



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Magíster en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia

**Caracterización Mineralógica de los Sedimentos de  
Quebrada del Brownfield del Pórfido de Cu-Mo de  
La Granja, Cajamarca (Perú).**

Trabajo Integrativo Final para optar al grado de Magíster  
en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia

FELIX ABRAHAM CORNELIO ORBEGOSO

CONCEPCIÓN-CHILE  
2019



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Magíster en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia

## **Caracterización Mineralógica de los Sedimentos de Quebrada del Brownfield del Pórfido de Cu-Mo de La Granja, Cajamarca (Perú).**

Trabajo Integrativo Final para optar al grado de Magíster  
en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia

Felix Abraham Cornelio Orbegoso

CONCEPCIÓN-CHILE  
2019

Profesor Guía: Dr. Osvaldo Miguel Rabbia Dalmaso  
Instituto de Geología Económica Aplicada – GEA  
Universidad de Concepción

## RESUMEN

El presente trabajo integrativo pretende evaluar la dispersión y caracterizar la mineralogía de los minerales indicadores resistentes (RIM's por sus siglas en inglés) en el *brownfield* del pórfido de Cu-Mo de La Granja, en ámbito del orógeno Andino, y evaluar la factibilidad–eficiencia de esta herramienta en la prospección con énfasis en su aplicación en la franja Miocénica de pórfidos de Cu – Mo del norte del Perú y el sur de Ecuador, que puede albergar depósitos minerales de clase mundial que ameritan ser estudiados.

El estudio comenzó con la caracterización granulométrica, mineralógica y química de los sedimentos. Esta etapa, denominada “Línea Base”, permitió reconocer al cuarzo como la fase mineral predominante por lo que se realizó una concentración gravimétrica mediante el uso de politungstato de sodio para concentrar la mayoría de los posibles RIM's, ya que poseen un peso específico de moderado a alto, que permitiría la separación de la fase mayoritaria del cuarzo para su posterior análisis mediante Qemscan®.

Los RIM's son especies minerales que cuando aparecen como granos transportados en sedimentos clásticos, indican la presencia de rocas fuentes de un tipo específico de mineralización, alteración hidrotermal o litología. Además de ser lo suficientemente abundantes, sus características físicas y químicas permiten que sean fácilmente recuperados desde una muestra de exploración promedio (suelo, sedimento de quebrada, aluvial, glacial o eólico).

Los patrones de dispersión de los RIM's de las dos quebradas que cortan al cuerpo mineralizado, muestran la presencia de turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita a lo largo de los 11.5 primeros kilómetros analizados aguas abajo de la quebrada Ayraca, donde predomina la alteración fílica, y en los 7.7 primeros kilómetros desde la quebrada Checos, donde predomina la alteración propilítica.

El estudio determinó que la mayoría de los RIM's presentes en los sedimentos se encuentran en forma de agregados intercrecidos con otras especies minerales relacionadas a un determinado estilo de alteración hidrotermal (fílico, propilítica o skarn), y que el tamaño de cada RIM's no variaba en función a la distancia recorrida por el grano.

El potencial final de dispersión puede ser aún mayor, ya que queda pendiente el análisis por Qemscan® de las muestras de los sedimentos más distales, que cubrirán los 16 km

restantes aguas abajo, y que completarán los 24 km muestreados del sistema de drenaje del Río Paltic.

El costo para realizar una campaña mineraloquímica de exploración *brownfield* o *greenfield* utilizando RIM's en el ambiente andino puede ser relativamente mayor que el de las técnicas convencionales de *stream sediment* o Bleg, esto debido a la utilización de técnicas instrumentales como Qemscan® y Microsonda Electrónica; sin embargo, las limitaciones ya documentadas de las técnicas convencionales de prospección pueden superarse mediante el uso de los RIM's.

### **Abstract**

The present work aims to evaluate the dispersion and characterize the mineralogy of resistant indicator minerals (RIM's) in the brownfield of the La Granja porphyry, in the Andean orogen, and evaluate the feasibility-efficiency of this tool in prospecting with emphasis on its application in the Cu-Mo porphyry Myocene belt of northern Peru and southern Ecuador, which can contain world-class mineral deposits that deserve to be studied. The study began with the granulometric, mineralogical and chemical characterization of the sediments. This stage, called "Linea Base", allowed to recognize quartz as the predominant mineral phase. Therefore, a gravimetric concentration was carried out through the use of sodium polytungstate to concentrate most of the possible RIM's, as they have a moderate to high specific gravity, which would allow separation with the majority phase of the quartz for later Qemscan® analysis.

RIM's are mineral that when they appear as grains transported in clastic sediments, indicate the presence of source rocks of a specific type of mineralization, hydrothermal alteration or lithology. Besides being abundant enough, their physical and chemical characteristics allow them to be easily recovered from an average exploration sample (soil, stream sediment, alluvial, glacial or eolian). The dispersion patterns of the RIM's of the two drainage that cut the mineralized body, show the presence of tourmaline, apatite, rutile, epidote and chlorite throughout the first 11.5 km. analyzed downstream of the Ayraca drainage, where it predominates the phyllic alteration, and in the first 7.7 km. from the Checos drainage, where the propylitic alteration predominates.

The study determined that the majority of the RIMs present in the sediments are in the form of aggregates intercropped with other mineral species related to a certain style of hydrothermal

alteration (phyllic, propylitic or skarn), and that the size of each RIM's did not vary depending on the distance traveled by the grain. The final potential for dispersion may be even greater, since the analysis by Qemscan® of the most distal sediment samples, which will cover the remaining 16 km downstream, and which will complete the 24 sampled kilometers of the Paltic river.

The cost to carry out a brownfield or greenfield exploration mineralochemical campaign using RIM's in the Andean environment may be relatively higher than that of conventional stream sediment or Bleg techniques due to the use of instrumental techniques such as Qemscan® and Electronic Microprobe Analysis; however, the already documented limitations of conventional prospecting techniques can be overcome through the use of RIM's.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo integrativo final no habría sido posible sin el apoyo del **Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción**. Por tanto, mi mayor muestra de gratitud a mi asesor de tesis el Dr. Osvaldo Rabbia Dalmaso por haberme confiado el desarrollo del presente trabajo integrativo, así como por sus enseñanzas, comentarios, correcciones y aclaraciones. Además, deseo agradecer el incondicional apoyo por parte del profesor Dr. Oscar Jerez Riveros por sus sugerencias y recomendaciones. Asimismo, agradezco de manera especial al grupo de profesionales que integran los distintos laboratorios del Instituto de Geología Económica Aplicada, por la preparación de las muestras y de los respectivos análisis realizados.

Deseo expresar mi especial agradecimiento a mis futuros colegas Edgar Yataco, Luis Toribio y Paulo Rodríguez por su incondicional apoyo en la etapa de toma de muestras en el área de La Granja, a Joel Salinas por sus ingeniosas ideas para la concentración gravimétrica, también a la empresa LABQUIMICA S.A.C. (Laboratorio y Consultoría Química Perú S.A.C) a cargo del ingeniero Danilo Segura Mazacana por su apoyo en el secado y cuarteado de las muestras en la ciudad de Lima.

A mi familia por siempre darme aliento y respaldándome en todas las decisiones que he tomado.

No puedo dejar de agradecer a mi querida esposa Maylin Mercedes por todo su amor, compañía y paciencia que sin duda ha sido mi pilar durante todo este proceso.

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	6
1.1. Planteamiento del Problema: .....	6
1.2. Objetivos.....	7
1.2.1. Objetivo General:.....	7
1.2.2. Objetivos Específicos.....	7
1.3. Hipótesis de trabajo:.....	8
1.4. Fundamento científico/técnico .....	8
1.5. Área de estudio propuesta.....	10
2. Área del Estudio .....	11
2.1. Ubicación:.....	11
2.2. Clima: .....	13
3. Marco Geológico .....	14
3.1. Volcánico Oyotún (J-vo / Liásico inferior):.....	16
3.2. Formación Goyllarisquizga (Ki-g / Neocomiano): .....	16
3.3. Formación Inca – Chuléc (Km- ich / Albiano inferior – Albiano medio inferior): .....	16
3.4. Formación Pariatambo (km-pa / Albiano medio): .....	17
3.5. Grupo Pullucana (Km-p / Albiano medio – Cenomaniano temprano): .....	17
3.6. Grupo Quilquiñan (Km-q / Cenomaniano tardío – Turoniano temprano):.....	18
3.7. Volcánico Llama (Ti- vll):.....	18
3.8. Volcánico Porculla (Tim- vp): .....	18
3.9. Pórfido Cuarcifero (T-pc), Dacita (T-da) y Diorita (KTi-di):.....	19
4. Metodología de estudio.....	22
5. Resultados: análisis, discusión e interpretación. ....	24
5.1. Análisis granulométrico de los Sedimentos de Quebrada del Pórfido de Cu – Mo de La Granja. ....	24
5.2. Caracterización mineralógica por difracción de rayos X (DRX) de los sedimentos de quebrada del pórfido de Cu – Mo de La Granja. ....	30
5.3. Análisis por fluorescencia de rayos X.....	35
5.4. Concentración gravimétrica por medios densos.....	60
5.5. Análisis mineralógico por Qemscan®.....	64
5.6. Mapas de dispersión mineralógica de los RIM's de La Granja .....	78
5.7. Discusión e interpretación. ....	89
6. Conclusiones y recomendaciones.....	92
Bibliografía:.....	94
7. ANEXOS.....	97
7.1. RECOMPILACION DE LA INFORMACION.....	97
7.2. IMÁGENES EN FALSO COLOR DE LAS BRIQUETAS ANALIZADAS POR Qemscan®.....	116
7.3. ANÁLISIS DE IMÁGENES EN FALSO COLOR DE LOS PRINCIPALES RIM'S DEL PÓRFIDO DE CU - MO DE LA GRANJA.....	119
7.4. IMÁGENES EN FALSO COLOR DE LOS PRINCIPALES GRANOS QUE CONTIENEN A LOS RIM'S DE LA GRANJA.....	125
7.5. TABLAS DE ASOCIACIONES MINERALES REPORTADOS POR Qemscan®.....	146

## Lista de figuras:

<b>Figura 1</b> Distribución granulométrica a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic ...	26
<b>Figura 2</b> Distribución granulométrica a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Ayraca.....	27
<b>Figura 3</b> Distribución granulométrica a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Checos.....	28
<b>Figura 4</b> Distribución granulométrica de las quebradas y ríos afluentes al sistema de drenaje del Río Paltic .....	29
<b>Figura 5</b> Difractograma de la muestra 4706.....	31
<b>Figura 6</b> Difractograma de la muestra 4709.....	32
<b>Figura 7</b> Difractograma de la muestra 4716.....	33
<b>Figura 8</b> Histograma de frecuencias para el $TiO_2$ .....	37
<b>Figura 9</b> Diagrama de caja & bigotes para el $TiO_2$ .....	38
<b>Figura 10</b> Histograma de frecuencias para el $Fe_2O_3$ .....	39
<b>Figura 11</b> Diagrama de caja & bigotes para el $Fe_2O_3$ .....	39
<b>Figura 12</b> Histograma de frecuencias para el $ZrO_2$ .....	40
<b>Figura 13</b> Diagrama de caja & bigotes para el $ZrO_2$ .....	41
<b>Figura 14</b> Histograma de frecuencias para el $Al_2O_3$ .....	42
<b>Figura 15</b> Diagrama de caja & bigotes para el $Al_2O_3$ .....	42
<b>Figura 16</b> Histograma de frecuencias para el $P_2O_5$ .....	43
<b>Figura 17</b> Diagrama de caja & bigotes para el $P_2O_5$ .....	43
<b>Figura 18</b> Variación de la composición química en función a la ubicación espacial de las muestras en el Río Paltic.....	48
<b>Figura 19</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic para los elementos $SiO_2\%$ , $TiO_2\%$ , $Al_2O_3\%$ y $Fe_2O_3\%$ .....	49
<b>Figura 20</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic para los elementos $MnO\%$ , $MgO\%$ , $Na_2O\%$ y $K_2O\%$ .....	50
<b>Figura 21</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic para los elementos $P_2O_5\%$ , $ZrO_2\%$ , $CaO\%$ y $SO_3\%$ .....	51
<b>Figura 22</b> Variación de la composición química a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Ayraca.....	52
<b>Figura 23</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca para los elementos $SiO_2\%$ , $TiO_2\%$ , $Al_2O_3\%$ y $Fe_2O_3\%$ .....	53
<b>Figura 24</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca para los elementos $MnO\%$ , $MgO\%$ , $Na_2O\%$ y $K_2O\%$ .....	54
<b>Figura 25</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca para los elementos $P_2O_5\%$ , $ZrO_2\%$ , $CaO\%$ y $SO_3\%$ .....	55
<b>Figura 26</b> Variación de la composición química a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Checos.....	56

<b>Figura 27</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Checos para los elementos SiO <sub>2</sub> %, TiO <sub>2</sub> %, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % y Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %.....	57
<b>Figura 28</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Checos para los elementos MnO%, MgO%, Na <sub>2</sub> O% y K <sub>2</sub> O %.....	58
<b>Figura 29</b> Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca para los elementos P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %, ZrO <sub>2</sub> %, CaO% y SO <sub>3</sub> %.....	59
<b>Figura 30</b> Tipos de grado de liberación mineral.....	65
<b>Figura 31</b> Grado de liberación mineral de la turmalina.....	66
<b>Figura 32</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de la turmalina.....	66
<b>Figura 33</b> Grado de liberación mineral del apatito.....	67
<b>Figura 34</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de la apatito.....	67
<b>Figura 35</b> Grado de liberación mineral del rutilo- anatasa.....	68
<b>Figura 36</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral del rutilo.....	68
<b>Figura 37</b> Grado de liberación mineral de la epidota.....	69
<b>Figura 38</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de la epidota.....	69
<b>Figura 39</b> Grado de liberación mineral de la clorita.....	70
<b>Figura 40</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de clorita.....	70
<b>Figura 41</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral de la turmalina.....	71
<b>Figura 42</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral del apatito.....	72
<b>Figura 43</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral del rutilo.....	73
<b>Figura 44</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral de la epidota.....	74
<b>Figura 45</b> Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral de la clorita.....	75
<b>Figura 46</b> Ensamblajes de alteración hidrotermal para sistemas mineralizados tipo pórfidos, mesotermales y epitermales tomado de Corbett y Leach del 1998.....	77
<b>Figura 47</b> Variación del porcentaje relativo en peso de los principales RIM's a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca, la presencia de turmalina no es observable en la figura por su bajo contenido.....	79
<b>Figura 48</b> Variación del porcentaje relativo en peso de los principales RIM's a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Checos.....	80
<b>Figura 49</b> Variación del tamaño promedio (en micras) de los principales RIM's a lo largo de la quebrada Ayraca.....	87
<b>Figura 50</b> Variación del tamaño promedio (en micras) de los principales RIM's a lo largo de la quebrada Checos.....	88
<b>Figura 51</b> Proceso de toma de muestra I.....	101
<b>Figura 52</b> Proceso de toma de muestra II.....	102

<b>Figura 53</b> Tabla de elementos químicos detectados según el tipo de cristal utilizado en el ZSX PRIMUS II de RIGAKU.....	105
<b>Figura 54</b> Materiales utilizados para la concentración gravimétrica por medios densos.....	108
<b>Figura 55</b> Procedimiento para la concentración gravimétrica.....	109

**Lista de mapas:**

Mapa 1. Mapa de ubicación del área de estudio, para la caracterización mineralógica de los sedimentos de quebrada del <i>brownfield</i> del pórfido de Cu–Mo de La Granja. ....	11
Mapa 2. Mapa de la ubicación de las 28 muestras de sedimentos de quebrada tomadas en el sistema de drenaje del río Paltic y sus principales afluentes. ....	12
Mapa 3. Mapa geológico regional del Pórfido de Cu - Mo de La Granja (Fuente: INGEMMET). ....	15
Mapa 4 Mapa de detalle de la geología próxima al depósito de La Granja (Fuente: Rio Tinto).....	21
Mapa 5 Mapa de ubicación de las muestras en el sistema de drenaje del río Paltic, quebrada Ayraca y Checos.....	25
Mapa 6 Mapa de ubicación de las muestras considerando las distancias en progresiva en metros en el sistema de drenaje del río Paltic, quebrada Ayraca y Checos.....	25
Mapa 7 Mapa de la distribución de muestras analizadas por Qemscan®.....	64
Mapa 8 Dispersión secundaria de los granos de turmalina del pórfido de Cu- Mo de La Granja.....	81
Mapa 9 Dispersión secundaria de los granos de apatito del pórfido de Cu- Mo de La Granja.....	82
Mapa 10 Dispersión secundaria de los granos de rutilo del pórfido de Cu- Mo de La Granja.....	83
Mapa 11 Dispersión secundaria de los granos de epidota del pórfido de Cu- Mo de La Granja.....	84
Mapa 12 Dispersión secundaria de los granos de clorita del pórfido de Cu- Mo de La Granja.....	85
Mapa 13 Dispersión secundaria de los granos de los posibles RIM´s del pórfido de Cu- Mo de La Granja.....	86

## Lista de tablas

Tabla 1 Ubicación del área de trabajo .....	11
Tabla 2. Vía de acceso hacia el proyecto La Granja.....	12
Tabla 3 Tabla de ubicación de las muestras en coordenadas UTM proyectadas en el Datum WGS-84 zona 17 S.....	13
Tabla 4. Clasificación granulométrica propuesta por Udden y Wentworth (1922).....	24
Tabla 5 Distribución granulométrica en el sistema de drenaje del Río Paltic. ....	27
Tabla 6 Tabla de la distribución granulométrica en el sistema de drenaje de quebrada Ayraca. ....	28
Tabla 7 Tabla de la distribución granulométrica en el sistema de drenaje de quebrada Checos. ....	29
Tabla 8 Distribución granulométrica de las quebradas y ríos tributarios accesitarios del Río Paltic.....	30
Tabla 9 Abundancia relativa de una especie mineral considerando los porcentajes normalizados para la difracción de rayos X.....	34
Tabla 10 Estadísticos descriptivos de los elementos mayores analizados por fluorescencia de rayos X.....	35
Tabla 11 Resultados de los análisis semicuantitativos por Fluorescencia de Rayos X. ....	36
Tabla 12 Pruebas de normalidad utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov con las modificaciones de Lilliefors y el test de Shapiro-Wilk.....	45
Tabla 13 Correlación de Pearson para los elementos mayores analizados por fluorescencia de rayos X.....	46
Tabla 14 Valorización de los coeficientes de correlación de Pearson.....	47
Tabla 15 Gravedad específica de los posibles minerales indicadores según Klein & Hurbult (1997) y Mindat.org. ....	60
Tabla 16 Gravedad específica de los minerales detectados por DRX. Datos de Klein & Hurbult (1997) y Mindat.org. ....	61
Tabla 17 Peso específico de los minerales detectados por el Qemscan®. ....	61
Tabla 18 Tabla de control de pesos utilizados en los diversos análisis químicos - mineralógicos realizados en las muestras de los sedimentos de quebrada del brownfield del pórfido de Cu - Mo de La Granja. ....	63
Tabla 19 Abundancia relativa en peso de los RIM's detectados por Qemscan®. ....	64
Tabla 20 Tamaño promedio de cada RIM's detectado por el Qemscan®.....	65
Tabla 21 Porcentaje de abundancia relativa en porcentaje en peso (wt) de los RIM's detectados desde la quebrada Ayraca. ....	78
Tabla 22 Porcentaje de abundancia relativa en pp. de los RIM's detectados en la quebrada Checos. ....	79
Tabla 23 Tabla de la variación del tamaño promedio de los principales RIM's en función a la ubicación espacial de las muestras en la quebrada Ayraca.....	87
Tabla 24 Tabla de la variación del tamaño de grano promedio de los principales RIM's en función a la ubicación espacial de las muestras en la quebrada Checos. ....	88
Tabla 25 Información y modo de medición ofrecido por Qemscan®.....	111
Tabla 26 Tabla de la abundancia relativa en peso de los minerales detectados por Qemscan®.....	113
Tabla 27 Tabla de tamaño promedio de cada mineral detectado por Qemscan®.....	114

## **1. Introducción.**

### **1.1. Planteamiento del Problema:**

La exploración de depósitos minerales cubiertos, ocultos o fuertemente alterados requiere del uso de métodos geofísicos y geoquímicos para la identificación de los blancos de exploración. La geofísica aerotransportada y terrestre es un medio rápido para localizar áreas potencialmente interesantes con anomalías magnéticas y/o electromagnéticas. Sin embargo, estas anomalías por si solas no permiten establecer si el blanco de exploración se encuentra mineralizado o si la eventual mineralización presente es del tipo buscado (Gent et al., 2011). Por otra parte, el levantamiento geoquímico de superficie, basado en el análisis de muestras de sedimentos, aguas y vegetación, es una técnica bien establecida para localizar e identificar la mayoría de los tipos de mineralización; sin embargo, su aplicación en regiones con gran cobertura (glacial, aluvial, coluvial, etc.) o para cuerpos mineralizados particularmente pequeños, puede resultar de utilidad limitada o bien poco práctico.

El uso de minerales indicadores resistentes (RIM's por sus siglas en inglés), tales como cromita, ilmenita, granate, turmalina, etc., es una alternativa para realizar prospección geoquímica en regiones con gran cobertura, como es el caso de los depósitos de diamantes en áreas cubiertas, donde este método (ej.: granates, ilmenitas y cromitas) se ha convertido en un procedimiento estándar de exploración regional (Griffin y Ryan, 1995). En este mismo sentido, el descubrimiento del depósito de Ni-Cu-Co Voiseys Bay (Averill, 2001) ha demostrado que los RIM's (ej.: calcopirita) tienen también el potencial para ser una herramienta significativa para los programas de exploración de metales base.

En la actualidad la prospección geoquímica utilizando RIM's está siendo evaluada en terrenos glaciares por el Servicio Geológico de Canadá (McClenaghan et al., 2016) en donde se investiga la mineralogía y la señal geoquímica característica en las tillitas, para distintos tipos de yacimientos minerales.

El presente trabajo integrativo, pretende identificar y evaluar la dispersión de RIM's generados por los procesos de alteración hidrotermal relacionados al Pórfido de Cu-Mo de La Granja (Perú), en el sistema de drenaje del Río Paltic, como parte de un estudio de orientación para la prospección de depósitos tipo Pórfidos de Cu – Mo en la franja Miocénica del Norte del Perú y Sur de Ecuador.

La franja denominada por el Servicio Geológico del Perú (INGEMMET) como “XXI Franja de pórfidos de Cu-Mo (Au), Skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno” (Carlotto et al., 2009), presenta un gran potencial por depósitos tipo Pórfido de Cu de “clase mundial” (de gran tonelaje o gigantes), como lo refleja la presencia de

proyectos tales como: a) el pórfido de Cu- Mo de La Granja, con recursos indicados e inferidos de 4320 millones de toneladas (Mt), con una ley de 0.51% Cu (Du Plessis, 2016), b) el pórfido Cu – Mo de Río Blanco con recursos medidos, indicados e inferidos de 1257 Mt, con leyes de 0.57% de Cu y 228 ppm de Mo (informe de Río Blanco Cooper, 2017) y c) el pórfido de Cu de Cañariaco, con recursos indicados e inferidos de 1003 Mt, con leyes de 0.40% de Cu, 0.06 g/t de Au y 1.7 g/t de Ag (Thomas et al., 2011).

El área de estudio es de difícil acceso debido al tipo de clima subtropical, que resulta de la proximidad del área a la línea ecuatorial. La vegetación que prevalece es de tipo selvática, aunque no tan densa (Baldock, 1972), estos factores climáticos generan grandes coberturas de suelos, que limitan la presencia de afloramientos rocosos en la zona. Por este motivo, el uso de RIM's puede ser una herramienta alternativa viable para la exploración de depósitos minerales tipo Pórfido de Cu–Mo en la región, ya que podría brindar evidencias de procesos de alteración –mineralización, además de indicar la posible cercanía al cuerpo mineralizado y la identificación de nuevos *target's* de exploración minera.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General:**

Evaluar la dispersión y caracterizar la mineralogía de los RIM's en el *brownfield* de un sistema de pórfido de Cu-Mo conocido, en ámbito del orógeno Andino y evaluar la factibilidad–eficiencia de esta herramienta en la prospección de este tipo de depósitos en el ambiente andino.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los potenciales RIM's (ej: turmalina, epidota, apatita y rutilo) presentes en los sedimentos de quebrada del sistema de drenaje del río Paltic, influenciado por la presencia de un prospecto de tipo pórfido Cu-Mo de clase Mundial (La Granja) en los andes peruanos.
- Caracterización mineralógica de las muestras de RIM's obtenidas en el área de estudio, mediante el uso de las técnicas analíticas de fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX) y Qemscan®.
- Determinar los patrones de dispersión en el sistema de drenaje de Río Paltic de los diferentes RIM's provenientes del pórfido de Cu–Mo de La Granja.

- Evaluar la factibilidad, eficiencia y costos del uso de esta herramienta de prospección (RIM's) en el ambiente andino.

### **1.3. Hipótesis de trabajo:**

- La identificación de RIM's y su caracterización mineralógica mediante las técnicas instrumentales de DRX y Qemscan® pueden dar señales de la presencia de un cuerpo mineralizado del tipo pórfido de cobre y molibdeno.
- Los patrones de dispersión de los RIM's en los sedimentos de quebrada del Río Paltic pueden ser útiles como guías de exploración de sistemas tipo pórfido de cobre y molibdeno en el *brownfield* del pórfido de La Granja.
- La presencia de los RIM's en los sedimentos de quebrada del Río Paltic puede ser usado de manera simple, efectiva y a bajo costo, para la prospección en etapas tempranas de exploración del sistema tipo pórfido de Cu-Mo en el *brownfield* de La Granja.

### **1.4. Fundamento científico/técnico**

La distinción entre plutones fértiles (relacionados a mineralización o con capacidad de mineralizar) y estériles (no vinculados a mineralización), es un desafío significativo para los geólogos que exploran depósitos tipo pórfido de Cu (Mo, Au). La información que aporta dicho conocimiento *a-priori* proporciona una guía temprana en el proceso de exploración para la toma de decisiones de manera efectiva y eficiente al enfocar los recursos económicos de programas de exploración a *target's* mas prospectivos (Bouzari et al, 2015).

El proceso fundamental para la formación de depósitos tipo pórfido de cobre es la exsolución de fluidos magmático-hidrotermales ricos en metales desde grandes batolitos (Dilles y Einaudi, 1992). En todos los casos estudiados, los plutones presentaban evidencias de registro geoquímico característico de fertilidad de pórfidos mediante la variación de la composición química de cada mineral indicador (RIM's), el cual puede variar según las condiciones fisicoquímicas del medio. La evaluación de la fertilidad, además de la determinada en muestras de roca fresca del plutón, puede ser estimada utilizando concentrados de minerales de los sedimentos de quebrada y de tillitas, tales como apatita, titanita, zircón, hornblenda y magnetita (Bouzari et al, 2015).

Los RIM's son especies minerales que cuando aparecen como granos transportados en sedimentos clásticos, indican la presencia de rocas fuentes de un tipo específico de

mineralización, alteración hidrotermal o litología. Sus características físicas y químicas permiten que sean fácilmente recuperados de una muestra de exploración promedio (suelo, sedimento de quebrada, aluvial, glacial o eólico) además de ser lo suficientemente abundantes (McClenaghan, 2005).

Los RIM's presentan las siguientes características:

- Son relativamente fáciles de reconocer a simple vista.
- Son lo suficientemente abundantes en una muestra promedio de exploración regional.
- Comúnmente poseen una densidad específica moderada a alta.
- Tienen un tamaño promedio entre limo y arena.
- Poseen una alta resistencia al transporte y la meteorización.

Los principales beneficios del uso de RIM's son:

- Permiten la detección de halos de alteración mucho más extensos que se encuentran relacionados con zonas mineralizadas.
- Aportan evidencia física de la presencia de mineralización o alteración en una cierta región.
- Proveen información sobre la naturaleza de la mena, alteración hidrotermal relacionada y la proximidad de la fuente mineralizada, que los métodos geoquímicos tradicionales no pueden ofrecer.
- Los elementos trazas de los RIM's son sensibles a los cambios fisicoquímicos del medio en el que se formaron, siendo su presencia una firma geoquímica característica de su ambiente de formación.
- Es posible identificar y remover de manera muy sencilla la contaminación por agentes ajenos a su formación.

En la actualidad los RIM's están siendo evaluados para su uso en la prospección de depósitos minerales tipo pórfido de Cu-Mo, en donde minerales como el apatito (Belousova et. al., 2002), rutilo (Rabbia y Hernández, 2012), turmalina (King et. al., 1999), epidota (Cooke et. al., 2014) y clorita (Wilkinson et. al., 2015) presentan estudios que demuestran que la química mineral de cada una de estas especies minerales tiene una firma geoquímica característica que representa su ambiente de formación (cristalización), la cual puede ser aplicable en la prospección minera.

### **1.5. Área de estudio propuesta**

El pórfido de Cu-Mo de La Granja se encuentra ubicado en la Hacienda La Granja, distrito de Querocoto, provincia de Chonta, departamento de Cajamarca. El descubrimiento de La Granja es el resultado del “Proyecto de Exploración Geoquímica del Norte del Perú”, llevado a cabo entre los años 1967–1972 por el antiguo Servicio de Geología y Minería (actualmente INGEMMET) y el Programa Británico de Asistencia Técnica (Baldock, 1972). El hallazgo surgió a partir de un muestreo regional de sedimentos de quebrada, en un área de 25000 km<sup>2</sup>, que arrojó una anomalía geoquímica persistente hasta por 20 km aguas abajo del yacimiento (Flores Ñañez, 1982).

Actualmente el prospecto La Granja está siendo evaluado por la empresa minera Río Tinto, habiendo calculado unos recursos indicados e inferidos de 4320 Mt con una ley de 0.51% de Cu (Du Plessis, 2016).

La franja Miocénica de pórfidos de Cu – Mo del norte del Perú y el sur de Ecuador (Carlotto et al., 2009), al que pertenece este prospecto, podría albergar depósitos minerales de clase mundial que ameritan ser estudiados.

## 2. Área del Estudio

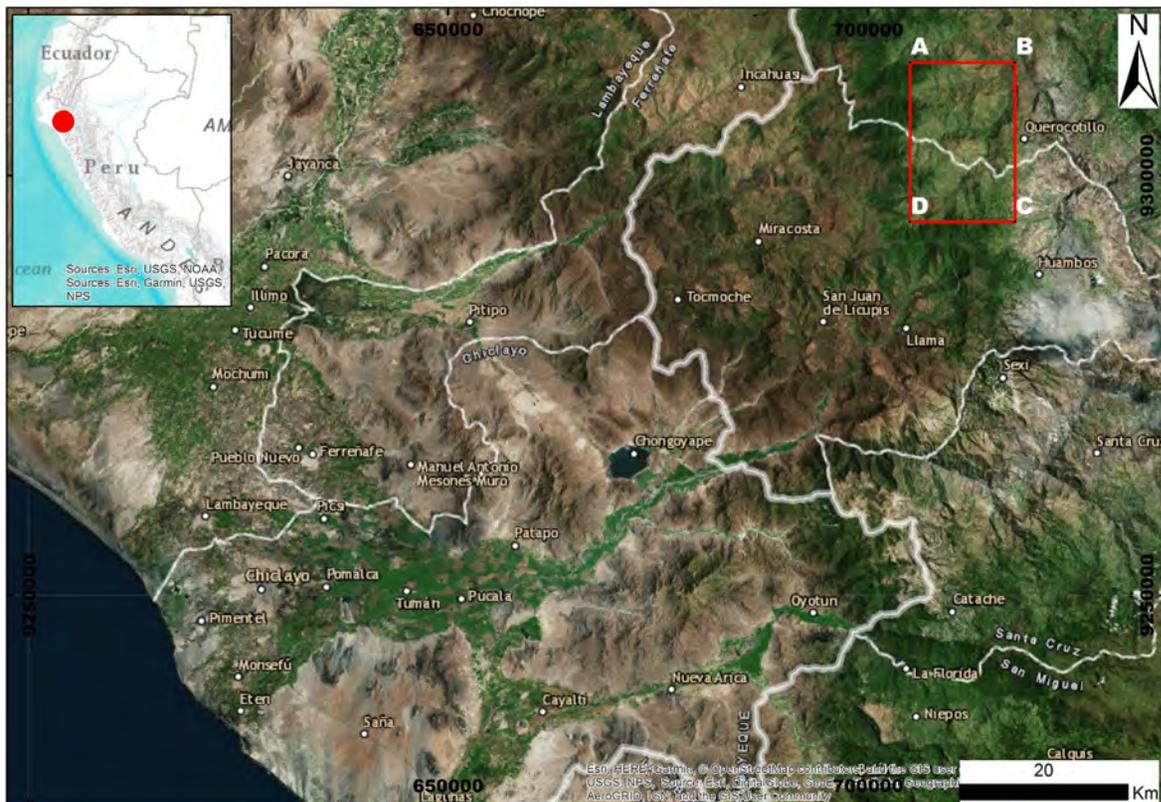
### 2.1. Ubicación:

La Granja es un pequeño pueblo en el norte del Perú en el departamento de Cajamarca, provincia de Chota en el distrito de Querocoto; sin embargo, el alcance del presente estudio abarca también al distrito de Querocotillo (**Tabla 1 y Mapa 1**). El pórfido de Cu-Mo de La Granja se encuentra inmediatamente al sur-este del pueblo, entre las cotas 2000-2700 m.s.n.m. Tres ríos cruzan la zona del yacimiento: por el oeste, la quebrada Ayraca, por el norte el Río Paltic y por el este la quebrada Checos.

Las coordenadas (UTM) del área de estudio en el sistema WGS 84 zona 17 S son:

**Tabla 1 Ubicación del área de trabajo**

Punto	Este	Norte	Datum
A	705000	9294500	WGS 84_17S
B	717500	9294500	WGS 84_17S
C	717500	9313500	WGS 84_17S
D	705000	9313500	WGS 84_17S



**Mapa 1.** Mapa de ubicación del área de estudio, para la caracterización mineralógica de los sedimentos de quebrada del *brownfield* del pórfido de Cu–Mo de La Granja.



**Tabla 3** Tabla de ubicación de las muestras en coordenadas UTM proyectadas en el Datum WGS-84 zona 17 S

Muestra	Este	Norte	Cota	Fecha	Datum
4705	708845	9297815	1930	9/02/2018	WGS_84_17S
4706	708940	9297838	1913	9/02/2018	WGS_84_17S
4707	708840	9297543	1944	9/02/2018	WGS_84_17S
4708	709693	9298090	1866	10/02/2018	WGS_84_17S
4709	710832	9298700	1764	10/02/2018	WGS_84_17S
4710	710659	9298643	1758	10/02/2018	WGS_84_17S
4711	710927	9299355	1693	10/02/2018	WGS_84_17S
4712	713543	9302253	1469	11/02/2018	WGS_84_17S
4713	713339	9302137	1465	11/02/2018	WGS_84_17S
4714	713609	9302363	1449	11/02/2018	WGS_84_17S
4715	712883	9301720	1493	11/02/2018	WGS_84_17S
4716	705773	9294789	2306	12/02/2018	WGS_84_17S
4717	706357	9295370	2210	12/02/2018	WGS_84_17S
4718	706821	9296259	2103	12/02/2018	WGS_84_17S
4719	707174	9297241	2040	12/02/2018	WGS_84_17S
4720	706588	9297416	2012	12/02/2018	WGS_84_17S
4721	707008	9297541	2004	12/02/2018	WGS_84_17S
4722	707511	9297725	1983	12/02/2018	WGS_84_17S
4723	708209	9297782	1953	12/02/2018	WGS_84_17S
4724	711517	9300257	1656	13/02/2018	WGS_84_17S
4725	711977	9301096	1557	13/02/2018	WGS_84_17S
4726	708848	9296230	1895	14/02/2018	WGS_84_17S
4727	714546	9305829	1237	14/02/2018	WGS_84_17S
4728	714354	9305718	1235	14/02/2018	WGS_84_17S
4729	714474	9305696	1257	14/02/2018	WGS_84_17S
4730	715887	9307573	1171	14/02/2018	WGS_84_17S
4731	716489	9310327	1114	14/02/2018	WGS_84_17S
4732	715716	9312803	1068	14/02/2018	WGS_84_17S

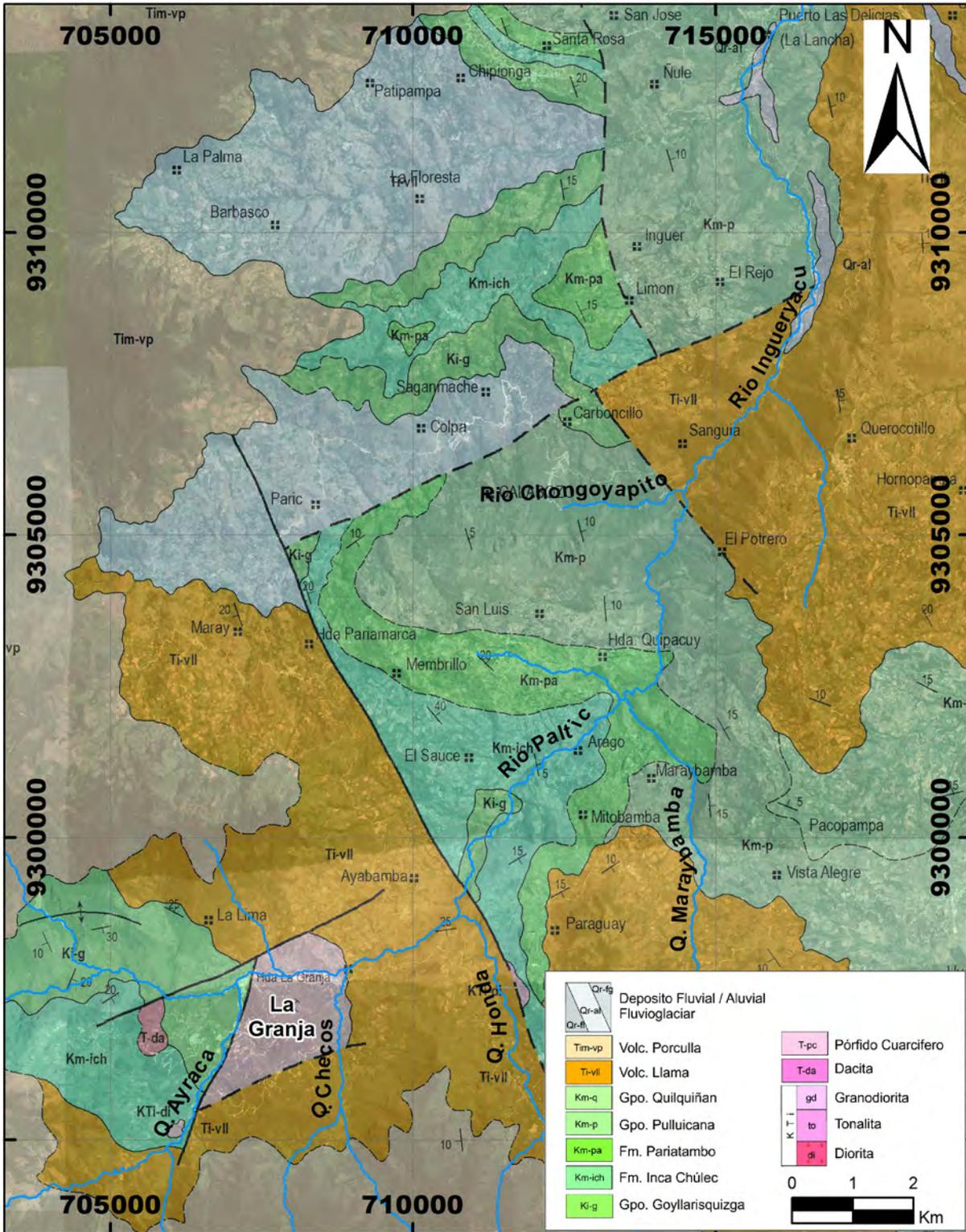
## 2.2. Clima:

El clima en el área de trabajo, según la estación meteorológica de Llama, oscila entre los 5.2° y 30.8° C, con un promedio anual pluviométrico de 6.20 mm, siendo su máxima precipitación con 123 mm entre 1967 al 2015 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2018).

Las precipitaciones pluviales son localmente abundantes entre los meses de octubre a marzo, la flora de la zona circunscrita al proyecto es de bosque natural y arbustiva, presenta plantas naturales y silvestres, se emplean los terrenos suaves para la agricultura. Los recursos hídricos se basan en los aportes de las quebradas Ayraca, Checos y Honda, de curso permanente y que forman al Río Paltic, afluente del Río Chotano (Flores, 1982).

### 3. Marco Geológico

El Pórfido de Cu–Mo de La Granja se encuentra ubicado en el flanco oriental del Batolito de la Costa (**Mapa 3**). En el norte de Cajamarca, este flanco se compone de las secuencias volcánicas del Oyotún, sedimentos clásticos y calizas del cretácico pertenecientes a las formaciones Goyllarisquizga, Inca, Chuléc, Pariatambo y el grupo Pulluicana, a las que sobreyacen una serie de derrames piroclásticos de tufas e ignimbritas de las formaciones Llama y Porculla del Grupo Calipuy (Kross y Schppers, 1982). Estas secuencias sedimentarias y volcánicas son intruídas por un stock porfirítico de naturaleza monzonítica (pórfido cuarcífero, dacitas y dioritas) fuertemente alterado y fracturado en un área aproximada de 6 km<sup>2</sup> (Chacón y Zedano, 1981).



Mapa 3. Mapa geológico regional del Pórfido de Cu - Mo de La Granja (Fuente: INGEMMET).

### **3.1. Volcánico Oyotún (J-vo / Liásico inferior):**

Consiste en una secuencia gruesa de rocas volcánicas con escasas intercalaciones sedimentarias. Presenta afloramientos macizos irregulares con escasas evidencias de estratificación. Los colores de la roca intemperizada son oscuros y tiene una potencia promedio de 500 m.

La litología típica consiste en bancos medianos o gruesos de piroclastos y derrames de composición andesítica-dacítica. Las rocas que predominan son una brecha andesítica y una dacita porfirítica que se presenta como un flujo o como un piroclástico. Las intercalaciones sedimentarias generalmente son grauvacas y areniscas feldespáticas, aunque muy raramente existen capas de caliza laminada y estratificada. La edad del volcánico Oyotún se estima que podría alcanzar los niveles superiores del Liásico inferior. Esta edad es estimada por la correlación que presenta con la formación La Leche, ya que en el volcánico Oyotún no se ha encontrado fósiles para su determinación (Wilson, 1984).

### **3.2. Formación Goyllarisquizga (Ki-g / Neocomiano):**

Conformada por un grosor variable de areniscas y cuarcitas blanquecinas y marrones bien estratificadas en capas medianas, con intercalaciones de lutitas grises a marrones. El grosor de la formación, según el trabajo regional de Wilson (1984), alcanza un máximo de 700 a 800 m. La formación Goyllarisquizga no contiene fósiles diagnósticos, aunque por su posición estratigráfica se le asigna una edad del Neocomiano (Wilson, 1984).

### **3.3. Formación Inca – Chuléc (Km- ich / Albiano inferior – Albiano medio inferior):**

La formación Inca, en el cuadrángulo de Incahuasi, tiene un grosor promedio que oscila entre los 60 a 80 m. Está compuesta predominantemente por areniscas y lutitas con intercalaciones calcáreas. Se caracteriza por la naturaleza ferruginosa de sus sedimentos. La formación Chuléc tiene una potencia promedio de 50 m. Consiste de lutitas, margas y calizas nodulares, que presentan un color de intemperismo generalmente crema o gris amarillento.

La formación Inca comienza con algunos metros de caliza maciza arenosa; luego las secuencias superiores son intercalaciones de capas delgadas a intermedias de areniscas y lutitas con calizas impuras. Los afloramientos frescos presentan tonos grisáceos, pero al intemperizarse la roca presenta un color marrón característico debido al cemento limolítico. La formación Chuléc consiste en capas delgadas bien estratificadas de lutitas gris, marga amarillentas y calizas marrón crema. Las calizas son lutáceas o margosas; generalmente se presentan en capas delgadas y nodulares.

La formación Inca yace discordantemente sobre los sedimentos clásticos de la formación Goyllarisquizga, aunque Wilson (1984) indica que el contacto de las formaciones Inca y Chuléc es bastante nítido. Por lo reducido de las potencias de ambas formaciones éstas fueron cartografiadas como un solo paquete. La formación Chuléc tiene contactos concordantes tanto con la formación Inca como con la Pariatambo. El contacto inferior de la formación Chuléc está indicado por el cambio de material lutáceo a los sedimentos arenosos y ferruginosos de la formación Inca, mientras que el contacto superior está ubicado en el horizonte donde aparecen las calizas en lajas de la formación Pariatambo. La formación Inca fue datada por Benavides (en Wilson, 1984) en el Albiano inferior, mientras que la formación Chuléc del Albiano medio inferior.

#### **3.4. Formación Pariatambo (km-pa / Albiano medio):**

Presenta una potencia de 100 a 300 m. de caliza, lutitas y tobas como capas delgadas uniformemente estratificadas. La caliza es fina, de color negro, bituminosa y generalmente tiene un olor fétido. Las tobas que se reportan son de color violáceo, las cuales se encuentran intercaladas con las calizas y lutitas.

La formación Pariatambo suprayace concordantemente a las margas, lutitas y calizas de la formación Chuléc, donde existe un contraste bastante marcado entre las calizas y tobas de la formación Pariatambo estratificadas en lajas, y las margas y calizas nodulares infrayacente. El contacto superior con el grupo Pulluicana, es generalmente concordante, pero fácil de reconocer por el cambio hacia arriba de calizas oscuras y toba a bancos más potentes de caliza gris clara. La formación Pariatambo fue datada en la parte superior del Albiano medio (Wilson, 1984).

#### **3.5. Grupo Pulluicana (Km-p / Albiano medio – Cenomaniano temprano):**

Consiste en algunos metros de caliza, marga, lutita y arenisca. En algunas partes del norte del Perú el grupo es claramente divisible en las formaciones Yumagal y Mujarrún. Esta separación no fue muy evidente en los estudios de Wilson (1984) para la carta geológica regional, por lo que en el cuadrángulo de Incahuasi fue tratada como un grupo indiviso. El grosor reportado es en promedio de 600 m. de areniscas, limolitas y lutitas con intercalaciones de calizas nodulares. El contacto inferior del grupo Pulluicana con la formación Pariatambo varía de una relación concordante a una discordancia paralela. Hay un contraste marcado entre los sedimentos claros estratificados en capas medianas a gruesas del grupo Pulluicana y las calizas y tobas en capas delgadas de la formación Pariatambo. El contacto superior con el volcánico Llama presenta una

discordancia paralela a ligeramente angular. La edad está en el intervalo comprendido entre la parte tardía del Albiano medio y el Cenomaniano temprano Benavides(1956 ) (en Wilson, 1984).

### **3.6. Grupo Quilquiñan (Km-q / Cenomaniano tardío – Turoniano temprano):**

Está compuesto por las formaciones Romirón y Coñor que en conjunto tienen una potencia de 100 a 200 metros. En el cartografiado de Wilson (1984) el grupo fue considerado como una sola unidad litológica.

El grupo consiste en lutitas friables gris oscuras y margas azuladas en capas delgadas que intemperizan a marrón oscuro o marrón rojizo. También se encuentran intercalaciones delgadas de margas porosas y ferruginosas. Las calizas que se intercalan con las lutitas y margas son generalmente delgadas y escasas. El grupo Quilquiñan es datado por Benavides (1956) (en Wilson, 1984) en el intervalo Cenomaniano tardío–Turoniano temprano.

### **3.7. Volcánico Llama (Ti- vii):**

Formado por una secuencia gruesa de depósitos volcánicos que toman el nombre del pueblo de Llama en el cuadrángulo de Chongoyape cartografiado por Wilson (1984). Generalmente el volcánico Llama comienza con un conglomerado basal rojizo intercalado con capas de toba andesítica de color morado o violáceo. Sobre el conglomerado se encuentra una secuencia gruesa de piroclásticos y derrames andesíticos predominantes; sin embargo, también se reportan proporciones de volcánicos ácidos de composición dacítica y riodacítica.

Las relaciones estratigráficas de la base del volcánico Llama en el cuadrángulo de Incahuasi presentan una discordancia paralela a ligeramente angular con las calizas correspondientes al Grupo Pulluicana. El techo del volcánico Llama queda erosionado o cubierto discordantemente por rocas del volcánico Porculla de forma paralela. El volcánico Llama se correlaciona con la parte inferior del Grupo Calipuy.

### **3.8. Volcánico Porculla (Tim- vp):**

Secuencia gruesa de volcánicos mayormente ácidos. El nombre de Porculla viene del abra del mismo nombre por donde pasa la carretera denominada La Marginal de la Selva.

La unidad tiene un espesor considerable de volcánicos dacíticos con intercalaciones de andesitas donde los depósitos piroclásticos son generalmente más abundantes que los derrames. Los volcánicos se presentan en capas medianas a gruesas, pobremente estratificadas. Infrayace al volcánico Huambos y suprayace al volcánico Llama con discordancia angular. El volcánico Porculla se correlaciona con la parte superior del Grupo Calipuy.

### 3.9. Pórfido Cuarzífero (T-pc), Dacita (T-da) y Diorita (KTi-di):

La mineralización y la alteración hidrotermal en La Granja se encuentra relacionada con la intrusión de un pórfido cuarzo feldespático, el cual presenta una extensión aproximada de 2000m x 2500m de una roca fuertemente alterada. Además, y con un grado de alteración bajo, se identificaron en el flanco occidental un pórfido granodiorítico biotítico, y en los flancos oriental y sur un pórfido granodiorítico hornbléndico (Schwartz, 1982).

