



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**ANÁLISIS GEOLÓGICO-MINERALÓGICO Y QUÍMICO
DE ROCAS REACTIVAS, YACIMIENTO
RÍO BLANCO, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE**

Memoria para optar al Título de Geóloga

Yasna Lorena Contreras Jorquera

Profesor Patrocinante: Dr. Osvaldo Miguel Rabbia Dalmaso
Profesional Guía: MSc. Claudio Rigoberto Martínez Martínez
Profesores Comisión: Dra. Verónica Laura Oliveros Clavijo
MSc. Abraham Elías González Martínez

Concepción, 2018

ÍNDICE

| | Página |
|--|---------------|
| RESUMEN | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. GENERALIDADES | 1 |
| 1.1.1. Antecedentes generales | 1 |
| 1.1.1. Planteamiento del proyecto | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 2 |
| 1.2.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS | 2 |
| 1.4. MÉTODO DE TRABAJO | 3 |
| 1.4.1. Etapa de gabinete I | 3 |
| 1.4.2. Etapa de laboratorio | 4 |
| 1.4.3. Etapa de gabinete II | 4 |
| 1.5. TRABAJOS ANTERIORES | 5 |
| 1.6. AGRADECIMIENTOS | 8 |
| 2. GEOLOGÍA REGIONAL | 9 |
| 2.1. GENERALIDADES | 9 |
| 2.2. ROCAS ESTRATIFICADAS | 10 |
| 2.2.1. Jurásico-Cretácico | 10 |
| 2.2.2. Paleógeno-Neógeno | 11 |
| 2.2.3. Cuaternario | 14 |
| 2.3. ROCAS INTRUSIVAS | 14 |
| 2.3.1. Batolito San Francisco | 14 |
| 2.3.2. Intrusiones Tambillos | 14 |
| 2.3.3. Complejo subvolcánico Río Blanco | 15 |
| 2.4. ESTRUCTURAS | 15 |
| 2.4.1. Sistema de fallas N-S | 16 |
| 2.4.2. Sistema de fallas NW-SE | 16 |
| 2.4.3. Sistema de fallas NE-SW | 16 |
| 3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO | 17 |
| 3.1. GENERALIDADES | 17 |
| 3.2. DESCRIPCIÓN DE CUERPOS MINERALIZADOS | 17 |
| 3.2.1. Sector Río Blanco | 17 |
| 3.2.3. Sector Don Luis | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.3. Sector Sur-Sur | 20 |
| 3.3. UNIDADES LITOLÓGICAS | 20 |
| 3.3.1. Rocas volcánicas | 20 |
| 3.3.2. Rocas intrusivas del batolito San Francisco | 20 |
| 3.3.3. Complejo de brechas hidrotermales | 21 |
| 3.3.4. Stock y filones de pórfido | 24 |
| 3.3.5. Complejo subvolcánico | 25 |
| 3.4. ALTERACIÓN HIDROTERMAL Y MINERALIZACIÓN | 26 |
| 3.5. DOMINIO ESTRUCTURAL | 29 |
| 3.6. GÉNESIS DEL YACIMIENTO | 30 |
| | |
| 4. ROCA REACTIVA | 31 |
| 4.1. DEFINICIÓN | 31 |
| 4.2. REACCIÓN QUÍMICA | 31 |
| 4.3. TEST DE REACTIVIDAD | 33 |
| 4.3.1. Método isotérmico | 33 |
| 4.3.2. Interpretación de los resultados | 34 |
| 4.4. FACTORES QUE INCIDEN EN LA REACTIVIDAD | 35 |
| 4.5. RIESGOS Y PELIGROS EN ROCAS REACTIVAS | 36 |
| 4.5.1. Incidentes de roca reactiva | 37 |
| | |
| 5. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO | 39 |
| 5.1. FUENTES DE INFORMACIÓN | 39 |
| 5.1.1. Muestreo | 39 |
| 5.1.2. Mapeo | 41 |
| 5.1.3. Test de reactividad | 41 |
| 5.1.4. Análisis mineralógico de alta definición | 43 |
| 5.1.5. Análisis geoquímico | 43 |
| 5.1.6. Muestras geometalúrgicas | 44 |
| 5.1.7. Modelo de bloques | 45 |
| 5.1.8. Tipo de roca | 46 |
| 5.2. ALCANCES Y LIMITACIONES | 48 |
| | |
| 6. ANÁLISIS DE VARIABLES | 49 |
| 6.1. VARIABLES DEPENDIENTES | 49 |
| 6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES | 49 |
| 6.3. CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES | 49 |
| | |
| 7. MINERALOGÍA Y REACTIVIDAD | 51 |
| 7.1. GENERALIDADES | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 7.2. DELTA DE TEMPERATURA | 51 |
| 7.2.1. Reactividad potencial | 51 |
| 7.2.2. Otros análisis de correlación | 53 |
| 7.3. TIEMPO DE INDUCCIÓN | 55 |
| 7.3.1. Índice de oxidación-acidez | 59 |
| 7.4. ANÁLISIS DE MUESTRAS PARTICULARES | 60 |
| | |
| 8. GEOQUÍMICA Y REACTIVIDAD | 62 |
| 8.1. GENERALIDADES | 62 |
| 8.2. TEMPERATURA | 62 |
| 8.3. TIEMPO DE INDUCCIÓN | 64 |
| | |
| 9. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS POT. REACTIVAS | 66 |
| 9.1. GENERALIDADES | 66 |
| 9.2. ASOCIACIONES MINERALÓGICAS | 66 |
| 9.3. ESTILOS DE MINERALIZACIÓN | 67 |
| | |
| 10. ZONACIÓN DEL DEPÓSITO | 68 |
| 10.1. GENERALIDADES | 68 |
| 10.2. ZONACIÓN DE LA REACTIVIDAD | 68 |
| 10.2.1. Validación de la reactividad potencial | 68 |
| 10.2.2. Reactividad potencial en el depósito | 68 |
| 10.3. SUB-ZONACIÓN DEL TIEMPO DE INDUCCIÓN | 71 |
| 10.3.1. Validación del tiempo de inducción estimado | 71 |
| 10.3.2. Tiempo de inducción estimado en zonas pot. reactivas | 72 |
| | |
| 11. DISCUSIONES | 75 |
| 11.1. GENERALIDADES | 75 |
| 11.2. TRATAMIENTO DE MUESTRAS | 75 |
| 11.3. TEST DE REACTIVIDAD | 75 |
| 11.3.1. Calefactor en seco | 76 |
| 11.3.2. Discrepancias en medición de ΔT | 77 |
| 11.3.3. Reproducibilidad de los resultados | 78 |
| 11.4. TIEMPO DE INDUCCIÓN | 79 |
| 11.4.1. Estimación de jarosita y caolinita | 79 |
| 11.5. ZONACIÓN DE LA REACTIVIDAD | 79 |
| | |
| 12. CONCLUSIONES | 81 |
| | |
| 13. RECOMENDACIONES | 83 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 14. REFERENCIAS | 85 |
| ANEXO 1 | 91 |
| ANEXO 2 | 94 |
| ANEXO 3 | 98 |
| ANEXO 4 | 110 |
| ANEXO 5 | 126 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|---------------|
| 1. 1. Mapa de ubicación del yacimiento Río Blanco | 3 |
| 2. 1. Ubicación de los grandes pórfidos de cobre de Chile central | 9 |
| 2. 2. Mapa geológico del distrito Río Blanco-Los Bronces | 12 |
| 2. 3. Sistemas de fallas de Chile central en torno al yacimiento Río Blanco | 15 |
| 3. 1. Ubicación de los principales mineralizados del yacimiento | 18 |
| 3. 2. Plano de la litología a la cota 3.236 m s.n.m. del yacimiento | 19 |
| 4. 1. Registro de la temperatura durante el test de reactividad de cuatro muestras del yacimiento | 34 |
| 5. 1. Planta con localización de las muestras según etapa de muestreo | 40 |
| 5. 2. Diagrama del manejo de muestras para efectuar análisis | 41 |
| 5. 3. Planta con la localización de las muestras según reactividad | 42 |
| 5. 4. Secciones tipo con la distribución de la litología, alteración y mineralización en los sectores Río Blanco y Don Luis | 46 |
| 5. 5. Planta del depósito con márgenes del modelo de bloques de pirita | 47 |
| 7. 1. Gráfico de dispersión de ΔT vs. pirita | 53 |
| 7. 2. Gráficos de dispersión de caolinita, molibdenita, yeso-anhidrita y razón jarosita:pirita vs. tiempo de inducción..... | 57 |
| 7. 3. Ecuación del índice de oxidación-acidez | 58 |
| 7. 4. Gráfico de dispersión del tiempo de inducción vs. índice de oxidación-acidez | 59 |
| 8. 1. Gráficos de dispersión entre el azufre, cobalto, hierro y bario vs. el ΔT | 63 |
| 8. 2. Gráficos de dispersión entre el calcio, renio y molibdeno vs. el tiempo de inducción | 65 |
| 9. 1. Gráfico de columnas con la alteración hidrotermal y reactividad potencial de las muestras geometalúrgicas | 67 |

| | | |
|--------|---|----|
| 10. 1. | Vistas en planta del depósito con el proceso de validación espacial de la reactividad potencial | 69 |
| 10. 2. | Secciones del depósito con la localización de las muestras geometalúrgicas, clasificadas según reactividad potencial | 70 |
| 10. 3. | Secciones del depósito con zonación de la reactividad potencial | 70 |
| 10. 4. | Vistas en planta de la litología y alteración hidrotermal del depósito..... | 71 |
| 10. 5. | Vistas en planta del depósito con el proceso de validación espacial del tiempo de inducción estimado | 72 |
| 10. 6. | Secciones del depósito con la localización de las muestras geometalúrgicas potencialmente reactivas, clasificadas según su tiempo de inducción estimado | 73 |
| 10. 7. | Secciones del depósito con zonación de la reactividad potencial y el tiempo de inducción estimado | 74 |
| 11. 1. | Registro de la temperatura de cuatro muestras con distinta temperatura de base, durante el test de reactividad | 76 |
| 11. 2. | Equipamiento empleado durante el test de reactividad | 77 |
| 11. 3. | Registro de la temperatura de dos muestras reactivas durante una primera prueba de reactividad y posterior repetición | 78 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página | |
|--------------|--|----|
| 4. 1. | Etapas de la reacción entre pirita y nitrato de amonio | 32 |
| 5. 1. | Minerales identificados por QEMSCAN® | 44 |
| 5. 2. | Elementos analizados por ICP-MS | 45 |
| 7. 1. | Coefficientes de correlación entre el ΔT y los minerales en las muestras del estudio | 52 |
| 7. 2. | Coefficientes de correlación entre el ΔT y las asociaciones minerales de pirita | 54 |
| 7. 3. | Coefficientes de correlación entre el ΔT y rangos de perímetro libre en las partículas de pirita..... | 55 |
| 7. 4. | Coefficientes de correlación entre el ΔT y rangos de tamaño en las partículas de pirita | 55 |
| 7. 5. | Coefficientes de correlación entre el tiempo de inducción y los minerales en las muestras reactivas | 56 |
| 7. 6. | Estimación del tiempo de inducción en rocas potencialmente reactivas | 60 |
| 8. 1. | Coefficientes de correlación entre el ΔT y la concentración de los elementos en las muestras del estudio..... | 62 |
| 8. 2. | Coefficientes de correlación entre el tiempo de inducción y la concentración de los elementos en las muestras reactivas..... | 64 |

RESUMEN

El yacimiento Río Blanco ubicado en la región de Valparaíso corresponde a un pórfido de cobre-molibdeno formado entre el Mioceno tardío y el Plioceno temprano cuya explotación es llevada a cabo en dos modalidades, subterránea y a rajo abierto.

En la producción minera el uso de explosivos en la operación de tronadura involucra importantes riesgos, derivados de la reacción no deseada entre el explosivo y la roca, fenómeno estudiado hace décadas y que es atribuido a la oxidación de los sulfuros, principalmente de la pirita, por el nitrato de amonio contenido en el explosivo, donde el calor liberado por la reacción puede gatillar una detonación prematura. A estos terrenos o rocas se les denomina reactivos.

Para efectuar una zonación de la reactividad en el depósito, se extraen 89 muestras que se someten a un test de laboratorio diseñado para evaluar esta propiedad en las rocas. La prueba consiste en mantener a temperatura constante una mezcla de la muestra pulverizada con nitrato de amonio, mientras se registra su temperatura durante un tiempo establecido. Si la muestra reacciona y supera en 2°C o más la temperatura de base (55°C), se califica como reactiva y el tiempo que tarda en reaccionar corresponde al tiempo de inducción, indicador del riesgo que representa la roca. Los resultados indican que 18 muestras (~20%) resultaron reactivas.

De las muestras extraídas se seleccionan 53 para análisis mineralógico y químico, con el propósito de reconocer un vínculo entre la composición de la roca y su reactividad. Mediante un análisis de correlación se obtiene que la relación más importante existe entre la moda de pirita y el ΔT , revelando una clara agrupación de las muestras no reactivas para bajos porcentajes de pirita, mientras que las reactivas se asocian a altos porcentajes de pirita. Sobre esta base, se define el concepto de reactividad potencial, con el cual se puede extrapolar la reactividad a las muestras geometalúrgicas, paso necesario para otorgar mayor validez a la zonación del depósito.

Para extrapolar el tiempo de inducción a las muestras geometalúrgicas, se plantea una ecuación que combina el porcentaje de pirita, caolinita y jarosita, como una forma de representar el grado de oxidación de la pirita y el nivel de acidez de la roca, factores composicionales más influyentes en el tiempo de inducción. Esta ecuación solo es válida para las rocas secundarias del depósito, puesto que las rocas primarias, tienen un bajo grado de meteorización, y por ende contenidos mínimos de jarosita y caolinita. Finalmente se establece que las rocas primarias tienen un tiempo de inducción estimado mayor a 85 horas, mientras que las rocas secundarias pueden diferenciarse entre las que tardan menos de 24 horas, de 24 a 48 horas y más de 48 horas en reaccionar.

Antes de definir la zonación del depósito, se realiza una validación espacial de los criterios establecidos, comprobando solo la reactividad potencial, debido a que se carece de muestras reactivas para corroborar el tiempo de inducción estimado. Los resultados de la zonación sugieren que la reactividad potencial se vincula claramente a la distribución de las alteraciones hidrotermales en el depósito. Adicionalmente, se procede con la zonación del tiempo de inducción con el fin de establecer su importancia y definir un procedimiento, en caso que la investigación sea retomada a futuro.

Esta memoria sienta las bases para futuros estudios de reactividad en el depósito, enfatizando en los procedimientos a seguir y las modificaciones que hacen falta para obtener resultados satisfactorios.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

1.1.1. Antecedentes Generales

El yacimiento Río Blanco, ubicado en el distrito Río Blanco-Los Bronces, corresponde a un pórfido gigante de cobre-molibdeno formado en el arco magmático de Chile Central entre el Mioceno tardío y el Plioceno temprano (Deckart y otros, 2005). Reconocido desde 1920 y explotado desde 1970, actualmente es operado por la división Andina de CODELCO-Chile de forma subterránea y a rajo abierto. Internamente es dividido, de norte a sur, en los sectores Río Blanco, Don Luis, Sur-Sur y La Americana (aún no explotado). El sector Don Luis concentra la producción a rajo abierto, mientras que la mina subterránea se sitúa en el área Río Blanco. La sección Sur-Sur fue explotada a rajo abierto y a futuro se considera una extracción subterránea.

Los recursos demostrados de la división, considerando una ley de corte de 0,2% de cobre, son cercanos a 5.000 Mt de mineral con una ley media de 0,7% de cobre y 0,02% de molibdeno (Ferraz, 2017).

El propósito del presente estudio es realizar una zonación del depósito que permita delimitar las áreas con mayor probabilidad de experimentar una reacción exotérmica espontánea al entrar en contacto con los explosivos utilizados en el proceso de tronadura. Para ello se estudia la mineralogía y química de muestras extraídas en el sector Don Luis.

1.1.2. Planteamiento del proyecto

La tronadura constituye una de las primeras operaciones en la producción minera. El uso de explosivos en este procedimiento trae aparejado importantes riesgos afectando la seguridad. Uno de estos es la reacción no deseada entre el explosivo y la roca que se está explotando, causada por la inestabilidad química originada entre los sulfuros, de hierro y cobre principalmente, y el nitrato de amonio (NH_4NO_3), base de la mayoría de los explosivos utilizados en la industria minera.

A pesar de ser un tema desarrollado desde mediados del siglo pasado, aún no se conocen todos los factores que intervienen en la reactividad de una roca y por lo tanto en qué momento y bajo qué condiciones se desencadenará la reacción.

Por otra parte, aunque el resultado de la reacción depende en gran medida de las características de la roca, como su composición química y mineralógica, pocos estudios han abarcado ese aspecto centrándose principalmente en las particularidades que debe tener el explosivo, composicional y estructuralmente, para minimizar las probabilidades de una reacción.

Un incidente de roca reactiva ocurrido en Chile el año 2013, genera la necesidad de conocer la probabilidad de un evento similar en el depósito. Los resultados de las muestras extraídas en las primeras campañas de muestreo arrojan un porcentaje de reactividad cercano al 20%, por lo que se torna imperante identificar, en la medida de lo posible, las zonas de mayor riesgo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Definir el origen de la reactividad en el depósito y su asociación a los eventos de mineralización y alteración hidrotermal, para finalmente, establecer la distribución de las rocas reactivas.

1.2.2. Objetivos Específicos

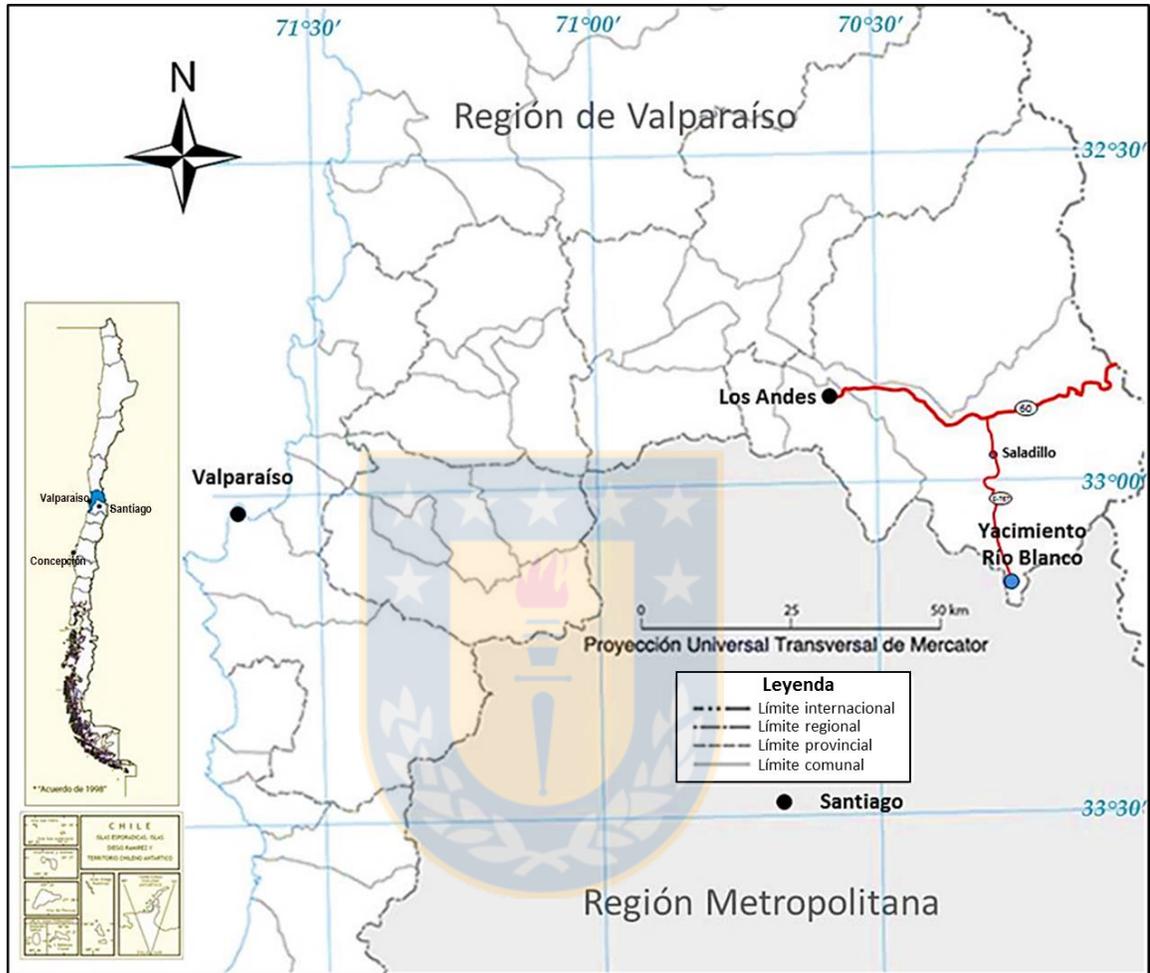
- Caracterizar los estilos de mineralización y asociaciones mineralógicas donde se registren muestras reactivas, con particular énfasis en las altas concentraciones de sulfuros de cobre.
- Identificar un condicionamiento químico y/o mineralógico de la reactividad.
- Comparar zonas reactivas con aquellas no reactivas para proponer una zonación.
- Plantear mejoras en la toma de muestras.
- Identificar limitaciones de la prueba de laboratorio.

1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS

El yacimiento Río Blanco se encuentra ubicado en la Cordillera de los Andes, Región de Valparaíso, aproximadamente a 50 km en línea recta al norte de Santiago y a 47 km al sureste de la ciudad de los Andes, entre los 3.500 y 4.200 m s.n.m. (Figura 1.1.). Sus coordenadas geográficas son 33°08' latitud sur y 70°15' longitud oeste.

El acceso se efectúa a través de la ruta 60, que conecta la ciudad de Los Andes con el Paso Fronterizo Los Libertadores, hasta el kilómetro 35 donde se continúa hacia el sur por la ruta E-767 que conduce al campamento de Saladillo, ubicado a la cota de 1.650 m s.n.m. La mina

subterránea Río Blanco se sitúa a 31 km al sur de Saladillo, a una cota de 3.640 m s.n.m., mientras que a 22 km al sur del campamento se localiza el rajo Don Luis, a una cota de 3.900 m s.n.m.



1.4. MÉTODO DE TRABAJO

1.4.1. Etapa de gabinete I

Se define la metodología a seguir para cumplir con los objetivos planteados.

Primero se realiza una recopilación bibliográfica sobre la temática de rocas reactivas, incluyendo: artículos científicos, memorias o tesis, protocolos e informes internos. Posteriormente, se efectúa un catastro de las campañas de muestreo efectuadas para este estudio, clarificando el número de

muestras extraídas en cada etapa, la identificación de cada muestra y sus datos de mapeo. Estos antecedentes más los resultados del test de reactividad, ejecutados por la empresa Orica Chile S.A., son organizados en una hoja de cálculo. La información anterior es extraída desde gestores de la base de datos interna.

Debido a que no existe un protocolo formal de muestreo para el estudio de rocas reactivas en la división, se investiga la metodología diseñada y empleada en cada campaña, así como las razones de las modificaciones efectuadas durante la marcha.

Finalmente, se seleccionan 53 de las 89 muestras extraídas en el rajo Don Luis y se envían los rechazos a SGS S.A para un análisis mineralógico de alta definición mediante QEMSCAN® (*Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning electron microscopy*). Los resultados son compilados en una nueva hoja de cálculo donde se resume el contenido mineralógico de cada muestra. Más tarde se envían los rechazos entregados por SGS S.A. a análisis geoquímico, por técnica ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*), a cargo de CESMEC S.A. y al igual que con la mineralogía, se compilan los resultados para cada muestra.

1.4.2. Etapa de laboratorio

Se inicia el proceso de interpretación de los resultados de reactividad, mineralógicos y químicos con la ayuda de softwares computacionales. Se utiliza Excel 2010 para confeccionar tablas de datos, realizar cálculos y gráficas. Para visualizar los datos y efectuar un procesamiento estadístico de la información se emplea el programa STATISTICA 7. De esa forma se establecen, preliminarmente, las variables que podrían condicionar la reactividad del depósito.

1.4.3. Etapa de gabinete II

El bajo número de muestras limitadas al sector Don Luis impide desarrollar una zonación apropiada, por lo que se decide utilizar la base de muestras geometalúrgicas, que es considerablemente mayor, y que está ampliamente extendida en el depósito y posee análisis tanto mineralógico como químico ejecutados con QEMSCAN® e ICP-MS, respectivamente. Por lo tanto, se procede a extraer desde el servidor los compilados mineralógicos y químicos en formato Excel.

Las variables que se suponen condicionantes de la reactividad, permiten definir una reactividad

potencial aplicable a las muestras geometalúrgicas. El paso siguiente es validar espacialmente los criterios que definen la reactividad potencial, empleando el software Vulcan versión 8.1.4, lo que se logra comparando las muestras geometalúrgicas con las muestras del estudio, cuya reactividad ya está determinada. El mismo procedimiento se aplica para validar el tiempo de inducción potencial.

Luego de validar los criterios de la reactividad potencial, se emplea el modelo de bloques de pirita para realizar la zonación correspondiente. Por otra parte, a pesar de que no se pueden validar los principios supuestos que regirían el tiempo de inducción, debido al bajo número de muestras reactivas, se decide plantear una metodología para presentar la zonación de la reactividad en conjunto con el tiempo de inducción, con el fin de sugerir una forma más precisa de exhibir el riesgo de roca reactiva en el depósito.

Finalmente se analizan y discuten los resultados, junto con sus posibles implicancias. Se suman análisis bibliográficos complementarios, conduciendo a la redacción de la memoria de título.

1.5. TRABAJOS ANTERIORES

La geología del yacimiento Río Blanco ha sido ampliamente estudiada, sin embargo, ninguno de los trabajos menciona o estudia las rocas reactivas en el depósito. Esta memoria es pionera en la investigación de las causas de la reactividad en el yacimiento Río Blanco y de su relación con la geología local.

Aunque los estudios en Chile sean escasos, sucesos de rocas reactivas, que implican detonación prematura y deflagración (combustión con llama a baja velocidad de propagación, sin explosión) de cargas explosivas, han sido estudiados y reportados en varios lugares del mundo.

Los primeros trabajos se centran en estudiar la química del proceso e identificar sustancias que fomentan la reactividad de aquellas que disminuyen su efecto o bien lo inhiben, con el propósito de prevenir futuros incidentes (ej.: **Lukaszewski, 1968; Forshey y otros, 1968; y Miron y otros, 1979**). Coinciden en que los sulfuros y el nitrato de amonio son los reactantes fundamentales que gatillan la reacción exotérmica, siendo la pirita el sulfuro de mayor efecto por su gran facilidad para oxidarse. Además, señalan que el ácido sulfúrico y el sulfato de hierro (II), ambos productos de la oxidación natural de la pirita, aumentan la tasa de la reacción mientras que compuestos

básicos como la urea, carbonato de calcio, óxido de zinc y óxido de magnesio tienen el efecto contrario, es decir, reducen la velocidad de la reacción.

El primer mecanismo de interacción entre los sulfuros y el nitrato de amonio es propuesto por **Rumball (1991)** (en Gunawan y otros, 2006), utilizando un calorímetro para reproducir la reacción entre una muestra de lutita meteorizada con alto contenido de pirita y nitrato de amonio. Posteriormente esta reacción es modificada por **Minor (1992)** y **Tunaley (1999)** (en Briggs y Kelso, 2002) y se caracteriza por tres etapas principales donde la formación de especies catalizadoras permite que se sustente en el tiempo. **Gunawan y otros (2006)** experimentan calentando una mezcla de nitrato de amonio puro y nódulos de pirita en presencia de aire. Al medir la transferencia de calor y masa durante la reacción, identifican que la fusión del nitrato de amonio puro ocurre a 170°C, momento en que inicia su descomposición, mientras que la pirita es oxidada por nitrato de amonio a aproximadamente 200°C de manera exotérmica. Posteriormente, **Gunawan y Zhang (2009)** estudian la estabilidad térmica del nitrato de amonio en ausencia y presencia de pirita, por medio del cálculo de la temperatura crítica de este material definida como la temperatura mínima a la cual un material específico de una determinada forma y tamaño comienza a calentarse de manera espontánea sin necesidad de una fuente de calor externo. Evidencian que la presencia de pirita reduce la temperatura crítica y acelera la tasa de descomposición del nitrato de amonio. Adicionalmente, identifican que un aumento en el diámetro del pozo de tronadura también provoca una disminución de la temperatura crítica del nitrato de amonio.

A pesar de la complejidad de la reacción entre el nitrato de amonio y la pirita, los autores concuerdan en la importancia de ciertas especies ácidas para su inicio y desarrollo. En tal sentido, **Sun y otros (2005)** evalúan el efecto catalítico del ácido sulfúrico y del ácido clorhídrico en la descomposición del nitrato de amonio. Como resultado obtienen que, aunque estos no afectan el orden ni los productos de la reacción de descomposición, sí provocan una disminución de la energía de activación necesaria para desencadenarla, reflejándose en una reducción de la temperatura en que inicia la descomposición del nitrato de amonio.

El ion hierro (III), analizado por **Xu y otros (2010)**, también juega un rol fundamental en la estabilidad térmica del nitrato de amonio. Estudian la temperatura crítica de descomposición del nitrato de amonio puro y de la matriz de una emulsión explosiva, en presencia y ausencia de

iones hierro (III). En ambas pruebas, se obtiene que el ion actúa como catalizador acelerando la descomposición del nitrato de amonio puro y de la matriz, disminuyendo la temperatura de inicio de la reacción en 60,16°C y 30, 33°C respectivamente.

Con el objetivo de encontrar materiales que disminuyan la explosividad del nitrato de amonio, **Oxley y otros (2002)** experimentan comparando la temperatura a la que se produce el máximo exotérmico del compuesto puro, es decir la detonación, y la de su mezcla con otra sustancia. A partir de patrones de descomposición del nitrato de amonio, a bajas temperaturas (<290°C), sugieren que aditivos ácidos lo desestabilizan mientras que los básicos tienen el efecto contrario. Comprueban que los haluros, a excepción de los fluoruros, desestabilizan termalmente al nitrato de amonio, siendo los cloruros los que disminuyen en mayor grado su temperatura de detonación (326°C), en alrededor de 70°C. Por otra parte, concluyen que la mayoría de las sales inorgánicas del tipo sulfato, fosfato o carbonato en conjunto con cationes de sodio, potasio, amonio o calcio, aumentan el máximo exotérmico del nitrato de amonio. Indican que los carbonatos tienen un efecto estabilizante mayor al resto y que en combinación con calcio la temperatura del máximo exotérmico puede incrementar hasta en 100°C.

La electroquímica también juega un rol en la reacción, **Mehta y Murr (1983)** examinaron varias parejas galvánicas, incluyendo calcopirita, esfalerita y galena en contacto con pirita, para investigar el efecto de la interacción galvánica en la tasa de la lixiviación bacteriana en calcopirita y esfalerita. Observan que mientras mayor es la cantidad de pirita en contacto con los sulfuros mencionados, la velocidad de la lixiviación del mineral unido también se incrementa. Explican este fenómeno por medio del potencial estándar de reducción de cada mineral, aquellos sulfuros metálicos con mayor potencial estándar de reducción actúan como cátodos mientras que los que tienen menor potencial actúan como ánodos. De esa manera la pirita (0,63 V) en contacto con esfalerita (-0,24 V), calcopirita (0,52 V) o galena (0,28 V) ocuparía el papel de cátodo reduciendo su reactividad. Un análisis similar fue realizado por **Cruz y otros (2000)** quienes midieron la reactividad de piritas provenientes de distintos depósitos para luego a partir de análisis mineralógicos y químicos averiguar la razón por la cual cada una exhibía distintas respuestas. Advirtieron que aquellas piritas que no están en contacto con otras fases de sulfuros son más reactivas que las que sí lo están, lo que es atribuido a las interacciones galvánicas entre los minerales y que pudo corroborarse mediante un examen de la superficie mineral, sumado a la

identificación de variaciones composicionales experimentadas por el electrolito, medio para la transferencia de cargas, durante el procedimiento electroquímico.

Los terrenos o rocas reactivas implican un alto riesgo para la seguridad de las personas que trabajan en el procedimiento de tronadura. ORICA Chile S.A., proveedores de explosivos en división Andina, pertenece al Grupo Industrial Australiano de Seguridad en Explosivos (AEISG, *Australian Explosives Industry and Safety Group*) cuyos miembros adoptan códigos de práctica para el beneficio de sus empleados, clientes y de la comunidad en general. El código de práctica sobre terrenos de temperatura elevada y/o reactivos delinea en términos generales como se originan estos fenómenos y los riesgos asociados. Respecto a los riesgos, entrega recomendaciones sobre su evaluación y manejo, así como del tratamiento de fallos y detonaciones prematuras.

1.6. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la División Andina de CODELCO por permitirme efectuar mi Memoria de Título y a los integrantes de la Superintendencia de Geología por integrarme y darme su apoyo. En especial a Ricardo Vargas por enseñarme y asistirme en parte importante del trabajo, a Juan José Verdugo por darme la oportunidad y confianza de continuar con la investigación y al área de Geometalurgia por proporcionarme sus conocimientos, trabajo, compañerismo, comprensión, y sobre todo por ayudarme a confiar en mis habilidades. En particular, a Claudio Martínez por su paciencia y disposición, a César Bustos por sus consejos, a Francisco Marín y David Jamett por su preocupación y amabilidad.

De igual forma, agradezco al profesor Osvaldo Rabbia por su orientación durante el trabajo.

Finalmente, agradezco a mi familia por su cariño, paciencia y confianza, animándome siempre a superar mis temores.

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1. GENERALIDADES

El yacimiento Río Blanco se ubica en un sector de transición entre dos segmentos distintos del margen de subducción andino. Al sur del depósito se reconoce la Zona Volcánica Sur, asociada a una subducción de alto ángulo en conjunto con un volcanismo activo. En cambio, el segmento norte se caracteriza por una subducción de bajo ángulo (*flat slab*) y la ausencia de volcanismo (Figura 2.1.; Serrano y otros, 1996 y Kay y otros, 1999). Esta zona de transición coincide con la subducción de la dorsal de Juan Fernández bajo la placa continental, hecho que según algunos autores habría generado las condiciones adecuadas para la formación de los grandes pórfidos de Cu-Mo (Yañez y otros, 2002).

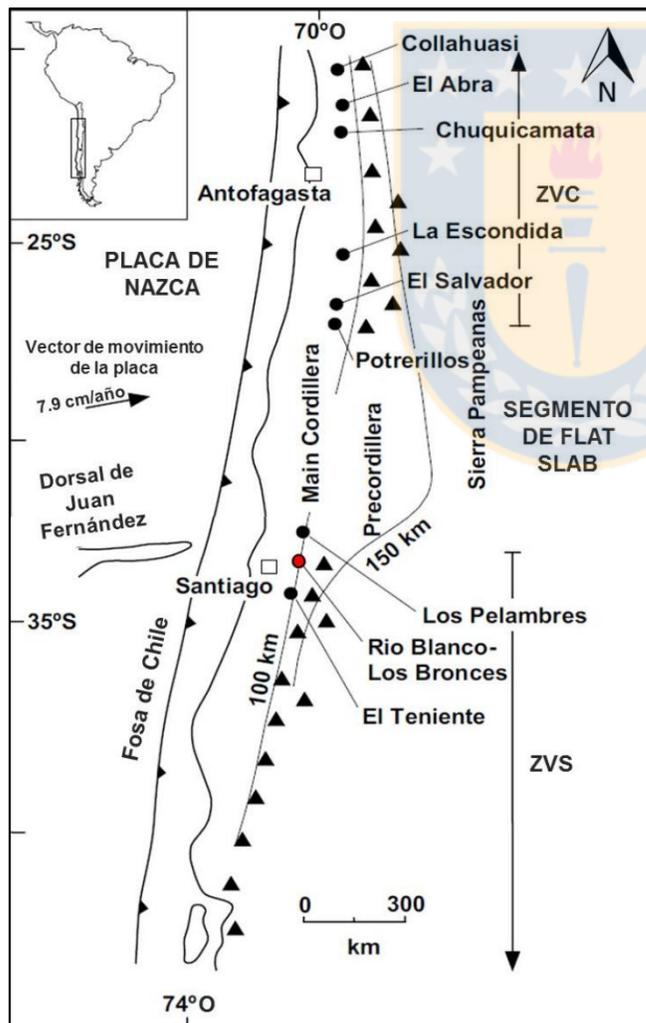


Figura 2.1.

Ubicación de los grandes pórfidos de cobre de Chile central (círculos) y volcanes activos (triángulos), en relación con la zona de *flat slab* y la dorsal de Juan Fernández. Modificado de Serrano y otros (1996).

En los Andes de Chile central las rocas Terciarias más antiguas equivalen a una sucesión volcánica (andesitas a andesitas basálticas) y volcanoclástica de edad Eoceno tardío a Mioceno temprano (~34-22 Ma; Piquer y otros, 2015) depositada en una cuenca extensional de intra-arco, correspondiente a las formaciones Los Pelambres, Abanico y Coya Machalí (Toro y otros, 2012). Durante el Mioceno temprano a Mioceno medio (~22,7-10,7 Ma; Piquer y otros, 2015) rocas volcánicas de composición andesítica a riolítica, agrupadas en la Formación Farellones, se depositan en la parte occidental de la Cordillera Principal. Esta formación sería contemporánea a un cambio en el régimen tectónico, de extensivo a compresivo, suceso que genera el plegamiento de la Formación Abanico y la inversión tectónica de la cuenca (Jara y Charrier, 2014 en Marín, 2016; Piquer y otros, 2015). Durante el Mioceno medio a tardío (16,4-8,4 Ma) estas unidades son intruidas por plutones de composición predominantemente granodiorítica (Batolito San Francisco; Toro y otros, 2012), seguido por el emplazamiento de pórfidos subvolcánicos y brechas hidrotermales (7-4 Ma; Deckart y otros, 2013 en Piquer y otros, 2015), los cuales están espacial y genéticamente relacionados con la mineralización de Cu-Mo en el distrito Río Blanco-Los Bronces (Vargas y otros, 1999).

2.2. ROCAS ESTRATIFICADAS

2.2.1. Jurásico - Cretácico

Las rocas estratificadas más antiguas del área de estudio son de edad jurásica y corresponden a la unidad Yeso Principal y la Formación Río Damas (Figura 2.2.; Frikken, 2003). La **unidad Yeso Principal** se compone de capas de yeso grueso, que corresponderían a depósitos estratiformes de evaporitas (Rivano, 1996). Thiele (1980) agrupa estos depósitos en la Formación Río Colina, definida por González (1963), los cuales afloran en forma discontinua en la parte más oriental de la “Hoja Santiago”. La **Formación Río Damas** sobreyace a la unidad Yeso Principal y fue definida por Klohn (1960) como una secuencia continental que abarca desde lutitas a conglomerados, además de capas de yeso y, en menor medida, intercalaciones volcánicas (Rivano, 1996). De acuerdo a Thiele (1980), la base de esta formación es concordante con la Formación Río Colina y su techo con la Formación Lo Valdés. Sobre la base de sus relaciones de contacto, este mismo autor le asigna una edad kimmeridgiana.

Durante el Cretácico Inferior se deposita, superponiéndose a la Formación Río Damas, una secuencia sedimentaria marina con intercalaciones andesíticas denominada **Formación San José**

(Figura 2.2.; Rivano, 1996). Las facies sedimentarias de esta formación consisten en calizas fosilíferas, calcilutitas, calcarenitas, lutitas, conglomerados y, en menor grado, yeso (Rivano, 1996). Los fósiles incluyen a pelecípodos, cefalópodos y gastrópodos, indicativos de un ambiente marino somero. Thiele (1980), en la “Hoja Santiago”, atribuye estos depósitos a la Formación Lo Valdés, definida por González (1963) quien le asigna un rango de edad Titoniano a Valanginiano. Por su parte, la **Formación Cristo Redentor** (Figura 2.2.) sobreyace a la Formación San José y está compuesta por areniscas calcáreas rojas, conglomerados y lentes con contenido de yeso y/o estromatolitos, pertenecientes a una facies transicional continental (Rivano, 1996). Esta unidad se asemeja a la Formación Colimapu, identificada por Thiele (1980) en el sector sur oriental de la “Hoja Santiago” y definida por Klohn (1960) como “conjunto sedimentario de origen terrestre” que infrayace concordante a la Formación Abanico y que se superpone igualmente, pero en transición paulatina a los estratos de la Formación Lo Valdés. Thiele (1980) le asigna una edad mínima abiana y una edad máxima hauteriviana en base a sus relaciones de contacto.

2.2.2. Paleógeno - Neógeno

Formación Abanico, definida por Aguirre (1960), en la provincia de Aconcagua, como una “secuencia de volcanitas y sedimentitas clásticas terrígenas de colores gris pardo y púrpura rojogrisáceo”. Por otro lado, Thiele (1980) la describe como una secuencia constituida por tobas y brechas volcánicas intercaladas con lavas (andesitas y riolitas) y sedimentitas clásticas, predominando en la parte inferior las brechas y tobas, mientras que en sección superior dominan las sedimentitas clásticas compuestas por areniscas, lutitas y limos finamente estratificados.

Esta formación aflora en las laderas este y oeste del valle Río Blanco, colocándose en contacto con las rocas de la Formación Farellones a lo largo de una franja Norte-Sur. Su base es concordante con la Formación Colimapu y su techo se encuentra en discordancia angular con la Formación Farellones. Se le ha asignado un espesor tentativo de 3.160 m (Aguirre, 1960; Thiele, 1980), mientras que Moscoso y otros (1982) estiman unos 5.000 m. Rivano (1996) reconoce una continuidad areal, con identidad de facies y continuidad estructural entre la Formación Los Pelambres, identificada en el sector sur de la Hoja Quillota-Portillo, y la Formación Abanico.

Sobre la base de las relaciones estratigráficas, Thiele (1980) le asigna a la formación una edad en el rango Cretácico Superior a Paleógeno inferior; sin embargo, dataciones recientes (U-Pb en circón) le han asignado una edad Eoceno superior a Mioceno inferior (Jara y Charrier, 2014).

