,58	1,39
HECTOR GAHONA	BLANQUITA	COBRE-ORO	IV	124	67	17	57	15	194	5	165	52,94	8,1	11,89	90,69	119,75	9,35	28,83	4,22	4,26	1,72
HECTOR GAHONA	BLANQUITA	COBRE-ORO	IV	124	67	17	57	15	194	5	165	52,94	8,1	11,89	90,69	119,75	9,35	28,83	4,22	4,26	1,72
SOC. ZEPEDA Y ALVAREZ	TRANQUE (ZEPE DA Y ALVAREZ)	ORO	IV	173	71	20	117	42	286	8	49	48,31	14,92	11,99	43,37	54,33	6,87	28,39	5,49	5,81	1,83
GUILLERMO DELGADO	ASIENTO VIEJO 3	ORO	IV	108	80	31	130	35	6	6	277	63,06	8,15	11,99	10,14	19,87	3,03	13,35	3,49	4,3	1,58
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 1	ORO	IV	114	82	20	60	67	71	8	248	60,15	13,75	12,01	10,51	21,6	3,42	12,5	2,95	2,27	1,02
BELTRAN DEL TRANSITO PIZARRO	MARIANITA	ORO	IV	133	76	18	799	27	68	5	1389	57,37	9,53	12,04	8,54	18,97	2,7	11,4	2,56	2,74	1,49
ROBERTO CORTES	LLAHUIN	ORO-PLATA	IV	105	59	21	125	23	42	7	671	71,32	8,3	12,1	7,07	13,2	1,97	8,41	2,25	1,95	0,72
RUBILAA • N GONZALEZ (EX GUSTAVO ALVAREZ)	SAN MARTIN	COBRE-ORO	IV	131	60	19	243	53	71	13	345	60,69	10,29	12,16	13,25	25,01	3,32	13,77	2,85	2,64	1,3

SLM AUCO (EX ODE AGUAD MONTENE GRO)	AUCO	COBRE-ORO	IV	119	122	23	58	50	45	5	279	64,12	11,35	12,2	6,93	13,98	1,86	8,55	2,11	2,18	0,97
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 1	COBRE-ORO	IV	102	101	23	49	40	8	8	476	73,89	7	12,24	13,48	23,54	2,7	10,46	2,96	1,53	0,5
CIA. MINERA TAMAYA	DELIRIO 2	COBRE-ORO	IV	167	99	34	44	46	255	10	51	56,94	14,36	12,25	13,67	50,82	6,93	27,64	6	5,18	2,67
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPÓSITO	COBRE-ORO	IV	143	31	17	53	41	499	<5	63	46,19	12,94	12,32	14,52	32,95	4,27	19,01	4,13	4	1,54
DUÑO DESCONOCIDO	NN 5	COBRE-ORO	IV	106	115	23	228	25	<5	6	796	74,16	6,39	12,43	14,61	22,97	2,48	9,66	2,02	1,72	1
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 0	COBRE-ORO	IV	113	168	21	159	42	42	6	452	67,25	9,48	12,45	8,3	17,26	2,57	10,16	2,54	2,17	1,14
FERNANDO YOUNG UGALDE	CANELA	ORO	IV	115	106	21	65	57	82	9	571	63,39	11,12	12,46	14,04	28,95	3,83	14,97	2,93	3,46	1,51
MINERA DON ALBERTO	LAS VACAS 2	ORO	IV	174	69	25	37	9	60	14	21	52,19	14,03	12,46	34,94	67,55	10,24	37,92	7,4	6,45	2,57
EDUARDO LERY LERY	KATTIA 2	COBRE	IV	114	54	24	48	58	47	<5	58	56,7	15,1	12,47	7,8	17,19	2,41	11,41	2,69	2,24	0,81
SOC. ZEPEDA Y ALVAREZ	TRANQUE DE RELAVE (ZEPE DA Y ALVAREZ)	ORO	IV	164	49	17	192	34	300	<5	75	46,62	15,76	12,48	31,08	60,33	7,67	32,96	7,42	6,26	2,16
JUAN POLO OSSÉS	TRANQUE DE RELAVES PLANTA TUNQUEN	COBRE	IV	96	133	22	45	25	<5	<5	43	63,61	8,88	12,48	5,56	14,56	2,07	9,31	1,39	0,97	0,55
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 1	COBRE-ORO	IV	119	59	33	32	29	28	8	166	61,41	12,2	12,55	10,86	25,48	3,38	14,85	3,3	2,51	1,06
SOC. ZEPEDA Y ALVAREZ	TRANQUE DE RELAVE (ZEPE DA Y ALVAREZ)	ORO	IV	181	84	21	179	35	347	8	71	48,34	15,31	12,57	23,81	44,3	5,43	22,76	4,39	4,53	1,47
SOC. SANTA CAMILA	CAMILA 1 2	ORO	IV	156	85	34	68	33	39	11	114	60,51	12,87	12,65	13,6	25,31	4,09	17,4	3,92	4,31	4,4
ROBERTO CORTES	LLAHUIN	ORO-PLATA	IV	139	68	23	67	35	291	9	789	60,66	13,16	12,66	10,59	20,89	2,92	12,19	2,79	2,5	0,93
JUAN SALINAS	EL HUILMO 1	ORO	IV	190	51	22	138	55	221	7	72	47,2	17,05	12,66	20,22	46,22	6,32	29,47	5,84	5,91	1,83
EDUARDO LERY LERY	KATTIA 1	COBRE	IV	118	79	24	56	51	33	<5	54	56,9	14,27	12,67	6,01	13,65	1,52	7,51	1,93	1,81	0,92
EDUARDO LERY LERY	KATTIA 2	COBRE	IV	112	65	21	51	50	38	5	68	55,29	13,67	12,71	9,01	20,45	3,18	12,23	2,18	3,21	1,08
CIA. MINERA TAHUINCO	EL ARENAL	COBRE-ORO	IV	231	99	24	355	29	409	7	575	57,64	10,57	12,81	9,92	19,96	2,87	11,78	2,68	2,85	1,04
JUAN SALINAS	EL HUILMO 1	ORO	IV	174	59	20	76	40	326	5	37	53,4	15,5	12,85	35,51	93,41	10,08	41,72	7,68	7,47	1,82
JUAN POLO DABED	TUNQUEN 4	COBRE-ORO	IV	159	122	23	78	41	181	5	378	59,56	10,83	12,93	8,22	17,44	2,58	10,92	2,63	2,29	0,79
HUGO ARAYA (MINERA ARAYA Y ARAYA)	DINA 1 2 3 4	COBRE-ORO-PLATA	IV	146	46	21	96	34	124	5	51	43,67	12,19	12,98	62,96	143,04	18,88	76,96	14,7	13,92	5,46