La intrusión y su cubierta volcano-sedimentaria se vieron más afectadas por los procesos de alteración en múltiples etapas (Ver **Mapa 4**). Las descripciones presentadas se basan en los trabajos realizados por Hein & Tistl (1987) y Schwartz (1982).

Se presenta una alteración potásica temprana compuesta por cuarzo, feldespato potásico, biotita secundaria junto con calcopirita, pirita y molibdenita. Esta alteración se encuentra como relictos en el sector oriental del stock y en algunos afloramientos del cuerpo de alteración central. A la alteración potásica se sobrepone una alteración fílica (sericita – arcillas), en forma de reemplazos, diseminaciones y en vetillas. El contenido de pirita es generalmente de 1 a 10% pp. La zona de sericita–arcillas presenta los ensambles de sericita–cuarzo, sericita–arcillas - cuarzo, clorita–sericita– cuarzo y clorita–arcillas–cuarzo; los ensambles con clorita son pocos frecuentes en la capa de lixiviación (Hein & Tistl, 1987).

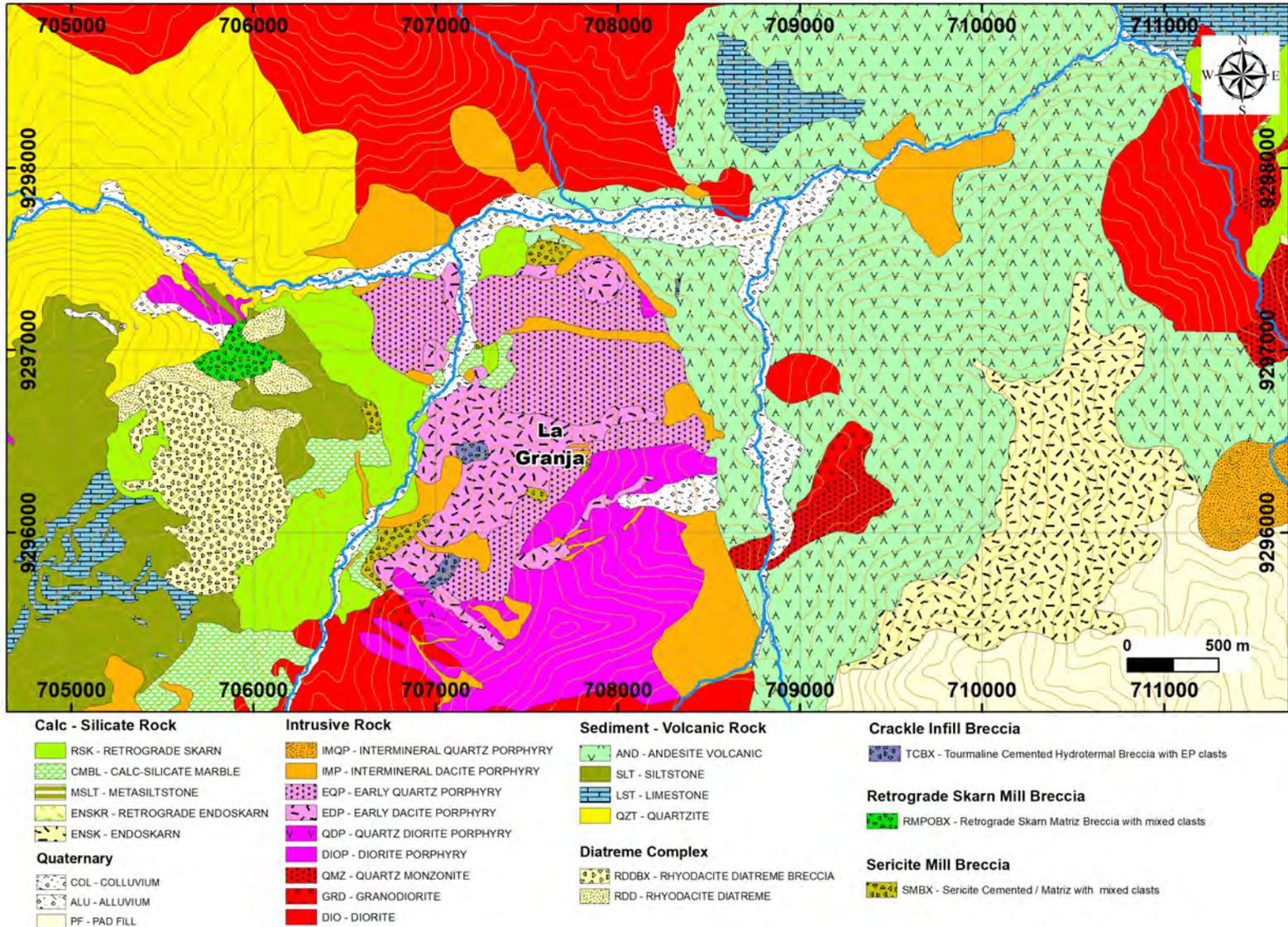
La alteración argílica avanzada se caracteriza por los ensambles andalucita-sericita-cuarzo, diáspora-pirofilita-cuarzo y sericita-pirofilita-cuarzo, los cuales se encuentran en el cuerpo central en donde la liberación de sílice fue considerable. El contenido de pirita representa entre el 2 y el 12% pp en rellenos de fracturas. La zona central de alteración está rodeada por un halo propilítico en las rocas andesíticas, dioríticas y granodioríticas donde intruye el stock principal. La intensidad de la alteración propilítica es comparativamente baja, conservándose una gran proporción de los silicatos primarios. Los productos de alteración más comunes son epidota, clorita, calcita, minerales arcillosos y cuarzo, andalucita–pirofilita–cuarzo, sericita–pirofilita–cuarzo (Schwartz, 1981).

El pórfido cuarzo feldespático intruyó en el flanco occidental a los sedimentos del cretácico inferior. Las rocas fueron alteradas metasomáticamente, en diferentes grados, dependiendo de la composición mineralógica de la roca original. La cuarcita pura ha sido afectada mínimamente con ocurrencias de diseminaciones de pirita. Las areniscas limo-arcillosas han sufrido una alteración sericita–arcillas similares a las de las rocas intrusivas. La caliza fue reemplazada por minerales calcosilicatados con granate, actinolita, wollastonita, epidota y clinozoisita; a una distancia cada vez mayor del contacto con el intrusivo, la alteración calco-silicática da paso a la marmolización.

Los sulfuros primarios son la calcopirita, pirita, molibdenita y bornita. Se presentan diseminados, en venillas y rellenando fracturas. Las leyes hipógenas varían entre 0.5 a 0.8% de Cu en la zona fílica (sericita–arcillas), pasando a tener leyes promedio en 0.05 % de Cu en la zona argílica avanzada. La enargita y la tenantita se encuentran presentes en forma de venillas. El rutilo es el mineral dominante de titanio y en la periferia del depósito la magnetita se produce como diseminaciones y en venillas.

La lixiviación supérgena ha sido fuerte dentro de la zona de alteración central, convirtiendo los sulfuros casi completamente en limonita. La capa de lixiviación varía de grosor desde unos pocos metros en los valles muy inclinados y en las laderas erosionadas hasta 200 m. por debajo de la antigua superficie de erosión. La mineralización visible de cobre, generalmente oxidada, es extremadamente rara en la capa lixiviada. Se atribuye al ambiente fuertemente oxidante y ácido resultante del alto contenido de pirita de la roca y la falta de agentes neutralizantes como el feldespato. La lixiviación también se ve favorecida por el clima subtropical, el fracturamiento intenso de la roca y la topografía rugosa. En contraste con la zona de alteración central, la roca propilítica o inalterada muestra poca o ninguna lixiviación de sulfuros.

Los sulfuros secundarios predominantes son la calcocita y la covelita que se producen como sustitutos directos de la calcopirita y la bornita. Las leyes del mineral supérgeno varían entre 0.5 a 2% de Cu dentro de la zona fílica (Schwartz, 1981).



Mapa 4 Mapa de detalle de la geología próxima al depósito de La Granja (Fuente: Rio Tinto).

#### 4. Metodología de estudio.

El presente Trabajo Integrativo Final contempla el estudio de los sedimentos de quebrada de los Ríos Paltic, Chongoyapito e Ingueryacuy y de las quebradas Ayraca, Checos, Honda y Maraybamba que se encuentran en el área de influencia del *brownfield* del pórfido de La Granja. Dado lo extenso que resulta la descripción metodológica, debido al amplio rango de técnicas utilizadas, solo se resumirá el listado de técnicas empleadas las cuales serán descritas en detalle en el Anexo 7.1 sobre metodología.

El proyecto contó con tres etapas metodológicas de trabajo que incluyeron:

- a) trabajo de gabinete para la recopilación bibliográfica,
- b) trabajo de campo para el muestreo y relevamiento de información geológica
- c) trabajo de laboratorio, para la caracterización de las muestras.

El trabajo con las muestras se resume en el **Esquema 1**.

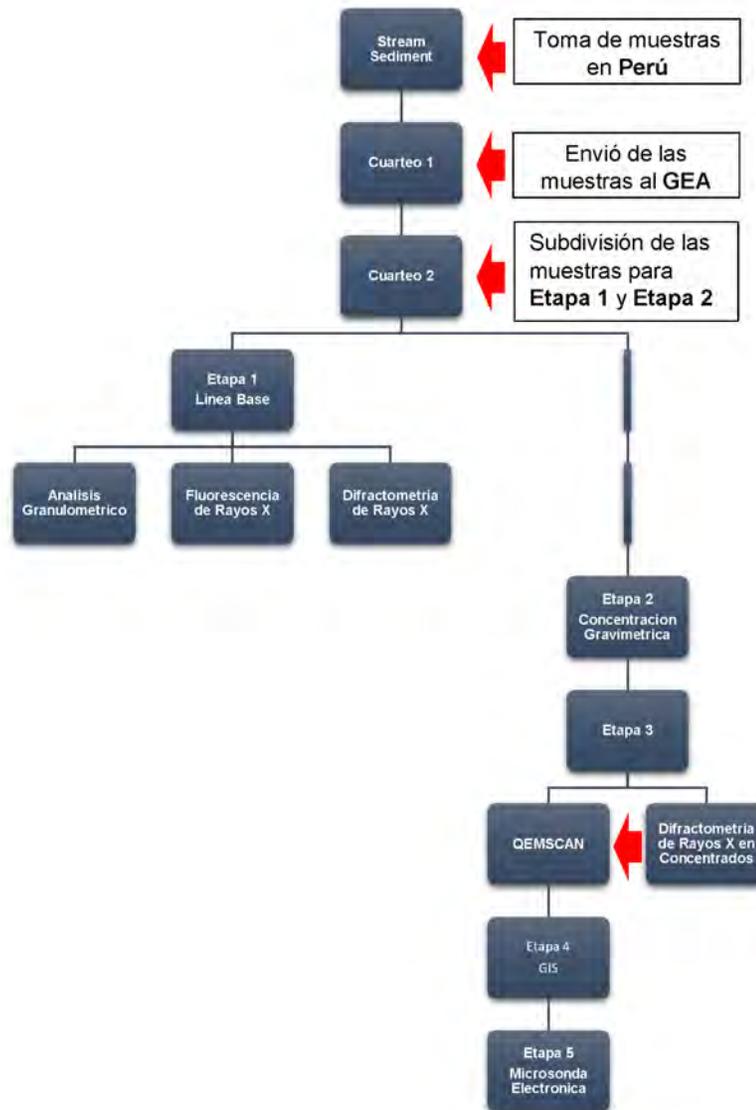
En el **Anexo 7.1** se describen los procesos de recopilación de la información en la etapa inicial del proyecto, para luego pasar a detallar la etapa de ejecución en terreno donde se describe el proceso de la toma de las 28 muestras de sedimentos de quebrada, distribuidas a lo largo de 27 km. aguas abajo del Pórfido de La Granja.

Para la etapa de laboratorio se detallan las técnicas de secado, homogenización y cuarteo de las muestras para los análisis químicos–mineralógicos posteriores.

Para la primera parte de la etapa de caracterización de los materiales a estudiar, denominada Línea Base de los Sedimentos de Quebrada del Pórfido de La Granja, se describen las metodologías relacionadas con la caracterización granulométrica, el análisis de la composición química mediante la FRX y una caracterización mineralógica por DRX. A continuación, se hace lo propio con la metodología de concentración de minerales pesados (con densidad mayor a 2.81), mediante el uso de medios densos (politungstato de sodio), cuyo resultado debería concentrar los potenciales minerales indicadores del Pórfido de La Granja. Los concentrados de minerales pesados son luego caracterizados mediante el uso de Qemscan® y los resultados contrastados con los obtenidos para la Línea Base ya descrita.

Posteriormente, los resultados de los análisis químico–mineralógicos efectuados en los sedimentos de quebrada serán sintetizados en un compósito de mapas de dispersión de los minerales indicadores del Pórfido de La Granja para poder evaluar la factibilidad del uso de esta

técnica para la detección de yacimientos tipo pórfido en etapas tempranas de exploración cercanas al área de estudio.



**Esquema 1.** Diagrama de flujo de metodología utilizada en la etapa analítica del análisis de las muestras.

## 5. Resultados: análisis, discusión e interpretación.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de los análisis químicos - mineralógicos realizados en las 28 muestras de los sedimentos de quebrada del pórfido de Cu – Mo de DRX y FRX, y culminar con los datos de las 10 muestras de concentrados de minerales analizadas por Qemscan®.

### 5.1. Análisis granulométrico de los Sedimentos de Quebrada del Pórfido de Cu – Mo de La Granja.

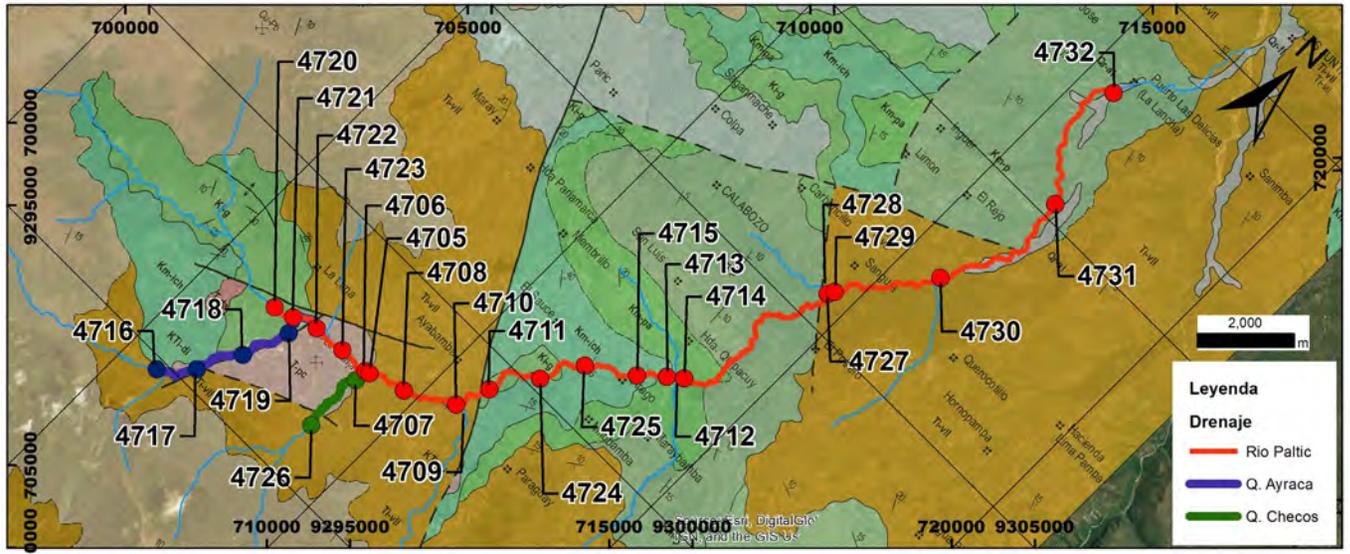
El análisis granulométrico fue realizado en cada una de las 28 muestras. Para la clasificación granulométrica se utilizó la escala propuesta por Udden y Wentworth (1922) (tomado de Adams et al., 1997; **Tabla 4**).

**Tabla 4.** Clasificación granulométrica propuesta por Udden y Wentworth (1922)

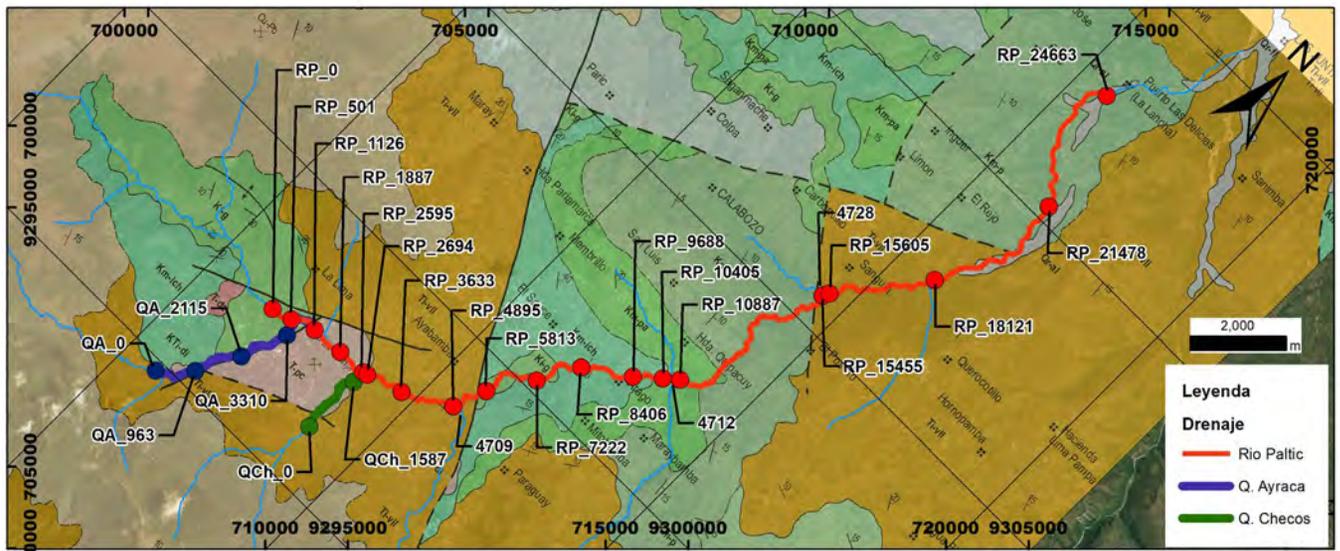
Diámetro Límite $\mu\text{m}$		Denominación de la Clase
	> 256000	<b>Bloque</b>
256000	64000	<b>Bloque pequeño</b>
64000	4000	<b>Canto</b>
4000	2000	<b>Canto pequeño</b>
2000	1000	<b>Arena muy gruesa</b>
1000	500	<b>Arena gruesa</b>
500	250	<b>Arena</b>
250	125	<b>Arena fina</b>
125	62.5	<b>Arena muy fina</b>
62.5	31.2	<b>Limo grueso</b>
31.2	15.6	<b>Limo medio</b>
15.6	7.8	<b>Limo fino</b>
7.8	3.9	<b>Limo muy fino</b>
< 3.9		<b>Arcilla</b>

Para realizar las interpretaciones granulométricas y posteriormente la interpretación de los resultados de FRX y DRX se considerará la ubicación espacial de las muestras. En el estudio de los RIM's de La Granja se consideró importante la variación granulométrica en función del sistema de drenaje. Si bien el sistema de drenaje principal es el denominado "Río Paltic", se analizarán muestras provenientes de la quebrada que corta a la alteración fílica denominado "quebrada Ayraca" y de la quebrada que corta a la alteración propilítica, denominada "quebrada Checos". Además, se analizarán las intercepciones de las quebradas que ingresan al sistema

de drenaje de Río Paltic con muestras de control en las quebradas Honda, Maraybamaba y en el Río Chongoyapito que podrían modificar las proporciones granulométricas a lo largo de los 24 km. que se analizaran en el presente estudio. Las codificaciones de cada una de las muestras en función a su ubicación espacial se encuentran resumidas en los **Mapas 5 y 6**.



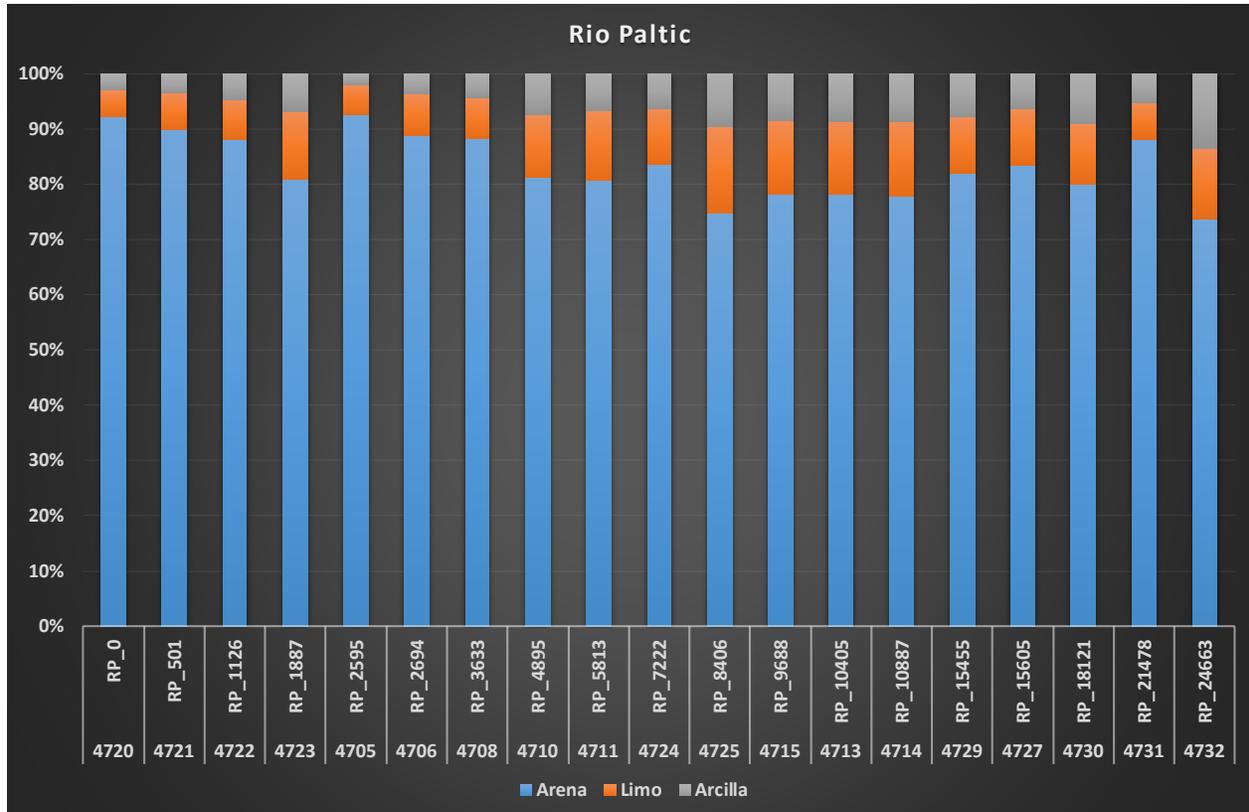
**Mapa 5** Mapa de ubicación de las muestras en el sistema de drenaje del Río Paltic, quebrada Ayraca y Checos.



**Mapa 6** Mapa de ubicación de las muestras considerando las distancias en progresiva en metros en el sistema de drenaje del río Paltic, quebrada Ayraca y Checos

En las 28 muestras analizadas la granulometría predominante es entre arena gruesa y arena fina (1000 a 125  $\mu\text{m}$ ). En promedio tienen un 78% de arena, un 14% de limo y un 8% de arcillas.

En el sistema de drenaje del Río Paltic la variación de la granulometría es presentada en la **Figura 1** y en la **Tabla 5**. Los sedimentos provenientes de la cabecera del Río Paltic (muestras 4720 y 4721) presentan en promedio 91.0% de arena, 5.8% de limo y 3.2% de arcilla y la litología de los granos está representada principalmente por cuarcitas. El porcentaje de arenas se mantiene constante a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic. Existe un decrecimiento en la abundancia de limos en el recorrido del sistema de drenaje que corta a los afloramientos del pórfido de Cu – Mo de La Granja (muestras 4722– 4705) para volver a incrementarse luego de pasar por la quebrada Checos (muestras 4705 hasta la 4725). Después, de la muestra 4725 hasta la muestra 4731 se observa un decrecimiento en el porcentaje de limos, hasta que en la muestra 4732 el porcentaje de esta fracción se incrementa hasta un 12.9 %. El comportamiento de la variación granulométrica en las arcillas es muy similar al de los limos. Cabe acotar que no se observa una variación significativa por el aporte de material fino de los ríos tributarios controlados en el presente estudio (muestras 4709, 4712 y 4728).

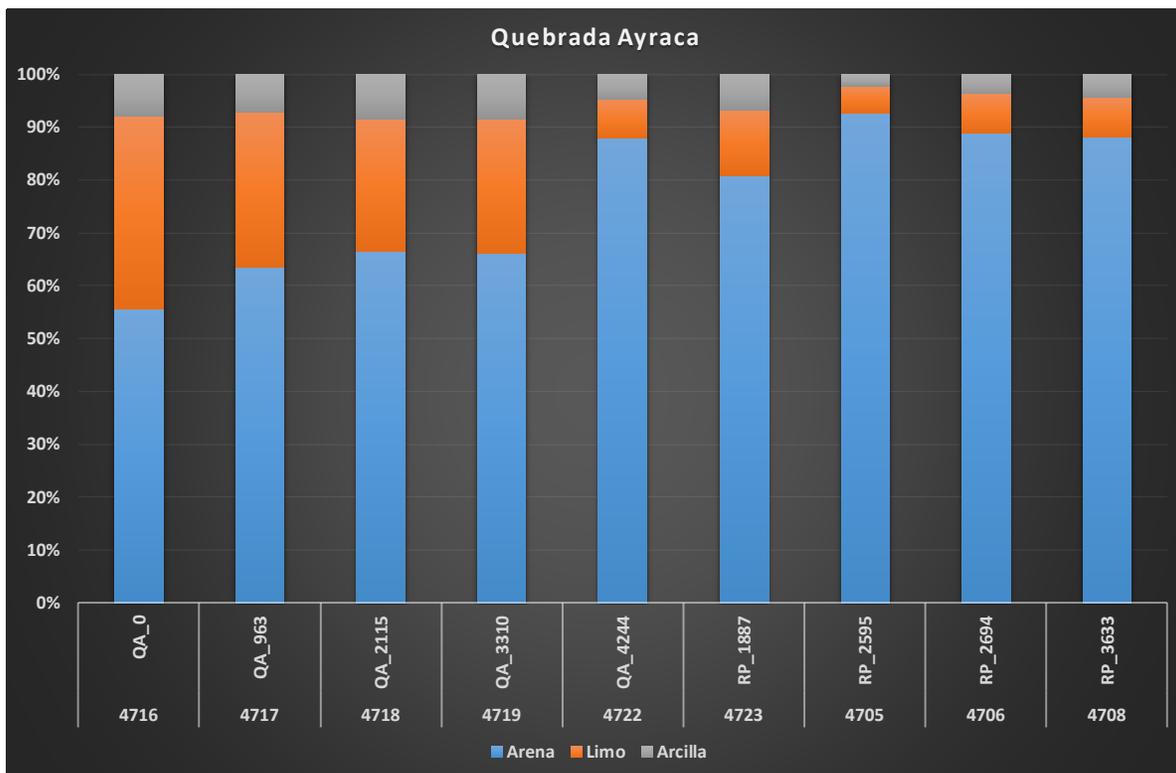


**Figura 1** Distribución granulométrica a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic.

**Tabla 5** Distribución granulométrica en el sistema de drenaje del Río Paltic.

	4720	4721	4722	4723	4705	4706	4708	4710	4711	4724	4725	4715	4713	4714	4729	4727	4730	4731	4732
	RP_0	RP_501	RP_1126	RP_1887	RP_2595	RP_2694	RP_3633	RP_4895	RP_5813	RP_7222	RP_8406	RP_9688	RP_10405	RP_10887	RP_15455	RP_15605	RP_18121	RP_21478	RP_24663
<b>Arena</b>	92.3	89.8	88.0	80.8	92.7	88.8	88.1	81.2	80.6	83.6	74.7	78.2	78.1	77.8	81.9	83.4	80.0	88.1	73.7
<b>Limo</b>	4.7	6.8	7.2	12.4	5.2	7.6	7.5	11.5	12.8	10.1	15.6	13.3	13.2	13.5	10.4	10.4	11.0	6.6	12.9
<b>Arcilla</b>	2.9	3.5	4.8	6.8	2.1	3.6	4.4	7.3	6.6	6.3	9.7	8.5	8.7	8.7	7.7	6.2	9.1	5.3	13.4
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Los sedimentos de la quebrada Ayraca son presentados en la **Figura 2** y en la **Tabla 6**. Las muestras 4716, 4717, 4718 y 4719 que cortan el sector de alteración argílica-fílica del pórfido de Cu-Mo presentan en promedio 62.9% de arena, 29.1% de limo y 8.0% de arcilla. Es posible que esta abundancia de limos se deba a que la mayoría de los granos en esta parte del sistema de drenaje proviene de rocas con alteración fílica.

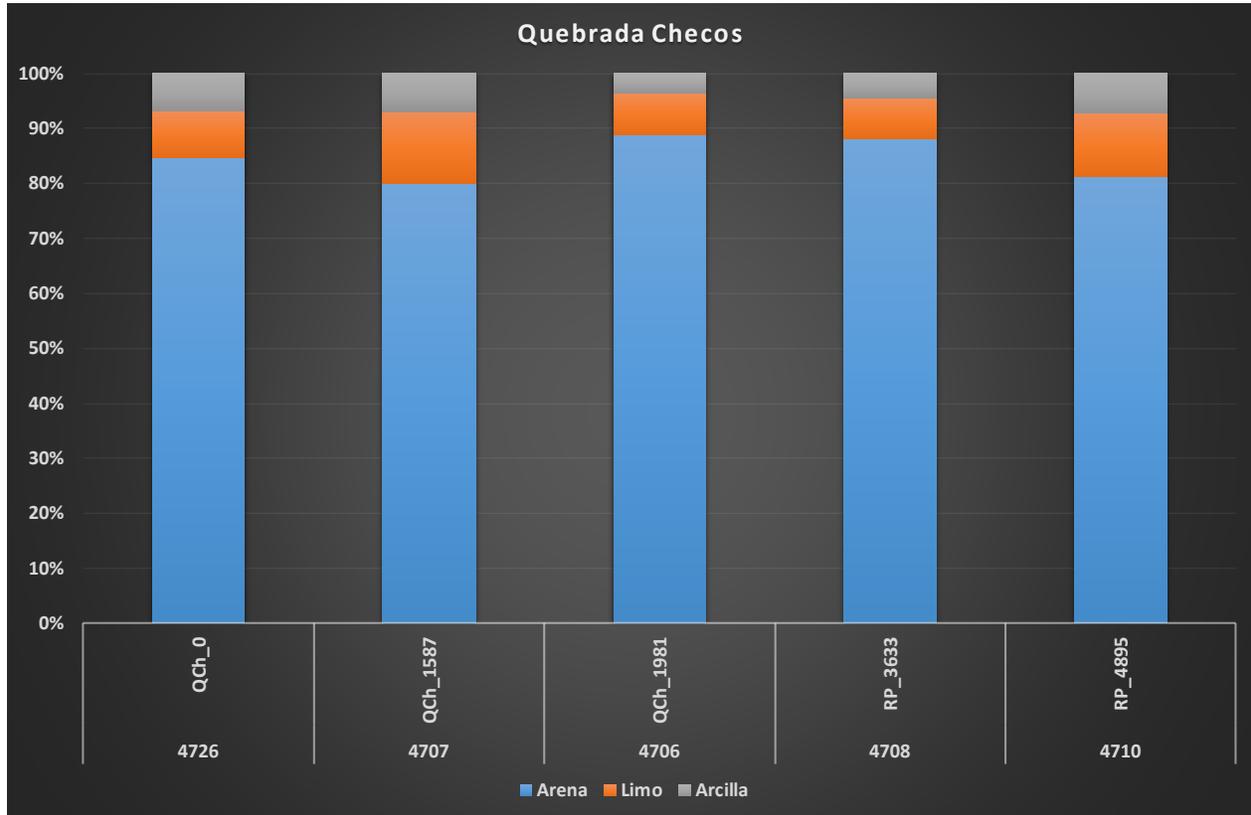


**Figura 2** Distribución granulométrica a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Ayraca.

**Tabla 6** Tabla de la distribución granulométrica en el sistema de drenaje de quebrada Ayra.

	4716	4717	4718	4719	4722	4723	4705	4706	4708
	QA_0	QA_963	QA_2115	QA_3310	QA_4244	RP_1887	RP_2595	RP_2694	RP_3633
<b>Arena</b>	55.6	63.4	66.6	66.1	88.0	80.8	92.7	88.8	88.1
<b>Limo</b>	36.6	29.4	25.0	25.5	7.2	12.4	5.2	7.6	7.5
<b>Arcilla</b>	7.9	7.1	8.5	8.4	4.8	6.8	2.1	3.6	4.4
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Los sedimentos de la quebrada Checos son presentados en la **Figura 3** y en la **Tabla 7**. Las muestras 4726 y 4707 cortan el sector de alteración propilítico del pórfido de Cu–Mo presentando en promedio de 82.4% de arena, 10.8% de limo y 6.9% de arcillas.

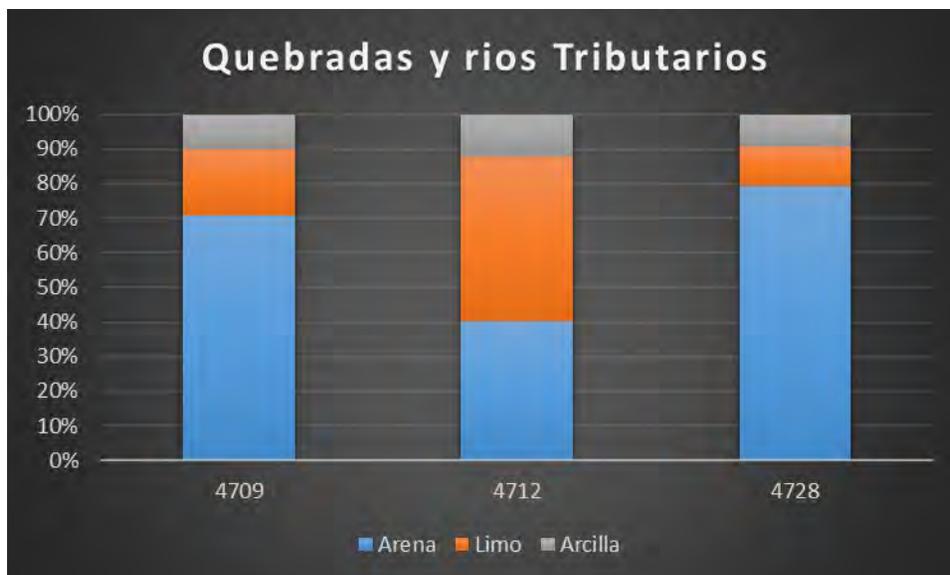


**Figura 3** Distribución granulométrica a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Checos.

**Tabla 7** Tabla de la distribución granulométrica en el sistema de drenaje de quebrada Checos.

	4726	4707	4706	4708	4710
	QCh_0	QCh_1587	QCh_1981	RP_3633	RP_4895
<b>Arena</b>	84.8	79.9	88.8	88.1	81.2
<b>Limo</b>	8.4	13.1	7.6	7.5	11.5
<b>Arcilla</b>	6.8	7.0	3.6	4.4	7.3
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

En el caso de las muestras de control se presentan en la **Figura 4** y **Tabla 8**. La muestra 4712 proveniente de la quebrada Maraybamba corta afloramientos de litología calcárea. Presenta 40.20% de arena 47.61% de limo y 12.19 de arcilla, mientras que la muestra 4709 de quebrada Honda corta litologías calcáreas, volcánicas e intrusivas, y presenta un 70.8% de arena, 19.0% de limos y 10.2% de arcillas. El Río Chongoyapito cuya muestra de control es la 4728 y que corta a las secuencias calcáreas del grupo Pulluicana, presenta una distribución granulométrica de 79.2% de arena, 11.5% de limos y 9.3% de arcillas, el aporte de los sedimentos de las muestras de control (4712, 4709 y 4728) no generan una variación en la granulometría aguas abajo del Río Paltic.



**Figura 4** Distribución granulométrica de las quebradas y ríos afluentes al sistema de drenaje del Río Paltic.

**Tabla 8** Distribución granulométrica de las quebradas y ríos tributarios accesitarios del Río Paltic.

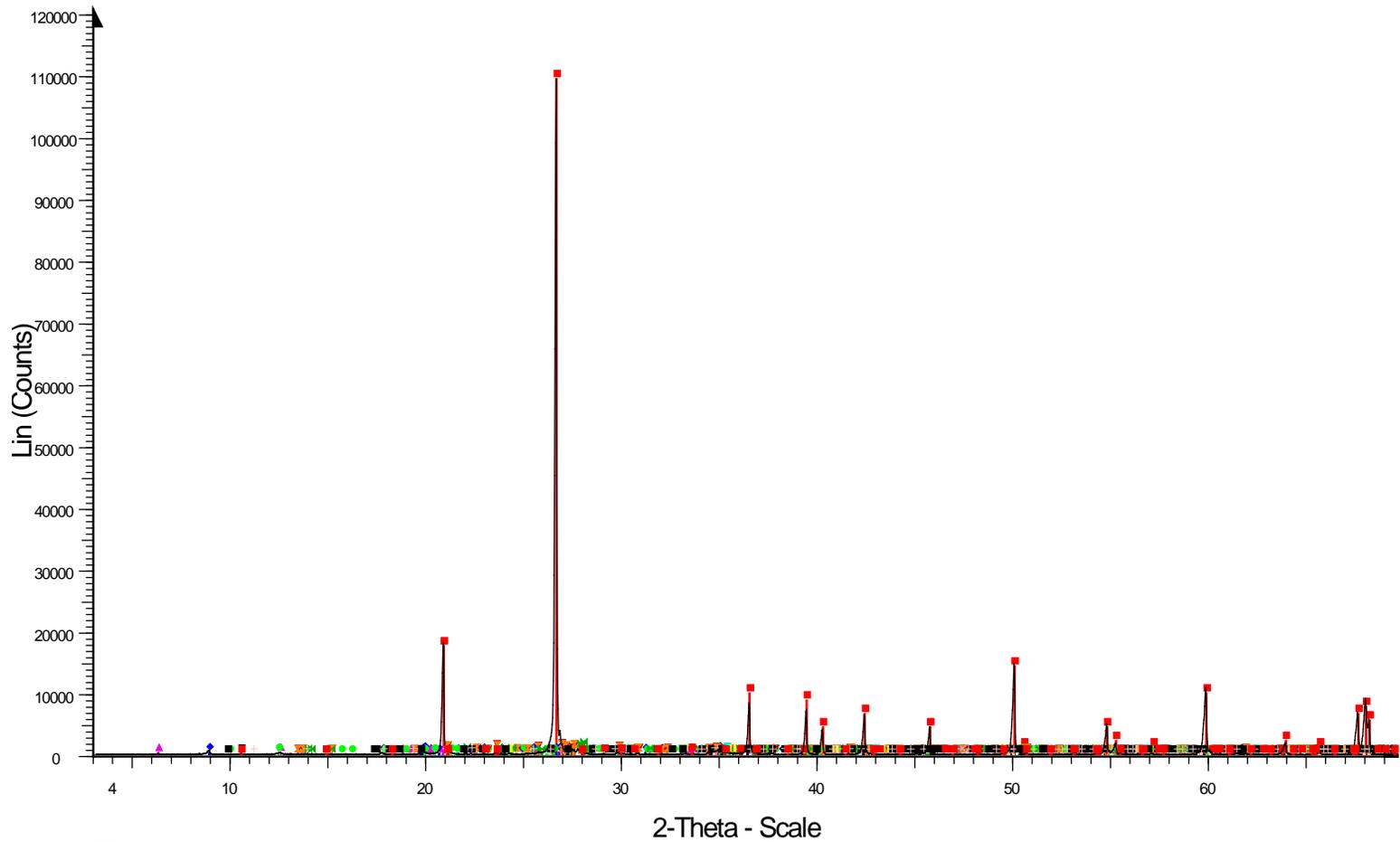
	Q. Honda	Q. Maraybamba	R. Chongoyapito
	4709	4712	4728
<b>Arena</b>	70.8	40.2	79.2
<b>Limo</b>	19.0	47.6	11.5
<b>Arcilla</b>	10.2	12.2	9.3
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0

## 5.2. Caracterización mineralógica por difracción de rayos X (DRX) de los sedimentos de quebrada del pórfido de Cu – Mo de La Granja.

La caracterización mineralógica de los sedimentos por DRX es presentada en la **Tabla 9**. En este reconocimiento mineralógico se determinó que la fase mineralógica más abundante es el cuarzo, seguido por cantidades minoritarias de plagioclasa, feldespato –K, filosilicatos micáceos indiferenciados (reportado como “micas”), cloritas y magnetita. La difracción de rayos X también permitió reconocer en cantidades traza anfíboles, calcita, hematita, pirita, granate y caolinita.

En esta primera etapa del estudio no se ha podido identificar los minerales indicadores (RIM's), excepto en las muestras 4706, 4709 donde se reporta la presencia de trazas de turmalina y en la muestra 4716 reportando contenidos minoritarios de hidroxapatita. En los difractogramas representados en las **Figuras 5, 6 y 7** se observa la elevada presencia del cuarzo (abundancia relativa de entre el 40 – 100 %) la cual dificulta la identificación de fases mineralógicas presentes en cantidades muy pequeñas (trazas). Debido a ello se dificultó la cuantificación porcentual mediante el Método de Rietveld. La nomenclatura utilizada en la **Tabla 9** representa la abundancia relativa de una especie mineral considerando los porcentajes normalizados según el peak del cuarzo basado en los difractogramas.

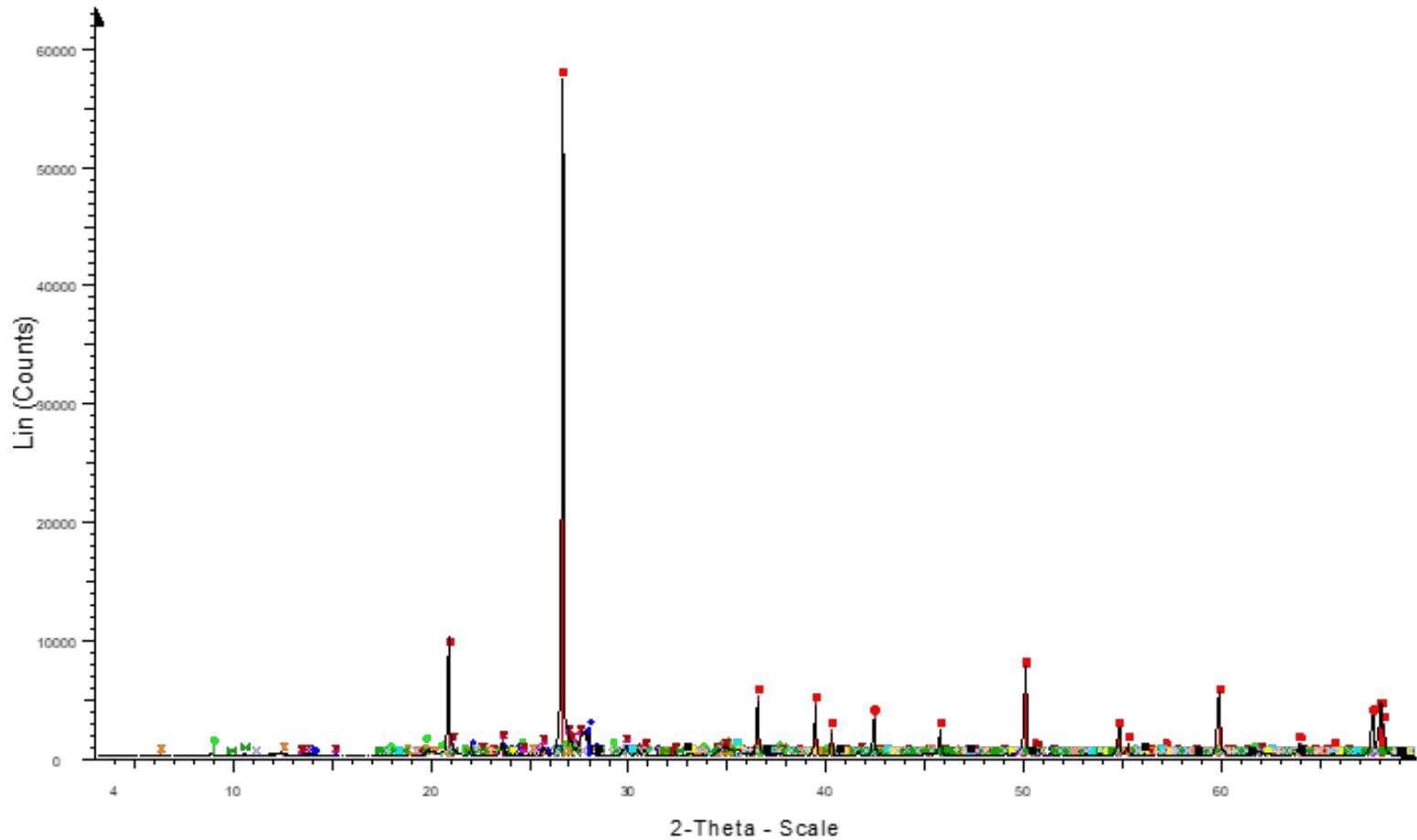
# 4706



- 4706 - File: 4706.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.930 ° - Step: 0.020 ° -  
 Operations: X Offset 0.017 | Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import
- |  |   |
|--|---|
| 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO <sub>2</sub> - Y: 100.00 %   | 00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub> - Y: 1.06 %   |
| 01-084-1302 (C) - Muscovite 2M1 - KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> - Y: 0.45 %   | 01-089-0688 (C) - Magnetite, syn - Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - Y: 0.38 %   |
| 01-079-1270 (C) - Clinocllore - (Mg <sub>2.96</sub> Fe <sub>1.55</sub> Fe <sub>1.36</sub> Al <sub>1.275</sub> )(Si <sub>2.622</sub> Al <sub>1.376</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub> - | 01-079-1741 (C) - Hematite, syn - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Y: 0.19 %  |
| 01-078-2109 (C) - Kaolinite - Al <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ) - Y: 0.24 %   | 01-071-2219 (C) - Pyrite - FeS <sub>2</sub> - Y: 0.18 %   |
| 01-076-0742 (C) - Orthoclase - KAl <sub>0.98</sub> Si <sub>3.02</sub> O <sub>8</sub> - Y: 0.92 %   | 01-073-1135 (C) - Amphibole - Al <sub>3.2</sub> Ca <sub>3.4</sub> Fe <sub>4.0</sub> K <sub>0.6</sub> Mg <sub>6.0</sub> Na <sub>1.0</sub> Si <sub>12.8</sub> O <sub>44</sub> (OH) <sub>4</sub> - Y: 0.08 % |
| 01-087-0684 (C) - Sandine low - (K <sub>0.93</sub> Na <sub>0.07</sub> )(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) - Y: 0.78 %   | 01-074-1731 (C) - Tourmaline - NaMg <sub>3</sub> B <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub> (OH) <sub>4</sub> - Y: 0.18 %   |
|  | 01-088-1812 (C) - Calcite - Ca(CO <sub>3</sub> ) - Y: 0.11 %  |
|  | 01-085-1369 (C) - Grossular ferrian - Ca <sub>3</sub> Al <sub>1.332</sub> Fe <sub>0.668</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> - Y: 0.29 %   |

Figura 5 Difractograma de la muestra 4706.