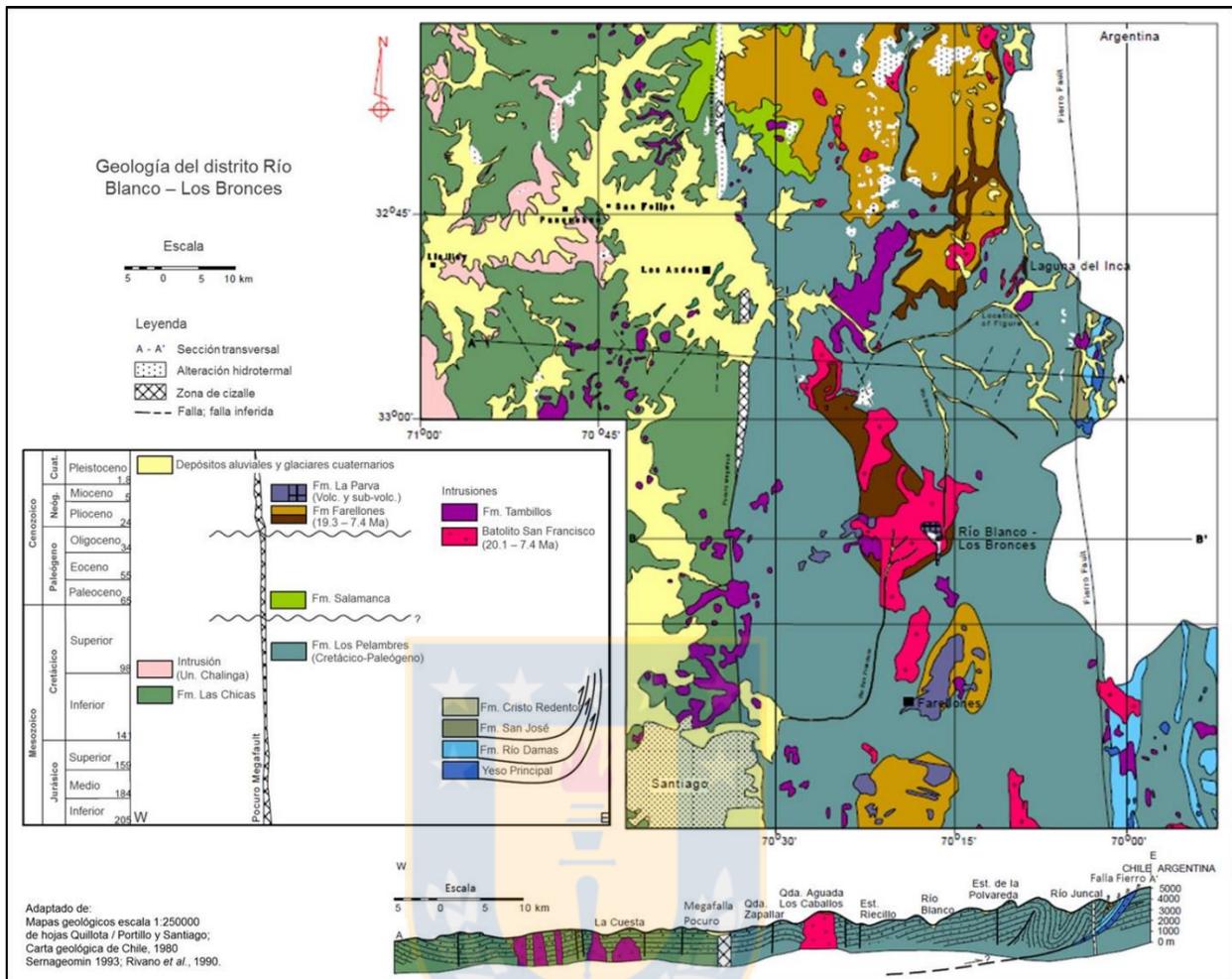


Figura 2.2. Mapa geológico del distrito Río Blanco-Los Bronces (Frikken, 2003).

La depositación de esta formación habría ocurrido en una cuenca de intra arco, en ambiente extensional con volcanismo activo, la que luego habría sido invertida en un proceso compresivo entre los 21 y 26 Ma (Charrier y otros, 2002). Este evento contraccional se habría producido sin interrupción del volcanismo, cuyos productos se han asignado a la Formación Farellones del Mioceno medio a superior (Klohn, 1960 en Jara y Charrier, 2014).

Formación Farellones, definida por Klohn (1960 en Thiele, 1980) como “una potente unidad constituida por sedimentitas clásticas terrígenas, lavas andesíticas, riolíticas, basálticas y rocas piroclásticas que alternan con sedimentos derivados de la descomposición de las rocas efusivas”, separándola en tres miembros: Tuquito (inferior), Guanaco (medio) y Buitre (superior). Posteriormente, Thiele (1980) propone asignar a la parte superior de la unidad como una

formación independiente, dándole el nombre de Formación Colorado-La Parva. Sin embargo, más recientemente Rivano y otros (1990) plantean una redefinición utilizando una nueva sección estratigráfica expuesta en el cerro La Gloria, al norte del valle del Río Aconcagua. Según estos autores la Formación Farellones es una secuencia continental en la que es posible diferenciar únicamente dos miembros. El miembro inferior, con un espesor aproximado de 300 m, se compone de tobas e ignimbritas riolíticas con intercalaciones delgadas de volcanitas, cuya edad se encuentra entre los 15-18 Ma de acuerdo a dataciones radiométricas (Rivano y otros, 1990). Por su parte, el miembro superior tiene una potencia estimada de 1.500 m y consiste predominantemente en lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones de tobas y aglomerados andesíticos. Dataciones K-Ar, le asignan al miembro superior edades que van desde los 14,4 a los 7,4 Ma (Kay y Kurtz, 1995 en Frikken, 2003; Rivano y otros, 1990).

El lapso de tiempo representado por la Formación Farellones corresponde a un período de actividad volcánica iniciado, a lo menos, hace 20 Ma y concluido hace unos 7 Ma (Rivano, 1996). De este modo, se le asigna una edad miocena concordante con las edades citadas para la formación en la Hoja Santiago (Thiele, 1980).

Los estratos de la formación se presentan horizontales a sub-horizontales con un leve manteo ($<15^\circ$), separándose de las formaciones subyacentes por una discordancia angular (Figura 2.2. Vergara y otros, 1988 en Frikken, 2003). Esta discordancia marca el fin de un período de deformación, alzamiento y erosión que afectó a la región durante el Oligoceno tardío a Mioceno temprano (Warnaars y otros, 1985).

Formación Colorado-La Parva, definida por Thiele (1980) como un conjunto de rocas constituidas por pórfidos riolíticos, en estructuras tipo domos y cuellos volcánicos, vinculados a flujos de lavas, tobas y brechas de composición traquítica, andesítica, dacítica y riolítica. Además, también se consideran pertenecientes a esta unidad todos los cuerpos volcánicos y subvolcánicos que cortan a la Formación Farellones.

Cerca de los centros de emisión las rocas estratificadas se sobreponen en discordancia angular leve con la Formación Farellones. Por otra parte, su techo corresponde a la superficie de erosión actual. Dataciones K-Ar en biotitas indican un rango de edad de 4,9 a 3,9 Ma para la formación, equivalente a la época pliocena (Rivano y otros, 1985).

Para el caso del área del yacimiento Río Blanco, los cuerpos subvolcánicos y volcánicos pertenecientes a la Formación Río Blanco (Stambuk y otros, 1985), como Pórfido Don Luis y Chimenea Dacítica, pueden asignarse a la Formación Colorado-La Parva (Thiele, 1980 en Frikken, 2003).

2.2.3. Cuaternario

Depósitos no consolidados, correspondientes a los depósitos fluviales, fluvio-glaciares y aluviales del Cuaternario, se presentan rellenando la depresión central en el borde occidental de la Hoja Santiago y los valles interiores. Estos sedimentos están constituidos por fragmentos de rocas mal seleccionados, cuyo tamaño varía desde bloques y gravas, a arenas, limos y arcillas (Thiele, 1980).

Por otro lado, existen depósitos glaciares que se presentan como relleno en prácticamente todas las cabeceras de los esteros sobre la cota de 2.500 m s.n.m. Corresponden a morrenas marginales de material clástico grueso (detritos volcánicos y volcanoclásticos) y acumulaciones de detritos provenientes de glaciares de alta montaña (Verdugo, 2001).

2.3. ROCAS INTRUSIVAS

2.3.1. Batolito San Francisco

Franja miocena de batolitos calco-alcalinos, plutones y diques que intruyen las lavas y depósitos volcanoclásticos de la Zona Volcánica Sur en la Cordillera Principal. Esta unidad agrupa a los intrusivos más antiguos del área, cubriendo un área de 200 km² en las vecindades del yacimiento Río Blanco (Figura 2.2.; Serrano y otros, 1996).

En el sector, la unidad se compone de múltiples plutones elongados con dirección Norte-Sur, que intruyen a las formaciones Abanico y Farellones (Warnaars y otros, 1985). El batolito contiene granitoides de distintas texturas y composiciones, principalmente dioritas, dioritas cuarcíferas, granodioritas, monzonitas cuarcíferas, dioritas cuarzo-monzoníticas y, de forma subordinada, sienitas cuarcíferas y diques aplíticos (Skewes y Holmgren, 1993). Dataciones U-Pb en zircones detríticos indican edades de $16,4 \pm 0,2$ a $8,4 \pm 0,2$ Ma para estas rocas (Toro y otros, 2012).

2.3.2. Intrusiones Tambillos

Conjunto de intrusiones expuestas en una franja limitada al oeste por las Intrusiones Chalinga y al

este por el Batolito San Francisco (Figura 2.2.). La unidad está constituida predominantemente por pórfidos dacíticos leucocráticos, de un característico color blanco en sus afloramientos (Rivano, 1996). Según dataciones K-Ar, los cuerpos se emplazaron durante el Mioceno tardío, entre los 9,8 y 6,5 Ma (Rivano, 1996).

2.3.3. Complejo subvolcánico Río Blanco

Emplazado durante el Plioceno, es volumétricamente menor que el Batolito San Francisco e incluye monzodioritas, monzonitas, pórfidos cuarzo-feldespáticos, pórfidos dacíticos, dacitas, riodacitas y riolitas (Rivano, 1996). Se encuentra íntimamente vinculado con la mineralización de Cu-Mo en el distrito Río Blanco-Los Bronces y, de acuerdo a dataciones K-Ar, se emplazó entre los 5,2 y 3,9 Ma (Serrano y otros, 1996).

2.4. ESTRUCTURAS

La zona central de Chile se divide en tres dominios estructurales subparalelos de orientación Norte-Sur (Figura 2.3.), denominados costero, central y cordillerano (Rivano, 1996). El dominio costero se extiende desde la línea de costa hasta los 71°W , el dominio central, desde los 71° a $70^{\circ}30'\text{W}$ y el dominio cordillerano, desde los $70^{\circ}30'\text{W}$ hasta el límite con Argentina. Los anteriores, son afectados por sistemas de fallas cuyas orientaciones preferenciales son NS, NW-SE y NE-SW, las que se reconocen a escala regional, distrital y en el yacimiento.



Figura 2.3. Sistemas de fallas de Chile central en torno al yacimiento Río Blanco (Frikken, 2003).

2.4.1. Sistema de fallas N-S

Sistema bien representado en los dominios cordillerano y central, siendo su mayor expresión la megafalla de Pocuro (Figura 2.3.) de manteo vertical, cuya zona de sutura marca el límite entre ambos dominios (Rivano, 1996). Es posible seguir la traza de esta falla desde los 31° a los 34°S, constituyendo una zona de falla de tipo extensiva, con un complejo desarrollo de fracturamiento, lo que se traduce en una serie de fallas menores de rumbo casi paralelo a la estructura mayor, además de fallas conjugadas. Su ancho varía entre los 5.000 a 2.000 m y, en algunos sectores, alcanza su máximo bordeando los 6.000 m.

2.4.2. Sistema de fallas NW-SE

Presente en todos los dominios estructurales, aunque con mayor intensidad en el dominio central donde un acortamiento progresivo de la corteza ha provocado el desarrollo de un sistema de fallas NW-SE entre San Felipe y Llaillay (Figura 2.3.). Por otra parte, la frecuencia de fracturas NW-SE se intensifica en las mismas áreas donde se observan lineamientos NE-SW, indicando una asociación entre ambas. En conjunción con el sistema de fallas NE-SW descrito posteriormente, este sistema corta a todas las unidades litológicas del yacimiento Río Blanco (Rivano, 1996).

2.4.3. Sistema de fallas NE-SW

Al igual que el sistema anterior, se reconoce en los tres dominios estructurales. Este sistema de fallas es el de menor importancia manifestándose, principalmente, como fallas conjugadas asociadas a los otros dos sistemas. De la misma manera que el sistema NW-SE, corta a todas las unidades del yacimiento Río Blanco (Marín, 2016).

3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

3.1. GENERALIDADES

El distrito Río Blanco-Los Bronces, localizado en la franja metalogénica del Mioceno tardío al Plioceno temprano, equivale a una de las mayores concentraciones de Cu en el mundo (Toro y otros, 2012). Aunque Río Blanco y Los Bronces forman parte del mismo sistema hidrotermal, son yacimientos explotados por distintas compañías, división Andina de CODELCO-Chile y la filial Sur Andes de Anglo American respectivamente. En Los Bronces se explotan dos cuerpos mineralizados principales denominados Donoso e Infiernillo, mientras que, en el sector Río Blanco, se reconocen tres cuerpos mineralizados fundamentales llamados Río Blanco, Don Luis y Sur Sur (Figura 3.1.). Adicionalmente, exploraciones recientes han permitido identificar nuevos recursos geológicos en las áreas de San Enrique-Monolito (Anglo American) y La Americana (CODELCO) (Marín, 2016; Figura 3.1.).

Los cuerpos mineralizados del yacimiento Río Blanco se distribuyen en una franja de orientación NNW, de 6 km de longitud aproximadamente, ancho que varía entre 250 m a 2 km y en dirección vertical una columna mineralizada conocida de alrededor de 2 km.

La secuencia evolutiva en conjunto con las etapas de alteración y mineralización identificadas en el yacimiento, indican que su origen está ligado a múltiples eventos que involucran la generación de brechas magmático-hidrotermales, el emplazamiento de cuerpos porfídicos, el desarrollo de vetillas tipo *stockwork* y la intrusión de cuerpos subvolcánicos (Stambuk y otros, 1985; Serrano y otros, 1996).

3.2. DESCRIPCIÓN DE CUERPOS MINERALIZADOS

3.2.1. Sector Río Blanco

Ubicado en el extremo Norte del yacimiento, corresponde a un cuerpo mineralizado elongado en dirección N30°W, de aproximadamente 1.500 m de largo y entre 250 a 800 m de ancho, con extensión en la vertical de aproximadamente 1.400 m (Figura 3.2.). Parte de este sector se explota subterráneamente mediante un sistema de hundimiento de bloques o *block caving*, desde la cota 3.225 m s.n.m.

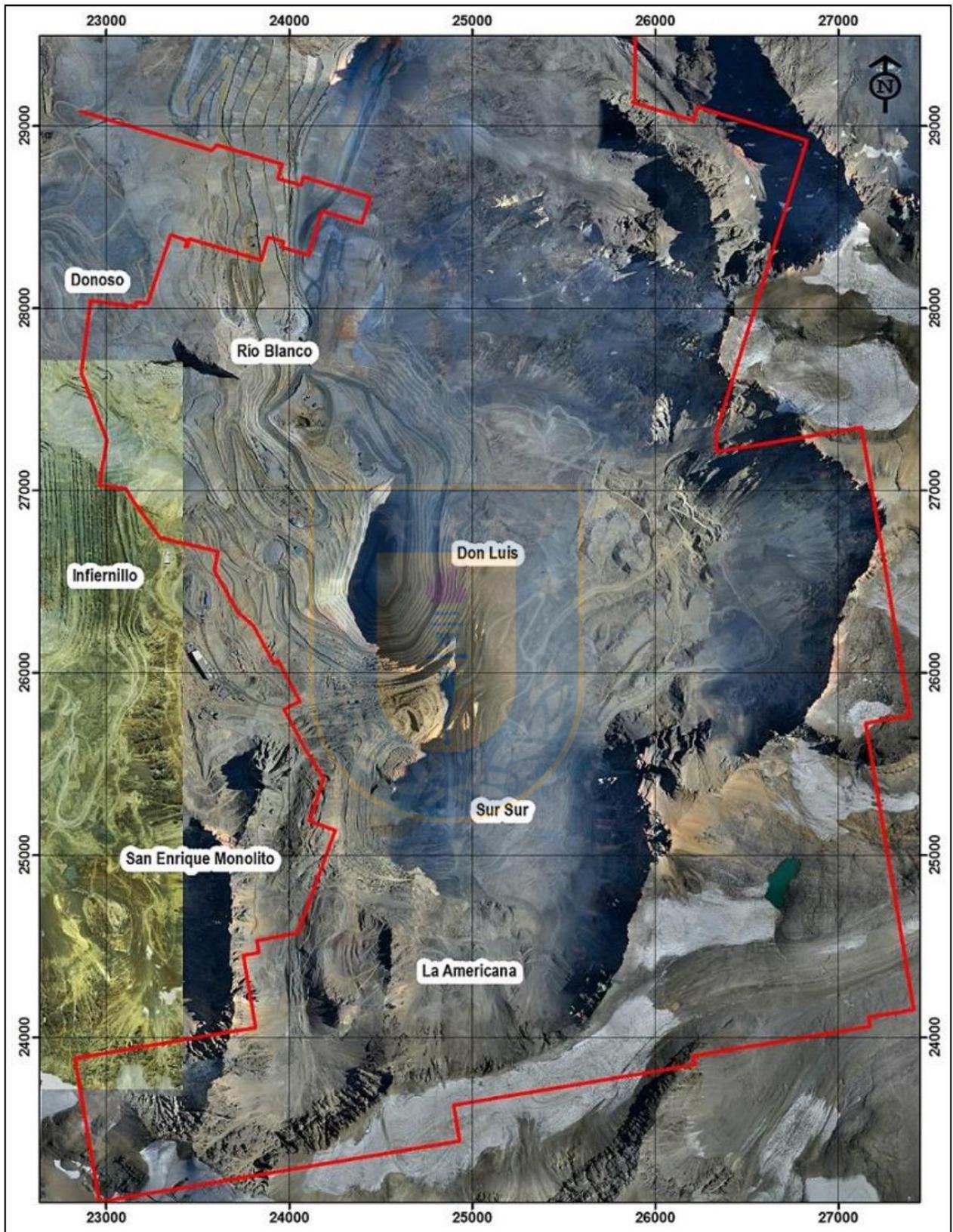


Figura 3.1. Ubicación de principales cuerpos mineralizados del yacimiento (Ferraz, 2014 en Marín, 2016). Línea roja corresponde al límite de la propiedad minera de CODELCO.

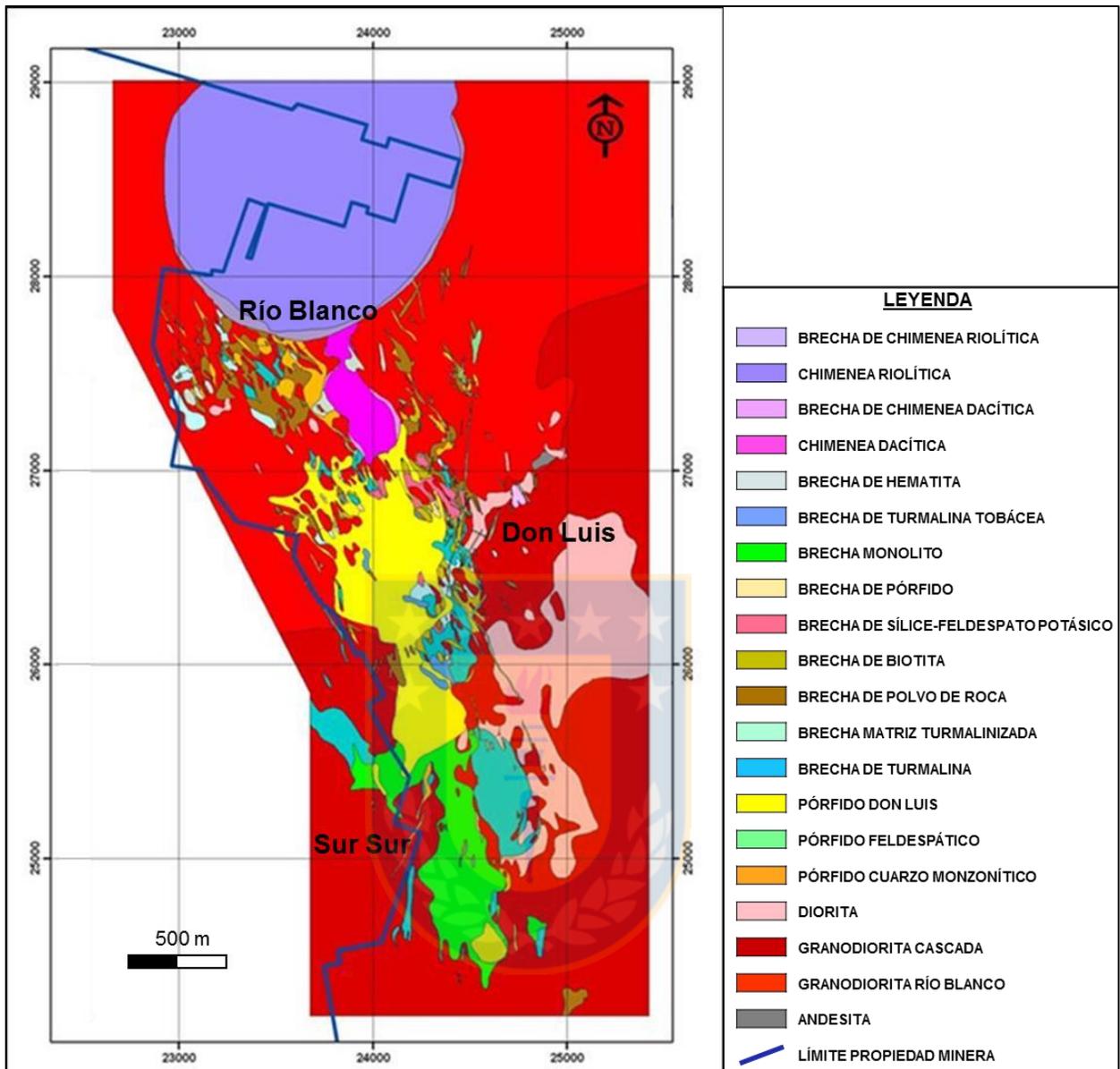


Figura 3.2. Plano de litología a la cota 3.236 m s.n.m., yacimiento Río Blanco (Ferraz, 2017).

3.2.2. Sector Don Luis

Situado en la parte central del yacimiento (Figura 3.2.) su explotación se desarrolla a rajo abierto. Comprende una extensa zona que abarca 2.000 m en dirección NS, con un ancho que varía entre 600 y 800 m. La mineralización se reconoce desde la superficie (3.800 m s.n.m.) hasta más abajo del nivel 30 (2.520 m s.n.m.), constituyendo una columna mineralizada que bordea los 1.300 m.

3.2.3. Sector Sur-Sur

Se encuentra en el extremo Sur del yacimiento en una franja de orientación NS (Figura 3.2.), cuyos cuerpos mineralizados, principalmente brechas, se explotaron a rajo abierto y a futuro se considera explotación subterránea. En la actualidad el sector es empleado como botadero del material extraído en el rajo Don Luis. Las unidades de brechas han sido reconocidas por aproximadamente 1.200 m de largo en el sentido principal y cerca de 400 m de ancho, con una extensión vertical de 1.400 m.

3.3. UNIDADES LITOLÓGICAS

3.3.1. Rocas Volcánicas

Andesita (AND). Distribuida en el centro y sur del yacimiento, forma parte de la Formación Farellones representada en el sector por andesitas y tobas riolíticas de edades U-Pb de $17,2 \pm 0,05$ Ma (Deckart y otros, 2005). Es la unidad más antigua del yacimiento, hospedando a los intrusivos del Batolito San Francisco y a los complejos subvolcánicos posteriores.

Petrográficamente se caracteriza por presentar una textura afanítica a porfídica, de color gris oscuro a negro con fenocristales exclusivamente de plagioclasa del tipo andesita-labradorita y escasos máficos, como anfíbol y piroxeno. Se encuentra parcial a totalmente alterada a cuarzo-sericita, biotita, clorita y/o epidota (Serrano y otros, 1996).

3.3.2. Rocas Intrusivas del Batolito San Francisco

Las rocas intrusivas expuestas corresponden a granodioritas, monzonitas cuarcíferas, tonalitas y dioritas cuarcíferas pertenecientes al Batolito San Francisco (Stambuk y otros, 1982; Serrano y otros, 1996).

Granodiorita Río Blanco (GDRB). Roca de edad $11,96 \pm 0,04$ Ma (Deckart y otros, 2005), se caracteriza por poseer una textura fanerítica de grano grueso a medio y color gris rosáceo, con cristales mayores a 3 mm y una composición que varía desde granodiorita a monzodiorita cuarcífera (Suazo, 2010). Una muestra representativa se compone de cristales tabulares euhedrales de plagioclasa (49-54%), cuarzo (14-23%) y feldespato potásico (17-21%), además de biotita y anfíbol como minerales máficos dominantes (Salinero, 2004). Se ubica en el sector Río Blanco y en la parte norte del sector Don Luis (Figura 3.2.), cubierta por rocas de la Formación

Farellones y truncada hacia el Este por la Chimenea Dacítica (CHDAC; Stambuk y otros, 1985). Presenta asociaciones mineralógicas relacionadas a la alteración potásica, a zonas mineralizadas de tipo diseminado y a vetillas de tipo *stockwork* (Serrano y otros, 1996).

Diorita (DIOR). Se reconoce en el sector sureste del yacimiento conformando cuerpos de roca profundos, que disminuyen volumétricamente en el sector Don Luis (Suazo, 2014). La unidad se interpreta como un plutón de emplazamiento tardío, dentro del Batolito San Francisco, estrechamente relacionado con la Granodiorita Cascada (GDCC; Suazo, 2014). Posee una edad de cristalización de $8,76 \pm 0,23$ Ma mediante U-Pb en zircones (Solé y otros, 2014). Corresponde a una roca de textura alotriomórfica de grano fino (1-2 mm) cuya composición varía entre diorita propiamente tal y diorita cuarcífera. Es de color gris verdoso y se compone de plagioclasa (70-75%), cuarzo (0-10%), biotita (5-7%), anfíbol (6-10%) y feldespato potásico (<4%; Suazo, 2010). La variedad de grano fino está biotitizada y posee más cuarzo tanto primario como secundario.

Granodiorita Cascada (GDCC). De edad $8,40 \pm 0,23$ Ma (Deckart y otros, 2005), es una roca de textura fanerítica comúnmente inequigranular cuya composición varía entre granodiorita, tonalita, diorita cuarcífera a monzodiorita. Se diferencia de GDRB por tener una granulometría más fina (0,5-2,5 mm promedio), en conjunto con una mayor proporción de plagioclasas (55-65%) y menor contenido de feldespato potásico (7-18%), por otra parte, la relación de cuarzo (12-22%), biotita (4-6%) y anfíbol (2-5%) es similar (Suazo, 2010). Se manifiesta por primera vez en el sector Don Luis intruyendo a GDRB, aumentando su dominio de manera gradual hacia el sector Sur-Sur, donde hospeda a los pórfidos y brechas hidrotermales del lugar (Salinero, 2004). Localmente presenta alteración propilítica, que se manifiesta por la presencia de clorita y epidota en vetillas y diseminado, además, se identifican pequeñas zonas de alteración potásica evidenciada por la presencia de feldespato potásico intersticial en vetillas (Stambuk y otros, 1985).

3.3.3. Complejo de brechas hidrotermales

Existen dos complejos de brechas definidos por Vergara y Latorre (1984), éstas se desarrollan en la parte superior del pórfido cuprífero y se conocen como Complejo de brechas Río Blanco y Complejo de brechas Sur-Sur.

El Complejo de brechas Río Blanco se ubica en el sector del mismo nombre (Figura 3.2.) y se compone de múltiples brechas mineralizadas hospedadas en la GDRB y en la AND (Serrano y otros, 1996). En este complejo se han reconocido los siguientes tipos de brecha: de turmalina, de biotita, de polvo de roca, de sílice-feldespatos potásico y de anhidrita.

Por otra parte, el Complejo de brechas Sur-Sur agrupa a las brechas que afloran en el sector homónimo en una franja elongada de orientación N10-30°W y más de 5 km de longitud (Figura 3.2.; Serrano y otros, 1996). Se caracterizan por evidenciar contactos abruptos y nítidos por más de 1.000 m bajo la superficie actual (Serrano y otros, 1996). El conjunto de brechas se habría formado a partir de múltiples pulsos de brechización, constatados por las numerosas relaciones de corte entre ellas (Vargas y otros, 1999). Conformando este complejo se hallan las brechas denominadas: de turmalina, tobácea, de hematita, monolito y de turmalina tobácea.

Brecha de Turmalina (BxT). Posee una edad de 5,1-5,3 Ma (Serrano y otros, 1996) y se ubica tanto en la parte central del sector Río Blanco, con una extensión aproximada de 300 x 150 m en dirección N27°W y en la vertical se prolonga entre los 3.900 y 3.450 m s.n.m. (Stambuk y otros, 1982), como en el sector Sur-Sur hospedada por la GDCC (Figura 3.2.), donde presenta un alto grado de mineralización de cobre. Corresponde a una brecha comúnmente monomítica con clastos mayoritariamente de granitoides y, en menor medida, de pórfidos dacíticos. La matriz está compuesta principalmente por agregados aciculares o radiales de cristales prismáticos de turmalina, además de cantidades subordinadas de cuarzo (como cemento), biotita, anhidrita y magnetita. Los clastos son angulosos a subangulosos y presentan una zonación característica de alteración albíta-feldespatos potásico en los bordes, pasando a biotita verde hacia el centro (Suazo, 2010).

Brecha de Biotita (BxB). Brecha monomítica o polimítica según se encuentre afectando eventos de brechización anteriores. Normalmente presenta clastos de granitoides afectados por biotitización selectiva, aunque también es común la presencia de clastos de granitoides craquelados por turmalina o BxT propiamente tal. La matriz está formada por biotita fina de coloración pardo-verdosa, asociada a turmalina de hábito prismático y polvo de roca, el cual puede estar recristalizado. La mineralización reconocida en esta unidad es de carácter hipógena, con asociaciones calcopirita-bornita y de ocurrencia preferentemente diseminada (Suazo, 2010). Se reconoce en todo el yacimiento, aunque en los sectores Río Blanco y Don Luis su origen está

ligado a una recristalización tardimagmática de la Brecha Polvo de Roca (BxPr; Ferraz, 2014 en Marín, 2016).

Brecha de Polvo de Roca (BxPr). Se reconoce en el sector Río Blanco y Don Luis cortando al Pórfido de igual nombre (PDL; Figura 3.2.). Esta unidad se identifica por la dominancia del material clástico en la matriz, el que proviene de la trituración de la roca afectada por el fenómeno de brechización, y que consiste en un agregado clástico fino (<3mm) de plagioclasas, cuarzo, feldespato potásico y menor biotita. También se encuentran dentro de la matriz, en proporciones variables de un sector a otro, biotita hidrotermal, turmalina, cuarzo y/o feldespato potásico recristalizados, anhidrita y magnetita. Estas brechas pueden ser monomíticas a polimíticas, con clastos de granulometría y forma variables, abarcando litologías como granitoides, pórfidos dacíticos, andesitas, y brechas de turmalina, entre otras (Suazo, 2010).

Brecha de Sílice-Feldespato Potásico (BxSK). Brecha presente en los sectores Río Blanco y Don Luis, como el producto final de los fluidos que originaron la BxPr (Ferraz, 2014 en Marín, 2016). Se caracteriza por tener feldespato potásico y cuarzo como componentes principales de la matriz, en forma de un agregado cristalino fino. La matriz también puede contener cantidades apreciables de albita, biotita y anhidrita. Es generalmente polimítica, destacándose clastos de granitoides, pórfidos dacíticos y brechas de turmalina. La alteración de los clastos está estrechamente ligada a la matriz, siendo común que posean alteraciones de feldespato potásico y biotita (Suazo, 2010).

Brecha de Anhidrita (BxAnh). Ubicada en el sector Río Blanco, corresponde a una brecha monomítica o polimítica cuando se presenta sobreimpuesta a otros eventos. Se compone de clastos de granitoides, pórfidos y brechas preexistentes, mientras que la matriz se constituye de abundante feldespato potásico y albita. La anhidrita actúa como cemento que rellena completamente los espacios entre los clastos, o bien, se canaliza por la matriz de los clastos de antiguos eventos de brechización (Suazo, 2010).

Brecha Tobácea (BxTo). Se manifiesta como un cuerpo elongado de orientación NS en el centro del grupo de brechas presentes en Sur-Sur (Figura 3.2.). Equivale a una brecha polimítica compuesta de clastos de andesita, pórfidos dacíticos y andesíticos, granitoides y rocas volcanoclásticas. La matriz está conformada de polvo de roca, cuarzo y cantidades menores de carbonatos, turmalina, biotita y magnetita (Suazo, 2010). En los clastos predomina una alteración

a sericitas, arcillas, carbonatos y limonitas. Su grado de mineralización es bajo, pero en las cercanías del contacto con la BxT evidencia altas concentraciones de cobre y molibdeno (Stambuk y otros, 1985).

Brecha Monolito (BxMN). Identificada en el flanco oeste del sector Sur-Sur (Figura 3.2.), constituye una roca estéril en concentraciones de cobre y molibdeno (Stambuk y otros, 1985). Esta unidad se encuentra cloritizada, otorgándole un color gris verdoso característico (Vargas y otros, 1999). Presenta clastos redondeados andesíticos y dioríticos en una matriz conformada principalmente por polvo de roca y en menor medida biotita, clorita, feldespato y turmalina (Suazo, 2014).

Brecha de Turmalina Tobácea (BxTTo). Aflora como un cuerpo elongado de orientación NS en el sector Sur-Sur (Figura 3.2.). Presenta una composición y aspecto similar a BxTo, pero se diferencia por contener turmalina como un componente importante en su matriz, además de polvo de roca que forma la mayor parte de ésta. Los clastos son de diversa composición, al igual que BxTo, pero destacan aquellos de pórfido dacítico y granitoide (Suazo, 2010). Contiene proporciones muy inferiores de sulfuros de cobre y hierro (Stambuk y otros, 1985).

3.3.4. Stock y filones de pórfido

Pórfido Cuarzo-monzonítico (PQM). Se presenta como diques subverticales de orientación N27°W que intruyen a la GDRB (Serrano y otros, 1996). Posee una edad de $7,12 \pm 0,19$ Ma, determinada a partir del método U-Pb en zircones (Solé y otros, 2014). Corresponde a un pórfido de composición dacítica formado por un 45-70% de fenocristales de tamaño variable (0,7-5 mm) consistentes en plagioclasa (40-50%), cuarzo (3-8%), máficos como biotita y ocasionalmente anfíbol (2-7%) y feldespato potásico (0-3%). Por su parte, la masa fundamental corresponde a un agregado felsítico de tamaño variable (0,1-0,3 mm) compuesto mayoritariamente por cuarzo y feldespato potásico, mientras que la plagioclasa se encuentra en cantidades variables (3-15%; Suazo, 2010). Se observan vetillas con halo de alteración cuarzo-sericítico y, con menor frecuencia, de feldespato potásico (Serrano y otros, 1996).

Pórfido Feldespático (PFELD). Se identifica en la parte occidental del sector Don Luis como cuerpos filonianos subverticales, con orientaciones N20-30°W, intruyendo a las unidades GDCC y BxT, con potencias variables entre 5 y 40 m (Blondel, 1980 en Salinero, 2004). La edad

asignada según análisis U-Pb en zircones es de $5,47 \pm 0,01$ Ma (Solé y otros, 2014). Al igual que PQM, es un pórfido de composición dacítica, pero de textura “más abierta” formado por un 25-40% de fenocristales de tamaño variable (0,5-4,5 mm) constituidos por plagioclasa (23-30%), cuarzo (1-4%), feldespatos potásicos (0-5%) y biotita (1-3%); la masa fundamental se compone de un agregado cristalino de plagioclasa en forma dominante y un agregado de cuarzo-feldespatos en los intersticios (Suazo, 2010).

3.3.5. Complejo subvolcánico

Complejo compuesto por tres intrusiones tardías co-magmáticas, las cuales son prácticamente estériles en relación a la mineralización de cobre y molibdeno (Frikken, 2003). Las intrusiones ocurrieron de forma progresiva hacia el norte del sistema, a medida que el complejo evolucionaba (Stambuk y otros, 1985).

Actualmente, se suele agrupar a las dos últimas intrusiones en el complejo subvolcánico La Copa (Toro y otros, 2012), que hace referencia a la diatrema situada en el sector del mismo nombre, el que a su vez abarca el extremo noroccidental del yacimiento (Figura 3.2.).

Pórfido Don Luis (PDL). Esta unidad conforma un *stock* elongado de dirección NS, que se distribuye desde el sector Río Blanco hasta la porción noroccidental de Sur-Sur, truncando los complejos de brechas (Stambuk y otros, 1985). Posee una edad que varía entre $5,23 \pm 0,07$ Ma y $5,0 \pm 0,1$ Ma (Toro y otros, 2012). Corresponde a un pórfido dacítico con textura “pseudofragmental”, apreciándose numerosos cristales “quebrados” y fenocristales con bordes de reacción o embahiamientos. Se compone de un 35-55% de fenocristales de tamaño variable (0,5-7 mm), consistentes fundamentalmente en plagioclasa (20-40%), cuarzo (7-15%), feldespatos potásicos (2-5%) y biotita (2-4%). La masa fundamental consiste en un agregado cristalino muy fino, formado por un intercrecimiento de cuarzo y feldespatos potásicos (Suazo, 2010).

Chimenea Dacítica (CHDAC). Unidad con forma de cono invertido que se ubica al Este del sector Río Blanco (Figura 3.2.), en sus bordes desarrolla una brecha de contacto definida como Brecha de Chimenea Dacítica (BXCHDAC). Dataciones en zircones indican su edad en $4,92 \pm 0,09$ Ma (Deckart y otros, 2005). Litológicamente consiste en una “toba cristalina dacítica” conformada principalmente por cristales de plagioclasa y cuarzo, y menor proporción feldespatos potásicos y biotita, los cuales tienen tamaños variables entre 0,2-7 mm. De composición similar a

PDL, se diferencia por su textura tobácea y una matriz conformada por ceniza muy fina, vidrio (desvitrificado) y fragmentos criptocristalinos, con abundante presencia de esquirilas desvitrificadas o alteradas a carbonatos y arcillas (Suazo, 2010).

Chimenea Riolítica (CHRIOL). Aflora al Norte del yacimiento como un cuerpo circular constituido por múltiples intrusiones félsicas (Figura 3.2.; Stambuk y otros, 1982). En su borde desarrolla una brecha de contacto denominada Brecha de Chimenea Riolítica (BXCHRIOL). Dataciones U-Pb revelan que su edad es de $4,5 \pm 0,20$ Ma (Bertens y Hermosilla, 2011). Litológicamente constituye una toba, que según el tamaño de sus componentes puede variar entre una “toba de lapilli” y una “toba de ceniza”, mientras que por el tipo de fragmento dominante se clasifica como una toba cristalina de composición dacítica. Los cristales (75-80%) son de plagioclasa, cuarzo, biotita y feldespatos potásico, estos dos últimos en menor cantidad, el resto de la roca corresponde a ceniza (Suazo, 2010).

3.4. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y MINERALIZACIÓN

El modelo de alteración desarrollado en el yacimiento tiene como objetivo principal discriminar entre zonas con contenidos altos, intermedios y bajos de sulfuros (Díaz y Solé, 2014). Para ello, se definen asociaciones de alteración que agrupan minerales, tanto metálicos como no metálicos, formados contemporáneamente bajo las mismas condiciones termodinámicas (Seedorff y Einaudi, 2004 en Díaz y Solé, 2014). Cada asociación mineralógica de alteración se nombra en función del mineral de mayor abundancia o representativo, distinguiendo además si corresponde a una alteración de fondo (textura original preservada) o pervasiva (textura original obliterada).

Asociación Biotítica de Fondo (FBt). Comprende la biotitización de los minerales máficos primarios en rocas ígneas, en distintos grados de intensidad, además de la presencia ocasional de sistemas de vetillas con halo biotítico, tipos “EB” y “A”, o con halo de feldespatos potásico muy fino. Estos sistemas de vetillas no alcanzan a desarrollar *stockworks* y tienen bajo contenido de sulfuros. La mineralización de sulfuros en esta asociación es de calcopirita, menor pirita y puntualmente bornita, presentes junto a rutilo y magnetita. Se ubica cercana al núcleo del depósito, en el sector Río Blanco, y afecta mayoritariamente a GDRB, GDCC, DIOR y AND (Díaz y Solé, 2014).

Asociación Biotita-Clorita de Fondo (FBt-CI). Similar la alteración FBt, los minerales máficos

primarios de la roca son parcialmente reemplazados por biotita secundaria, aunque en menor intensidad y en asociación con clorita. La mineralización, conformada por calcopirita y pirita, se presenta principalmente en guías de biotita y en conjuntos de vetillas. Este tipo de alteración es transicional entre el ambiente de FBT y el de Fondo Clorita-Epidota, donde la biotitización de los minerales máficos es gradualmente subordinada por el reemplazo de clorita hacia zonas periféricas, en paralelo a una disminución de calcopirita a favor de pirita (Suazo, 2010; Díaz y Solé, 2014).

Asociación Clorita-Epidota de Fondo (FCI-Ep). Contemporánea con la alteración potásica de fondo, en las porciones más externas del sistema se forman zonas de alteración dominadas por mineralogías de menor temperatura como clorita y epidota, con minerales accesorios tales como albita, magnetita, rutilo y, ocasionalmente, actinolita-tremolita. Esta asociación de minerales puede ser considerada como un fondo propilítico, aunque de menor desarrollo. La alteración a clorita de los minerales máficos formadores de roca se desarrolla en forma selectiva preservando las características primarias de los cristales originales. La mineralización es de bajo contenido de sulfuros comprendiendo principalmente pirita diseminada y localmente pirita relacionada a vetillas tipos “C” y “EBT” (Díaz y Solé, 2014).

Asociación Biotítica Penetrativa (Bt-Fk). Alteración pervasiva temprana originada a partir de un evento potásico tardimagmático, que se caracteriza por un alto contenido de biotita en estabilidad con feldespato potásico, anhidrita, magnetita, cuarzo, sericita, sericita verde y corindón. Esta asociación se encuentra principalmente como matriz o cemento en brechas, en vetillas tipo “EB-EBT” y en cúmulos alterando totalmente los máficos de la roca. La mena ocurre esencialmente en forma diseminada, incluyendo calcopirita, con menor bornita, tennantita y pirita escasa o ausente (Díaz y Solé, 2014).

Asociación Feldespato Potásico Penetrativa (Fk-Bt). Se caracteriza por la asociación de feldespato potásico, cuarzo, albita, biotita, sericita, anhidrita, magnetita y sericita verde, la que se encuentra principalmente como matriz o cemento de brechas, en vetillas tipo “A” y tipos “EB-EBT” y como reemplazo total de plagioclasa por feldespato potásico \pm biotita en conjunto con máficos biotitizados. En menor medida, también se observa en los bordes de los clastos que componen a la BxSK y en el centro de los clastos en brechas con matriz de turmalina. La mena de esta asociación es esencialmente calcopirita, comúnmente con presencia de bornita, tennantita

y molibdenita, mientras la pirita es escasa o ausente (Díaz y Solé, 2014).