HUGO ARAYA (MINERA ARAYA Y ARAYA)	DINA 1 2 3 4	COBRE-ORO	IV	146	46	21	96	34	124	5	51	43,67	12,19	12,98	62,96	143,04	18,88	76,96	14,7	13,92	5,46
SOC. SANTA CAMILA	CAMILA 1 2	ORO	IV	209	52	17	37	22	210	<5	31	51,98	16,96	13,04	22,71	33,26	4,89	23,46	4,84	4,82	2,07
JAIME LUIS RAMIREZ	MIRANDA	COBRE	IV	186	67	23	66	22	71	<5	44	52,48	13,56	13,09	22,08	52,11	5,69	23,74	4,87	4,48	1,75
YOLANDA BOU BARRAZA	ROSARIO 1	COBRE	IV	195	46	19	1784	92	213	<5	261	42,24	18,48	13,13	10,49	22,63	3,23	14,16	3,16	4	1,75
MINERA LA PUNTILLA (PATRICIO GATICA R.)	EL ARENAL	ORO	IV	153	75	23	554	72	14	<5	139	52,57	14,69	13,23	14,08	29,61	3,91	16,21	3,56	3,31	1,22
IBARRA	IBARRA	ORO	IV	153	89	22	229	74	143	8	359	54,11	15,95	13,3	17,6	31,09	4,57	17,65	5,55	3,84	2,01
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPÓSITO	COBRE-ORO	IV	161	85	20	41	46	337	6	91	55,26	13,87	13,39	13,97	31,14	4,16	18,16	3,8	3,45	1,33
MATILDE VIUDA DE ALFARO	TRANQUE DE RELAVE (MATILDE)	ORO	IV	142	78	23	176	55	45	8	83	53,33	13,09	13,46	15,16	31,65	4,17	17,47	4,26	3,84	1,67
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 2	COBRE-ORO	IV	99	49	37	30	34	<5	<5	57	63,49	9,92	13,48	7,41	18,69	2,58	10,93	2,46	1,96	0,81
SOC. MINERA LOS VILOS S.A.	DON MARCIAL GARCÍA	ORO-COBRE	IV	67	24	11	66	<5	<5	<5	76	38,62	5,31	13,48	10,91	23,93	2,4	15,28	1,14	1,62	0,97
MINERA CONDOR S.A.	LAMBERT 2	ORO	IV	158	91	30	315	63	119	<5	947	35,3	15,68	13,5	17,25	31,08	3,87	14,93	3,12	3,32	1,26
RIGOBERTO VAZQUEZ VERA	SANTATERESA	COBRE	IV	91	45	45	31	23	<5	<5	49	60,68	9,32	13,56	6,76	15,96	2,66	9,47	2,74	2,08	0,91
MARIA TAPIA OCARANZA	SANELISE 0 1	COBRE-ORO	IV	161	119	26	407	48	180	5	425	61,34	12,14	13,57	15,33	41,21	4,15	17,18	4,55	4,1	2,56
RIGOBERTO VAZQUEZ VERA	SANTATERESA (ANTI GUO)	COBRE	IV	107	51	21	46	98	<5	<5	95	51,06	17,09	13,62	9,45	22,1	3,05	12,72	3,24	2,26	1,4
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 0	COBRE-ORO	IV	90	29	36	28	27	<5	<5	31	63,61	8,08	13,64	7,6	19,85	2,84	12,22	2,46	2,19	1,07
RENÉ SOLIS VEGA	TRANQUE DE RELAVES 2	COBRE	IV	112	73	18	139	24	156	<5	150	52,31	11,69	13,66	127,47	24,38	3,36	14,17	3,36	2,99	1,36
MINERA DON ALBERTO	LAS VACAS 2	ORO	IV	173	88	28	35	8	43	5	13	52,64	14,51	13,69	25,03	49,55	7,09	27,95	5,92	6,04	2,28
MARIA TAPIA OCARANZA	SANELISE 0 2	COBRE-ORO	IV	121	171	24	540	65	77	<5	587	51,37	14,25	13,75	10,41	21,23	3,25	13,49	3,35	3,59	2,73
SOC. ZEPEDA Y ALVAREZ	TRANQUE (ZEPE DA Y ALVAREZ)	ORO	IV	183	78	25	306	43	316	6	103	45,55	15,74	13,76	33,08	66,37	7,78	32,56	5,83	5,8	1,84
SUC. CARVAJAL RIVERA	QUILITAPIA	ORO	IV	137	87	23	260	53	84	5	387	60,76	12,28	13,76	17,36	27,46	3,4	14,4	2,97	2,54	1,18
ELQUI SOL YESOS	ITAMAR	ORO	IV	158	73	30	95	45	63	6	211	50,46	14,78	13,77	31,94	52,29	5,54	21,11	3,66	3,5	1,45
MAURICIO ALBURQUENUE NUÑEZ	SANTATERESA 2	ORO-COBRE	IV	138	71	27	867	41	42	<5	209	39,66	11,67	13,78	14,11	29,87	4,23	17,22	3,7	3,69	1,6
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPOSITO	COBRE-ORO	IV	102	43	21	64	105	8	<5	123	50,15	16,9	13,81	557,76	19,46	2,61	11,86	2,99	1,95	0,82
MINERA LAS JUNTAS (EX MINAS)	RELAVES ANTIGUOS	COBRE-ORO	IV	76	24	14	87	8	30	<5	37	35,32	8,6	13,91	15,76	32,39	4,23	19,2	3,22	3,11	1,55

SAN ANDRES)																						
MINERA LAS JUNTAS (EX MINAS SAN ANDRES)	EL PINGO 1	COBRE-ORO	IV	77	50	17	191	22	39	<5	58	30,44	10,12	13,94	17,03	33,95	4,26	18,38	3,79	3,48	1,55	
SOC. MINERA LOS VILOS S.A.	DON MARCIAL GARCÍA	ORO-COBRE	IV	64	24	11	42	<5	<5	<5	79	38,78	4,98	13,96	21,79	20,08	3,16	6,96	2,35	1,99	0,98	
MINERA LAS JUNTAS (EX MINAS SAN ANDRES)	EL PINGO 1	COBRE-ORO	IV	79	35	15	126	13	32	<5	46	33,52	9,32	13,96	16,09	48,07	4,25	18,01	3,05	3,35	1,22	
MANUEL AGUIRRE BUSTAMANTE	LA FORTUNA 2	COBRE	IV	105	124	30	32	43	<5	<5	67	58,93	11,18	13,98	5,16	12,13	1,94	6,13	1,18	1,34	0,26	
HECTOR GAHONA	BLANQUITA	COBRE-ORO	IV	127	79	18	29	10	161	<5	23	46,95	7,16	14	119,87	136,47	11,48	34,13	4,95	4,89	1,93	
HECTOR GAHONA	BLANQUITA	COBRE-ORO	IV	127	79	18	29	10	161	<5	23	46,95	7,16	14	119,87	136,47	11,48	34,13	4,95	4,89	1,93	
DUÑO DESCONOCIDO	NN 3	COBRE-ORO	IV	94	51	20	32	125	<5	<5	62	50,01	17,95	14,11	585,24	23,21	3,31	12,86	2,79	2,21	0,85	
ELQUI SOL YESOS	ITAMAR	ORO	IV	157	81	25	73	20	43	<5	77	48,16	14,48	14,2	91,1	27,71	3,52	13,58	2,91	3,08	1,12	
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 2B	COBRE-ORO	IV	80	67	24	32	43	<5	5	40	56,82	9,94	14,22	5,97	12,07	1,67	6,12	1,15	0,81	0,41	
JUAN POLO DABED	TUNQUEN 5	COBRE-ORO	IV	93	60	29	42	29	<5	<5	343	61,35	7,7	14,24	6,07	10,33	1,2	6,94	1,25	0,77	0,31	
SOC. ZEPEDA Y ALVAREZ	TRANQUE (ZEPE DA Y ALVAREZ)	ORO	IV	182	84	27	293	43	308	5	107	47,34	15,27	14,25	35,42	69,37	8,03	32,79	5,39	5,45	2,32	
CIA. MINERA TAMAYA	DELIRIO 1	COBRE-ORO	IV	148	76	27	72	40	182	<5	202	56,3	12,01	14,28	21,83	52,59	5,87	21,6	4,24	3,67	1,25	
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 2	COBRE-ORO	IV	121	41	27	32	51	<5	5	45	56,72	14,29	14,28	9,71	23,61	3,33	14,23	2,48	2,6	1,21	
SLM FLAMENCA	LETICIA 1	ORO	IV	126	119	27	50	46	53	10	248	59,79	12,94	14,29	6,26	13,45	1,89	8,22	1,75	1,98	0,86	
ELQUI SOL YESOS	ITAMAR	ORO	IV	148	70	27	87	35	44	5	153	52,18	13,36	14,32	26,37	54,69	4,61	16,81	3,04	3,25	1,2	
MINERA CONDOR S.A.	LAMBERT 1	ORO	IV	186	104	31	129	36	110	<5	289	35,44	14,94	14,32	26,47	41,21	4,67	17,24	3,32	4,01	1,29	
ELQUI SOL YESOS	ITAMAR	ORO	IV	145	83	32	72	38	64	<5	85	41,04	15,02	14,33	13,65	25,2	3,18	13,34	2,8	2,9	1,29	
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 0	COBRE-ORO	IV	91	26	29	33	67	15	<5	36	49,31	15,57	14,36	13,57	35,14	4,99	21,38	3,87	3,48	1,84	
CIA. MINERA TAHUINCO	EL ARENAL	COBRE-ORO	IV	166	104	24	608	40	231	<5	549	48,61	14,52	14,37	13,37	25,17	3,3	14,47	2,9	2,28	1,28	
MANUEL AGUIRRE BUSTAMANTE	LA FORTUNA 2	COBRE	IV	97	114	30	32	25	<5	<5	73	60,46	8,8	14,37	5,63	12,27	1,84	5,53	2,5	0,87	0,56	
SERGIO CONTADOR	PAJONALES	COBRE	IV	221	106	22	162	91	161	<5	45	47,55	14,81	14,44	22,04	46,64	5,74	24,52	5,75	4,44	2,14	
DUÑO DESCONOCIDO	NN 5	COBRE-ORO	IV	107	75	23	289	59	31	5	815	61,63	12,07	14,45	13,26	28,15	3,42	14,59	3,73	2,99	1,21	
MANUEL AGUIRRE BUSTAMANTE	LA FORTUNA 1	COBRE	IV	157	142	25	64	58	181	<5	144	51,08	13,45	14,68	9,47	23,72	3,26	13,12	3,1	2,21	0,81	
LEOPOLDO HERNANDEZ	TRANQUE LEOPOLDO HERNANDEZ	COBRE-ORO	IV	105	85	28	210	37	22	<5	393	67,19	8,81	14,72	9,37	19,81	2,6	11,28	2,27	2,25	0,93	