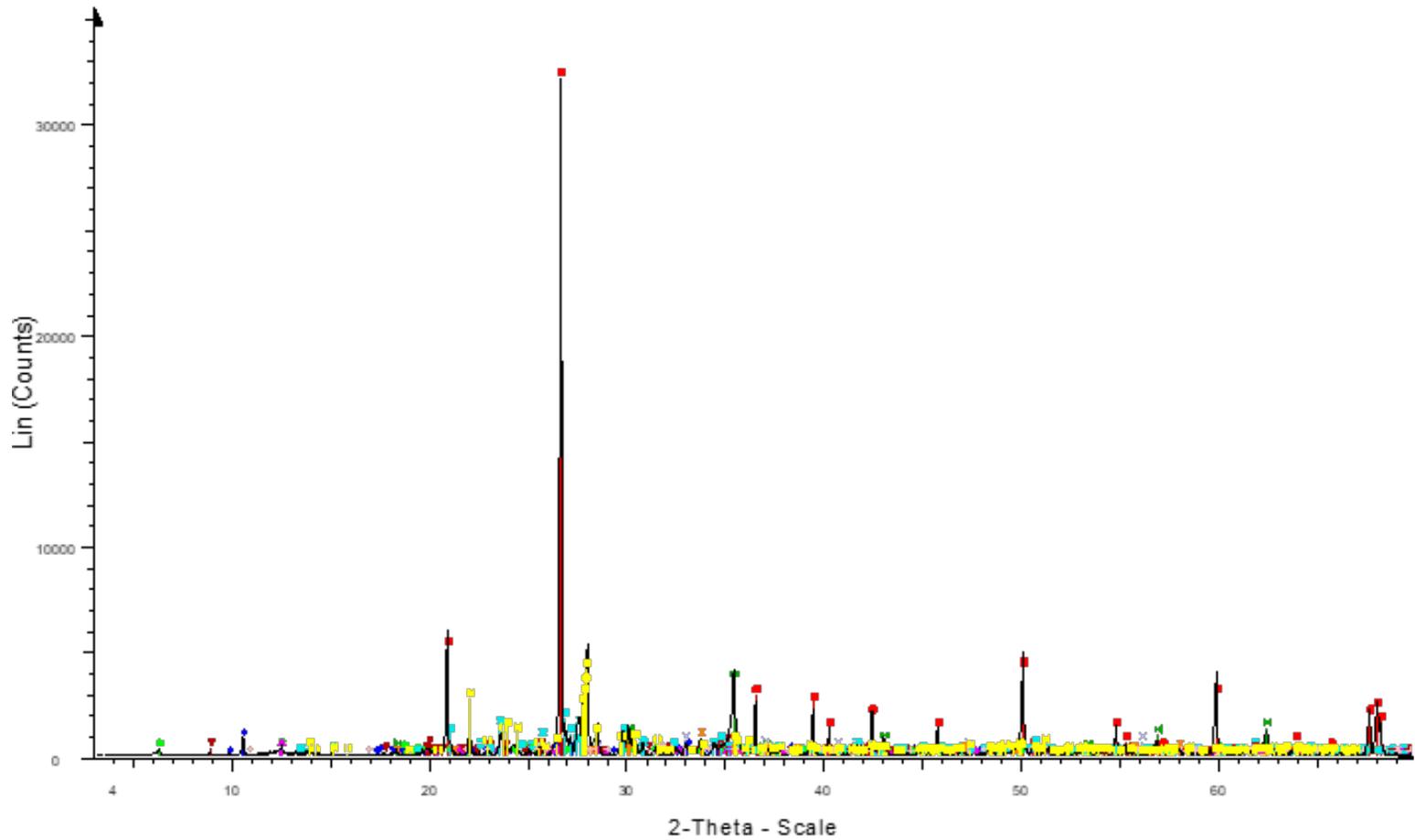
4709



- 4709 - File: 4709.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.930 ° - Step: 0.020 ° -  
 Operations: X Offset 0.033 | Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import
- |   |  |
|---|--|
| 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 100.00 %                                    | 01-073-1135 (C) - Amphibole - Al3.2Ca3.4Fe4.0K.6Mg6.0Na1.0Si12.8O44(OH)4 - Y: 0.59 % |
| 00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)3O8 - Y: 4.29 %          | 01-089-0691 (C) - Magnetite, syn - Fe3O4 - Y: 1.17 %                                 |
| 00-021-0993 (I) - Muscovite-1M, Mg-rich - KMgAlSi4O10(OH)2 - Y: 1.82 %                | 01-089-0597 (C) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 0.34 %                                  |
| 01-087-0684 (C) - Sandine low - (K.93Na.07)(AlSi3O8) - Y: 3.13 %                      | 01-083-1479 (C) - Tourmaline - Na0.84Ca0.16Mg2.80Cr2.18Al3.92B(O3)3(Si6O18)(OH)4 -   |
| 01-071-1540 (C) - Orthoclase - KSi3AlO8 - Y: 3.20 %                                   | 01-088-1812 (C) - Calcite - Ca(CO3) - Y: 0.26 %                                      |
| 01-079-1270 (C) - Clinocllore - (Mg2.96Fe1.55Fe.136Al1.275)(Si2.622Al1.376O10)(OH)8 - | 01-071-0053 (C) - Pyrite - FeS2 - Y: 0.61 %  |

Figura 6 Difractograma de la muestra 4709.

4716



- 4716 - File: 4716.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.930 ° - Step: 0.020 °  
 Operations: X Offset 0.017 | Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import
- |   |   |
|---|---|
| 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO <sub>2</sub> - Y: 100.00 %  | 01-086-0437 (C) - Orthoclase - K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) - Y: 5.47 %   |
| 01-073-1135 (C) - Amphibole - Al <sub>3.2</sub> Ca <sub>3.4</sub> Fe <sub>4.0</sub> K <sub>0.6</sub> Mg <sub>6.0</sub> Na <sub>1.0</sub> Si <sub>12.8</sub> O <sub>44</sub> (OH) <sub>4</sub> - Y: 2.66 % | 01-075-0927 (C) - Albite calcian low - (Na <sub>0.84</sub> Ca <sub>0.16</sub> )Al <sub>1.16</sub> Si <sub>2.84</sub> O <sub>8</sub> - Y: 12.82 %                            |
| 01-080-1119 (C) - Clinoclino - Mg <sub>4.54</sub> Al <sub>0.97</sub> Fe <sub>0.46</sub> Mn <sub>0.03</sub> (Si <sub>2.85</sub> Al <sub>1.15</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub> - Y: 1.00 %          | 01-075-1681 (C) - Grossular - (Ca <sub>2.87</sub> Fe <sub>0.13</sub> )(Al <sub>1.6</sub> Ti <sub>0.07</sub> Fe <sub>0.28</sub> )Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> - Y: 2.57 % |
| 01-075-1593 (C) - Kaolinite 1A - Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> - Y: 1.24 %   | 01-071-0053 (C) - Pyrite - FeS <sub>2</sub> - Y: 2.15 %   |
| 01-075-0637 (C) - Muscovite 2M 1 - KA <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> - Y: 1.60 %  | 01-086-1199 (C) - Hydroxylapatite, syn - Ca <sub>9.74</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - Y: 0.75 %                                    |
| 01-079-0419 (C) - Magnetite - Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - Y: 11.28 %   |   |

Figura 7 Difractograma de la muestra 4716.

**Tabla 9** Abundancia relativa de una especie mineral considerando los porcentajes normalizados para la difracción de rayos X.

Muestra	Cuarzo	Plagioclasa	Feld. K	Micas*	Clorita	Anfiboles	Calcita	Magnetita	Hematita	Pirita	Granate	Caolinita	Turmalina	Hidroxilapatito	Pirofillita	Yeso
4705	MA	M	M	M	M	Tr	-	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4706	MA	M	M	M	M	Tr	Tr?	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-
4707	MA	M	M	M	M	Tr	Tr?	M	Tr?	Tr?	-	Tr?	-	-	-	-
4708	MA	M	M	M	M	Tr	Tr?	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4709	MA	M	M	M	M	Tr	Tr?	M	Tr?	Tr?	-	Tr?	Tr?	-	-	-
4710	MA	M	M	M	M	Tr	Tr?	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4711	MA	M	M	M	M	Tr	Tr?	M	-	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4712	MA	M	M	M	M	Tr	A	M	M	-	-	Tr?	-	-	-	-
4713	MA	M	M	M	M	Tr	Tr	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4714	MA	M	M	M	M	Tr	Tr	M	Tr?	Tr?	-	Tr?	-	-	-	-
4715	MA	M	M	M	M	Tr	Tr	M	Tr?	-	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4716	MA	M / A	M	M	M	M	-	M / A	-	M?	M	Tr?	-	M?	-	-
4717	MA	M / A	M	M	M	M	-	M / A	Tr	M?	M	Tr?	-	-	-	-
4718	MA	M / A	M	M	M	M	-	M / A	Tr?	Tr?	M	Tr?	-	-	-	-
4719	MA	M	M	M	M	Tr	-	M	Tr	M	Tr?	Tr?	-	-	M?	-
4720	MA	M	M	M	M	-	-	M	Tr?	Tr?	-	Tr?	-	-	-	Tr?
4721	MA	M	M	M	M	-	-	M	Tr?	Tr	-	Tr?	-	-	-	-
4722	MA	M	M	M	M	-	-	M	Tr?	-	-	Tr?	-	-	-	-
4723	MA	M	M	M	M	-	-	M	Tr?	-	-	Tr?	-	-	-	-
4724	MA	M	M	M	M	Tr	-	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4725	MA	M	M	M	M	Tr	-	M	Tr?	-	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4726	MA	M	M	M	M	-	-	M	Tr?	Tr?	-	Tr?	-	-	-	-
4727	MA	M	M	M	M	Tr	M	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4728	MA	M / A	M	M	M	-	-	M	Tr?	-	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4729	MA	M	M	M	M	Tr?	M	M	Tr?	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4730	MA	M	M	M	M	Tr?	M	M	-	-	Tr?	Tr?	-	-	-	-
4731	MA	M / A	M	M	M	Tr?	M	M	Tr?	Tr?	-	Tr?	-	-	-	-
4732	MA	M / A	M	M	M	-	M	M	-	Tr?	Tr?	Tr?	-	-	-	-

Micas\* = Filosilicatos micaceos indeferenciados

Abundancia relativa	Simbología	Descripción
100 - 40 %	MA	Muy abundante
40 - 10%	A	Abundante
10 - 2%	M	Minoritario
< 2%	Tr	Traza
	?	Fase dudosa

### 5.3. Análisis por fluorescencia de rayos X.

Como parte complementaria de los estudios mineralógicos de los sedimentos de quebrada en el pórfido de La Granja se realizaron análisis químicos semicuantitativos por FRX en las 28 muestras. Un análisis estadístico descriptivo se resume en la **Tabla 10**. Los resultados totales se presentan en la **Tabla 11**. Además, se presentan los histogramas y diagramas de caja y bigotes (*box & whiskes*) de varios elementos considerados relevantes para un análisis estadístico ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

**Tabla 10.** Estadísticos descriptivos de los elementos mayores analizados por fluorescencia de rayos X.

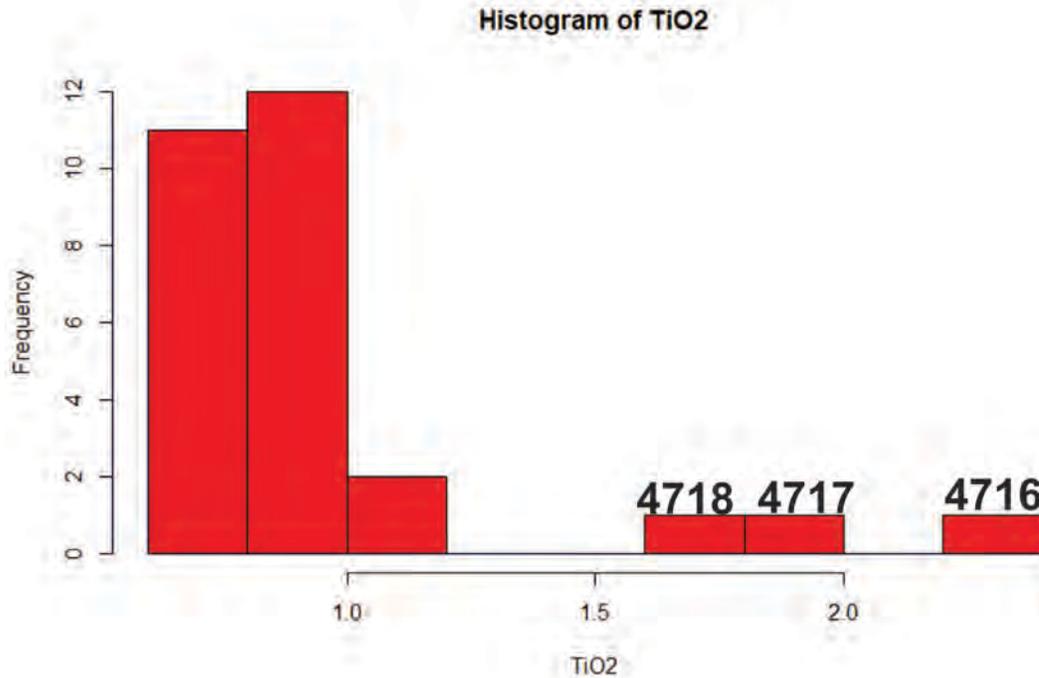
Estadísticos descriptivos para las 28 muestras tomadas en el Porfido de Cu - Mo de La Granja						
	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
SiO <sub>2</sub>	39.240	43.575	82.815	71.622	8.679	75.317
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.449	7.914	16.363	12.552	2.497	6.237
TiO <sub>2</sub>	1.677	0.701	2.378	0.959	0.390	0.152
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.604	4.715	14.319	6.897	2.166	4.692
MnO	0.133	0.057	0.190	0.110	0.030	0.001
MgO	2.646	0.388	3.034	1.094	0.706	0.499
CaO	23.734	0.272	24.006	2.658	4.392	19.289
Na <sub>2</sub> O	1.576	0.248	1.824	0.909	0.493	0.243
K <sub>2</sub> O	1.596	1.713	3.309	2.415	0.460	0.212
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.462	0.080	0.542	0.164	0.094	0.009
SO <sub>3</sub>	0.334	0.097	0.431	0.227	0.097	0.009
ZrO <sub>2</sub>	0.031	0.010	0.041	0.029	0.006	0.000

**Tabla 11.** Resultados de los análisis semicuantitativos por FRX.

Muestra	SiO2%	Al2O3%	TiO2%	Fe2O3%	MnO%	MgO%	CaO%	Na2O%	K2O%	P2O5%	SO3%	ZrO2%
4705	78.50	9.69	0.85	6.06	0.10	0.61	0.78	0.42	1.98	0.11	0.40	0.04
4706	79.62	9.60	0.75	5.32	0.09	0.60	0.74	0.46	2.05	0.11	0.24	0.03
4707	70.04	14.99	0.95	7.00	0.13	0.93	0.74	1.21	3.23	0.10	0.36	0.03
4708	78.44	10.03	0.82	5.69	0.09	0.68	0.88	0.51	2.08	0.12	0.23	0.03
4709	68.16	15.60	0.78	7.45	0.10	1.18	1.42	1.14	3.29	0.16	0.42	0.03
4710	76.57	10.80	0.93	6.29	0.09	0.71	0.90	0.58	2.21	0.13	0.30	0.03
4711	76.56	11.14	0.80	6.06	0.10	0.74	0.93	0.60	2.32	0.13	0.22	0.03
4712	43.58	15.35	1.02	9.71	0.15	2.43	24.01	0.68	1.81	0.54	0.37	0.02
4713	73.82	12.31	0.79	6.11	0.11	0.95	1.84	0.82	2.48	0.16	0.21	0.02
4714	72.87	12.16	0.92	6.83	0.11	0.96	2.19	0.76	2.42	0.17	0.21	0.03
4715	73.67	12.03	0.88	6.68	0.11	0.93	1.71	0.79	2.43	0.15	0.21	0.03
4716	55.33	16.02	2.38	14.32	0.19	3.03	4.11	1.77	1.98	0.21	0.27	0.03
4717	59.26	16.36	1.83	10.64	0.17	2.88	4.17	1.73	2.18	0.22	0.19	0.03
4718	59.85	16.01	1.79	11.25	0.17	2.43	3.66	1.46	2.38	0.34	0.25	0.03
4719	76.93	11.39	0.86	5.97	0.06	0.62	1.03	0.36	1.71	0.27	0.29	0.03
4720	82.82	7.91	0.73	5.04	0.07	0.39	0.28	0.25	1.82	0.08	0.18	0.03
4721	81.94	8.78	0.72	4.89	0.07	0.42	0.27	0.27	1.99	0.08	0.16	0.03
4722	81.66	8.94	0.73	4.71	0.07	0.48	0.42	0.34	1.97	0.09	0.16	0.03
4723	77.54	10.59	0.90	6.23	0.09	0.62	0.69	0.42	2.20	0.12	0.23	0.04
4724	75.48	11.57	0.88	6.28	0.10	0.82	1.12	0.67	2.33	0.13	0.20	0.03
4725	74.88	12.16	0.83	6.00	0.10	0.87	1.26	0.73	2.48	0.14	0.17	0.03
4726	69.61	13.63	1.10	8.79	0.11	0.97	0.88	1.15	2.89	0.08	0.43	0.03
4727	70.58	13.32	0.79	6.11	0.12	1.02	3.39	1.15	2.77	0.17	0.13	0.03
4728	67.63	16.23	0.88	6.48	0.13	0.99	2.04	1.82	3.31	0.11	0.12	0.04
4729	71.78	12.47	0.70	5.84	0.11	1.08	3.90	0.90	2.56	0.19	0.11	BLD
4730	70.33	13.88	0.72	5.70	0.11	1.04	3.32	1.36	2.94	0.15	0.10	0.02
4731	69.51	14.00	0.73	5.77	0.12	1.08	3.74	1.51	2.95	0.16	0.13	0.03
4732	68.47	14.49	0.79	5.89	0.12	1.18	4.01	1.61	2.86	0.17	0.10	0.03

BLD: Bajo el límite de detección

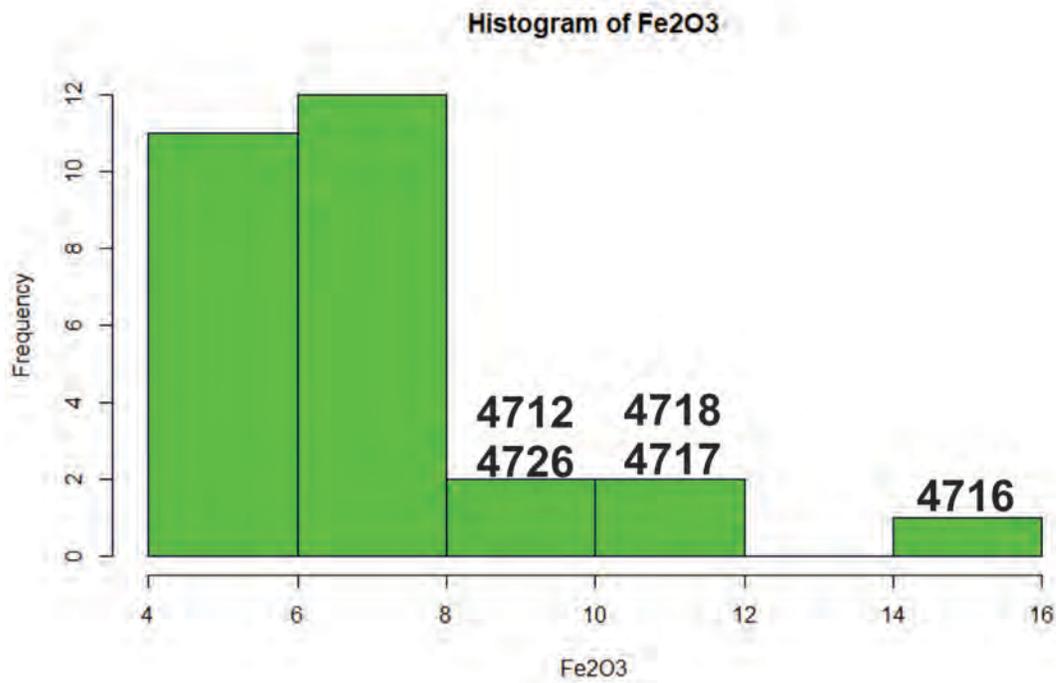
El  $\text{TiO}_2$  según se observa en el histograma de la **Figura 8**, presenta 3 poblaciones, 2 de ellas se encuentran relacionadas a los valores atípicos representada en el diagrama de caja & bigotes de la **Figura 9** que corresponden a las muestras 4716, 4717 y 4718 ubicadas en la quebrada Ayraca, que corta al cuerpo mineralizado en la zona de alteración hidrotermal filica–argílica.



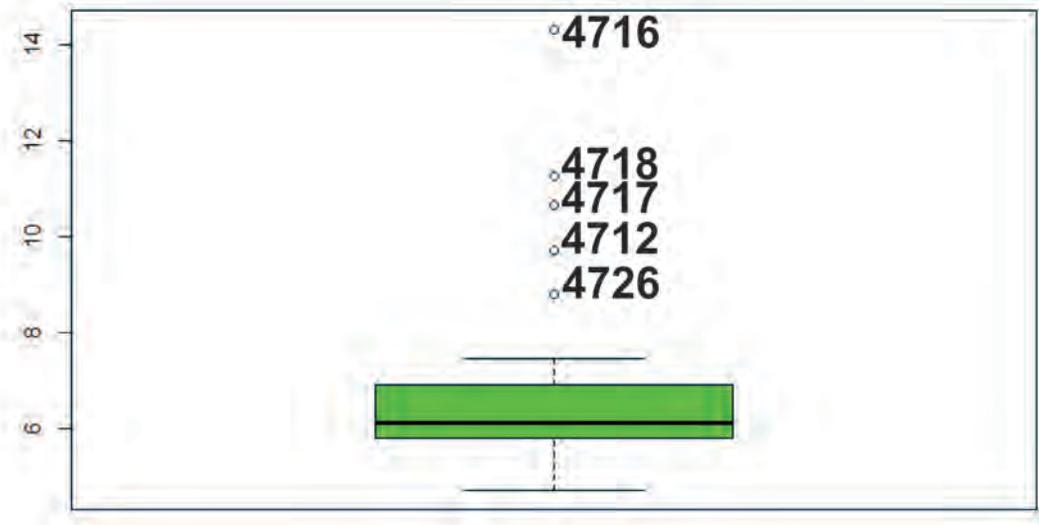
**Figura 8** Histograma de frecuencias para el  $\text{TiO}_2$ . las poblaciones con altos valores representan la composición de las muestras 4716, 4717 y 4718, tomadas en la quebrada Ayraca que corta la zona de la alteración filica de La Granja.



**Figura 9** Diagrama de caja & bigotes para el TiO<sub>2</sub>, se observa que las muestras 4716, 4717 y 4718 son presentados como valores atípicos. El Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presenta 2 poblaciones según se observa en el histograma de la **Figura 10**, en donde 5 muestras corresponden a valores atípicos, representados en la **Figura 11** del diagrama de caja & bigotes. Estos valores atípicos corresponden a las muestras 4712, de control ubicada en la quebrada Maraybamba; a las muestras 4716, 4717 y 4718, ubicadas en la quebrada Ayraca que corta a la alteración fílica–argílica del cuerpo mineralizado, y la muestra 4726, tomada en la quebrada Checos que corta al pórfido en la alteración hidrotermal propilítica.



**Figura 10** Histograma de frecuencias para el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, las poblaciones con altos valores representan la composición de las muestras 4712 (quebrada Maraybamba) , 4716, 4717, 4718 y 4726 (quebrada Ayraca y Checos que corta la zona de la alteración de La Granja).

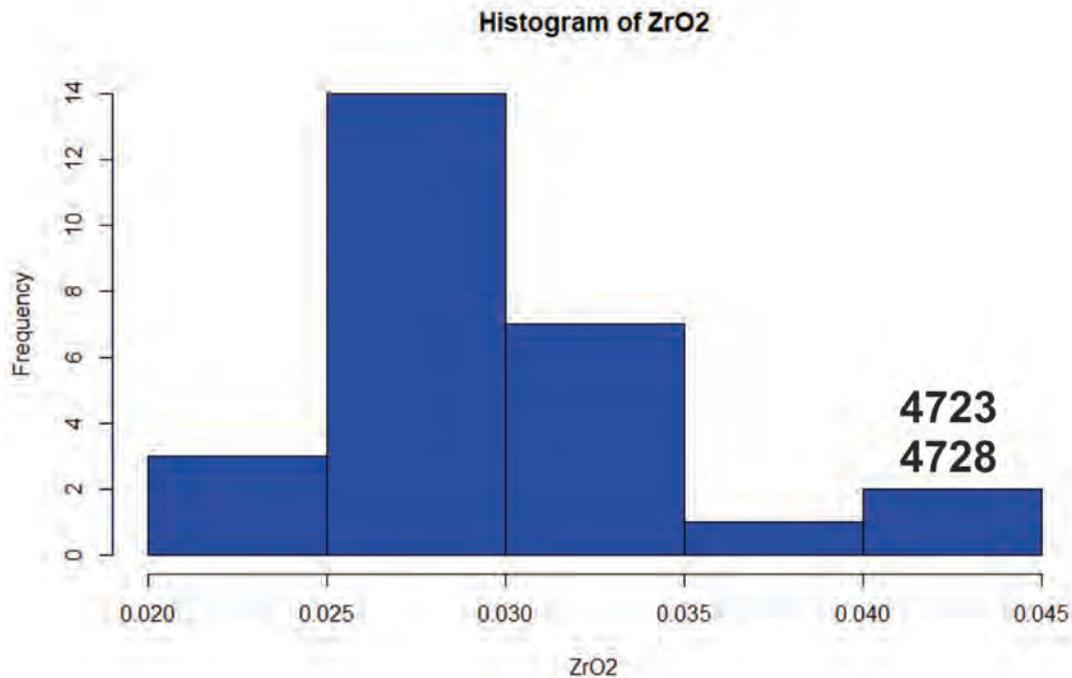


**Figura 11** Diagrama de caja & bigotes para el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, se observa que las muestras 4712, 4716, 4717, 4718 y 4726 son presentados como valores atípicos.

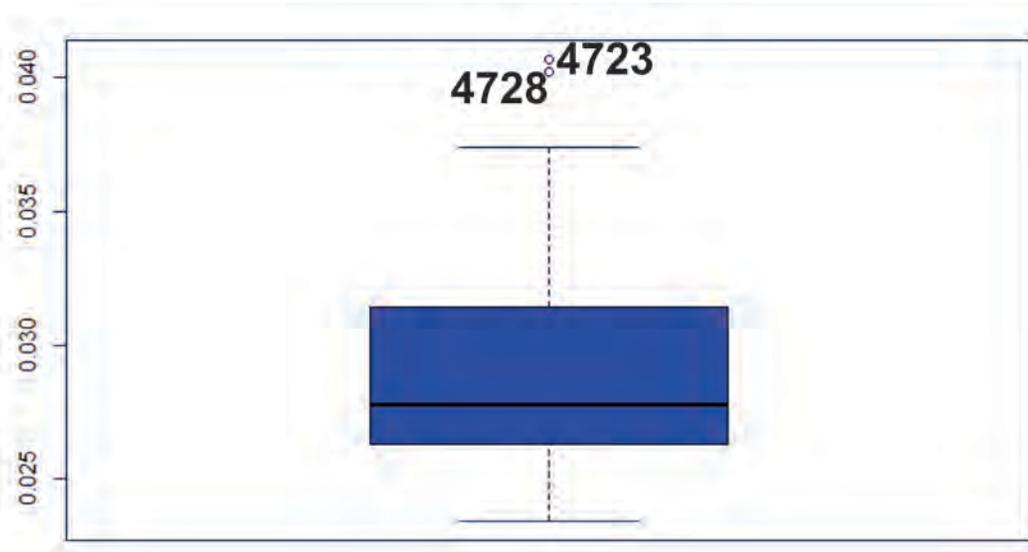
El hecho que las muestras 4716, 4717 y 4718 sean clasificadas como atípicas tanto para Ti como para Fe sugiere, en principio, que podría haber una relación entre ambos elementos y debido a que todas provienen de una misma quebrada (Ayraca) asociada a un sector del

depósito de La Granja, es posible que estas anomalías se relacionen en parte con la presencia de rutilo/anatasa y óxidos/hidróxidos de Fe, consistente con el tipo de alteración dominante (fílica/argílica) en el sector de donde provienen las muestras en cuestión.

El  $ZrO_2$  presenta dos poblaciones según se observa en el histograma de la **Figura 12**, la muestra 4729 presenta un valor por debajo del límite de detección el cual fue excluido del análisis estadístico, también se presenta el diagrama de caja & bigotes en la **Figura 13**. Dos muestras se presentan como atípicas por encima del bigote superior los cuales son las muestras 4723 cortante a la alteración fílica del pórfido de La Granja y la 4728 muestra de control del tributario Río Chongoyapito del Río Paltic.

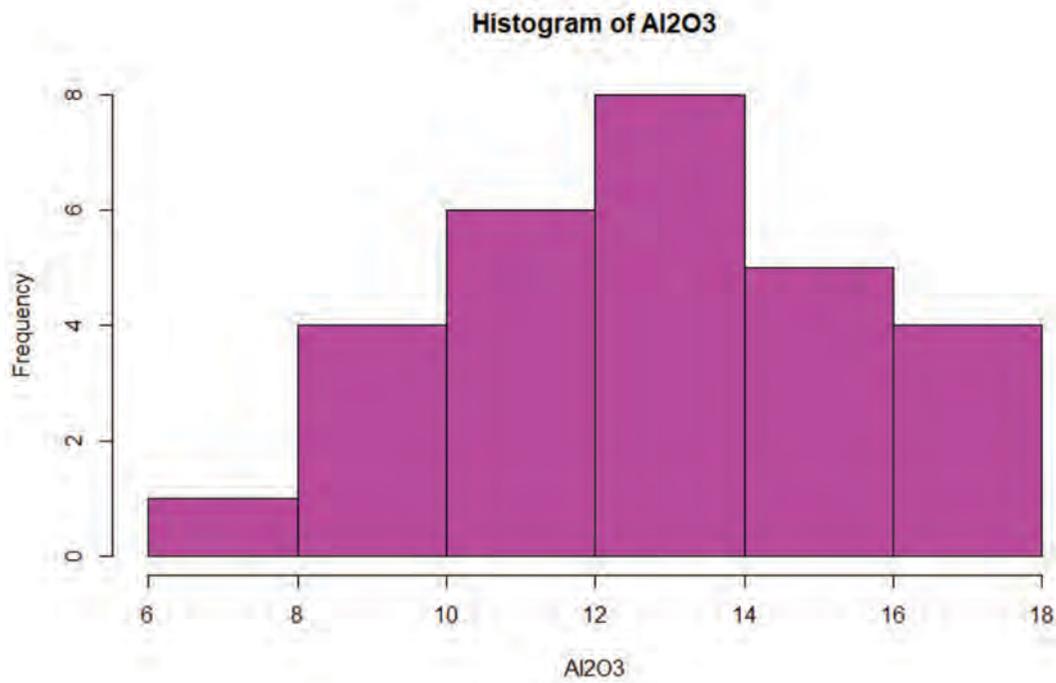


**Figura 12** Histograma de frecuencias para el  $ZrO_2$ , las poblaciones con altos valores representan la composición de las muestras 4728 (rio Chongoyapito) y 4723 proveniente de la zona de alteración fílica de La Granja.

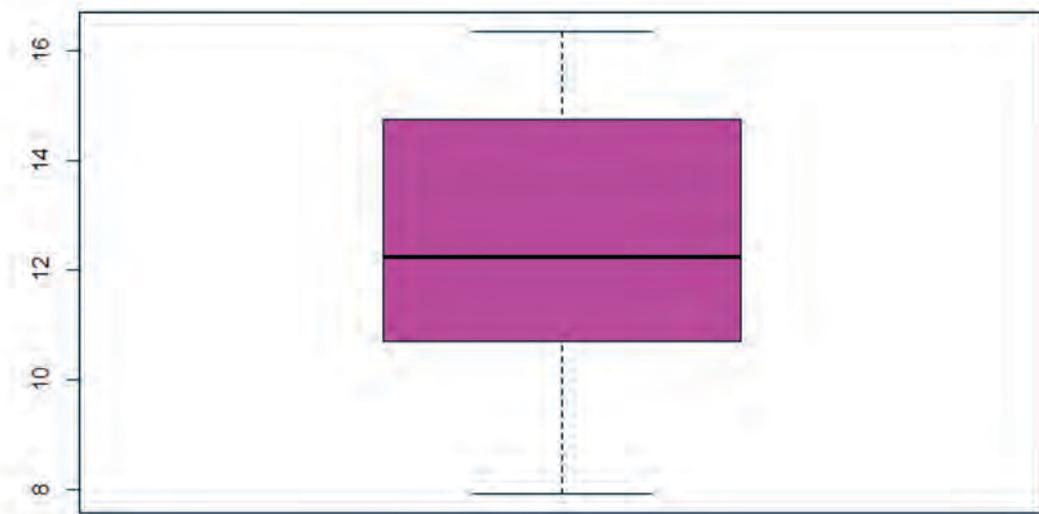


**Figura 13** Diagrama de caja & bigotes para el ZrO<sub>2</sub>, se observa que las muestras 4723 y 4728 son presentados como valores atípicos.

El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presenta una sola población según se observa en el histograma de la **Figura 14**, además no presenta valores atípicos tal como se muestra en el diagrama de caja & bigotes de la **Figura 15**.

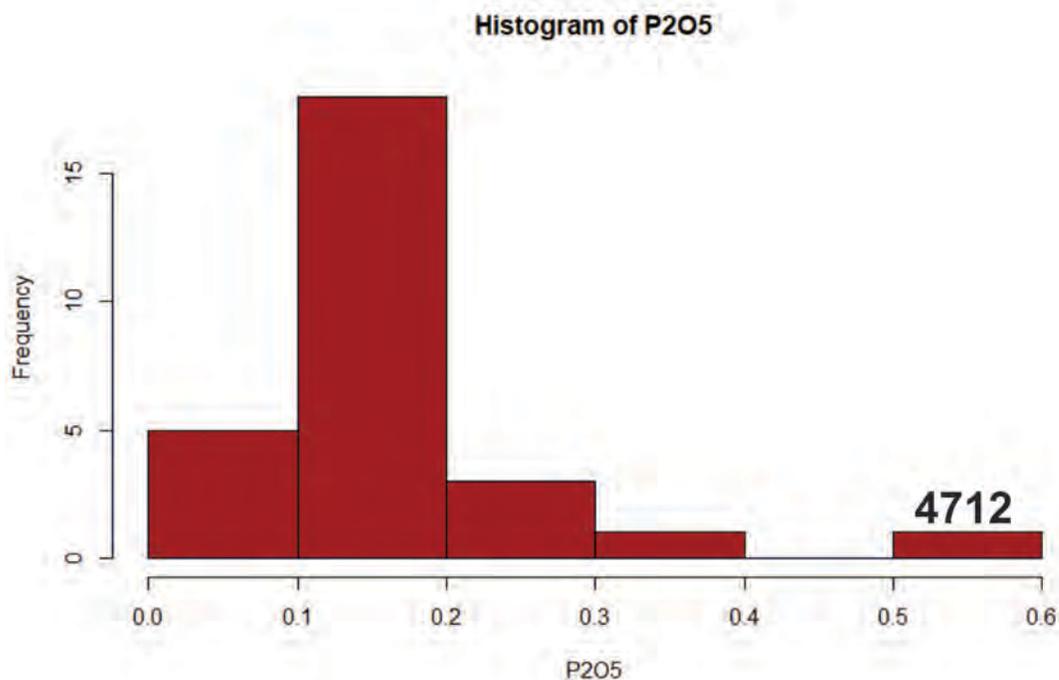


**Figura 14** Histograma de frecuencias para el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, se observa una distribución normal.

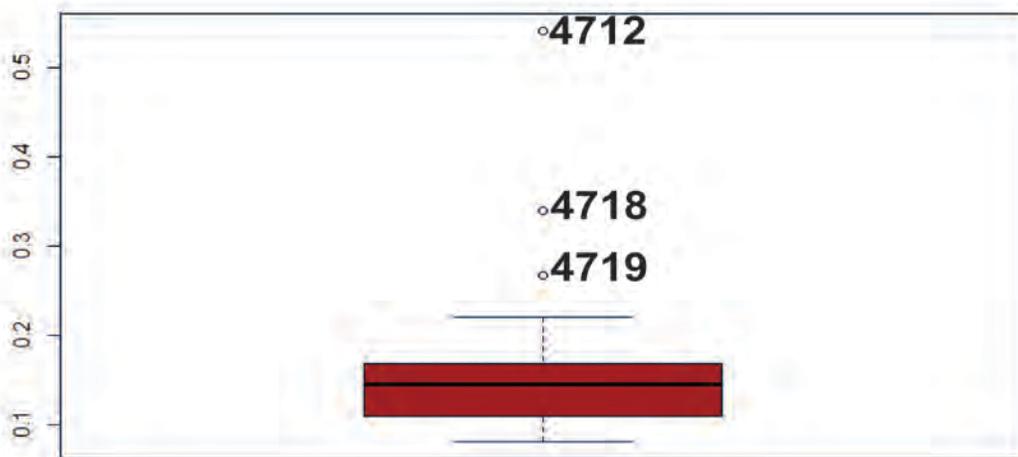


**Figura 15** Diagrama de caja & bigotes para el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, se observa un diagrama sin valores atípicos.

El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> presenta dos poblaciones tal como se puede apreciar en el histograma de la **Figura 16**, y según el gráfico de caja & bigotes de la **Figura 17**, 3 valores resultan atípicos. Las muestras atípicas son la 4712, muestra de control de la quebrada Maraybamba, las muestras 4718 y 4719 que cortan al cuerpo mineralizado en el sector de la alteración hidrotermal filico-argílico.



**Figura 16** Histograma de frecuencias para el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, la población con alto valor representan la composición de la muestra 4712 proveniente de la quebrada Maraybamba.



**Figura 17** Diagrama de caja & bigotes para el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, se observa que las muestras 4712, 4718 y 4719 son presentados como valores atípicos.

Adicionalmente, se realizó el cálculo del coeficiente de correlación bivariable de Pearson con los 12 elementos analizados por fluorescencia de rayos X. Se incluyó además en este procesamiento el análisis de la distribución poblacional de los datos mediante los test estadísticos de Kolmogorov–Smirnov & Lilliefors (Prueba K–S) y el de Shapiro Wilk (**Tabla 12**)

para evaluar la “normalidad”, el cual es requisito indispensable para la utilización de test paramétricos. Los tests de normalidad dieron como resultado que solo los elementos CaO y Na<sub>2</sub>O no presentaron un ajuste a una distribución Gaussiana a un nivel de significancia del 95% (**ver Tabla 13**).

El análisis de los coeficientes de correlación fue realizado con la eliminación manual de los valores atípicos (también denominados “*outliers*”) por lo que cada uno de los coeficientes analizados se observará que el valor N (cantidad de muestras analizadas) será distinto. Esta eliminación de *outliers* permite que el ajuste de los cocientes sea el mejor posible. El valor del SIG (significación bilateral) permite evaluar el contraste de hipótesis del tipo bilateral valorizado al 95 y 99%, tal como lo procesa el software estadístico SPSS.

**Tabla 12** Pruebas de normalidad utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov con las modificaciones de Lilliefors y el test de Shapiro-Wilk.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Puntuación Z(SiO <sub>2</sub> )	0.095	26	0.200 <sup>*</sup>	0.952	26	0.258
Puntuación Z(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.086	28	0.200 <sup>*</sup>	0.958	28	0.315
Puntuación Z(TiO <sub>2</sub> )	0.101	25	0.200 <sup>*</sup>	0.936	25	0.116
Puntuación Z(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.134	23	0.200 <sup>*</sup>	0.972	23	0.736
Puntuación Z(MnO)	0.120	27	0.200 <sup>*</sup>	0.948	27	0.195
Puntuación Z(MgO)	0.164	24	0.093	0.948	24	0.242
Puntuación Z(CaO)	0.190	27	0.013	0.847	27	0.001
Puntuación Z(Na <sub>2</sub> O)	0.142	28	0.153	0.925	28	0.045
Puntuación Z(K <sub>2</sub> O)	0.119	28	0.200 <sup>*</sup>	0.944	28	0.139
Puntuación Z(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.088	25	0.200 <sup>*</sup>	0.962	25	0.461
Puntuación Z(SO <sub>3</sub> )	0.139	28	0.179	0.927	28	0.053
Puntuación Z(ZrO <sub>2</sub> )	0.145	26	0.171	0.931	26	0.081
*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de la significación de Lilliefors						
gl: Cantidad de muestras analizadas						
Sig: Significación bilateral al 95%						

**Tabla 13** Correlación de Pearson para los elementos mayores analizados por fluorescencia de rayos X.

Correlación de PEARSON													
		SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	SO3	ZrO2
SiO2	Correlación de Pearson	1											
	Sig. (bilateral)												
	N	26											
Al2O3	Correlación de Pearson	-0.95	1										
	Sig. (bilateral)	0.00											
	N	26	28										
TiO2	Correlación de Pearson	-0.25	0.33	1									
	Sig. (bilateral)	0.24	0.11										
	N	24	25	25									
Fe2O3	Correlación de Pearson	-0.67	0.68	0.66	1								
	Sig. (bilateral)	0.00	0.00	0.00									
	N	23	23	23	23								
MnO	Correlación de Pearson	-0.92	0.84	0.42	0.58	1							
	Sig. (bilateral)	0.00	0.00	0.04	0.00								
	N	26	27	25	23	27							
MgO	Correlación de Pearson	-0.96	0.90	0.10	0.62	0.83	1						
	Sig. (bilateral)	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00							
	N	24	24	24	23	24	24						
CaO	Correlación de Pearson	-0.77	0.71	-0.32	0.15	0.71	0.79	1					
	Sig. (bilateral)	0.00	0.00	0.13	0.49	0.00	0.00						
	N	26	27	24	23	26	24	27					
Na2O	Correlación de Pearson	-0.91	0.89	0.06	0.43	0.75	0.86	0.80	1				
	Sig. (bilateral)	0.00	0.00	0.77	0.04	0.00	0.00	0.00					
	N	26	28	25	23	27	24	27	28				
K2O	Correlación de Pearson	-0.60	0.57	0.04	0.60	0.37	0.86	0.31	0.64	1			
	Sig. (bilateral)	0.00	0.00	0.84	0.00	0.06	0.00	0.11	0.00				
	N	26	28	25	23	27	24	27	28	28			
P2O5	Correlación de Pearson	-0.70	0.63	-0.26	0.45	0.67	0.77	0.87	0.61	0.16	1		
	Sig. (bilateral)	0.00	0.00	0.22	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46			
	N	24	25	23	22	24	23	25	25	25	25		
SO3	Correlación de Pearson	0.01	0.11	0.66	0.50	0.05	-0.10	-0.43	-0.17	-0.08	-0.25	1	
	Sig. (bilateral)	0.98	0.59	0.00	0.01	0.81	0.65	0.03	0.40	0.67	0.23		
	N	26	28	25	23	27	24	27	28	28	25	28	
ZrO2	Correlación de Pearson	0.41	-0.46	0.01	-0.22	-0.33	-0.48	-0.27	-0.31	-0.31	-0.30	0.06	1
	Sig. (bilateral)	0.05	0.02	0.97	0.35	0.11	0.03	0.19	0.12	0.12	0.16	0.79	
	N	24	26	23	21	25	22	25	26	26	23	26	26

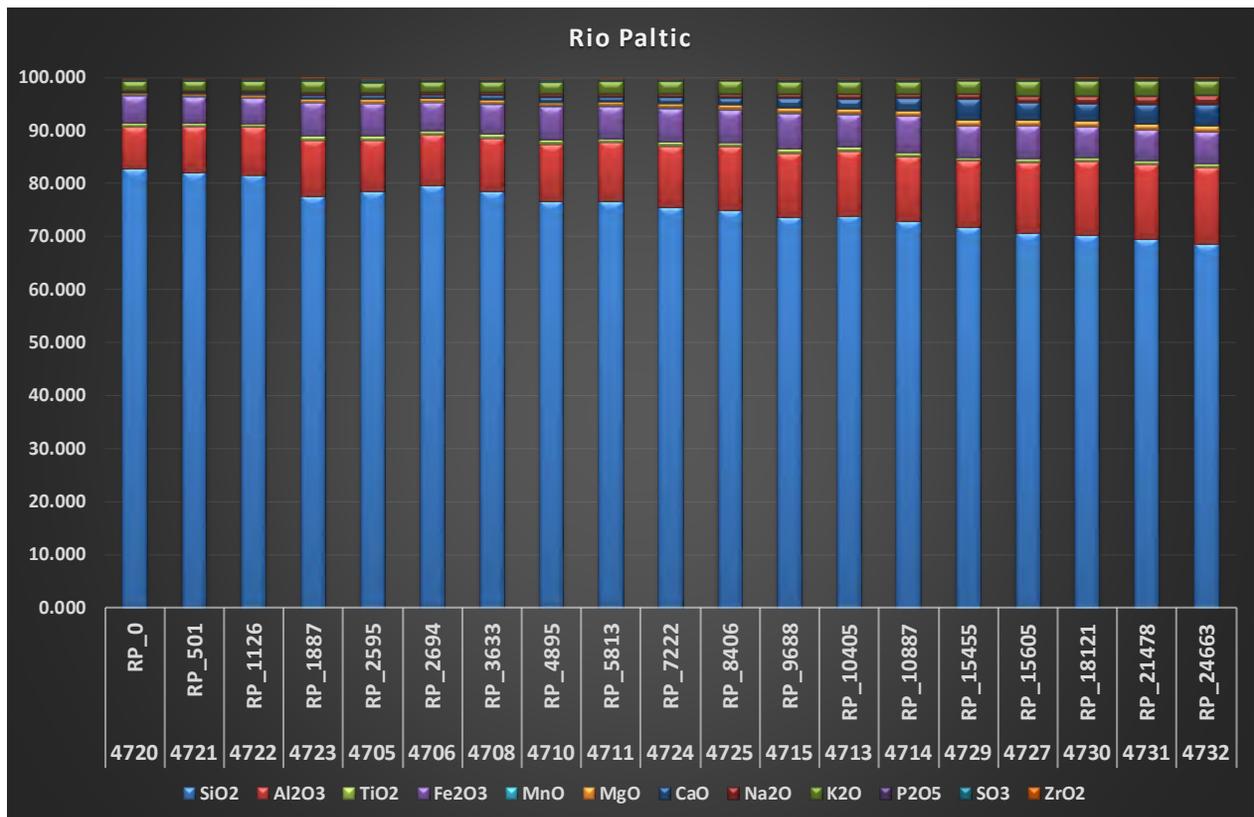
La valorización de los coeficientes se presenta en la **Tabla 14**.

**Tabla 14** Valorización de los coeficientes de correlación de Pearson.

Coeficiente	Valorización	Color	
< 0.50	Baja	-	
0.50 - 0.70	Moderada	Amarillo	
0.70 - 0.85	Alta	Rojo	
> 0.85	Muy Alta	Magenta	

Los coeficientes de correlación mostrados en la **Tabla 13** indican que los contenidos de Ti se correlacionan positivamente con los de Fe y S. Una posible explicación a esta correlación química, sería la presencia de pirita y rutilo/anatasa (+/- óxidos/hidróxidos de Fe?) en los sedimentos de quebrada, lo cual es consistente con la alteración filica-argílica presente en la quebrada Ayraca de donde provienen las muestras con los valores más altos (atípicos) de Fe y Ti (muestras 4716, 4717 y 4718). Si bien estos valores atípicos fueron descartados para establecer los coeficientes de correlación, es posible que el vínculo entre Ti-Fe-S en muestras tomadas aguas abajo de la quebrada Ayraca, sea un reflejo del aporte de sedimentos provenientes de dicha quebrada que se diluyen en el cauce principal del río Paltic. Esta dilución por mezcla de sedimentos hace que el Fe y el Ti dejen de tener valores (elevados) atípicos, pero no afecta su correlación positiva.

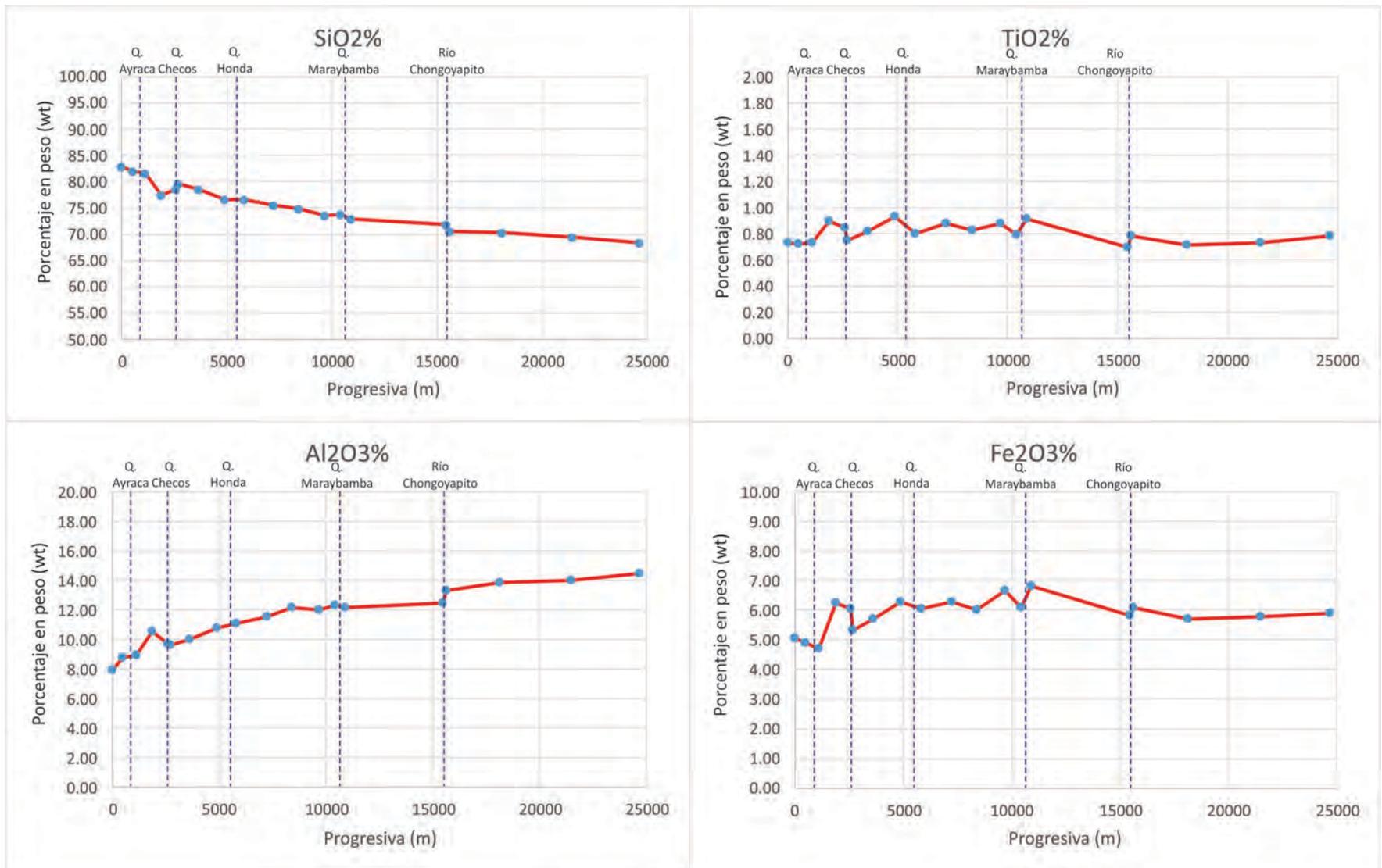
En el sistema de drenaje del Río Paltic se observa un decrecimiento aguas abajo del contenido de SiO<sub>2</sub> (**Figura 18**), desde los 82.8 %, en el punto más próximo a la cabecera de cuenca del río, hasta los 68.5% en el último punto de muestreo, a 24.7 km. aguas abajo. De forma complementaria, para los elementos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO se observa un incremento en su contenido aguas abajo (**Figuras 19, 20 y 21**).