Asociación Sericita Gris Verde Penetrativa (SGV). Esta asociación es una de las principales del yacimiento y la que aporta el mayor contenido de mineralización. Se manifiesta en rocas de caja granodioríticas, brechas y pórfidos, agrupando a minerales esencialmente del tipo filosilicatos como micas verdes (fengita y celadonita) y sericita propiamente tal (muscovítica). La sericita de esta asociación tiende a ser más gruesa que la de la asociación cuarzo-sericita (Díaz y Solé, 2014). Se presenta a través de vetillas tipo “C”, caracterizadas por un relleno de cuarzo-calcopirita y un halo de fengita-celadonita con abundante calcopirita en conjunto con menor pirita y bornita (Suazo, 2014). Este evento varía de fuerte, moderado a débil desde el centro hacia la periferia del yacimiento, lo que es acompañado de un aumento en la proporción de pirita (Solé y otros, 2014).

Asociación Sericita Gris (SG). Esta asociación se aprecia en zonas donde coexiste la alteración SGV con la alteración cuarzo sericítica (QS). Se caracteriza por la presencia de una sericita con tono gris a gris verde “deslavado”, en conjunto a sericita blanca y abundante pirita (Marín, 2016). Ocurre como halos destructivos de sericita gris en vetillas tipo “C”, afectando principalmente a las unidades intrusivas y en menor medida a brechas de polvo de roca y de turmalina. La mineralización es siempre pirita dominante, con calcopirita menor o ausente y, en ocasiones, contenido variable de sulfosales de cobre (Solé y otros, 2014; Marín, 2016).

Asociación Cuarzo-Sericita Penetrativa (QS). Se presenta en las partes someras del yacimiento como una alteración hidrotermal tardía, vinculada a los tres sistemas estructurales principales del yacimiento (NW, NE y EW; Solé y otros, 2014). Definida esencialmente por la presencia de cuarzo e illita-sericita (sericita de aspecto sucio y grano muy fino), con cantidades variables de arcillas (caolinita y esmectitas), carbonatos y yeso. Su manifiesta principalmente como halos parcialmente destructivos en vetillas tipo “D” y “E”, también se encuentra como reemplazo de la matriz de polvo de roca en las brechas, alteración de los clastos de brechas o como alteración pervasiva en granitoides y pórfidos. La mena de esta alteración es esencialmente pirita, con menor calcopirita, además de sulfosales de cobre, esfalerita y galena (Suazo, 2010; Díaz y Solé, 2014).

Asociación Argílica Penetrativa (Arg). Esta alteración se caracteriza por la asociación de illita-sericita, caolinita, limonitas, esmectitas y carbonatos. Se observa en sectores someros, asociada a

zonas de fallas o a zonas de brechas tardías. La mineralización corresponde a pirita con menor calcopirita, bornita y sulfosales de cobre (Díaz y Solé, 2014). Restringido a las litologías de brechas de chimeneas dacítica y riolítica se encuentra una alteración argílica específica caracterizada por la asociación sericita, arcilla, clorita (SAC; Solé y otros, 2014).

3.5. DOMINIO ESTRUCTURAL

Los grandes depósitos de la franja metalogénica del Mioceno tardío al Plioceno temprano se alinean en dirección NS, sin embargo, parecen estar localizados en intersecciones de sistemas de fallas de direcciones NE-SW y NW-SE. Los lineamientos NE-SW habrían controlado la intrusión de plutones y el emplazamiento de sistemas porfídicos, mientras que las fallas NW-SE serían responsables de la mineralización de brechas hidrotermales en el caso del yacimiento Río Blanco (Maksaev y otros, 2007).

Las estructuras mayores en el yacimiento corresponden a la falla Río Blanco y la falla San Francisco, ambas con orientación NS, que en conjunto conformarían una estructura tipo *pull-apart* la que habría incrementado la porosidad y la permeabilidad de la zona durante el desarrollo de los procesos mineralizadores (Skarmeta y otros, 2000 en Salinero, 2004).

El cuerpo de brecha principal en el sector Río Blanco presenta una orientación N27°W, al igual que los diques de PQM, lo que indica un control estructural en sus emplazamientos (Serrano y otros, 1996), a estos se suman el PDL y los diques asociados que muestran orientaciones equivalentes. El yacimiento Río Blanco, en su conjunto, tiene una orientación preferencial NNW-SSE (Figura 3.2.). Las estructuras que siguen esta dirección se extienden por más de 10 km definiendo un corredor mineralizado de ~2 km de ancho (Toro y otros, 2012). De este modo, el emplazamiento de enjambres de diques, brechas y mineralización asociada, parecen haber seguido profundas fallas del basamento coincidentes con el lineamiento NNW-SSE y que definen las características estructurales del yacimiento (Silva y Toro, 2009).

Pese a que se suele afirmar que las estructuras NNE-SSW existentes en el yacimiento se correlacionan con los eventos que contienen la mineralización hidrotermal más tardía del sistema, estudios realizados por Silva y Toro (2009) señalan que algunas estructuras principales NNE-SSW son contemporáneas y se conjugan con las del sistema NNW-SSE. Así, los cruces estructurales de ambos sistemas habrían formado codos o *jogs*, entregando el espacio necesario

para canalizar las soluciones hidrotermales ricas en cobre a través de vetillas y brechas. Por lo tanto, la deformación sintectónica de la mineralización de sulfuros de cobre confirmaría que el principal control de la alteración, mineralización y emplazamiento de intrusivos, corresponde al corredor estructural NNW, definido como “Zona de Falla Río Blanco” (Silva y Toro, 2009).

3.6. GÉNESIS DEL YACIMIENTO

La evolución del yacimiento Río Blanco involucra múltiples episodios de alteración-mineralización, donde se incluyen intrusiones porfíricas, la generación de brechas magmático-hidrotermales mineralizadas y de vetillas tipo *stockwork*. De acuerdo a Stambuk y otros (1982 y 1985), el yacimiento se formó a partir de cuatro episodios de alteración-mineralización. El primer episodio “...de afinidad magmático tardía-hidrotermal temprana, caracterizado por vetillas con pequeños halos de alteración y relleno de calcopirita, pirita, molibdenita y ganga de cuarzo...” (Stambuk y otros, 1985). Este episodio se asocia al desarrollo de metasomatismo potásico local en granodiorita, en conjunto a un proceso de turmalinización débil (Stambuk y otros, 1985).

El segundo episodio corresponde a la etapa hidrotermal principal en que se forma la Brecha de Turmalina, donde la mineralización sulfurada se presenta en cúmulos incorporados en el cemento de la brecha y en vetillas rellenas por pirita, calcopirita, turmalina y cuarzo con halos de alteración cuarzo-sericíticos, de mayor penetratividad que en el episodio anterior (Stambuk y otros, 1985).

El tercer episodio está ligado al desarrollo de la alteración cuarzo-sericítica y a la formación de las brechas localizadas en el margen occidental de la Brecha de Turmalina, donde es probable que la mineralización diseminada en clastos y en la matriz sean el resultado de la removilización de al menos una parte de la mineralización de la Brecha de Turmalina (Stambuk y otros, 1985).

El cuarto y último episodio corresponde al emplazamiento de vetas de pirita, calcopirita subordinada, óxidos de hierro, cuarzo, siderita y baritina generalmente con halos cuarzo-sericíticos (Stambuk y otros, 1985).

4. ROCA REACTIVA

4.1. DEFINICIÓN

Se denomina roca reactiva a un terreno o roca que experimenta una reacción exotérmica espontánea al entrar en contacto con nitratos (AEISG, 2017). La interacción toma lugar en el proceso de tronadura cuando el pozo perforado en la roca es rellenado con explosivo, cuyo componente principal es el nitrato de amonio, el cual entra en contacto con la roca de las paredes y se mezcla con el pulverizado originado al perforar. El nitrato de amonio oxida a los sulfuros en la roca liberando grandes cantidades de calor, efecto que tiene el potencial de gatillar una detonación prematura e imprevista de los explosivos (AEISG, 2017).

4.2. REACCIÓN QUÍMICA

La reacción de nitratos con sulfuros es un proceso autocatalizado capaz de generar, después de un tiempo de inducción, una descomposición exotérmica desmedida incluso si la mezcla se encuentra inicialmente a temperatura ambiente. En el pozo de tronadura el calor liberado por la interacción entre ambas especies puede gatillar una detonación prematura del explosivo. Los nitratos más usados en la industria de explosivos incluyen al nitrato de amonio, nitrato de calcio, y nitrato de sodio (AEISG, 2017).

Esta inestabilidad termodinámica con el nitrato de amonio ocurre con varios minerales de sulfuro, principalmente con pirrotina, pirita y calcopirita, sin embargo, la velocidad de la reacción varía de un mineral a otro (Lukaszewski, 1968). La interacción entre el nitrato de amonio y pirita se produce en tres etapas principales, las cuales son resumidas en el trabajo de Briggs y Kelso (2002) y se detallan a continuación.

Antes de entrar en contacto con el explosivo, los sulfuros de hierro son susceptibles a oxidarse naturalmente cada vez que son expuestos al aire, la humedad e incluso a la acción de microbios, sin ser necesaria la presencia de nitratos. Los productos principales de la oxidación de la pirita son ácido sulfúrico, iones hierro (II) y hierro (III). Esta reacción es exotérmica, pudiendo incrementar la temperatura desde pocos grados a cientos de grados Celsius. Por otra parte, el intervalo de tiempo que puede transcurrir entre la oxidación inicial de los sulfuros y el *peak* de generación de acidez, puede variar de algunos días a años, dependiendo de factores mineralógicos (composición mineralógica, tamaño de grano, cristalinidad de las fases), las condiciones

fisicoquímicas en el microambiente de la reacción (pH, temperatura, condiciones redox), el desarrollo de actividad biótica y el tipo de agente oxidante (oxígeno o ion hierro (III)) y su disponibilidad (Norecol E. C., 1989; Lottermoser, 2010).

Cuando el explosivo interactúa con las especies de hierro y ácidas en la roca meteorizada, se inicia una cadena de reacciones auto catalíticas. El nitrato de amonio es reducido a ácido nitroso (HNO_2 ; Tabla 4.1. A) de forma exotérmica, no obstante, solo se detecta un leve aumento de temperatura debido a que la tasa de la reacción en la etapa de inducción aún es demasiado baja. La etapa intermedia inicia cuando los iones de hierro (II) se consumen y el nivel de ácido nitroso es lo suficientemente alto para catalizar la oxidación de pirita por los iones nitrato (Tabla 4.1. B). El óxido nítrico (NO) que se forma facilita la generación de más ácido nitroso (Tabla 4.1. C a E), entregando las condiciones para que la reacción entre la pirita y el nitrato de amonio continúe. A medida que el pH disminuye, la tasa de la reacción acelera y el calor liberado aumenta, pudiendo elevarse la temperatura en 100°C . Parte del óxido nitroso reacciona con el oxígeno del aire para formar gases de dióxido de nitrógeno (NO_2) visibles, por su característico color marrón, comúnmente antes de la deflagración del explosivo. Cuando se han formado suficientes especies catalíticas (óxido nítrico y ácido nitroso) la tasa de la reacción incrementa drásticamente y el calor generado provoca que la temperatura aumente rápidamente, de forma que la descomposición del nitrato de amonio remanente se vuelve inevitable (Tabla 4.1. F y G). La etapa de ignición dura pocos segundos y el calor liberado es lo bastante alto para alcanzar temperaturas que bordean o superan los 700°C . Aunque inicialmente se forma óxido nitroso (Tabla 4.1. F), a medida que la temperatura asciende es favorecida la generación explosiva de nitrógeno (Tabla 4.1. G).

Tabla 4.1. Etapas de la reacción entre pirita y nitrato de amonio (Briggs y Kelso, 2002).

| Etapas | Fase | | ΔH (kJ/mol) |
|---------------|-------------|---|---------------------------------------|
| Inducción | A | $2\text{Fe}^{2+} + (\text{NO}_3)^- + 3\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | -150 |
| Intermedia | B | $\text{FeS}_2 + 5(\text{NO}_3)^- + 6\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 2(\text{HSO}_4)^- + 5\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$ | -740 |
| | C | $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$ | -57 |
| | D | $4\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{N}_2\text{O}_3$ | -638 |
| | E | $\text{N}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_2$ | -36 |
| Ignición | F | $\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$ | -59 |
| | G | $2\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ | -236 |

4.3. TEST DE REACTIVIDAD

Test de laboratorio diseñado para evaluar la reactividad de muestras de roca al entrar en contacto con nitrato de amonio. Las condiciones del test no están diseñadas para imitar las condiciones reales en el pozo de tronadura, sino que para determinar la compatibilidad química de la muestra con el nitrato de amonio.

4.3.1. Método isotérmico

El sistema consiste en identificar la reactividad de una muestra al nitrato de amonio en un ambiente de temperatura constante, cuyo valor es designado de acuerdo a las condiciones del terreno en que se extrajo la muestra. AEISG (2017) clasifica a un sitio o terreno como de Temperatura Estándar cuando presenta una temperatura menor o igual a 55°C o de Temperatura Elevada cuando supera los 55°C, lo que puede ser causado por: calentamiento geotérmico (por ejemplo: actividad volcánica), gradiente geotérmico, quema de veta de carbón o calentamiento térmico de la superficie por radiación solar.

Por lo tanto, dependiendo de la clasificación del terreno muestreado la prueba de laboratorio es realizada a una temperatura constante de $55^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, para terrenos de temperatura estándar, o a la temperatura más alta registrada en el sitio, en el caso de un terreno de temperatura elevada (AEISG; 2017).

A continuación, se indica un resumen del procedimiento, descrito en detalle en el Código de práctica (AEISG, 2017) donde también se señala el equipamiento necesario para llevarlo a cabo:

- La muestra se tritura y pulveriza a menos de 250 micrómetros.
- El polvo de roca ($18,0 \pm 0,2$ g) se mezcla con nitrato de amonio puro ($18,0 \pm 0,2$ g) y una solución que simula el producto de la meteorización de los sulfuros ($4,0 \pm 0,1$ g). La solución se prepara combinando una solución A, conformada por $3,0 \pm 0,1$ g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $22,0 \pm 0,1$ g de H_2O , con una solución B, compuesta por $6,9 \pm 0,1$ g de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y $18,1 \pm 0,1$ g de H_2O . De la disolución final de 50 g se extrae la cantidad requerida para el test.
- La mezcla es calentada y mantenida a $55^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 7 días, tiempo en el cual se registra continuamente la temperatura.
- La mezcla también es monitoreada visualmente ante cualquier cambio que indique una reacción química, como una variación de color o la liberación de gases de NO_x , visibles por su

coloración marrón.

- La ocurrencia de una reacción exotérmica en cualquier momento antes del término del período, hace que el test finalice.

4.3.2. Interpretación de los resultados

Un exotérmico que califica a una muestra como reactiva debe ser mayor o igual a 2°C sobre la temperatura base de 55°C , mostrando un aumento y luego un retorno cuando la reacción se completa (Figura 4.1.). Asimismo, el aumento de temperatura debe estar acompañado por signos visibles como burbujeo y/o la generación de óxidos de nitrógeno marrón. Aquellas muestras que no cumplan estos requisitos son calificadas como no reactivas (AEISG, 2017).

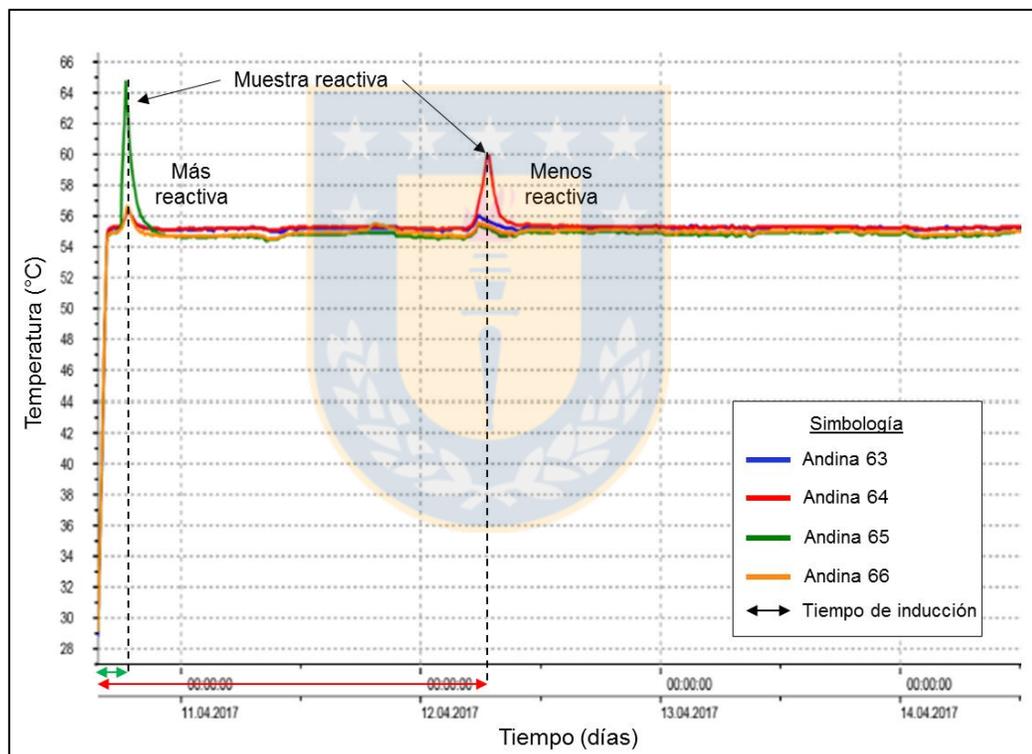


Figura 4.1. Registro de la temperatura y tiempo de cuatro muestras del depósito Río Blanco, sometidas al test de reactividad.

El grado de reactividad de una muestra o la facilidad con que ocurre la reacción entre el sulfuro y el nitrato de amonio se precisa a partir del tiempo de inducción, es decir, el lapso de tiempo entre que el nitrato de amonio y la muestra de roca entran en contacto hasta que se produce el *peak* exotérmico. En otras palabras, una muestra es más o menos reactiva, respecto a otra muestra

sujeta a las mismas condiciones, según el tiempo que tarda en reaccionar, siendo más reactiva la que responde primero (Figura 4.1.). Por otra parte, la intensidad de una reacción está referida a la magnitud del exotérmico y no se relaciona al tiempo de inducción (AEISG, 2017).

4.4. FACTORES QUE INCIDEN EN LA REACTIVIDAD

Desde las primeras investigaciones hasta la actualidad, se han reconocido diferentes factores que intervienen en el resultado de la reacción entre el nitrato de amonio y los sulfuros, sin embargo, como aún es un fenómeno impredecible, en términos de tiempo y desenlace, queda claro que todavía existen agentes sin conocer. A continuación, se señalan algunos de los factores más importantes.

Contenido de humedad. Kennedy y Tyson (2001) en Botha (2014) manifiestan que la cantidad de humedad en la roca tendría un rol en la reacción, puesto que el agua es un catalizador natural de la oxidación. Rumball (1991), en Botha (2014), y Briggs y Kelso (2002) postulan que muy poca agua no proporcionaría un medio adecuado para iniciar la reacción, mientras que, mucha agua diluiría a los reactantes y consumiría el calor liberado. La cantidad de agua ideal para participar en el proceso de oxidación depende del tipo de roca, pero el rango idóneo es de 1% a 5% p/p.

Acidez. El ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico en contacto con nitrato de amonio provocan una disminución de la temperatura en que este compuesto comienza a descomponerse (Sun y otros, 2005). Por otra parte, las especies ácidas como el ion amonio, ion hidronio y el ácido nítrico incrementan la tasa de descomposición del nitrato de amonio (Oxley y otros, 2002). Ambos resultados tienen como efecto una disminución en el tiempo de inducción, lo que implica un aumento en la reactividad.

Mineralogía. Como se ha mencionado los sulfuros, en especial la pirita, son necesarios para gatillar la reactividad de una roca. No obstante, otros minerales en la roca como la calcita o dolomita pueden intervenir retardando o inhibiendo la reacción, al aumentar la temperatura de detonación del nitrato de amonio (Oxley y otros, 2002) y neutralizando a los ácidos formados por la oxidación de los sulfuros (Lottermoser, 2010).

Oxidación de sulfuros. Un mayor nivel de oxidación de los sulfuros conduciría a un incremento de la reactividad, gracias a la formación de iones de hierro (II) y de hidrógeno necesarios para

iniciar la reacción (Rumball, 1991 en Botha, 2014).

Conductividad térmica de la roca. Aquellas rocas con menor conductividad térmica requerirán solo una pequeña cantidad de calor para elevar la temperatura del sitio, y por lo tanto la velocidad de la reacción (Rumball, 1991 en Botha, 2014).

Temperatura de la roca. Existe una correlación directa entre la temperatura de la roca perforada y la tasa de la reacción (Kennedy y Tyson, 2001 en Botha, 2014).

Temperatura del explosivo. Si el explosivo bombeado al pozo tiene una temperatura mayor a la del entorno, podría existir un efecto en la tasa de la reacción (Kennedy y Tyson, 2001 en Botha, 2014).

Granulometría. Lukaszewski (1968) advierte que la temperatura de ignición decrece al disminuir el tamaño de grano de la roca, en otras palabras, aumenta la reactividad ya que la superficie específica que reacciona es mayor.

Características del explosivo. Si bien la base del explosivo utilizado en el proceso de tronadura de operaciones mineras es mayoritariamente nitrato de amonio junto a un combustible (ANFO: *Ammonium Nitrate Fuel Oil*), se le suelen agregar sustancias y realizar cambios físicos con el propósito de mejorar ciertas características como potencia, sensibilidad, velocidad de detonación, resistencia al agua, entre otras (Garate, 2014). Dependiendo de los componentes que se utilicen la estabilidad termal del nitrato de amonio puede modificarse, resultando en una variación de la reactividad (Garate, 2014). Por otra parte, en terrenos de temperatura elevada o reactivos se agregan inhibidores (urea) al explosivo con el propósito de aumentar significativamente la temperatura de detonación del nitrato de amonio y de esa forma reducir la reactividad de la roca (Oxley y otros, 2002; AEISG, 2017).

4.5. RIESGOS Y PELIGROS EN ROCAS REACTIVAS

Los peligros vinculados a la detonación en terrenos reactivos se pueden resumir en los siguientes (AEISG, 2017):

- Descomposición violenta y repentina de nitratos
- Emanación de gases tóxicos de NO_x y SO_x
- Disparo inesperado de los detonadores debido al calor generado

- Detonaciones en masa; por deflagración que luego puede desembocar en la detonación de pozos de manera independiente (el calor generado causa que el contenido del pozo se incendie y luego detone), o por comunicación a otros pozos mediante el sistema de iniciación (elementos que permiten transferir la señal de detonación a cada pozo en la malla de tronadura).

4.5.1. Incidentes de Roca Reactiva

El primer registro de un accidente causado por rocas reactivas data del año 1963 en un depósito estratiforme de cobre, zinc y plomo en Australia. Posterior a aquello se identifican una serie de casos en operaciones mineras, tanto metálicas como no metálicas, en distintas partes del mundo con resultados como detonación prematura, emanación de gases en pozos, incendio en derrames de explosivos, deflagración y derretimiento de materiales e instrumentos para tronadura (AEISG, 2017).

En Chile se conocen tres casos; el primero ocurrió en marzo de 2013 en la compañía minera Doña Inés de Collahuasi, donde se produjo la detonación espontánea de un pozo de tronadura cargado 10 horas antes con un explosivo cuyo componente principal es el nitrato de amonio (ANFO Pesado). La investigación del evento indicó que el terreno presentaba humedad y un contenido de pirita entre 4% y 30%. En el test de reactividad una fracción de las muestras reacciona con el nitrato de amonio. El no considerar la mineralogía y la humedad del terreno en la elección del explosivo gatilló la reacción exotérmica y posterior detonación (Garate, 2014).

El segundo evento sucedió en febrero de 2014 en la división El Teniente de CODELCO y consistió en la detonación espontánea de dos pozos de tronadura cargados 24 horas antes (ANFO Pesado). La investigación en el área del suceso señaló que existían temperaturas elevadas (mayor a 55°C) en las cercanías de los pozos y contenidos de pirita menores a 1% en el resto de la malla donde se encontraban los pozos detonados. En una primera prueba de reactividad a temperatura constante de 55°C ninguna de las muestras reacciona, pero a una temperatura constante de 70°C, equivalente a la temperatura máxima medida en la mina, se produjo la reacción de un número de ellas. Por lo tanto, se concluyó que la temperatura elevada del terreno actuó como un catalizador de la reacción entre la pirita y el nitrato de amonio (Garate, 2014).

El tercer evento ocurrió en enero de 2015 en la mina Los Bronces de Anglo American con la

deflagración de pozos de tronadura. Como los resultados de la investigación no son públicos se desconocen las razones que causaron la reacción exotérmica.



5. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

5.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información empleadas en el estudio se pueden clasificar en dos tipos; como indagaciones orientadas a definir la reactividad del depósito y como antecedentes existentes en la base de datos de la división, dedicados para otros análisis, y que son adaptados para su uso fundamentalmente en las últimas etapas de este trabajo. La información propia de la investigación consiste en un muestreo inicial y en posteriores análisis de reactividad, mineralógicos y químicos. De los servidores de la división se extrae una base de datos de muestras geometalúrgicas, modelos de estimación y niveles geológicos.

5.1.1. Muestreo

El muestreo para el estudio de rocas reactivas se inicia en octubre del año 2014 y se divide en 6 etapas (Figura 5.1.). Para ello se utiliza el procedimiento de muestreo en suelos reactivos de la empresa proveedora de explosivos (ORICA Chile S.A.) con algunas modificaciones.

Antes de iniciar cada etapa de muestreo se diseña un programa, que consiste en ubicar puntos de muestreo en los bancos explotados el mes anterior. En función del tonelaje extraído en cada banco se asigna un número de muestras para esa zona, de un total de 12 que es el mínimo establecido en el procedimiento. El programa es susceptible a cambios en terreno, en cuanto al total de muestras o su ubicación, a causa de limitaciones o restricciones en la mina.

Al finalizar cada etapa de muestreo, se efectúa un envío de muestras al laboratorio para analizar la reactividad. El tratamiento aplicado a las muestras, antes de enviarlas a los análisis correspondientes, es esquematizado en la Figura 5.2., donde además se distingue entre las distintas etapas de muestreo con el propósito de clarificar los cambios efectuados entre ellas. En cada punto de muestreo se extraen dos bolsas de 20 kg cada una y se registran las coordenadas y cota. Cada bolsa está compuesta de aproximadamente 10 colpas, las cuales se extraen desde la pared del banco, resguardando que la roca esté fresca y que la muestra sea mono-litológica. Una de las bolsas es mapeada y luego almacenada como respaldo, la otra es enviada a ORICA Chile S.A. empresa que aplica el test de reactividad. La persona de ORICA encargada de recepcionar la bolsa, extrae una colpa al azar y la envía al laboratorio, donde se sigue el procedimiento del test de reactividad explicado en el capítulo anterior.

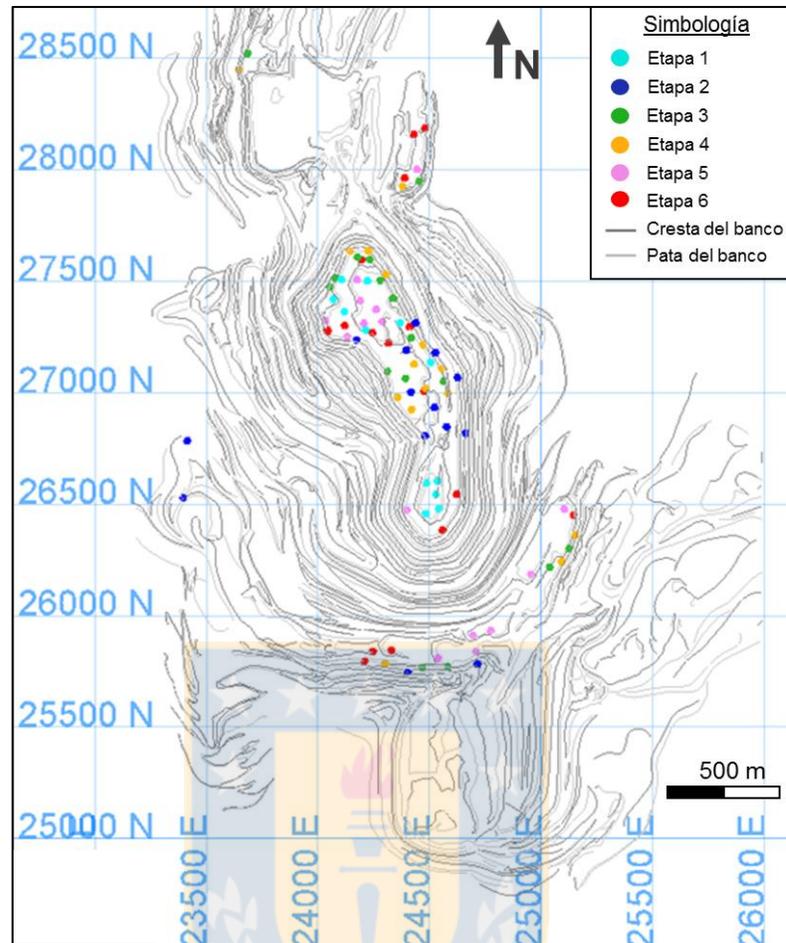


Figura 5.1. Vista de planta del depósito con la localización de las muestras extraídas para el estudio, clasificadas según la etapa de muestreo a la que pertenecen.

El primer envío se realiza al laboratorio de ORICA S.A. en México, por lo tanto, los rechazos de las muestras son eliminados. Los envíos restantes se hacen al laboratorio en Antofagasta, lo que permite recuperar los rechazos para posteriormente hacer análisis mineralógicos. En los envíos 4 y 5 se incorporan duplicados de muestras previas que resultaron reactivas, las cuales son extraídas de las bolsas de respaldo, con la finalidad de corroborar la calidad del test. No obstante, los resultados de los duplicados no coinciden con los anteriores, es decir no indican reactividad (Anexo 1). A raíz de aquello, se realiza una revisión completa de los procedimientos y se concluye que lo más adecuado es extraer solo una bolsa por cada punto de muestreo, para luego durante el mapeo elegir una colpa que contenga la litología y las alteraciones, con sus respectivos grados de intensidad, predominantes en la bolsa mapeada, así como también un volumen promedio de la mineralización de sulfuros. La colpa representativa es embolsada

individualmente, mientras el resto es guardado como respaldo. Las colpas representativas de cada muestra son enviadas al laboratorio en Antofagasta. Esta modificación se aplica en el sexto envío.

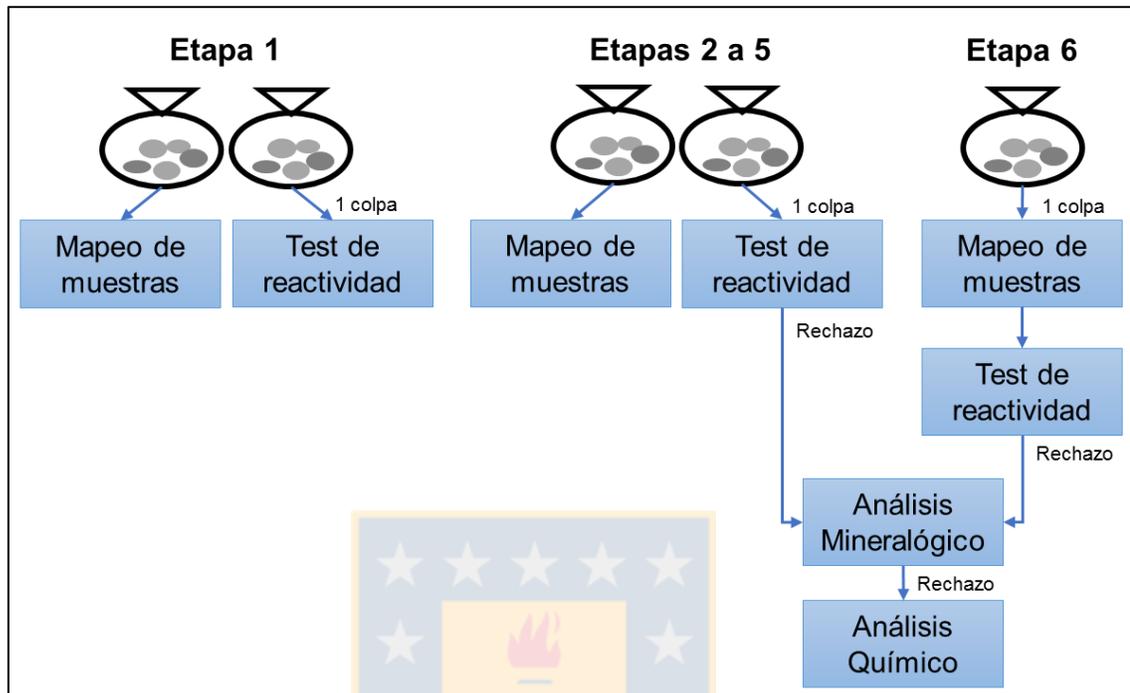


Figura 5.2. Diagrama de manejo de muestras, para efectuar los análisis requeridos, en las 6 etapas de muestreo.

En total se extraen 89 muestras (Figura 5.1.), 53 de las cuales son analizadas por su mineralogía y química.

5.1.2. Mapeo

La descripción macroscópica de las rocas muestreadas comprende una especificación de su litología, alteración, porcentaje de sulfuros totales (suma de todos los sulfuros observados en la muestra), razón o proporción entre pirita, calcopirita y bornita, ocurrencia de la mineralización, clasificación de la roca como primaria, secundaria o chimenea (explicación en apartado 5.1.8.) y una descripción general que puede incluir otras observaciones o contenidos de otros minerales que predominen (Anexo 2).

5.1.3. Test de Reactividad

Como se explica en detalle en el capítulo 4, el test de reactividad es una técnica de laboratorio que permite identificar la reactividad de una muestra de roca al nitrato de amonio. Se envían las

89 muestras extraídas a análisis, de las cuales 18 resultan reactivas (Figura 5.3.). En el Anexo 3 se compilan los reportes entregados por ORICA S.A., donde para cada muestra se presenta un registro de la temperatura durante el test junto con una tabla con los valores mínimo, promedio y máximo.

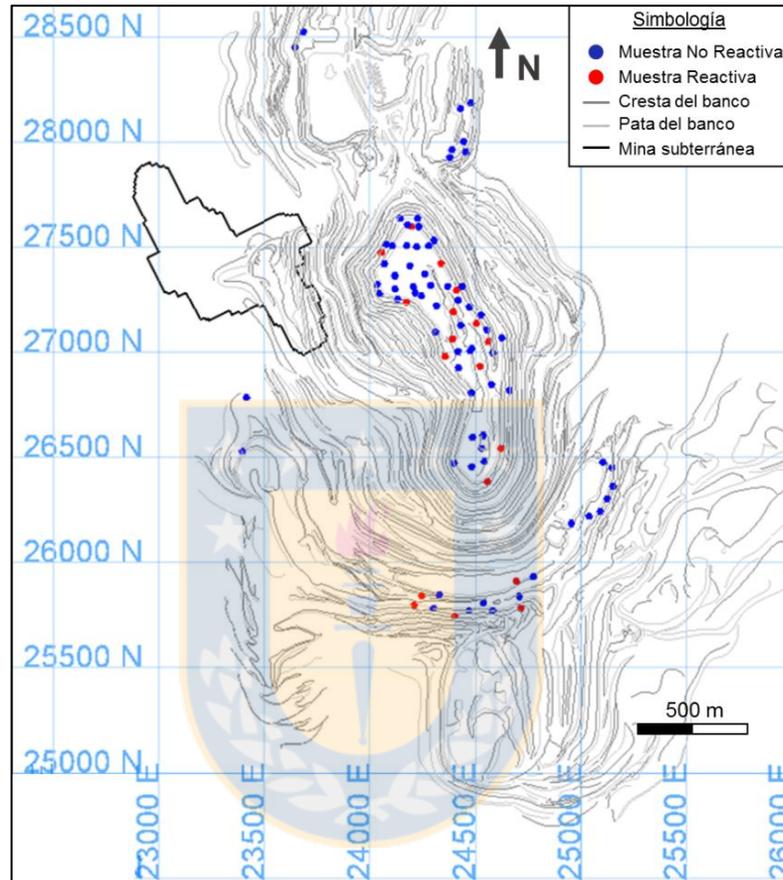


Figura 5.3. Vista de planta del yacimiento con la localización de las muestras y su clasificación según resultado en el test de reactividad.

Los datos que se extraen para trabajar en etapas posteriores, son el ΔT y el tiempo de inducción (Anexo 1). El primero corresponde a la diferencia entre la temperatura máxima del exotérmico y los 55°C de base, las muestras que no exhiben indicios de reactividad se les asigna un ΔT igual a 0. Como el tiempo de inducción no está indicado en los reportes, se debe estimar directamente a partir de la gráfica, como indica la Figura 4.1.

La fracción pulverizada de las muestras no es utilizada en el test de reactividad (rechazo) es devuelta por ORICA S.A. en bolsas rotuladas según el código de la muestra que contienen.

5.1.4. Análisis mineralógico de alta definición

De las 89 muestras enviadas para la prueba de reactividad, 53 son seleccionadas para un análisis mineralógico mediante QEMSCAN® (*Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning*) por SGS S.A. Solo se consideran parte de las muestras extraídas por un tema de costos y, porque no se cuenta con el rechazo de todas ellas, material que posteriormente es enviado a SGS S.A. para analizar la mineralogía de cada muestra. Para la selección, primero se identifican las muestras que poseen rechazo y luego se priorizan las muestras reactivas, 17 en total (Anexo 1), no obstante, para establecer una comparación es necesario incorporar muestras no reactivas. Se seleccionan 36 muestras no reactivas, privilegiando aquellas cuyo mapeo indica altos contenidos de pirita y/o sulfuros totales (Anexo 2).

Las briquetas confeccionadas por SGS S.A. contienen la muestra pulverizada a menos de 250 micrómetros y el análisis ejecutado es de tipo PMA (*Particle Mineral Analysis*), por lo tanto, se puede extraer porcentaje en peso de minerales (Tabla 5.1., Anexo 4 en Tablas A4.1. a A4.4.); clasificar el porcentaje total de pirita en la muestra según el porcentaje de perímetro expuesto en cada partícula (Anexo 4 en Tabla A4.5.); otras clasificaciones posibles son de acuerdo al tamaño de grano (Anexo 4 en Tabla A4.6.) y la asociación mineralógica de cada partícula de pirita (Anexo 4 en Tabla A4.7.). La porción pulverizada de las muestras no empleada para la elaboración de briquetas es devuelta en sobres rotulados con el código de la muestra que contienen.

De los 38 minerales identificados, la bournonita y la seligmanita presentan un contenido inferior a la milésima parte del peso en todas las muestras analizadas (Anexo 4 en Tabla A4.1.), por lo que no se consideran en los análisis siguientes.

5.1.5. Análisis geoquímico

Los rechazos de las 53 muestras analizadas mineralógicamente, entregados por SGS S.A., se envían a CESMEC S.A. para un análisis multielemental por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Para disolver las muestras se utiliza un ataque multiácido, a partir de la combinación de HNO₃, HClO₄, HF y HCl.

De los 59 elementos analizados (Tabla 5.2., Anexo 5) el Tm, Tb, Lu y Ta resultan con más del 30% de las mediciones bajo el límite de detección, por lo que no se consideran en los análisis

posteriores. Los datos de elementos con mediciones bajo el límite de detección y que representen menos del 30% del total, son reemplazados por el valor correspondiente a la mitad de su límite de detección, en el caso contrario de mediciones sobre el valor máximo de detección el valor se reemplaza por el límite superior.

Tabla 5.1. Minerales identificados por QEMSCAN®.

| Óxidos | Sulfuros | Ganga |
|-----------------------------|--------------|---------------------|
| Magnetita-Hematita-Goethita | Calcopirita | Cuarzo |
| Goethita(Al)-Harrinsonita | Bornita | Feldespató potásico |
| Rutilo | Covelina | Plagioclasa-Albita |
| Ilmenita | Calcosina | Epidota-Zoisita |
| | Tenantita | Turmalina |
| | Enargita | Anfíbola |
| | Tetrahedrita | Sericita-Moscovita |
| | Bournonita | Biotita |
| | Seligmanita | Caolinita |
| | Pirita | Montmorillonita |
| | Esfalerita | Cloritas |
| | Arsenopirita | Circón |
| | Molibdenita | Titanita-Esfeno |
| | Galena | Calcita |
| | | Calcita |
| | | Dolomita |
| | | Siderita(Mn) |
| | | Yeso-Anhidrita |
| | | Jarosita |
| | | Apatita |

5.1.6. Muestras Geometalúrgicas

Las muestras geometalúrgicas son trozos de sondajes de diamantina seleccionados para realizar pruebas metalúrgicas de laboratorio y de esa manera, caracterizar el comportamiento metalúrgico de las diferentes zonas del yacimiento (Bustos y Jamett, 2016). Lo anterior se resume en un modelo geometalúrgico del depósito Río Blanco, que para su construcción y actualización división Andina ha realizado de forma sistemática programas de recolección de muestras desde el año 2001.

Tabla 5.2. Elementos analizados por ICP-MS.

| Elementos | | | | | | | | | |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Mo | Co | Sr | P | Al | Be | Nd | Ho | Li | In |
| Cu | Mn | Cd | La | Na | Sc | Sm | Er | Rb | Re |
| Pb | Fe | Sb | Cr | K | S | Eu | Tm | Ta | Se |
| Zn | As | Bi | Mg | W | Y | Gd | Yb | Nb | Te |
| Ag | U | V | Ba | Zr | Ce | Tb | Lu | Cs | Tl |
| Ni | Th | Ca | Ti | Sn | Pr | Dy | Hf | Ga | |

La selección de muestras se realiza en base a un modelo geológico tridimensional del yacimiento en el que se despliegan los sondajes diamantinos, para observar su disposición en las tres dimensiones y así dilucidar los sectores que intercepta. Estos tipos de sondajes proporcionan la información más precisa, tanto por su detalle como por su cobertura volumétrica, para realizar caracterizaciones metalúrgicas de las diferentes zonas o dominios geológicos del yacimiento (Bustos y Jamett, 2016).

Cada muestra seleccionada debe ser mono-litológica con similar tipo y grado de alteración y mineralización, equidistante espacialmente a las muestras colindantes (considerando radios de influencia de 60 m para el modelo a largo plazo y de 30 m para el modelo a corto plazo) y de un largo mínimo de 16 m. Además, todas las muestras deben estar debidamente identificadas, rotuladas y contar con su información geológica de detalle (Bustos y Jamett, 2016).

Además de efectuar pruebas metalúrgicas, estas muestras son analizadas por su mineralogía y química, mediante QEMSCAN[®] e ICP-MS respectivamente.

5.1.7. Modelo de Bloques

Se emplean dos modelos de estimación. El modelo geológico integrado consiste en una representación tridimensional de las unidades litológicas, zonas de alteración y mineralización del depósito (Figura 5.4.), elaborado a partir de la información geológica del mapeo de detalle de sondajes de aire reverso y diamantina, pozos de tronadura, bancos y galerías; incorpora, además, las relaciones de temporalidad de los eventos geológicos y el modelo estructural tridimensional del yacimiento (Solé y otros, 2014). Este modelo sirve de base para caracterizar geológicamente las zonas reactivas y no reactivas.