	ÁNDEZ																					
OSCAR SEGOVIA ORTIZ (PLANTA SANTA CAMILA)	TRANQUE DE RELAV E	COBRE	IV	131	78	25	102	49	130	<5	150	51,03	14,02	14,73	27,22	45,07	5,99	23,49	6,23	4,69	1,87	
EPV	ATELCURA	ORO	IV	161	157	22	53	62	79	6	501	52,18	12,91	14,74	21,99	51,2	6,8	31,4	7,45	7,08	2,6	
SILVERIO CARVAJAL RIVERA	SANTO NIO 1 2	ORO	IV	130	70	23	139	31	67	<5	499	62,22	9,49	14,75	13,72	26,06	3,76	14,27	3,43	2,68	1,33	
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 1	ORO	IV	128	86	23	73	80	104	<5	75	46,09	18,89	14,79	16,35	33,41	4,82	18,98	4,18	3,99	1,46	
RIGOBERTO VAZQUEZ VERA	SANTATERESA	COBRE	IV	108	111	25	39	29	<5	<5	74	58,25	10,61	14,8	6,2	14,07	1,97	7,63	1,81	1,79	1,34	
REGINALDO CALLEJAS	DONROBERTO 1-2	ORO	IV	159	107	23	59	71	<5	<5	107	53,4	15,02	14,91	9,03	18,42	2,98	12,02	2,95	2,47	1,28	
EDUARDO LERY LERY	KATTILA 1	COBRE	IV	95	70	23	46	34	<5	6	126	59,19	8,46	14,91	5,34	12,51	1,74	7,25	1,96	1,39	0,59	
SOC. DABED POZALTA.	SANJORGE 1 2 3	COBRE	IV	117	84	19	96	24	127	<5	73	37,6	10,95	14,94	13,05	25,18	3,16	14,16	3,45	2,9	1,38	
REGINALDO CALLEJAS	DONROBERTO 1-2	COBRE-ORO	IV	186	121	24	58	72	75	<5	49	54,13	15,6	15	6,73	15,28	2,04	9,07	2	2,43	1,4	
MARIA TAPIA OCARANZA	SAN ELISEO 1	COBRE-ORO	IV	117	171	28	328	29	45	<5	711	67,1	7,9	15,02	9,66	19,93	2,58	11,64	2,61	3,11	1,31	
MINERAS JUNTAS (EX MINAS SAN ANDRES)	RELAVES ANTIGUOS	COBRE-ORO	IV	80	30	15	91	7	12	<5	36	35,47	8,58	15,08	14,31	30,52	4,15	18,64	3,88	3,26	1,59	
MINERAS JUNTAS (EX MINAS SAN ANDRES)	RELAVES ANTIGUOS	COBRE-ORO	IV	87	47	16	109	7	10	<5	32	36,93	8,57	15,18	10,06	22,32	3,22	13,09	2,25	2,63	1,21	
MATILDE VIUDA DE ALFARO	TRANQUE DE RELAV E (MATILDE)	ORO	IV	159	99	26	409	35	41	<5	150	54,44	12,58	15,3	12,18	25,76	3,49	14,96	3,57	3,13	1,32	
DUENO DESCONOCIDO	LLAMUCO	COBRE-ORO	IV	140	58	20	115	98	14	15	2097	55,03	14,65	15,3	9,52	22,08	2,94	12,59	2,06	2,07	1,03	
RALGOMERT LTDA. (OSCAR MUNIZAGA)	DEPOSITO DE PRUEBAS	COBRE-ORO	IV	191	92	24	139	123	11	<5	21	49,33	17,9	15,43	12,78	22,34	3,42	15,01	3,39	3,24	1,81	
COMPANIA MINERA QUEBRADA HONDA (EX SOC. MINERA SAN ALEJANDRO LTDA.)	SAN ALEJANDRO (EX TRAPICHE 1 2)	COBRE-ORO	IV	148	77	22	44	21	41	<5	22	50,52	9,04	15,44	16,07	34,79	4,89	20,4	4,8	4,86	2,81	
JUAN POLO OSSES	RELAVES 1	COBRE	IV	121	184	29	68	30	38	<5	128	57,38	9,91	15,52	7,42	14,79	2,22	8,19	2,68	1,52	0,78	
JUAN POLO OSSES	RELAVES 1	COBRE	IV	102	98	24	58	27	<5	<5	128	53,7	9,63	15,52	7,77	23,93	1,69	9,06	0,86	1,45	0,73	
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 0	COBRE-ORO	IV	99	38	30	35	69	<5	<5	28	49,09	16,38	15,54	12,3	31,91	4,53	19,14	4,44	3,37	1,48	
MINERA DON ALBERTO	LAS VACAS 2	ORO	IV	178	88	29	35	8	33	<5	13	51,5	14,05	15,67	32,05	63,12	9,1	36,55	7,6	6,54	2,63	
SLM LA FORTUNA (GABRIEL GUERRA OLIVARES)	EL CANELILLO	COBRE	IV	110	103	25	54	48	27	<5	197	55,16	11,38	15,68	8,15	17,78	2,65	10,74	3,1	2,18	1,09	
SCM TAMBILLOS	EMBALSE DE RELAV	COBRE	IV	125	76	28	2822	25	83	<5	182	44,83	10,11	15,79	27,14	47,49	5,99	24,91	5,22	4,71	1,86	