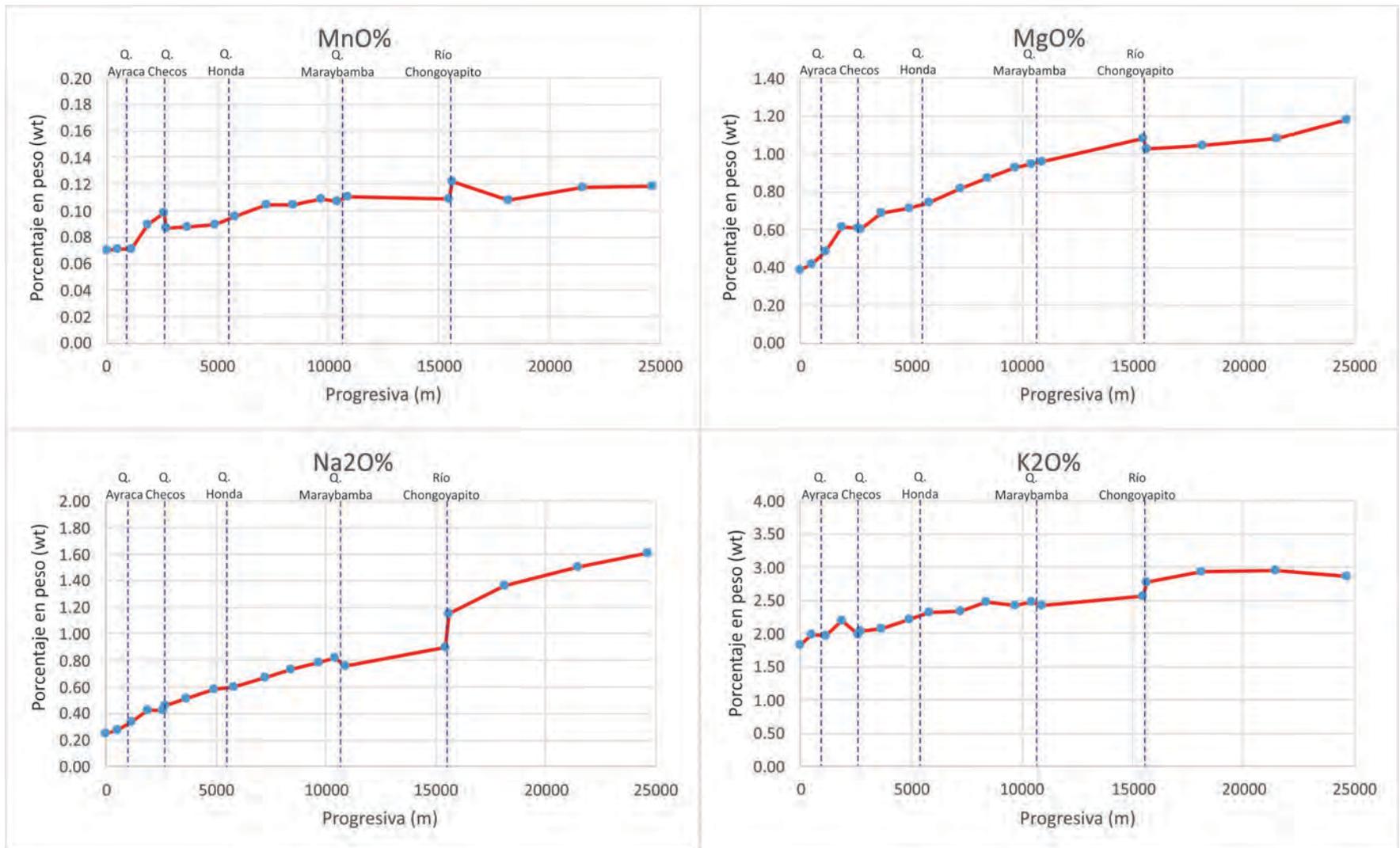
**Figura 18** Variación de la composición química en función a la ubicación espacial de las muestras en el Río Paltic.

Las muestras 4720 y 4721 ubicadas en la cabecera de cuenca del Río Paltic presentan los valores más altos en SiO<sub>2</sub>, según las observaciones de campo y lo reportado en los informes geológicos regionales y locales del INGEMMET, esto se debería a que este sector corresponde al área de aporte de las cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga.

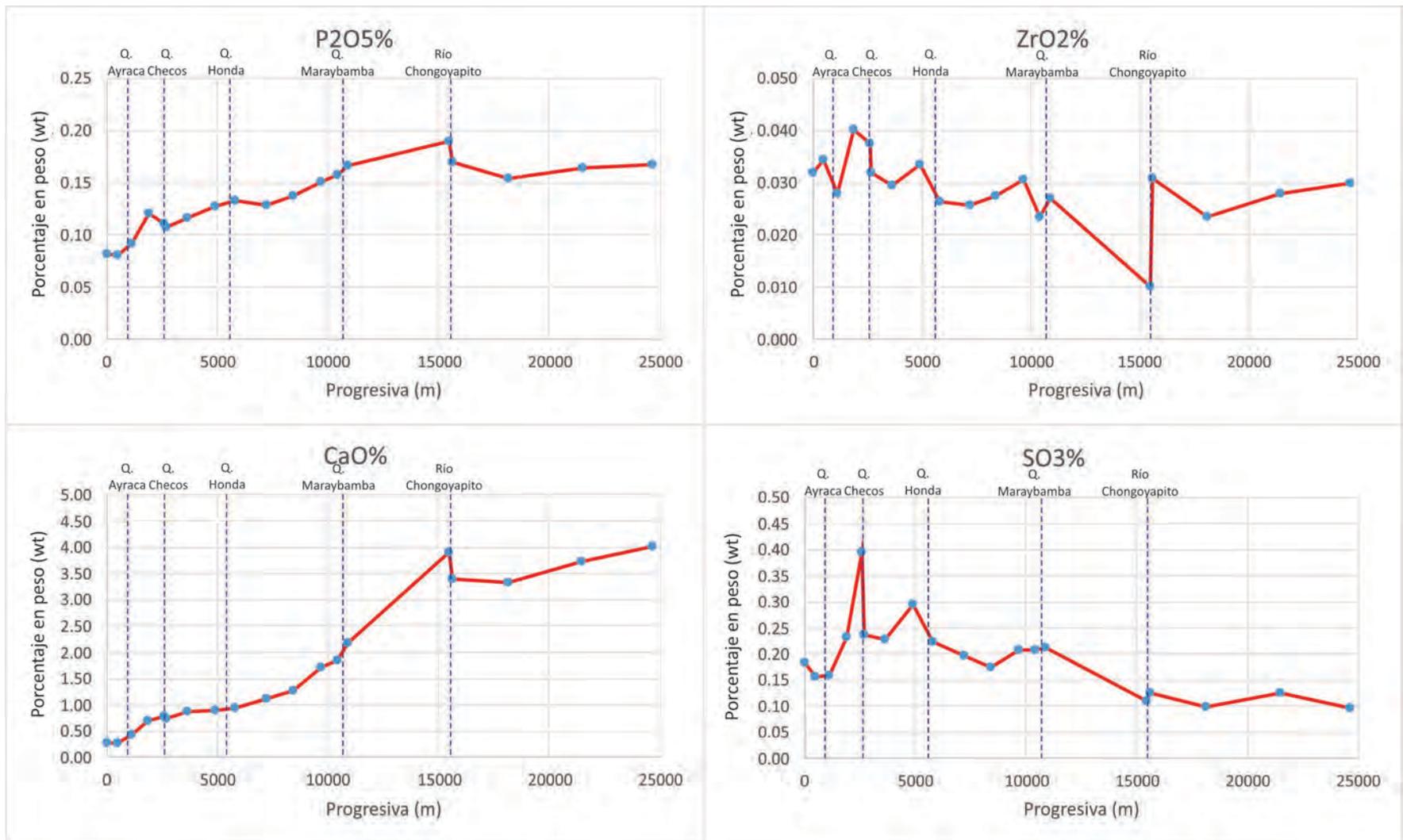
Entre las muestras 4722 y 4723 existe un punto de disminución significativa del contenido de SiO<sub>2</sub>, a la vez en estas mismas muestras se observa un incremento de los elementos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO. Estas variaciones pueden deberse al ingreso de los sedimentos de la quebrada de Ayraca representados en las **Figuras 19, 20 y 21**.



**Figura 19** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic para los elementos SiO<sub>2</sub>%, TiO<sub>2</sub>%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%.

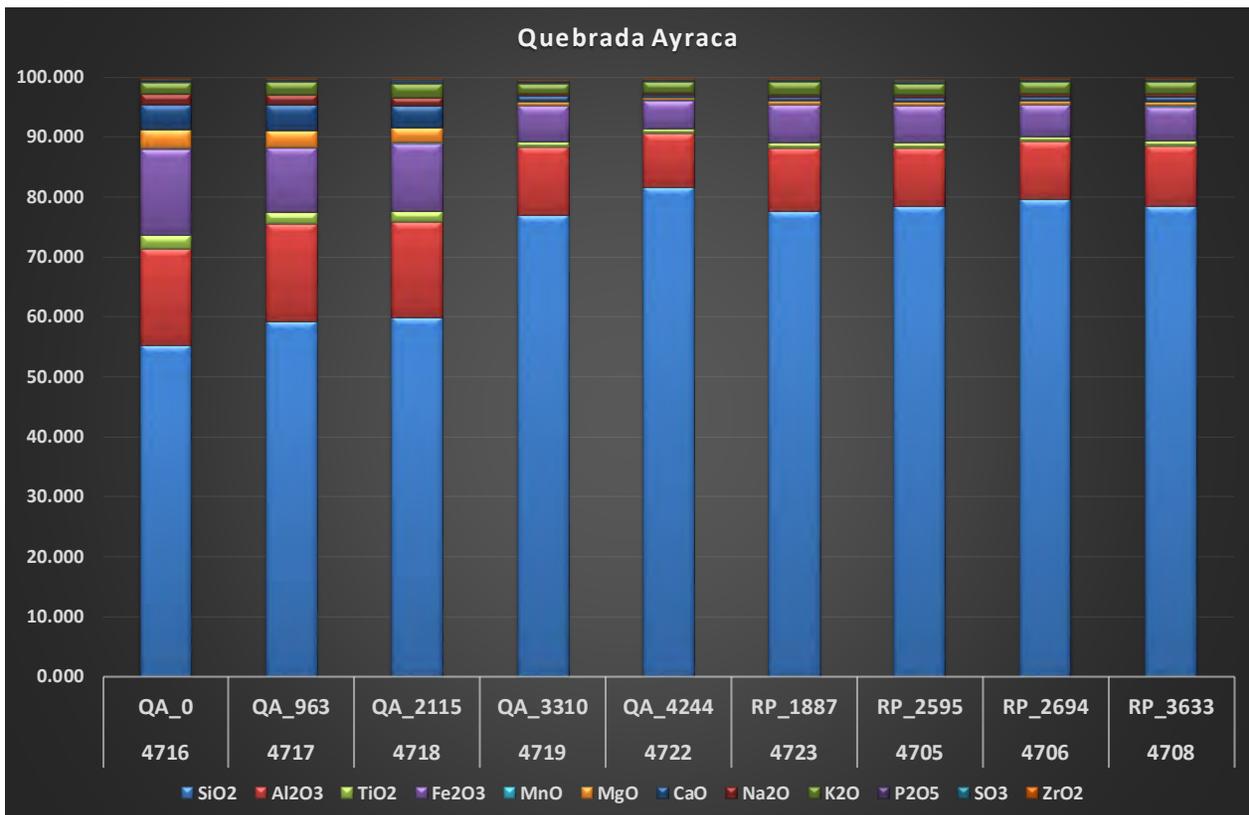


**Figura 20** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic para los elementos MnO%, MgO%, Na<sub>2</sub>O% y K<sub>2</sub>O %.

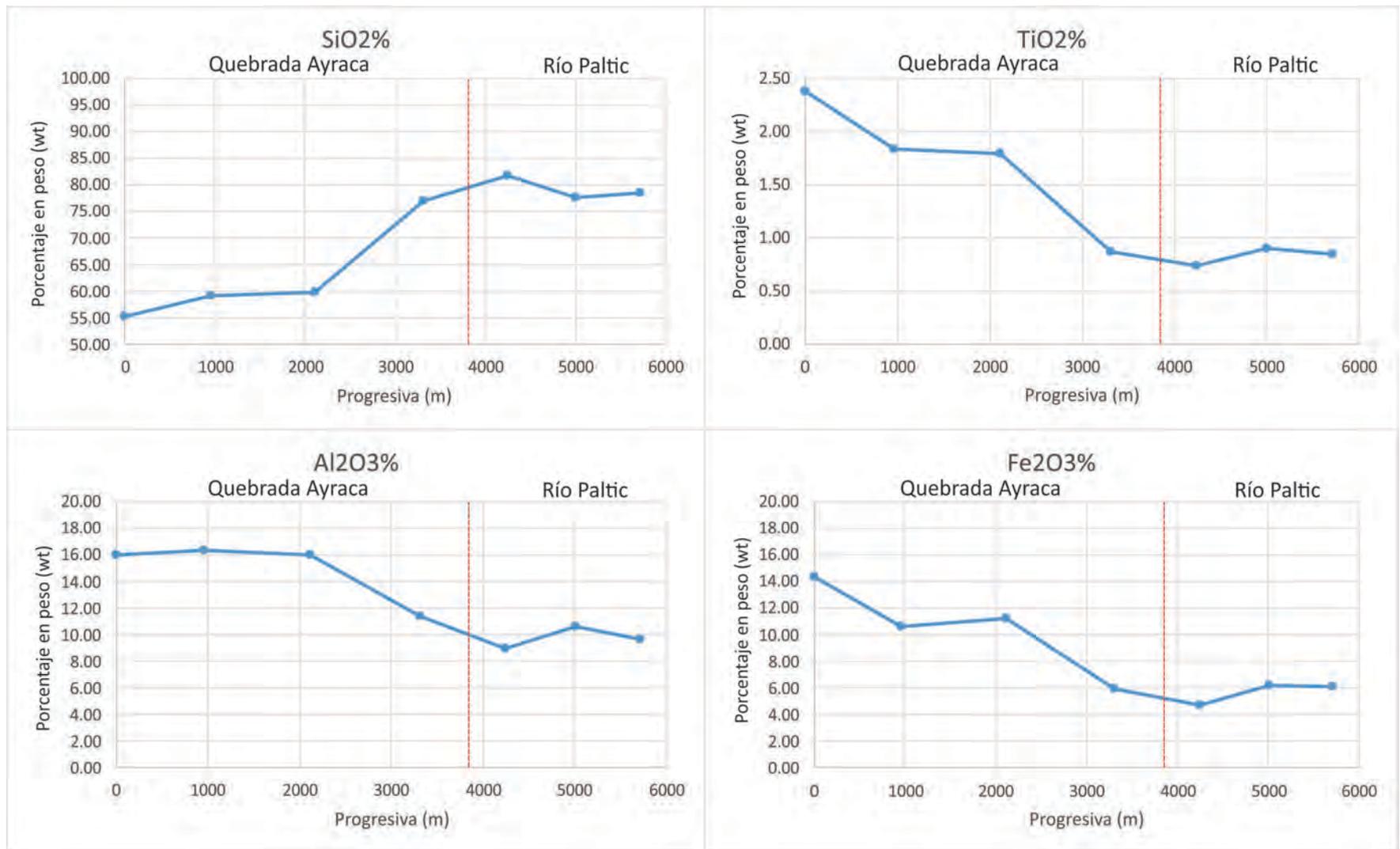


**Figura 21** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje del Río Paltic para los elementos P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%, ZrO<sub>2</sub>%, CaO% y SO<sub>3</sub> %.

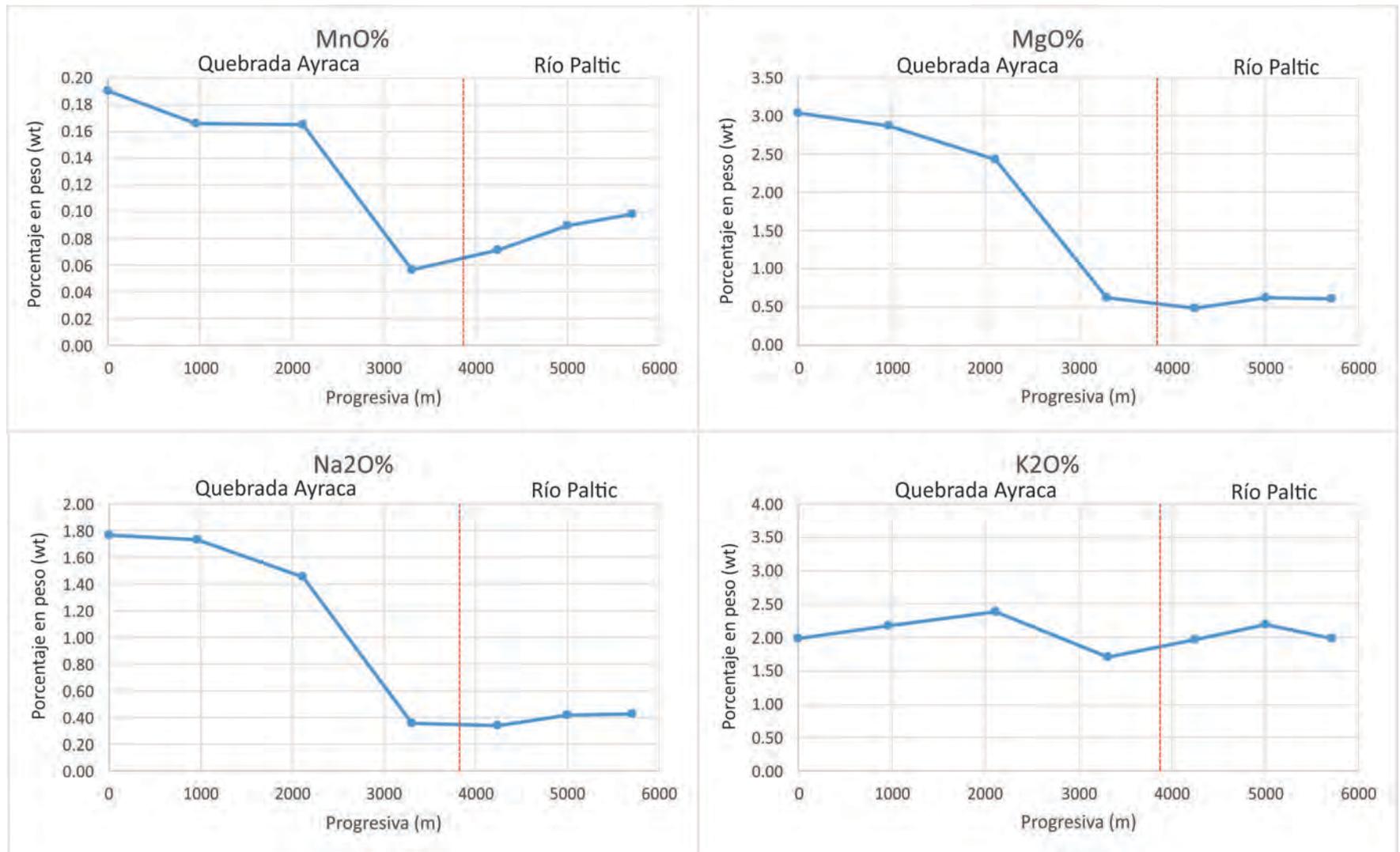
Los resultados químicos de las muestras de la quebrada Ayraca son representados en la **Figura 22** en donde se observa que hasta su intercepción con el Río Paltic, presenta valores muy altos en  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  y  $CaO$ , altos en  $MnO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  y  $P_2O_5$ , y valores bajos en  $SiO_2$ , siendo las muestras representativas de este sector la 4716, 4717 y 4718. Estas son representadas en los gráficos de las **Figuras 23, 24 y 25**. El incremento de la  $SiO_2$  a partir de la muestra 4719 se debe a la contribución de los sedimentos con predominio de granos de cuarzo provenientes de la cabecera del Río Paltic que estarían relacionados con a las areniscas y cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga.



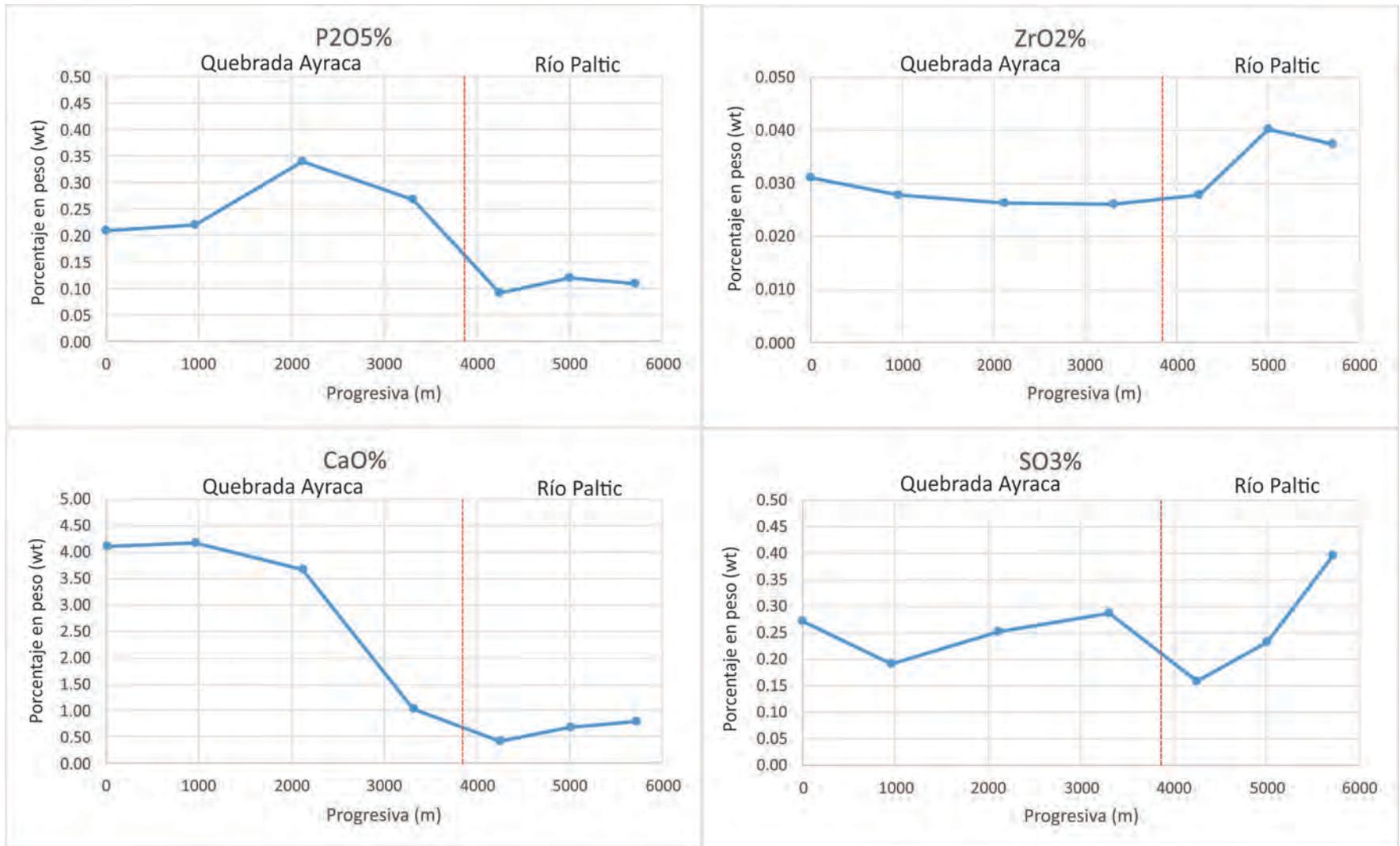
**Figura 22** Variación de la composición química a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Ayraca.



**Figura 23** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca para los elementos SiO<sub>2</sub>%, TiO<sub>2</sub>%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%.

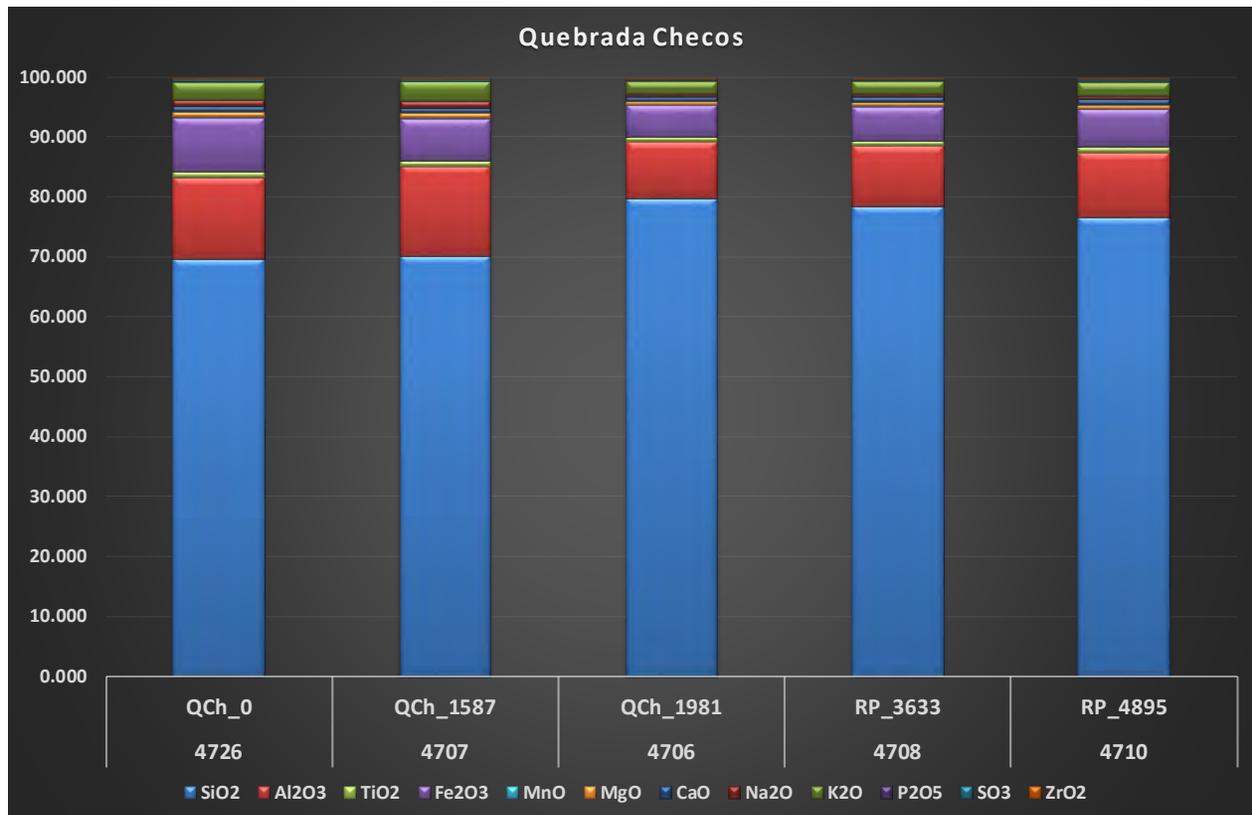


**Figura 24** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca para los elementos MnO%, MgO%, Na<sub>2</sub>O% y K<sub>2</sub>O%.



**Figura 25** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca para los elementos P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%, ZrO<sub>2</sub>%, CaO% y SO<sub>3</sub>%.

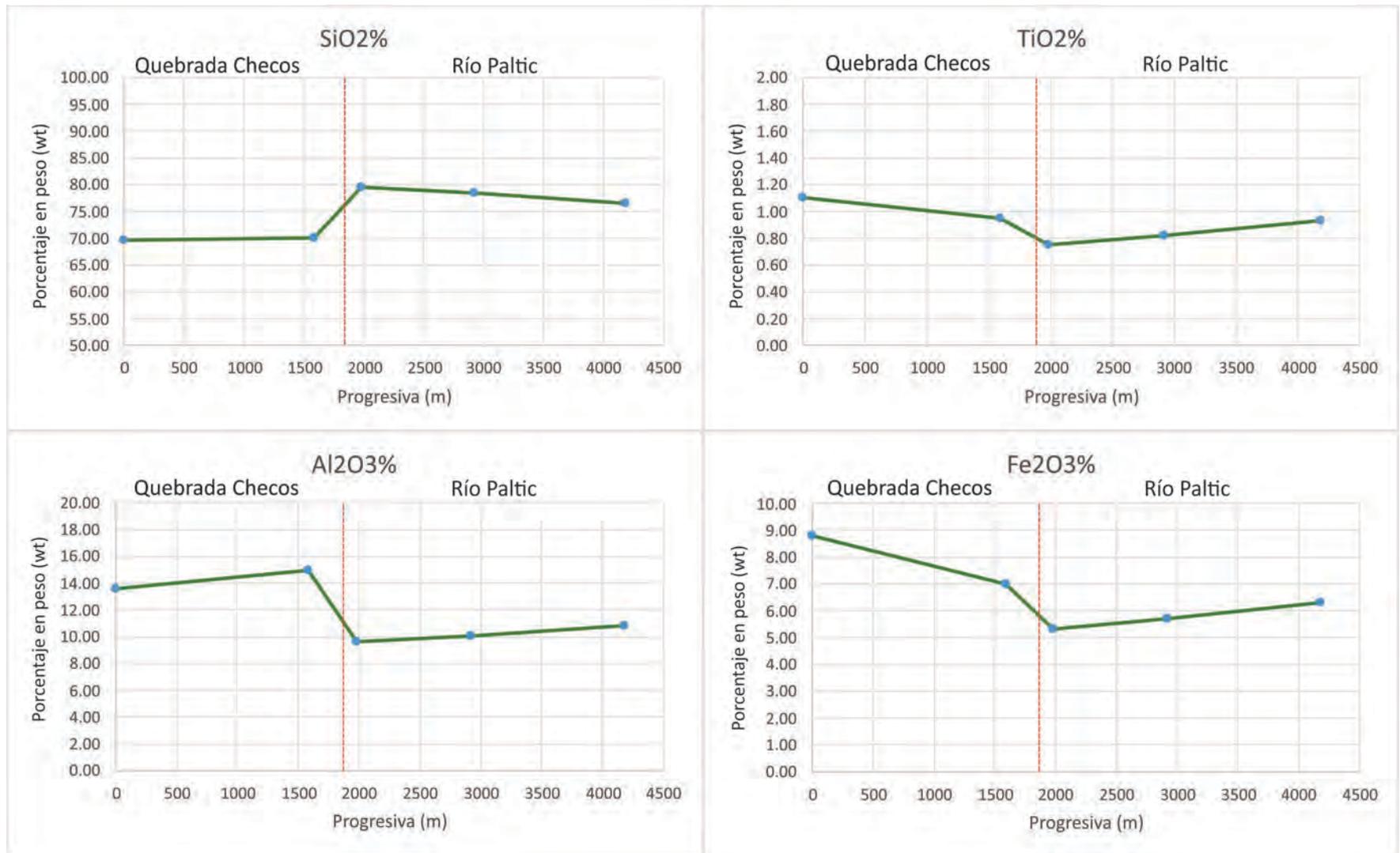
Los resultados de los análisis químicos de las muestras de la quebrada Checos están representados en la **Figura 26**, donde se observa que hasta su intercepción con el Río Paltic presenta valores muy altos en  $Al_2O_3$ , altos en  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$  y  $K_2O$ , valores bajos en  $SiO_2$  los que se encuentran representados en las **Figuras 27, 28 y 29** por las muestras 4726 y 4707. El incremento de la  $SiO_2$  a partir de la muestra 4706 se debe a la contribución de los sedimentos con predominio de granos de cuarzo provenientes de la cabecera del Río Paltic que estarían relacionados con a las areniscas y cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga.



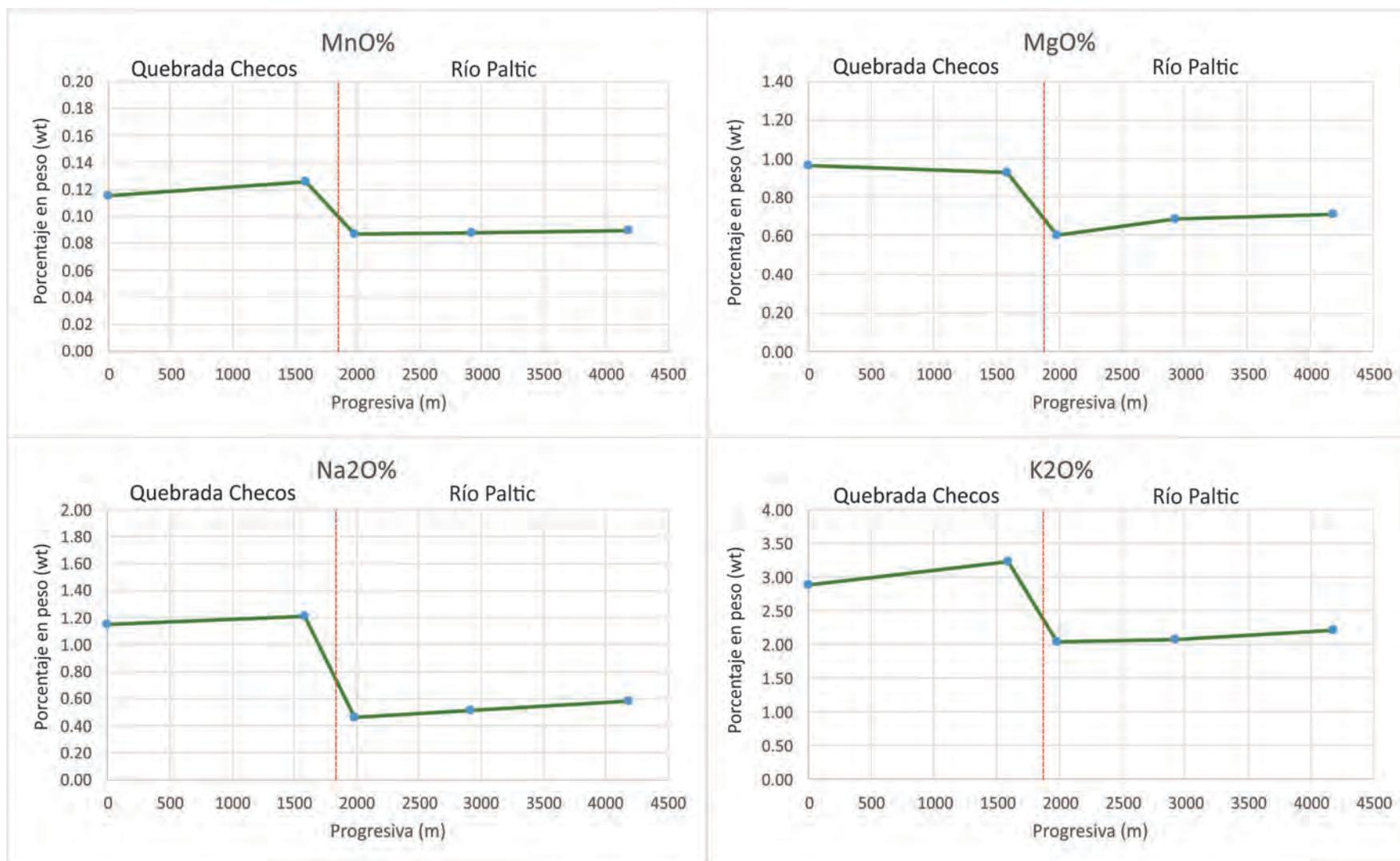
**Figura 26** Variación de la composición química a lo largo del sistema de drenaje de la quebrada Checos.

El ingreso de los sedimentos de quebrada Maraybamba al sistema de drenaje de Río Paltic incrementa los contenidos de  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $CaO$  y genera una disminución de  $SO_3$  en los sedimentos. De lo comentado en la distribución espacial de los elementos químicos se puede apreciar que el  $TiO_2$  y el  $Fe_2O_3$  que provienen de las quebradas de Ayraca y Checos, que cruzan al cuerpo mineralizado de La Granja, son las fuentes principales de la dispersión de estos elementos en el sistema de drenaje del Río Paltic.

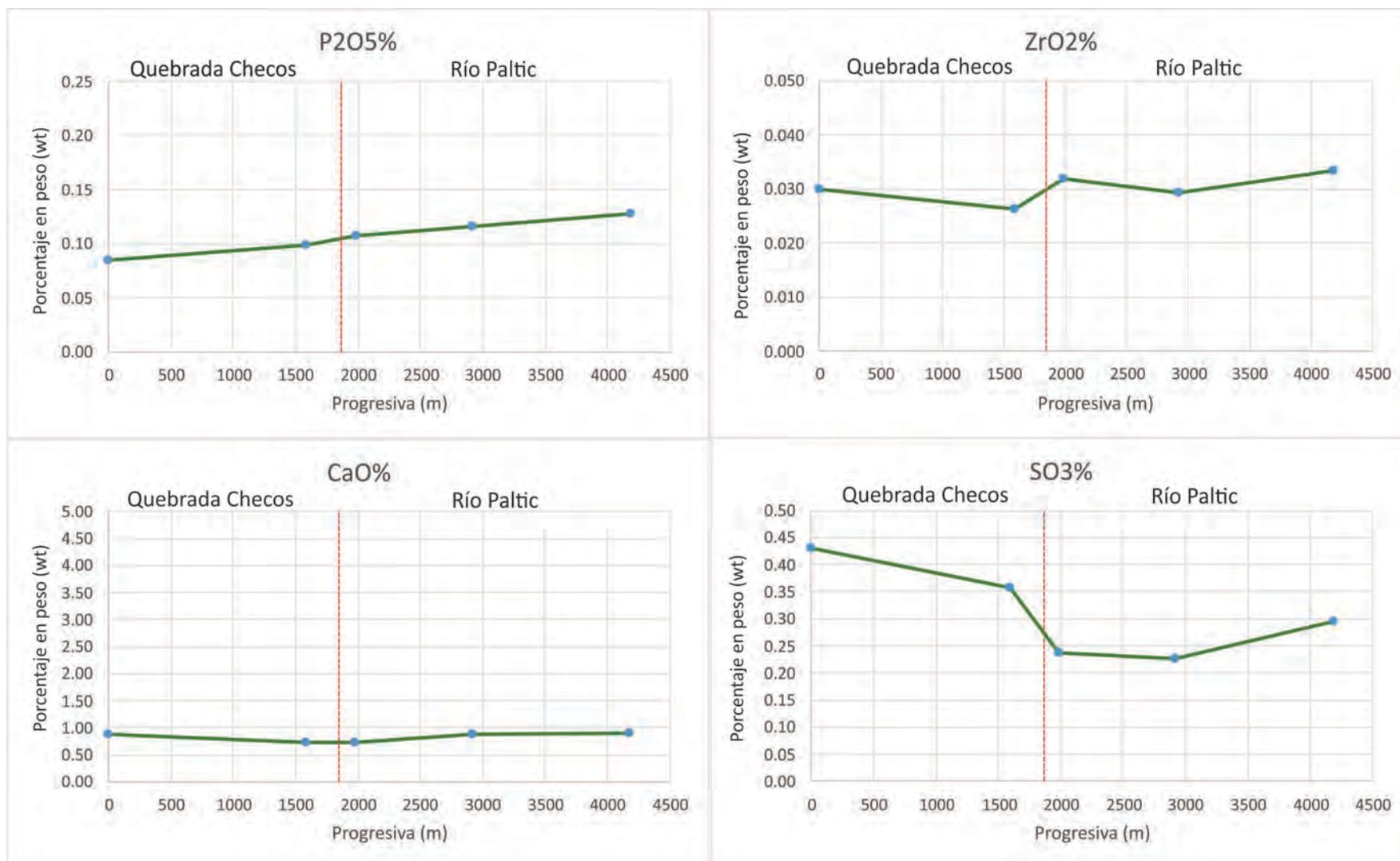
En el caso de las quebradas Checos, Honda y del Río Chongoyapito los sedimentos aparentemente no modifican la composición química al ingresar al sistema de drenaje del Río Paltic, tal como puede observarse en las **Figuras 27, 28 y 29**.



**Figura 27** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Checos para los elementos SiO<sub>2</sub>%, TiO<sub>2</sub>%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%.



**Figura 28** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Checos para los elementos MnO%, MgO%, Na<sub>2</sub>O% y K<sub>2</sub>O %.



**Figura 29** Variación de la composición química de los elementos mayores semicuantitativo a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayra para los elementos P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%, ZrO<sub>2</sub>%, CaO% y SO<sub>3</sub> %.

#### 5.4. Concentración gravimétrica por medios densos.

Los estudios de difracción y fluorescencia de rayos X forman parte de la primera etapa de estudio del presente trabajo integrativo denominada “Línea Base”, cuyo objetivo fue la caracterización completa de los sedimentos de quebrada que ofreciera una idea general sobre su granulometría, mineralogía y composición química.

La Línea Base demostró que la composición mineralógica de los sedimentos de quebrada está dominada por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, filosilicatos micáceos indiferenciados (reportados como micas), clorita y magnetita. En las muestras 4706 y 4709 se detectó turmalina en trazas, mientras que en la muestra 4716 se logró detectar apatito como una fase mineralógica minoritaria. Cabe acotar que en todos los difractogramas el “*peak*” característico del cuarzo aparece como el dominante haciendo que los “*peaks*” característicos de las demás fases minerales, especialmente las presentes en cantidades trazas, fueran difíciles de reconocer e interpretar, por su cercanía al ruido de la señal de fondo.

Para minimizar la “interferencia” del cuarzo debido a su abundancia y a que no forma parte de los minerales de interés en este estudio, y teniendo en consideración que los posibles RIM’s de interés (turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita), poseen una gravedad o peso específico de moderado a alto, comúnmente  $>2.8 \text{ g/cm}^3$  (ver **Tabla 15**), que contrasta con la gravedad específica del cuarzo, plagioclasa y feldespatos, comúnmente  $<2.7 \text{ g/cm}^3$ , se optó por la separación de las fases de baja densidad predominantes mediante el uso de un medio denso, en este caso, el politungstato de sodio (densidad  $2.81 \text{ g/cm}^3$ ).

**Tabla 15** Gravedad específica de los posibles minerales indicadores según Klein & Hurlbut (1997) y Mindat.org.

Mineral	Peso Especifico (gr/cm3)	
	Klein & Hurlbut (1997)	Mindat.org
Turmalina	3.00 - 3.25	2.90 - 3.22
Apatito	3.15 - 3.20	3.10 - 3.25
Epidota	3.25 - 3.45	3.38 - 3.49
Rutilo	4.18 - 4.25	4.23
Clorita	2.60 - 3.30	2.60 - 3.30

La concentración gravimétrica por medios densos fue realizada en el pasante de la malla #30 y lo retenido en la malla #60, con una calibración del politungstato de sodio de forma tal de recuperar minerales cuya densidad específica fuera  $> 2.81 \text{ g/cm}^3$  lo que permitiría separar las fases mineralógicas “predominantes” de baja densidad, reportadas en los análisis de DRX (ver **Tabla 16**), de las fases mineralógicas de alta densidad (**Tabla 17**). Entre los minerales

detectados por difracción de rayos X, la clorita, biotita y muscovita tendrán una separación solo parcial, debido a que algunos de los miembros de estos grupos de minerales son pobres en Fe y su densidad específica es  $<2.8 \text{ gr/cm}^3$ .

**Tabla 16** Gravedad específica de los minerales detectados por DRX. Datos de Klein & Hurlbut (1997) y Mindat.org.

Mineral	Peso Especifico (gr/cm3)	
	Klein & Hurlbut (1997)	Mindat.org
Cuarzo	2.60 - 2.65	2.65 - 2.66
Feldespatos - K	2.60 - 2.75	2.54 - 2.62
Plagioclasa	2.62 - 2.76	2.60 - 2.76
Biotita	2.80 - 3.20	2.78 - 2.85
Muscovita	2.76 - 2.88	2.77 - 2.88
Anfibol	2.85 - 3.40	
Calcita	2.71	2.71

**Tabla 17** Peso específico de los minerales detectados por el Qemscan®.

Mineral	Peso Especifico (gr/cm3)	
	Klein & Hurlbut (1997)	Mindat.org
Turmalina	3.00 - 3.25	2.90 - 3.22
Zircon	4.68	4.60 - 4.70
Apatito	3.15 - 3.20	3.10 - 3.25
Epidota	3.25 - 3.45	3.38 - 3.49
Magnetita	5.18	5.175
Pirita	5.02	4.80 - 5.00
Calcopirita	4.10 - 4.30	4.10 - 4.30
Esfalerita	3.90 - 4.10	3.90 - 4.10
Galena	7.40 - 7.60	7.40 - 7.60
Arsenopirita	6.07	6.07
Molibdenita	4.62 - 4.73	4.62 - 4.73
Hematita	5.26	5.26
Rutilo	4.18 - 4.25	4.23
Granate	3.50 - 4.30	3.58 - 4.32
Clorita	2.60 - 3.30	2.60 - 3.30
Cuarzo	2.60 - 2.65	2.65 - 2.66
Feldespatos - K	2.60 - 2.75	2.54 - 2.62
Plagioclasa	2.62 - 2.76	2.60 - 2.76
Biotita	2.80 - 3.20	2.78 - 2.85
Muscovita	2.76 - 2.88	2.77 - 2.88
Anfibol	2.85 - 3.40	

La eficiencia del politungstato de sodio para la concentración gravimétrica fue evaluada mediante los resultados presentados en la **Tabla 18**. Se lograron detectar 28 fases minerales en los concentrados mediante Qemscan®, de las cuales 19 presentan un peso específico mayor a  $2.81 \text{ gr/cm}^3$ .

El cuarzo aparece en los difractogramas como una fase mayoritaria, con una abundancia relativa superior al 40%. Luego de la concentración gravimétrica su abundancia relativa disminuyó a valores de entre 3 y 9%, y restringido a granos mixtos (intercrecimiento). En el caso de los minerales con gravedad específica mayor a  $2.81 \text{ gr/cm}^3$  y que sus *peaks* fueron detectados en el análisis de DRX en abundancias relativas a nivel de fases minoritarias y trazas, sus abundancias se incrementaron hasta valores de 5 a 8 % para anfíboles y piroxenos, 38 a 60% para magnetita–hematita (óxidos de Fe en general); de 0.5 a 4.83 % para piritita y de 1 a 3% para granates. Estos resultados demuestran que la eficiencia del politungstato de sodio para la concentración mineral fue muy buena .

**Tabla 18** Tabla de control de pesos utilizados en los diversos análisis químicos - mineralógicos realizados en las muestras de los sedimentos de quebrada del brownfield del pórfido de Cu - Mo de La Granja.

Muestra	Stream Sediment (kg)	Cuarteo 1		Cuarteo 2					
		(kg)	% Recuperado	Granulometría (kg)	DRX (kg)	FRX (kg)	Concentración Mineral		
							Cabeza (kg)	Concentrado (gr)	% Recuperado
4705	6.690	0.450	6.73	0.030	0.055	0.030	1.315	4.382	
4706	6.843	0.325	4.75	0.035	0.040	0.035	1.080	3.086	
4707	4.942	0.310	6.27	0.035	0.030	0.035	1.560	4.457	
4708	6.183	0.365	5.90	0.040	0.045	0.040	1.413	3.532	
4709	4.570	0.300	6.56	0.030	0.030	0.030	0.766	2.553	
4710	7.040	0.285	4.05	0.035	0.035	0.035	1.191	3.402	
4711	5.217	0.405	7.76	0.030	0.040	0.030	0.769	2.564	
4712	2.087	0.225	10.78	0.030	0.050	0.030	0.669	2.229	
4713	4.958	0.325	6.56	0.035	0.040	0.035	0.697	1.991	
4714	5.955	0.330	5.54	0.035	0.040	0.035	1.003	2.865	
4715	6.279	0.295	4.70	0.035	0.035	0.035	0.721	2.060	
4716	1.653	0.225	13.61	0.045	0.055	0.045	5.798	12.883	
4717	2.140	0.290	13.55	0.035	0.040	0.035	3.336	9.532	
4718	4.753	0.270	5.68	0.030	0.030	0.030	2.698	8.994	
4719	5.152	0.330	6.41	0.040	0.045	0.040	1.124	2.810	
4720	4.836	0.320	6.62	0.040	0.035	0.040	1.103	2.759	
4721	8.306	0.395	4.76	0.045	0.050	0.045	0.468	1.041	
4722	6.326	0.275	4.35	0.030	0.035	0.030	0.381	1.271	
4723	6.023	0.370	6.14	0.045	0.050	0.045	0.981	2.180	
4724	6.844	0.355	5.19	0.035	0.045	0.035	0.606	1.731	
4725	6.119	0.330	5.39	0.040	0.040	0.040	0.498	1.244	
4726	1.990	0.265	13.32	0.035	0.030	0.035	2.065	5.900	
4727	6.282	0.335	5.33	0.040	0.035	0.040	0.455	1.136	
4728	6.004	0.290	4.83	0.040	0.055	0.040	0.420	1.049	
4729	6.220	0.365	5.87	0.045	0.045	0.045	0.704	1.564	
4730	6.977	0.280	4.01	0.035	0.030	0.035	0.381	1.088	
4731	5.996	0.355	5.92	0.035	0.035	0.035	0.903	2.580	
4732	6.588	0.350	5.31	0.040	0.040	0.040	0.562	1.404	



**Tabla 20** Tamaño promedio de cada RIM's detectado por el Qemscan®.

Sample	Name	4705P	4708P	4710P	4711P	4718P	4719P	4722P	4724P	4725P	4726P
Calculated ESD Size	Tourmaline	12.37	13.76	10.49	14.06	8.76	7.87	17.83	9.36	13.97	7.34
	Apatite	16.18	25.64	24.09	24.34	43.40	35.31	18.14	17.02	18.36	27.91
	Rutile/Anatase	18.49	18.09	18.86	19.63	15.14	17.15	25.19	18.97	21.15	16.77
	Epidote	21.09	21.59	22.40	21.61	20.76	19.47	23.48	23.05	22.14	20.98
	Corundum	36.80	32.99	36.81	34.76	36.34	36.53	42.42	32.93	37.96	28.71
	Ilmenite	16.24	16.50	17.11	17.38	17.40	17.16	17.03	14.22	12.61	11.29
	Chlorite	18.22	17.55	16.72	17.41	15.56	14.29	14.82	15.64	15.52	14.76

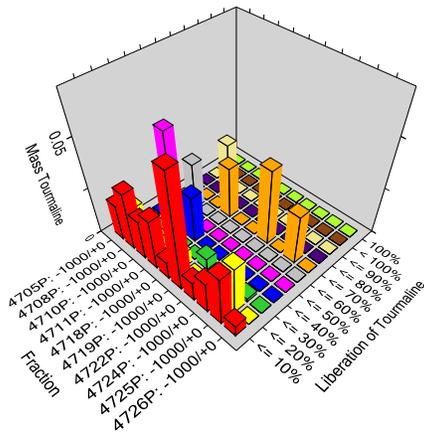
El grado de liberación mineral corresponde a la cuantificación del grado de exposición u oclusión superficial de un mineral, el cual está relacionado texturalmente con otros minerales, dando forma a una partícula mixta (ver **Figura 30**).