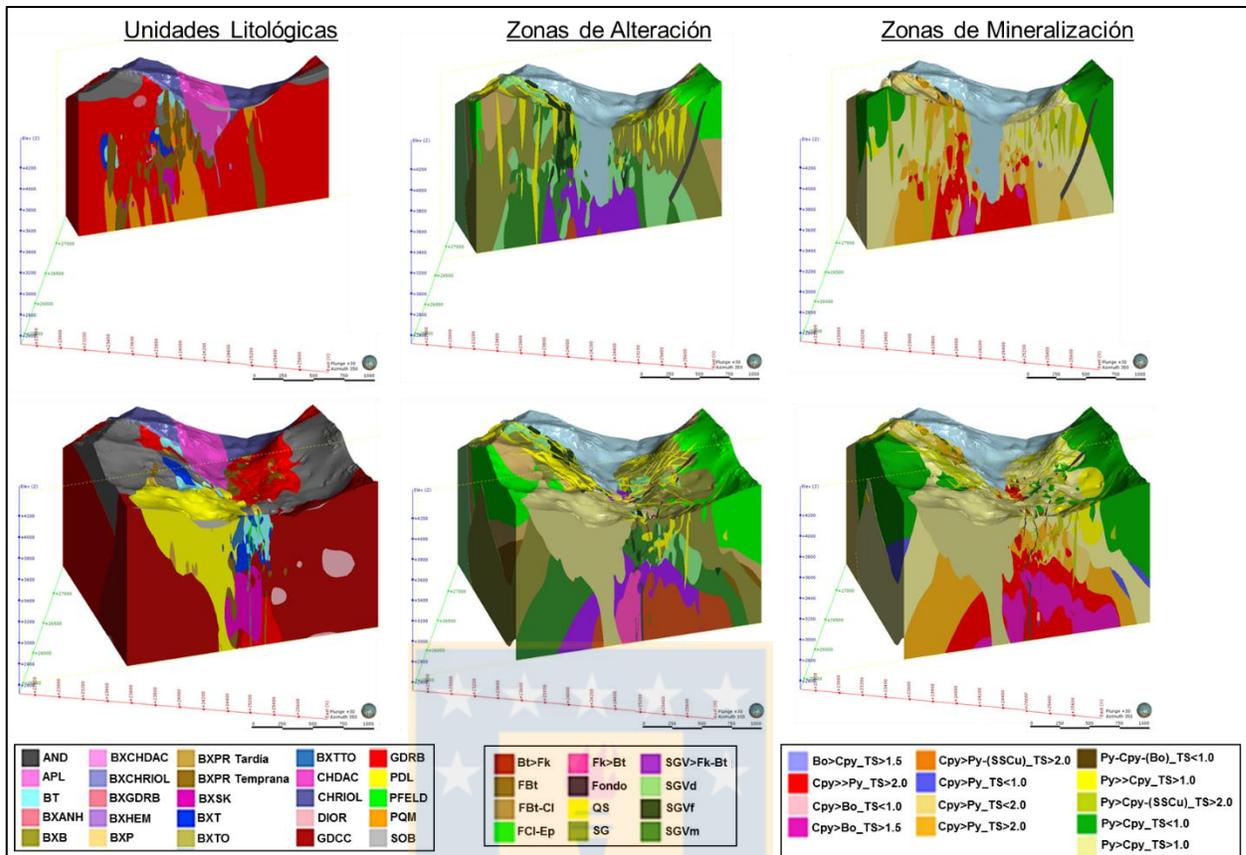


Figura 5.4. Secciones tipo que muestran, de izquierda a derecha, la distribución de las unidades litológicas, zonas de alteración y zonas de mineralización en los sectores Río Blanco (fila superior) y Don Luis (fila inferior). Modificado de Solé y otros (2014).

El modelo de estimación de pirita juega un rol fundamental en la delimitación de la reactividad en el depósito, puesto que como indica su nombre estima el contenido de pirita en los sectores Don Luis y Río Blanco (Figura 5.5.). Se elabora al conjugar la información del modelo geológico integrado y el análisis mineralógico por QEMSCAN[®] de las muestras geometalúrgicas.

5.1.8. Tipo de roca

Clasificación de las rocas del depósito diseñada por división Andina, que considera ocurrencia de los sulfuros e intensidad de la alteración supérgena (Ferraz, 2017), con el fin de aproximar los porcentajes de recuperación de cobre en la etapa primaria de flotación (flotación *rougher*).

Un límite fundamental para la clasificación es el techo de sulfatos, el cual hace referencia a la superficie geológica que delimita la presencia de yeso y anhidrita sellando las estructuras y la matriz de la roca. A la roca ubicada bajo esta superficie se le denomina primaria y sobre ella

secundaria, exceptuando a las unidades CHDAC y CHRIOL. Mientras las vetillas en roca primaria, se encuentran selladas por un evento póstumo de yeso y/o anhidrita, en roca secundaria estos minerales han sido disueltos producto de la influencia de las aguas meteóricas quedando las estructuras sin relleno y abiertas. En otras palabras, este límite representa la superficie bajo la cual se produce la circulación de aguas subterráneas en el yacimiento, lo que determina la existencia de alteración supérgena (Ferraz, 2017). Se identifica un tercer tipo de roca denominada chimenea que agrupa a las unidades subvolcánicas Chimenea Dacítica y Chimenea Riolítica, las cuales no contienen mineralización sulfurada (roca estéril), aunque ocasionalmente existe mineralización heredada de clastos. Esta unidad no presenta sulfatos, sin embargo, cerca de los contactos de esta unidad existe participación de este grupo de minerales (Ferraz, 2017).

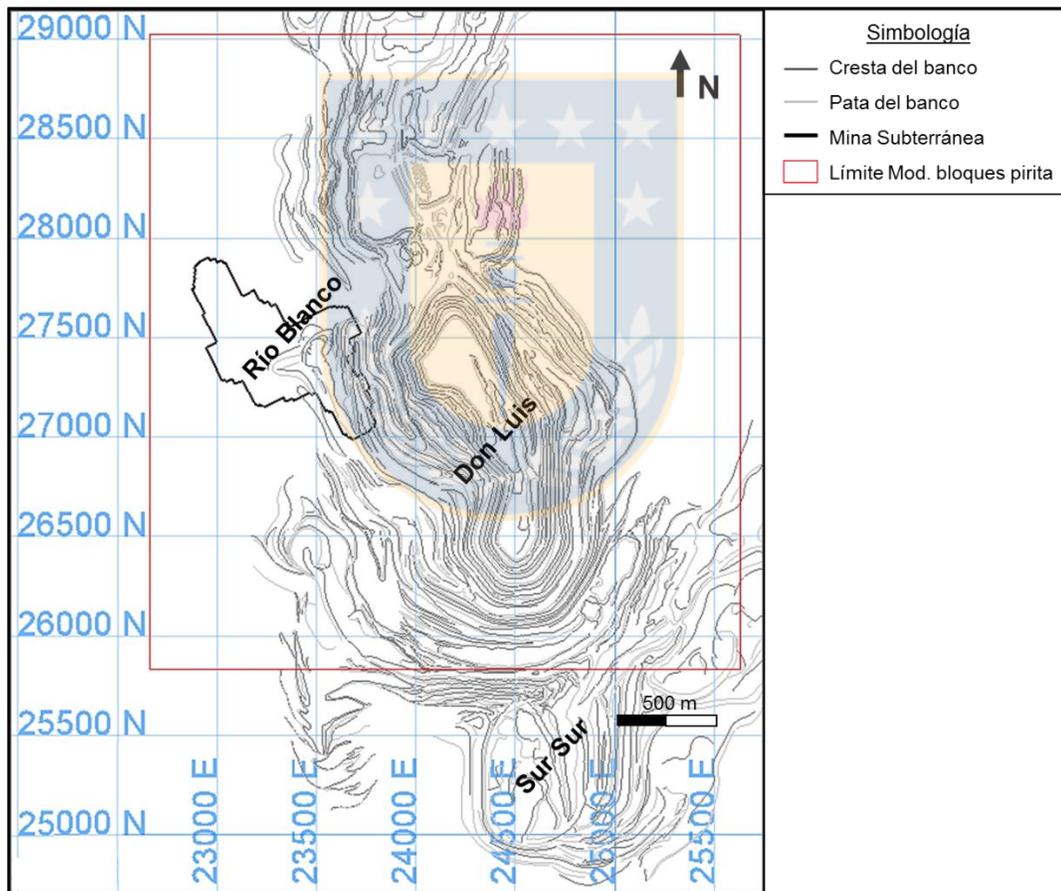


Figura 5.5. Vista en planta del depósito Río Blanco que indica la los márgenes del Modelo de bloques de pirita.

La confección de la superficie de contacto primario-secundario es realizada por división Andina para distinguir dos ambientes de calidad de roca contrastantes, uno de mayor fracturamiento,

versus otro de escaso fracturamiento y que es considerado para todos los efectos como una unidad impermeable (Ferraz, 2017).

5.2. ALCANCES Y LIMITACIONES

La investigación busca delimitar de manera preliminar las zonas reactivas en el depósito, a partir de su mineralogía, con el fin de reducir los riesgos para las personas que trabajan en perforación y tronadura. Por otra parte, el definir zonas no reactivas permite reducir el costo de los explosivos al no requerir productos inhibidos para tronar en esas áreas, los cuales se definen como productos explosivos diseñados para suprimir la reacción química entre nitratos y sulfuros (AEISG, 2017).

Parte de las limitaciones del estudio están asociadas a las limitaciones propias del test de reactividad. El test está diseñado para determinar si una muestra de roca tiene el potencial de ser reactiva y para ello supone las peores condiciones, en consecuencia, en ninguna instancia busca replicar las condiciones reales en el pozo de tronadura. Por lo tanto, es probable que los resultados del test estén sobredimensionando la realidad y que bajo las condiciones de terreno la misma roca no reaccione, aun así, al ser un tema de seguridad siempre es mejor prevenir.

Respecto a la zonación, sus límites se restringen al contorno del modelo de bloques de pirita, que abarca solo los sectores Río Blanco y Don Luis. Por otra parte, para su construcción únicamente se consideran variables mineralógicas y químicas, como se plantea en los objetivos, por consiguiente, los resultados de este trabajo en ningún momento son definitivos, para aplicar con propiedad la zonación de la reactividad se deben incorporar factores de igual importancia como la humedad y la temperatura de la roca.

6. ANÁLISIS DE VARIABLES

6.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Existen dos variables fundamentales para definir la reactividad de una roca, el nivel del exotérmico, respecto a la temperatura base de 55°C (ΔT), y el tiempo de inducción. Para reconocer la existencia de algún vínculo entre la reactividad y la mineralogía y/o química de la roca, se procede a realizar un análisis estadístico de correlación designando al ΔT y el tiempo de inducción como las variables independientes.

6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

La hipótesis del estudio supone que la mineralogía y la química de la roca serían factores que modifican o gatillan la reactividad de las rocas en el depósito. Así, cada uno de los 36 minerales y los 55 elementos, identificados en las 53 muestras extraídas para el estudio, son definidos como variables independientes en el análisis de correlación. Además, debido a que la pirita es señalada como un factor fundamental en la reactividad de diversos depósitos del mundo, también se añaden como variables mineralógicas la liberación por perímetro, liberación por tamaño y asociaciones minerales de la pirita (Anexo 4 en Tablas A4.5., A4.6. y A4.7., respectivamente). Existen rangos de tamaño y asociaciones minerales examinados por QEMSCAN[®] que no se identifican en las muestras, por lo tanto, no se consideran al momento de efectuar la correlación.

6.3. CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES

Como se menciona en los apartados anteriores, para reconocer la incidencia de las variables mineralógicas y elementales en la reactividad se procede a realizar un análisis de correlación con el ΔT y el tiempo de inducción.

Para examinar el efecto de una variable sobre otra se tienen dos alternativas, aplicar técnicas estadísticas paramétricas o en su defecto pruebas no paramétricas (Arriaza, 2006). Con las primeras es más probable detectar relaciones subyacentes entre variables que con las pruebas no paramétricas, sin embargo, es necesario cumplir ciertos requisitos, entre ellos que la distribución de las variables sea normal. Se realiza la prueba de normalidad de Lilliefors para variables de más de 50 datos y de Shapiro-Wilk para aquellas con menos de 50 datos, los resultados señalan que la mayoría de las variables, incluidos el ΔT y el tiempo de inducción, no tienen distribución normal.

Lo más correcto es aplicar una prueba no paramétrica como el coeficiente de Spearman (ρ), un tipo de análisis de correlación bivalente que toma valores entre -1, cuando existe relación lineal negativa perfecta, y +1, para una relación lineal positiva perfecta, por el contrario, no existe correlación si el valor es 0 (Arriaza, 2006). Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson (r) evalúa la relación lineal entre dos variables siguiendo la misma metodología que el coeficiente de Spearman, pero al ser una prueba paramétrica requiere que se cumpla el supuesto de normalidad de las variables (Arriaza, 2006).

Como una manera de comparar y confirmar los resultados obtenidos se calculan de forma paralela ambos coeficientes, teniendo en cuenta las restricciones de cada uno. Además, para descartar correlaciones no lineales entre las variables se revisan constantemente los gráficos de dispersión.



7. MINERALOGÍA Y REACTIVIDAD

7.1. GENERALIDADES

La mineralogía de la roca perforada, que entra en contacto con el explosivo, es un área poco estudiada en la temática de las rocas reactivas. No obstante, la pirita es la excepción, puesto que es el mineral que origina la reacción autocatalizada, por lo que sus efectos en el explosivo han sido ampliamente estudiados. Por otra parte, también se conocen casos con altos porcentajes de pirita que no generan una reacción, lo que permite deducir que existen otras variables composicionales y estructurales de la roca, además de ambientales, que contrarrestan o maximizan el efecto de la pirita, entre estas la mineralogía.

7.2. DELTA DE TEMPERATURA (ΔT)

Como el ΔT sobre el valor de referencia es el parámetro que define la reactividad, primero se procede a efectuar un análisis de correlación entre el ΔT (Anexo 1) y cada uno de los minerales analizados por QEMSCAN[®] (Anexo 4 en Tablas A4.1. a A4.4.). A pesar de que las 89 muestras extraídas para el estudio cuentan con el test de reactividad solo 53 de ellas poseen análisis mineralógico, por ende, únicamente se trabaja con aquellas que tienen los dos análisis, tanto en esta como en las sucesivas correlaciones.

El valor de correlación más alto, observado en ambos coeficientes, se obtiene con la pirita ($\rho=0,83$ y $r=0,83$), mientras que la jarosita presenta una alta correlación según Spearman ($\rho=0,74$), no así conforme al coeficiente de Pearson ($r=0,47$). El resto de los minerales tienen baja o nula correlación (Tabla 7.1.). En el gráfico de dispersión de la pirita versus el ΔT se identifica claramente una agrupación de las muestras no reactivas en porcentajes bajos de este mineral (<3,6%) mientras que las muestras reactivas se asocian a porcentajes mayores (>4,0%, Figura 7.1.).

Entre el 3,6% y 4,0% de pirita se reconoce una zona de traslape dada por las muestras F5-1 (3,8% pirita) y 44 (3,9% pirita), reactiva y no reactiva respectivamente.

7.2.1. Reactividad potencial

La división del porcentaje de pirita según la reactividad de la roca, posibilita la extrapolación de esta cualidad a otras muestras del depósito que no han sido sometidas al test de reactividad, pero

que cuentan con análisis mineralógico por QEMSCAN[®], como las muestras geometalúrgicas.

Tabla 7.1. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y Pearson (r) entre el ΔT y los minerales medidos en las muestras del estudio (Anexo 4 en Tablas A4.1, A4.2, A4.3 y A4.4).

| | ρ | r | | ρ | r | | ρ | r |
|--------------|--------|-------|-----------------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|
| Calcopirita | -0,08 | -0,13 | Magnetita-Hematita-Goethita | -0,35 | -0,35 | Caolinita | 0,10 | 0,11 |
| Bornita | 0,07 | 0,14 | Goethita(Al)-Harrinsonita | 0,19 | -0,06 | Montmorillonita | 0,05 | 0,41 |
| Covelina | 0,24 | 0,33 | Rutilo | -0,37 | -0,31 | Cloritas | -0,22 | -0,11 |
| Calcosina | -0,14 | 0,26 | Ilmenita | -0,23 | -0,25 | Circón | 0,20 | 0,05 |
| Tenantita | 0,22 | 0,09 | Cuarzo | 0,51 | 0,47 | Titanita-Esfeno | -0,29 | -0,18 |
| Enargita | 0,17 | 0,11 | Feldspato Potásico | -0,33 | -0,36 | Calcita | -0,48 | -0,32 |
| Tetrahedrita | -0,09 | -0,14 | Plagioclasa-Albita | -0,46 | -0,45 | Dolomita-Ankerita | -0,25 | -0,19 |
| Pirita | 0,83 | 0,83 | Epidota-Zoisita | -0,17 | -0,24 | Siderita(Mn) | -0,24 | -0,23 |
| Esfalerita | -0,21 | -0,09 | Turmalina | 0,46 | 0,46 | Yeso-Anhidrita | -0,40 | 0,02 |
| Arsenopirita | 0,06 | -0,05 | Anfíbola | -0,30 | -0,27 | Jarosita | 0,74 | 0,47 |
| Molibdenita | 0,06 | -0,03 | Sericita-Moscovita | 0,15 | 0,07 | Apatita | -0,30 | -0,31 |
| Galena | -0,20 | -0,19 | Biotita | -0,22 | -0,25 | | | |

Por lo tanto, se define el concepto de reactividad potencial conforme al contenido de pirita en la muestra de la siguiente manera, si su porcentaje es menor al 3,6% es potencialmente no reactiva y si es mayor o igual a 4% es caracterizada como potencialmente reactiva. Las muestras con porcentajes de pirita mayor o igual a 3,6% y menor a 4%, indicado anteriormente como zona de traslape, se asignan como transicionales, puesto que no es posible diferenciarlas como potencialmente reactivas o no reactivas, solo a partir de su contenido de pirita. Es probable que exista otro factor o factores que estén interviniendo en la reacción, como los señalados en el subcapítulo 4.4.

El límite inferior de la zona de traslape o transición se define por la muestra 39 (Figura 7.1.), que corresponde a la muestra con menor porcentaje de pirita en manifestar un exotérmico (Anexo 3), mientras que el límite superior es dado por la muestra 04.06.16 (Figura 7.1.), equivalente a la primera muestra reactiva no traslapada.

El concepto de reactividad potencial le otorga validez a la zonación del depósito, pues permite aumentar el número de muestras y el área comprendida para la estimación.

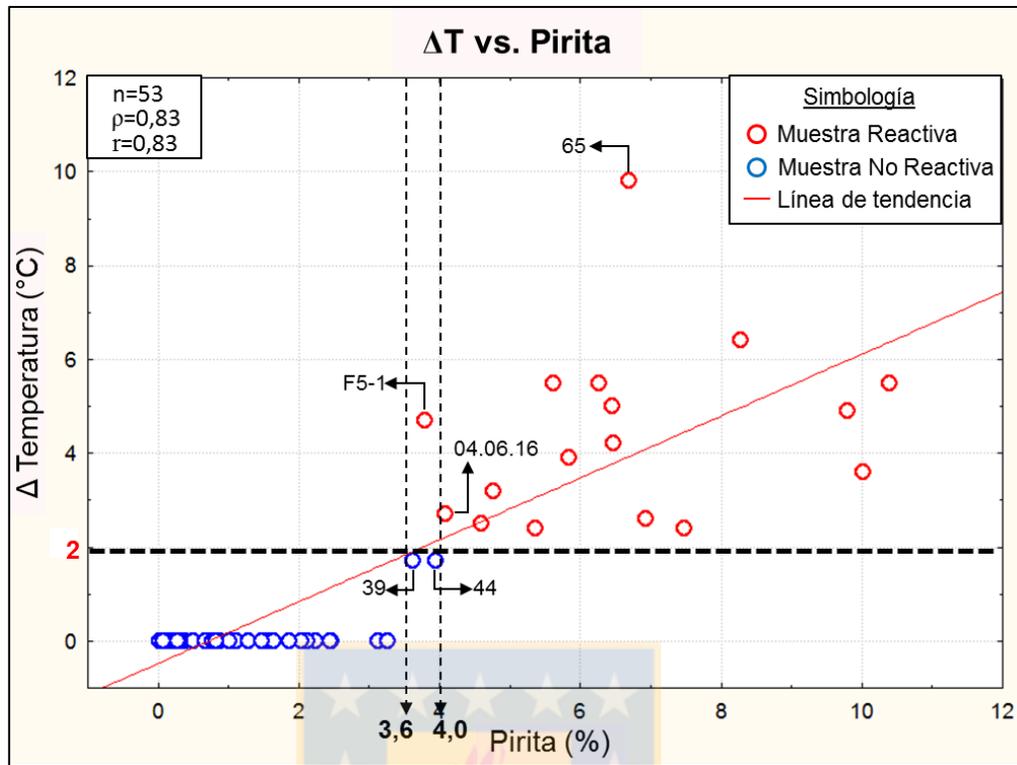


Figura 7.1. Gráfico de dispersión entre ΔT y pirita para las 53 muestras analizadas. Se indica el nombre de las muestras estudiadas de forma particular (Anexo 1).

7.2.2. Otros análisis de correlación

Debido a la importante correlación entre la pirita y el ΔT , se realizan nuevos análisis que indagan otras cualidades de este mineral en la muestra y que son registradas en el análisis mineralógico de alta definición.

Asociaciones minerales. El reporte del análisis mineralógico de cada muestra señala el porcentaje de pirita, del contenido total, que se halla asociado a otros minerales y/o grupos minerales (Anexo 4 en Tabla A4.7.), como se muestra en el Tabla 7.2. Los porcentajes vinculados a cada mineral o agrupación específica son correlacionados con el ΔT , obteniendo valores de ρ menores a $|0,43|$, concordando con los resultados dados por r (Tabla 7.2.), y que indican baja o nula correlación.

La pulverización de las muestras redujo considerablemente la asociación de pirita con otros minerales, evidenciado en los altos porcentajes de pirita liberada (Anexo 4 en Tabla A4.5.), lo más probable es que este factor, si juega algún rol en la reactividad, no se reconozca debido al

tratamiento efectuado en las muestras.

Tabla 7.2. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y de Pearson (r) entre el ΔT y las asociaciones minerales con pirita, encontradas en las muestras del estudio (Anexo 4 en Tabla A4.7.).

| | ρ | r |
|--|--------|-------|
| Pirita: Calcopirita | -0,19 | -0,08 |
| Pirita: Otros sulfuros de Cu | 0,17 | 0,04 |
| Pirita: Calcopirita: Otros sulfuros de Cu | -0,10 | -0,13 |
| Pirita: Molibdenita | 0,23 | 0,26 |
| Pirita: Calcopirita: Molibdenita | -0,14 | -0,10 |
| Pirita: Silicatos duros | 0,22 | 0,29 |
| Pirita: Filosilicatos | 0,43 | 0,38 |
| Pirita: Silicatos duros: Filosilicatos | -0,04 | -0,12 |
| Pirita: Calcopirita: Silicatos | -0,17 | -0,15 |
| Pirita: Calcopirita: Otros sulfuros de Cu: Silicatos | 0,19 | 0,06 |
| Pirita: Calcopirita: Molibdenita: Silicatos | 0,20 | 0,02 |
| Pirita: Óxidos de Fe-Ti/ Hidróxidos | 0,26 | 0,00 |
| Pirita: Silicatos: Óxidos de Fe-Ti | 0,36 | 0,32 |
| Pirita: Otros/ Sulfuros complejos | 0,42 | 0,40 |
| Pirita: Sulfuros complejos: Silicatos: Óxidos de Fe-Ti | 0,11 | -0,14 |
| Pirita: Carbonatos: Silicatos: Óxidos de Fe-Ti | -0,27 | -0,22 |
| Pirita: Otros Sulfuros: Carbonatos: Óxidos de Fe-Ti | -0,21 | -0,20 |

Perímetro libre. Suponiendo que solo la superficie expuesta de la partícula es la que reacciona, lo esperable es que la correlación con el ΔT incremente a medida que el perímetro libre de las partículas de pirita es mayor. Sin embargo, se observa que para ambos coeficientes el valor más alto se alcanza al correlacionar el ΔT con un perímetro libre de un 80% a un 50% y no con las partículas expuestas totalmente (Tabla 7.3.). La causa de aquello se desconoce, sin embargo, los coeficientes de ρ y r para los tres rangos de liberación más altos tienen valores próximos entre ellos y no presentan una gran diferencia con los coeficientes obtenidos de la correlación entre el ΔT y el porcentaje de pirita total en la muestra (Tabla 7.1.).

Tamaño de partículas. El tamaño de las partículas de pirita, expresadas en micrometros (Tabla 7.4.), es indicado como el porcentaje del total en la muestra que pertenece a cada rango de tamaño. El porcentaje de cada rango es correlacionado con el ΔT resultando valores ρ y r progresivamente más altos a medida que la granulometría disminuye alcanzando un valor máximo de 0,81 y 0,83 respectivamente, a tamaños menores de 37 μm (Tabla 7.4.). El aumento

progresivo de la correlación se vincula a un aumento gradual del porcentaje de piritita hacia tamaños menores (Anexo 4 en Tabla A4.6.), encontrándose casi el total bajo las 37 μm , razón por la cual la correlación de ese rango es semejante al del porcentaje total de piritita (Tabla 7.1.). En conclusión, lo que se ve reflejado en la correlación es el porcentaje de piritita y no su granulometría.

Tabla 7.3. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y de Pearson (r) entre el ΔT y rangos de perímetro libre (%) en las partículas de piritita (Anexo 4 en Tabla A4.5.).

| % | ρ | r |
|------------------|--------|------|
| 100 | 0,80 | 0,79 |
| <100 y \geq 80 | 0,78 | 0,77 |
| <80 y \geq 50 | 0,82 | 0,85 |
| <50 y \geq 20 | 0,70 | 0,63 |
| <20 y >0 | 0,64 | 0,51 |
| 0 | 0,54 | 0,42 |

Tabla 7.4. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y de Pearson (r) entre el ΔT y rangos de tamaño en las partículas de piritita (Anexo 4 en Tabla A4.6.).

| μm | ρ | r |
|-------------------|--------|-------|
| <149 y \geq 105 | 0,04 | -0,07 |
| <105 y \geq 74 | 0,33 | 0,38 |
| <74 y \geq 53 | 0,55 | 0,55 |
| <53 y \geq 44 | 0,54 | 0,52 |
| <44 y \geq 37 | 0,63 | 0,62 |
| <37 | 0,81 | 0,83 |

7.3. TIEMPO DE INDUCCIÓN (t)

El tiempo que tarda en producirse la reacción es una variable que permite clasificar a las rocas reactivas acorde al riesgo que representan. Las rocas que inician la etapa intermedia de la reacción dentro de las 24 horas posteriores a la carga del explosivo, están dentro del tiempo de residencia (*sleep time*) estimado para el explosivo en el pozo antes de detonarlo, por lo tanto, el riesgo que suponen es mayor a otras rocas reactivas con un tiempo de inducción de más días.

En consecuencia, también se estudia el efecto de la mineralogía en el tiempo de inducción. Al

igual que con el ΔT , primero se analiza la correlación entre el tiempo de las 17 muestras reactivas y su mineralogía (Tabla 7.5.).

Tabla 7.5. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y de Pearson (r) entre el tiempo de inducción y los minerales identificados en las muestras reactivas (Anexo 4 en Tablas A4.1, A4.2, A4.3 y A4.4).

| | ρ | r | | ρ | r | | ρ | r |
|--------------|--------|-------|-----------------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|
| Calcopirita | 0,35 | 0,39 | Magnetita-Hematita-Goethita | 0,40 | 0,09 | Caolinita | -0,62 | -0,44 |
| Bornita | -0,19 | 0,05 | Goethita(Al)-Harrisonita | -0,21 | -0,22 | Montmorillonita | -0,01 | -0,01 |
| Covelina | -0,37 | -0,22 | Rutilo | 0,33 | 0,24 | Cloritas | -0,10 | -0,23 |
| Calcosina | -0,15 | -0,16 | Ilmenita | -0,09 | -0,18 | Circón | 0,35 | 0,52 |
| Tenantita | 0,28 | 0,41 | Cuarzo | -0,21 | -0,28 | Titanita-Esfeno | 0,15 | 0,21 |
| Enargita | 0,01 | 0,25 | Feldespato Potásico | 0,06 | 0,44 | Calcita | 0,32 | 0,32 |
| Tetrahedrita | 0,27 | 0,42 | Plagioclasa-Albita | 0,27 | 0,15 | Dolomita-Ankerita | 0,00 | 0,24 |
| Pirita | -0,06 | -0,16 | Epidota-Zoisita | -0,25 | 0,13 | Siderita(Mn) | 0,12 | 0,10 |
| Esfalerita | -0,06 | 0,22 | Turmalina | -0,07 | -0,06 | Yeso-Anhidrita | 0,39 | 0,85 |
| Arsenopirita | 0,38 | 0,16 | Anfíbola | 0,32 | 0,31 | Jarosita | -0,48 | -0,33 |
| Molibdenita | 0,23 | 0,72 | Sericita-Moscovita | 0,06 | -0,02 | Apatita | 0,42 | 0,44 |
| Galena | -0,25 | 0,15 | Biotita | 0,06 | -0,19 | | | |

Un tamaño muestral de solo 17 muestras reactivas, limita la fuerza de las pruebas de correlación de Spearman y de Pearson, incrementando la probabilidad de error en las interpretaciones. Por tanto, en esta etapa los valores de la Tabla 7.5. se consideran referenciales y se torna indispensable revisar los gráficos de dispersión antes de exponer conclusiones.

Los niveles de correlación señalados por ambos coeficientes, entre el tiempo de inducción y los minerales de las muestras reactivas, concuerdan en la mayoría de los casos. Entre las coincidencias está la pirita con cifras muy cercanas a cero, advirtiendo una muy baja correlación con el tiempo de inducción (Tabla 7.5.). La diferencia está en que el coeficiente de Spearman indica correlaciones moderadas a nulas, siendo la caolinita el mineral con el valor más alto, mientras que el coeficiente de Pearson señala correlaciones muy altas para la molibdenita y las fases de sulfato de calcio (yeso-anhidrita). Al examinar los gráficos de dispersión (Figura 7.2.), se observa que, a medida que aumenta la caolinita incrementa también el tiempo de inducción, aunque aparentemente no de manera lineal sino más bien de forma exponencial (Figura 7.2.A); en los casos de la molibdenita y yeso-anhidrita, se advierte una nube de puntos ubicada a valores

bajos de X e Y y algunos datos distanciados del resto a valores altos de ambos ejes, sin evidenciar algún tipo de relación (Figura 7.2.B y C).

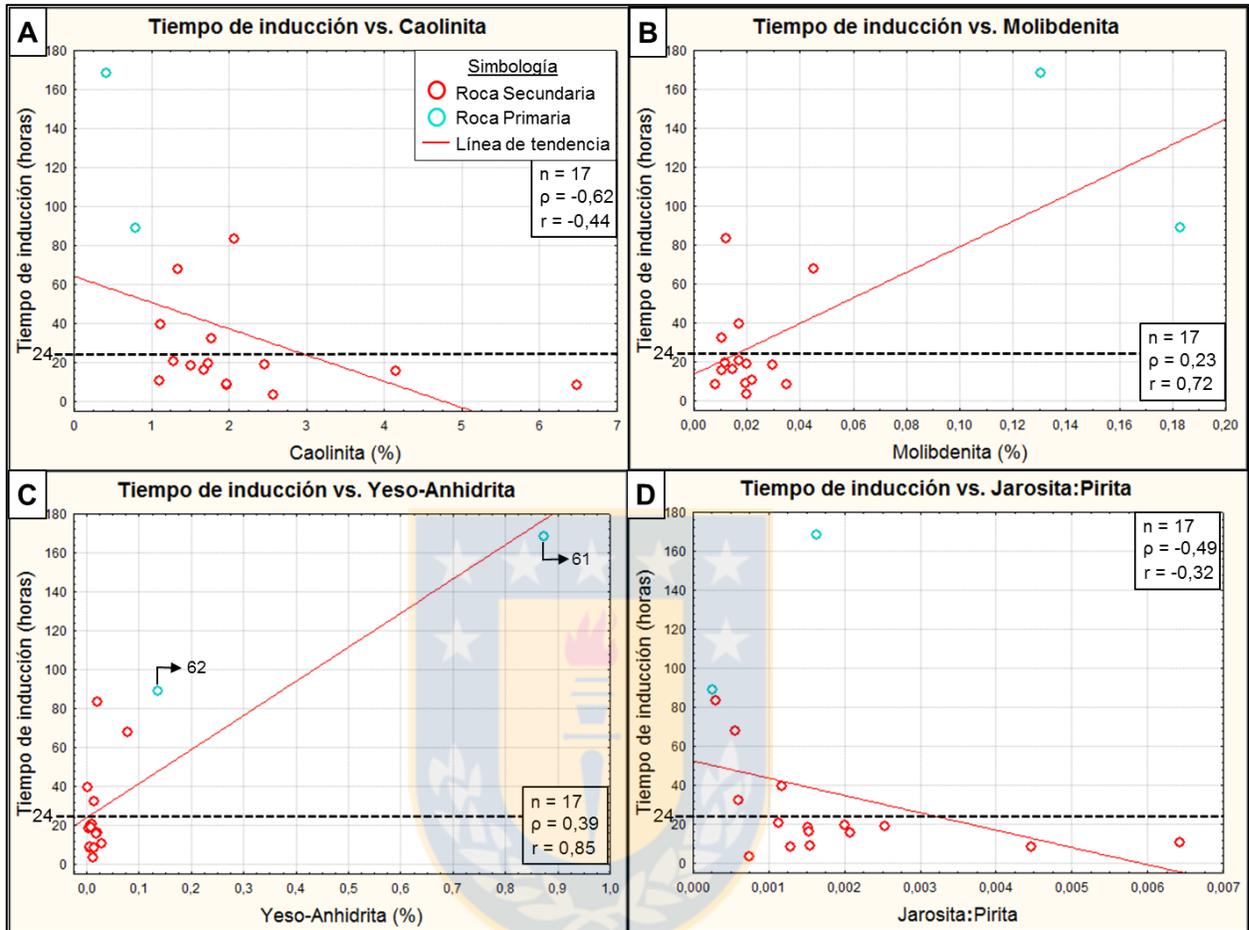


Figura 7.2. Gráficos de dispersión de caolinita (A), molibdenita (B), yeso-anhidrita (C) y razón jarosita:pirita (D) versus el tiempo de inducción de las muestras reactivas, distinguiendo rocas primarias de secundarias

Para extender la variable tiempo a las muestras geometalúrgicas es necesario establecer una alta correlación con una variable mineralógica, como lo es la pirita con el ΔT , que permita traducir límites temporales a valores de la variable. Sin embargo, como ninguno de los minerales establece un buen criterio de manera independiente, se procede a experimentar con relaciones entre minerales o ecuaciones entre sus concentraciones que entreguen correlaciones más altas. La elección de los minerales empleados en las ecuaciones se fundamenta en un estudio acabado de las variables que podrían afectar la reacción.

Según lo argumentado por distintos autores (Lukaszewski, 1968; Miron y otros, 1979; Xu y otros, 2010), los productos de la oxidación natural de la pirita (iones de hierro (II) e iones de

hidrógeno) aumentan la velocidad de la reacción y en consecuencia disminuyen el tiempo de inducción. Por esto, se indaga en la correlación entre el tiempo de inducción y la razón jarosita:pirita, como representativa del grado de oxidación del sulfuro en la muestra. Si bien existen otros minerales que también se forman por la oxidación de la pirita (sulfatos e hidróxidos) al examinar sus correlaciones (coeficientes de correlación y gráficos de dispersión), en asociación con pirita, estas no resultan relevantes. Por otra parte, aunque los valores de ρ y de r de la razón jarosita:pirita indican una correlación moderada ($\rho=-0,49$ y $r=-0,32$), los datos muestran una buena tendencia en el gráfico de dispersión (Figura 7.2.D), donde se observa que a medida que aumenta la razón el tiempo se reduce, aunque no queda claro si la tendencia es lineal o de otro tipo. Respecto al nivel de acidez, la caolinita es un silicato formado a partir de la meteorización química de los feldspatos en ambientes ácidos (Lottermoser, 2010), por lo tanto, puede interpretarse como un indicativo del nivel de acidez en la roca, el cual afecta directamente el avance de la reacción. Así, la correlación indica que, a mayor caolinita o mayor acidez menor es el tiempo de inducción (Figura 7.2.A.).

Al conjugar en una ecuación la caolinita y la razón jarosita:pirita (Figura 7.3.) y estudiar su correlación con el tiempo de inducción, se obtiene un aumento en el coeficiente de Spearman ($\rho=-0,77$), aunque, del gráfico de dispersión (Figura 7.4.) se puede deducir que la relación entre las variables se aproxima más a una tendencia exponencial que lineal. Por otra parte, se observa que las muestras con valores menores de 24 horas no se traslapan en el eje X con aquellas de tiempos superiores, pudiendo establecer un límite que permite diferenciar las muestras más riesgosas. Logrado este último punto, es posible extender el tiempo de inducción a las muestras geometalúrgicas. Finalmente, por motivos prácticos la ecuación se amplifica por 10.000 para así trabajar con valores enteros en lugar de decimales.

$$\alpha = \frac{\%Jarosita}{\%Pirita} \times \%Caolinita \times 10^4$$

Figura 7.3. Ecuación del índice de oxidación-acidez (α) para rocas secundarias.

Es importante mencionar que la ecuación (Figura 7.3.) solo se aplica a las rocas secundarias y no

a las rocas primarias, por dos razones; primero la ecuación incluye minerales formados por procesos de meteorización química, que las rocas primarias no han experimentado o de manera mínima; por otra parte, estas rocas se caracterizan por tener altos porcentajes de sulfato de calcio, en forma de yeso y anhidrita, sal que afecta al nitrato de amonio aumentando levemente su temperatura de detonación (Oxley y otros, 2002) y que no está considerada en la ecuación. Las dos condiciones mencionadas tienden a retardar la tasa de la reacción otorgándole a este tipo de rocas mayor tiempo de inducción.

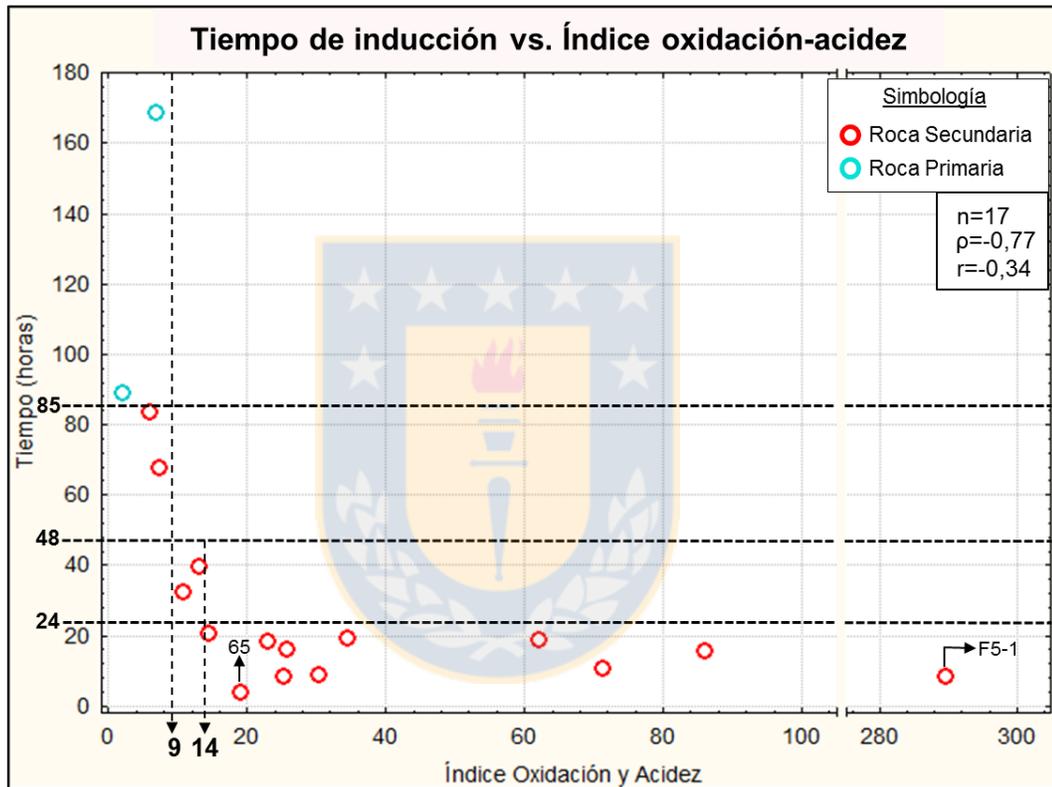


Figura 7.4. Gráfico de dispersión entre el tiempo de inducción y el índice de oxidación-acidez (α) de 17 muestras reactivas.

7.3.1. Índice de oxidación-acidez (α)

Al resultado de la ecuación planteada previamente se le denomina, índice de oxidación-acidez, puesto que conjuga ambas características, en la razón jarosita:pirita y en el porcentaje de caolinita. Posteriormente, con la distribución de las muestras reactivas en el gráfico de la Figura 7.4. se clasifican según su tiempo de inducción. Se establece que las rocas primarias demoran más de 85 horas en reaccionar, mientras que las rocas secundarias se diferencian en: las que

tardan menos de 24 horas en reaccionar, entre 24 y 48 horas y más de 48 horas. A las horas límite entre los rangos (24 y 48), se les asigna un valor en el eje X correspondiente a 14 y 9 respectivamente, los que se obtienen al promediar las coordenadas X de las muestras marginales entre un grupo y otro.

Establecido lo anterior, las muestras potencialmente reactivas se pueden clasificar de menor a mayor peligrosidad como indica la Tabla 7.6., la que se explica a continuación. A las rocas primarias se les evalúa un tiempo de inducción mayor a 85 horas, a las rocas secundarias con un índice de oxidación y acidez entre 0 y 9 se les estima un tiempo superior a 48 horas, con valores de 9 a 14 se considera un tiempo entre 24 a 48 horas y, por último, con un índice mayor a 14 se aproximan menos de 24 horas para iniciar la reacción.

Tabla 7.6. Estimación del tiempo de inducción en rocas potencialmente reactivas.

| | Índice oxidación-acidez (α) | Tiempo de inducción estimado |
|-----------------|--|---|
| Roca Primaria | No aplica | ≥ 85 hrs. |
| Roca Secundaria | < 9 | > 48 hrs. |
| | $[9 - 14[$ | $[48 - 24[$ hrs. |
| | ≥ 14 | ≤ 24 hrs. |

7.4. ANÁLISIS DE MUESTRAS PARTICULARES

Las rocas reactivas 65 y F5-1 destacan tanto por su ΔT como por su tiempo de inducción, por lo que son interpretadas de forma independiente.