	ES																				
REGINAL DO CALLEJAS	DON ROBERTO 1-2	ORO	IV	143	131	28	51	39	<5	11	79	62,52	12,14	15,82	6,59	10,92	1,56	7,05	1,42	1,72	0,93
MINERAS JUNTAS (EX MINAS SAN ANDRES)	RELAVES ANTIGUOS	COBRE-ORO	IV	77	31	15	82	7	<5	<5	35	36,03	8,27	15,85	13,57	27,9	3,69	16,17	3	2,88	1,18
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 2	COBRE-ORO	IV	164	106	25	42	34	292	6	65	55,71	13,57	16,07	14,98	33,7	4,48	18,88	3,45	3,32	1,5
FERNANDO AGUIRRE B.	LA FORTUNA 3	COBRE-ORO	IV	96	129	35	31	23	<5	<5	85	60,64	8,53	16,16	5,32	11,84	1,96	6,01	1,3	1,47	0,71
JAIME PEREZ GOMEZ	EL ROMERO 2	COBRE	IV	91	314	24	38	10	<5	<5	43	65,24	6,77	16,2	3,43	8,91	1,49	4,49	0,56	1,5	0,31
REGINAL DO CALLEJAS	DON ROBERTO 1-2	COBRE-ORO	IV	166	146	27	58	56	21	<5	98	55,76	14,06	16,35	15,69	35,22	4,91	21,5	4,96	4,43	1,75
GUILLERMO DELGADO	ASIENTO VIEJO 3	ORO	IV	125	107	29	93	30	13	<5	164	62,69	9,38	16,4	7,53	15,65	1,73	8,04	2,13	1,99	0,77
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 2	ORO	IV	88	57	42	31	20	<5	<5	91	58,67	8,84	16,43	7,66	16,28	2,62	10,2	2,23	1,61	0,84
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 2	ORO	IV	109	94	24	29	25	26	<5	73	62,74	7,7	16,47	11,84	23,16	3,83	12,28	2,08	1,88	1,18
DUENO DESCONOCIDO	NN 4	ORO	IV	63	40	23	35	14	17	<5	50	49,12	4,85	16,51	7,84	17,65	2,49	12,02	2,85	2,63	1,55
JAIME PEREZ GOMEZ	EL ROMERO 1	COBRE-ORO	IV	105	145	31	32	23	<5	<5	57	58,17	10,3	16,51	5,13	11,54	1,52	6,21	1,13	1,08	0,8
DUENO DESCONOCIDO	NN 4	ORO	IV	60	29	23	34	12	<5	<5	49	46,76	4,06	16,56	10,73	16,37	2,57	11,27	2,61	2,77	1,39
OSCAR SEGOVIA ORTIZ (PLANTA SANTA CAMILA)	TRANQUE DE RELAVE	COBRE	IV	146	116	27	74	41	112	<5	106	51,19	13,55	16,61	22,79	38,73	5,37	21,6	5,03	4,38	1,68
REGINAL DO CALLEJAS	DON ROBERTO 1-2	COBRE-ORO	IV	166	119	25	66	69	34	<5	83	52,03	15,98	16,64	8,03	18,18	2,5	10,84	2,77	2,91	1,45
MATILDE VIUDA DE ALFARO	TRANQUE DE RELAVE (MATILDE)	ORO	IV	160	103	28	143	41	19	<5	56	49,65	13,77	16,69	15,58	26,56	3,51	15,28	3,78	4,08	1,42
JUAN POLO OSSES	RELAVES 1	COBRE	IV	119	132	30	90	33	28	<5	446	53,41	9,51	16,77	4	13,31	1,21	6,18	1,58	1,21	0,25
JAIME PEREZ GOMEZ	EL ROMERO 1	COBRE-ORO	IV	104	213	24	38	47	<5	<5	111	57,19	13,13	16,77	8,35	18,94	2,32	9,92	2,09	1,31	0,8
CIA. MINERA DEL PACIFICO	EL TRIGO	HIERRO	IV	151	132	28	32	12	59	<5	14	44,17	11,24	16,8	13,82	27,66	3,85	16,41	4,13	4,46	2,5
REGINAL DO CALLEJAS	DON ROBERTO 1-2	ORO	IV	161	144	27	57	49	<5	<5	69	56,12	13,89	16,84	6,82	16,24	1,93	8,27	2,17	2,37	1,24
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 2	ORO	IV	116	85	28	54	78	57	<5	246	47,4	18,33	16,85	12,91	27,33	3,7	16,13	3,39	2,33	1,41
ROBERTO CORTES	LLAHUIN	ORO-PLATA	IV	113	82	27	54	26	23	<5	396	65,46	9,24	16,87	9,63	26,5	2,62	10,97	2,49	2,36	0,84
DUENO DESCONOCIDO, COLINDANTE A MINERA SAN ANDRES	NN 14	COBRE	IV	74	36	14	99	<5	<5	<5	28	35,26	6,68	16,9	17,69	36,03	4,44	16,18	3,27	2,72	1,28
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPOSITO	COBRE-ORO	IV	90	55	25	27	14	<5	8	67	66,92	4,78	16,92	5,98	10,09	1,28	5,49	1,17	0,76	0,42
EPV	ATELCURA	ORO	IV	161	165	25	53	52	45	<5	73	49,68	12,71	16,97	17,68	42,49	6,15	26,12	7,62	7,25	2,85
REGINAL DO CALLEJAS	DON ROBERTO 1-2	COBRE-ORO	IV	166	124	26	68	65	30	<5	51	52,23	15,69	16,97	7,92	21,08	2,45	10,72	3,05	2,74	1,35

EPV	ATELCURA	ORO	IV	159	151	26	52	52	35	<5	1081	49,54	12,99	17,01	22,47	54,93	7,47	32,83	7,91	7,8	3,51
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 1	COBRE-ORO	IV	106	53	31	34	75	<5	<5	36	47,66	16,76	17,03	9,76	22,91	3,14	13,86	3,35	2,6	1,15
RENÉ SOLIS VEGA	TRANQUE DE RELAVES 2	COBRE	IV	109	63	18	84	21	177	<5	15	41,07	13	17,13	253,16	20,55	2,89	12,75	2,98	2,8	1,25
GUILLERMO DELGADO	ASIEN TO VIEJO 1	ORO	IV	114	98	43	115	33	26	<5	306	61,18	8,95	17,17	10,7	23,11	3,14	13,37	4,4	3,85	1,58
DUÑO DESCONOCIDO, COLINDANTE A MINERA SAN ANDRES	NN 14	COBRE	IV	73	43	14	81	<5	<5	<5	23	36,9	6,45	17,25	17,33	33,4	3,65	15,02	3,07	2,91	1,13
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 2	ORO	IV	121	101	27	72	86	37	5	446	45,53	17,62	17,25	11,03	22,15	3,47	12,69	2,42	2,1	0,92
DUÑO DESCONOCIDO, COLINDANTE A MINERA SAN ANDRES	NN 14	COBRE	IV	71	27	15	91	<5	<5	<5	28	35,89	6,31	17,26	14,97	32,19	3,82	15,01	2,57	2,85	1,07
DUÑO DESCONOCIDO, COLINDANTE A MINERA SAN ANDRES	NN 14	COBRE	IV	71	37	14	66	<5	<5	<5	20	37,26	6,21	17,26	14,23	30,49	4,08	14,37	3,25	2,87	1,26
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 2	COBRE-ORO	IV	102	73	28	75	54	5	<5	183	52,03	15,19	17,39	8,56	19,27	2,92	12,71	3,3	2,55	1,23
GUILLERMO DELGADO	ASIEN TO VIEJO 2	ORO	IV	115	91	39	148	29	<5	<5	295	61,57	7,71	17,47	10,86	19,87	3	12,94	4,11	4,07	1,47
SILVERIO CARVAJAL RIVERA	SAN ANTONIO 1 2	ORO	IV	115	102	30	142	30	33	<5	277	64,4	7,86	17,47	12,88	21,43	2,81	10,92	2,7	2,27	1,54
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 2	COBRE-ORO	IV	120	50	28	35	65	<5	<5	41	52,28	16	17,55	9,28	33,6	3,28	13,99	2,67	2,61	1,2
CIA. MINERA TAMAYA	DELIRIO 2	COBRE-ORO	IV	56	46	31	24	<5	33	<5	271	48,52	1,63	17,58	8	6,65	1,04	4,09	1,23	1,47	0,63
SLM TESORO (ANTOFA GASTA PLC)	TESORO 4	COBRE	IV	118	154	33	263	23	22	<5	74	60,18	10,22	17,62	9,82	19,43	2,38	9,21	1,8	1,83	0,78
GERARDO FINDEL W.	CONTRACTO	COBRE	IV	242	186	32	120	50	260	<5	193	46,97	12,98	17,66	14,31	48,75	6,47	25,61	6,37	4,87	1,8
JUAN POLO DABED	TUNQUEN 4	COBRE-ORO	IV	96	86	34	37	22	<5	<5	109	49,91	8,21	17,71	7,84	15	2,06	8,83	1,72	1,31	0,8
PEDRO FLORES DIAZ	HORIZONTE 2	ORO	IV	101	70	28	39	29	<5	<5	127	61,33	10,37	17,71	7,32	14,7	2,02	8,45	1,65	1,76	0,66
GUILLERMO DELGADO	ASIEN TO VIEJO 1	ORO	IV	127	107	35	64	34	11	<5	216	63,18	9,5	17,75	8,54	18,67	2,3	10,68	2,87	2,26	1,02
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 1	COBRE-ORO	IV	89	53	33	26	26	<5	<5	35	61,55	7,91	17,78	4,89	12,25	1,69	7,3	1,7	1,51	0,57
RENÉ SOLIS VEGA	TRANQUE DE RELAVES 1	COBRE	IV	112	54	19	114	17	173	<5	69	36,27	10,16	17,8	60,48	34,49	4,64	19,17	4,48	3,7	1,32
DUÑO DESCONOCIDO	NN 4	ORO	IV	79	54	26	49	24	6	<5	72	51,74	6,62	17,9	14,38	18,39	2,91	11,93	2,46	3,12	1,32
GUILLERMO DELGADO	ASIEN TO VIEJO 1	ORO	IV	113	99	33	51	24	<5	<5	205	67,06	7,25	17,91	6,4	13,99	2,11	8,41	1,74	1,72	0,85
WALTER NAZER ESBIR (EX VICTOR NAZER ESBIR)	CALIFORNIA 2A	COBRE-ORO	IV	82	55	30	36	46	<5	<5	41	48,99	12,38	17,93	5,15	10,42	1,43	5,3	0,87	0,99	0,6