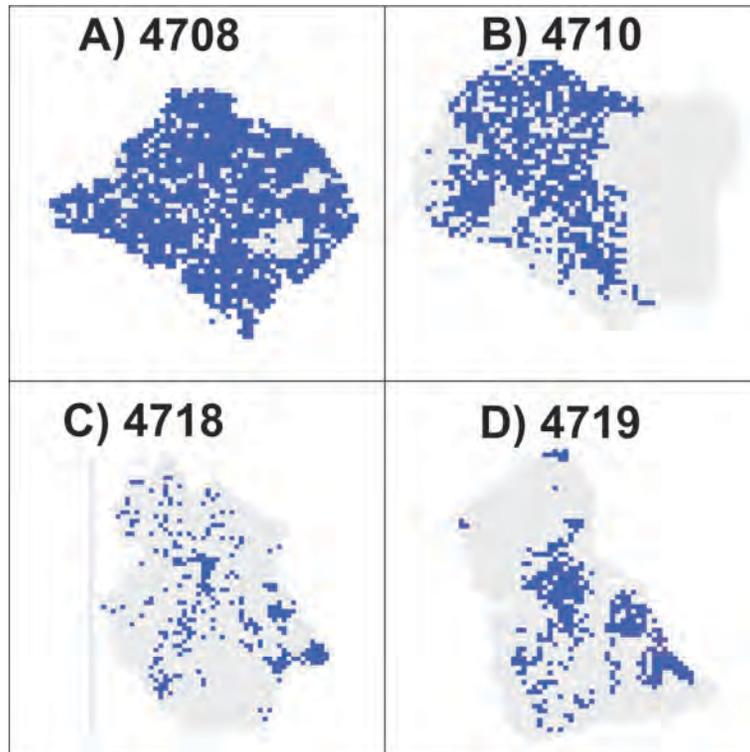
**Figura 30** Tipos de grado de liberación mineral.

El estudio microscópico de las partículas minerales producidas debido a disgregación mecánica por factores geodinámicos, permitirá observar la evolución de las características morfológicas y de asociación mineral en función a su distribución espacial generado por la acción del agua. El presente análisis será enfocado para los RIM's turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita.

El grado de liberación mineral para la turmalina se muestra en la **Figura 31**, siendo en general  $\leq 20\%$ . Este valor indicaría que la turmalina se encuentra mayormente intercrecida con otras especies minerales. Tal como se observa en las imágenes en falso color presentadas por Qemscan®. La turmalina está intercrecida con minerales de la paragénesis de alteración hidrotermal fílica (cuarzo + sericita + pirita, ver **Figura 32**).



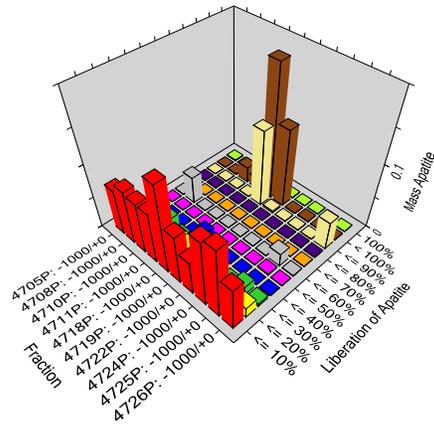
**Figura 31** Grado de liberación mineral de la turmalina.



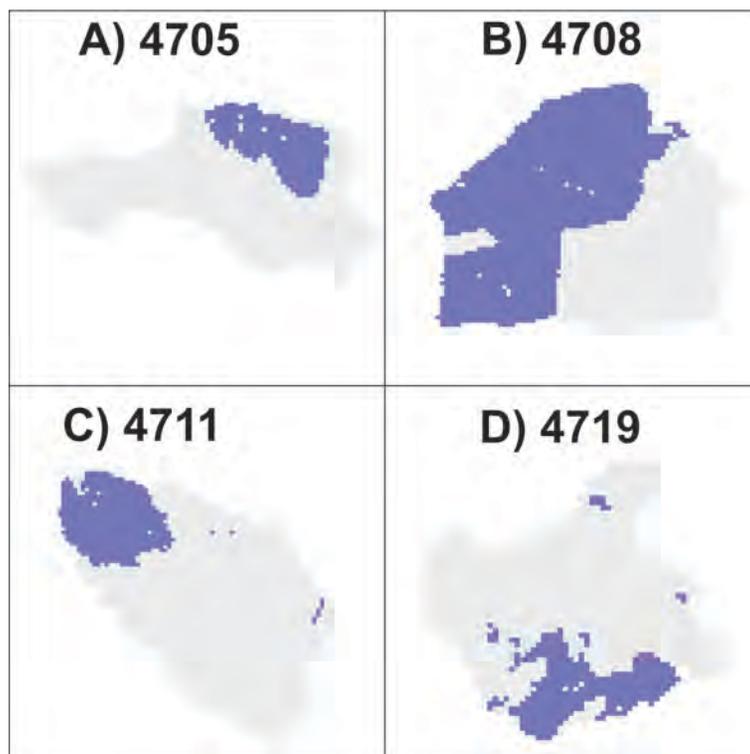
**Figura 32** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de la turmalina.

El grado de liberación mineral para el apatito se muestra en la **Figura 33**. Aquí se observa que la liberación para la mayoría de las muestras es  $\leq 10\%$ , indicando un intercrecimiento con otras especies minerales, sin embargo en las muestras 4718 y 4719 presentan un grado de liberación

alto (entre 90 a 100%). Tal como se comentara en la descripción de las imágenes de falso color, los apatitos se encuentran encapsulados en carbonatos y fases calcosilicáticas (ver **Figura 34**).



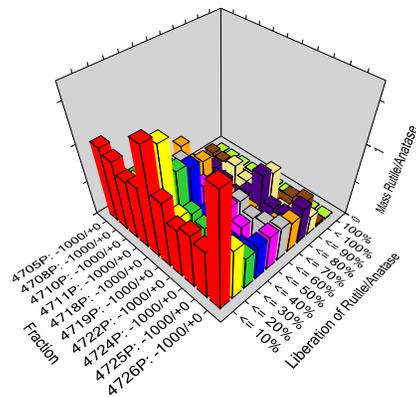
**Figura 33** Grado de liberación mineral del apatito.



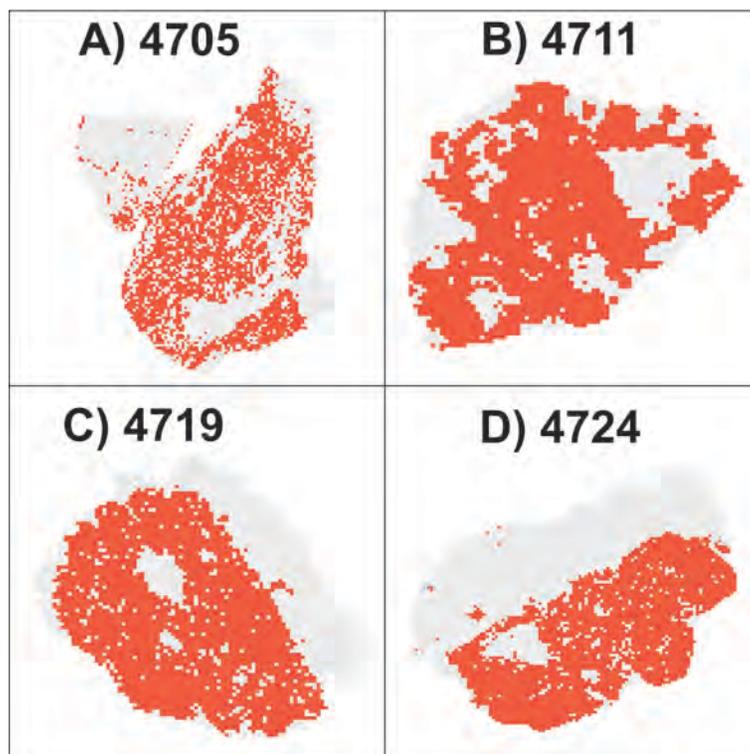
**Figura 34** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de la apatito.

El grado de liberación mineral para el rutilo se muestra en la **Figura 35**. Aquí se observa un amplio rango que oscila entre 10 y 90% de liberación. Este rango es validado con el análisis visual de los granos componentes de los sedimentos los cuales tendrían una ocurrencia muy

variada, desde especies monominerales a especies intercrecidas con ilmenita, hasta pequeñas incrustaciones en otras especies minerales (ver **Figura 36**).

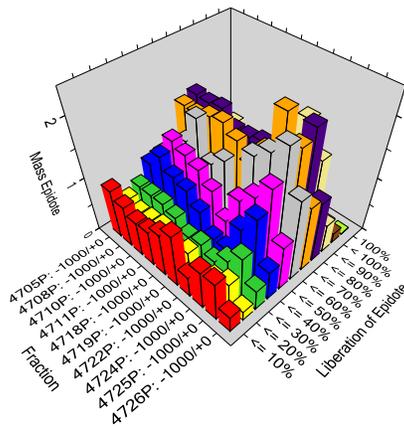


**Figura 35** Grado de liberación mineral del rutilo- anatasa.

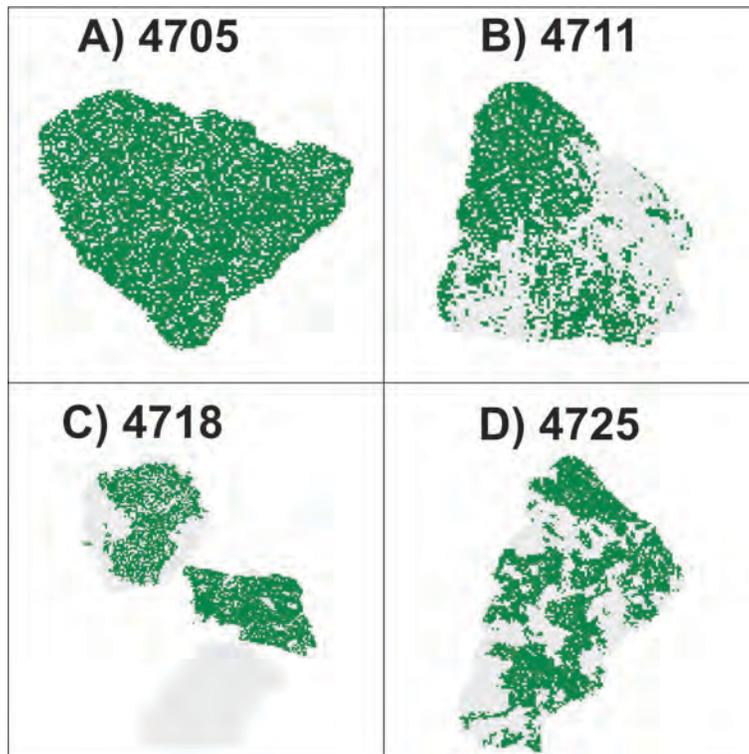


**Figura 36** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral del rutilo.

El grado de liberación mineral para la epidota se muestra en la **Figura 37**, donde al igual que el rutilo, se observa un amplio rango del grado de liberación que oscila entre >10 y < 100%, con un predominio entre los 70 y 90%. La mayoría de las epidotas se encuentran como especies de grano grueso, donde el restante 30 al 10% son inclusiones en las epidotas (ver **Figura 38**).

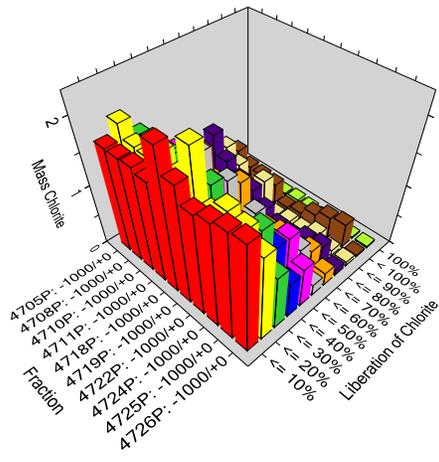


**Figura 37** Grado de liberación mineral de la epidota.

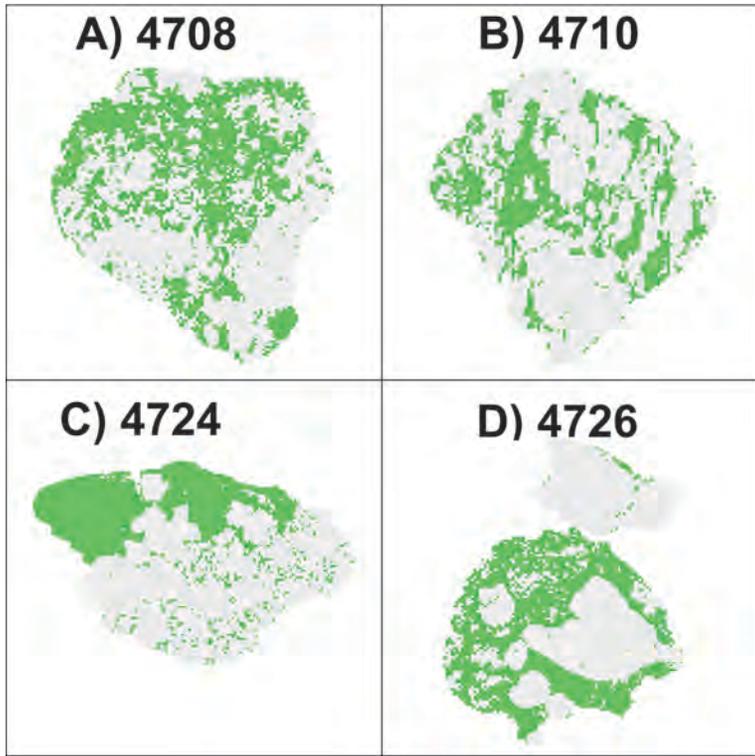


**Figura 38** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de la epidota.

El grado de liberación mineral para la clorita se muestra en la **Figura 39**, donde se observa un amplio rango del grado de liberación entre los valores >10 y <100%, con un predominio entre 10 y 50%. El análisis visual de los granos componentes de los sedimentos indica que la aparición de la clorita es muy variada, desde reemplazos totales, parciales y hasta pequeñas inclusiones en otras especies minerales ( ver **Figura 40**).



**Figura 39** Grado de liberación mineral de la clorita.



**Figura 40** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados con Qemscan® observándose el grado de liberación mineral de clorita.

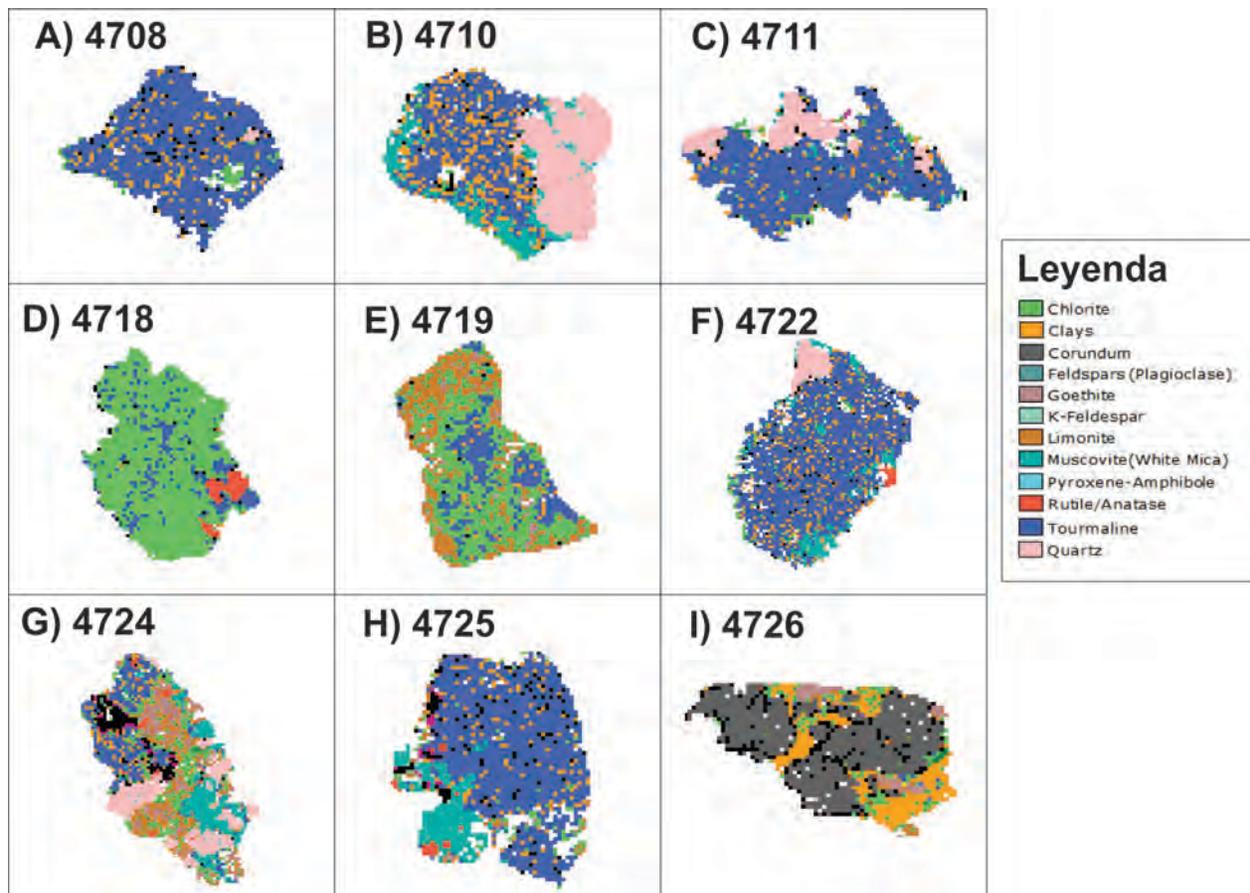
El análisis Qemscan® entrega los datos de asociación mineral en forma de tablas y gráficos de barras normalizados al 100%, tal como se muestra en el **Anexo 7.5**.

Complementando los resultados del análisis de asociación mineral ofrecido por Qemscan® (tablas y gráficos), se realizó un análisis visual en las imágenes en falso color de los granos de los sedimentos también otorgado por Qemscan®. El estudio visual fue realizado en los granos

poliminerales que contenían turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita; siendo los resultados los siguientes:

La presencia de la turmalina se relaciona con las siguientes asociaciones minerales (**Figura 41**):

- Clorita + muscovita + cuarzo + turmalina
- Clorita + muscovita + cuarzo + arcillas + goethita + turmalina
- Corindón + clorita + muscovita + cuarzo + arcillas + goethita + turmalina
- Clorita + cuarzo + corindón + turmalina



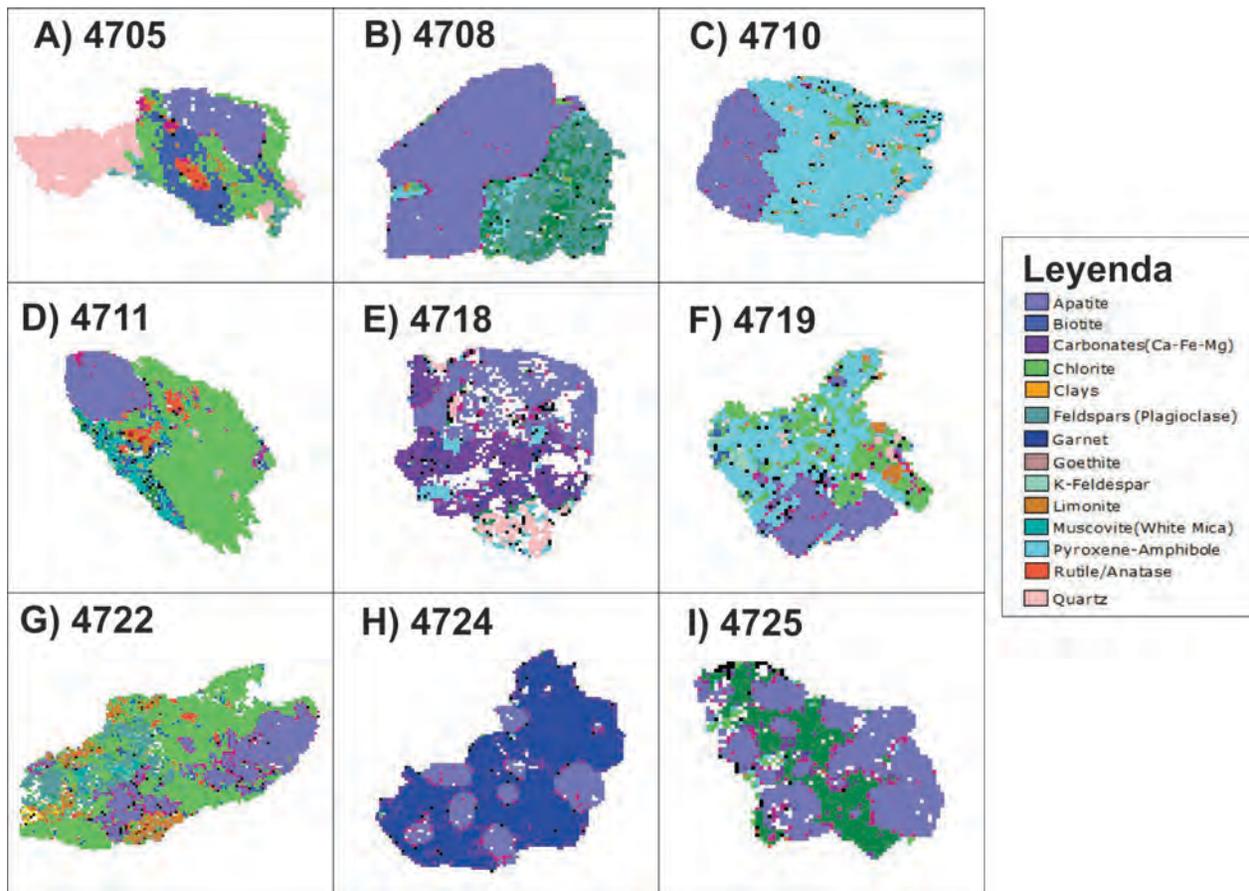
**Figura 41** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral de la turmalina.

Estas asociaciones minerales estarían relacionadas a la alteración filica según el cuadro de Corbett y Leach (1998) de la **Figura 46** los ensamblajes mineralógicos comparables son los siguientes:

- Sericita + feldespato + cuarzo + clorita + carbonato (Ser+Fsp+Q+Ch+ Cb)
- Mica + corindón + cuarzo (Mica + Cor + Q)
- Mica + corindón + cuarzo + andalucita (Mica + And + Cor + Q)

La presencia del apatito se relaciona con las siguientes asociaciones minerales (**Figura 42**):

- Cuarzo + muscovita + apatito
- Cuarzo + clorita + apatito
- Epidota + clorita + apatito
- Granate + carbonatos + apatito+ clorita + epidota
- Piroxeno + granate + apatito



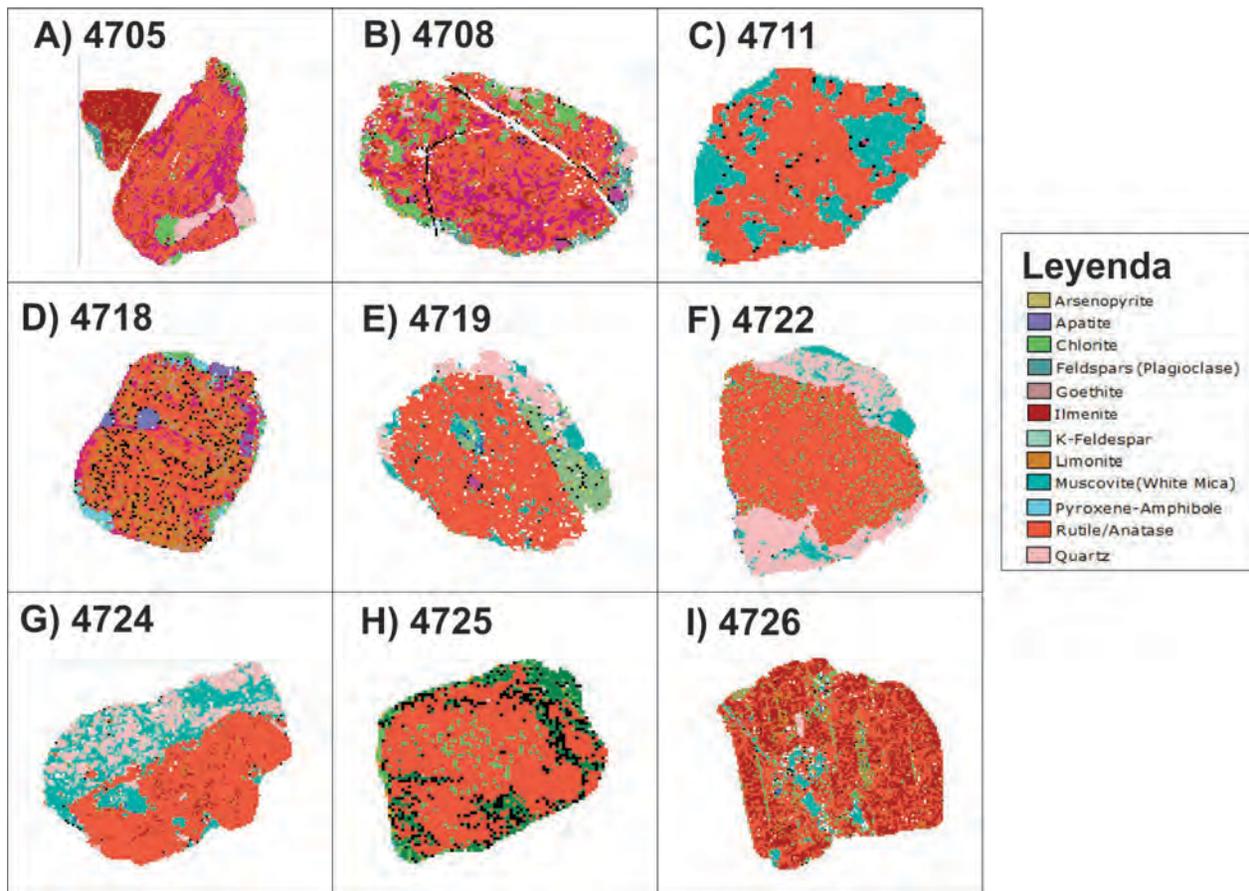
**Figura 42** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral del apatito.

Las 3 primeras asociaciones minerales estarían relacionadas a la alteración fílica, mientras que las siguientes 2 asociaciones estarían relacionadas a alteraciones tipo skarn según se muestra en el cuadro de Corbett y Leach (1998) de la **Figura 46**, los ensambles mineralógicos comparables son los siguientes:

- Sericita + feldespato + cuarzo + clorita + carbonato (Ser+Fsp+Q+Ch+ Cb)
- Granate + cuarzo + wollastonita + vesubianita + magnetita (Ga + Q +Wo + Ves + Mt)

La presencia del rutilo es relacionada a las siguientes asociaciones minerales (**Figura 43**):

- Rutilo + clorita + cuarzo + ilmenita
- Rutilo + clorita + cuarzo + muscovita + ilmenita
- Rutilo + muscovita + clorita
- Rutilo + clorita + cuarzo + feldespato potásico
- Rutilo + muscovita + clorita + goethita



**Figura 43** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral del rutilo.

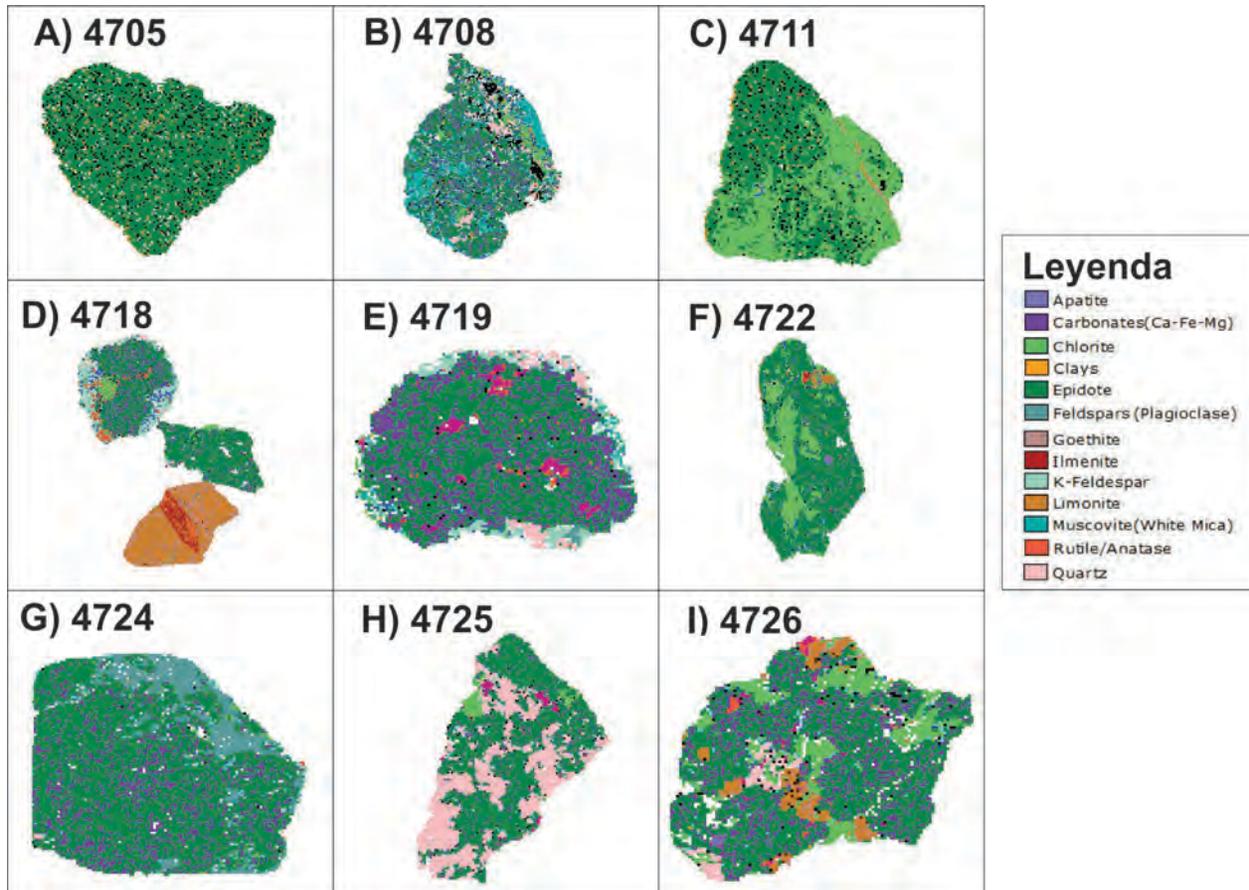
Estas asociaciones minerales estarían relacionadas a la alteración filica según el cuadro de Corbett y Leach (1998) de la **Figura 46**, los ensambles mineralógicos comparables son los siguientes:

- Sericita + feldespato + cuarzo + clorita + carbonato (Ser+Fsp+Q+Ch+ Cb)

La ilmenita posiblemente sea de carácter ígneo primario y por lo tanto relictas, no hidrotermal.

La presencia de la epidota se relaciona con las siguientes asociaciones minerales (**Figura 44**):

- Epidota + carbonatos + muscovita
- Cuarzo + epidota + clorita + carbonatos
- Epidota + clorita + goethita
- Epidota + carbonatos + clorita + muscovita
- Epidota + carbonatos + magnetita + goethita + clorita + muscovita



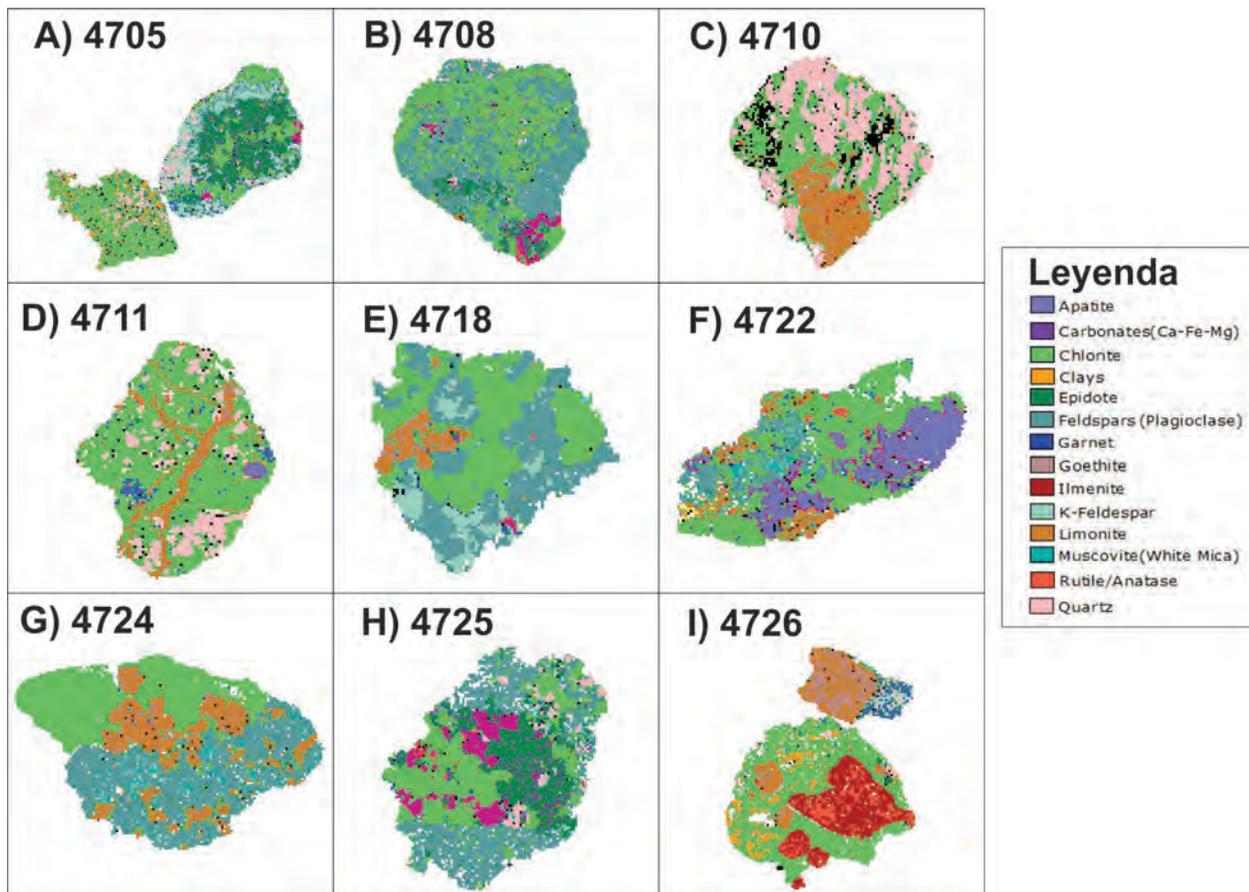
**Figura 44** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral de la epidota.

Estas asociaciones minerales estarían relacionadas a la alteración propilítica según el cuadro de Corbett y Leach (1998) de la **Figura 46**, los ensambles mineralógicos comparables son los siguientes:

- Clorita + cuarzo + epidota + albita/ adularia + calcita / dolomita (Ch + Q + Ep + Ad/Ab + Ct/Do)

La presencia de la clorita se relaciona con las siguientes asociaciones minerales (**Figura 45**):

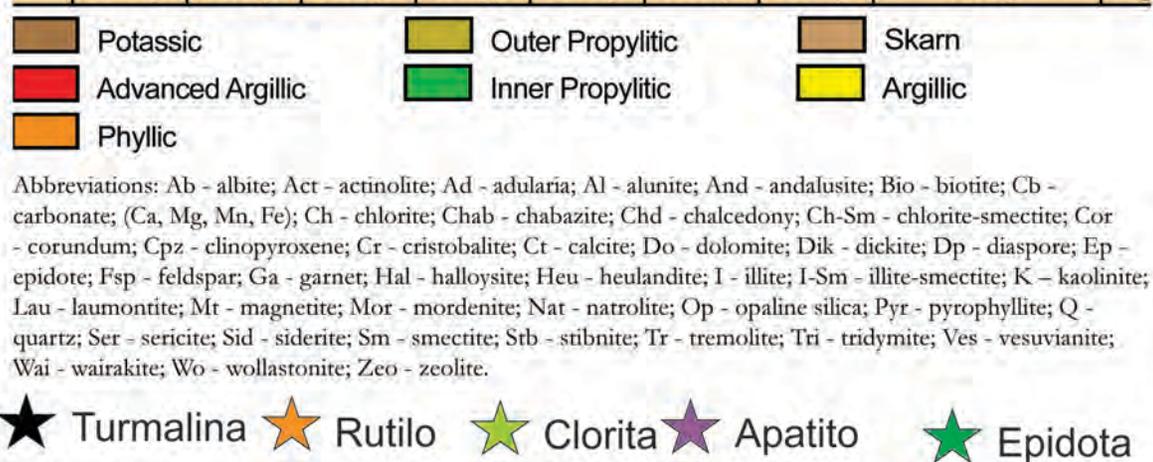
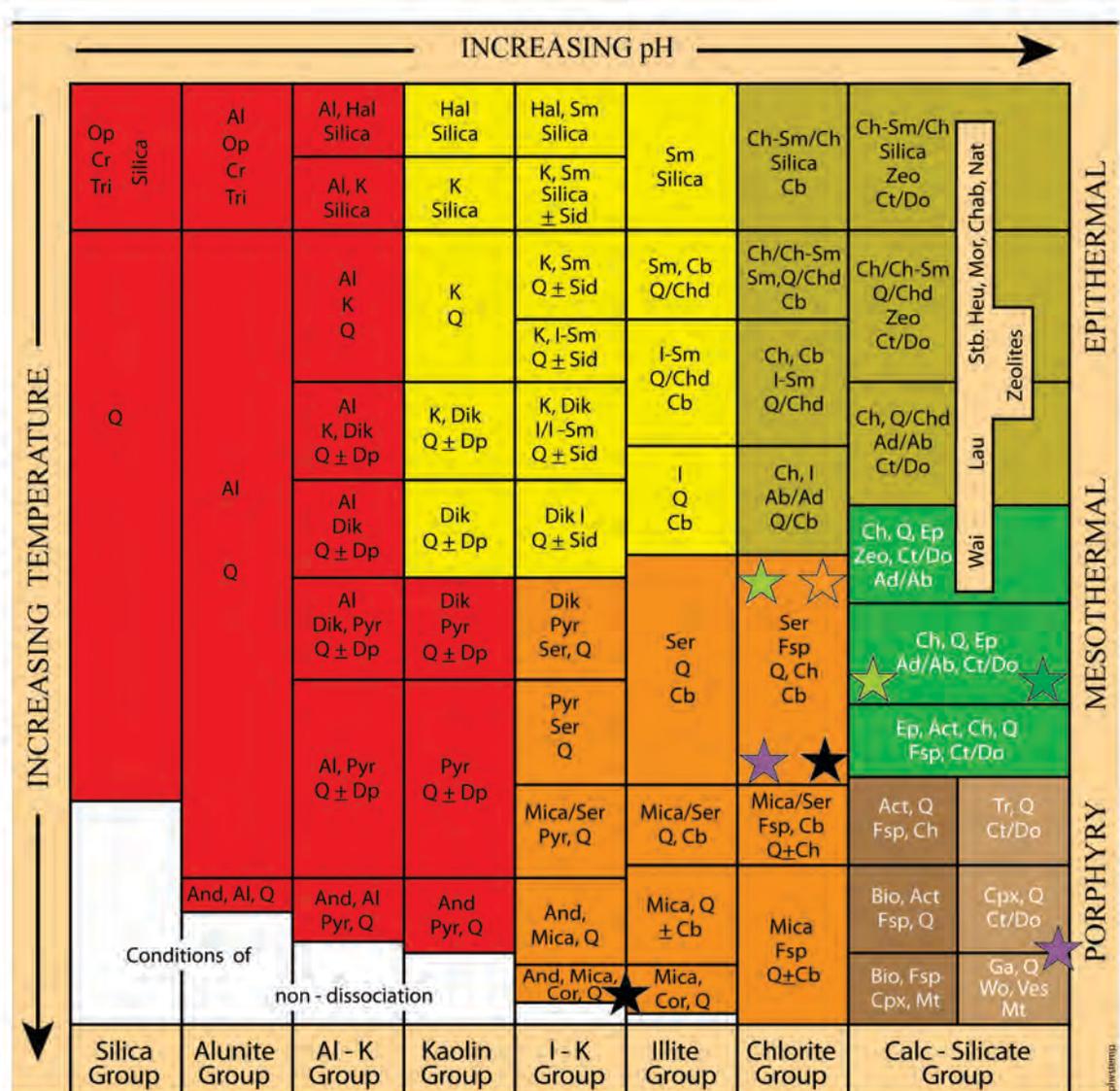
- Clorita + cuarzo + goethita + carbonatos
- Clorita + epidota + cuarzo + carbonatos
- Clorita + corindón + rutilo + goethita
- Clorita + epidota + muscovita + cuarzo
- Clorita + cuarzo + goethita
- Clorita + feldespato potásico + cuarzo + muscovita + arcillas



**Figura 45** Imágenes en falso color de los granos minerales detectados por Qemscan® presentando la asociación mineral de la clorita.

Estas 2 primeras asociaciones minerales estarían relacionadas a la alteración propilítica y las siguientes 4 vinculadas a la alteración fílica según el cuadro de Corbett y Leach (1998) de la **Figura 46**, los ensambles mineralógicos comparables son los siguientes:

- Clorita + cuarzo + epidota + albita/ adularia + calcita / dolomita (Ch + Q + Ep + Ad/Ab + Ct/Do)
- Sericita + feldespato + cuarzo + clorita + carbonato (Ser+Fsp+Q+Ch+Cb)



**Figura 46** Ensamblas de alteración hidrotermal para sistemas mineralizados tipo pórfidos, mesotermales y epitermales tomado de **Corbett y Leach** del 1998, las estrellas indican los ensambles de asociación mineral vinculados con la aparición de los principales minerales indicadores (RIM's).

## 5.6. Mapas de dispersión mineralógica de los RIM's de La Granja

El potencial de los RIM's para la prospección en los sedimentos de quebrada del pórfido de Cu–Mo de La Granja, tales como el apatito, turmalina, epidota y clorita, es analizado en función a su abundancia relativa, tamaño de grano, asociación mineral y su distribución espacial.

La evaluación fue desde la quebrada Ayraca donde predomina la alteración fílica evaluando la dispersión de los RIM's hasta 11.5 km. aguas abajo y desde la quebrada Checos con predominancia de la alteración propilítica con una evaluación de la dispersión de los RIM's hasta los 7.7 km.

La dispersión de la turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita fue detectada en todo el recorrido desde la quebrada Ayraca tal como se puede apreciar en la **Tabla 21** y **Figura 47** de la abundancia relativa en masa de los minerales previamente concentrados.

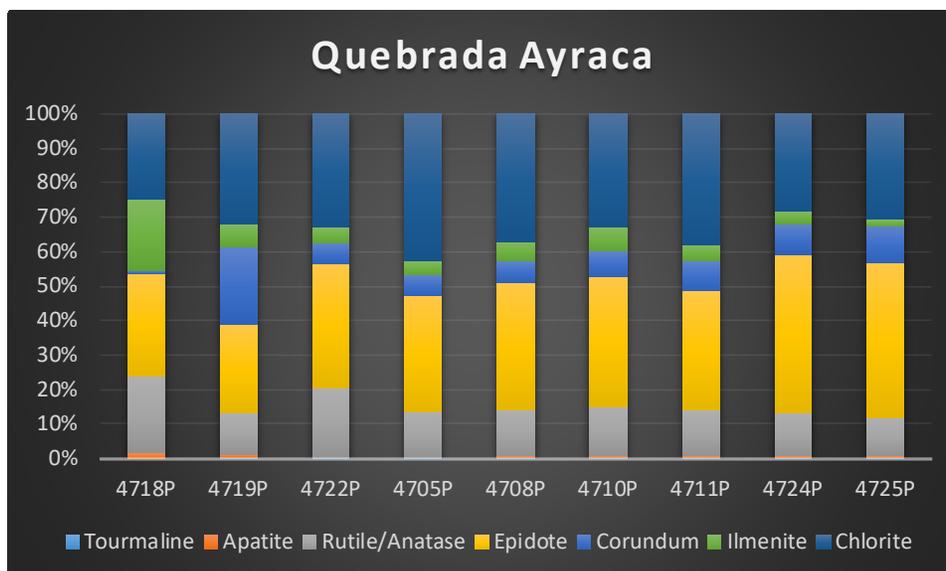
**Tabla 21** Porcentaje de abundancia relativa en porcentaje en peso (%pp) de los RIM's detectados desde la quebrada Ayraca.

Mineral Mass	Name	4718P	4719P	4722P	4705P	4708P	4710P	4711P	4724P	4725P
	Tourmaline	0.02	0.07	0.05	0.07	0.08	0.04	0.08	0.03	0.08
Apatite	0.51	0.22	0.07	0.08	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15	
Rutile/Anatase	6.22	3.47	4.31	3.57	3.76	4.01	3.68	3.30	3.14	
Epidote	8.51	7.34	7.78	9.31	10.34	10.62	9.44	12.14	12.99	
Corundum	0.19	6.29	1.22	1.65	1.90	2.14	2.45	2.30	3.06	
Ilmenite	5.90	1.92	1.00	1.06	1.53	1.83	1.31	1.06	0.50	
Chlorite	7.02	9.05	7.15	11.72	10.46	9.30	10.44	7.46	8.90	

Tanto la turmalina como el apatito se presentan en valores muy por debajo del 1% pp, y aparecen como agregados minerales intercrecidos con cuarzo, moscovita (sericita), clorita y corindón. La cantidad de turmalinas permanece constante a lo largo del recorrido (**Mapa 8**), en las muestras 4718 y 4719 que cortan a la alteración fílica y sectores skarnificados en la quebrada Ayraca presentan los valores más altos en apatitos para luego mantenerse constante (**Mapa 9**).

El rutilo presente se encuentra asociado a los ensambles de alteración fílica presentándose en la muestra 4718 el valor más alto en rutilo con 6.22% para luego continuar un decrecimiento gradual a lo largo de los 11.5 km. analizados (**Mapa 10**).

La epidota y la clorita presentan un incremento de sus contenidos en función de la distancia (**Mapa 11 y 12** respectivamente).



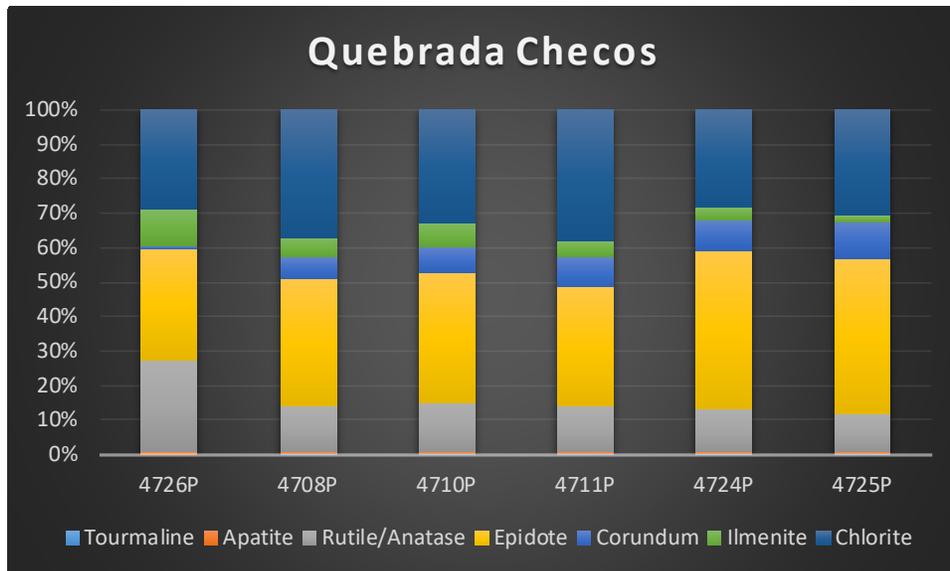
**Figura 47** Variación del porcentaje relativo en peso de los principales RIM's a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Ayraca, la presencia de turmalina no es observable en la figura por su bajo contenido.

En la quebrada Checos, la dispersión de turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita fue detectada en todo su recorrido tal como se puede apreciar en la **Tabla 22** y la **Figura 48** de la abundancia relativa en masa de los concentrados minerales.