La muestra 65 posee el mayor ΔT equivalente a $9,8^{\circ}\text{C}$ (Figura 7.1.) y el tiempo de inducción menor de 3 horas (Figura 7.4.). Después de analizar comparativamente su contenido mineralógico con el resto de las muestras reactivas con el propósito de encontrar diferencias que pudieran sugerir una causa para su alta reactividad, se infiere que probablemente una variable distinta a la mineralogía, y a las controladas en el test de reactividad (temperatura de la roca, temperatura del nitrato de amonio y granulometría de la roca), sea la que interfiere distinguiéndola del resto de las muestras reactivas.

La muestra F5-1 se encuentra en la zona de transición o traslaparse junto a la muestra 44, que a pesar de tener un mayor porcentaje de pirita no es reactiva (Figura 7.1.). Al indagar de manera

independiente ambas muestras se observa que la muestra F5-1 posee un índice de oxidación y acidez de 290, lo cual es considerablemente mayor al resto de las muestras reactivas, que no superan el 100 (Figura 7.4.). Esto podría explicar la duda inicial, debido a que un mayor grado de oxidación de la pirita y/o un ambiente más ácido favorecen la reacción y por lo tanto permitiría que avanzara la reacción aun con el bajo contenido de pirita.



8. GEOQUÍMICA Y REACTIVIDAD

8.1 GENERALIDADES

Al igual que con la mineralogía, se indaga la existencia de una posible relación entre la reactividad de la roca y su composición elemental. Se sigue el mismo procedimiento, pero esta vez no existe referencia de estudios anteriores que puedan servir de apoyo en el análisis de los resultados. No obstante, las conclusiones obtenidas permiten orientar futuros análisis geoquímicos.

8.2. TEMPERATURA

De los 55 elementos, el cobalto, el hierro y el azufre presentan coeficientes de Spearman y Pearson que indican una correlación importante con el ΔT (Tabla 8.1.), entretanto el análisis del bario entrega valores de ρ y r discordantes entre sí, puesto que el primero señala una muy buena correlación con el ΔT , pero el segundo sugiere una relación moderada (Tabla 8.1.).

Tabla 8.1. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y de Pearson (r) entre el ΔT y la concentración de los elementos en las 53 muestras del estudio (Anexo 5).

| | ρ | r |
|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|-------|
| Ag | 0,10 | 0,02 | Er | -0,08 | 0,16 | Na | -0,50 | -0,47 | Sn | 0,26 | 0,12 |
| Al | -0,33 | -0,34 | Eu | -0,07 | 0,16 | Nb | -0,30 | -0,29 | Sr | -0,37 | -0,30 |
| As | 0,34 | 0,35 | Fe | 0,68 | 0,63 | Nd | -0,09 | 0,19 | Te | 0,53 | 0,61 |
| Ba | -0,76 | -0,51 | Ga | -0,07 | -0,13 | Ni | 0,02 | 0,01 | Th | 0,02 | 0,03 |
| Be | -0,02 | 0,15 | Gd | -0,15 | 0,03 | P | -0,41 | -0,31 | Ti | -0,42 | -0,35 |
| Bi | 0,55 | 0,48 | Hf | -0,07 | 0,20 | Pb | -0,09 | -0,03 | Tl | -0,34 | -0,33 |
| Ca | -0,38 | -0,33 | Ho | -0,09 | 0,02 | Pr | -0,13 | 0,22 | U | 0,27 | 0,09 |
| Cd | -0,29 | -0,11 | In | 0,36 | 0,38 | Rb | 0,11 | 0,01 | V | -0,35 | -0,26 |
| Ce | -0,18 | 0,23 | K | 0,06 | -0,07 | Re | -0,02 | -0,10 | W | 0,29 | 0,18 |
| Co | 0,70 | 0,73 | La | -0,33 | 0,23 | S | 0,81 | 0,77 | Y | -0,13 | 0,07 |
| Cr | 0,02 | 0,05 | Li | -0,29 | -0,28 | Sb | 0,11 | 0,35 | Yb | -0,06 | 0,20 |
| Cs | -0,35 | -0,28 | Mg | -0,33 | -0,24 | Sc | -0,09 | -0,11 | Zn | -0,33 | -0,15 |
| Cu | -0,03 | -0,09 | Mn | -0,22 | -0,19 | Se | 0,28 | 0,18 | Zr | -0,04 | 0,29 |
| Dy | -0,10 | 0,09 | Mo | -0,02 | -0,04 | Sm | -0,07 | 0,12 | | | |

La distribución de los datos en el gráfico de dispersión del azufre versus el ΔT (Figura 8.1.A) es similar al de la pirita (Figura 7.1.), en cuanto a que las muestras reactivas se agrupan en altas concentraciones de azufre y las no reactivas en porcentajes bajos de este elemento, no obstante,

se diferencian en que el número de muestras traslapadas es mayor. En el gráfico de dispersión del cobalto y el hierro (Figura 8.1.B y C), la segregación de las muestras reactivas y no reactivas según la concentración elemental es menos clara, concordando con los valores más bajos en los coeficientes de correlación. Finalmente, en el gráfico del bario (Figura 8.1.D) la mayor parte de las muestras no reactivas están dispersas en concentraciones mayores a 40 ppm, mientras las reactivas se agrupan mayoritariamente, y en tendencia casi vertical, entre los 20 y 60 ppm, dejando en evidencia que no existe una relación lineal con el ΔT . Aun así, es posible deducir que las muestras reactivas se asocian a bajos contenidos de bario.

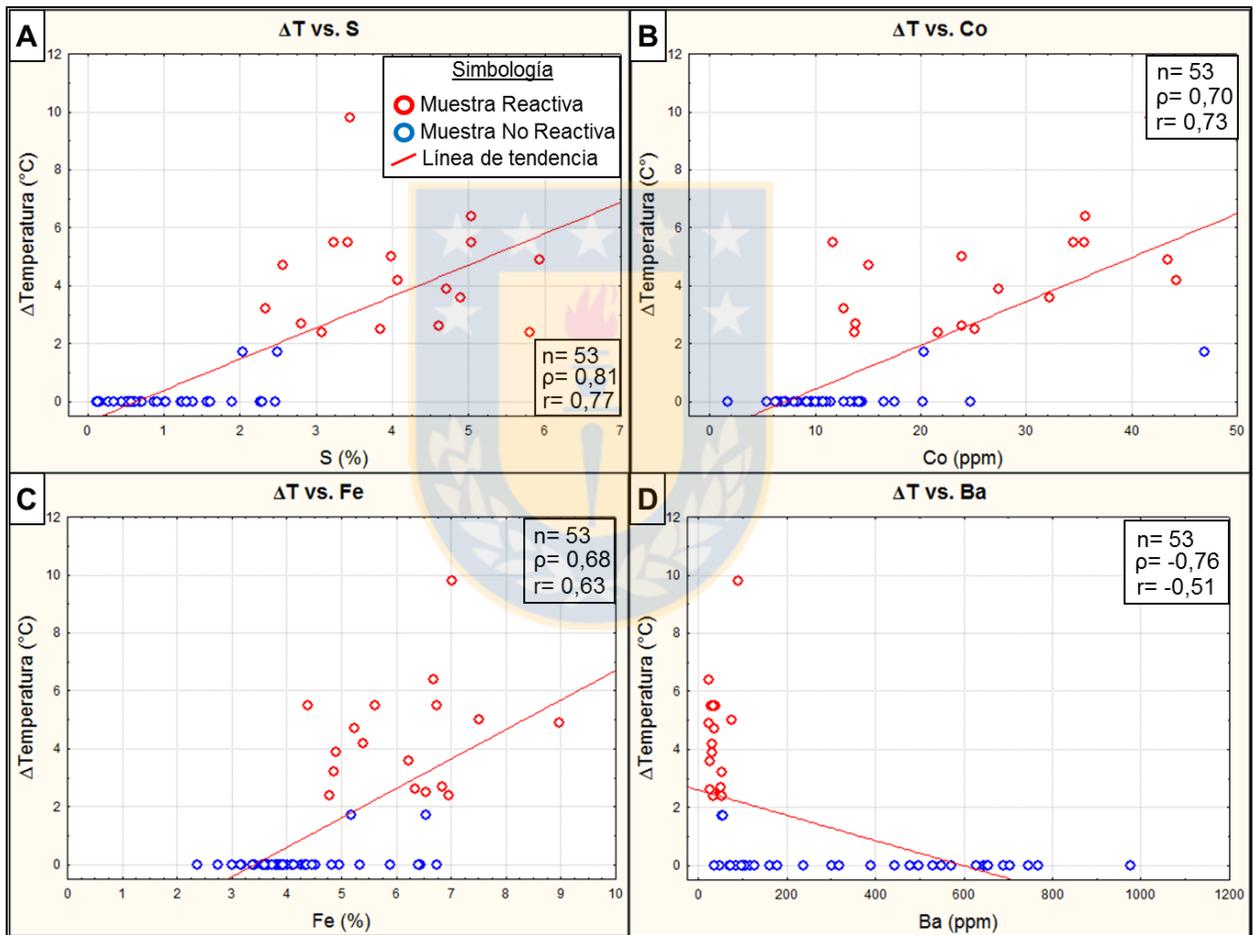


Figura 8.1. Gráficos de dispersión entre el ΔT y la concentración de azufre (A), cobalto (B), hierro (C) y bario (D), en las muestras del estudio.

Se examina la correlación entre el contenido de pirita y la concentración de azufre, cobalto y hierro, en las muestras del estudio, con el propósito de explicar las buenas correlaciones de estos elementos con el ΔT . Los altos valores de ρ y r conseguidos en el análisis ($\rho_S=0,94$, $\rho_{Co}=0,77$ y

$\rho_{\text{Fe}}=0,74$; $r_{\text{S}}=0,95$, $r_{\text{Co}}=0,77$ y $r_{\text{Fe}}=0,74$), permite suponer que las concentraciones de estos elementos en las rocas muestreadas estarían condicionadas por su correspondiente contenido de pirita, en mayor nivel la del azufre y parcialmente la del cobalto y del hierro, según su nivel de correlación con el mineral, probablemente formando parte de su estructura cristalina. Por ende, la buena correlación de los tres elementos con el ΔT sería un reflejo de la importancia de la pirita como un factor de la reactividad.

La predisposición de las rocas reactivas a contener bajo concentración de bario, podría vincularse a la presencia del elemento en una fase mineral, no identificada, que interviene en la reacción entre pirita y nitrato de amonio, mermando la liberación de calor. Al no tener antecedentes ni evidencias contundentes de algún mineral que actúe atenuando la reactividad, resulta complejo vincular la presencia del bario a una fase en específico que cumpla con ese rol.

8.3. TIEMPO DE INDUCCIÓN

El análisis de correlación entre el tiempo de inducción y la concentración elemental de las muestras reactivas arroja coeficientes de Spearman que sugieren correlaciones moderadas a muy bajas (Tabla 8.2.). Si bien, los coeficientes de Pearson coinciden en su mayoría con los coeficientes ρ , existe una discrepancia importante en las correlaciones indicadas para el calcio, renio y molibdeno (Tabla 8.2.).

Tabla 8.2. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y de Pearson (r) entre el tiempo de inducción y la concentración de los elementos en las 17 muestras reactivas (Anexo 5).

| | ρ | r |
|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|-------|
| Ag | 0,13 | 0,15 | Er | -0,26 | -0,30 | Na | 0,09 | 0,06 | Sn | 0,24 | 0,26 |
| Al | -0,25 | -0,39 | Eu | 0,17 | -0,05 | Nb | 0,39 | 0,11 | Sr | 0,07 | 0,37 |
| As | 0,34 | 0,27 | Fe | -0,01 | -0,20 | Nd | -0,04 | -0,13 | Te | -0,11 | -0,11 |
| Ba | 0,13 | 0,02 | Ga | 0,16 | 0,21 | Ni | -0,05 | -0,22 | Th | 0,19 | 0,13 |
| Be | 0,17 | 0,32 | Gd | -0,11 | -0,23 | P | -0,17 | -0,03 | Ti | 0,13 | -0,08 |
| Bi | -0,06 | -0,09 | Hf | -0,15 | -0,08 | Pb | -0,22 | -0,23 | Tl | 0,18 | 0,14 |
| Ca | 0,54 | 0,85 | Ho | 0,09 | 0,16 | Pr | -0,06 | -0,10 | U | 0,28 | 0,29 |
| Cd | 0,31 | 0,35 | In | -0,36 | -0,28 | Rb | -0,24 | -0,25 | V | -0,35 | -0,05 |
| Ce | -0,07 | -0,13 | K | -0,21 | -0,19 | Re | 0,42 | 0,81 | W | 0,16 | 0,30 |
| Co | -0,34 | -0,27 | La | -0,04 | -0,14 | S | 0,17 | 0,17 | Y | 0,12 | -0,05 |
| Cr | 0,17 | -0,12 | Li | -0,08 | -0,07 | Sb | -0,19 | 0,06 | Yb | 0,01 | -0,13 |
| Cs | 0,16 | -0,16 | Mg | 0,00 | -0,17 | Sc | -0,02 | -0,27 | Zn | -0,12 | 0,04 |
| Cu | 0,26 | 0,29 | Mn | 0,05 | -0,15 | Se | 0,23 | 0,45 | Zr | -0,08 | -0,01 |
| Dy | 0,33 | 0,26 | Mo | 0,39 | 0,79 | Sm | 0,11 | -0,02 | | | |

El calcio exhibe la mejor relación lineal con el tiempo de inducción (Figura 8.2.A), no obstante, como este se encuentra conformando distintos minerales del depósito (plagioclasas, epidota, actinolita, anhidrita, yeso, etc.) es difícil saber cuál(es) de esas fases estaría generando tal efecto en las rocas reactivas y bajo que mecanismo, sin tener antecedentes de estudios previos. Por otra parte, las tendencias del renio y el molibdeno (Figura 8.2.B y C) son menos evidentes, siendo esta última semejante a la observada entre la molibdenita y el tiempo de inducción, puesto que prácticamente la totalidad del molibdeno se encuentra conformando este mineral.

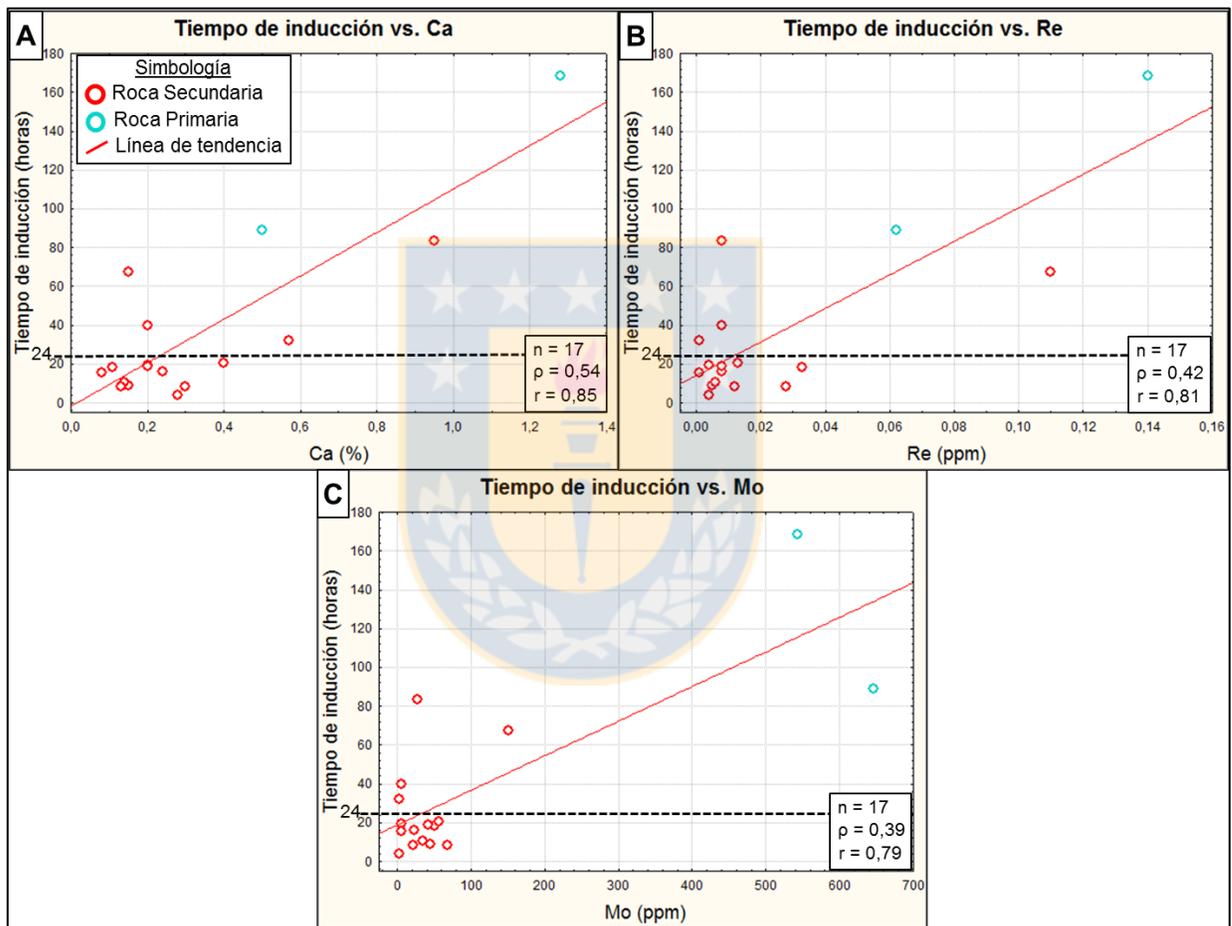


Figura 8.2. Gráficos de dispersión entre el tiempo de inducción y la concentración de calcio (A), renio (B) y molibdeno (C) de las muestras reactivas.

Es significativo recalcar que, las correlaciones resultantes entre los elementos y el tiempo de inducción pueden estar influenciadas por el tamaño muestral insuficiente ocupado en el análisis, siendo recomendable realizarlo nuevamente con un número superior de muestras.

9. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS POTENCIALMENTE REACTIVAS

9.1. GENERALIDADES

A partir del análisis de correlación entre la mineralogía y el ΔT , de las 53 muestras con análisis de reactividad y QEMSCAN®, se reconoce a la pirita como un factor de la roca que es determinante en la reactividad y se define el concepto de reactividad potencial en base al contenido de este mineral, aplicándolo a muestras que no poseen estudios de reactividad. La clasificación de las muestras geometalúrgicas según este criterio, permite realizar una primera estimación de las zonas que tendrían mayor potencial de reaccionar de las que tienen menos probabilidades, considerando el modelo geológico del yacimiento en conjunto a un análisis estadístico básico

9.2. ASOCIACIONES MINERALÓGICAS

Como se determinó en el capítulo 7, la pirita es el principal mineral que controla la reactividad, por lo que su presencia en las rocas reactivas es una condición necesaria, pero no suficiente para garantizar reactividad.

Aun así, las zonas con mayores contenidos de pirita serán más propensas a reaccionar con el explosivo, que según la geología del depósito corresponde a los sectores de alteración QS y SG, donde se asocian la sericita, cuarzo y arcillas. Si además existe meteorización química importante con presencia de jarosita u otros minerales formados producto de la oxidación de sulfuros, se incrementa la probabilidad de una detonación prematura al disminuir el tiempo de inducción, valorando a estas zonas como las de mayor riesgo.

Por el contrario, las áreas menos proclives a presentar reactividad son aquellas donde los contenidos de pirita son mínimos, tales como las zonas de alteración potásica (Bt-Fk, Fk-Bt, FBt y FBt-Cl) donde predomina la biotita, feldespato potásico, anhidrita, sericita verde, cuarzo y clorita, mayoritariamente, con mineralización principal de calcopirita. Los sectores sin mineralización como las chimeneas dacítica y riolítica también tienen bajas probabilidades de reaccionar.

Lo anterior se visualiza en la Figura 9.1, que muestra las distintas alteraciones reconocidas en las muestras geometalúrgicas, cada columna corresponde a un tipo de alteración y es dividida según

el porcentaje de muestras potencialmente reactivas ($\geq 4\%$ piritita), potencialmente no reactivas ($< 3,6\%$ piritita) y transicionales ($\geq 3,6\%$ y $< 4\%$ piritita) que contenga.

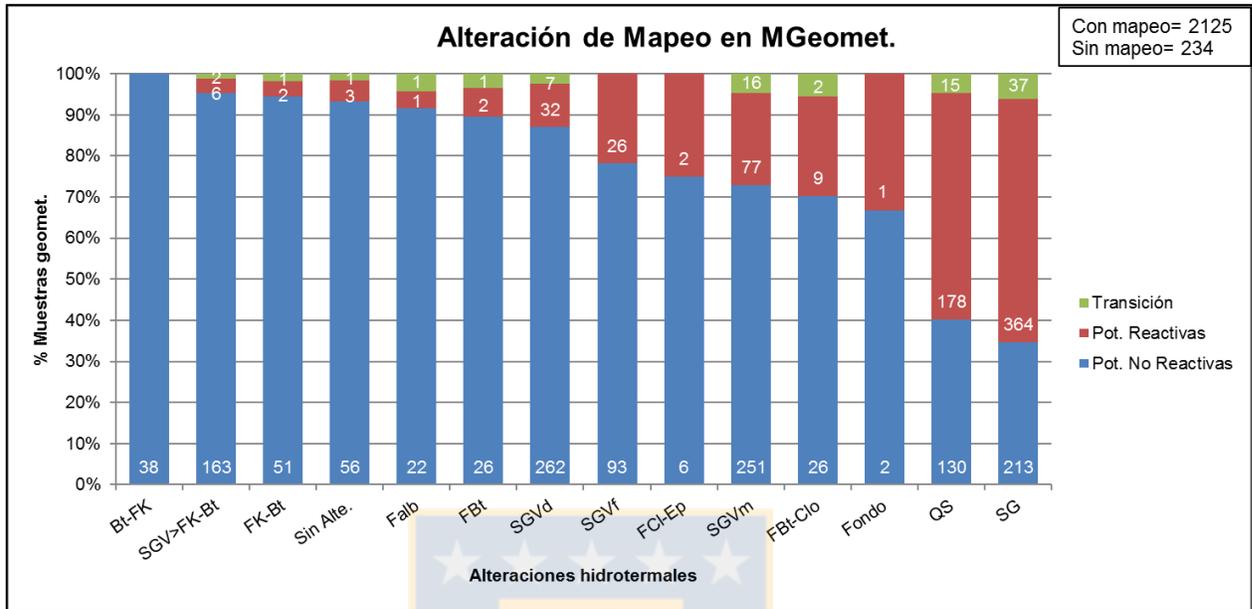


Figura 9.1. Gráfico de columnas con porcentaje apilado, con las muestras geometalúrgicas clasificadas según tipo de alteración hidrotermal y reactividad potencial. Adicionalmente, en cada columna se señala el número de muestras pertenecientes a cada categoría de reactividad.

Por otra parte, las zonas bajo el techo de sulfatos con menor grado de meteorización, también tienen menos probabilidades de reaccionar. En el caso de ser reactivas, como las muestras primarias 61 y 62, es esperable que el tiempo de inducción sea posterior a las 24 horas de carga del explosivo.

9.3. ESTILOS DE MINERALIZACIÓN

Al pulverizar la muestra en el test de reactividad se pierden todas las características de la roca vinculadas a la textura, incluida la ocurrencia de la mineralización. Por lo tanto, en el ambiente de experimentación del test, la textura de la roca no tiene ninguna influencia en la reactividad.

Para poder estudiar el rol de los estilos de mineralización en la reactividad se tendría que implementar una prueba de laboratorio con rocas íntegras, puesto que actualmente el Código de práctica de AEISG considera como máximo análisis en partículas de roca de 2 mm.

10. ZONACIÓN DEL DEPÓSITO

10.1. GENERALIDADES

Se realiza una zonación de la reactividad en el depósito haciendo uso de las muestras geometalúrgicas y el modelo de bloques de pirita. Posteriormente se divide a las áreas potencialmente reactivas, correspondientes a zonas con más de 3,6% de pirita (muestras de transición y potencialmente reactivas), conforme al tiempo de inducción estimado.

Antes de aplicar con propiedad los criterios de reactividad potencial e índice de oxidación-acidez en las muestras geometalúrgicas, es necesario efectuar una validación que compruebe la coincidencia espacial entre los valores calculados y los valores reales de las muestras del estudio.

10.2. ZONACIÓN DE LA REACTIVIDAD

10.2.1. Validación de la reactividad potencial

La validación consiste en verificar si las muestras reactivas y las potencialmente reactivas coinciden en el mismo espacio del depósito, como también las no reactivas con las potencialmente no reactivas. Para ello se utiliza el software Vulcan, donde luego de desplegar todas las muestras se ejecuta una comparación visual por niveles y perfiles, separados entre ellos por 30 m con un rango de influencia de 15 m.

Se obtiene una coincidencia en la mayoría de los casos, como se observa en la Figura 10.1.A. En algunas secciones donde las muestras geometalúrgicas no encajan con los resultados más cercanos ocurre que la reactividad del sector es “heterogénea”, existiendo concordancia en ese aspecto (Figura 10.1.B).

Por lo tanto, se valida la reactividad potencial en las muestras geometalúrgicas como una buena estimación de la reactividad real en el depósito. En la Figura 10.2. se muestra una vista en planta y de perfil de la distribución de las muestras geometalúrgicas y su clasificación de acuerdo a su reactividad potencial, resultando el 38% como potencialmente reactivas.

10.2.2. Reactividad potencial en el depósito

Conforme a los rangos definidos, se emplea el modelo de bloques de pirita para distinguir al depósito en tres zonas, representadas en la Figura 10.3.: zona potencialmente no reactiva (pirita

<3,6%), zona de transición (pirita $\geq 3,6$ y $< 4\%$) y zona potencialmente reactiva (pirita $\geq 4\%$).

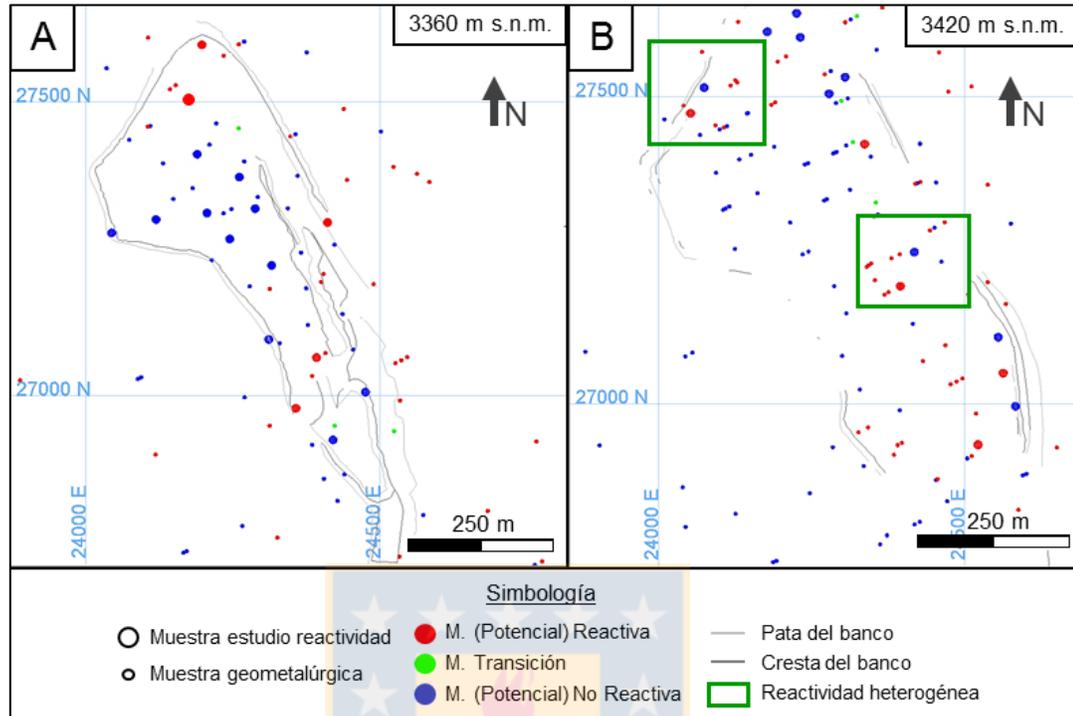


Figura 10.1. Secciones en planta del proceso de validación espacial de la reactividad potencial. A) Existe coincidencia espacial entre las muestras del estudio y las muestras geoquímicas. B) Aparentemente no existe concordancia debido a una reactividad “heterogénea” en el sector.

Como el modelo realiza la estimación a partir de las muestras geoquímicas, en los sectores del depósito donde existe baja densidad de muestras se generan artefactos, principalmente en la periferia, el sector Sur-Sur, el extremo sur del rajo Don Luis (en proceso de explotación) y en profundidad bajo la cota 3.000 m s.n.m. (Figura 10.2.). Por lo tanto, se asume que la estimación no tiene validez en esas áreas y se restringe la zonación a los sectores con suficiente número de muestras.

Por otra parte, se aprecia en la Figura 10.3. que las zonas potencialmente reactivas coinciden con las áreas de alteración SG y QS, en el modelo geológico integrado (Figura 10.4.), mientras que las zonas de las litologías CHDAC y CHRIOL se catalogan como potencialmente no reactivas.

Dentro de las zonas susceptibles a reaccionar, las rocas que resulten reactivas tendrán distintos tiempos de inducción, por lo tanto, surge la necesidad de estimar este parámetro con el fin identificar las zonas de mayor riesgo en el proceso de tronadura.

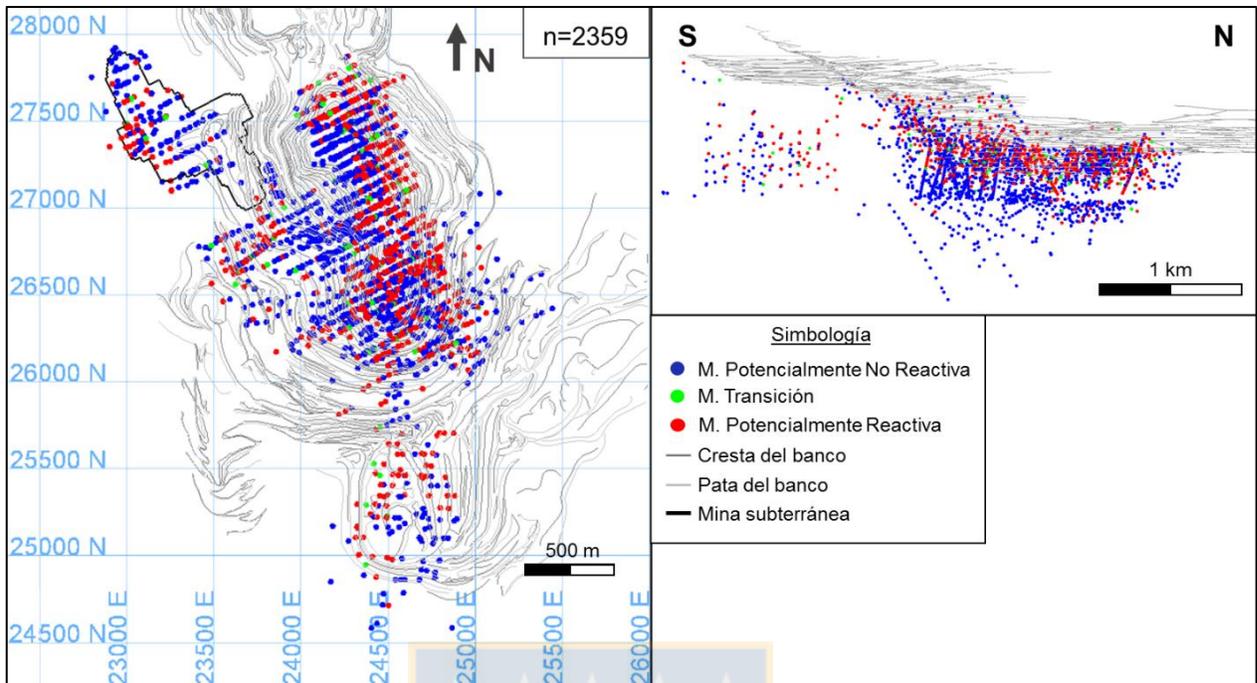


Figura 10.2. Vista de planta (izq.) y de perfil (der.) de las muestras geometalúrgicas ubicadas en el depósito y clasificadas según su reactividad potencial.

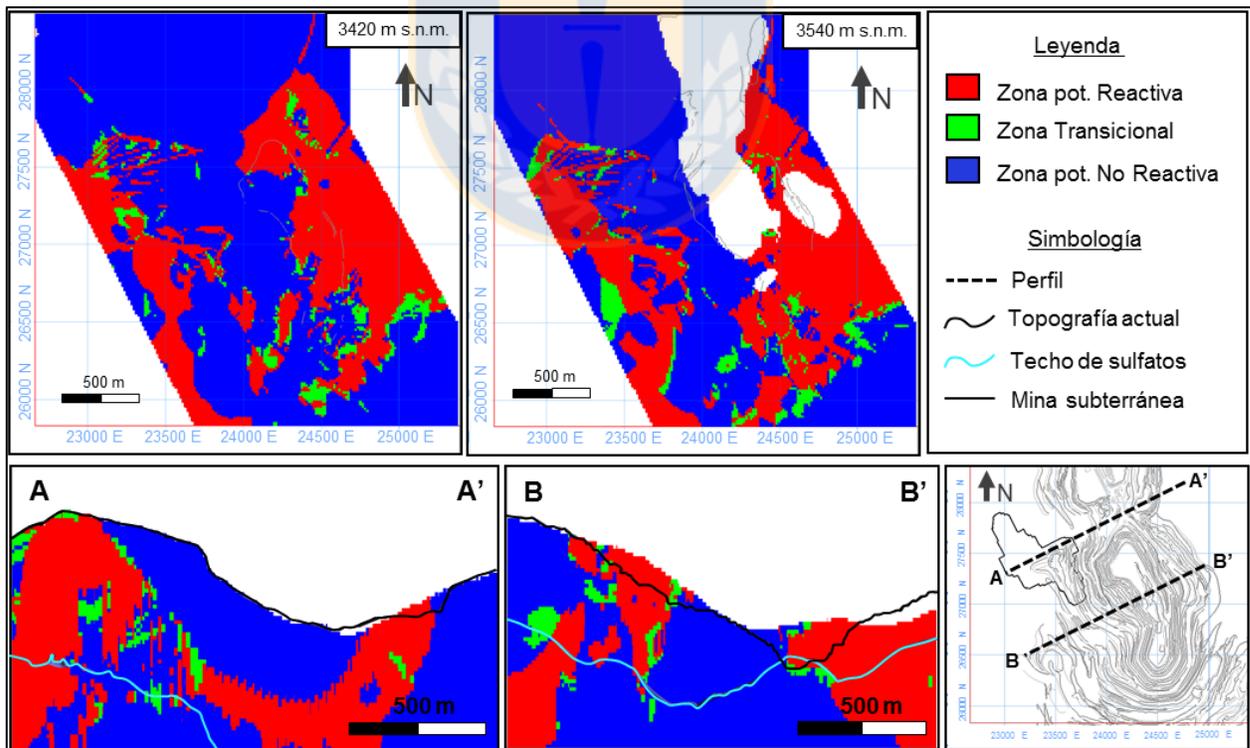


Figura 10.3. Secciones en planta (fila sup.) y de perfil (fila inf.) que exhiben la zonación de la reactividad potencial en el depósito Río Blanco.

verificación y en las que se hayan, están muy distanciadas de las muestras a validar (Figura 10.5.). Aun así, se continúa con la subdivisión del tiempo de inducción estimado en las zonas con posibilidad de reaccionar, con el propósito de plasmar una propuesta que posteriormente, cuando el número de muestras reactivas sea mayor, tendrá que ser corroborada, modificada o rechazada si se planea ejecutar la zonación de manera formal en el depósito.

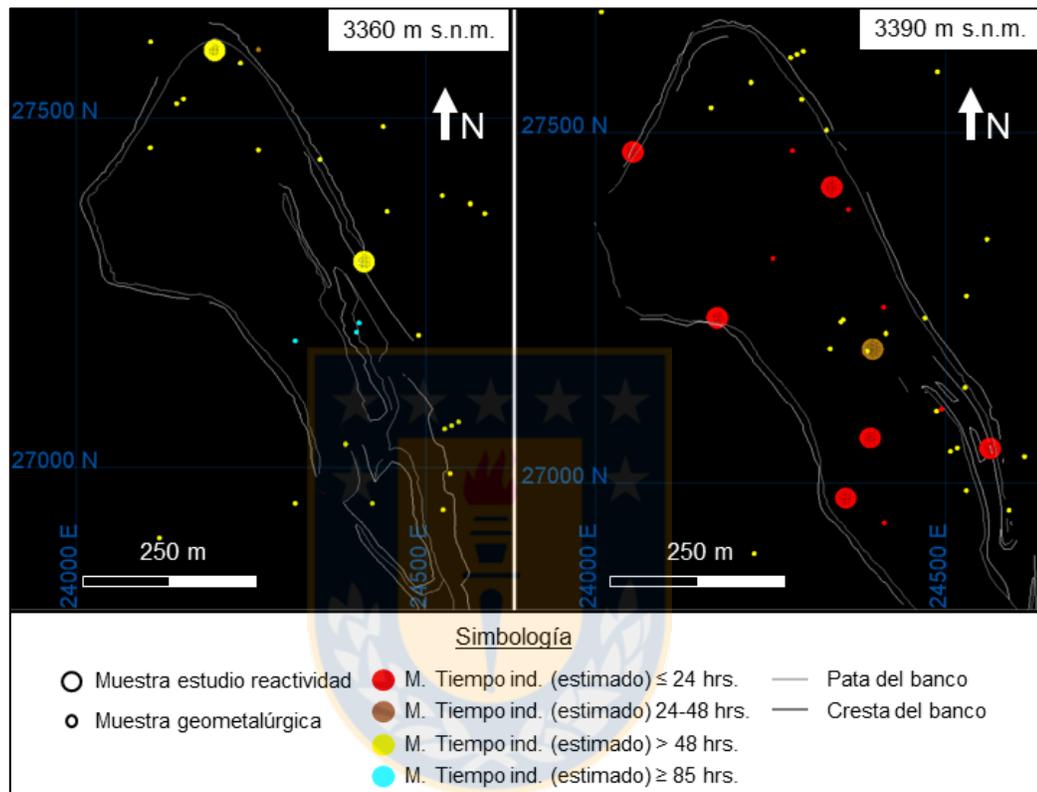


Figura 10.5. Secciones en planta del proceso de validación espacial del tiempo de inducción estimado. En ambas hay pocas muestras de referencia, además están espaciadas entre sí y de las muestras geometalúrgicas.

En la Figura 10.6. se expone una vista de planta y de perfil de las muestras geometalúrgicas potencialmente reactivas y de transición clasificadas según su tiempo de inducción estimado.

10.3.2. Tiempo de inducción estimado en zonas potencialmente reactivas

Para proceder con la zonación del tiempo se debe incorporar nueva información en el modelo de bloques de pirita, correspondiente a la estimación de jarosita y caolinita en el depósito, sumado a la separación de las rocas en primarias y secundarias.

Los resultados indican que a la mayor parte de las zonas potencialmente reactivas se les estima

un tiempo de inducción menor a 48 horas, mientras que las zonas más riesgosas (menos de 24 horas) quedan reducidas a pequeños sectores distribuidos heterogéneamente y agrupados principalmente en el rajo (Figura 10.7.). Más en profundidad, cerca del techo de sulfatos, el tiempo de inducción estimado aumenta.

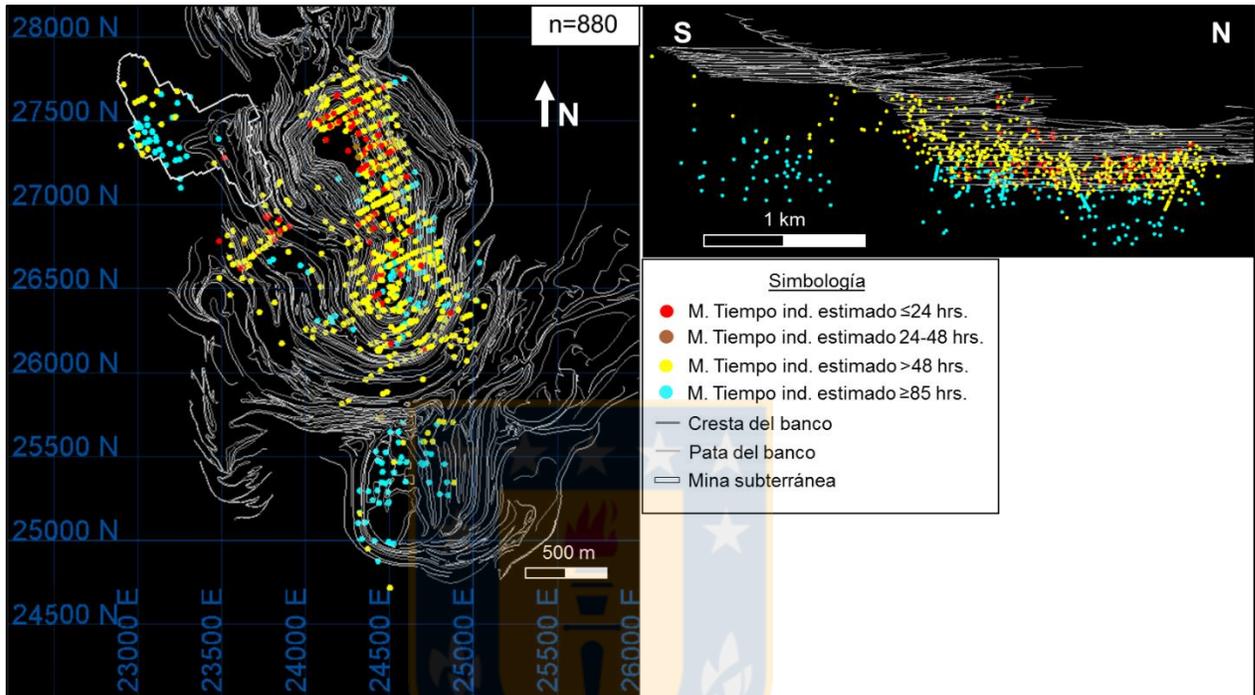


Figura 10.6. Vista de planta (izq.) y de perfil (der.) de las muestras geometalúrgicas potencialmente reactivas localizadas en el depósito y clasificadas según su tiempo de inducción estimado.

En distintas secciones se observa que la zona perteneciente a la litología de BxCHRIOL no está clasificada (no coloreada, Figura 10.7. en perfil A-A'). Sin embargo, como se observa en el perfil A-A' de la Figura 10.3., esa zona está catalogada como potencialmente reactiva, lo que significa que existen datos de porcentaje de pirita, pero no de jarosita y caolinita lo que impide continuar con la clasificación de acuerdo al tiempo de inducción estimado.

Se debe tener en cuenta que uno de los factores fundamentales del tiempo de inducción es la meteorización química, por lo tanto, a medida que el rajo se profundice y se exponga roca fresca, la zonación debe actualizarse constantemente con nuevas muestras, para de esa manera no generar un riesgo adicional al indicar una zona como segura cuando en realidad no lo es.