SLM AUCO (EX ODE AGUAD MONTENE GRO)	AUCO	COBR E-ORO	IV	110	108	30	228	65	10	<5	298	50,42	13,93	17,94	29,25	77,07	10,7	44,37	11,56	11,17	2,48
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPÓSITO	COBR E-ORO	IV	104	64	27	31	54	<5	<5	25	54,61	12,28	17,94	5,23	12,03	1,59	6,7	1,57	1,03	0,43
SOC. DABED POZA LTDA.	SAN JORGE 1 2 3	COBR E	IV	97	54	17	81	11	55	<5	17	36,57	11,11	18,4	689,22	20,91	3,07	14,46	3,67	2,82	1,32
SOC. DABED POZO	SAN JORGE 1 2 3	COBR E	IV	132	88	20	80	11	125	<5	17	46,41	10,59	18,52	13,08	24,38	3,52	15,64	3,64	3,33	1,55
JAIME PEREZ GOMEZ	EL ROME RO 2	COBR E	IV	105	162	29	40	25	<5	<5	46	57,54	10,57	18,64	7,13	20,28	2,01	7,27	1,52	1,85	0,63
NOVAK SPASOJEVIC	TRAN QUE DE RELAV E	ORO	IV	112	58	23	73	15	<5	<5	13	46	13,29	18,67	4,8	31,69	4,21	16,85	3,29	2,97	1,06
NOVAK SPASOJEVIC	TRAN QUE DE RELAV E	ORO	IV	112	58	23	73	15	<5	<5	13	46	13,29	18,67	4,8	31,69	4,21	16,85	3,29	2,97	1,06
CIA. MINERA KALLEU	CANEL O 2	COBR E-ORO	IV	106	88	45	70	33	<5	<5	264	61,51	9,02	18,73	11,48	21,36	2,97	13,3	3,86	3,43	1,35
JUAN POLO OSSES	RELAV ES 1	COBR E	IV	142	150	32	259	29	79	<5	399	56,83	10,67	18,9	9,49	23,98	3,76	16,72	3,4	3,5	2,12
NOVAK SPASOJEVIC	TRAN QUE DE RELAV E	ORO	IV	113	54	24	74	16	<5	<5	15	45,61	13,28	18,93	6,81	32,98	4,29	16,64	3,31	2,99	1,08
NOVAK SPASOJEVIC	TRAN QUE DE RELAV E	ORO	IV	113	54	24	74	16	<5	<5	15	45,61	13,28	18,93	6,81	32,98	4,29	16,64	3,31	2,99	1,08
SCM TAMBILLOS	EMBA LSE DE RELAV ES	COBR E	IV	86	66	29	579	14	<5	<5	212	45,63	6,72	18,94	25,92	42,41	5,31	20,92	3,79	3,65	1,42
SLM AUCO (EX ODE AGUAD MONTENE GRO)	AUCO	COBR E-ORO	IV	126	103	34	131	27	14	<5	274	57,74	10,39	18,95	7,95	17,47	2,26	10,76	2,8	2,72	1,01
FERNANDO YOUNG UGALDE	CANEL A	ORO	IV	134	272	29	66	45	21	<5	325	58,6	9,98	18,97	14,39	28,33	3,79	15,46	3,31	3,35	1,98
SLM LA FORTUNA (GABRIEL GUERRA OLIVARES)	EL CANEL ILLO	COBR E	IV	113	93	32	76	89	<5	<5	123	44,72	18,85	19,06	8,34	17,87	2,33	10,05	2,13	1,78	1,11
JUAN POLO DABED	TUNQU EN 5	COBR E-ORO	IV	102	92	30	55	24	<5	<5	256	52,3	9,4	19,09	31,96	19,09	2,55	10,46	1,87	2,58	0,78
PIZARRO, GUERRA Y CIA. (WILSON PIZARRO GUERRA)	IRENE 2	ORO	IV	191	82	21	93	17	108	11	29	44,97	12,04	19,12	105,35	141,24	17,66	70,53	12,67	12,11	3,78
RIGOBERTO VAZQUEZ VERA	SANTA TERESA	COBR E	IV	116	118	31	32	28	<5	<5	78	47,69	12,75	19,14	5,81	14,5	2,18	8,76	1,85	1,87	1
MIGUEL AGUIRRE BUSTAMANTE	PLUM A DE ORO	COBR E-ORO	IV	134	138	26	31	56	<5	<5	47	52,98	13,05	19,18	7,45	16,79	2,55	8,22	2,78	1,79	0,69
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	DEPÓSITO	COBR E-ORO	IV	121	84	28	30	18	<5	6	57	56,73	7,65	19,25	7,98	15,96	2,13	8,64	1,95	1,16	0,54
ENRIQUE ROJAS AREYUNA	LOS YALES	ORO	IV	145	124	33	289	22	14	<5	380	59,75	8,61	19,44	12,83	27,23	3,47	13,62	2,87	2,31	1,13
ENAMI OVALLE	EMBA LSE DE RELAV ES	COBR E-ORO	IV	122	104	27	73	19	29	<5	114	48,04	9,77	19,45	17,3	34,88	4,76	18,96	3,92	3,55	1,45
MANUEL AGUIRRE BUSTAMANTE	LA FORTUNA 1	COBR E	IV	109	114	35	28	20	<5	<5	50	50,34	10	19,68	6,93	15,26	1,79	7,78	2,01	1,94	0,47