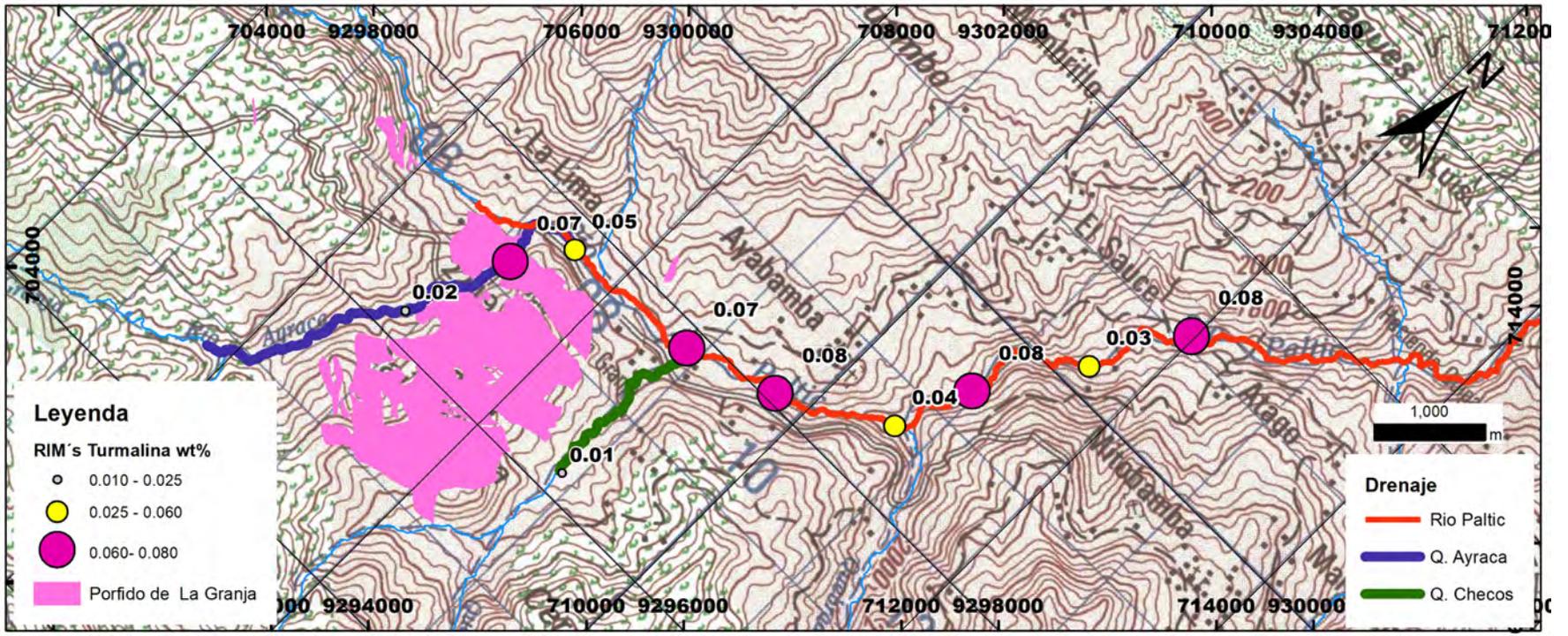
**Tabla 22** Porcentaje de abundancia relativa en %pp. de los RIM's detectados en la quebrada Checos.

	Name	4726P	4708P	4710P	4711P	4724P	4725P
Mineral Mass	Tourmaline	0.01	0.08	0.04	0.08	0.03	0.08
	Apatite	0.13	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15
	Rutile/Anatase	5.66	3.76	4.01	3.68	3.30	3.14
	Epidote	6.79	10.34	10.62	9.44	12.14	12.99
	Corundum	0.16	1.90	2.14	2.45	2.30	3.06
	Ilmenite	2.25	1.53	1.83	1.31	1.06	0.50
	Chlorite	6.10	10.46	9.30	10.44	7.46	8.90

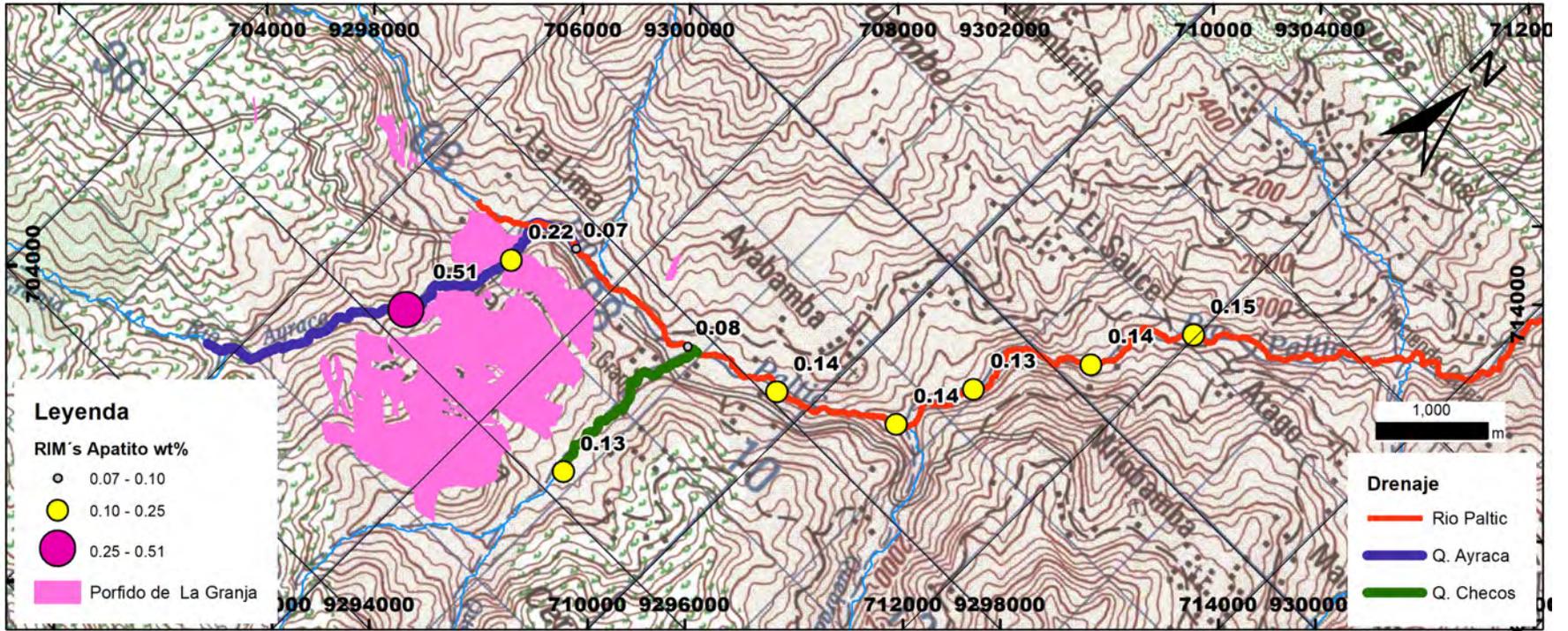
Tanto la turmalina como el apatito se presentan en concentraciones muy por debajo del 1% pp a lo largo de la quebrada Checos, asociada a un pequeño sector alteración fílica que es cortada en este sector (**Mapas 8 y 9**). Los granos que contienen al rutilo también se encuentran asociados a los ensambles de alteración fílica, presentándose en la muestra 4726 el valor más alto en peso en rutilo con 5.66 %, para luego continuar con valores que oscilan entre 4.01 a 3.14% a lo largo de los 7.7 km. analizados (**Mapa 10**). Finalmente, los contenidos de epidota y clorita se incrementan en función de la distancia (**Mapas 11 y 12**).



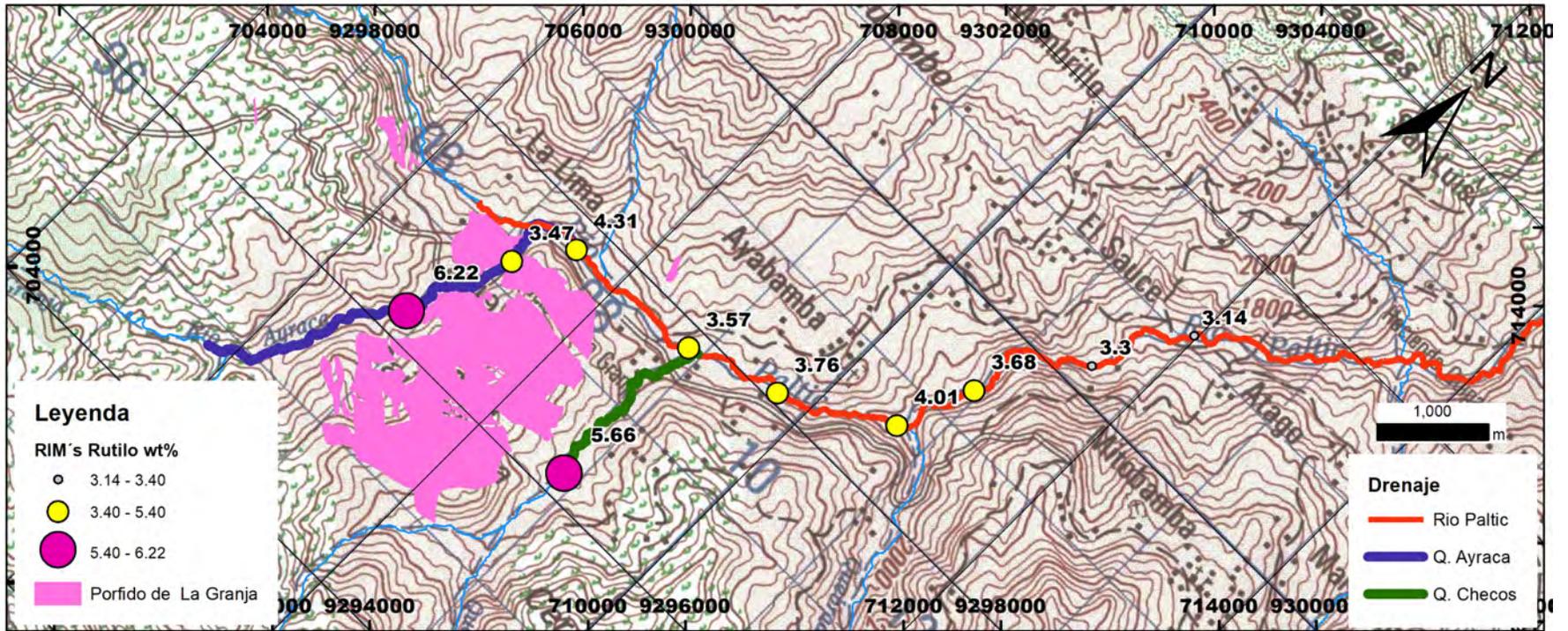
**Figura 48** Variación del porcentaje relativo en peso de los principales RIM's a lo largo del sistema de drenaje de quebrada Checos, la presencia de turmalina no es observable en la figura por su bajo contenido.



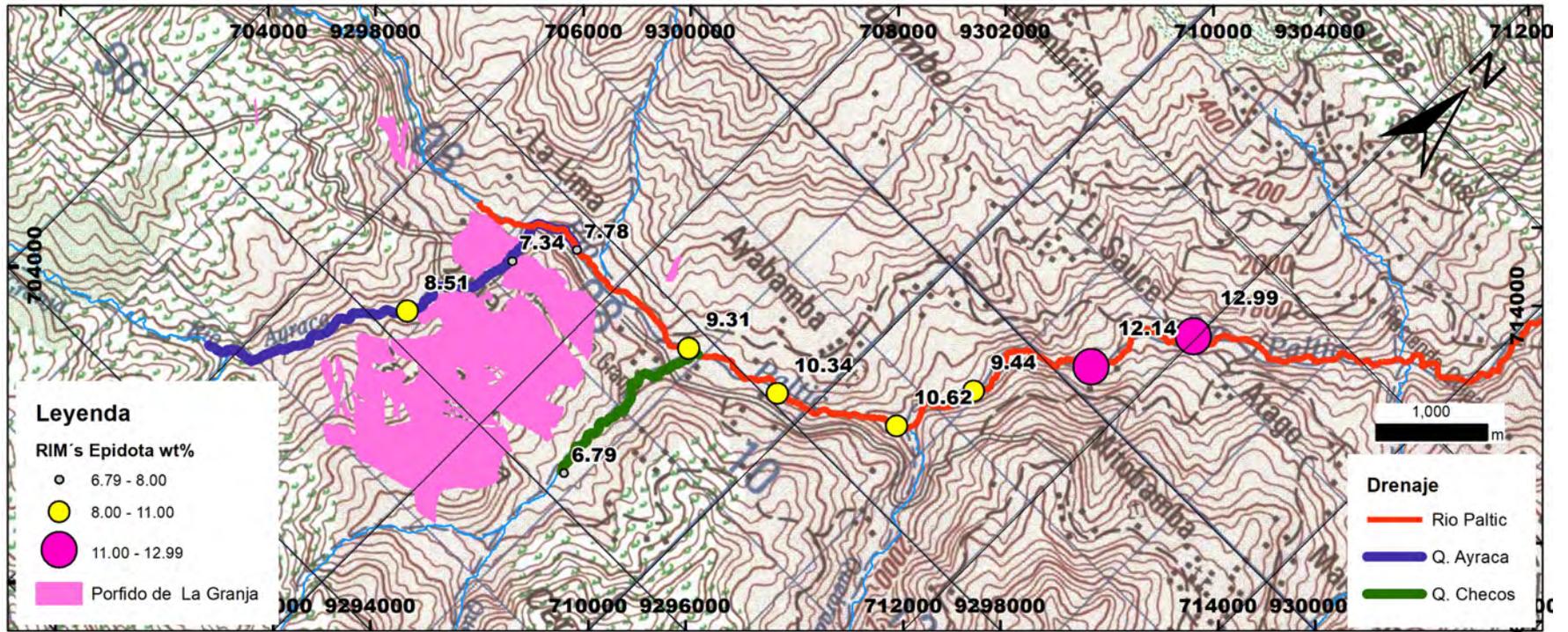
**Mapa 8** Dispersión secundaria de los granos de turmalina del pórfido de Cu- Mo de La Granja.



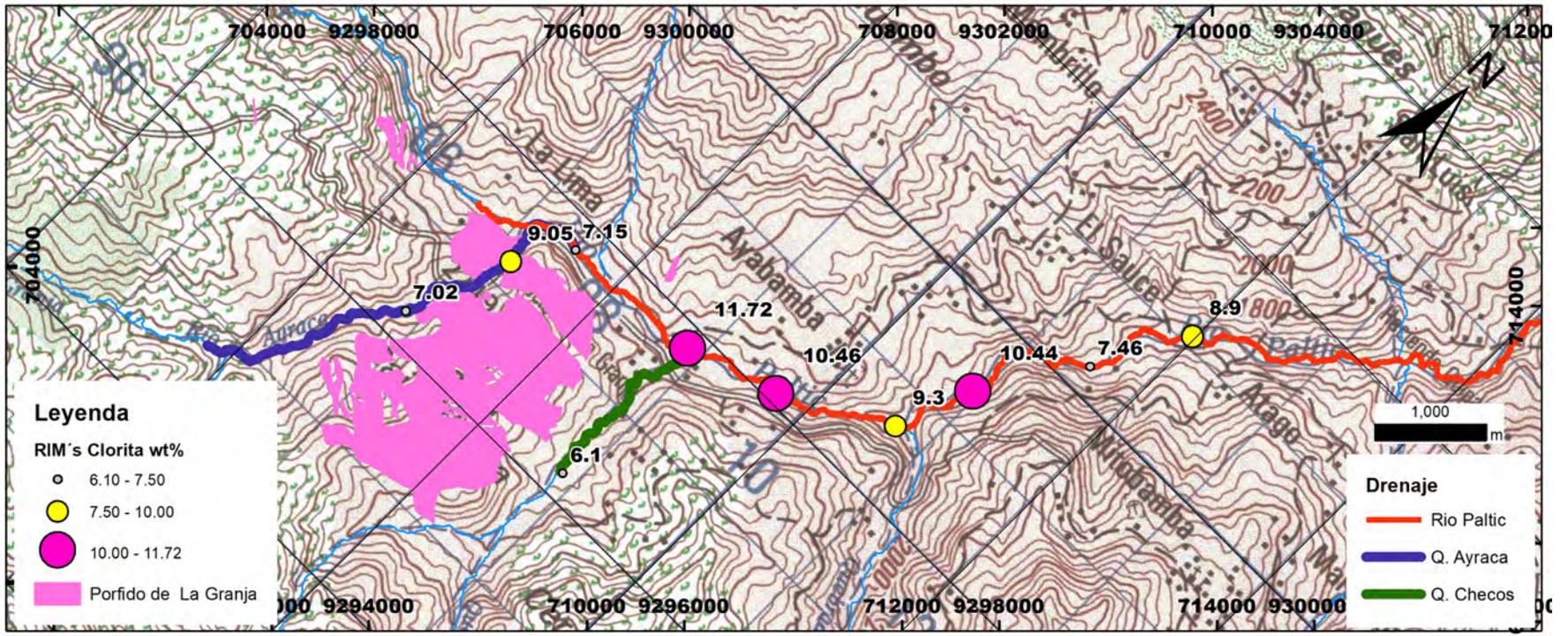
**Mapa 9** Dispersión secundaria de los granos de apatito del pórfido de Cu- Mo de La Granja.



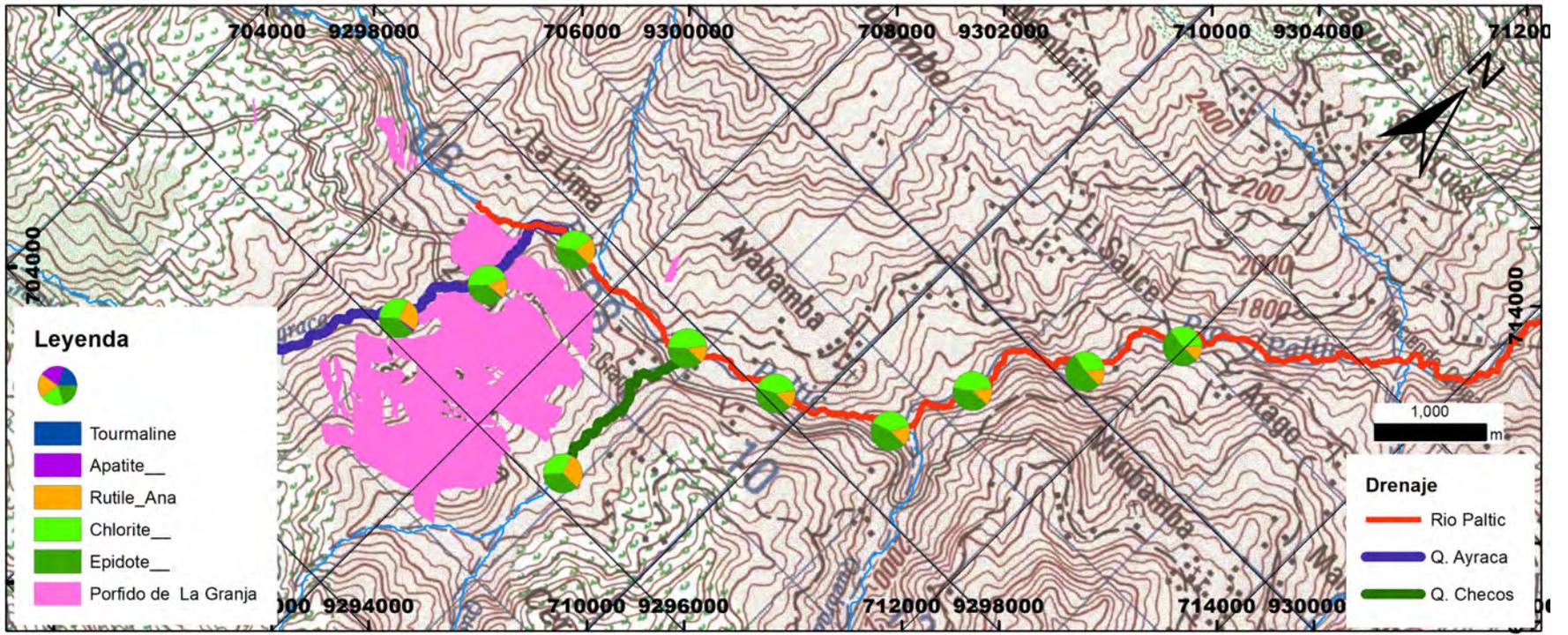
**Mapa 10** Dispersión secundaria de los granos de rutilo del pórfido de Cu- Mo de La Granja.



Mapa 11 Dispersión secundaria de los granos de epidota del pórfido de Cu- Mo de La Granja.



**Mapa 12** Dispersión secundaria de los granos de clorita del pórfido de Cu- Mo de La Granja.

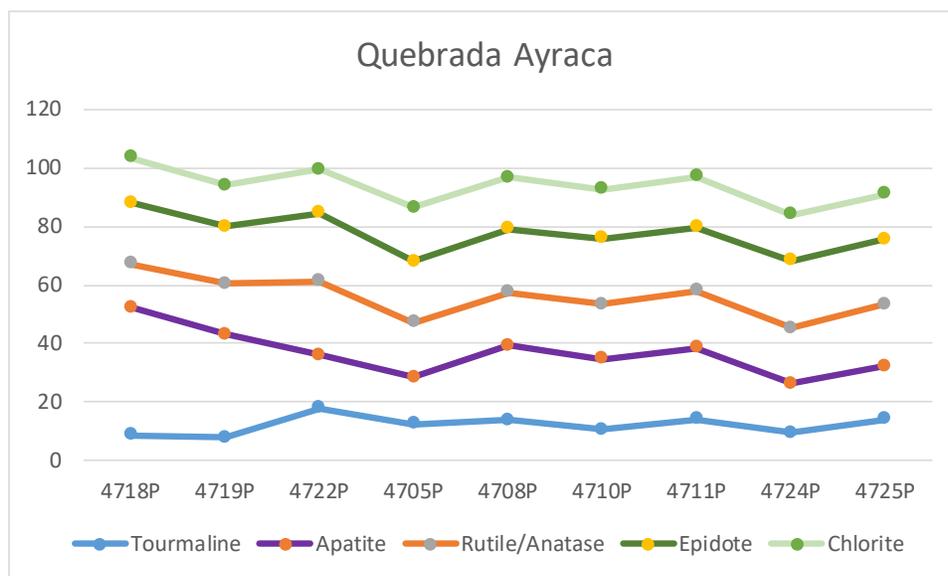


**Mapa 13** Dispersión secundaria de los granos de los posibles RIM's del pórfido de Cu- Mo de La Granja.

El análisis del tamaño de grano promedio de la turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita en la quebrada Ayraca es presentado en la **Tabla 23** y **Figura 49**, en general el tamaño de los RIM's se mantiene constante a lo largo de los 11.5 km. de recorrido analizado ya que estos forman parte de granos poliminerales por lo que no están liberados. Las muestras 4718 y 4719 presentan las turmalinas con menor tamaño y los apatitos más grandes.

**Tabla 23** Tabla de la variación del tamaño promedio (en micras) de los principales RIM's en función a la ubicación espacial de las muestras en la quebrada Ayraca.

Calculated ESD Size	Name	4718P	4719P	4722P	4705P	4708P	4710P	4711P	4724P	4725P
	Tourmaline		8.76	7.87	17.83	12.37	13.76	10.49	14.06	9.36
Apatite		43.4	35.31	18.14	16.18	25.64	24.09	24.34	17.02	18.36
Rutile/Anatase		15.14	17.15	25.19	18.49	18.09	18.86	19.63	18.97	21.15
Epidote		20.76	19.47	23.48	21.09	21.59	22.4	21.61	23.05	22.14
Corundum		36.34	36.53	42.42	36.8	32.99	36.81	34.76	32.93	37.96
Ilmenite		17.4	17.16	17.03	16.24	16.5	17.11	17.38	14.22	12.61
Chlorite		15.56	14.29	14.82	18.22	17.55	16.72	17.41	15.64	15.52

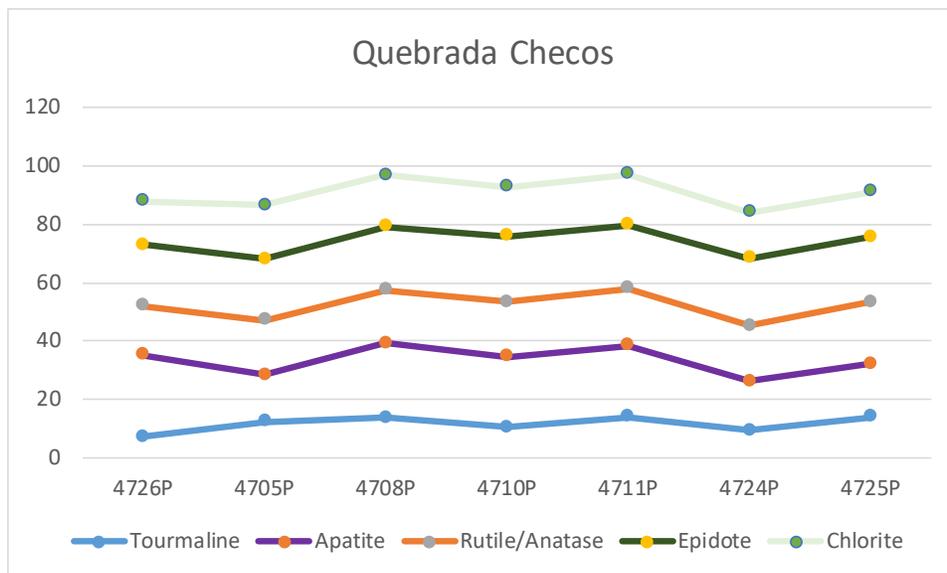


**Figura 49** Variación del tamaño promedio (en micras) de los principales RIM's a lo largo de la quebrada Ayraca.

El análisis del tamaño de grano promedio de los RIM's (turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita) en la quebrada Checos es presentado en la **Tabla 24** y **Figura 50**. En general el tamaño de los RIM's se mantiene constante a lo largo de los 7.7 km. de recorrido analizado ya que los RIM's forman parte de granos poliminerales, es decir no se encuentran liberados. La muestra 4726 presenta las turmalinas con menor tamaño y los apatitos más grandes.

**Tabla 24** Tabla de la variación del tamaño de grano promedio (en micras) de los principales RIM's en función a la ubicación espacial de las muestras en la quebrada Checos.

Calculated ESD Size	Name	4726P	4705P	4708P	4710P	4711P	4724P	4725P
	Tourmaline	7.34	12.37	13.76	10.49	14.06	9.36	13.97
	Apatite	27.91	16.18	25.64	24.09	24.34	17.02	18.36
	Rutile/Anatase	16.77	18.49	18.09	18.86	19.63	18.97	21.15
	Epidote	20.98	21.09	21.59	22.4	21.61	23.05	22.14
	Corundum	28.71	36.8	32.99	36.81	34.76	32.93	37.96
	Ilmenite	11.29	16.24	16.5	17.11	17.38	14.22	12.61
	Chlorite	14.76	18.22	17.55	16.72	17.41	15.64	15.52



**Figura 50** Variación del tamaño promedio (en micras) de los principales RIM's a lo largo de la quebrada Checos.

### 5.7. Discusión e interpretación.

El estudio de los sedimentos de quebrada del pórfido de Cu–Mo de La Granja comenzó con la caracterización granulométrica, mineralógica y química de los sedimentos. Esta etapa denominada “Línea Base” permitió hacer un reconocimiento general, tanto geoquímico como mineralógico.

Los estudios granulométricos permitieron caracterizar los sedimentos de los principales sistemas de drenaje que cortan al pórfido de Cu–Mo de La Granja (Río Paltic, quebrada Ayraca y quebrada Checos) y cómo es su variación en función del ingreso al sistema de drenaje del río Paltic (para los casos de quebrada Ayraca y Checos) y la variación de la granulometría en función a la distancia aguas abajo del Paltic.

En el caso de la quebrada Ayraca se presentan los valores más bajos en arenas y los más altos en limos, mientras que en la quebrada Checos y en el Río Paltic el contenido de arenas permanece en un decrecimiento gradual en función a la distancia recorrida. No se presentan variaciones significativas en el contenido de arcillas en los sistemas de drenaje evaluados, a excepción de las dos primeras muestras del Río Paltic en donde se observan los valores más bajos en arcillas, debido al predominio de cuarcitas del grupo Goyllarisquizga, en la cabecera de la cuenca.

El análisis por difracción de rayos X permitió hacer un reconocimiento general de las fases mineralógicas presentes en las muestras de los sedimentos en donde se pudo corroborar que la fase mineralógica más abundante es el cuarzo. La presencia de posibles RIM's (turmalina, apatito, rutilo, epidota, clorita) no pudo ser evaluada correctamente, debido a la abundancia de cuarzo.

El análisis químico por elementos mayores mediante fluorescencia de rayos X sirvió como un complemento para los estudios de DRX. Pudieron detectarse algunos valores atípicos (*outlier's*) para  $TiO_2$  y  $P_2O_5$  relacionados a la alteración fílica y skarn en la quebrada Ayraca, y valores atípicos también para el  $Fe_2O_3$  en las quebradas Ayraca y Checos. Además, se observó que aguas abajo existe un decrecimiento general del contenido de  $SiO_2$  en el Río Paltic. Dado que el cuarzo es un mineral resistente, tanto física como químicamente. Esta tendencia de disminución de la  $SiO_2$  aguas abajo solo puede deberse a la combinación de 2 factores, por un lado, una zona de aporte rica en cuarzo ubicada en la parte alta de la cuenca (ej.: cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga), y por otro, a una dilución progresiva causada por el ingreso al río Paltic de sedimentos con menos cuarzo provenientes de las quebradas tributarias aguas abajo (ej.: Ayraca, Checos, Honda etc.)

La concentración gravimétrica fue realizada con los protocolos vigentes en el Instituto GEA con una cantidad mínima de 160 ml de líquido denso, la cual limitaba la masa del mineral de cabeza

a concentrar. Al tener estas limitaciones se procedió con una segunda etapa de cuarteo para lograr la reducción de masa de las muestras que fuese lo más representativa posible. La concentración gravimétrica mediante el uso de politungstato de sodio fue sugerido debido a que la mayoría de los posibles RIM's poseen un peso específico de moderado a fuerte y permitiría la separación con la fase mineralogía del cuarzo la cual posee un peso específico de 2.62 gr/cm<sup>3</sup>, por lo que el medio denso fue calibrado para un peso específico de 2.81 gr/cm<sup>3</sup>, esto permitió la concentración de los minerales pesados para su posterior análisis mediante Qemscan®.

Los análisis de Qemscan® permitieron detectar turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita a lo largo de los primeros 11.5 kilómetros analizados aguas debajo de la quebrada Ayraca y en los 7.7 kilómetros aguas debajo de la quebrada Checos. Estas quebradas cortan al cuerpo mineralizado en los sectores de alteración fílica y propilítica respectivamente. El estudio por Qemscan® permitió realizar un análisis tanto de masa, tamaño, grado de liberación y asociaciones minerales.

Los resultados de la abundancia relativa en masa indican que la presencia de turmalina y apatito están en el rango de "trazas" y con los granos minerales comúnmente intercrecidos con asociaciones minerales relacionadas a alteración fílica (turmalina y apatito) y alteraciones tipo skarn (solo apatito). En el caso del rutilo, epidota y clorita su abundancia relativa corresponde a "fases minoritarias" y con granos minerales tanto intercrecidos como monominerales, relacionados a alteraciones del tipo fílica (rutilo y clorita) y alteración propilítica (epidota y clorita).

Sobre la base de las asociaciones minerales observadas en los granos de sedimentos se estableció que el apatito puede provenir de la alteración fílica del sistema porfirítico de La Granja, además de estar relacionado con alteraciones del tipo skarn. Será necesario realizar una caracterización microquímica de ambos apatitos para la utilización de este mineral como un RIM para el *brownfield* de La Granja. En el caso de la turmalina las asociaciones minerales permiten vincularla con la alteración fílica del sistema de mineralización porfirítico. Este mineral puede ser una buena guía de la mineralización en el *brownfield* de La Granja si la microquímica mineral de la turmalina de los sedimentos resulta ser comparable a la determinada por Rabbia et al. (2012) en los testigos de perforación diamantina provenientes del depósito de La Granja. El rutilo posee características que permitirían utilizarlo como RIM con mayor eficacia que la turmalina y el apatito, ya que posee un mayor tamaño de grano mineral y una mayor abundancia relativa (~3 al 7 % pp.) además se encuentra en una asociación mineral vinculada a la alteración fílica del sistema mineralizado de La Granja. Sin embargo, es necesario realizar un estudio de detalle de la microquímica mineral de los rutilos concentrados a partir de los

sedimentos de quebrada del *brownfield* de La Granja y compararlos con el análisis de aquellos asociados al sistema de alteración fílica en testigos de perforación diamantina y en muestras de superficie del pórfido, logrando con este trabajo obtener la firma geoquímica de rutilo para el *brownfield* de pórfido de Cu-Mo.

A pesar del análisis de las asociaciones minerales por medio de las tablas, gráficas e imágenes en falso color generadas por Qemscan®, la procedencia de los RIM's clorita y epidota, asociadas a alteración propilítica, no pueden relacionarse exclusivamente con el cuerpo porfirítico mineralizado, ya que, en el área de estudio, la presencia de rocas volcánicas también presentaba estos minerales cuya procedencia puede ser por alteración hidrotermal o por metamorfismo de bajo grado.

Los minerales ilmenita y corindón son especies minerales que no fueron consideradas como potenciales RIM's en la etapa del fundamento teórico debido a la poca información bibliográfica relativa a su potencial uso como minerales indicadores en sistemas mineralizados del tipo pórfido de cobre. Sin embargo, debido a sus abundancias relativas y en el caso del corindón su tamaño de grano debe ser considerados para futuros trabajos sobre su potencial uso como RIM's especialmente vinculados a cuerpos que solo exponen su alteración fílica (temprana) de alta temperatura, tal cual es el caso del pórfido de La Granja. La ilmenita por su parte, quizás represente una fase mineral magmática (relictas) proveniente de los intrusivos dioríticos pre-mineralización presentes como parte de la caja del depósito de La Granja.

## 6. Conclusiones y recomendaciones.

- La caracterización mineraloquímica de los sedimentos de quebrada del *brownfield* del pórfido de Cu-Mo de La Granja permitió identificar turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita como posibles RIM's.
- El estudio de los sedimentos de quebrada incluyó una caracterización granulométrica, mineralógica y química ("Línea Base") lo que permitió reconocer al cuarzo como la fase mineral predominante. La concentración gravimétrica de los RIM's permitió cuantificar tanto las abundancias en peso, así como del tamaño de cada uno de los minerales indicadores de interés.
- El patrón de dispersión de los RIM's en las quebradas Ayraca y Checos, muestran la presencia de turmalina, apatito, rutilo, epidota y clorita a lo largo de los 11.5 km. de la quebrada Ayraca, donde predomina la alteración fílica, y en los 7.7 km. desde la quebrada Checos, donde predomina la alteración propilítica. El estudio determinó que la mayoría de los RIM's presente en los sedimentos se encuentran en forma de agregados intercrecidos con otras especies minerales relacionadas a un determinado estilo de alteración hidrotermal (fílico, propilítica o skarn), y que el tamaño de cada RIM's no variaba en función a la distancia recorrida por el grano.
- En este primer estudio la interpretación de los datos composicionales de los RIM's turmalina y rutilo encontrados en los granos de los sedimentos deberá ser caracterizado mediante Microsonda Electrónica para luego ser comparados con el estudio en roca reportado por Rabbia et al. (2012), esta comparación permitirá definir si las turmalinas y rutilos en los sedimentos de quebrada tienen la firma geoquímica encontrada en el pórfido La Granja.
- La aplicación de los minerales indicadores resistentes como herramienta de exploración en el *brownfield* del pórfido de Cu – Mo de La Granja fue evaluado mediante un estudio de orientación en el sistema de drenaje del Río Paltic y sus afluentes, la quebrada Ayraca y Checos principalmente, en donde los resultados fueron óptimos y permitieron determinar que los RIM's pueden ser detectados al menos hasta los 11.5 km. desde el sitio de la alteración fílica y hasta los 7.7 km. en el caso de la alteración propilítica. Este es el primer trabajo en su tipo en el ambiente andino aplicado a la prospección de sistemas de pórfidos de cobre.
- El costo para realizar una campaña mineraloquímica de exploración *brownfield* o *greenfield* utilizando RIM's en el ambiente andino puede ser relativamente mayor que el de las técnicas convencionales de *stream sediment* o Bleg debido a la utilización de

técnicas instrumentales como Qemscan® y Microsonda Electrónica; sin embargo, las limitaciones ya documentadas de las técnicas convencionales de prospección pueden superarse mediante el uso de los RIM's, ya que éstos últimos consideran "minerales guía de exploración" tanto a las fases vinculada a la mineralización como a la alteración hidrotermal. Esto representa una ventaja, en comparación al uso de *stream sediment* y Bleg, basados solo en el uso de "elementos guía" o "elementos metálicos objetivos", los cuales son susceptibles a las condiciones de Ph, Eh y morfología de la cuenca hídrica que condicionan su precipitación y por ende pueden ocultar la presencia de posibles cuerpos minerales de interés económico. En cambio, el potencial de los RIM's está condicionado solo a la influencia de la disgregación mecánica de los granos de los sedimentos, y tal como se demuestra en el presente trabajo, la detección de los RIM's alcanza distancias de hasta 11.5 y 7.7 km. aguas abajo del cuerpo mineralizado. El potencial final de dispersión puede ser aún mayor, ya que queda pendiente el análisis por Qemscan® de las muestras de los sedimentos más distales, que cubrirán los 16 km. restantes aguas abajo, y que completarán los 24 km. muestreados del sistema de drenaje del Río Paltic.

## Bibliografía:

- Adams, A. E., MacKenzie, W. S., & Guilford, C. (1997). Atlas de Rocas Sedimentarias (MASON S.A.).
- Averill, S. A. (2001). The application of heavy indicator mineralogy in mineral exploration with emphasis on base metal indicators in glaciated metamorphic and plutonic terrains. *Geological Society, London, Special Publications*, 185, 69–81. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2001.185.01.04>
- Baldock., J. W. (1972). Proyecto para la Exploración Geoquímica del Norte del Perú. (Reporte preliminar final). Lima - Perú.
- Belousova, E. A., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., y Fisher, N. I. (2002). Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: Trace-element compositions and their relationship to host rock type. *Journal of Geochemical Exploration*, 76(1), 45–69. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(02\)00204-2](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(02)00204-2).
- Bouzari, F., Hart, C. J. R., y Bissig, T. (2015). Mineralogical Characteristics of Porphyry - Fertile Plutons: Guichon Creek, Takomkane and Granite Mountain Batholiths, South- Central British Columbia. *Geoscience BC Summary of Activities 2014 - 2015*, 1, 63–68.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., y Cueva, E. (2009). Geotectonic Domains as Tool for Metalogenetic Mapping in Perú. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 103, 1–89.
- Chacón, N., & Zedano, J. C. (1981). Reporte Geológico de la Perforación Diamantina del Yacimiento “La Granja.” Lima - Perú.
- Cooke, D. R., Baker, M., Hollings, P., Sweet, G., Zhaoshan, C., Danyushevsky, L., Inglis, S. (2014). New Advances in Detecting the Distal Geochemical Footprints of Porphyry Systems- Epidote Mineral Chemistry as a Tool for Vectoring and Fertility Assessments. *SEG Special Publication 18*, 127–152.
- Dilles, J. H., y Einaudi, M. T. (1992). Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada - a 6-km vertical reconstruction. *Economic Geology*, 87(8), 1963–2001. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.8.1963>
- Flores Ñañez, G. (1982). Exploración y Geología del Yacimiento La Granja. In XVI Convención de Ingenieros de Minas (p. 39). Lima - Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- FRITSCH NanoTec. (2016). FRITSCH: ANALISIS DEL TAMANO DE PARTICULA. Germany: Fritsch GmbH.

- Gent, M., Menéndez, M., Toraño, J., y Torno, S. (2011). A review of indicator minerals and sample processing methods for geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 110(2), 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.05.005>
- Griffin, W. L., y Ryan, C. G. (1995). Trace elements in indicator minerals: area selection and target evaluation in diamond exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 53(1–3), 311–337. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00015-4](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00015-4)
- Gottlieb, P., Wilkie, G., Sutherland, D., Ho-Tun, E., Suthers, S., Jenkins, B., & Rayner, J. (2000). Using Quantitative Electron Microscopy for Process Mineralogy Applications. *Journal of Mineralogy*, 24-25.
- Hein, U. F., & Tistl, M. (1987). Characteristics of fluid inclusions in the porphyry copper deposit at La Granja, Peru. *Chemical Geology*, 61(1–4), 183–192. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90038-6)
- King, R. W., Rabbia, O. M., y French, D. H. (1999). Tourmaline from Andean Porphyry Copper Deposits ; Its significance in the exploration of Andean mineralization. Concepción - Chile.
- Kross, G., & Schppers, H. J. (1982). Estudio de Prefactibilidad del Yacimiento de Cobre “La Granja.” Lima - Perú: Instituto Geologico Minero y Metalurgico.
- McClenaghan, M. B. (2005). Indicator mineral methods in mineral exploration. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 5(AAG/ Geological Society of London), 233–245.
- McClenaghan, M. B., Plouffe, A., Paulen, R. C., Houlé, M., Jackson, S. E., y Peter, J. M. (2016). Overview of Indicator Mineral Research at the Geological Survey of Canada - An Update Overview of Indicator Mineral Research at the Geological Survey of Canada - An Update. *Explore*, 170(November), 15 pages.
- Du Plessis, J. (2016). Río Tinto 2016 Annual report. Retrieved from [http://www.riotinto.com/documents/RT\\_2016\\_Annual\\_report.pdf](http://www.riotinto.com/documents/RT_2016_Annual_report.pdf)
- Petrick Casagrande, S., & Castillo Blanco, R. (2004). Método de Rietveld para el estudio de estructuras cristalinas. *Laboratorio de Dotación, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería.*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.1080/01436597.2016.1152884>
- Pirrie, D., Butcher, A., Power, M., Gottlieb, P., & Miller, G. (2004). Rapid quantitative mineral and phase analysis using automated scanning electron microscopy (Qemscan®); potential applications in forensic geoscience. *Geological Society, Special Publications*, 123-136.
- Rabbia, O. M., y Hernández, L. B. (2012). Mineral Chemistry and Potential Applications of Natural Multi-Doped Hydrothermal Rutile from Porphyry Copper Deposits. *Rutile: Properties, Synthesis and Applications*, 209–228.

- Rabbia, O.M., Hernández, L.B, Ulrich, T and London, D. (2012) Apatite, Tourmaline and Rutile (ATR) Mineral Chemistry Applied to the Characterization and Exploration of Andean Type Cu-Au Ore Deposits. Final report, AMIRA Project P-972.
- RIGAKU. (2014). ZSX Primus Series Fluorescencia de rayos X por longitud de onda dispersiva.
- Río Blanco Cooper. (03 de Noviembre de 2017). Río Blanco Cooper. Informe técnico, <http://rioblanco.com.pe/recursos-estimados/>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2018). Descarga de datos hidrometeorológicos. <http://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Schwartz, M. O. (1981). The Geochemistry of the Leached Capping of the La Granja Porphyry Copper Deposit, Perú. *Journal of Geochemical Exploration*, 15, 93–113.
- Schwartz, M. O. (1982). The Porphyry Copper Deposit at La Granja, Peru. *Economic Geology*, 77(2), 482–488.
- SGS Minerals Services. (2013). Qemscan®® Operational Modes. SGS Group Management SA.
- Thomas, D. G., Melnyk, J., Lipiec, T., y Kozak, A. (2011). Cañariaco Project, Lambayeque Department, Peru, NI 43-101 Technical Report on Pre-feasibility Study Progress Report. Vancouver - Canada.
- Wilkinson, J. J., Chang, Z., Cooke, D. R., Baker, M. J., Wilkinson, C. C., Inglis, S., Gemmell, J. B. (2015). The chlorite proximator : A new tool for detecting porphyry ore deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 152, 10–26. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.01.005>
- Wilson, J. (1984). Boletín N-38 Serie A: Carta Geológica Nacional. Geología de los cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d) y Chepén (15-e). Lima - Perú.

## **7. ANEXOS**

### **7.1. RECOMPILACION DE LA INFORMACION**

## **Recopilación de información.**

En esta primera etapa se realizó una recopilación bibliográfica del estado del conocimiento sobre los minerales indicadores resistentes (RIM's), la formulación del problema, la hipótesis de trabajo y, además, un primer bosquejo sobre la metodología de trabajo. En la presente etapa se incluye:

- Recopilación bibliográfica.
- Recopilación cartográfica.
  - Mapas topográficos.
  - Mapas geológicos.
- Evaluación de la factibilidad de la ejecución del proyecto.
- Carta Gantt de ejecución del proyecto de investigación.

## **Toma de muestras de los sedimentos de quebrada del pórfido La Granja.**

Esta etapa del trabajo se realizó en dos sub-etapas; en la primera parte, realizada entre el 28 de diciembre del 2017 al 02 de enero del 2018, se solicitaron los permisos en la comunidad campesina de La Granja, donde se logró la autorización para el estudio de los sedimentos de quebrada de los ríos Paltic, Chongoyapito, Ingueryacuy y en las quebradas Ayraca, Checos. En la segunda sub-etapa, efectuada entre el 07 al 16 de febrero del 2018, se realizó una campaña de muestreo sistemático de sedimentos hasta los 27.8 kilómetros de distancia del pórfido de cobre y molibdeno de La Granja, durante la cual se obtuvieron 28 muestras.

En la toma de muestras se utilizaron los siguientes materiales

- Bolsas micro porosas Hubco Sentry.
- Lampas pegables U-Dig-It.
- Malla ASTM #30.
- Baldes transparentes de 6 litros.
- Bolsas de muestreo de polietileno.
- Balanza portátil.
- Floculante.
- Marcadores indelebles, tarjetas de muestreo.
- Brújula, picota, lápiz rayador, lupas 10X y 20X.

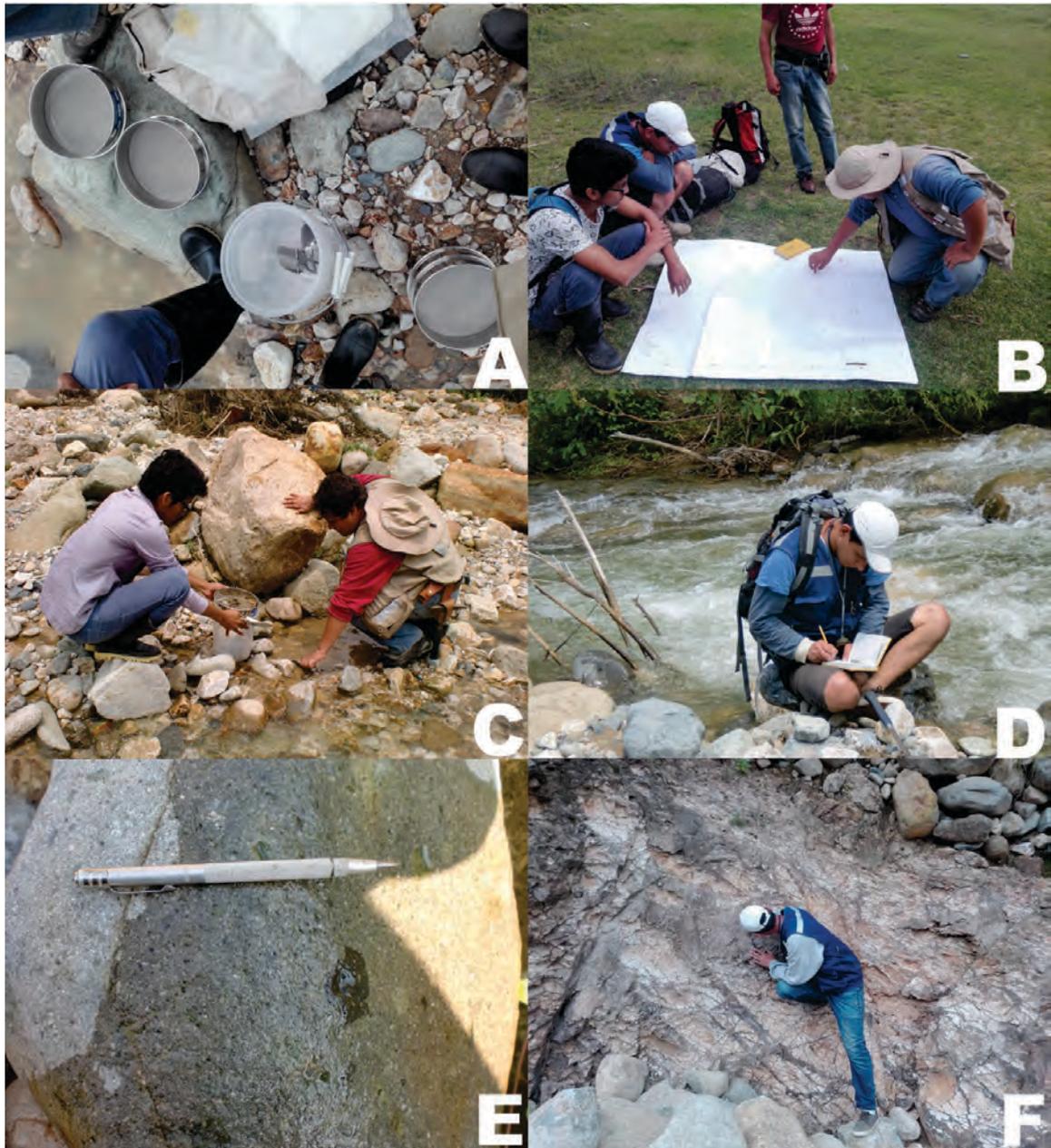
La distribución de las muestras fue planeada con el objetivo de adquirir la mayor información posible con una cantidad mínima de muestras, los sedimentos cercanos al pórfido de La Granja fueron tomados distanciados cada 500 metros, a partir de la muestra 4706 y aguas abajo del río Paltic las muestras fueron tomadas distanciadas a un 1 kilómetro. A partir de la muestra 4714, el muestreo se realizó cada 4 kilómetros, obteniéndose como última muestra la 4732 cubriéndose una distancia total máxima de 27.8 kilómetros.