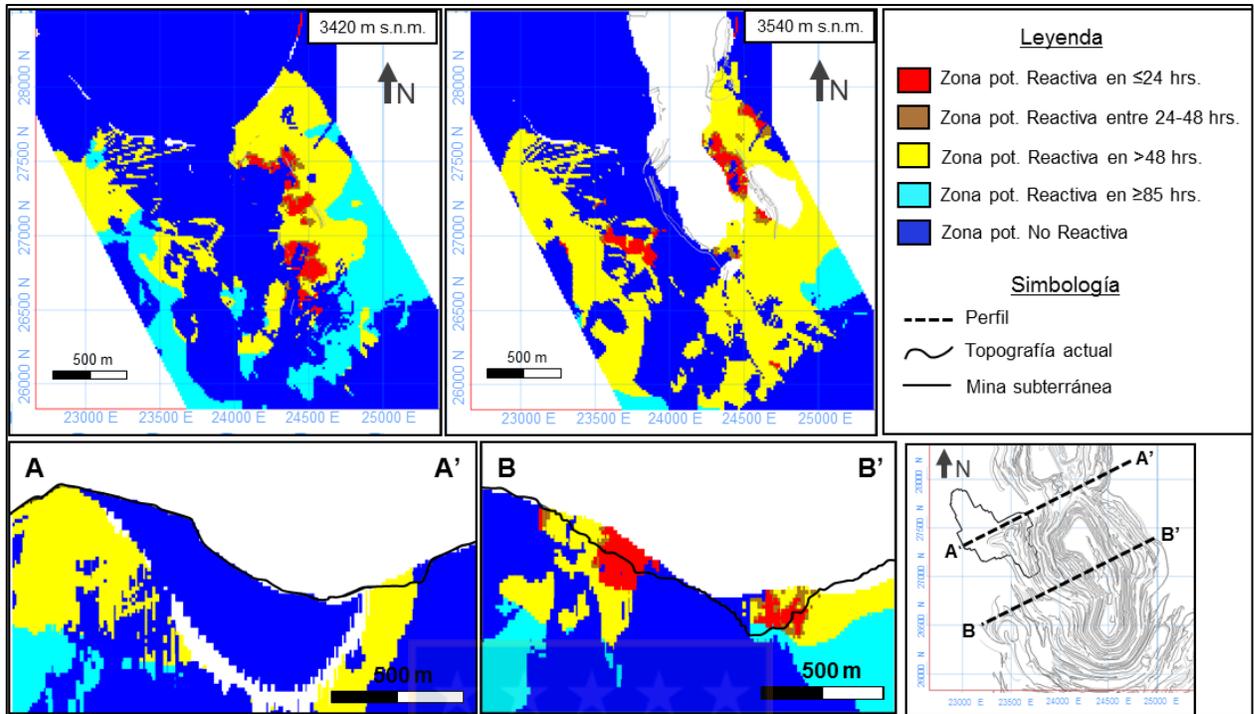


Figura 10.7. Secciones en planta (fila sup.) y de perfil (fila inf.) que exhiben la zonación de la reactividad potencial y del tiempo de inducción estimado en el depósito Río Blanco.

11. DISCUSIONES

11.1. GENERALIDADES

El estudio de la roca, como una parte fundamental de la reactividad con el explosivo destinado a tronar, proporciona acotaciones relevantes de ciertos aspectos que deben tomarse en consideración si se desea continuar con el proceso e implementar una zonación en el depósito. Posterior a lo cual, resulta esencial implementar un protocolo que permita regir y guiar los procedimientos de muestreo, mapeo y análisis.

11.2. TRATAMIENTO DE MUESTRAS

El muestreo para el estudio de la distribución de las rocas reactivas en el depósito Río Blanco se inicia de manera experimental, aunque fundamentándose en el código de práctica de AEISG. Como este compilado no especifica detalles del procedimiento, sino que realiza indicaciones de manera general de lo que se debe cumplir para obtener un muestreo adecuado, existen correcciones que se implementan entre las distintas etapas del proceso. Una de ellas consiste en la masa extraída para conformar cada muestra, inicialmente se recolectan 40 kg divididos en dos bolsas de forma equitativa, no obstante, existe discrepancia en los resultados de reactividad entre las bolsas de la misma muestra (test efectuado en duplicados de muestras reactivas extraídas en etapas 4 y 5, Figura 5.2.), lo que sumado al hecho de que el test solo requiere aproximadamente 200 g de muestra, en la etapa 6 se reduce a una bolsa de 20 kg suficiente para conservar un respaldo, mapear y efectuar análisis adicionales.

A pesar de seleccionar la colpa más representativa de la muestra durante el mapeo, la dificultad causada por la heterogeneidad propia de las rocas, que genera discrepancias en el test de reactividad todavía permanece. Lo ideal sería pulverizar la muestra completa, homogenizarla y sellarla al vacío inmediatamente, para luego enviarla a los laboratorios encargados del test de reactividad y del análisis mineralógico, lo cual permitiría asegurar que la reactividad resultante es representativa de todo el sector muestreado.

11.3. TEST DE REACTIVIDAD

El test de laboratorio para determinar la reactividad de una muestra es realizado por la empresa ORICA S.A., que rige su procedimiento por el código de práctica de AEISG. Sin embargo,

existen detalles del proceso que es necesario aclarar y otros que no concuerdan con lo planteado en la última edición del código, publicada el año 2017, y que se mencionan a continuación.

11.3.1. Calefactor en seco

Llama la atención que, en los distintos test, así como, en una misma tanda de prueba, no todas las muestras alcanzan los 55°C, sino que la mayoría tiene un rango de variación de $\pm 2^\circ\text{C}$, como se muestra en la Figura 11.1., lo que se encuentra acorde a lo indicado por el código de práctica. Si bien el margen de precisión del calefactor es de $\pm 0,2^\circ\text{C}$, las termocuplas, encargadas de registrar la temperatura, tienen una tolerancia de $\pm 2^\circ\text{C}$ (Figura 11.2.), razón por la que ese rango de variación de la temperatura de base es permitido. Sin embargo, las muestras 28, 07-06-16 y 08-06-16 se exceden de este margen, la primera es mantenida a una temperatura de base de $57,3^\circ\text{C}$ y las dos últimas tienen en instantes de la prueba una temperatura inferior a 53°C (Anexo 3).

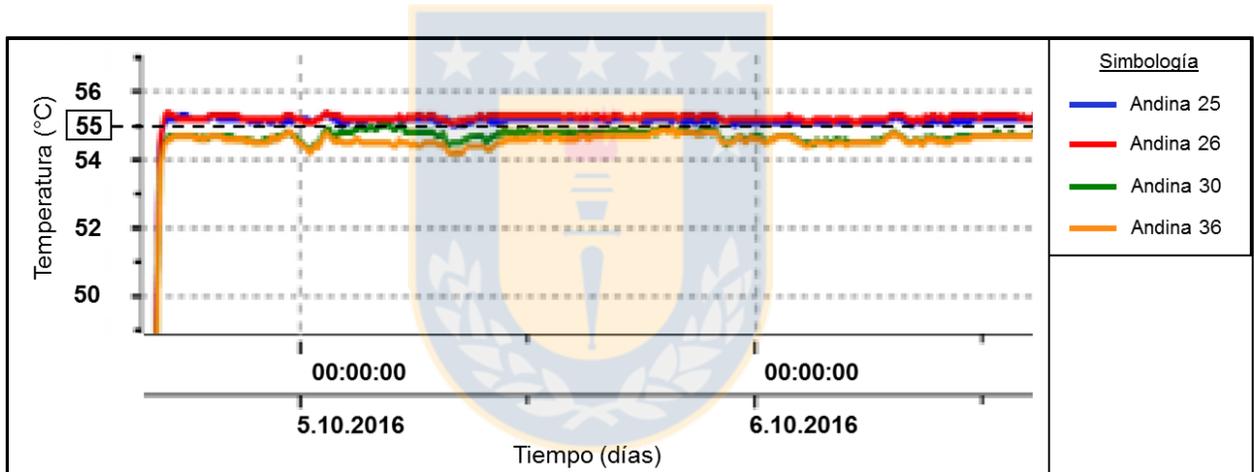


Figura 11.1. Registro de la temperatura en el tiempo de cuatro muestras del depósito con distinta temperatura de base, durante el test de reactividad.

Otro aspecto de interés es la aparente transmisión de calor durante el test desde una muestra que reacciona hacia las colindantes, lo que queda plasmado en el registro de temperatura de algunas muestras. En el reporte, las muestras reactivas F5-1 y F5-2 son analizadas dos veces, puesto que la primera vez ambas inician su reacción al mismo tiempo (Figura 11.3.A), en la repetición se observa que efectivamente ambas son reactivas independientemente (Figura 11.3.B), pero además se nota que al producirse los exotérmicos también se incrementa la temperatura de las cuatro muestras colindantes. Como una muestra solo reacciona elevando su temperatura una vez, el aumento experimentado por la muestra F5-1 en el *peak* de la muestra F5-2 solo puede indicar una

transferencia de calor desde esta última. Lo anterior es plausible debido a que en la base del calefactor se sitúan cuatro bloques de aluminio en contacto entre sí, donde cada uno contiene y transmite calor a dos recipientes con muestras (Figura 11.2.). El aluminio es un elemento altamente conductor del calor, lo cual es beneficioso para transferir el calor del calefactor a los recipientes, pero eso también significa que puede conducir el calor emanado por una roca reactiva. Por otra parte, como el instrumento no tiene la capacidad de disminuir la temperatura, si algunas muestras son afectadas por la reacción de una de ellas, este no tiene la capacidad de regularla.

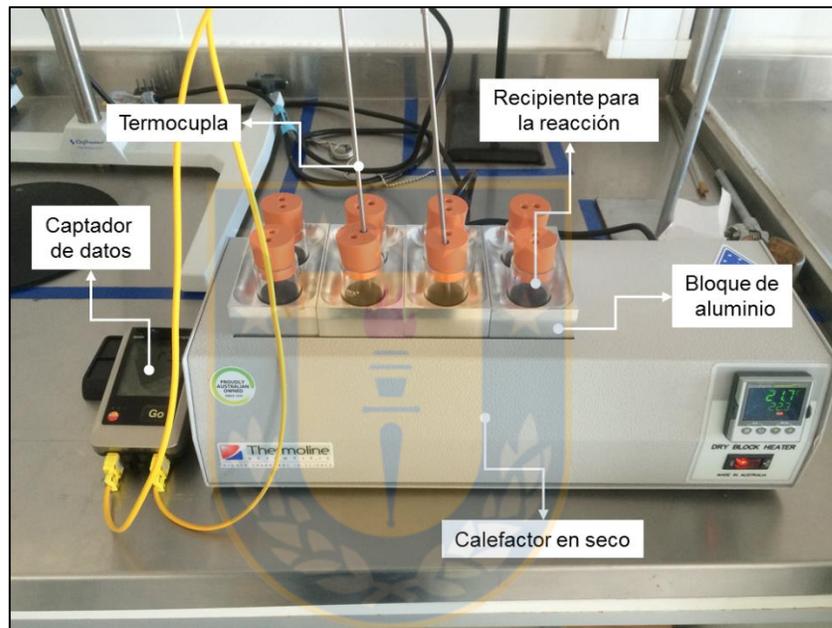


Figura 11.2. Equipamiento empleado durante el test de reactividad.

11.3.2. Discrepancias en la medición del ΔT

Durante el trabajo se emplea el criterio mencionado por el laboratorio en sus distintos reportes (Anexo 3) para definir la reactividad de una roca, no obstante, este difiere del código en los siguientes aspectos; la temperatura de base o de fondo, para medir la variación con el exotérmico, es 55 °C para todas las muestras por igual, sin embargo, el código indica que cada caso debe revisarse por separado, ya que no todas alcanzan los 55°C. Sugiere que a cada muestra se le calcule una temperatura de base según el siguiente criterio: si la variación aparenta ser menor a 1°C, la temperatura de base corresponde a la temperatura promedio durante el test excluyendo la rampa y el exotérmico; si la variación es aproximadamente mayor a 1°C y menor o igual a 2°C,

es equivalente al promedio de la temperatura en el sector del potencial exotérmico, teniendo el cuidado de excluir al exotérmico y cualquier artefacto; por último, si la variación es mayor a 2°C se recomienda repetir el test en caso que un exotérmico menor haya quedado oculto (AEISG, 2017), en este último procedimiento el código no especifica como calcular la temperatura de base, se intuye que debe ser de igual forma que en el segundo caso. Así, una muestra es reactiva cuando la variación de temperatura es mayor o igual a 2°C sobre la temperatura de base de la muestra en particular y se calcula sustrayendo la temperatura de base a la temperatura máxima del test.

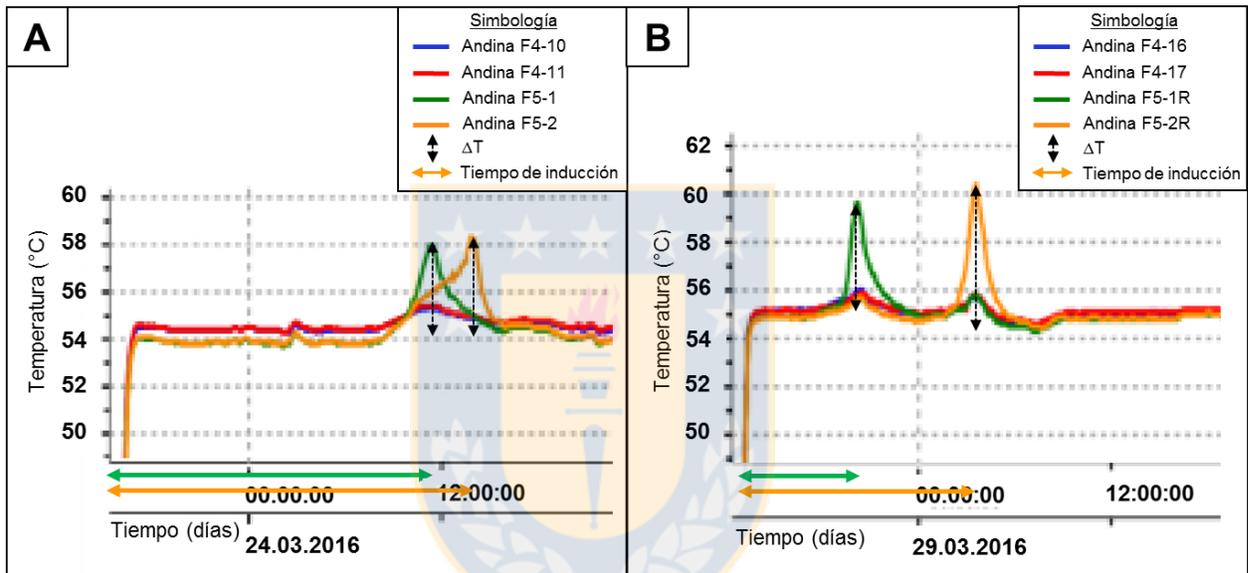


Figura 11.3. Registros de la temperatura en el tiempo de dos muestras reactivas del depósito, durante una primera prueba y posterior repetición. A) Primera prueba de las muestras F5-1 y F5-2, ambas resultan reactivas, pero al parecer existió interferencia. B) Repetición del análisis de las muestras F5-1 y F5-2, los resultados indican que ambas son reactivas, pero se identifica un aumento en el ΔT y una disminución del tiempo de inducción.

11.3.3. Reproducibilidad de los resultados

Al repetir el análisis en las muestras F5-1 y F5-2 se pudo advertir que los resultados obtenidos en ambos test, respecto a la variación de la temperatura y el tiempo de inducción, no son iguales (Figura 11.3.). Esto puede indicar que existen problemas en la realización de la prueba de laboratorio, debido a, por ejemplo: un mal manejo de las muestras, no realizar el test bajo las mismas condiciones, la transferencia de calor entre las muestras, entre otras. Conocer la razón es fundamental, ya que la prueba de reactividad es el pilar básico de cualquier estudio relacionado

que pretenda efectuarse en el depósito.

11.4. TIEMPO DE INDUCCIÓN

En los objetivos iniciales del estudio no se plantea ejecutar una zonación del depósito respecto al tiempo de inducción, sin embargo, resulta un complemento importante de la reactividad en cuanto al conocimiento del riesgo.

La zonación del tiempo de inducción es una propuesta que tiene como finalidad guiar estudios posteriores de este parámetro en el depósito y señalar las correcciones necesarias para remediar las falencias detectadas durante el procedimiento. Estas son, solicitar que el reporte de la prueba de laboratorio contenga el valor de tiempo de inducción exacto para cada muestra reactiva; requerir al laboratorio que investigue la(s) causa(s) de la no reproducibilidad de los resultados del test, establecer protocolos formales de muestreo, solicitar una actualización del procedimiento de identificación de rocas reactivas (determinación de la temperatura de base y tratamiento de muestras marginales) y aumentar el número de muestras reactivas.

Una vez resuelto lo anterior, es probable que las correlaciones se modifiquen y, por lo tanto, será indispensable revisar paso a paso el procedimiento, con los nuevos resultados, para identificar si las relaciones y límites establecidos se mantienen o deben modificarse agregando o reduciendo indicadores minerales.

11.4.1. Estimación de jarosita y caolinita

La estimación de jarosita y caolinita en el modelo de bloques de pirita se incorpora por la necesidad de establecer un tiempo de inducción estimado. El proceso de estimación de ambos minerales es más resumido que el de la pirita, pero contiene los pasos fundamentales, que son: análisis exploratorio de datos, estudio de variogramas y determinación del método de estimación. No obstante, en caso de confirmarlos como indicadores es necesario efectuar un proceso más riguroso que incluya la definición de unidades geológicas, para evitar zonas potencialmente reactivas sin un tiempo de inducción estimado, como en el caso de la unidad BXCHRIOL (Figura 10.7.), además de tener una base de estimación más confiable para la jarosita y caolinita.

11.5. ZONACIÓN DE LA REACTIVIDAD

Como se indica en el capítulo 4 la reactividad de una roca es el resultado de múltiples factores,

entre ellos la mineralogía, por lo que, para implementar una zonación confiable se requiere conocer los agentes principales que inciden en la reactividad del depósito Río Blanco. A partir de este estudio se desprende que la pirita es el principal factor mineralógico que gatilla la reactividad, sin embargo, se requiere seguir investigando las variables mineralógicas que intervienen en el tiempo de inducción.

La reactividad de una roca depende de múltiples parámetros, por lo tanto, para lograr una mejor estimación de las zonas riesgosas del depósito, es esencial estudiar la influencia del resto de factores conocidos en la reactividad del yacimiento, como la humedad y temperatura de la roca en el pozo de tronadura, para posteriormente incorporar los más determinantes como variables en la zonación.



12. CONCLUSIONES

Se comprobó que la reactividad de las rocas del depósito Río Blanco está determinada en gran parte por su contenido de pirita, más que por cualquier otro sulfuro o mineral. Este efecto se refleja en la alta correlación entre su moda y el ΔT del exotérmico en la muestra, variable que se utiliza para definir a una roca como reactiva. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el tiempo de inducción de las muestras reactivas, el cual pareciera no depender de la concentración de pirita como sí lo hace del grado de meteorización experimentado por la roca, reflejado en el nivel de oxidación de la pirita, el grado de hidrólisis en la roca y la ubicación respecto al nivel freático. El nivel de oxidación de la pirita y el grado de hidrólisis en la roca, representados por la razón jarosita:pirita y el porcentaje de caolinita respectivamente, son indicativos de que existe mayor disponibilidad de iones hierro (II) y ácido para participar en la reacción con el nitrato de amonio, permitiendo que la reacción inicie antes y la tasa de la etapa intermedia sea mayor lo que se traduce en una disminución del tiempo de inducción. Aunque, estos minerales no definen la reactividad de una roca, sí sirven para diferenciar el nivel de riesgo de las rocas potencialmente reactivas durante el trabajo de tronadura.

Las conclusiones anteriores, que permiten ejecutar la zonación de la reactividad en el yacimiento, se logran a partir de un análisis mineralógico de alta definición en 53 muestras del depósito, sin el cual no podrían reconocerse con precisión los porcentajes de pirita, jarosita y caolinita. Por lo tanto, en el proceso de estimación no son útiles las muestras cuyo contenido mineralógico es establecido macroscópicamente, sobre todo porque para identificar la reactividad potencial se requiere distinguir el porcentaje de pirita con décimas de precisión y para el tiempo de inducción es necesario identificar el contenido de jarosita, pirita y caolinita con milésimas de precisión.

También se efectúa un análisis elemental a las muestras, sin embargo, las correlaciones realizadas apuntan a las mismas conclusiones obtenidas a partir de la mineralogía.

Para ejecutar el test de reactividad el protocolo indica que las muestras deben pulverizarse. No obstante, al realizar este procedimiento todo efecto que pudiera tener la textura de la roca en el resultado queda oculto, por lo tanto, bajo los requerimientos de la prueba es imposible identificar si los estilos de mineralización o la granulometría de la roca interfieren en la reactividad.

Las zonas de alteración hidrotermal del depósito permiten reconocer de forma aproximada las

áreas con mayor y menor potencial de reactividad, puesto que cada una tiene definida de manera relativa su concentración de pirita. Las rocas con alteraciones sericita gris (SG) y cuarzo sericita (QS) tienen los contenidos de pirita más altos y por ende las mayores probabilidades de reaccionar con nitrato de amonio, mientras que aquellas sin alterar (CHRIOL y CHDAC) y las afectadas por alteraciones potásicas (Bt-Fk, Fk-Bt, FBt y FBt-Cl) tienen pocas posibilidades de resultar reactivas.

Finalmente, esta investigación ha permitido establecer las modificaciones e investigaciones que hacen falta para continuar con el estudio de la reactividad en el depósito de manera satisfactoria.



13. RECOMENDACIONES

Para proseguir con la investigación en el depósito, es esencial reformar el protocolo del manejo de muestras posterior a su extracción, y el procedimiento del test de reactividad. En el primero se sugiere triturar y homogenizar los 20 kg de roca, para luego guardarla al vacío y evitar su oxidación. Posteriormente, cuando se decida enviar las muestras a análisis, extraer la masa requerida por los laboratorios para efectuar la prueba de reactividad y de mineralogía, procurando exponerlas el menor tiempo posible a las condiciones ambientales. En cuanto al test, se recomienda corregir varios aspectos, uno es evitar o reducir al mínimo la transferencia de calor de las muestras que reaccionan a las que están siendo experimentadas en el mismo instante; otro es identificar la razón de por qué la variación de temperatura del exotérmico y el tiempo de inducción no se reproducen para una misma muestra; también asegurarse de que las muestras marginales sean re-testeadas y lo más importante sin duda, es procurar que los criterios de reconocimiento de muestras reactivas se rijan por el código de práctica de AEISG, en su versión más actualizada, es decir, que definan una temperatura o línea de base a partir de la cual se mida la diferencia de temperatura con el exotérmico, en vez de restringirla a 55°C cuando no todas las muestras son mantenidas efectivamente a esa temperatura. Por otra parte, es importante mantener un control sobre los reportes para identificar posibles faltas al protocolo y solicitar oportunamente repeticiones en caso que eso ocurra, para lo cual es fundamental tener pleno conocimiento de la sección 8 y los apéndices 2 y 3 del código de práctica de AEISG (2017), que entrega los fundamentos y criterios básicos de la prueba de reactividad. En adición, se propone ejecutar una visita técnica a los laboratorios de ORICA S.A. en Antofagasta para verificar el cumplimiento de las condiciones del test (método isotérmico).

Una vez realizado lo anterior, es preciso implementar nuevos muestreos para entonces, al alcanzar el número suficiente de muestras reactivas y no reactivas, proceder con nuevos análisis estadísticos, orientados por el presente estudio, pero sin incorporar las 89 muestras utilizadas, puesto que fueron sometidas a procedimientos distintos y sus resultados no serían comparables.

Además, se sugiere realizar el análisis mineralógico de QEMSCAN® por BMA en vez de PMA, pues al emplear muestras pulverizadas a menos de 250 micrómetros en las briquetas (rechazos del test de reactividad) las ventajas de este análisis, en cuanto a la identificación textural de las fases minerales, no son reconocidas en partículas donde la mayoría de las fases están totalmente

liberadas. Tampoco es aconsejable un examen elemental de toda la muestra, más conveniente es inspeccionar la química de las partículas de pirita, distinguiendo si pertenecen a rocas reactivas o no reactivas, con el fin de esclarecer si su composición influye en la reactividad o el tiempo de inducción.

Durante los estudios estadísticos se aconseja diferenciar las muestras entre primarias y secundarias, puesto que como se constata en el tiempo de inducción, existe la posibilidad de que, al integrar más muestras primarias al análisis de reactividad potencial, estas muestren un comportamiento diferenciado al de las rocas secundarias, el cual no se evidencia por la ausencia de este tipo de rocas con porcentajes de pirita menores a 5,8% (muestra primaria 61).

Posteriormente, es necesario confirmar o rechazar las correlaciones de pirita con el ΔT y del índice de oxidación-acidez con el tiempo de inducción, para finalmente revisar las propuestas de zonación de la reactividad potencial y de sub-zonación del tiempo de inducción estimado en zonas potencialmente reactivas.

Para proceder con este último punto, primero se propone mejorar la estimación de jarosita y caolinita en el modelo de bloques de pirita, si se corroboran sus correlaciones con el tiempo de inducción, como se menciona en el capítulo respectivo. También se recomienda estudiar e incorporar nuevos parámetros en la estimación de la reactividad, como humedad de la roca y temperatura en el pozo de tronadura, factores que influyen de manera importante en la reactividad de otros depósitos.

14. REFERENCIAS

- AGUIRRE, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central, Provincia de Aconcagua. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín*. Vol. **9**: 1-70. Santiago.
- ARRIAZA, M. 2006. Guía Práctica de Análisis de Datos. Junta de Andalucía. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa: 198 pp. Córdoba.
- AUSTRALIAN EXPLOSIVES INDUSTRY AND SAFETY GROUP (AEISG). 2017. Code of Practice: Elevated Temperature and Reactive Ground. AEISG Inc. (inédito): 58 pp. Tweed Heads.
- BERTENS, A. y HERMOSILLA, J. 2011. Informe de cierre: Programa de Estudio Geocronológico U/Pb, Ar/Ar, Re/Os Yacimiento Río Blanco. CODELCO Chile, División Andina. Informe inédito: 16 pp. Los Andes.
- BOTHA, G. 2014. Management of Reactive Ground at the Goedgevonden Opencast Coal Mine in the Witbank Coalfields of South Africa. Research Report submitted for the degree of Master of Science. University of the Witwatersrand (inédito): 114 pp. Johannesburg.
- BUSTOS, C. y JAMETT, D. 2016. Procedimiento: selección, validación y extracción de muestras geometalúrgicas de sondajes. CODELCO Chile, División Andina. Informe inédito: 17 pp. Los Andes.
- BRIGGS, T. y KELSO, I. 2002. Ammonium nitrate-sulfide reactivity at the Century Zn-Pb-Ag Mine, Northwest Queensland, Australia. *Exploration and Mining Geology*. Vol. **10**, (3): 177-190.
- CHARRIER, R.; BAEZA, O.; ELGUETA, S.; FLYNN, J.J.; GANS, P.; KAY, S.M.; MUÑOZ, N.; WYSS, A.R. y ZURITA, E. 2002. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern central Andes, Chile (33°-36°S). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **15**, (1): 117-139.
- CRUZ, R.; BERTRAND, V.; MONROY, M. y GONZÁLEZ, I. 2000. Effect of sulfide impurities on the reactivity of pyrite and pyritic concentrates: a multi-tool approach. *Applied Geochemistry*. Vol. **16**: 803-819.

- DECKART, K.; CLARK, A.H.; CELSO, A.A.; RICARDO, V.R.; BERTENS, A.N.; MORTENSEN, J.K. y FANNING, M. 2005. Magmatic and hydrothermal chronology of the giant Rio Blanco porphyry copper deposit, central Chile: implications of an integrated U-Pb and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ database. *Economic Geology*. Vol. **100**, (5): 905-934.
- DÍAZ, C. y SOLÉ, M. 2014. Anexo 5: Asociaciones de alteración. Procedimiento de Mapeo Geológico de Sondajes Diamantina. CODELCO Chile, División Andina. Informe inédito: 16 pp. Los Andes.
- FERRAZ, G. 2017. Informe de Modelo e Inventario de Recursos Geológicos 2016, División Andina. Nota Interna GRMD-SGEO-021-2017, CODELCO Chile, División Andina. Informe inédito: 202 pp. Los Andes.
- FORSHEY, D.R.; RUHE, T.C. y MASON, C.M. 1968. The Reactivity of ammonium nitrate-fuel oil with Pyrite-bearing Ores. *U.S. Bureau of Mines*. N° **7.187**: 1-10. Washington.
- FRIKKEN, P. 2003. Breccia-hosted copper-molybdenum mineralisation at Rio Blanco, Chile. Tesis de doctorado. University of Tasmania (Inédito): 290 pp., Tasmania.
- GARATE, C. 2014. Selección de Explosivos para Tronaduras en Terrenos Reactivos y/o Calientes. Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero Civil en Minas. Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas (Inédito): 44 pp. Santiago.
- GONZALEZ, O. 1963. Observaciones geológicas en el valle del río Volcán. *Revista Minerale*s. Vol. **18**, (81): 20-61. Santiago.
- GUNAWAN, R. y ZHANG, D. 2009. Thermal stability and kinetics of decomposition of ammonium nitrate in presence of pyrite. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. **165**: 751-758.
- GUNAWAN, R.; FREIJ, S.; ZHANG, D.; BEACH, F. y LITTLEFAIR, M. 2006. A mechanistic study into reactions of ammonium nitrate with pyrite. *Chemical Engineering Science*. Vol. **61**: 5.781-5.790.
- JARA, P. y CHARRIER, R. 2014. Nuevos antecedentes estratigráficos y geocronológicos para el Meso-Cenozoico de la Cordillera Principal de Chile entre 32° y $32^\circ 30'S$: Implicancias estructurales y paleogeográficas. *Andean Geology*. Vol. **41**, (1): 174-209. Santiago.

- KAY, S.M.; MPODOZIS, C. y COIRA, B. 1999. Magmatism, tectonism and mineral deposits of the Central Andes (22°-33°S latitude). *Society of Economic Geologists Special Publication*. N° 7: 27-59.
- KLOHN, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín*. Vol. 8: 1-95. Santiago.
- LOTTERMOSER, B.G. 2010. Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts. Springer: 400 pp. Berlín.
- LUKASZEWSKI, G.M. 1968. The reaction of ANFO explosives with mineral sulphides. *Proceedings, the Australian Institute of Mining and Metallurgy*. N° 228: 61-70.
- MAKSAEV, V.; TOWNLEY, B.; PALACIOS, C. y CAMUS, F. 2007. Metallic ore deposits. The Geology of Chile (Moreno T. y Gibbons, W. editores). The Geological Society of London: 179-199. Londres.
- MARÍN, F. 2016. Influencia del estilo de mineralización en la recuperación de cobre en el bloque piloto Don Luis, yacimiento Río blanco, región de Valparaíso, Chile. Memoria para optar al Título de geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 144 pp. Concepción.
- METHA, A.P. y MURR, L.E. 1983. Fundamental studies of the contribution of galvanic interaction to acid-bacterial leaching of mixed metal sulphides. *Hydrometallurgy*. Vol. 9: 235-256.
- MIRON, Y.; RUHE, T.C. y WATSON, R.W. 1979. Reactivity of AN-FO with pyrite containing weathering products. *U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations*. N° 8.373: 1-24. Washington.
- MOSCOSO, R.; PADILLA, H. y RIVANO, S. 1982. Hoja Los Andes, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería. *Carta Geológica de Chile*. N° 52: 1-67. Santiago.
- NORECOL ENVIRONMENTAL CONSULTANTS. 1989. The Acid Generation Process. Draft Acid Rock Drainage Technical Guide (Steffen Robertson and Kirsten (B.C.) Inc. editor). British Columbia Acid Mine Drainage Task Force: 2.1 -2.10 pp. Vancouver.

- OXLEY, J.C.; SMITH, J.L.; ROGERS, E. y YU, M. 2002. Ammonium nitrate: thermal stability and explosivity modifiers. *Thermochimica Acta*. Vol. **384**: 23-45.
- PIQUER, J; SKARMETA, J y COOKE, D.R. 2015. Structural Evolution of the Rio Blanco-Los Bronces District, Andes of Central Chile: Control on Stratigraphy, Magmatism, and Mineralization. *Economic Geology*. Vol. **110**, (8): 1995-2023.
- RIVANO, S. 1996. Geología de las hojas Quillota y Portillo. Servicio Nacional de Geología de Chile (Informe Inédito): 232 pp. Santiago.
- RIVANO, S.; GODOY, E.; VERGARA, M. y VILLARROEL, R. 1990. Redefinición de la Formación Farellones en la Cordillera de los Andes de Chile Central (32-34°S). *Revista Geológica de Chile*. Vol. **17**, (2): 205-214. Santiago.
- RIVANO, S.; SEPÚLVEDA, S.; HERVÉ, F. y PUIG, A. 1985. Geocronología K/Ar de las Rocas Intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **24**: 63-74. Santiago.
- SALINERO, J. 2004. Eventos de alteración y mineralización en el sector Río Blanco, Yacimiento Río Blanco, V Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 179 pp. Santiago.
- SERRANO, L.; VARGAS, R.; STAMBUK, V.; AGUILAR, C.; GALEB, M.; HOLMGREN, C.; CONTRERAS, A.; GODOY, S.; VELA, I.; SKEWES, A.M. y STERN, C.R. 1996. The late Miocene to early Pliocene Río Blanco-Los Bronces copper deposit, central Chilean Andes. *Society of Economic Geologists, Special Publication*. Vol. **5**: 119-130.
- SILVA, W. y TORO, J. C. 2009. Mineralización primaria sintectónica en el distrito minero Río Blanco-Los Bronces. Congreso Geológico Chileno N°12. Actas **S11-059**: 1-4. Santiago.
- SKEWES, M.A. y HOLMGREN, C. 1993. Solevantamiento andino, erosión y emplazamiento de brechas mineralizadas en el depósito de cobre porfídico Los Bronces, Chile central (33°S): aplicación de geotermometría de inclusiones fluidas. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **20**, (1): 71-83. Santiago.

- SOLÉ, M.; DÍAZ, C.; TAPIA, C. y RODRÍGUEZ, J. 2014. Modelamiento geológico integrado del sector comprendido entre las secciones XC-055 a XC-455: sectores Río Blanco-Don Luis, Yacimiento Río Blanco. CODELCO Chile, División Andina. Informe inédito: 71 pp. Los Andes.
- STAMBUK, V.; BLONDEL, J. y SERRANO, L. 1982. Geología del Yacimiento Río Blanco. Congreso Geológico Chileno N°3. Actas **2**: 419-442. Concepción.
- STAMBUK, V.; SERRANO, L. y VARGAS, R. 1985. Geología del sector Sur-Sur, yacimiento Río Blanco. Congreso Geológico Chileno N°4. Actas **2**: 383-404. Antofagasta.
- SUAZO, H. 2010. Procedimiento para la descripción general de muestras petrocalcográficas. CODELCO Chile, División Andina. Informe inédito: 58 pp. Los Andes.
- SUAZO, H. 2014. Ocurrencia y asociación mineralógica de la plata presente en los concentrados finales de cobre de División Andina, yacimiento Río Blanco, CODELCO Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia. Universidad de Concepción (Inédito): 87 pp. Concepción.
- SUN, J.; SUN, Z.; WANG, Q.; DING, H.; WANG, T. y JANG, C. 2005. Catalytic effects of inorganic acids on the decomposition of ammonium nitrate. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. **127**: 204-210.
- THIELE, R. 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Instituto de Investigaciones Geológicas. *Carta Geológica de Chile*. N°**39**: 1-51. Santiago.
- TORO, J.C.; ORTÚZAR, J.; ZAMORANO, J.; CUADRA, P.; HERMOSILLA, J. y SPRÖHNLE, C. 2012. Protracted magmatic-hydrothermal history of the Río Blanco-Los Bronces district, Central Chile: development of world's greatest known concentration of copper. *Society of Economic Geologists, Special Publication*. Vol. **16**: 105-126.
- VARGAS, R.; GUSTAFSON, L.B.; VUKASOVIC, M.; TIDY, E. Y SKEWES, M.A. 1999. Ore Breccias in the Río Blanco-Los Bronces porphyry copper deposit, Chile. *Society of Economic Geologists, Special Publication*. Vol. **7**: 281-297.
- VERDUGO, J. 2001. Distribución de Arsénico en el sector Don Luis Subterráneo, Yacimiento Río Blanco, V Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 112 pp. Concepción.

VERGARA, M. y LATORRE, J. 1984. El complejo volcánico pliocénico de Río Blanco, Santiago. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **22**: 49-60. Santiago.

WARNAARS, F.W.; HOLMGREN, C.D. y BARASSI, S. 1985. Porphyry copper and tourmaline breccias at Río Blanco-Los Bronces, Chile. *Economic Geology*. Vol. **80**, (6): 1.544-1.565.

XU, Z.; LIU, D.; HU, Y.; YE, Z. y WEI, Y. 2010. Influence of iron ion on thermal behavior of ammonium nitrate and emulsion explosives. *Central European Journal of Energetic Materials*. Vol. **7**, (1): 77-93.

YAÑEZ, G.; CEMBRANO, J.; PARDO, M.; RANERO, C. y SELLES, D. 2002. The Challenger-Juan Fernández-Maipo major tectonic transition of the Nazca-Andean subduction system at 33-34°S: Geodynamic evidence and implications. *Journal of South American Earth Science*. Vol. **15**: 23-38.