GUILLERMO DELGADO	ASIEN TO VIEJO 2	ORO	IV	128	117	38	91	21	<5	<5	238	62,11	6,97	19,69	8,92	15,7	2,32	10,11	2,64	3,01	1,57
JOSE SARMIENTO AGUILERA	SAN EMILIO	COBRE-ORO	IV	139	89	27	228	22	142	<5	292	50,8	11,99	19,71	11,75	21,48	2,91	12,83	3,12	3,81	0,78
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 0	COBRE-ORO	IV	127	86	47	33	19	89	<5	43	54,31	10,7	19,74	9,41	25,8	3,03	13,15	3,2	2,58	0,98
ENRIQUE ROJAS AREYUNA	LOS YALES	ORO	IV	145	128	32	320	23	21	<5	401	58,22	8,91	19,96	17,11	34,93	4,42	18,33	3,72	3,01	1,42
CIA. MINERA DEL PACIFICO	EL ROMERAL	HIERRO	IV	219	169	29	35	10	20	<5	19	41,07	9,7	20,28	11,53	27,82	4,1	18,13	4,75	4,84	2,92
SLM LA FORTUNA (GABRIEL GUERRA OLIVARES)	EL CANELILLO	COBRE	IV	110	99	33	52	66	<5	<5	213	44,64	16,17	20,6	11,15	20,4	2,97	12,62	3,47	2,45	1,56
MANUEL AGUIRRE BUSTAMANTE	LA FORTUNA 1	COBRE	IV	99	124	36	28	19	<5	<5	112	58,68	7,42	20,63	5,9	7,14	1,14	2,79	0,89	1,03	0,44
DINKA RAMIREZ (ROBINSON GONZALEZ)	SAN LUIS	COBRE	IV	177	851	29	111	24	63	<5	128	43,48	13,04	20,64	33,12	67,36	8,58	34,57	6,27	6,01	2,08
MANUEL AGUIRRE BUSTAMANTE	LA FORTUNA 3	COBRE	IV	141	123	35	33	35	<5	<5	126	50,15	12,94	21,2	9,54	20,33	2,37	12,08	2,41	2,14	0,68
JAIME UGARTE L	EL MOLL E 1	COBRE-ORO	IV	123	125	33	54	8	38	<5	228	48,55	7,22	21,28	43,81	64,47	5,98	19,94	3,6	3,64	1,72
JAIME UGARTE L	EL MOLL E 1	COBRE-ORO	IV	123	125	33	54	8	38	<5	228	48,55	7,22	21,28	43,81	64,47	5,98	19,94	3,6	3,64	1,72
HUMBERTO RIVERA C.	BARRAZA	COBRE	IV	124	91	36	43	13	24	<5	90	37,19	10,13	21,32	47,77	42,6	5,38	24,18	4,73	3,68	1,04
CIA. MINERA KALLEU	CANEL O 3	COBRE-ORO	IV	119	125	62	115	20	<5	<5	560	63,44	7,07	21,44	13,74	33,34	3,92	18,56	5,55	6,4	2,84
CIA. MINERA KALLEU	LOS CANELOS ANTIGUO	COBRE-ORO	IV	117	127	42	72	30	<5	<5	236	59,53	9,43	21,62	8,9	18,39	2,64	11,76	2,96	3,13	1,32
CIA. MINERA TAMAYA	DELIRIO 1	COBRE-ORO	IV	50	42	67	27	<5	15	<5	192	54,87	1,91	21,74	<0,01	9,82	1,49	6,68	1,57	1,95	1,41
GUILLERMO DELGADO	ASIEN TO VIEJO 2	ORO	IV	139	135	43	146	26	<5	<5	320	57,08	9,68	21,8	13,93	33,28	3,97	18,66	4,47	5,54	2,48
GUILLERMO DELGADO	ASIEN TO VIEJO 3	ORO	IV	108	125	51	161	18	<5	<5	472	62,13	5,73	22,11	9,47	19,56	3,01	13,34	4,72	5,95	2,07
FERNANDO YOUNG UGALDE	CANELA	ORO	IV	149	149	34	53	34	<5	<5	358	57,45	8,29	22,25	14,72	30,5	4,38	19,08	4,94	5,45	2,25
HUMBERTO RIVERA C.	BARRAZA	COBRE	IV	204	329	35	74	9	<5	<5	14	41,6	10,7	22,89	241	16,64	2,28	10,86	2,78	2,29	1,04
CIA. MINERA KALLEU	CANEL O 2	COBRE-ORO	IV	99	132	41	58	21	<5	<5	209	62,05	6,64	23,23	7,53	16,46	2,39	10,69	3,14	3,04	1,18
CIA. MINERA KALLEU	CANEL O 3	COBRE-ORO	IV	95	107	63	132	10	<5	<5	533	64,61	4,6	23,77	15,52	25,18	3,69	17,38	5,71	6,1	2,76
HUMBERTO RIVERA C.	BARRAZA	COBRE	IV	130	103	41	47	13	24	<5	72	34,51	9,75	23,84	17,45	35,56	4,86	20,15	3,84	3,3	0,99
MARIA TAPIA OCARANZA	SANELISE 02	COBRE-ORO	IV	156	136	46	247	30	29	<5	465	46,81	12,36	23,97	12,62	25,53	3,18	14,89	3,4	3,54	1,83
ROBERTO CORTES	LLAHUIN	ORO-PLATA	IV	109	112	61	106	19	<5	<5	476	60,2	7,35	24,04	8,22	15,72	2,31	10,49	2,47	2,47	1,15
CIA. MINERA KALLEU	CANEL O 3	COBRE-ORO	IV	118	130	65	116	33	<5	<5	463	52,26	11,29	24,17	16,43	33,25	4,71	21,45	5,52	6,12	2,36
JAIME UGARTE L	EL MOLL E 3	COBRE-ORO	IV	161	137	37	96	27	126	<5	258	38,95	9,55	24,29	43,96	66,01	6,1	20,75	3,56	3,7	1,39

JAIME UGARTEL	EL MOLL E 3	COBR E-ORO	IV	161	137	37	96	27	126	<5	258	38,95	9,55	24,29	43,96	66,01	6,1	20,75	3,56	3,7	1,39
HUMBERTO RIVERA C.	BARRAZA	COBRE	IV	110	60	35	39	13	29	<5	196	28,43	9,03	24,38	346,81	45,24	5,77	23,22	4,66	3,87	1,06
SUC. LUIS ALVAREZ SIERRA	ESPERANZA 1	COBR E-ORO	IV	111	87	32	29	33	<5	<5	23	52,16	11,39	24,48	5,98	13,61	1,85	8,06	1,82	1,98	0,74
CIA. MINERA KALLEU	LOS CANELOS ANTIGUO	COBR E-ORO	IV	102	117	46	60	16	<5	<5	283	61,25	6,54	24,59	7,13	16,21	2,19	9,66	2,29	2,99	0,97
HUMBERTO RIVERA C.	BARRAZA	COBRE	IV	153	380	34	78	14	<5	<5	13	37,66	10,56	24,81	112,27	20,27	2,86	11,7	2,8	2,39	1,04
CIA. MINERA KALLEU	CANELO 2	COBR E-ORO	IV	106	118	41	86	29	<5	<5	265	59,39	7,05	25,47	8,19	19,22	2,86	13,28	4,14	3,88	1,45
CIA. MINERA KALLEU	LOS CANELOS ANTIGUO	COBR E-ORO	IV	105	106	48	57	18	<5	<5	276	58,39	7,52	25,74	8,13	18,93	2,52	11,47	2,74	3,12	1,19
JAIME UGARTEL	EL MOLL E 2	COBR E-ORO	IV	150	154	38	30	<5	51	<5	27	39,15	8,71	25,74	39,01	59,33	5,59	19,14	3,47	3,53	1,51
JAIME UGARTEL	EL MOLL E 2	COBR E-ORO	IV	150	154	38	30	<5	51	<5	27	39,15	8,71	25,74	39,01	59,33	5,59	19,14	3,47	3,53	1,51
CIA. MINERA TAMAYA	DELIRIO 1	COBR E-ORO	IV	68	64	37	23	8	28	<5	216	50,4	2,17	25,83	<0,01	11,05	1,4	5,59	1,31	1,54	0,67
CIA. MINERA KALLEU	LOS CANELOS ANTIGUO	COBR E-ORO	IV	105	113	50	64	18	<5	<5	246	56,19	7,47	27,82	9,76	18,15	2,54	11,27	3,05	3,63	1,23
JAIME UGARTEL	EL MOLL E 5	COBR E-ORO	IV	136	152	50	60	8	26	<5	158	48,09	7,45	28,67	84,61	110,61	7,85	23,54	3,45	3,57	1,29
JAIME UGARTEL	EL MOLL E 5	COBR E-ORO	IV	136	152	50	60	8	26	<5	158	48,09	7,45	28,67	84,61	110,61	7,85	23,54	3,45	3,57	1,29
JAIME UGARTEL	EL MOLL E 4	COBR E-ORO	IV	169	224	40	197	8	85	<5	1007	41,3	7,35	29,83	76,13	92,3	8,47	27,48	4,53	4,65	1,77
JAIME UGARTEL	EL MOLL E 4	COBR E-ORO	IV	169	224	40	197	8	85	<5	1007	41,3	7,35	29,83	76,13	92,3	8,47	27,48	4,53	4,65	1,77
CIA. MINERA TAMAYA	DELIRIO 3	COBR E-ORO	IV	60	71	38	25	5	19	<5	163	37,73	2,05	30,25	<0,01	11,26	1,65	7,15	2,04	1,91	0,74
SLM TESORO (ANTOFA GASTA PLC)	TESORO 1 2 3	COBRE	IV	146	150	49	56	30	<5	<5	45	40,05	12,4	30,28	26,89	46,41	5,46	19,74	4,31	3,41	1,28
FERNANDO YOUNG GALDE	CANELA	ORO	IV	153	158	45	53	25	<5	<5	231	45,16	9,88	31,61	24,84	43,04	5,58	22,86	4,5	5,19	2,6
MATILDE VIUDA DE ALFARO	TRANQUE DE RELAVE (MATILDE)	ORO	IV	152	135	47	120	15	<5	<5	66	42,03	10,8	31,68	17,75	29,07	3,54	14,74	2,94	2,78	0,9
CIA. MINERA KALLEU	CANELO 2	COBR E-ORO	IV	95	139	44	46	10	<5	<5	208	56,26	5,56	31,78	6,57	10,67	1,47	6,34	1,99	1,54	0,56
HUGO ARAYA (MINERA ARAYA Y ARAYA)	DINA 1 2 3 4	COBR E-ORO	IV	216	213	43	53	9	<5	<5	29	30,07	9,28	37,24	78,75	156,15	19,14	74,55	13,19	12,29	4,15
HUGO ARAYA (MINERA ARAYA Y ARAYA)	DINA 1 2 3 4	COBR E-ORO-PLATA	IV	216	213	43	53	9	<5	<5	29	30,07	9,28	37,24	78,75	156,15	19,14	74,55	13,19	12,29	4,15
CIA. MINERA TAMAYA	DELIRIO 3	COBR E-ORO	IV	65	110	190	24	<5	<5	<5	281	27,55	3,32	37,97	<0,01	7,86	1,04	4,31	0,97	0,81	0,44
SLM TESORO (ANTOFA GASTA PLC)	TESORO 1 2 3	COBRE	IV	173	192	39	34	<5	24	<5	30	24,34	7,6	38,57	140,61	306,43	40,25	160,14	28,02	26,91	7,87
COMPANIA MINERA QUEBRADA HONDA (EX SOC. MINERA)	SAN ALEJANDRO (EX TRAPICHE 1)	COBR E-ORO	IV	180	192	64	25	9	<5	<5	13	24,2	6,5	40,26	10,68	22,67	3,08	12,58	2,94	2,57	2,01