El establecimiento de un protocolo de muestreo tenía como finalidad realizar una toma de muestra de forma sistemática, representativa y objetiva de los sedimentos de quebrada para obtener los RIM's del pórfido de la Granja.

El protocolo de muestreo usado fue:

- Registro de observaciones de campo
  - Identificación del punto de muestreo en el mapa de diseño.
  - Ubicación de las muestras utilizando las coordenadas indicadas por el equipo de posicionamiento (GPS).
  - Anotación del código de muestra, las coordenadas UTM y geográficas, así como los datos relativos a la ubicación referencial.
  - Información referida a la naturaleza, porcentaje, geometría, alteración y mineralización del material clástico presente en el cauce fluvial, además de definir la unidad de aporte del sedimento predominante.
  - Registro fotográfico de la estación de muestreo siempre con vista aguas arriba.
- Toma de Muestra
  - Recolección de la muestra compuesta en el lugar predeterminado, considerando al menos tres puntos de submuestras (en un tramo de 50 metros preferencialmente) seleccionadas preferentemente en la parte central del cauce, donde no se evidencie contaminación de una u otra margen por parte del material aluvial, coluvial o eólico.
  - En cada lugar de muestreo, separar la capa superior de sedimento (30mm) utilizando pala portátil, puesto que esta cobertura puede contener altas concentraciones de óxidos de Fe y Mn, así como contaminaciones superficiales.
  - El operador deberá usar lampas portátiles U-Dit-Ig durante el proceso de muestreo para proteger sus manos y prevenir cualquier tipo de contaminación (el operador no deberá tener contacto con el material muestreado). Además, no deberá portar objeto alguno que pueda contaminar el sedimento (anillos).

- Lavar los materiales a utilizar empleando el agua de la escorrentía y del material del lugar de muestreo. Para el caso de quebradas secas solo limpiar el material con arena del mismo lugar. Esto implica realizar un tamizado previo donde se descartará tanto el material –pasante de la malla #30 así como el material que quede retenido en su etapa inicial (primera submuestra).
- Colocar agua de la escorrentía en una de las bateas hasta que alcance el nivel de sus  $\frac{3}{4}$  partes. Recoger el sedimento con las lampas y echarlo sobre el tamiz N.º 30. Para el caso de quebradas secas, el tamizado se hace en seco.
- Tamizar el sedimento hasta obtener 7 a 8 kg de muestra húmeda o de 5 a 6 kg de muestra seca. En muestras húmedas con el agua recolectada de la escorrentía, se procederá el proceso de tamizado maximizando la extracción del material pasante de la malla #30. La batea que contendrá los sedimentos solo deberá llenarse hasta sus  $\frac{3}{4}$  partes, para así evitar el rebalse del agua y así no tener la pérdida del material fino en suspensión.
- Para acelerar el proceso de decantación de sedimentos, aplicar solución floculante (20ml). Dejar reposar al menos 10 minutos, luego de los cuales se deshecha el agua remanente.
- Colocar el código de la muestra en la bolsa correspondiente, utilizando para ello plumón indeleble.
- Introducir el sedimento en la bolsa adecuada (si es húmedo, utilizar bolsa Hubco Sentry y si fuera seco, utilizar bolsa de polietileno). En el caso de la muestra húmeda, colocarla además en una bolsa de polietileno.
- Lavar los materiales a utilizar empleando el agua de la escorrentía y/o del material del lugar de muestreo, de esta manera se reduce la probabilidad de contaminación de la siguiente muestra a tomar.
- Sellar la bolsa.
- Durante su traslado al campamento base, envolver las muestras en una bolsa de polietileno.
- Una vez en el campamento base, colocar las muestras en una batea y dejarlas expuestas al sol hasta su secado parcial, luego acondicionar las muestras en costales dentro de un lugar seguro y libre de contaminación.



**Figura 51** Proceso de toma de muestra I: A) Materiales usados para el proceso de toma de muestras en los sedimentos de quebrada. B) Planificación diaria sobre los puntos a muestrear a tomar durante la jornada de trabajo. C) Limpieza de los materiales a usar según lo descrito en el protocolo de muestreo. D) Toma de datos de campo, se procede con las mediciones de las pendientes, sobre el estado de la muestra (seca o húmeda) y una cuantificación visual del porcentaje en volumen de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas. E) Descripción macroscópica de los bloques y gravas encontrados en el lugar de muestreo. F) Descripción macroscópica de los afloramientos expuestos a lo largo del sistema de drenaje del río Paltic.



**Figura 52** Proceso de toma de muestra II. A) Luego del tamizado de la muestra en malla # 30 se procede a decantar la muestra con floculante basado en sulfato de aluminio. B) proceso de decantación de los materiales finos de la muestra de los sedimentos por medio del floculante. El tiempo estimado de decantación es de unos 5 a 10 minutos. C) Extracción de agua y posterior pesado de la muestra en húmedo. D) Extracción de los sedimentos de quebrada siguiendo el protocolo de muestreo establecido. F) Sellado y etiquetado de la bolsa microporosa de muestreo, la cual es envuelta nuevamente con una bolsa de polietileno para su traslado a campamento base. G) Limpieza de los materiales usados según protocolo establecido y toma de los últimos datos de campo.

## **Secado, homogenización y pulverizado de la muestra.**

Las muestras fueron transportadas a la empresa LABQUIMICA (Laboratorio y Consultoría Química Perú S.A.C) en Lima, donde fueron secadas a una temperatura de 150°C y homogenizadas en un cuarteador Rifle de 12 ranuras.

Luego del secado y homogenizado se procedió a enviar un aproximado de 350 gramos de cada una de las muestras al Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción para la siguiente etapa del proceso analítico.

Para el análisis granulométrico se procedió con el cuarteo de las 28 muestras hasta obtener un peso aproximado de 30 gramos mediante cuarteador Rifle de 12 ranuras.

Para los análisis de difracción de rayos X (DRX) y fluorescencia de rayos X (XRF) se realizó el pulverizado de aproximadamente de 30 gramos de cada una de las 28 muestras en un pulverizador planetario de 15 bolas (Pulverisette 6 – marca FRITSCH) a unas 450 revoluciones durante 5 minutos obteniéndose como resultado una granulometría pasante en la malla #200 al 95 %.

Para la concentración gravimétrica por medio de politungstato de sodio se utilizaron 30 gramos de cada una de las muestras, las cuales volvieron a ser tamizadas entre las mallas #18 y # 60 ya que en los protocolos de concentración gravimétrica del Instituto GEA se establece que el uso del medio denso será en el pasante de la malla #18 y lo retenido en la malla # 60, luego, los minerales concentrados fueron pesados y analizados mediante Qemscan®.

## **Línea Base de los sedimentos de quebrada del pórfido de Cu – Mo de La Granja.**

### **Caracterización granulométrica**

Realizado mediante el análisis granulométrico laser con el equipo FRITSCH ANALYSETTE 22 Micro Tec Plus / MaSControl en un aproximado de 1 gramo de cada una de las muestras. El método de cálculo fue mediante la teoría de difracción de Fraunhofer con una oscuridad del haz de luz en el rango de 15 a 25%.

La medición de partículas por difracción láser es por medio de un rayo láser que se dirige hacia ella. La desviación parcial del haz láser crea una distribución de intensidad característica con forma de anillo detrás de la muestra que puede medirse con un detector especial. El tamaño de partícula se calcula basándose en la separación de estos anillos: las partículas de mayor tamaño producen anillos más unidos, mientras que las partículas más pequeñas producen anillos más separados entre sí. El resultado real de una medición del tamaño de partícula sólo

se crea a través del análisis con el software FRITSCH. Dependiendo de los requisitos y propiedades de las partículas, se utiliza una de las dos teorías más comunes: La teoría Fraunhofer para partículas grandes cuyos parámetros ópticos exactos no se conocen, y la teoría de Mie para partículas más pequeñas con parámetros ópticos conocidos (FRITSCH NanoTec, 2016).

### **Caracterización de los elementos mayores mediante Fluorescencia de Rayos X de los sedimentos de La Granja.**

El análisis químico semicuantitativo por Fluorescencia de Rayos X fue realizado con 1 gramo del material pulverizado, el cual fue compactado en una briquetadora de prensa a 20 TN t/F.

El equipo utilizado fue un ZSX PRIMUS II de RIGAKU con un límite de detección de 0.02%. La entrega de información es en forma de óxidos. El equipo posee los cristales GE, LIF220, RX75, RX25, PET y LIF1.

En la fluorescencia de rayos X, un electrón puede ser expulsado de su orbital atómico por la absorción de los rayos X (fotones) de un tubo de rayos X. Cuando un electrón orbital interior es expulsado, un electrón de energía más alta se transfiere para cubrir la vacante. Durante esta transición, un fotón característico puede ser emitido el cual posee una energía característica para cada elemento. El número de fotones característicos por unidad de tiempo (conteo por segundo o cps) es proporcional a la cantidad de ese elemento en una muestra. Por lo tanto, el análisis elemental cualitativo y cuantitativo se alcanza mediante la determinación de la energía de los *peaks* de rayos X en un espectro y midiendo sus intensidades asociadas (Rigaku, 2014).

Ia												IIb					IIb	IIb	IIb	IIb	IIb	2																											
1	H											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																										
2	Li											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																										
3	Na	12	Mg											19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
4	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe														
5	Cs	56	Ba	57-71	LA	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn														
6	Fr	88	Ra	89-103	AC																																												
57~71		57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu																		
89~103		89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr																		

**Figura 53** Tabla de elementos químicos detectados según el tipo de cristal utilizado en el ZSX PRIMUS II de RIGAKU

### Caracterización mineralógica mediante difracción de Rayos X de los sedimentos de La Granja

La caracterización mineralógica por difracción de rayos X fue realizado con un equipo D4 ENDEAVOR BRUKER 2XS 104025-0 XRD de BRUKER. Las briquetas se realizaron con 1 gramo del material pulverizado, teniéndose el cuidado en el proceso de no orientar la muestra en el portaobjetos. El objetivo de los estudios por difracción consiste en realizar un reconocimiento de la mineralogía de los sedimentos, para identificar cuáles son los minerales predominantes y cuantificar el porcentaje de minerales indicadores (RIM's) mediante la determinación y refinamiento de las estructuras cristalinas mediante el Método de Rietveld.

La difracción de rayos X es una técnica ampliamente aplicada para la caracterización de materiales cristalinos. El método ha sido tradicionalmente usado para análisis cualitativo, cuantitativo de fases y para la determinación de la estructura cristalina.

El método de Rietveld consiste en ajustar teóricamente los parámetros estructurales o parámetros de red, deslizamientos atómicos, anisotropía, tensiones de la red, etc., así como experimentales, que dependen de las condiciones de experimentación, al perfil completo del

difractograma en polvo suponiendo que el difractograma es la suma de un número de reflexiones de Bragg centradas en sus posiciones angulares respectivas. Luego los parámetros escogidos van siendo ajustados en un proceso iterativo hasta que se alcanza una condición de convergencia con los valores de las intensidades experimentales y el modelo teórico (Petrick y Castillo, 2004).

## **Concentración gravimétrica**

### **Concentración gravimétrica mediante medios densos**

La concentración gravimétrica mediante medios densos se realizó con politungstato de sodio (Sodium Polytungstate) patentado por TC- Tungsten Compounds cuya fórmula química es:  $\text{Na}_6[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}]$  o  $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Los equipos utilizados para la separación de los minerales indicadores (RIM's) fueron los siguientes:

- 2 embudos.
- 1 embudo de decantación de 60 ml.
- 3 vasos de vidrio pirex de 50 ml.
- 1 varilla de agitación.
- Mallas ASTM #18 y #60.
- 1 filtro de perinola de 0.45  $\mu\text{m}$ .
- 2 papel filtro n°1 de Advantec Toyo para análisis cualitativos.
- 1 soporte para embudos.
- Indicadores de densidad específica de NIHON CHIKAGAKU SHA CO.

La densidad del politungstato de sodio es ajustable por dilución con agua bi-destilada en un rango de 1.1 hasta 3.1  $\text{g}/\text{cm}^3$ . En el presente trabajo se utilizó la densidad específica de 2.81 calibrada mediante los indicadores de densidad específica de NIHON CHIKAGAKU SHA CO. Por su carácter no tóxico, su facilidad de manipulación y almacenamiento, el politungstato de sodio ha sido recomendado para sustituir a los demás líquidos densos usados para la separación mineral (Pérez, 1992).

El protocolo de fraccionamiento densimétrico de minerales pesados mediante politungstato de sodio utilizado en el GEA se basa en lo reportado por Savage (1988), Pérez Mazario (1992), Torresan (1987), Krukowski (1988) y Murray and Johnston (1987).

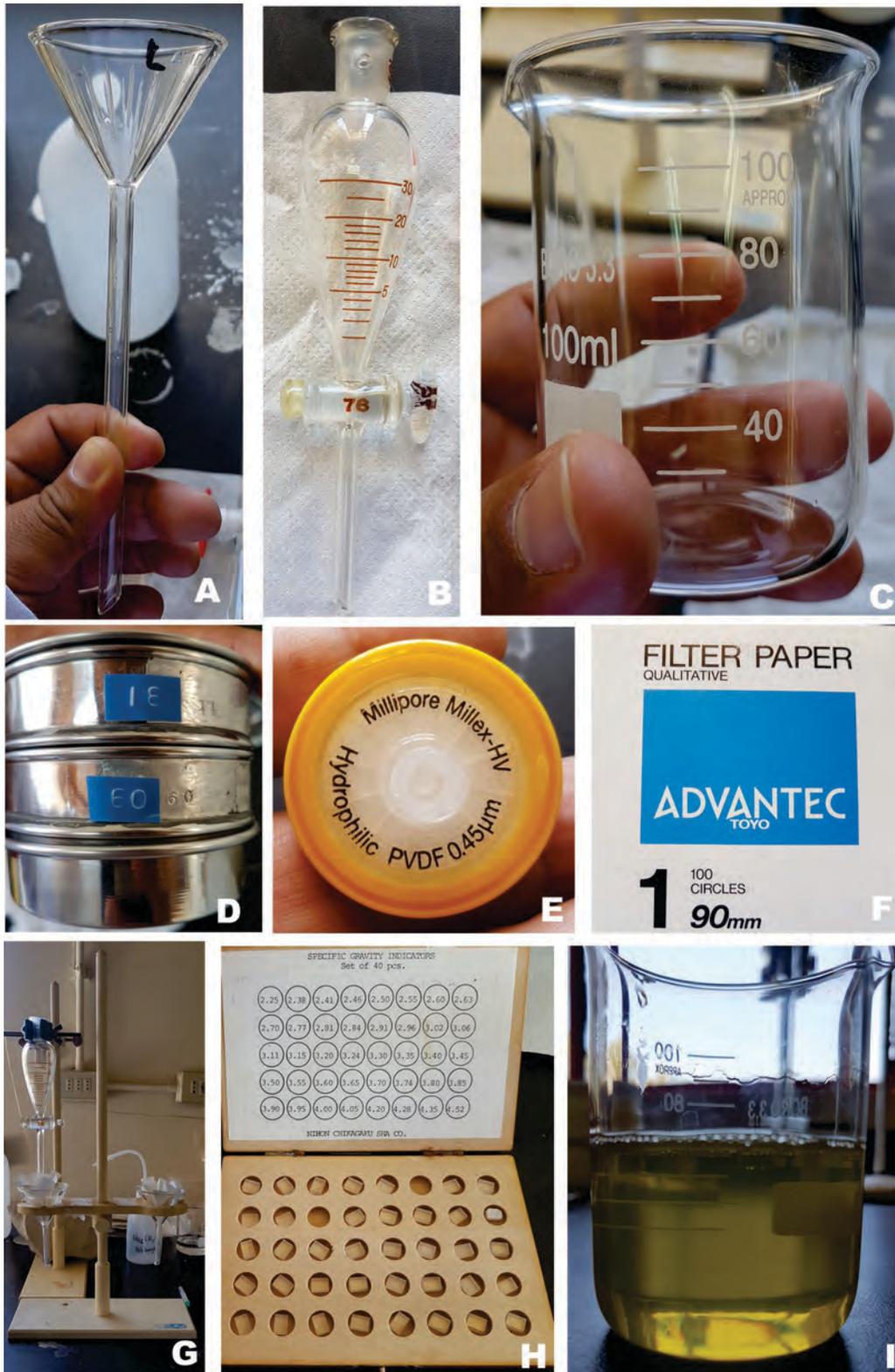
Según los protocolos de trabajo, las muestras fueron tamizadas y se trabajó con el material pasante de la malla #18 y el retenido en la malla # 60. En el caso de las muestras de La Granja fue utilizado 30 gramos de cada una de las 28 muestras y con la granulometría pasante de la malla #30 (por el uso de tamizador en la etapa de campo) y el retenido en la malla #60.

Utilizando embudos de decantación de 60 ml, se agrega inicialmente 5ml de líquido denso, luego se adiciona el material tamizado trabajando con la granulometría entre los 600 a 250  $\mu\text{m}$  y se procede a saturar la muestra con 20 a 25 ml adicionales del líquido denso. Se recomienda agitar con una varilla. El período de decantación de los minerales pesados con 30 gramos de muestra puede tomar unos 3 a 5 minutos. En el fondo del embudo de decantación quedan los minerales cuya densidad específica sea mayor a  $2.81 \text{ g/cm}^3$ , los que se traspasan a un embudo analítico provisto de papel filtro n°1 de Advantec Toyo.

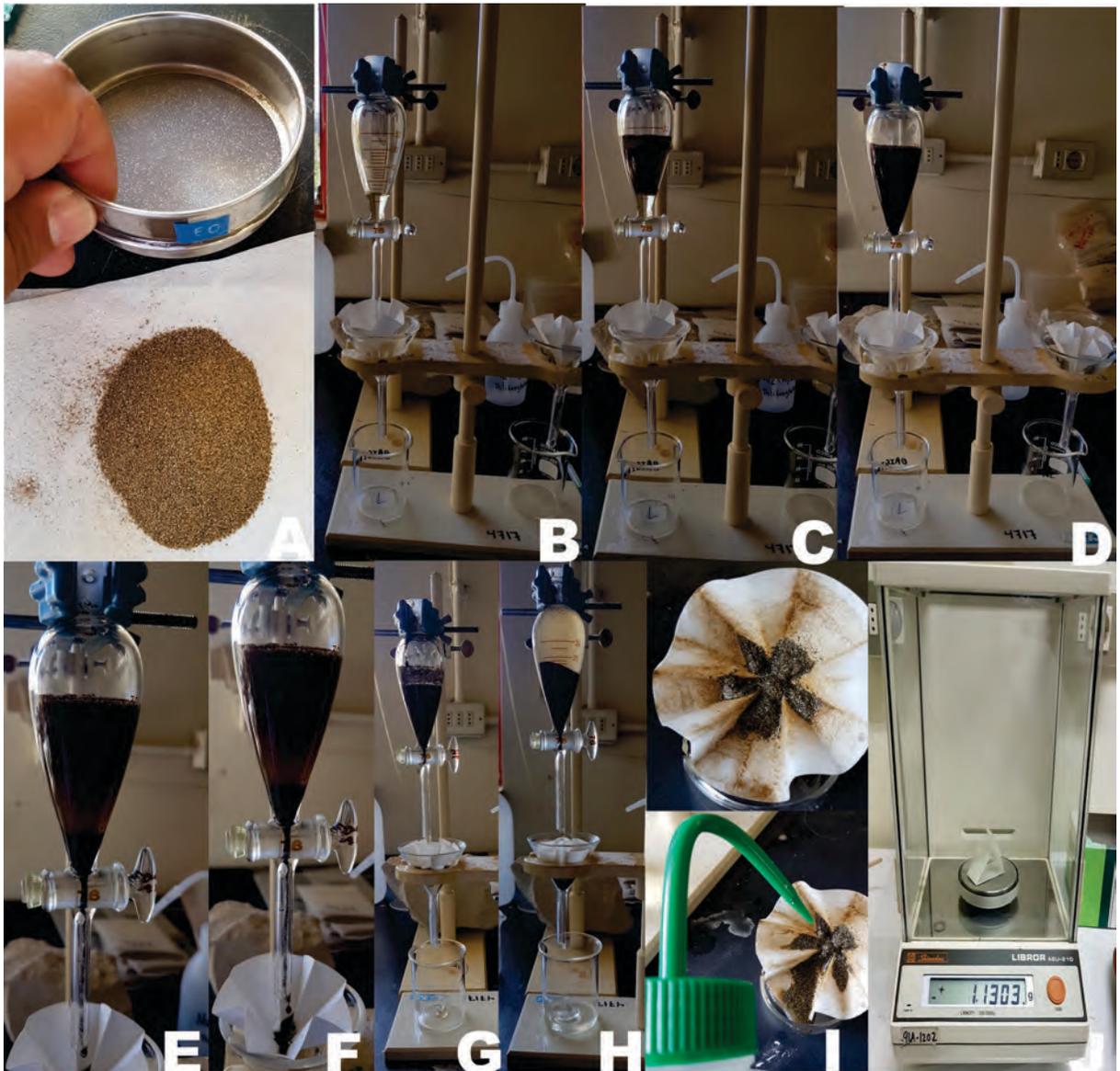
El residuo tanto de los minerales livianos como pesados debe ser filtrado para la recuperación del politungstato de sodio. Estas fracciones, luego de ser filtradas, deben enjuagarse con agua bidestilada para reciclar el líquido denso. El agua bidestilada con la solución diluida puede recuperarse en un vaso abierto eliminando el exceso de agua por evaporación en un horno de desecación a baja temperatura ( $60^\circ\text{C}$ ) por un período de 4 a 6 horas.

En algunas ocasiones el líquido comienza a adquirir una coloración más anaranjada por lo que se recomienda realizar un filtrado para su posterior uso. En nuestro caso para la filtración del líquido se utilizó el filtro de perinola de  $0.45 \mu\text{m}$ .

La concentración gravimétrica fue realizada con los protocolos vigentes en el Instituto GEA con una cantidad mínima de 160 ml de líquido denso, la cual limitaba la masa del mineral de cabeza a concentrar. Al tener estas limitaciones se procedió con una segunda etapa de cuarteo para lograr la reducción de masa de las muestras de sedimentos que fuese lo más representativa posible.



**Figura 54** Materiales utilizados para la concentración gravimétrica por medios densos. A) Embudo de vidrio B) Embudo de decantación de 60 ml. C) Vaso de vidrio Pirex de 50 ml D) Mallas ASTM #18 y # 60. E) Filtro de perinola de 0.45  $\mu\text{m}$ . F) Papel filtro n° 1 de Advantec Toyo para análisis cualitativos G) Soporte para embudos. H) Indicadores de densidad específica de NIHON CHIKAGAKU SHA CO. I) Politungstato de sodio.



**Figura 55** Procedimiento para la concentración gravimétrica. A) Tamizado de la muestra entre las mallas # 18 y # 60. B) Se vierte 5 ml. de la solución del politungstato de sodio C) Agregado del contenido de la muestra retenida en los tamices. D) Agregado del resto de los 20 o 25 ml del medio denso. E) Agitar la muestra por un tiempo aproximado de 30 segundos. F) Dejar en reposo la muestra por un lapso de 5 minutos, en donde decantaran los minerales cuya gravedad específica sea mayor a la del medio que en este caso es de 2.81 G) Separación del material pesado del material liviano mediante la abertura de la válvula inferior del tubo de decantación. H) La muestra es capturada en un papel de filtro que permitirá la recuperación del líquido denso usado I) Con el uso de agua bidestilada se procede con la limpieza tanto del material denso obtenido, así como del material liviano que quedó en el embudo de decantación J) El material con los minerales pesados es secado a 100 °C y luego pesado en una balanza de precisión.

## **Caracterización mineralógica de los minerales indicadores (RIM's) de La Granja.**

### **Identificación mineral y selección de los minerales indicadores (RIM's) mediante Qemscan®**

Qemscan® es la abreviación de **Q**uantitative **E**valuation of **M**inerals by **SCAN**ning electron microscopy (Evaluación cuantitativa de Minerales por microscopía electrónica de barrido en su traducción al español), desarrollado por la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) de Australia y comercializado por Intellection Pty Ltd. Posee un sistema integrado que compara la intensidad de señal de los electrones retrodispersados (BSE) y las señales de rayos X de dispersión de energía (EDS) emitidas por sus tres detectores, para cada punto de medición. Es un sistema de análisis completamente automatizado y no destructivo, basado en la tecnología QEM®SEM® que proporciona información petrográfica, metalúrgica y mineralógica estadísticamente confiable y repetible para cualquier material (Gottlieb et al., 2000).

Qemscan® utiliza el software iDiscover, el cual contiene cuatro módulos: Datastore Explorer para el manejo de datos, iMeasure para el control del SEM y EDS, iExplorer para el procesamiento de los datos y clasificación de las herramientas, y SIP Editor que consiste en un protocolo para la identificación de las fases.

La preparación de muestra considera el montaje de ésta en una briqueta de resina de 30 mm de diámetro, previamente mezclada con grafito para evitar la aglomeración. La mezcla es llevada a secado y vacío para la eliminación de burbujas en la superficie a analizar. Posteriormente la briqueta pasa a desbaste y pulido para lograr una superficie lisa y nivelada. Finalmente, la superficie se recubre en carbón para crear una capa eléctricamente conductiva. La briqueta resultante debe ser estable ante la aplicación de condiciones de alto vacío y un haz de electrones típicamente entre 15 a 25 kV (Pirrie et al., 2012). El Qemscan® tiene 4 modos de análisis (**Tabla 25**):

**Análisis BMA (Bulk Mineralogical Analysis).** Corresponde a una metodología de análisis lineal donde cada campo es escaneado en la dirección del eje X. La información provista por este análisis corresponde al análisis elemental y la clasificación y cuantificación mineralógica de la muestra (Gottlieb et al., 2000).

**Análisis PMA (Particle Mineralogical Analysis).** Corresponde a un análisis bidimensional, donde toda el área de las distintas partículas presentes en una briqueta es medida. Los resultados se expresan en forma de imágenes de las partículas medidas. La información entregada por este tipo de análisis corresponde al análisis elemental, clasificación y cuantificación mineralógica, grado de liberación global y por tamaño, asociación mineral,

tamaño de grano, factor de forma de las partículas y curva potencial de recuperación versus ley (Gottlieb et al., 2000).

**Análisis SMS/TMS (Trace and Specific Mineral Search).** Basada en el modo de análisis PMA, este tipo de análisis selecciona una subpoblación de partículas. Se basa en la premisa de que las fases de interés poseen un determinado brillo (valor BSE) y composición. La información entregada por este modo de análisis es básicamente la misma a la entregada por un análisis PMA, pero es relativa sólo a la subpoblación analizada. Este modo de análisis es particularmente bueno para determinar pérdidas de sulfuros valiosos o fases de metales preciosos de colas ricas en silicatos. Entrega una información estadísticamente confiable de las fases de interés presentes en bajas cantidades o trazas (Gottlieb et al., 2000; Qemscan® operational modes, SGS Minerals services, 2013).

**Análisis Field Image (Surface Imaging Mode).** Este modo de medición sirve para mapear secciones pulidas. Recolecta el espectro químico en un intervalo determinado del campo de visión. Cada campo de visión es entonces procesado para generar una única imagen integrada con colores que identifican a cada fase mineral presente en la muestra (Qemscan® operational modes, SGS Minerals services, 2013).

Luego de la elección de análisis del Qemscan® el equipo puede proporcionar:

**Tabla 25** Información y modo de medición ofrecido por Qemscan®

Información	Modo de medición
<b>Partículas</b>	
Composición modal	BMA, PMA, SMS/TMS, Fieldscan
Tamaño de partícula	BMA, PMA, SMS/TMS
Forma de partícula	PMA, SMS/TMS
Tamaño de grano	BMA,PMA, SMS/TMS
Asociaciones minerales	BMA,PMA, SMS/TMS
Grado de liberación	BMA,PMA, SMS/TMS
Tamaño de molienda	BMA,PMA, SMS/TMS
Area superficial	PMA, SMS/TMS
Imágenes de partículas	PMA, SMS/TMS, Fieldscan
<b>Roca sólida</b>	
Composición modal	Fieldscan
Texturas minerales	Fieldscan

El análisis mineraloquímico por Qemscan® fue realizado en 10 de las 28 muestras tomadas en el presente trabajo integrativo. Estas 10 muestras cubren la dispersión de los minerales indicadores en la alteración fílica cortada por la quebrada Ayraça, y desde la quebrada Checo, donde se corta a la alteración propilítica.

El análisis fue realizado en modo PMA (análisis de partículas minerales) contándose unas 50000 partículas con un pixel de 5 micrones y un tiempo de lectura de 4.5 horas por muestra.

El procesamiento de la información tanto de la intensidad de señal de los electrones retrodispersados (BSE) y de las señales de dispersión de energía de rayos X (EDS) son comparadas y almacenadas en una base de datos de identificación de especies minerales denominada SIP. Esta base de datos SIP es fundamental para la identificación de los minerales presentes en el concentrado mineral. Algunas especies minerales debieron ser reagrupadas en la SIP, como por ejemplo el grupo de los granates, cloritas, anfíboles y piroxenos.

Luego de la reagrupación de la SIP, Qemscan® presenta dos tablas de resumen. La primera es la abundancia relativa en masa (**Tabla 26**) y la segunda el tamaño de partícula promedio (**Tabla 27**). Se debe destacar que el tamaño de los granos analizados por Qemscan® están restringidos a los tamaños de 250 a 600 micrones, que son con los que se trabajó en la concentración gravimétrica. Adicionalmente, Qemscan® genera gráficos sobre el grado de liberación, asociación mineral, un set de imágenes en falso color de los granos minerales y de la briqueta.

**Tabla 26** Tabla de la abundancia relativa en peso de los minerales detectados por Qemscan®.

Sample	Name	4705P	4708P	4710P	4711P	4718P	4719P	4722P	4724P	4725P	4726P
		<b>Total Mass</b>	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	<b>Total Volume</b>	31.84	31.47	30.66	31.19	31.79	30.87	28.43	31.40	31.08	26.30
Mineral Mass	Tourmaline	0.07	0.08	0.04	0.08	0.02	0.07	0.05	0.03	0.08	0.01
	Zircon	0.03	0.05	0.04	0.02	0.04	0.07	0.04	0.03	0.02	0.19
	Apatite	0.08	0.14	0.14	0.13	0.51	0.22	0.07	0.14	0.15	0.13
	Rutile/Anatase	3.57	3.76	4.01	3.68	6.22	3.47	4.31	3.30	3.14	5.66
	Epidote	9.31	10.34	10.62	9.44	8.51	7.34	7.78	12.14	12.99	6.79
	Pyroxene-Amphibole	5.89	5.53	6.17	7.53	13.60	5.93	4.20	6.56	8.25	1.07
	Andalusite/Ky/Sill	0.29	0.37	0.37	0.40	0.04	1.77	0.19	0.44	0.36	0.01
	Staurolite	0.11	0.16	0.11	0.18	0.03	0.56	0.09	0.14	0.08	0.00
	Corundum	1.65	1.90	2.14	2.45	0.19	6.29	1.22	2.30	3.06	0.16
	Ilmenite	1.06	1.53	1.83	1.31	5.90	1.92	1.00	1.06	0.50	2.25
	Chlorite	11.72	10.46	9.30	10.44	7.02	9.05	7.15	7.46	8.90	6.10
	Garnet	1.97	1.01	0.96	1.22	1.56	1.36	1.22	2.60	3.02	0.05
	Quartz	9.87	9.16	7.73	8.13	3.32	5.01	5.25	9.77	6.58	4.97
	Oxidos de Fe	32.64	38.01	40.79	38.19	44.05	43.43	53.90	41.13	40.25	61.63
	Pyrite	0.47	0.50	1.31	0.68	0.31	1.24	1.13	0.87	0.51	4.83
	Chalcopyrite	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
	Galena	0.26	0.05	0.21	0.06	0.02	0.05	0.29	0.04	0.07	0.00
	K-Feldespar	1.62	1.34	1.07	1.19	1.10	0.53	0.68	1.09	0.84	0.79
	Feldspars (Plagioclase)	1.89	1.55	1.42	1.69	2.04	0.90	0.71	1.35	1.37	0.74
	Muscovite(White Mica)	8.94	5.57	4.36	4.48	0.92	1.91	3.83	2.82	2.44	1.53
	Arsenopyrite	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Cu Sulphides	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
	Oxidized Cu Minerals	0.00	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.00
	Biotite	4.20	3.74	3.02	3.01	0.77	1.40	3.29	2.02	2.52	1.30
	Clays	0.58	0.65	0.53	0.62	0.25	1.58	0.28	0.56	0.50	0.33
	Accessory silicates	0.57	0.70	0.71	0.80	1.77	0.77	0.50	0.59	0.70	0.27
Alunite-Jarosite	0.51	0.45	0.39	0.94	0.13	0.48	0.70	0.54	0.38	0.11	
Carbonates(Ca-Fe-Mg)	0.13	0.07	0.13	0.09	0.01	0.01	0.11	0.08	0.10	0.01	
Other	2.54	2.85	2.59	3.19	1.65	4.63	2.02	2.77	3.12	1.05	

**Tabla 27** Tabla de tamaño promedio de cada mineral detectado por Qemscan®.

Sample	Name	4705P	4708P	4710P	4711P	4718P	4719P	4722P	4724P	4725P	4726P
	Calculated ESD Particle Size	197.54	189.40	188.61	194.27	172.92	143.38	216.16	201.30	174.03	202.23
Calculated ESD Size	Tourmaline	12.37	13.76	10.49	14.06	8.76	7.87	17.83	9.36	13.97	7.34
	Zircon	18.20	26.29	27.25	17.69	31.10	51.13	24.42	21.60	19.61	29.22
	Apatite	16.18	25.64	24.09	24.34	43.40	35.31	18.14	17.02	18.36	27.91
	Rutile/Anatase	18.49	18.09	18.86	19.63	15.14	17.15	25.19	18.97	21.15	16.77
	Epidote	21.09	21.59	22.40	21.61	20.76	19.47	23.48	23.05	22.14	20.98
	Pyroxene-Amphibole	33.54	33.57	34.72	36.16	40.85	37.38	38.13	35.64	35.92	19.23
	Andalusite/Ky/Sill	11.40	10.78	11.98	10.81	11.78	12.28	12.11	12.28	12.14	7.83
	Staurolite	8.18	8.56	8.42	8.64	10.76	8.43	8.98	8.42	8.12	7.58
	Corundum	36.80	32.99	36.81	34.76	36.34	36.53	42.42	32.93	37.96	28.71
	Ilmenite	16.24	16.50	17.11	17.38	17.40	17.16	17.03	14.22	12.61	11.29
	Chlorite	18.22	17.55	16.72	17.41	15.56	14.29	14.82	15.64	15.52	14.76
	Garnet	16.14	13.96	15.96	14.78	14.89	12.65	17.65	18.54	18.48	7.46
	Quartz	30.63	30.66	30.95	28.77	25.03	26.95	28.97	40.23	24.94	24.29
	Magnetite	8.17	7.47	7.33	7.40	7.56	7.53	8.78	7.77	7.75	8.09
	Hematite	7.31	7.17	10.46	8.14	7.22	7.22	7.60	7.31	7.40	7.43
	Goethite	32.88	33.68	33.65	31.27	15.74	28.55	42.48	31.88	30.51	16.23
	Limonite	12.97	15.76	16.73	15.49	22.31	13.46	13.10	16.55	14.07	29.69
	Fe-Hydroxides	8.34	8.49	8.49	8.93	8.03	8.30	8.60	8.59	8.53	8.33
	Pyrite	19.36	27.29	39.76	34.35	38.07	38.90	25.73	42.47	26.78	113.29
	Chalcopyrite	11.66	7.45	8.67	8.01	7.95	8.48	7.85	101.70	7.36	7.72
	Galena	16.89	9.70	18.50	10.08	9.77	16.40	12.68	9.02	13.30	7.68
	K-Feldspar	11.75	12.66	12.10	13.14	18.37	14.03	11.97	12.77	12.85	10.93
	Feldspars (Plagioclase)	20.05	20.21	19.24	19.86	22.53	20.81	20.37	19.93	18.58	18.58
	Muscovite(White Mica)	23.64	19.92	18.20	19.41	14.36	14.27	15.68	15.86	14.07	15.49
	Arsenopyrite	7.36	7.14	7.72	7.92	7.14	7.40	7.29	7.46	7.14	7.14
	Cu Sulphides	8.15	8.10	8.22	8.08	8.20	7.67	8.35	8.02	7.96	8.39
	Oxidized Cu Minerals	7.46	13.29	9.15	9.64	15.18	8.62	9.36	11.38	25.54	7.70
	Biotite	11.91	12.67	12.01	12.41	10.33	11.21	12.08	11.65	12.33	11.09
Clays	9.45	9.83	9.83	9.68	10.44	9.69	9.76	10.14	9.43	10.47	
Accessory silicates	13.43	15.12	14.46	16.99	15.67	15.00	14.64	13.32	13.60	11.70	
Alunite-Jarosite	13.86	19.94	13.18	30.40	10.32	11.83	17.48	21.44	17.14	11.21	
Carbonates(Ca-Fe-Mg)	23.36	26.45	24.81	24.79	33.38	30.83	20.71	23.97	19.81	10.19	
Other	9.45	10.08	10.34	10.72	8.58	10.40	9.90	9.98	10.13	8.38	

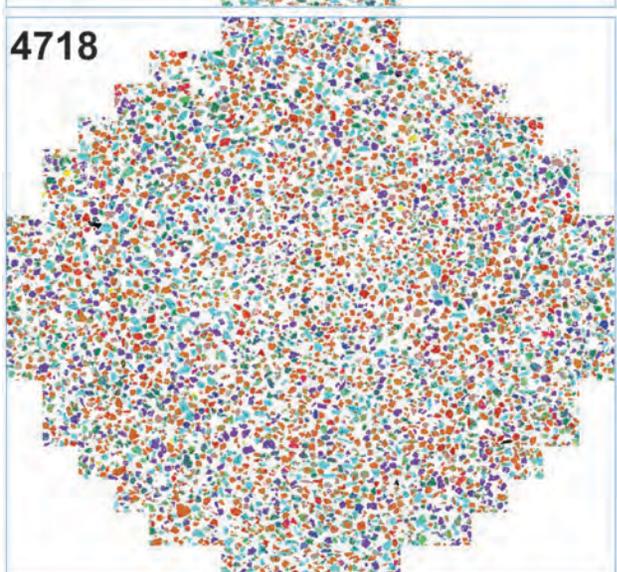
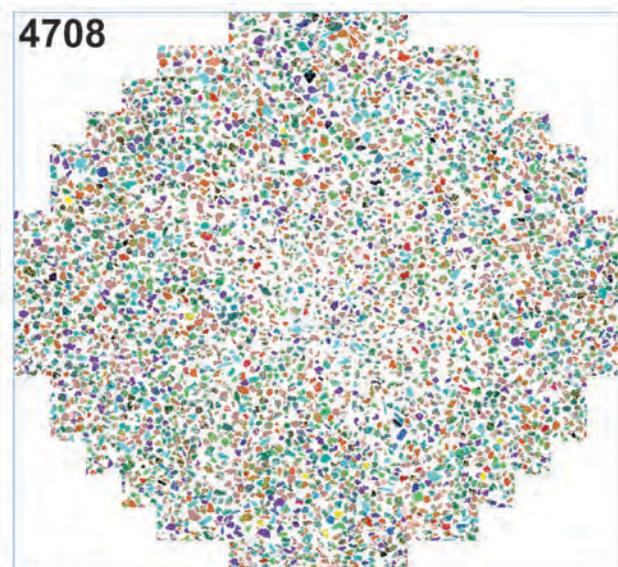
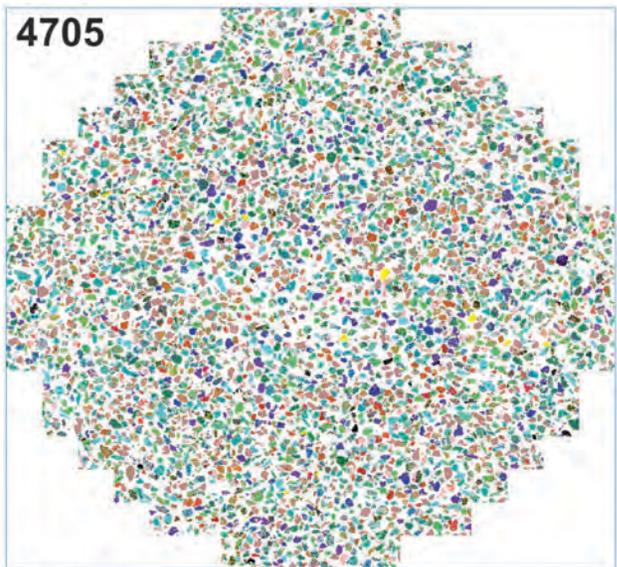
### **Mapas temáticos de la distribución de los minerales indicadores (RIM's) de La Granja**

La localización de cada muestra recolectada durante el programa de muestreo ha sido graficada sobre un mapa base de drenaje del área de estudios en una escala 1: 50000, las imágenes satelitales fueron descargadas desde el SAS Planet. Los mapas topográfico y geológico a escala 1:100000 de la hoja 13-E "Incahuasi" fue descargado desde los portales web del Instituto Geográfico Militar del Perú (IGN) y del Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), respectivamente. El sistema de información geográfica utilizado fue el software ArcGis 10.4.1.

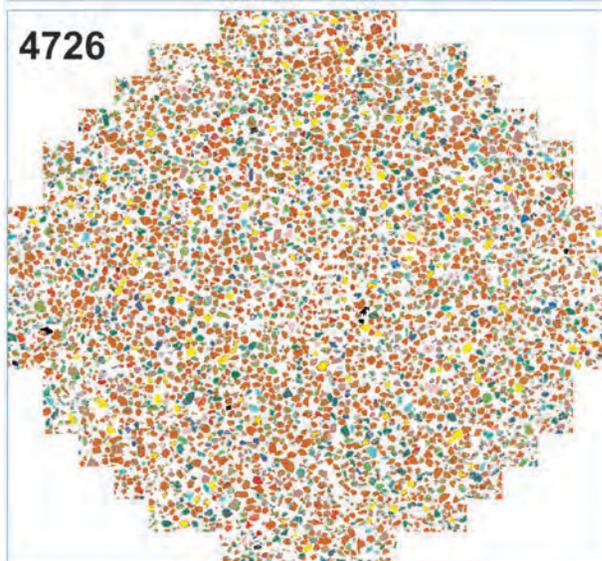
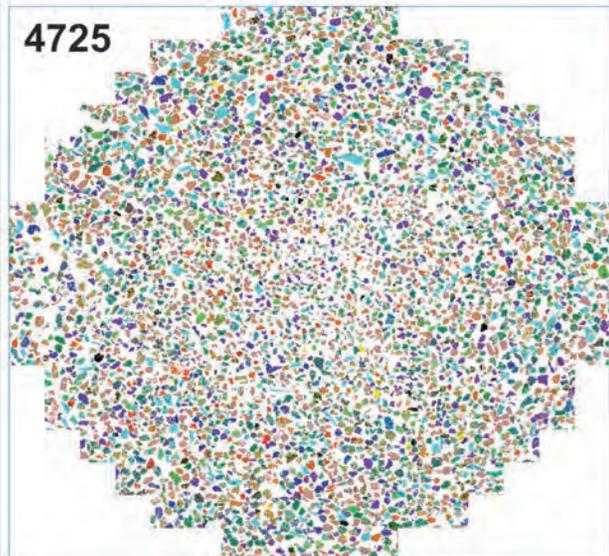
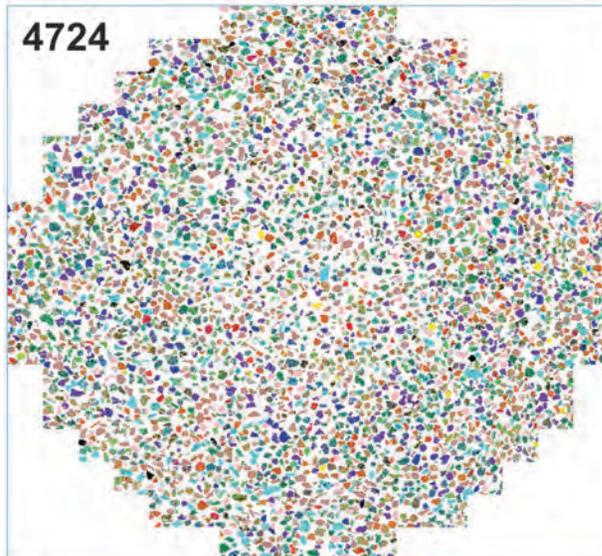
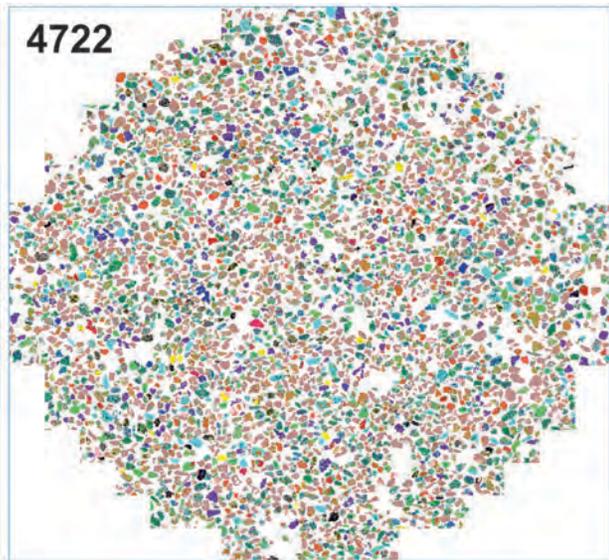
### **Mapas de dispersión mineralógica de los RIM's de La Granja.**

La compilación e interpretación de los mapas de distribución de los minerales indicadores es presentado en forma de mapas temáticos, en donde se presenta el porcentaje de la abundancia, tamaño de partículas, forma de las partículas, tamaño de grano y asociaciones minerales de cada mineral indicador detectado por el Qemscan® en función a su distribución espacial. Todos los mapas de la distribución mineral fueron compilados sobre un mapa resumen (mapa compósito).