ANEXO 1: Resultados de test de reactividad

Tabla A1. Cartilla con los resultados del test de reactividad junto a los datos ΔT y tiempo de inducción para las 89 muestras y 3 duplicados. Además, se indica si presentan análisis mineralógico (QEMSCAN).

| Muestra | Etapa muestreo | Resultado Test | Tmáx exotérmico (°C) | ΔT (°C) | Tiempo inducción (horas) | QEMSCAN |
|----------|----------------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|---------|
| F3-1 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F3-2 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F3-3 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F3-4 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F3-5 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-1 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-2 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-3 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-4 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-5 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-6 | 1 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-7 | 1 | Reactiva | 61,9 | 6,9 | 6,5 | NO |
| F4-8 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-9 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-10 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-11 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-12 | 2 | Reactiva | 58,6 | 3,6 | 18,9 | SÍ |
| F4-13 | 2 | Reactiva | 60,5 | 5,5 | 32,3 | SÍ |
| F4-14 | 2 | Reactiva | 57,6 | 2,6 | 10,7 | SÍ |
| F4-15 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-16 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F4-17 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| CON-2 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| CON-1 | 2 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| F5-1 | 2 | Reactiva | 59,7 | 4,7 | 8,2 | SÍ |
| F5-2 | 2 | Reactiva | 60,5 | 5,5 | 15,5 | SÍ |
| 01-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 02-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 03-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 04-06-16 | 3 | Reactiva | 57,7 | 2,7 | 19,3 | SÍ |
| 05-06-16 | 3 | Reactiva | 59,9 | 4,9 | 18,3 | SÍ |
| 06-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 07-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 08-08-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |

| Muestra | Etapas muestreo | Resultado | T _{máx} exotérmico (°C) | ΔT (°C) | Tiempo inducción (horas) | QEMSCAN |
|-----------------------|-----------------|-------------|----------------------------------|---------|--------------------------|---------|
| 09-10-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 10-06-16 | 3 | Reactiva | 59,2 | 4,2 | 16,1 | SÍ |
| 11-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 12-06-16 | 3 | Reactiva | 57,4 | 2,4 | 20,3 | SÍ |
| 13-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 14-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 15-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 16-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 17-06-16 | 3 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 18 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 19 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 20 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 21 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 22 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 23 duplicado F5-2 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 24 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 25 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 26 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 27 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 28 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 29 | 4 | Reactiva | 60,5 | 5,5 | 8,4 | SÍ |
| 30 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 31 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 32 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 33 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 34 duplicado F4-12 | 4 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 35 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 36 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 37 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 38 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 39 | 5 | No Reactiva | 56,7 | 1,7 | No aplica | SÍ |
| 40 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 41 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 42 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 43 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 44 | 5 | No Reactiva | 56,7 | 1,7 | No aplica | SÍ |
| 45 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |

| Muestra | Etapas muestreo | Resultado | T _{máx} exotérmico (°C) | ΔT (°C) | Tiempo inducción (horas) | QEMSCAN |
|-------------------------------|-----------------|-------------|----------------------------------|---------|--------------------------|---------|
| 46 | 5 | Reactiva | 61,4 | 6,4 | 8,7 | SÍ |
| 47 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 48 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 49 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 50 duplicado 10-06-2016 | 5 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | NO |
| 51 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 52 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 53 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 54 | 6 | Reactiva | 58,2 | 3,2 | 83,6 | SÍ |
| 55 | 6 | Reactiva | 57,5 | 2,5 | 67,6 | SÍ |
| 56 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 57 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 58 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 59 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 60 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 61 | 6 | Reactiva | 58,9 | 3,9 | 168,6 | SÍ |
| 62 | 6 | Reactiva | 57,4 | 2,4 | 88,9 | SÍ |
| 63 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |
| 64 | 6 | Reactiva | 60 | 5,0 | 39,5 | SÍ |
| 65 | 6 | Reactiva | 64,8 | 9,8 | 3,7 | SÍ |
| 66 | 6 | No Reactiva | No aplica | 0,0 | No aplica | SÍ |

ANEXO 2: Registro de Mapeo

Tabla A2. Cartilla con la descripción macroscópica de las 89 muestras y 3 duplicados.

| Muestra | Litología | Alteración | sulfuros totales (%) | Proporción | | | ocurrencia | Tipo de roca |
|----------|-----------|----------------------------------|----------------------------|------------|----|----|---------------|-----------------|
| | | | | cpy | py | bo | | |
| F3-1 | GDCC | QS débil, SGV débil | 1,5 | 7 | 3 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F3-2 | GDCC | SGV débil, FBt-Cl, QS débil-mod. | 1 | 4 | 6 | 0 | vet> dis | Primaria |
| F3-3 | BTGDCC | QS mod-fuerte | 4,5 | 6 | 4 | 0 | vet> dis | Primaria |
| F3-4 | BXTGDCC | FBt-Fk, QS débil. | 1,5 | 7 | 3 | 0 | cúm> vet | Secundaria |
| F3-5 | GDCC | FBt, QS débil, SGV débil | 3 | 6 | 4 | 0 | dis> vet | Primaria |
| F4-1 | GDRB | SGV débil-mod | 4 | 9 | 1 | 0 | dis> vet | Primaria |
| F4-2 | BXPR | Bt-Fk, SGV débil | 2,5 | 8 | 2 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| F4-3 | GDRB | SGV débil-mod | 4 | 9 | 1 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| F4-4 | GDRB | SGV débil | 5 | 4 | 6 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| F4-5 | GDRB | SGV débil | 1,5 | 8 | 2 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-6 | BTPDL | QS fuerte | 0,7 | 1 | 9 | 0 | cúm en matriz | Secundaria |
| F4-7 | GDRB | SGV débil, FBt-Cl | 2 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-8 | GDRB | SGV débil, FBt-Cl | 1,5 | 7 | 3 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-9 | GDRB | SGV débil | 2,5 | 6 | 4 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-10 | AN | Bt-Fk mod | 1,5 | 1 | 9 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-11 | AN | Bt-Fk mod | 1,5 | 2 | 8 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-12 | GDRB | SGV débil, QS débil | 2,5 | 8 | 2 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-13 | GDRB | SGV débil, FBt | 2 | 8 | 2 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-14 | GDRB | SGV débil-mod | 2,5 | 8 | 2 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-15 | GDRB | SGV débil, QS débil | 2,5 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-16 | BXPR | Fk débil | 2 | 6 | 4 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F4-17 | DIOR | SGV débil, QS débil, FBt-Cl | 3 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| F5-1 | BXTTO | QS mod | 0,5 | 2 | 8 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| F5-2 | BTGDCC | SG | 1 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| CON-1 | AN | FBt-Cl | 0,5 | 1 | 9 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| CON-2 | AN | FBt-Cl | 1 | 2 | 8 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 01.06.16 | CHRIOL | QS débil | 0,5 | 1 | 9 | 0 | vet> dis | Chimenea |
| 02.06.16 | CHRIOL | QS débil | 1 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Chimenea |
| 03.06.16 | GDRB | QS mod, SGV débil | 3 | 3 | 7 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 04.06.16 | GDRB | FBt-Cl, QS mod, SGV débil | 3 | 4 | 6 | 0 | vet> dis | Secundaria |

| Muestra | Litología | Alteración | sulfuros totales (%) | cpy | py | bo | ocurrencia | Tipo de roca |
|-------------------------|------------|---|----------------------------|-----|-----|----|------------------|-----------------|
| 05.06.16 | GDRB | FBt-Cl, QS mod, SGV mod | 7 | 4 | 6 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 06.06.16 | GDRB | FBt-Cl, QS débil- mod | 4 | 4 | 6 | 0 | cúm> vet> dis | Secundaria |
| 07.06.16 | GDRB | QS mod-fuerte | 6 | 2 | 8 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 08.08.16 | GDRB | QS débil, SGV débil, FBt-Cl | 2 | 6 | 4 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 09.10.16 | GDRB | FBt-Cl, Fk débil, SGV mod-débil, QS débil | 4 | 6 | 4 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 10.06.16 | GDRB | FBt-Cl, SGV mod, QS mod | 3 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 11.06.16 | GDRB | QS fuerte, FBt-Cl débil, SGV débil | 2,5 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 12.06.16 | GDRB | FBt-Cl, QS mod, SGV débil | 3,5 | 4 | 6 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 13.06.16 | DIOR | FCI-Ep, QS débil- mod | 2 | 2 | 8 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 14.06.16 | DIOR | QS débil-mod, SGV débil, FBt-Cl | 2,5 | 2 | 8 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 15.06.16 | GDCC | FCI-Ep, QS mod, SGV débil | 3 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 16.06.16 | BXTGDCC | QS mod | 3 | 1 | 9 | 0 | cúm> vet> dis | Secundaria |
| 17.06.16 | BXTTO | QS fuerte | 0,5 | 3 | 7 | 0 | dis | Secundaria |
| 18 | CHRIOL | Arg | 0,1 | 0 | 10 | 0 | dis | Chimenea |
| 19 | GDRB | FCI-Ep, QS débil | 1,5 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 20 | BXPR | SGV mod-fuerte | 2,5 | 6 | 4 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 21 | GDRB | FBt-Cl, SG mod | 3 | 7 | 3 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 22 | GDCC | SGV fuerte | 4 | 8,5 | 1,5 | 0 | dis> vet> cúm | Secundaria |
| 23 Duplicado F5-2 | BTGDCC | SG | 1 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 24 | PFELD/GDRB | FBt-Cl, SGV débil, QS débil | 2,2 | 4,8 | 5,2 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 25 | GDRB | FBt, SG mod | 2,5 | 5,5 | 4,5 | 0 | dis> vet> cúm | Secundaria |
| 26 | GDRB | FBt, SG mod | 2 | 6 | 4 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 27 | GDRB | FBt-Cl, SGV mod | 2,5 | 6,5 | 3,5 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 28 | GDRB | FBt-Cl, SGV mod, QS débil | 2,5 | 6 | 4 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 29 | GDRB | FBt-Cl, SGV mod, QS débil | 3,5 | 3,5 | 6,5 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 30 | GDRB | FBt, SGV fuerte | 4 | 8 | 2 | 0 | dis> vet> cúm | Secundaria |
| 31 | DIOR | FCI-Ep, SG débil | 1,5 | 1 | 9 | 0 | vet> dis>cúm | Secundaria |

| Muestra | Litología | Alteración | sulfuros totales (%) | cpy | py | bo | ocurrencia | Tipo de roca |
|-----------------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|-----|-----|----|------------------|-----------------|
| 32 | DIOR | FCI-Ep, SG débil | 1,5 | 1 | 9 | 0 | vet> dis> cúm | Secundaria |
| 33 | BXTO | QS débil | 1 | 0,5 | 9,5 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 34 Duplicado F4- 12 | GDRB | SGV débil, QS débil | 2,5 | 8 | 2 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 35 | GDRB | SGV débil FBt-CI | 2 | 8 | 2 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 36 | GDRB | SGV mod-fuerte, FCI-Ep | 4 | 8 | 2 | 0 | cúm> dis> cúm | Secundaria |
| 37 | GDRB | SGV mod, FBt | 3 | 7 | 3 | 0 | vet> dis> cúm | Secundaria |
| 38 | GDRB | SGV débil, FBt-CI | 3 | 8 | 2 | 0 | vet> cúm> dis | Secundaria |
| 39 | GDRB | SG fuerte, FBt-CI | 3 | 4 | 6 | 0 | vet>dis | Secundaria |
| 40 | PDL/BXSK | Fk-Bt | 1,5 | 6 | 1 | 3 | dis>>vet | Secundaria |
| 41 | CHDAC | Arg | 0,5 | 6 | 4 | 0 | dis> vet | Chimenea |
| 42 | BXTGDRB | SGV fuerte | 4 | 8 | 2 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 43 | DIOR | SG débil, FCI-Ep | 2 | 4 | 6 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 44 | DIOR | SGV débil, FCI-Ep | 2 | 4 | 6 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 45 | BTGDCC | SGV débil | 1,5 | 7 | 3 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 46 | BXTGDCC | QS mod, SGV mod | 3 | 4 | 6 | 0 | dis>>cúm> vet | Secundaria |
| 47 | GDCC | SGV débil, FBt-CI | 1,5 | 5 | 4 | 0 | vet>> dis | Secundaria |
| 48 | BTGDCC | QS mod | 1 | 2 | 7 | 0 | cúm> dis | Secundaria |
| 49 | GDRB | QS débil-mod, FCI-Ep | 1 | 4 | 6 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 50 Duplicado 10.06.16 | GDRB | FBt-CI, SGV mod, QS mod | 3 | 3 | 7 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 51 | GDRB | SGV débil, FCI-Ep | 1 | 2 | 8 | 0 | vet> cúm | Secundaria |
| 52 | GDRB | FCI-Ep, QS débil | 1,5 | 9 | 1 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 53 | GDRB | FCI-Ep, QS débil | 1 | 1 | 9 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 54 | GDRB | FBt-CI, SGV débil, QS débil | 2 | 6 | 4 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 55 | BXPR | QS mod-fuerte | 5 | 2 | 8 | 0 | vet> dis> cúm | Secundaria |
| 56 | GDRB | QS mod, SGV débil, FBt-CI | 2 | 7 | 3 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 57 | GDRB | SGV mod, QS débil | 4 | 7 | 1 | 2 | vet> dis> cúm | Secundaria |
| 58 | GDRB | QS débil-mod | 2 | 8 | 2 | 0 | cúm> vet> dis | Primaria |
| 59 | CHDAC | QS fuerte | 0,5 | 1 | 19 | 0 | dis | Chimenea |
| 60 | GDRB | FBt-CI débil | 5 | 7 | 3 | 0 | dis> vet> cúm | Secundaria |
| 61 | BXTGDCC | SGV mod, QS débil | 4 | 7 | 3 | 0 | dis | Primaria |

| Muestra | Litología | Alteración | sulfuros totales (%) | cpy | py | bo | ocurrencia | Tipo de roca |
|---------|-----------|-------------------------------|----------------------------|-----|----|----|------------------|-----------------|
| 62 | GDCC | SGV débil, QS mod | 3 | 4 | 6 | 0 | vet> dis> cúm | Primaria |
| 63 | DIOR | QS débil, FCl-Ep débil-mod | 1 | 1 | 9 | 0 | vet> dis | Secundaria |
| 64 | BXTTO | QS mod | 1,5 | 8 | 2 | 0 | dis> vet> cúm | Secundaria |
| 65 | BXTTO | QS mod | 0,5 | 1 | 9 | 0 | dis> vet | Secundaria |
| 66 | BXTTO | QS mod | 0,5 | 1 | 9 | 0 | dis> vet | Secundaria |

Abreviaciones:

Bo: Bornita

Cpy: Calcopirita

Cúm: Cúmulos

Dis: Diseminado

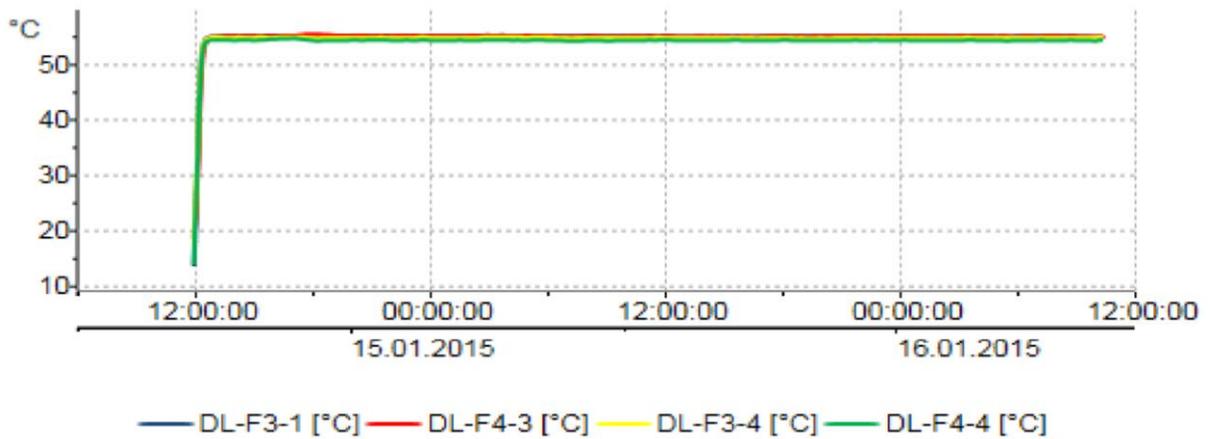
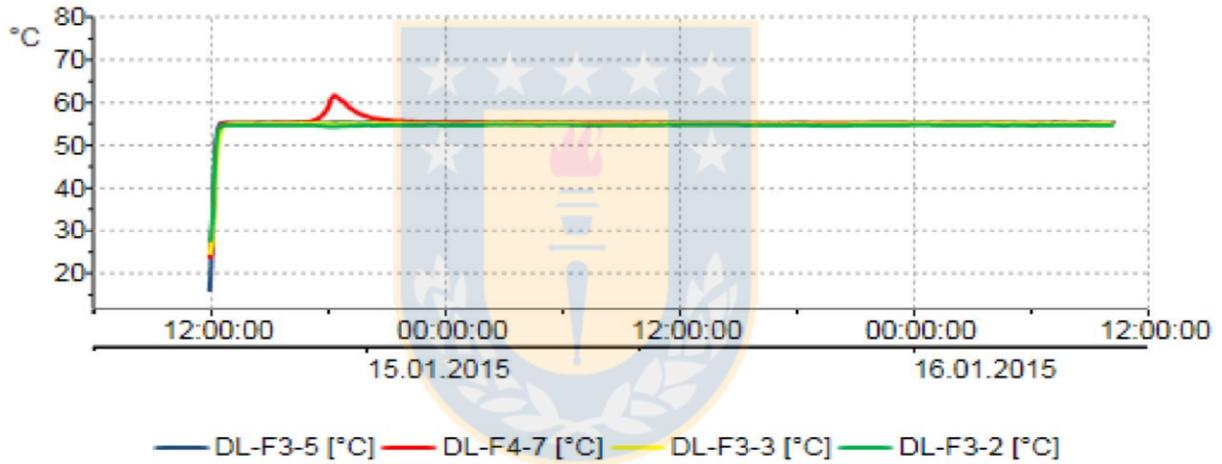
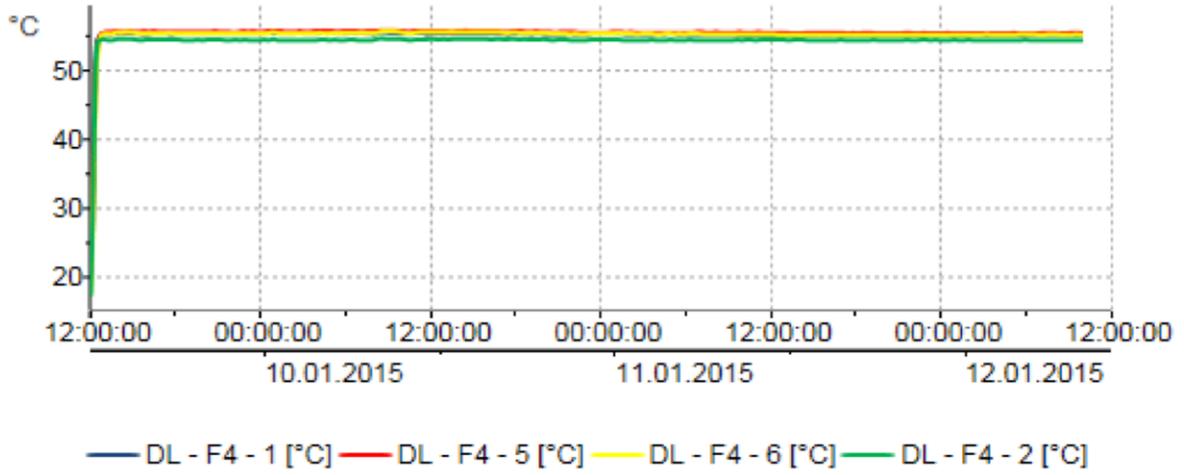
Mod: Moderado

Py: Pirita

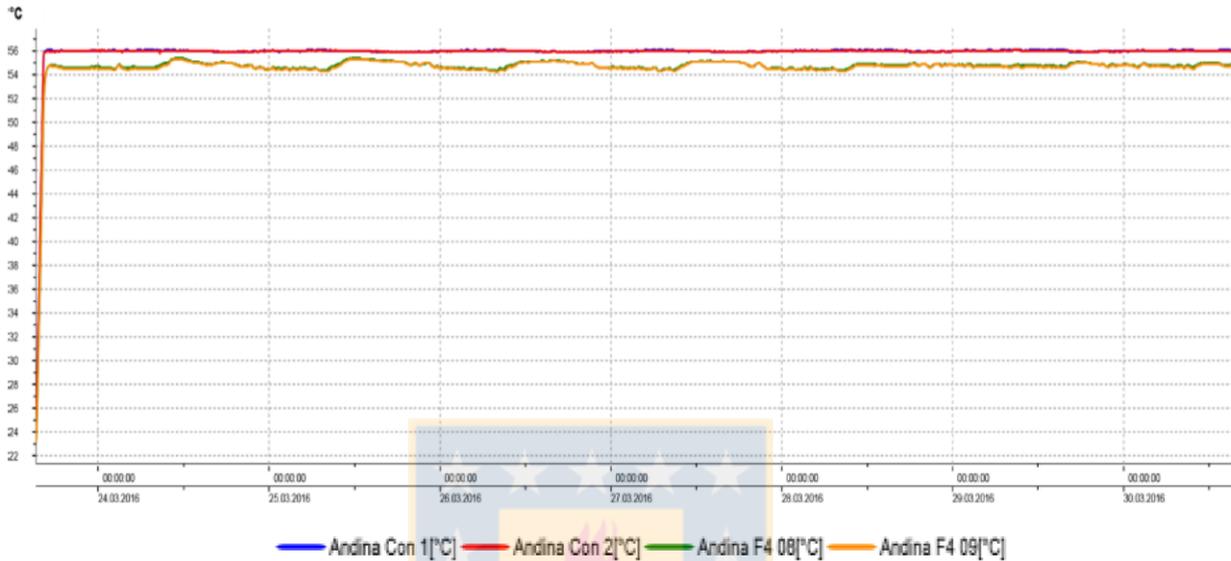
Vet: Vetillas



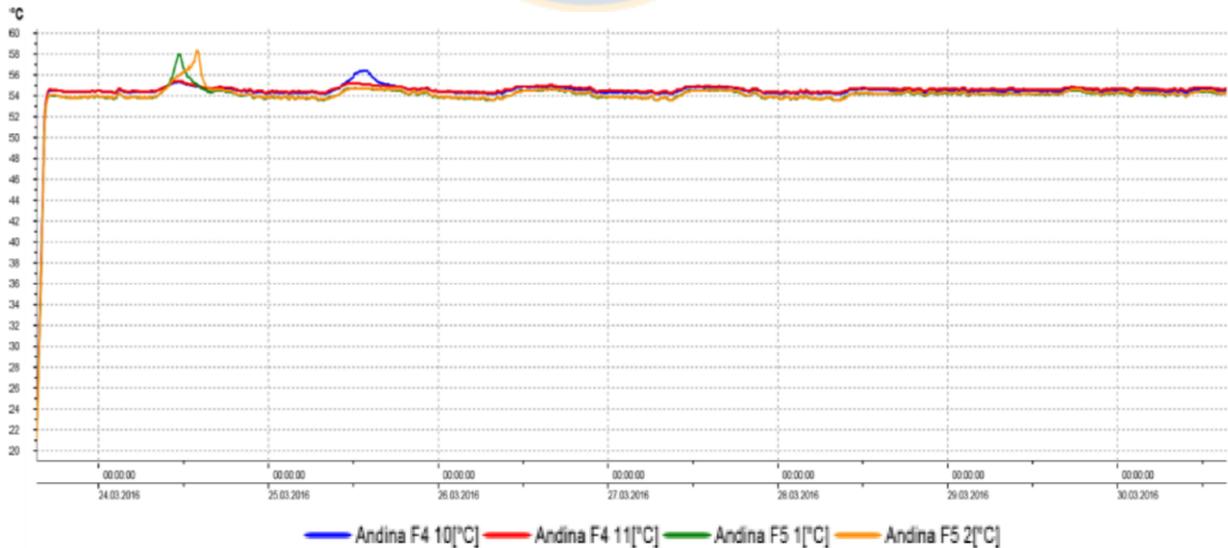
ANEXO 3: Reportes de test de reactividad



| | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------|--------|----------|----------------|
| Nombre del instrumento: Logger 1 | | 30-03-2016 15:24:12 | | | Página 1/1 |
| Hora de inicio: 23-03-2016 15:14:04 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite |
| Hora de fin: 30-03-2016 15:23:34 | Andina Con 1 [°C] | 23,30 | 56,20 | 55,886 | 20.0/150.0 |
| Canales de medición: 4 | Andina Con 2 [°C] | 23,20 | 56,10 | 55,865 | 20.0/150.0 |
| Vista med.: 20180 | Andina F4 08 [°C] | 23,00 | 55,40 | 54,665 | 20.0/150.0 |
| SN 40709127 | Andina F4 09 [°C] | 23,00 | 55,40 | 54,600 | 20.0/150.0 |



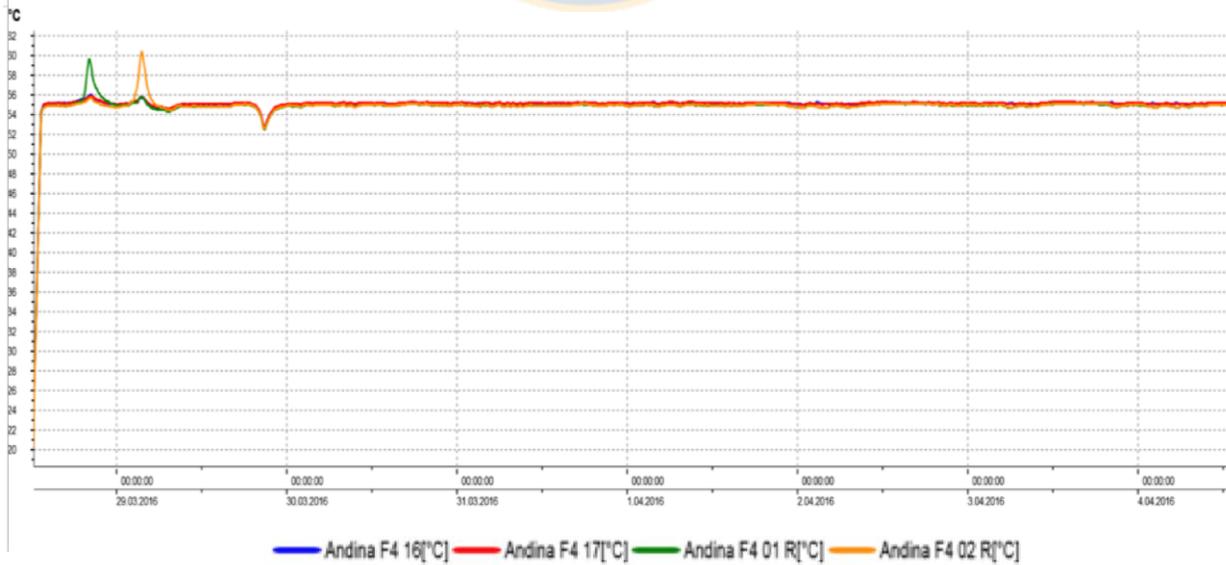
| | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------|--------|----------|----------------|
| Nombre del instrumento: Logger 2 | | 30-03-2016 15:27:14 | | | Página 1/1 |
| Hora de inicio: 23-03-2016 15:14:11 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite |
| Hora de fin: 30-03-2016 15:26:41 | Andina F4 10 [°C] | 22,60 | 56,50 | 54,438 | 20.0/150.0 |
| Canales de medición: 4 | Andina F4 11 [°C] | 22,60 | 55,40 | 54,511 | 20.0/150.0 |
| Vista med.: 20186 | Andina F5 1 [°C] | 22,00 | 58,00 | 54,045 | 20.0/150.0 |
| SN 40708986 | Andina F5 2 [°C] | 20,90 | 58,50 | 54,094 | 20.0/150.0 |



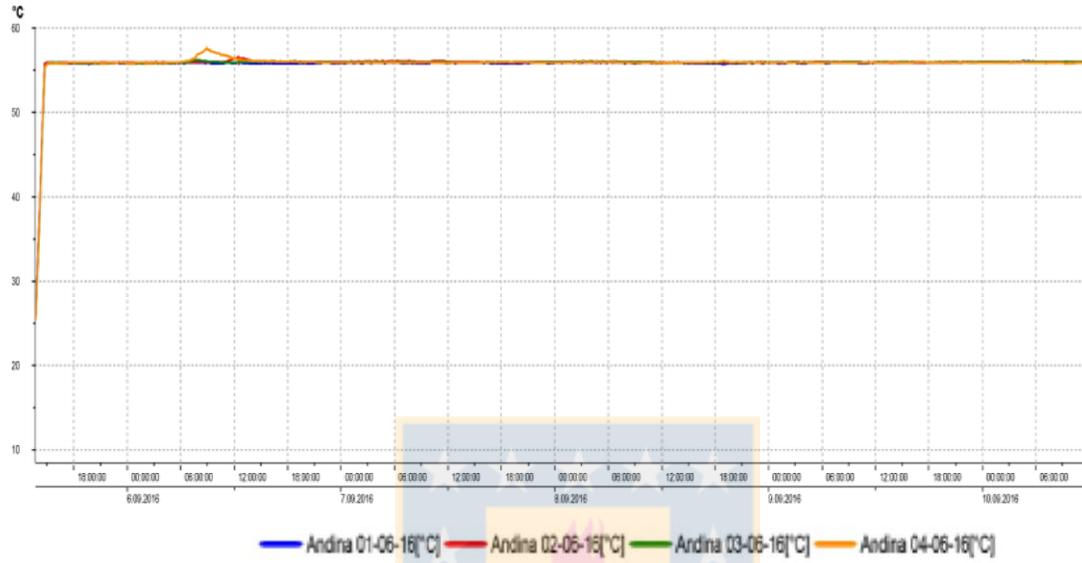
| | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------|--------|----------|----------------|
| Nombre del instrumento: Logger 3 | | 04-04-2016 12:54:43 | | | Página 1/1 |
| Hora de inicio: 28-03-2016 12:21:53 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite |
| Hora de fin: 04-04-2016 12:53:53 | Andina F4 12 [°C] | 26,90 | 58,60 | 55,110 | 20,0/150,0 |
| Canales de medición: 4 | Andina F4 13 [°C] | 26,90 | 60,50 | 55,148 | 20,0/150,0 |
| Vista med.: 20225 | Andina F4 14 [°C] | 26,90 | 57,60 | 55,441 | 20,0/150,0 |
| SN 40708988 | Andina F4 15 [°C] | 26,90 | 55,70 | 55,324 | 20,0/150,0 |



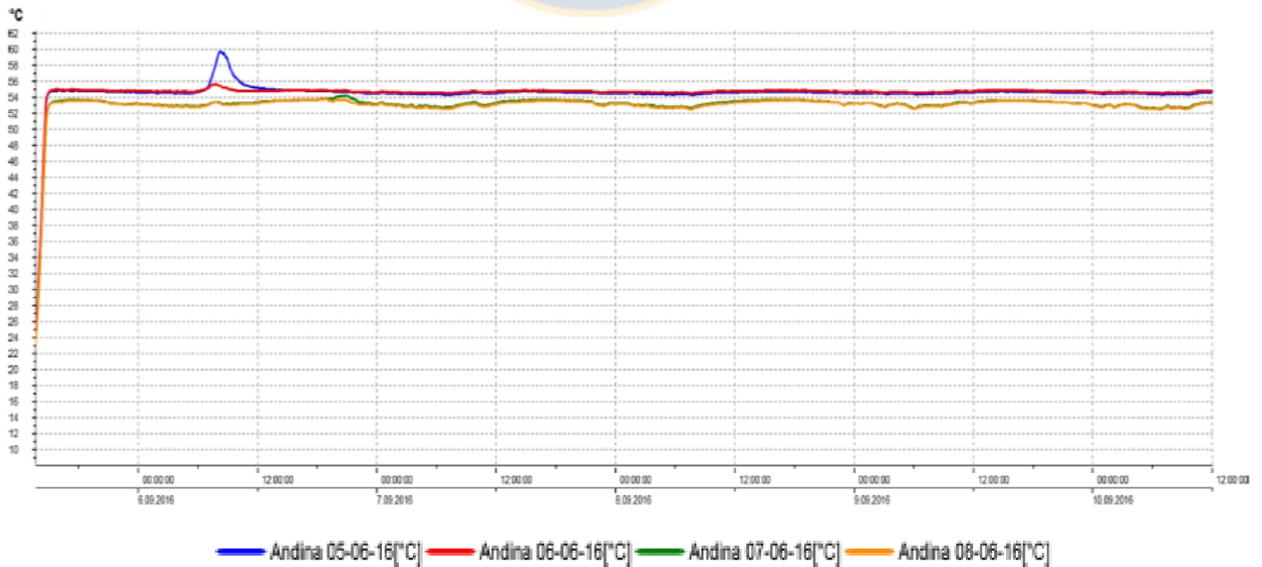
| | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------|--------|----------|----------------|
| Nombre del instrumento: Logger 4 | | 04-04-2016 12:57:58 | | | Página 1/1 |
| Hora de inicio: 28-03-2016 12:22:01 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite |
| Hora de fin: 04-04-2016 12:57:31 | Andina F4 16 [°C] | 26,5 | 56 | 54,992 | 20,0/150,0 |
| Canales de medición: 4 | Andina F4 17 [°C] | 26,4 | 56 | 55,053 | 20,0/150,0 |
| Vista med.: 20232 | Andina F5 01 Repetición [°C] | 25,8 | 59,7 | 54,851 | 20,0/150,0 |
| SN 40709130 | Andina F5 02 Repetición [°C] | 20,3 | 60,5 | 54,864 | 20,0/150,0 |



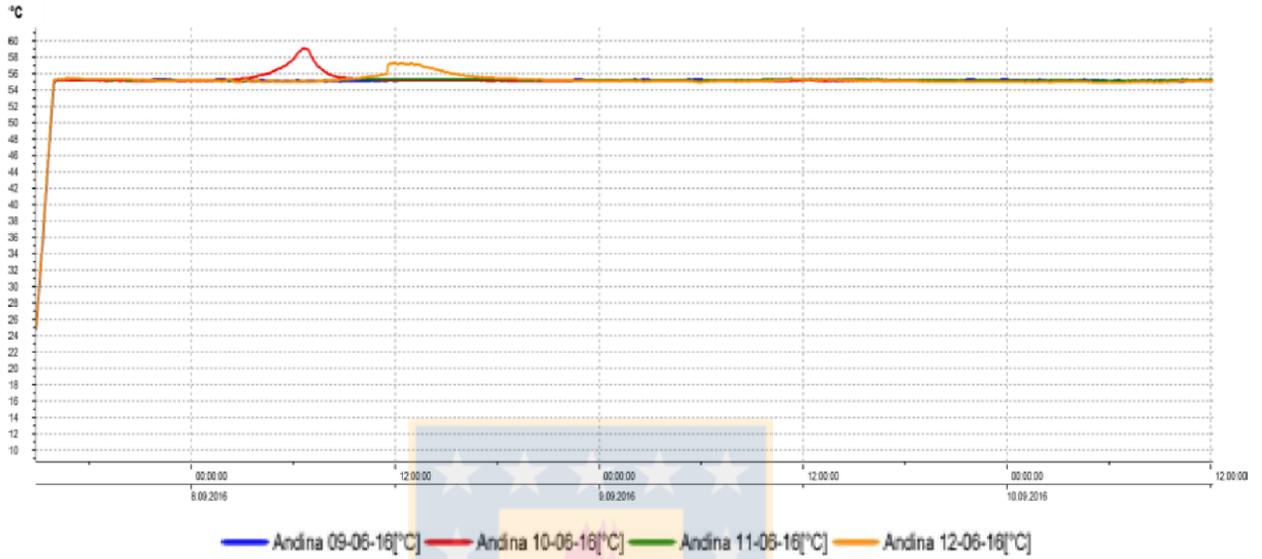
| | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 1 | | 22-09-2016 12:00:45 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 05-09-2016 13:40:40 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 22-09-2016 11:58:10 | Andina 01-06-16 [°C] | 10,80 | 56,10 | 28,084 | 20.0/150.0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 02-06-16 [°C] | 10,90 | 56,60 | 28,108 | 20.0/150.0 | |
| Vista med.: 48756 | Andina 03-06-16 [°C] | 10,80 | 56,20 | 28,099 | 20.0/150.0 | |
| SN 40709127 | Andina 04-06-16 [°C] | 10,80 | 57,70 | 28,098 | 20.0/150.0 | |



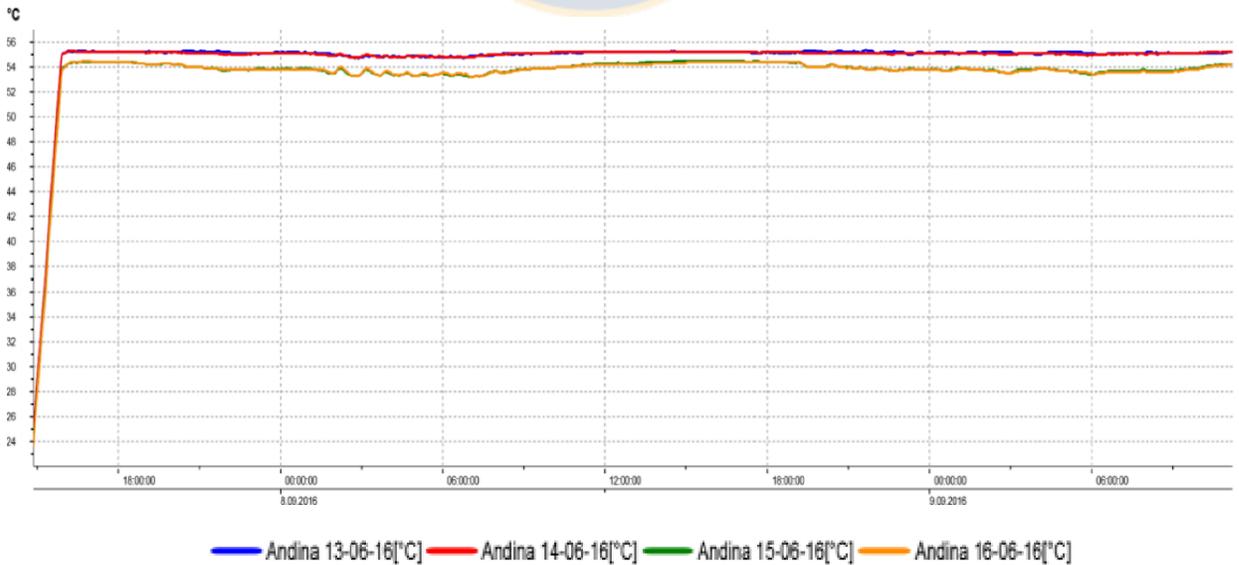
| | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 2 | | 22-09-2016 12:04:55 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 05-09-2016 13:40:50 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 22-09-2016 12:03:50 | Andina 05-06-16 [°C] | 10,50 | 59,90 | 27,483 | 20.0/150.0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 06-06-16 [°C] | 10,50 | 55,70 | 27,512 | 20.0/150.0 | |
| Vista med.: 48767 | Andina 07-06-16 [°C] | 10,60 | 54,20 | 27,074 | 20.0/150.0 | |
| SN 40708986 | Andina 08-06-16 [°C] | 10,50 | 53,80 | 27,055 | 20.0/150.0 | |



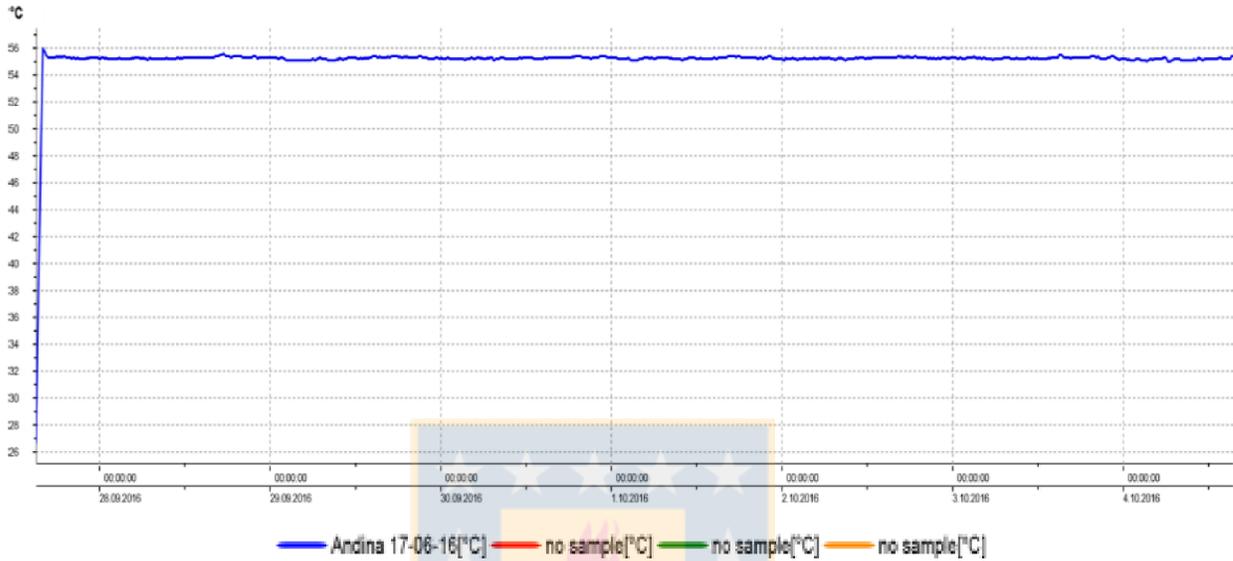
| | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 3 | | 22-09-2016 12:08:26 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 07-09-2016 14:50:22 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 22-09-2016 12:07:52 | Andina 09-06-16 [°C] | 11,00 | 55,40 | 24,184 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 10-06-16 [°C] | 11,10 | 59,20 | 24,200 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 42876 | Andina 11-06-16 [°C] | 11,10 | 55,40 | 24,191 | 20,0/150,0 | |
| SN 40708988 | Andina 12-06-16 [°C] | 11,10 | 57,40 | 24,196 | 20,0/150,0 | |



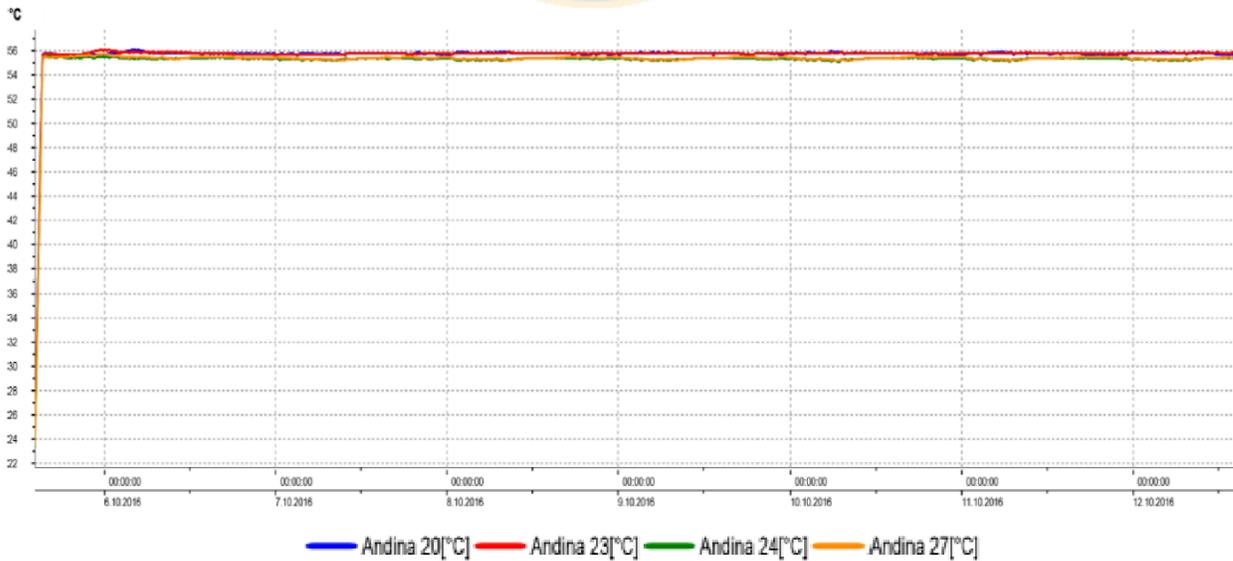
| | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 4 | | 09-09-2016 11:13:55 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 07-09-2016 14:50:38 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 09-09-2016 11:13:08 | Andina 13-06-16 [°C] | 24,80 | 55,40 | 54,748 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 14-06-16 [°C] | 24,90 | 55,30 | 54,719 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 5326 | Andina 15-06-16 [°C] | 24,20 | 54,60 | 53,566 | 20,0/150,0 | |
| SN 40709130 | Andina 16-06-16 [°C] | 23,60 | 54,50 | 53,536 | 20,0/150,0 | |



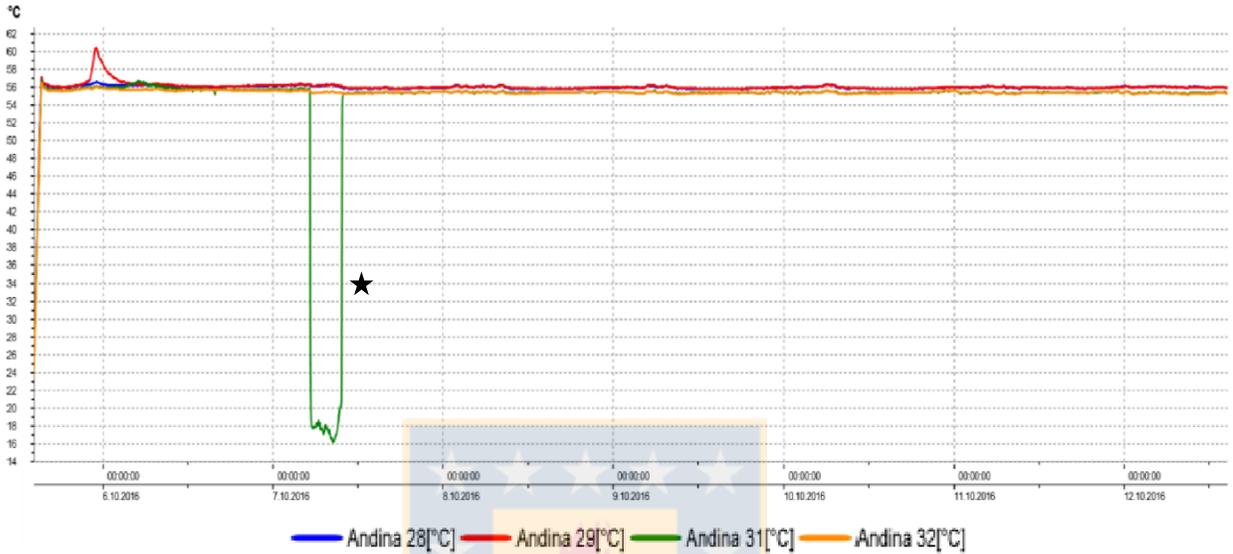
| | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 3 | | 04-10-2016 15:29:57 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 27-09-2016 15:05:10 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 04-10-2016 15:29:40 | Andina 17-06-16 [°C] | 26,60 | 56,00 | 55,179 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | no sample [°C] | ---- | ---- | ---- | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 20210 | no sample [°C] | ---- | ---- | ---- | 20,0/150,0 | |
| SN 40708988 | no sample [°C] | ---- | ---- | ---- | 20,0/150,0 | |