SAN ALEJANDRO LTDA.)	2)																									
SLM TESORO (ANTOFA GASTA PLC)		TESORO 123	COBRE	IV	118	170	67	28	12	<5	<5	13	30,57	9,91	40,87	15,06	34,76	3,29	11,84	2,26	2,01	1,06				
CIA. MINERA ARENILLAS		ARENILLAS 2	ORO	IV	208	231	46	35	<5	<5	<5	26	22,07	6,94	44,11	151,11	310,43	38,42	141,36	23,05	21,63	5,67				
CIA. MINERA ARENILLAS		ARENILLAS 2	ORO	IV	208	231	46	35	<5	<5	<5	26	22,07	6,94	44,11	151,11	310,43	38,42	141,36	23,05	21,63	5,67				
DINKA RAMIREZ (ROBINSON GONZALEZ)		SAN LUIS	COBRE	IV	316	398	53	65	6	38	<5	77	22,55	6,76	47,39	87,76	192,89	23,25	89,3	14,65	13,43	4,16				
CARLOS GREGORIO ARAYA CAMPANA		TRANQUE DELAV	COBRE	IV	222	334	44	41	<5	9	<5	31	23,37	5,14	47,59	162,32	331,55	43,97	164,71	28,48	26,23	7,22				

8.2. Anexo 2

Muestra	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	Cr(p pm)	Co(p pm)	Zn(p pm)	Rb(p pm)	Y(pp m)	Nb(p pm)	Pb(p pm)	Ga(p pm)	Ge(p pm)	La(p pm)	Ce(pp pm)	Pr(p pm)	Nd(p pm)	Sm(p pm)	Gd(p pm)	Yb(p pm)
1628	15,04	3,61	60,51	237	<5	<5	<5	15	<5	32	21,2	8,57	110,35	243,46	30,51	115,96	18,07	16,23	4,31
1629	10,6	3,48	65,1	239	<5	<5	<5	<10	<5	28	21,82	8,6	60,37	132,99	16,28	66,51	11,28	10,46	3,53
1630	10,31	5,48	58,61	255	<5	<5	<5	<10	<5	25	22,97	7,93	68,08	153,01	18,84	76,18	12,63	11,62	3,7
1625	44,45	10,81	19,6	117	<5	88	14	13	<5	26	17,77	4,24	35,68	74,65	9,51	39,47	7,04	6,4	2,17
1622	46,69	11,34	27,35	81	<5	63	35	<10	6	42	16,38	4,18	53,62	73,02	7,65	27,99	4,34	3,78	1,07
1620	35,95	10,62	37,89	79	<5	<5	22	<10	<5	50	29,11	5,88	11,05	20,7	2,6	11,01	2,2	2,05	1
1618	35,64	10,94	37,4	86	<5	<5	23	<10	<5	40	27,12	5,61	14,09	20,3	2,46	10,16	1,96	1,9	0,92
1619	35,1	10,55	37,17	84	<5	<5	26	<10	<5	15	25,24	5,54	11,29	21,99	2,92	12,33	2,56	2,52	1,13
1623	27,46	7,71	43,21	75	<5	6	18	<10	<5	32	14,1	5,17	76,56	87,38	7,61	22,85	2,88	2,7	0,93
1626	53,77	16,33	12,41	73	<5	157	43	14	6	54	25,39	3,68	16,5	35,29	4,38	18,26	3,67	3,26	1,26
1653	47,5	13,54	17,69	34	<5	290	30	12	<5	47	22,47	4,45	85,03	142,46	14,27	46,91	6,39	5,76	1,96
1624	60,94	12,45	10,22	98	<5	912	47	21	8	79	22,16	3,35	17,48	36,63	4,74	19,3	3,92	3,36	1,36
1642	40,51	9,58	31,77	67	<5	<5	25	<10	<5	62	27,88	5,77	95,82	159,36	14,24	41,92	4,51	4,04	0,94
1644	42,83	10,98	25,77	46	<5	17	26	<10	<5	73	30,02	5,16	88,17	151,66	13,54	40,81	4,66	4,2	1,04
1633	39,48	13,02	24,73	181	<5	25	8	<10	<5	20	14,41	4,21	20,04	41,42	5,32	22,53	4,45	3,62	1,04
1632	31,38	9,62	37,68	181	<5	36	<5	<10	<5	20	12,91	5,98	15,87	31,95	3,98	16,92	3,25	2,61	0,78
1627	55,33	15,82	10,01	56	<5	20	44	<10	<5	31	13,77	2,88	206,4	15,99	2,1	9,03	1,88	1,82	0,83
1654	47,72	13,42	16,12	75	<5	386	34	10	<5	154	18,79	4,52	44,7	76,94	7,95	28,31	4,33	3,95	1,47
1643	42,6	11,25	23,61	51	<5	11	23	<10	<5	89	30,23	5,27	118,09	193,63	18,29	55,58	6,23	5,46	1,01
1635	52,34	18,13	14,99	45	<5	36	103	27	<5	100	20,77	3,1	7,19	13,4	1,83	8,24	1,68	1,3	0,54
1645	42,92	11,24	21,73	35	<5	34	25	<10	<5	92	28,81	4,54	125,68	213,43	19,18	57,47	6,39	5,64	0,94
1650	51,89	11,44	16,84	185	<5	709	52	13	<5	554	20,18	3,57	20,65	35,38	4,19	16,42	3,22	3,01	1,23
1647	48,43	13,19	14,95	39	<5	28	41	<10	<5	108	28,74	5,08	52,87	96,66	9,94	33,1	4,56	4,02	1,1
1649	52,8	12,27	20,33	101	<5	191	46	<10	<5	160	22,63	4,81	151,38	74,8	5,73	17,19	2,47	2,77	0,93
1655	43,59	12,53	20,43	58	<5	120	26	<10	<5	54	18,97	4,55	95,11	165,5	15,25	47,49	5,5	4,77	1,1
1636	48,36	20,56	14,32	31	<5	<5	129	35	<5	66	24,04	3,18	7,79	15,66	2,17	9,85	1,94	1,33	0,49