## **7.2. IMÁGENES EN FALSO COLOR DE LAS BRIQUETAS ANALIZADAS POR Qemscan®**

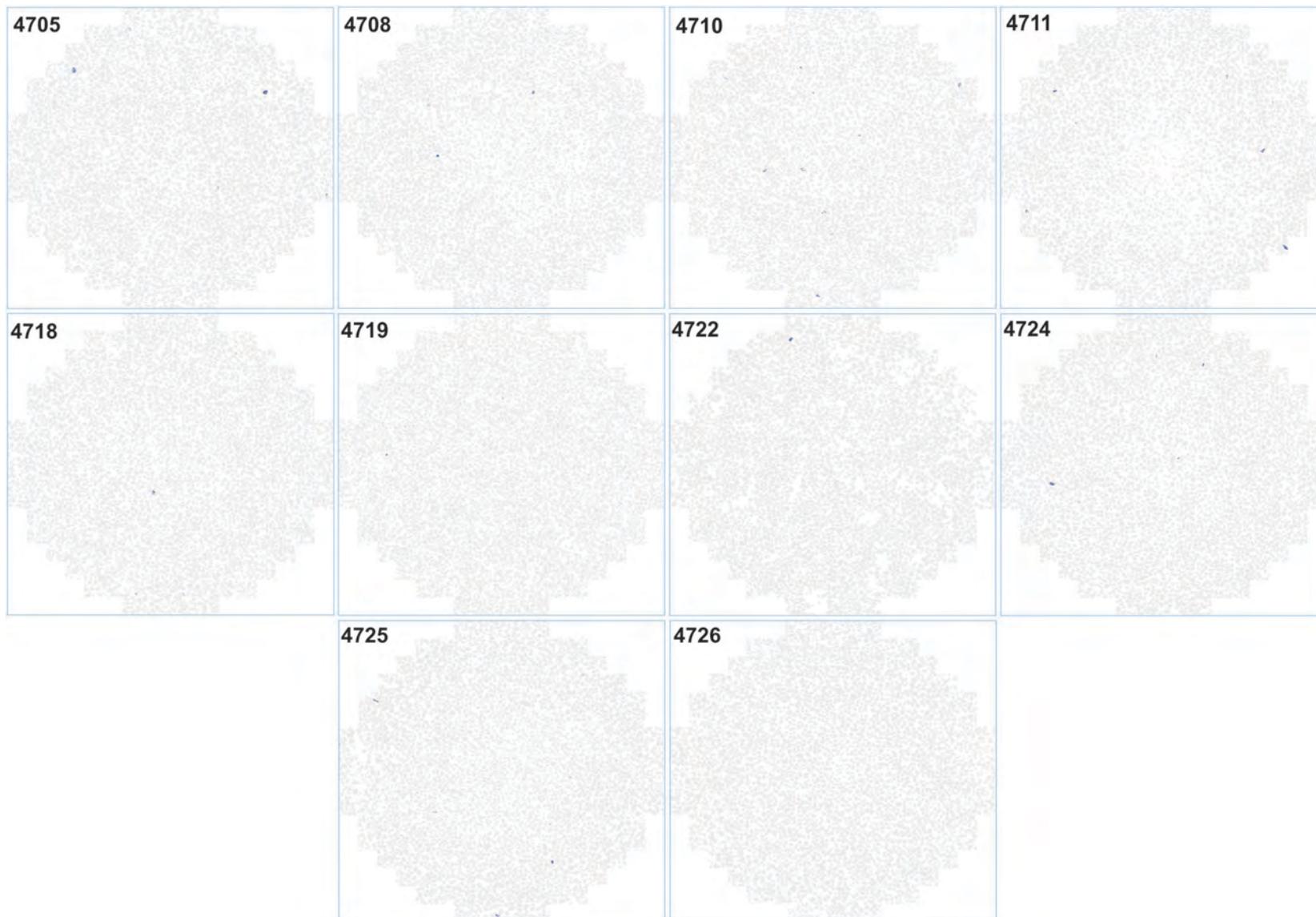


- |                        |                           |                         |
|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| ■ Accessory silicates  | ■ Cu Sulphides            | ■ Muscovite(White Mica) |
| ■ Alunite-Jarosite     | ■ Epidote                 | ■ Other                 |
| ■ Andalusite/Ky/Sill   | ■ Fe-Hydroxides           | ■ Oxidized Cu Minerals  |
| ■ Apatite              | ■ Feldspars (Plagioclase) | ■ Pyrite                |
| ■ Arsenopyrite         | ■ Galena                  | ■ Pyroxene-Amphibole    |
| ■ Background           | ■ Garnet                  | ■ Quartz                |
| ■ Biotite              | ■ Goethite                | ■ Rutile/Anatase        |
| ■ Carbonates(Ca-Fe-Mg) | ■ Hematite                | ■ Staurolite            |
| ■ Chalcopyrite         | ■ Ilmenite                | ■ Tourmaline            |
| ■ Chlorite             | ■ K-Feldspar              | ■ Zircon                |
| ■ Clays                | ■ Limonite                |                         |
| ■ Corundum             | ■ Magnetite               |                         |

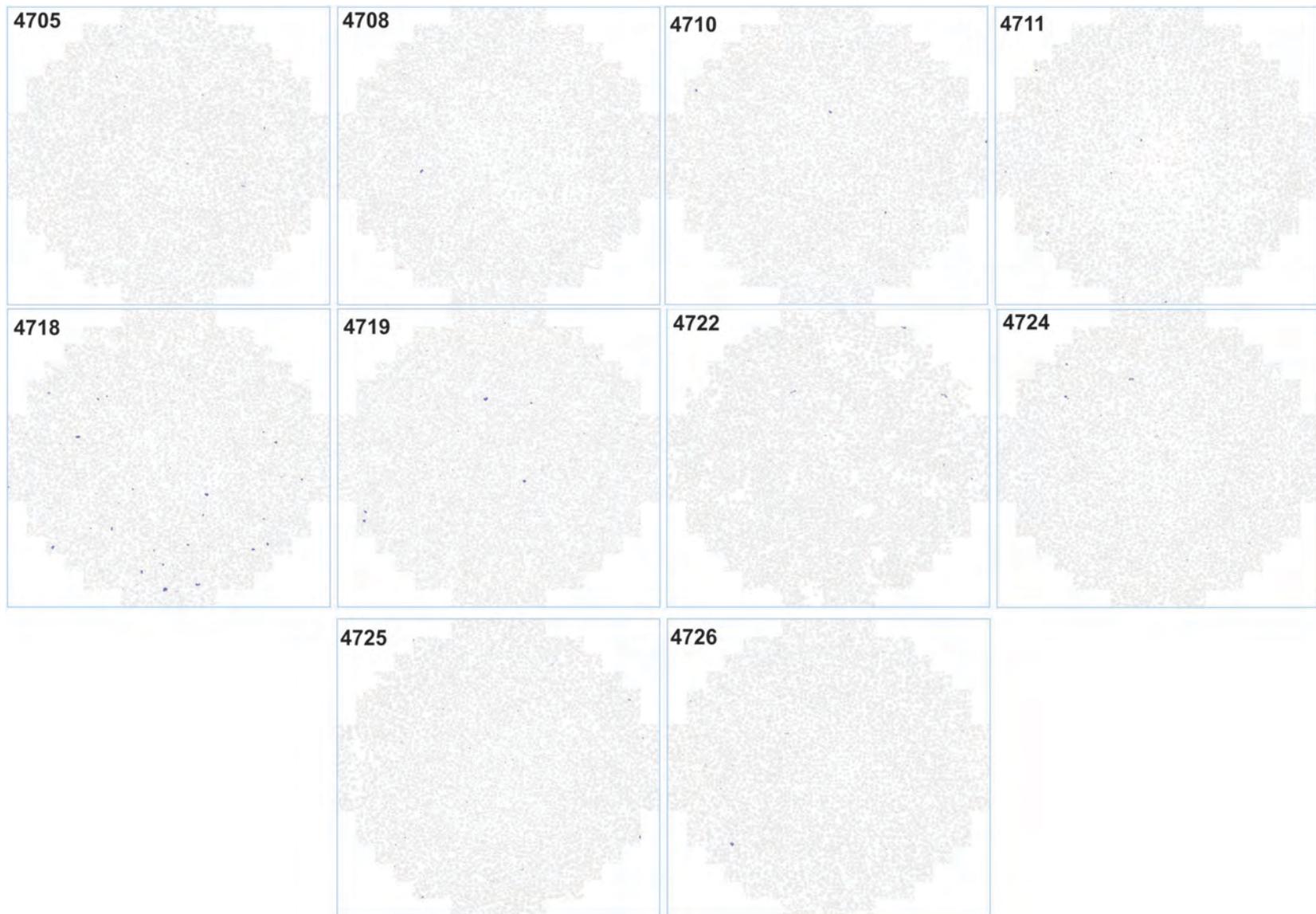


- |                        |                           |                         |
|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| ■ Accessory silicates  | ■ Cu Sulphides            | ■ Muscovite(White Mica) |
| ■ Alunite-Jarosite     | ■ Epidote                 | ■ Other                 |
| ■ Andalusite/Ky/Sill   | ■ Fe-Hydroxides           | ■ Oxidized Cu Minerals  |
| ■ Apatite              | ■ Feldspars (Plagioclase) | ■ Pyrite                |
| ■ Arsenopyrite         | ■ Galena                  | ■ Pyroxene-Amphibole    |
| ■ Background           | ■ Garnet                  | ■ Quartz                |
| ■ Biotite              | ■ Goethite                | ■ Rutile/Anatase        |
| ■ Carbonates(Ca-Fe-Mg) | ■ Hematite                | ■ Staurolite            |
| ■ Chalcopyrite         | ■ Ilmenite                | ■ Tourmaline            |
| ■ Chlorite             | ■ K-Feldspar              | ■ Zircon                |
| ■ Clays                | ■ Limonite                |                         |
| ■ Corundum             | ■ Magnetite               |                         |

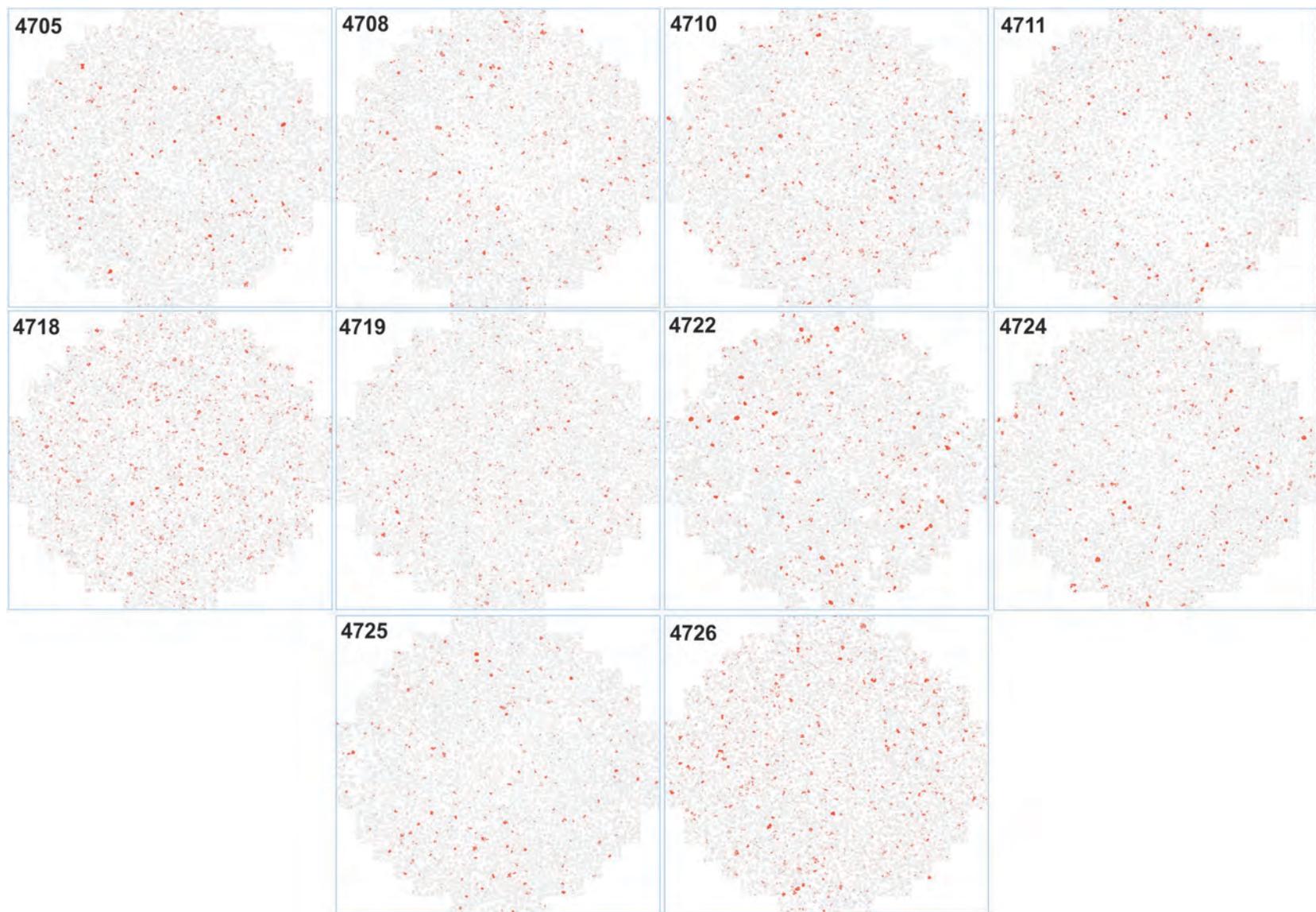
### **7.3. ANÁLISIS DE IMÁGENES EN FALSO COLOR DE LOS PRINCIPALES RIMOS DEL PÓRFIDO DE CU - MO DE LA GRANJA**



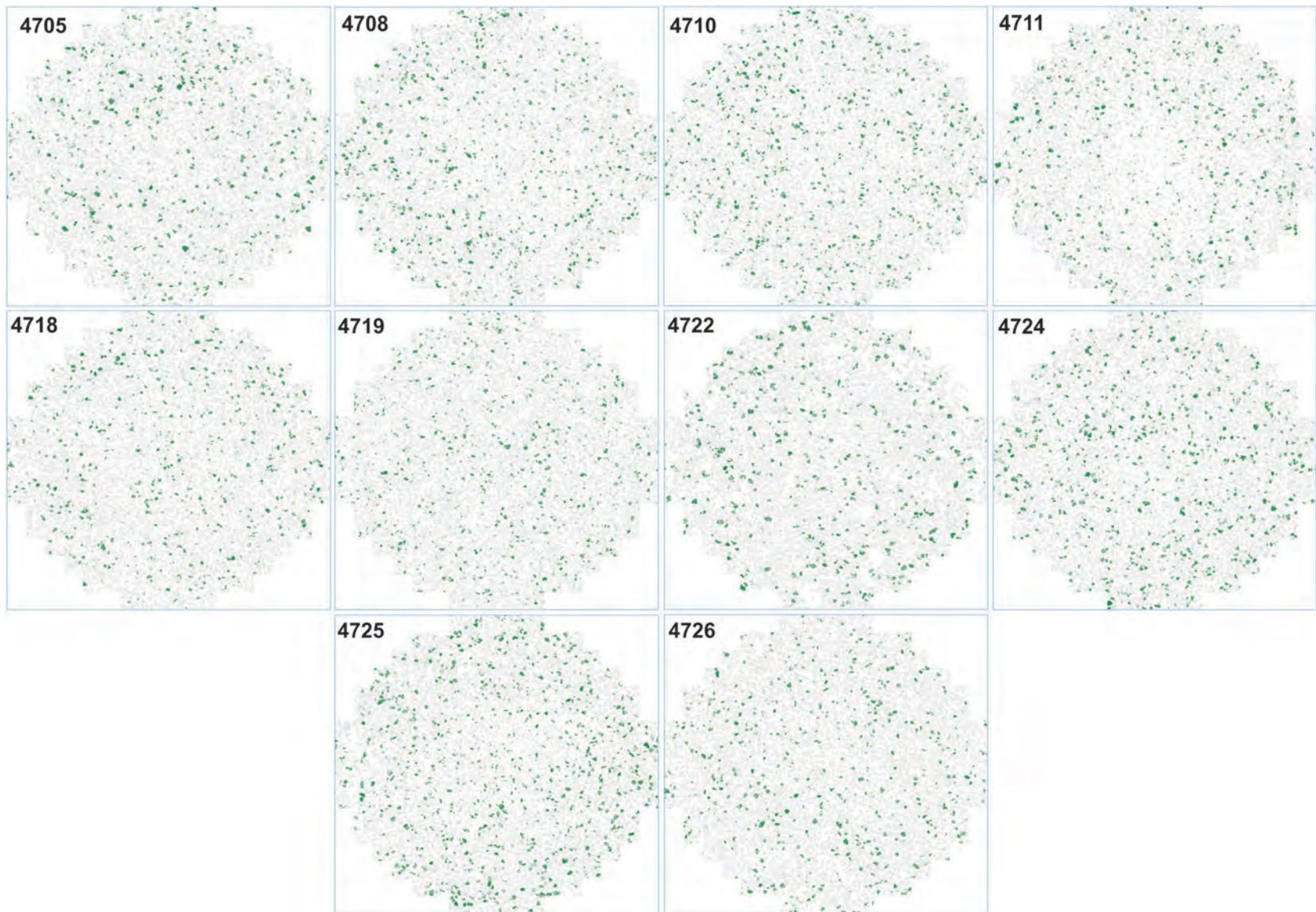
**Imágenes de briquetas en falso color para la detección del RIM Turmalina en las muestras de sedimentos de quebrada del pórfido de Cu - Mo de La Granja.**



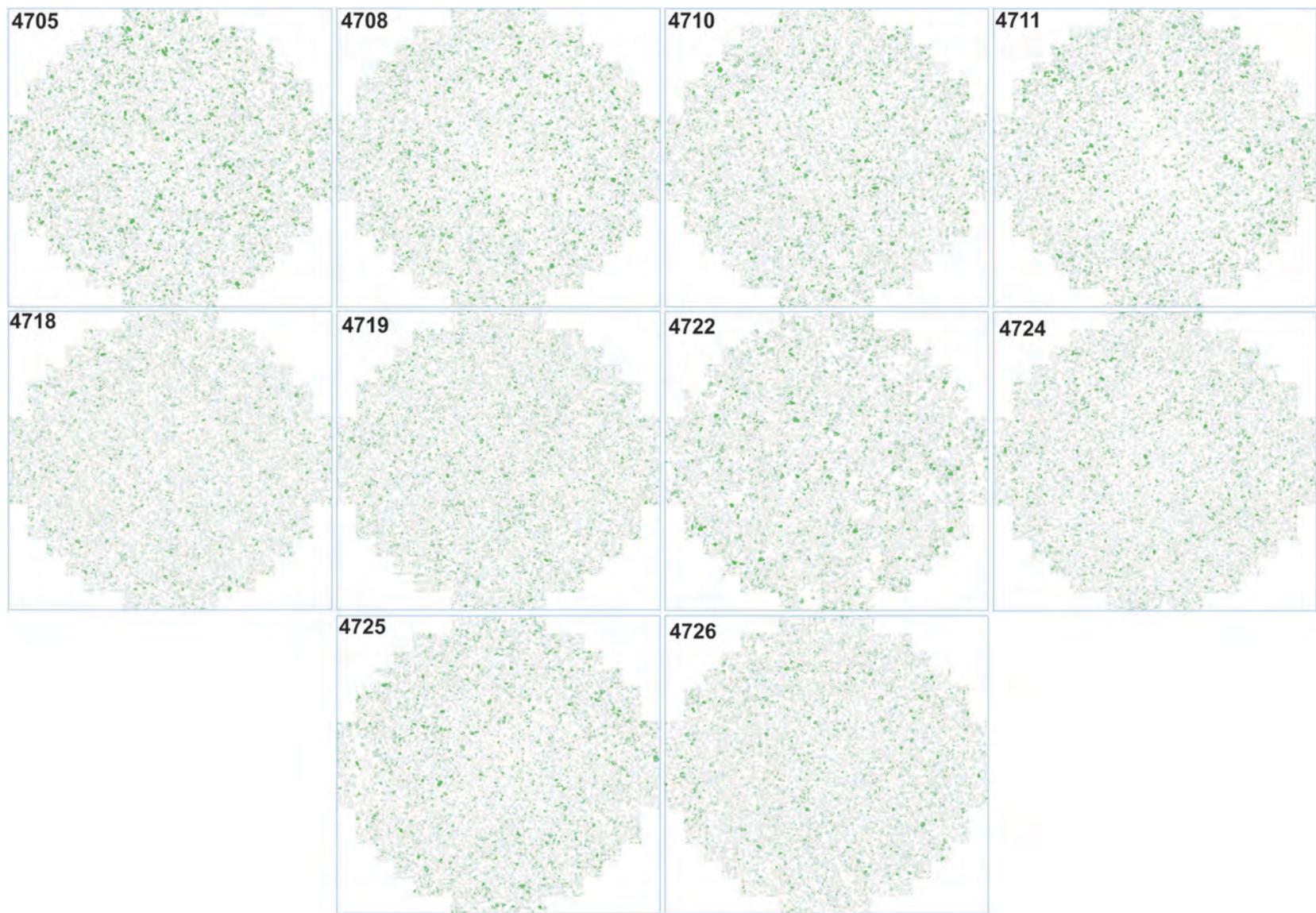
**Imágenes de briquetas en falso color para la detección del RIM Apatito en las muestras de sedimentos de quebrada del pórfido de Cu - Mo de La Granja.**



**Imágenes de briquetas en falso color para la detección del RIM Rutilo en las muestras de sedimentos de quebrada del pórfido de Cu - Mo de La Granja.**



**Imágenes de briquetas en falso color para la detección del RIM Epidota en las muestras de sedimentos de quebrada del pórfido de Cu - Mo de La Granja.**

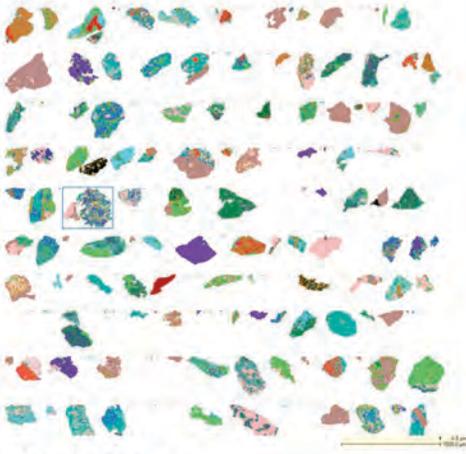


**Imágenes de briquetas en falso color para la detección del RIM Clorita en las muestras de sedimentos de quebrada del pórfido de Cu - Mo de La Granja.**

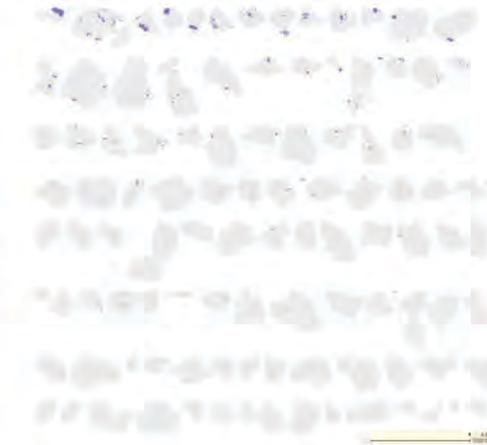
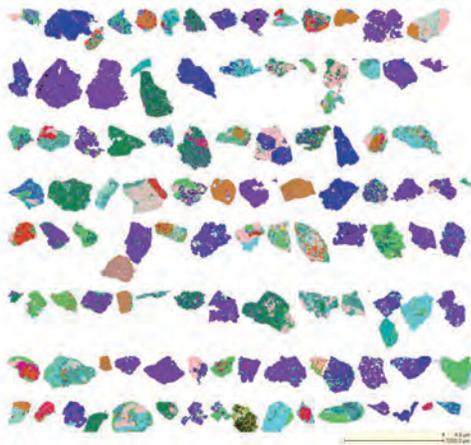
## **7.4. IMÁGENES EN FALSO COLOR DE LOS PRINCIPALES GRANOS QUE CONTIENEN A LOS RIM´S DE LA GRANJA.**

Muestra 4705

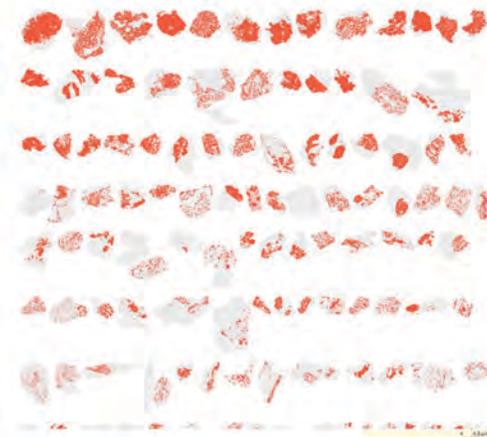
## Turmalina



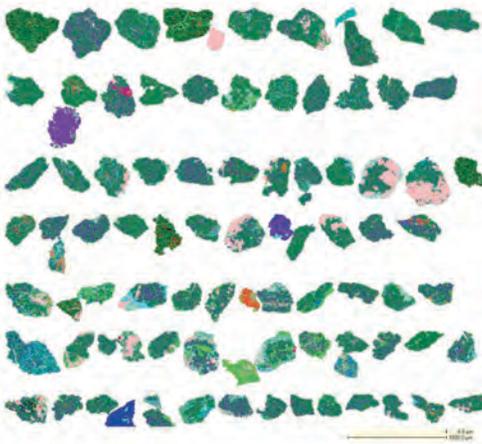
## Apatito



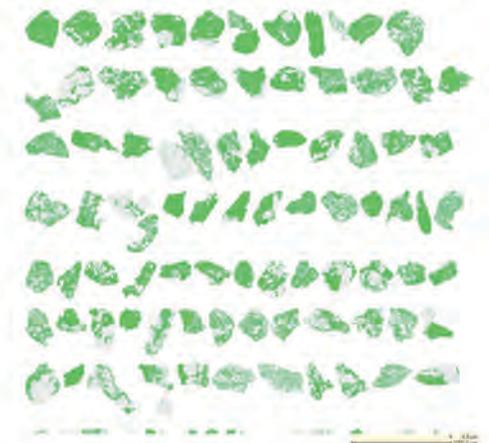
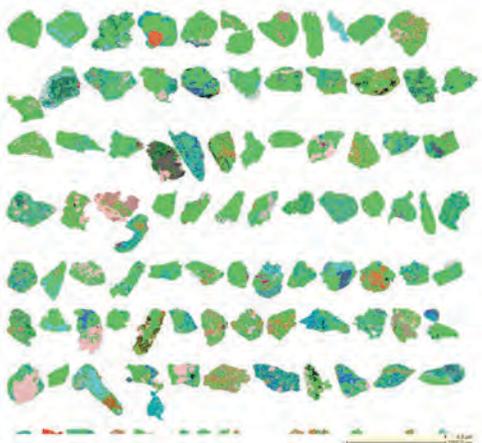
## Rutilo



## Epidota



## Clorita

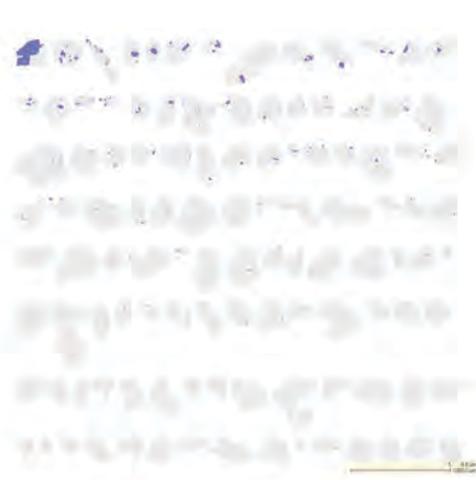


Muestra 4708

Turmalina



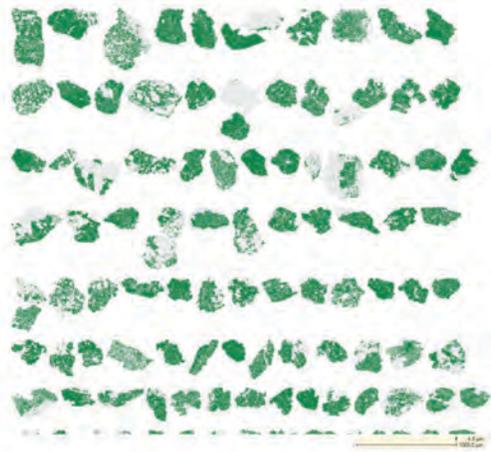
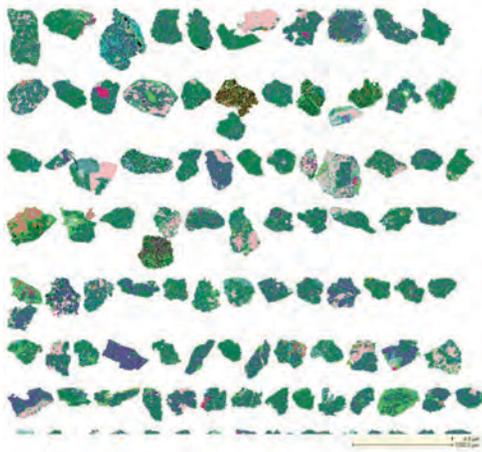
Apatito



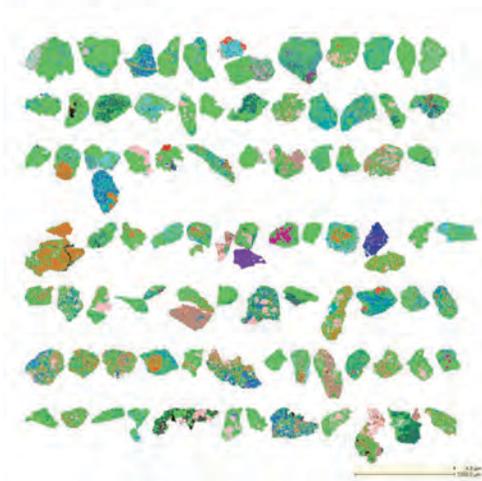
Rutilo



## Epidota

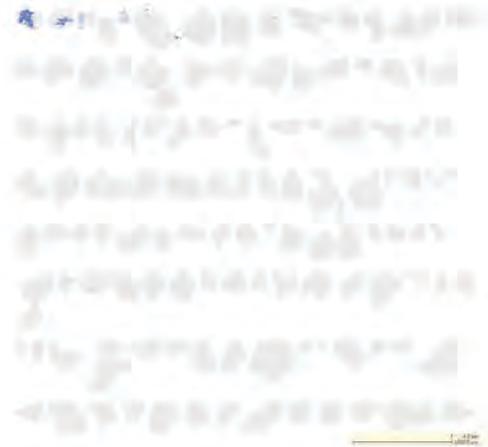


## Clorita

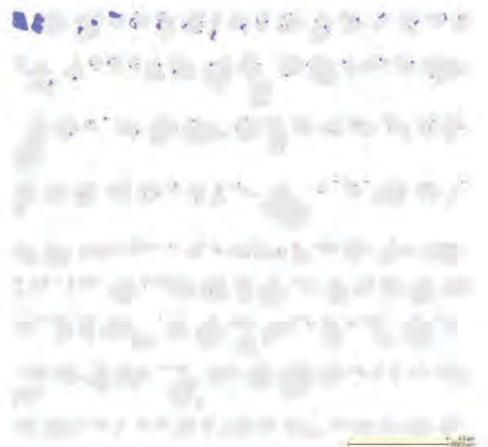
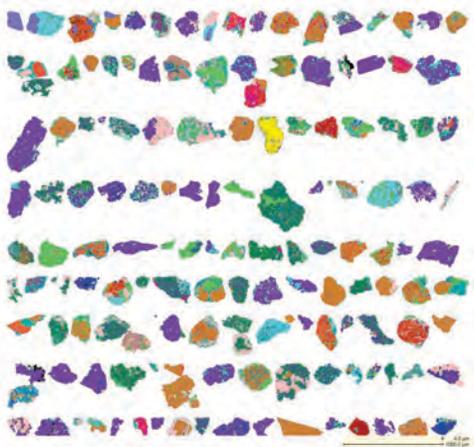


Muestra 4710

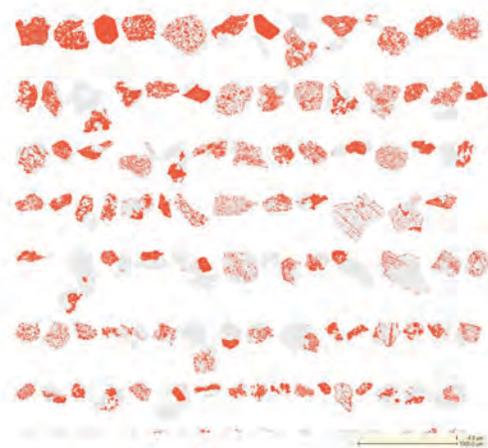
Turmalina



Apatito



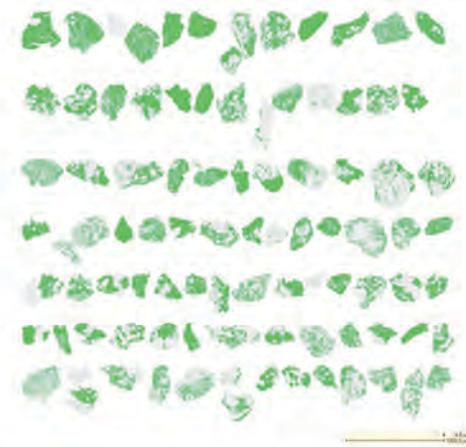
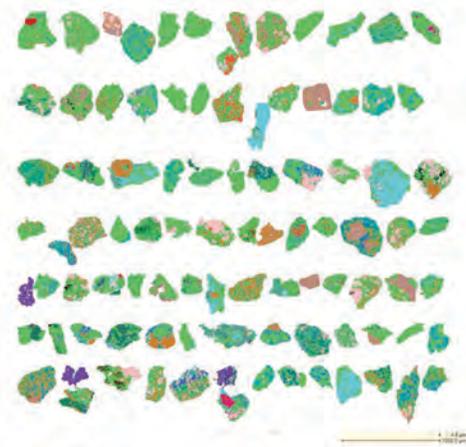
Rutilo



## Epidota

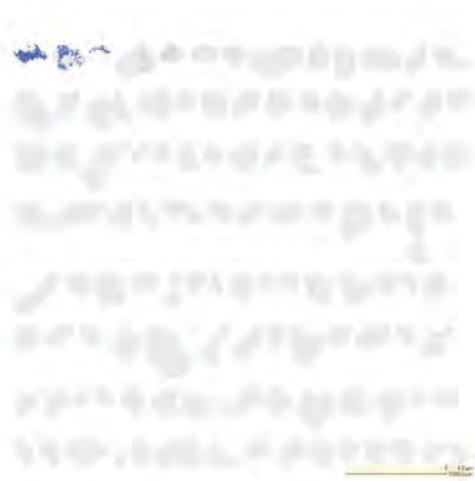


## Clorita

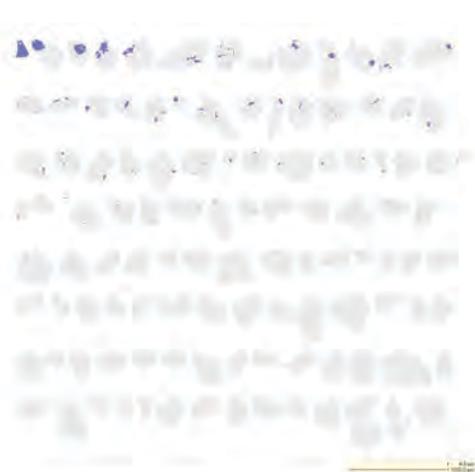


Muestra 4711

Turmalina



Apatito



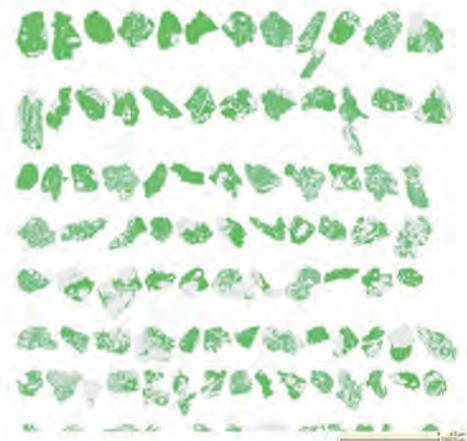
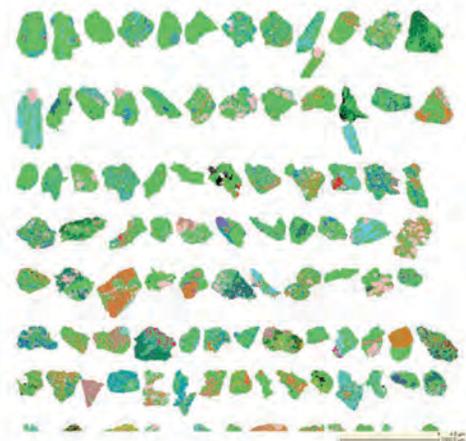
Rutilo



## Epidota

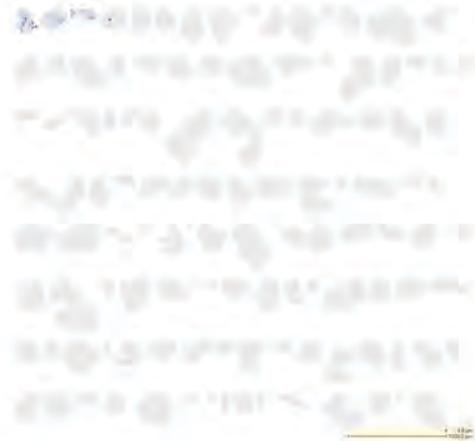
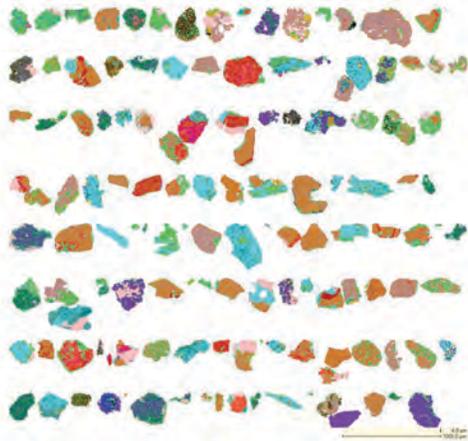


## Clorita

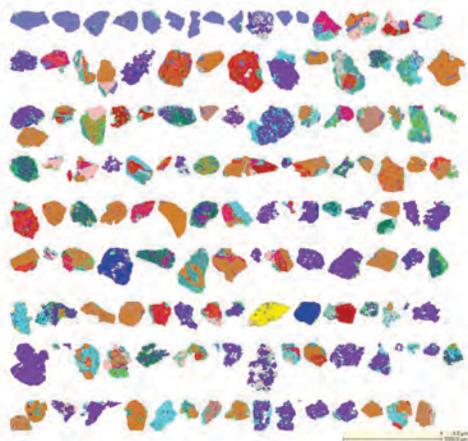


Muestra 4718

Turmalina



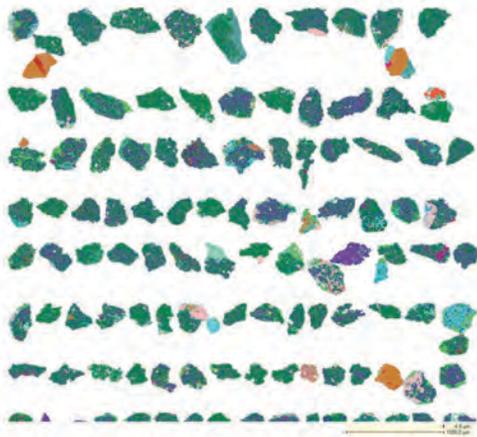
Apatito



Rutilo



## Epidota



## Clorita

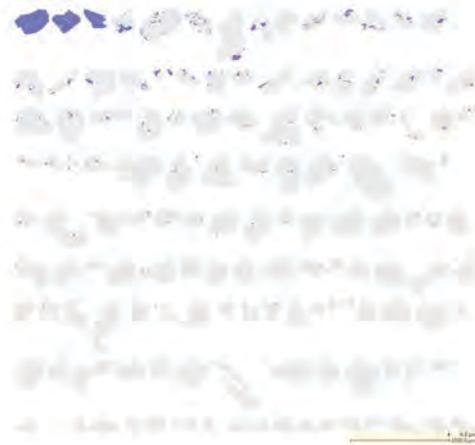
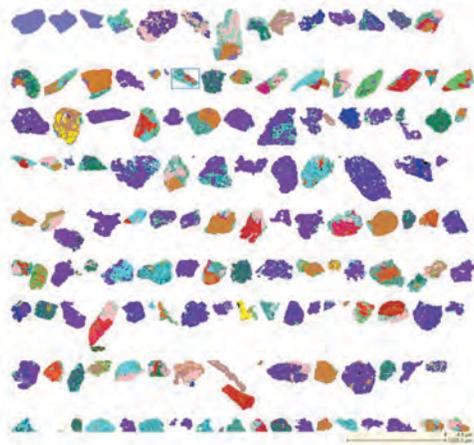


Muestra 4719

Turmalina



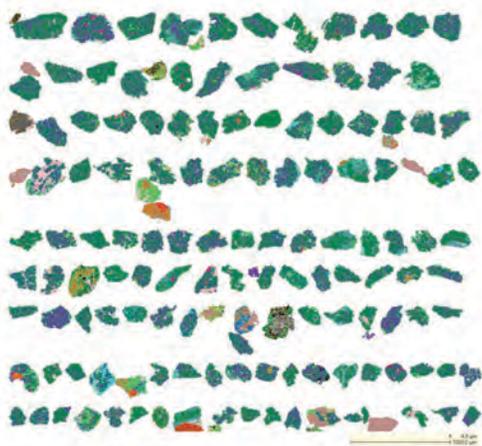
Apatito



Rutilo



Epidota



Clorita

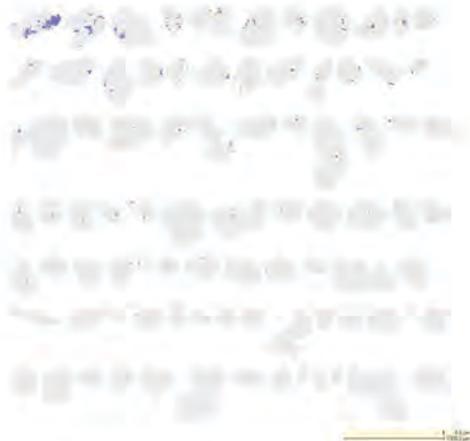


Muestra 4722

Turmalina



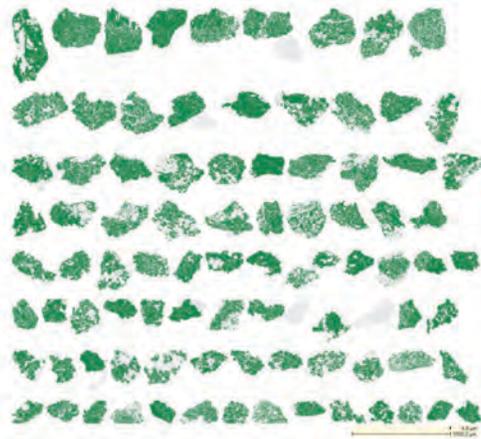
Apatito



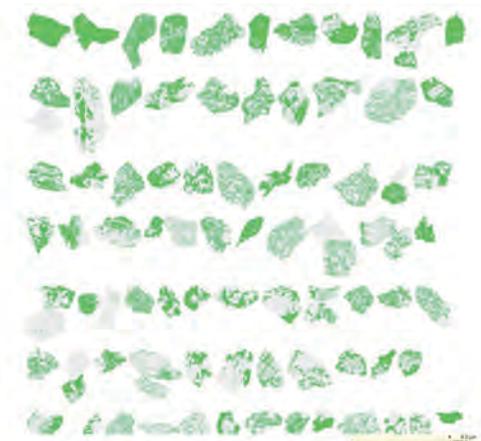
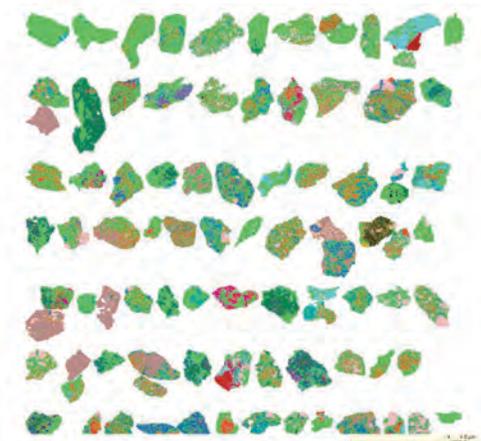
Rutilo



## Epidota



## Clorita

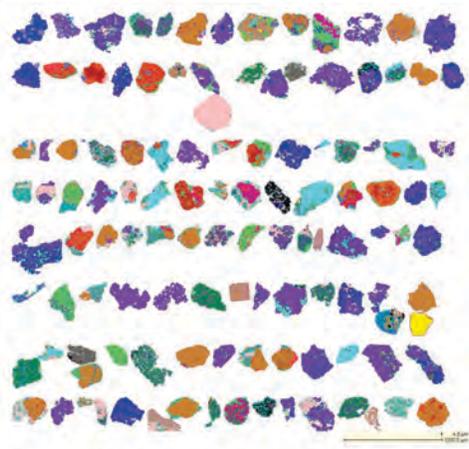


Muestra 4724

Turmalina



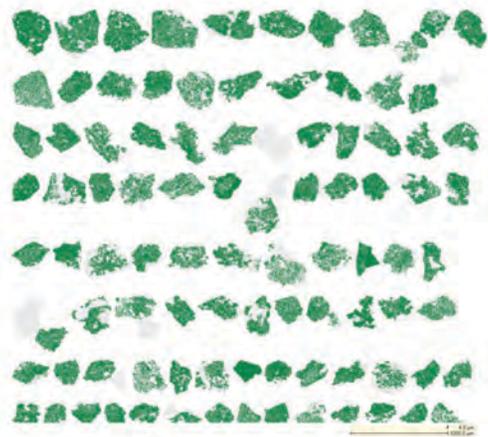
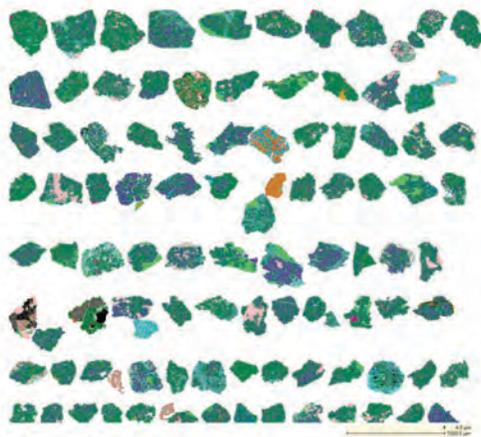
Apatito



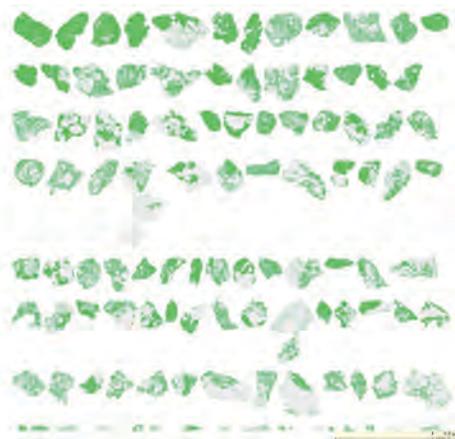
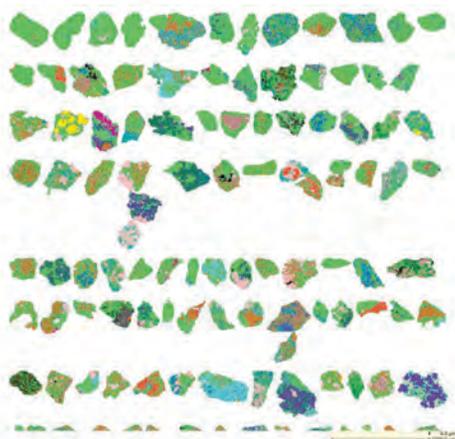
Rutilo



## Epidota

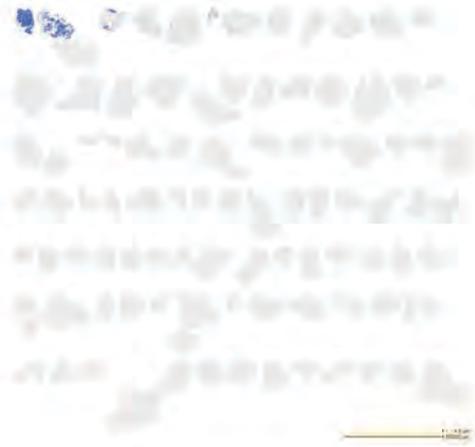


## Clorita



Muestra 4725

## Turmalina



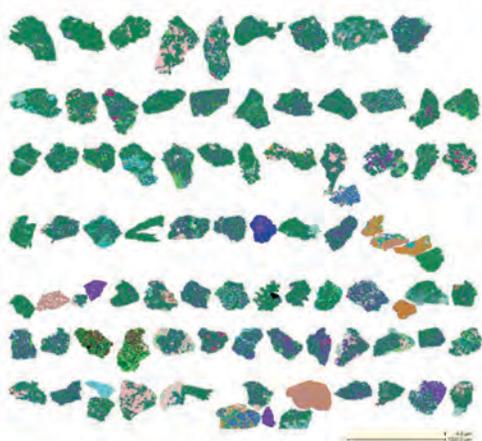
## Apatito



## Rutilo



Epidota

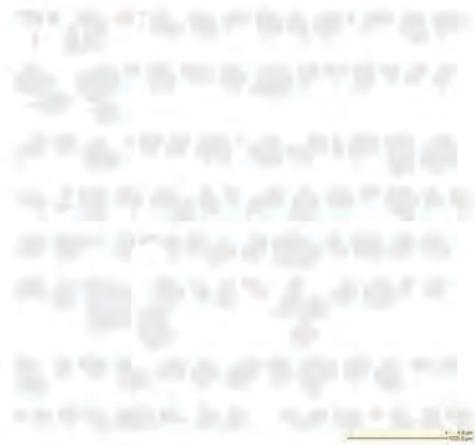
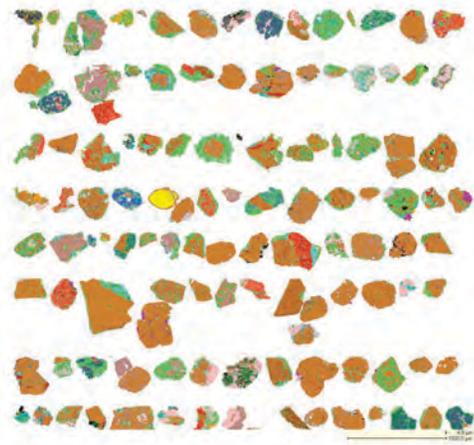


Clorita



Muestra 4726

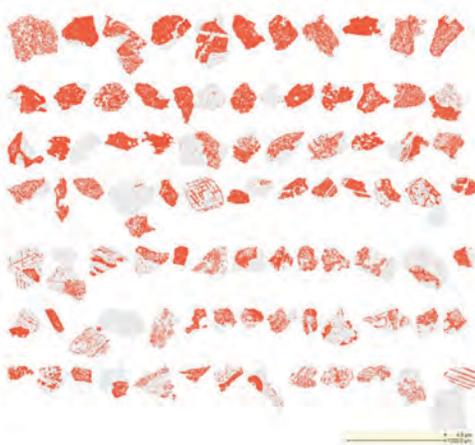
Turmalina



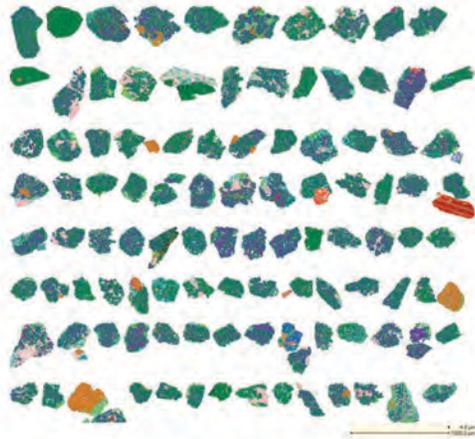
Apatito



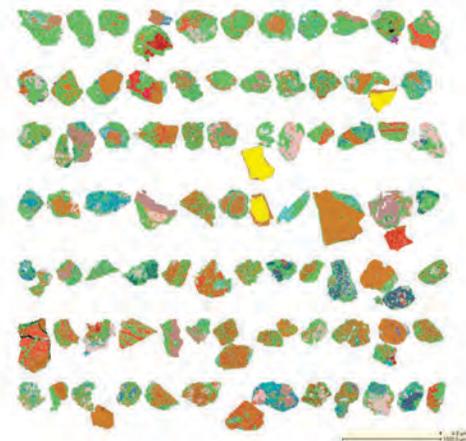
Rutilo



## Epidota



## Clorita



## **7.5. TABLAS DE ASOCIACIONES MINERALES REPORTADOS POR Qemscan®**