1646	56,44	8,72	11,97	102	5	900	31	10	<5	365	14,29	3,04	20,58	39,36	4,7	18,72	3,7	3,54	1,59
1621	44,52	13,09	19,31	88	<5	6760	56	12	<5	1339	21,74	3,39	12,1	34,86	3,24	14,32	3,16	3,07	1,27
1652	44,2	13,59	18,87	71	26	541	43	13	<5	71	19,65	4,4	54,85	95,62	9,83	33,94	5,05	4,56	1,47
1648	50,42	12,88	13,95	105	7	1086	46	37	<5	490	13,12	2,43	16,96	29,94	3,51	14,25	3,32	3,95	2,05
1651	48,32	13,58	15,55	181	<5	776	64	17	<5	549	25,95	3,41	19,71	37,31	4,28	16,82	3,28	2,99	1,19
1634	38,9	10,84	25,56	273	12	182	15	<10	<5	118	12,39	4,56	12,16	21,42	2,83	11,98	2,56	2,38	0,93
1631	29,88	8,79	26,07	73	40	<5	8	<10	<5	60	10,11	4,04	10,86	20	2,71	11,45	2,38	1,93	0,7

8.3. Anexo 3

	REL AVE - 1622	REL AVE - 1623	REL AVE - 1624	REL AVE - 1625	REL AVE - 1626	REL AVE - 1627	REL AVE - 1628	REL AVE - 1629	REL AVE - 1630	REL AVE - 1642	REL AVE - 1643	REL AVE - 1644	REL AVE - 1645	REL AVE - 1652	REL AVE - 1653	REL AVE - 1654	REL AVE - 1655
Chalcopyr ite	0,88	0,24	0,47	0,07	0,03	0,06	1,24	0,84	0,58	1,54	0,32	0,40	0,42	0,49	0,47	0,31	0,35
Bornite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chalcocite /Covellite	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,04	0,06	0,06	0,04	0,09	0,01	0,08
Cu.As-sulphides	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Malachite/ Azurite	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chrysocol la	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,14	0,13	0,06	0,06
Other Cu Oxides	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Cu-Mica	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Cu-Chlorite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,08	0,04	0,02
Cu Clays	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,11	0,07	0,07	0,09
Cu-Limonite	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,09	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03
Pyrite	1,86	1,63	2,98	0,61	0,57	1,91	0,08	1,46	0,22	5,65	3,18	2,34	2,99	1,22	0,42	0,62	1,17
Pyrrhotite	0,05	0,04	0,00	0,01	0,01	0,07	0,03	0,06	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Molybden ite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02
Galena	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sphalerite	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb-mineral	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quartz	12,64	8,54	15,36	5,34	5,36	5,23	0,03	0,38	0,32	10,74	6,95	7,05	5,75	4,12	1,78	7,51	5,51
Plagioclas e Feldspar	5,22	13,43	6,18	6,42	4,59	5,17	4,62	5,65	6,22	6,46	10,20	9,22	9,88	10,44	10,80	13,80	10,44
Feldspar_ Albite	26,30	13,19	31,95	17,66	33,90	34,05	2,04	1,91	1,95	7,08	9,52	4,49	6,83	6,75	13,90	17,57	11,20
K-Feldspar	12,67	8,24	15,50	5,10	13,95	4,34	0,33	0,30	0,16	11,97	7,66	6,87	5,83	2,78	2,13	4,62	4,50
Biotite/Phl ogopite	1,39	0,61	1,93	1,14	2,13	5,25	0,02	0,01	0,04	5,70	4,30	7,29	5,42	4,18	2,78	2,34	2,82
Sericite/M uscovite	7,60	2,23	4,07	2,34	5,53	11,18	0,31	0,24	0,20	1,28	3,49	4,18	4,84	7,17	3,83	7,15	3,92
Pyrophylli te	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Pyroxene	0,32	0,58	0,52	2,57	1,30	0,59	4,90	3,86	3,48	2,38	3,96	4,43	5,71	4,43	3,55	0,71	2,03
Amphibol e	1,74	7,49	1,08	11,80	1,96	1,05	5,25	5,71	7,34	0,34	6,33	4,39	8,31	15,99	21,25	6,45	6,90
Chlorite	2,10	5,52	1,99	19,16	8,15	2,54	2,00	1,90	5,10	8,04	17,97	20,15	19,06	8,40	11,41	5,01	6,68

Wollastonite	0,05	0,07	0,15	0,05	0,02	0,03	0,00	0,01	0,01	0,09	0,05	0,03	0,04	0,01	0,01	0,13	0,08
Tourmaline	0,00	0,01	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,06	0,06	0,04	0,07	0,19	0,04	0,35	0,12
Andalusite/Ky/Sill	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn-silicate(Fe,Ca)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Other Silicates	1,54	3,19	0,70	1,23	1,74	1,75	0,31	0,53	1,16	11,97	4,86	5,36	5,03	4,00	2,22	3,62	2,91
Epidote	3,25	3,86	0,95	2,79	0,84	0,27	1,91	1,15	1,35	0,07	0,13	0,15	0,14	0,92	0,64	1,99	0,68
Calcite	2,33	4,83	2,76	1,90	0,95	2,56	0,03	0,19	0,44	3,77	3,82	2,35	2,60	0,92	0,31	5,35	4,45
Mn-carbonate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dolomite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,04
Siderite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Anhydrite/Gypsum	0,45	0,06	0,30	0,32	1,94	10,45	0,01	0,03	0,13	0,45	0,23	2,46	0,16	0,29	0,02	0,10	0,06
Alunite	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,15	0,03	0,01	0,18
Clays	4,73	3,69	3,70	4,96	8,60	7,73	0,88	1,16	4,68	3,23	7,28	5,91	8,91	15,31	14,34	12,43	23,92
Fe Oxides/Oxides Hidróxidos	12,54	20,72	7,13	12,15	6,22	4,03	63,30	65,20	57,50	17,39	7,86	11,03	6,24	10,40	7,85	8,18	10,42
Jarosite	0,10	0,01	0,06	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01
Cobaltite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sphene	0,50	0,42	0,15	0,81	0,50	0,07	0,31	0,32	0,35	0,00	0,01	0,02	0,02	0,35	0,57	0,47	0,21
Ce-phosphate (Monazite)	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
Al-phosphate	0,19	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Apatite	0,56	0,74	0,50	3,01	0,78	0,53	11,89	8,43	7,95	1,03	1,29	1,21	1,24	0,64	0,95	0,53	0,66
Rutile/Anatase	0,68	0,25	1,22	0,42	0,74	0,88	0,27	0,31	0,23	0,39	0,36	0,32	0,36	0,24	0,20	0,35	0,25
Ilmenite	0,01	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,06	0,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,06	0,05
Fluorite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zr-oxide (Baddeleyite)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zircon	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Barite	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Corundum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Others	0,12	0,30	0,03	0,04	0,05	0,08	0,12	0,21	0,40	0,14	0,02	0,11	0,01	0,01	0,01	0,06	0,06