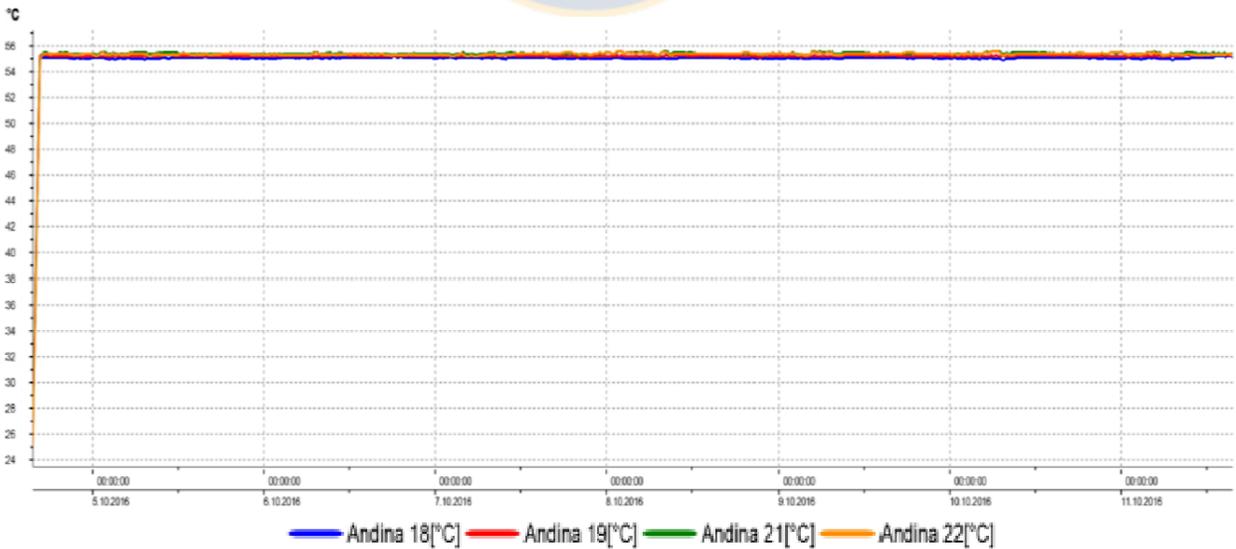
| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 1 | | 12-10-2016 14:35:09 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 05-10-2016 14:16:31 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 12-10-2016 14:34:31 | Andina 20 [°C] | 24,40 | 56,10 | 55,691 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 23 [°C] | 24,30 | 56,10 | 55,696 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 20197 | Andina 24 [°C] | 23,30 | 55,60 | 55,243 | 20,0/150,0 | |
| SN 40709127 | Andina 27 [°C] | 23,50 | 55,80 | 55,301 | 20,0/150,0 | |



| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 2 | | 12-10-2016 14:42:00 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 05-10-2016 14:16:39 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 12-10-2016 14:37:09 | Andina 28 [°C] | 25,20 | 57,30 | 55,894 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 29 [°C] | 24,70 | 60,50 | 55,971 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 20202 | Andina 31 [°C] | 16,20 | 56,90 | 54,412 | 20,0/150,0 | |
| SN 40708986 | Andina 32 [°C] | 23,70 | 56,70 | 55,364 | 20,0/150,0 | |

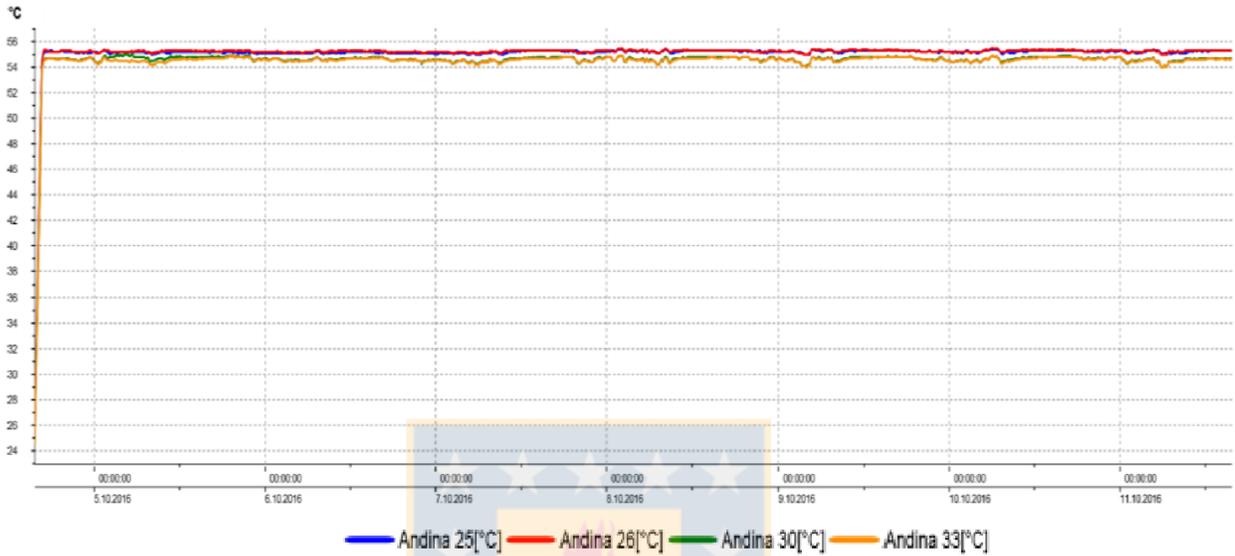


| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 3 | | 11-10-2016 15:39:46 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 04-10-2016 15:38:15 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 11-10-2016 15:39:15 | Andina 18 [°C] | 25,60 | 55,20 | 54,974 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 19 [°C] | 25,90 | 55,40 | 55,129 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 20163 | Andina 21 [°C] | 25,40 | 55,70 | 55,329 | 20,0/150,0 | |
| SN 40708988 | Andina 22 [°C] | 25,00 | 55,60 | 55,277 | 20,0/150,0 | |

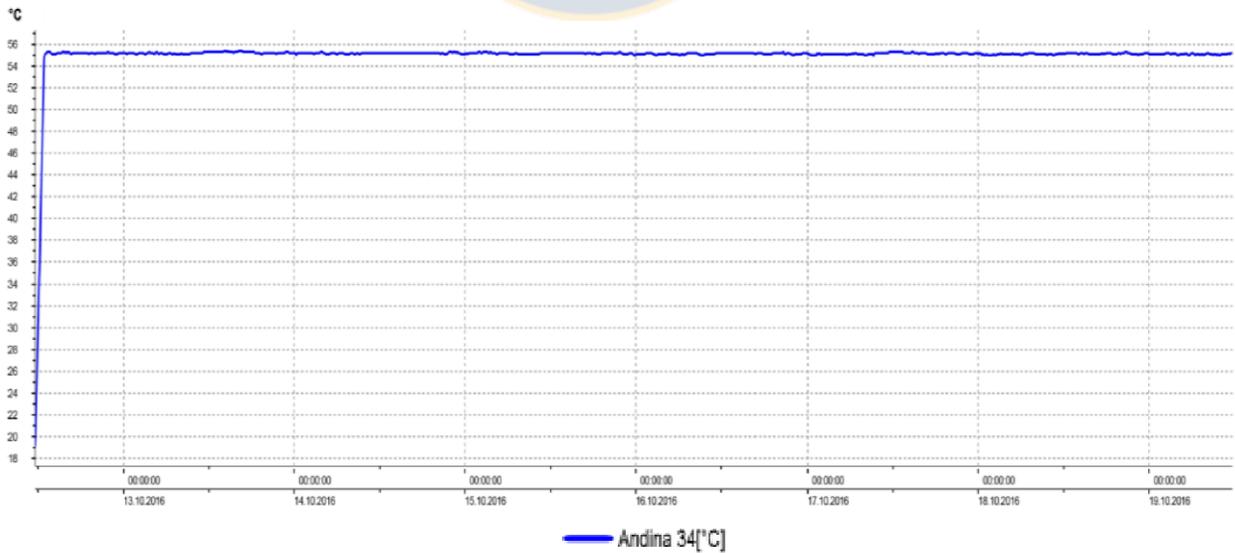


★ Anomalía en el registro de la muestra 31, posiblemente originada por un desperfecto en la termocupla.

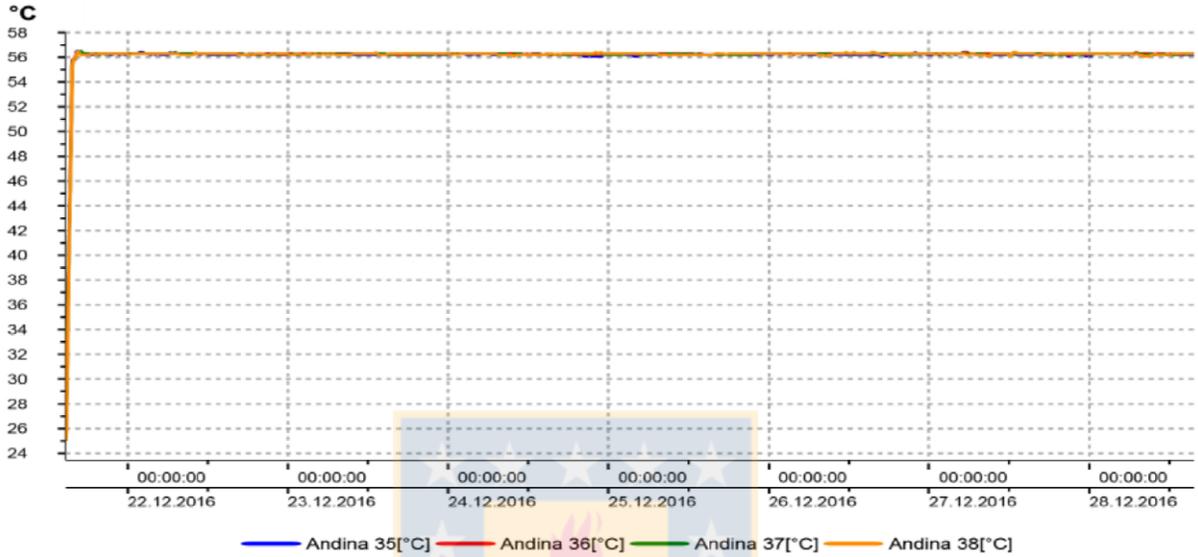
| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 4 | | 11-10-2016 15:43:15 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 04-10-2016 15:38:22 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 11-10-2016 15:42:52 | Andina 25 [°C] | 25,20 | 55,50 | 55,112 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 26 [°C] | 25,00 | 55,50 | 55,162 | -195,0/1000,0 | |
| Vista med.: 20170 | Andina 30 [°C] | 24,50 | 55,10 | 54,564 | -195,0/1000,0 | |
| SN 40709130 | Andina 33 [°C] | 24,50 | 54,90 | 54,503 | -195,0/1000,0 | |



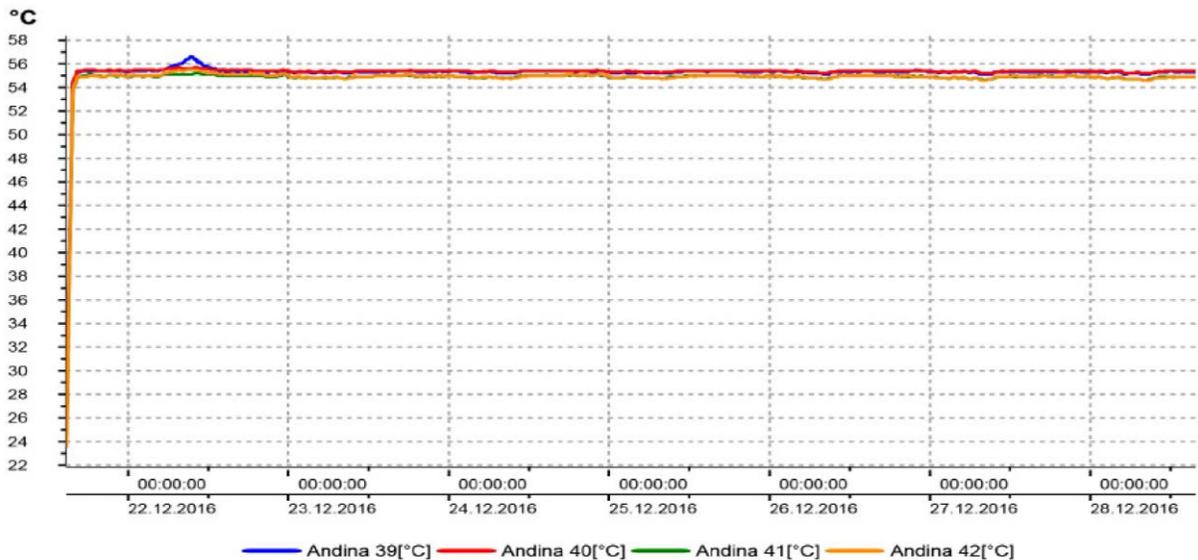
| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 3 | | 19-10-2016 11:43:13 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 12-10-2016 11:33:47 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 19-10-2016 11:42:47 | Andina 34 [°C] | 19,10 | 55,50 | 55,018 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 1 | | | | | | |
| Vista med.: 20179 | | | | | | |
| SN 40708988 | | | | | | |



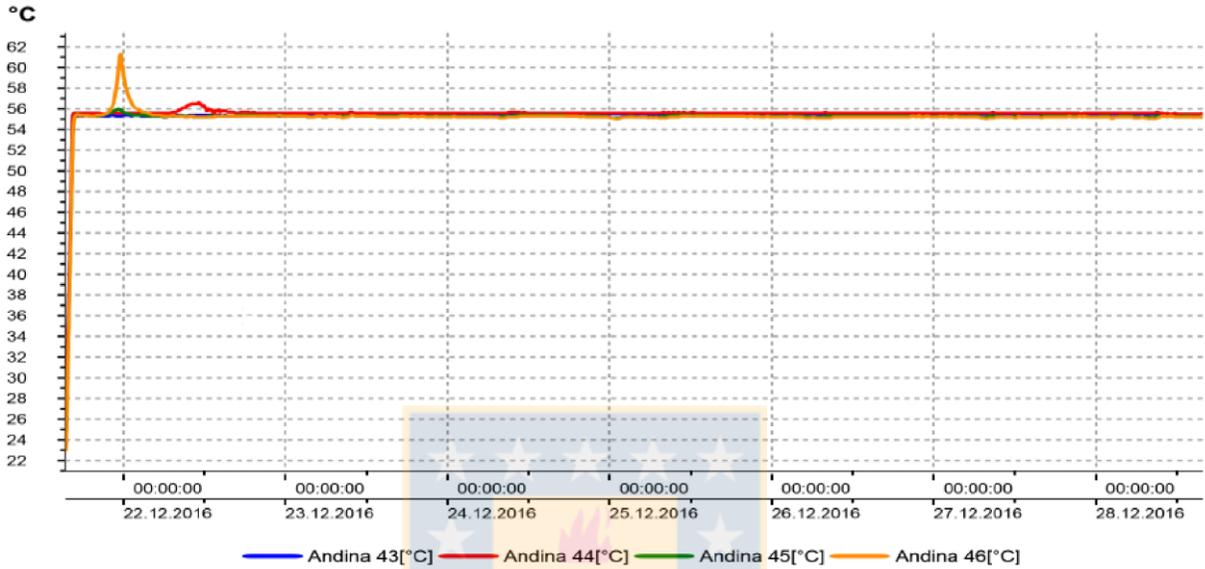
| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 1 | | 28-12-2016 15:37:51 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 21-12-2016 14:40:56 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 28-12-2016 15:37:26 | Andina 35 [°C] | 25,80 | 56,50 | 56,132 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 36 [°C] | 25,80 | 56,40 | 56,188 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 20274 | Andina 37 [°C] | 25,50 | 56,50 | 56,174 | 20,0/150,0 | |
| SN 40709127 | Andina 38 [°C] | 25,00 | 56,50 | 56,169 | 20,0/150,0 | |



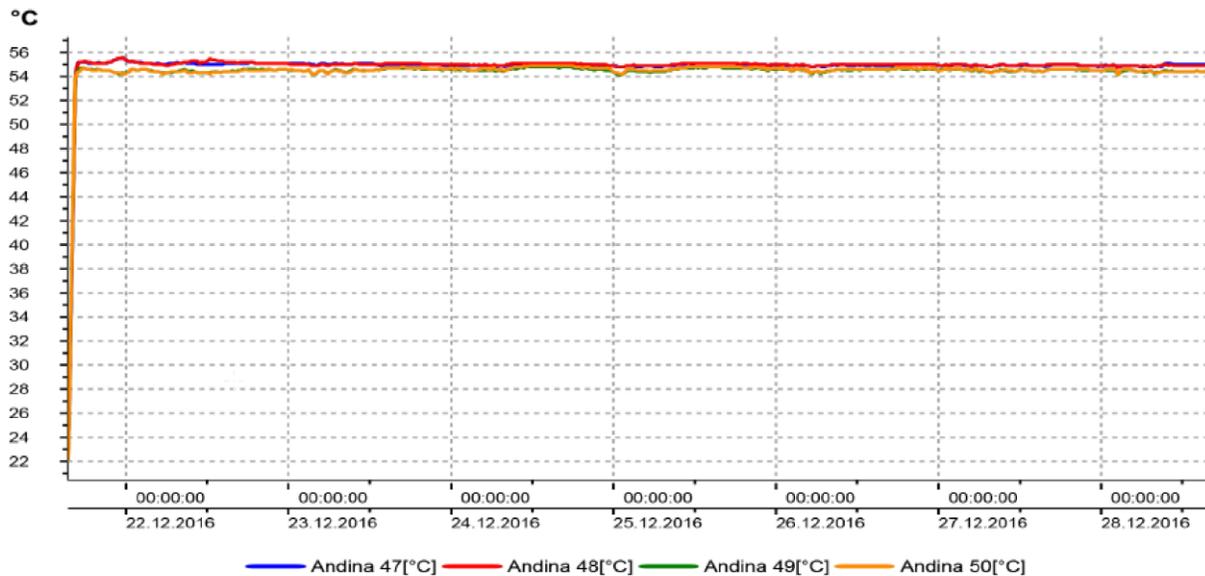
| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 2 | | 28-12-2016 15:44:27 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 21-12-2016 14:41:02 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 28-12-2016 15:44:02 | Andina 39 [°C] | 24,70 | 56,70 | 55,254 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 40 [°C] | 24,90 | 55,70 | 55,287 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 20287 | Andina 41 [°C] | 23,80 | 55,20 | 54,814 | 20,0/150,0 | |
| SN 40708986 | Andina 42 [°C] | 23,50 | 55,60 | 54,835 | 20,0/150,0 | |



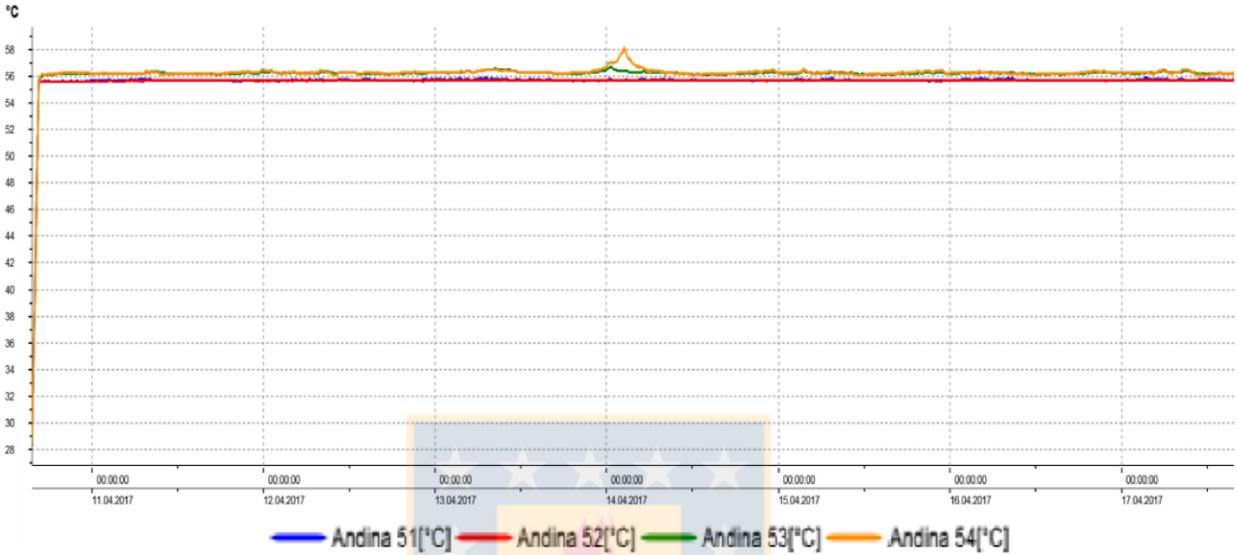
| | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|
| Nombre del instrumento: Andina logger 3 | | 28-12-2016 15:49:29 | | | Página 1/1 |
| Hora de inicio: 21-12-2016 15:21:27 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite |
| Hora de fin: 28-12-2016 15:48:57 | Andina 43 [°C] | 23,70 | 55,60 | 55,339 | 20,0/150,0 |
| Canales de medición: 4 | Andina 44 [°C] | 23,80 | 56,70 | 55,517 | -195,0/1000,0 |
| Vista med.: 20216 | Andina 45 [°C] | 23,00 | 56,00 | 55,182 | -195,0/1000,0 |
| SN 40708988 | Andina 46 [°C] | 22,90 | 61,40 | 55,175 | -195,0/1000,0 |



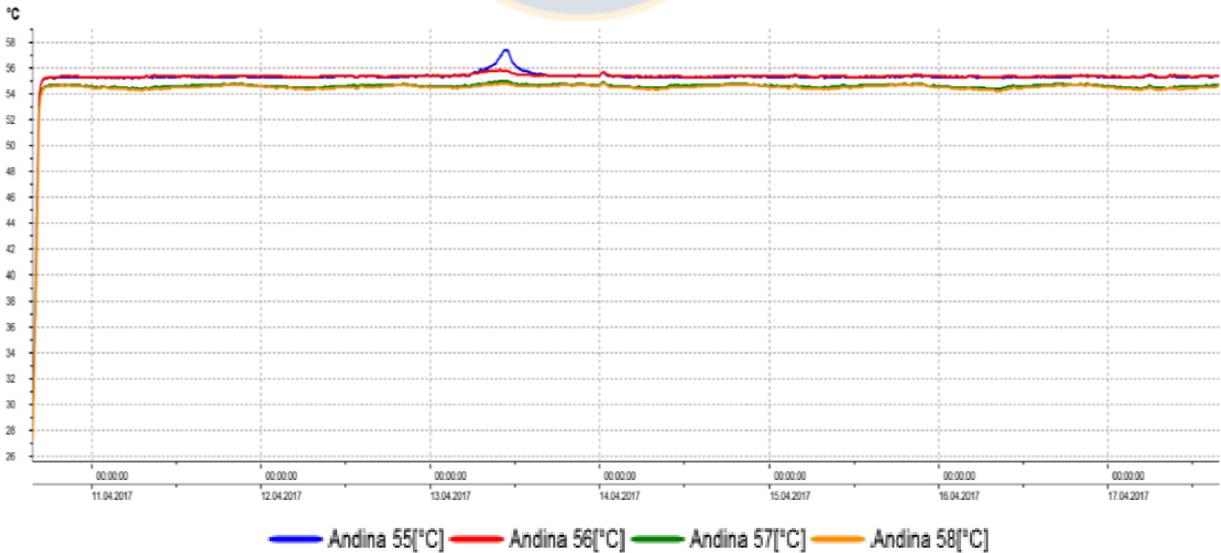
| | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|
| Nombre del instrumento: Andina logger 4 | | 28-12-2016 15:54:15 | | | Página 1/1 |
| Hora de inicio: 21-12-2016 15:21:35 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite |
| Hora de fin: 28-12-2016 15:53:05 | Andina 47 [°C] | 22,70 | 55,50 | 54,870 | 20,0/150,0 |
| Canales de medición: 4 | Andina 48 [°C] | 23,00 | 55,60 | 54,897 | -195,0/1000,0 |
| Vista med.: 20224 | Andina 49 [°C] | 22,50 | 54,80 | 54,419 | -195,0/1000,0 |
| SN 40709130 | Andina 50 [°C] | 22,10 | 54,90 | 54,449 | -195,0/1000,0 |



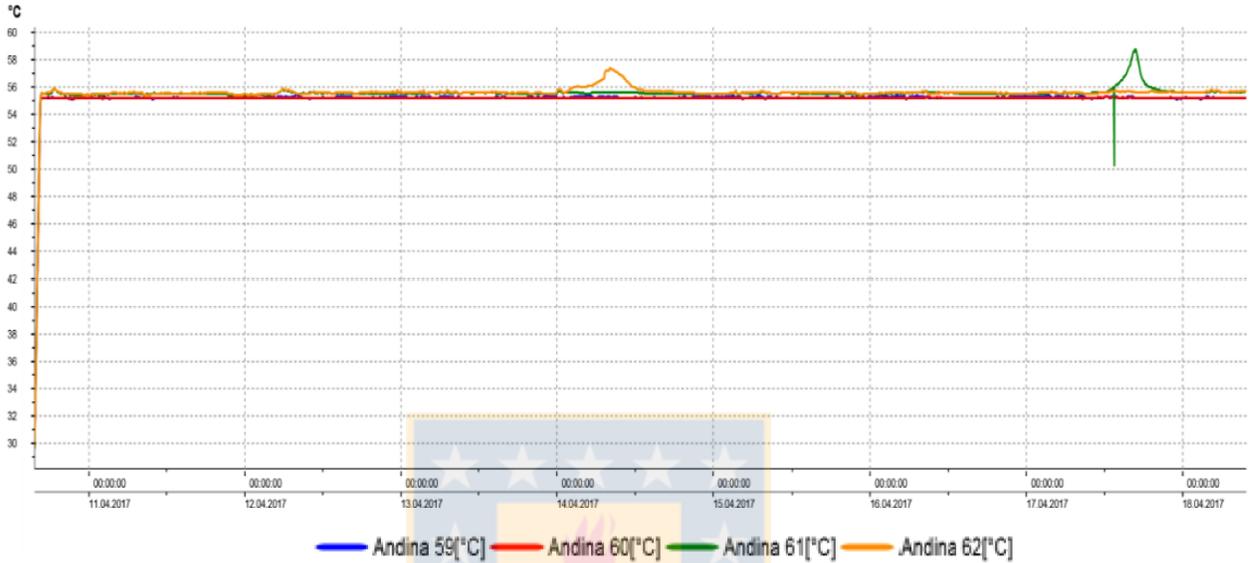
| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 1 | | 17-04-2017 15:46:02 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 10-04-2017 15:36:04 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 17-04-2017 15:45:34 | Andina 51 [°C] | 28,30 | 55,90 | 55,641 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 52 [°C] | 28,40 | 55,80 | 55,613 | 20,0/150,0 | |
| Vista med.: 20180 | Andina 53 [°C] | 28,60 | 56,70 | 56,171 | 20,0/150,0 | |
| SN 40709127 | Andina 54 [°C] | 28,40 | 58,20 | 56,218 | -195,0/1000,0 | |



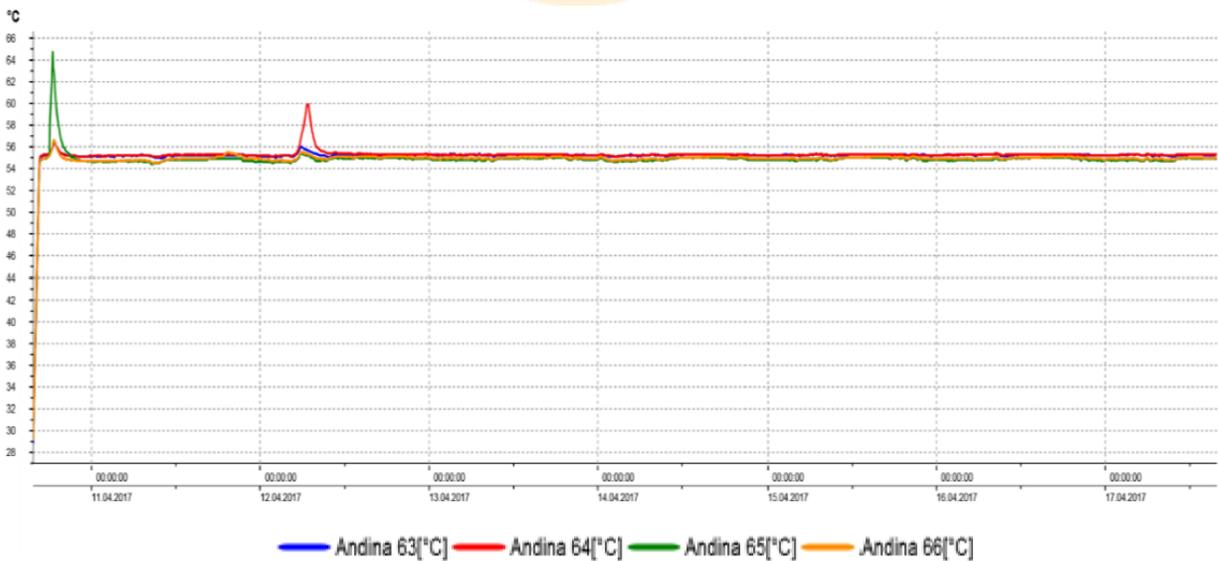
| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 2 | | 17-04-2017 15:47:46 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 10-04-2017 15:36:13 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 17-04-2017 15:47:43 | Andina 55 [°C] | 27,70 | 57,50 | 55,291 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 56 [°C] | 27,60 | 55,90 | 55,303 | -195,0/1000,0 | |
| Vista med.: 20184 | Andina 57 [°C] | 27,40 | 55,10 | 54,548 | -195,0/1000,0 | |
| SN 40708986 | Andina 58 [°C] | 27,10 | 54,90 | 54,431 | -195,0/1000,0 | |
| Prueba de sleep time | | | | | | |



| | | | | | | |
|---|----------------|--------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 3 | | 18-04-2017 9:51:06 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 10-04-2017 15:40:12 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 18-04-2017 9:50:12 | Andina 59 [°C] | 30,00 | 55,50 | 55,180 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 60 [°C] | 29,60 | 55,30 | 55,139 | -195,0/1000,0 | |
| Vista med.: 22341 | Andina 61 [°C] | 29,80 | 58,90 | 55,515 | -195,0/1000,0 | |
| SN 40708988 | Andina 62 [°C] | 30,10 | 57,40 | 55,565 | -195,0/1000,0 | |



| | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|-----|
| Nombre del instrumento: Andina logger 4 | | 17-04-2017 15:52:16 | | | Página | 1/1 |
| Hora de inicio: 10-04-2017 15:40:21 | | Mínimo | Máximo | Promedio | Valores límite | |
| Hora de fin: 17-04-2017 15:51:51 | Andina 63 [°C] | 28,80 | 56,40 | 55,160 | 20,0/150,0 | |
| Canales de medición: 4 | Andina 64 [°C] | 29,30 | 60,00 | 55,236 | -195,0/1000,0 | |
| Vista med.: 20184 | Andina 65 [°C] | 29,10 | 64,80 | 54,831 | -195,0/1000,0 | |
| SN 40709130 | Andina 66 [°C] | 29,10 | 56,70 | 54,882 | -195,0/1000,0 | |



ANEXO 4: Reporte de Análisis Mineralógico

Tabla A4.1. Cartilla con el contenido de sulfuros en las 53 muestras analizadas.

| Muestra | Sulfuros (%) | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Cpy | Bo | Cv | Cs | Tn | En | Tt | Bou | Sel | Py | Esf | Apy | Moly | Gal |
| 21 | 0,996 | 0,003 | 0,000 | 0,011 | 0,002 | 0,011 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,120 | 0,002 | 0,000 | 0,009 | 0,006 |
| 22 | 0,883 | 0,002 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,129 | 0,012 | 0,000 | 0,006 | 0,009 |
| 25 | 0,772 | 0,002 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,675 | 0,003 | 0,000 | 0,007 | 0,002 |
| 26 | 2,584 | 0,005 | 0,000 | 0,003 | 0,004 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,871 | 0,004 | 0,000 | 0,024 | 0,002 |
| 27 | 0,769 | 0,001 | 0,000 | 0,005 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,008 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 |
| 28 | 1,093 | 0,008 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,503 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,002 |
| 29 | 1,081 | 0,004 | 0,000 | 0,064 | 0,001 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,624 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,003 |
| 30 | 1,483 | 0,012 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,457 | 0,004 | 0,000 | 0,027 | 0,000 |
| 31 | 0,273 | 0,004 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,266 | 0,001 | 0,000 | 0,005 | 0,001 |
| 32 | 0,156 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,766 | 0,000 | 0,000 | 0,009 | 0,000 |
| 33 | 0,188 | 0,006 | 0,000 | 0,006 | 0,004 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,863 | 0,002 | 0,000 | 0,004 | 0,003 |
| 35 | 0,681 | 0,008 | 0,001 | 0,004 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,032 | 0,001 | 0,000 | 0,049 | 0,146 |
| 36 | 1,522 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,027 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,233 | 0,001 | 0,000 | 0,125 | 0,178 |
| 37 | 1,600 | 0,044 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,079 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,000 |
| 38 | 1,873 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,259 | 0,002 | 0,000 | 0,029 | 0,000 |
| 39 | 1,893 | 0,004 | 0,001 | 0,007 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,619 | 0,001 | 0,000 | 0,023 | 0,000 |
| 42 | 3,215 | 0,001 | 0,000 | 0,008 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,249 | 0,004 | 0,000 | 0,122 | 0,003 |
| 44 | 0,594 | 0,003 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,953 | 0,001 | 0,000 | 0,005 | 0,010 |
| 46 | 2,708 | 0,014 | 0,003 | 0,026 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,274 | 0,001 | 0,000 | 0,019 | 0,002 |
| 51 | 0,051 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,181 | 0,002 | 0,000 | 0,003 | 0,001 |
| 52 | 0,276 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,280 | 0,024 | 0,000 | 0,009 | 0,002 |
| 53 | 0,145 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,213 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,004 |
| 54 | 0,878 | 0,003 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 4,761 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,000 |
| 55 | 3,065 | 0,005 | 0,000 | 0,001 | 0,006 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,588 | 0,000 | 0,000 | 0,045 | 0,000 |
| 56 | 2,736 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,674 | 0,003 | 0,000 | 0,068 | 0,000 |
| 57 | 1,808 | 0,003 | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,011 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,158 | 0,000 | 0,000 | 0,030 | 0,279 |
| 58 | 1,869 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 2,439 | 0,428 | 0,005 | 0,063 | 0,183 |
| 59 | 0,032 | 0,007 | 0,000 | 0,007 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,222 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,196 |
| 60 | 1,246 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,545 | 0,002 | 0,000 | 0,102 | 0,101 |
| 61 | 1,710 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,024 | 0,009 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 5,838 | 0,003 | 0,000 | 0,130 | 0,002 |
| 62 | 4,139 | 0,048 | 0,001 | 0,010 | 0,174 | 0,173 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 7,483 | 0,025 | 0,000 | 0,183 | 0,029 |
| 63 | 0,174 | 0,005 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,801 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,000 |
| 64 | 0,091 | 0,022 | 0,000 | 0,001 | 0,005 | 0,019 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,455 | 0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,000 |
| 65 | 0,024 | 0,020 | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,687 | 0,002 | 0,000 | 0,020 | 0,000 |
| 66 | 0,318 | 0,049 | 0,001 | 0,006 | 0,003 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,651 | 0,002 | 0,000 | 0,013 | 0,000 |

| Muestra | Cpy | Bo | Cv | Cs | Tn | En | Tt | Bou | Sel | Py | Esf | Apy | Moly | Gal |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 03.06.16 | 1,841 | 0,005 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,479 | 0,003 | 0,000 | 0,069 | 0,149 |
| 04.06.16 | 0,914 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 4,088 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,000 |
| 05.06.16 | 0,503 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 9,792 | 0,004 | 0,000 | 0,030 | 0,001 |
| 06.06.16 | 0,704 | 0,006 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,021 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,317 | 0,000 | 0,000 | 0,035 | 0,716 |
| 07.06.16 | 1,022 | 0,006 | 0,001 | 0,012 | 0,005 | 0,016 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 2,041 | 0,003 | 0,000 | 0,030 | 2,844 |
| 08.06.16 | 3,265 | 0,005 | 0,001 | 0,012 | 0,001 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,112 | 0,002 | 0,000 | 0,025 | 0,001 |
| 09.06.16 | 7,238 | 0,002 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,833 | 0,004 | 0,000 | 0,041 | 1,950 |
| 10.06.16 | 0,210 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,479 | 0,000 | 0,000 | 0,015 | 0,002 |
| 11.06.16 | 1,560 | 0,013 | 0,001 | 0,018 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,555 | 0,002 | 0,000 | 0,016 | 0,001 |
| 12.06.16 | 0,571 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,015 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,365 | 0,001 | 0,001 | 0,017 | 0,002 |
| 14.06.16 | 0,213 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,004 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,278 | 0,002 | 0,000 | 0,003 | 0,829 |
| 15.06.16 | 0,147 | 0,006 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,389 | 0,003 | 0,000 | 0,028 | 0,002 |
| 16.06.16 | 0,348 | 0,043 | 0,001 | 0,087 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,083 | 0,000 | 0,000 | 0,047 | 0,000 |
| F4-12 | 0,604 | 0,000 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 10,028 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,001 |
| F4-13 | 0,331 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 10,403 | 0,002 | 0,000 | 0,011 | 0,001 |
| F4-14 | 2,600 | 0,003 | 0,003 | 0,001 | 0,007 | 0,032 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,941 | 0,009 | 0,001 | 0,022 | 0,012 |
| F5-1 | 0,240 | 0,023 | 0,011 | 0,016 | 0,003 | 0,052 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,787 | 0,009 | 0,000 | 0,035 | 0,010 |
| F5-2 | 0,388 | 0,028 | 0,039 | 0,405 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,265 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,007 |



Tabla A4.2. Cartilla con el contenido de óxidos de las 53 muestras analizadas.

| Muestra | Óxidos Fe-Ti (%) | | | |
|----------|------------------|--------------|-------|-------|
| | Mgt-Hm | Got(Al)-Harr | Rut | Ilm |
| 21 | 1,703 | 0,012 | 0,599 | 0,015 |
| 22 | 3,422 | 0,002 | 0,566 | 0,024 |
| 25 | 3,141 | 0,006 | 0,588 | 0,016 |
| 26 | 0,643 | 0,003 | 0,482 | 0,006 |
| 27 | 2,861 | 0,000 | 0,536 | 0,019 |
| 28 | 1,840 | 0,001 | 0,461 | 0,003 |
| 29 | 2,131 | 0,004 | 0,357 | 0,053 |
| 30 | 2,251 | 0,005 | 0,471 | 0,049 |
| 31 | 5,142 | 0,003 | 0,829 | 0,287 |
| 32 | 4,052 | 0,001 | 0,455 | 0,445 |
| 33 | 4,663 | 0,249 | 0,481 | 0,418 |
| 35 | 3,589 | 0,002 | 0,471 | 0,037 |
| 36 | 0,836 | 0,000 | 0,453 | 0,007 |
| 37 | 1,838 | 0,002 | 0,435 | 0,054 |
| 38 | 0,850 | 0,001 | 0,458 | 0,055 |
| 39 | 1,767 | 0,002 | 0,377 | 0,027 |
| 42 | 0,512 | 0,001 | 0,573 | 0,003 |
| 44 | 5,531 | 0,002 | 0,567 | 0,224 |
| 46 | 1,496 | 0,005 | 0,300 | 0,050 |
| 51 | 2,581 | 0,000 | 0,575 | 0,067 |
| 52 | 2,497 | 0,003 | 0,565 | 0,072 |
| 53 | 2,799 | 0,006 | 0,611 | 0,089 |
| 54 | 2,084 | 0,000 | 0,612 | 0,010 |
| 55 | 2,868 | 0,006 | 0,258 | 0,092 |
| 56 | 1,306 | 0,000 | 0,482 | 0,031 |
| 57 | 2,367 | 0,018 | 0,569 | 0,075 |
| 58 | 0,869 | 0,004 | 0,462 | 0,012 |
| 59 | 1,650 | 0,005 | 0,181 | 0,113 |
| 60 | 1,825 | 0,000 | 0,594 | 0,006 |
| 61 | 0,837 | 0,009 | 0,405 | 0,001 |
| 62 | 1,979 | 0,001 | 0,555 | 0,023 |
| 63 | 5,422 | 0,008 | 0,702 | 0,435 |
| 64 | 1,656 | 0,005 | 0,652 | 0,024 |
| 65 | 0,263 | 0,001 | 0,447 | 0,001 |
| 66 | 3,145 | 0,013 | 0,463 | 0,032 |
| 03.06.16 | 2,251 | 0,005 | 0,266 | 0,360 |

| Muestra | Mgt-Hm | Got(AI)-Harr | Rut | IIm |
|-----------------|---------------|---------------------|------------|------------|
| 04.06.16 | 3,210 | 0,017 | 0,364 | 0,201 |
| 05.06.16 | 3,339 | 0,028 | 0,357 | 0,090 |
| 06.06.16 | 2,040 | 0,000 | 0,621 | 0,012 |
| 07.06.16 | 1,613 | 0,079 | 0,545 | 0,092 |
| 08.06.16 | 1,094 | 0,024 | 0,476 | 0,025 |
| 09.06.16 | 3,358 | 0,001 | 0,376 | 0,005 |
| 10.06.16 | 1,070 | 0,010 | 0,595 | 0,005 |
| 11.06.16 | 1,414 | 0,001 | 0,410 | 0,008 |
| 12.06.16 | 1,176 | 0,051 | 0,291 | 0,017 |
| 14.06.16 | 4,216 | 0,001 | 0,581 | 0,199 |
| 15.06.16 | 3,300 | 0,004 | 0,773 | 0,071 |
| 16.06.16 | 2,216 | 0,004 | 0,608 | 0,532 |
| F4-12 | 0,475 | 0,001 | 0,435 | 0,002 |
| F4-13 | 1,323 | 0,001 | 0,508 | 0,005 |
| F4-14 | 0,797 | 0,051 | 0,345 | 0,036 |
| F5-1 | 0,628 | 0,008 | 0,310 | 0,020 |
| F5-2 | 0,795 | 0,009 | 0,369 | 0,029 |

Tabla A4.3. Cartilla con el contenido de silicatos de las 53 muestras analizadas.

| Muestra | Silicatos (%) | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | Qz | Fk | Pl-Alb | Ep-Zoi | Tur | Anf | Ser-Mus | Bt | Cao | Mont | Clo | Cir | Tit-Esf |
| 21 | 42,834 | 11,957 | 14,302 | 0,020 | 0,198 | 0,659 | 15,185 | 4,575 | 0,358 | 0,409 | 1,501 | 0,056 | 0,002 |
| 22 | 37,652 | 10,368 | 24,536 | 0,027 | 0,769 | 0,107 | 10,881 | 5,210 | 0,296 | 0,258 | 1,955 | 0,056 | 0,021 |
| 25 | 35,925 | 11,468 | 28,193 | 0,185 | 0,124 | 0,178 | 8,912 | 4,708 | 0,609 | 0,357 | 2,937 | 0,102 | 0,074 |
| 26 | 40,572 | 22,089 | 12,410 | 0,003 | 0,059 | 0,116 | 11,135 | 3,798 | 2,537 | 0,200 | 1,576 | 0,048 | 0,001 |
| 27 | 36,235 | 7,060 | 30,389 | 0,061 | 0,178 | 0,066 | 11,087 | 7,730 | 0,222 | 0,210 | 0,892 | 0,097 | 0,019 |
| 28 | 36,320 | 18,933 | 17,636 | 0,162 | 0,310 | 0,083 | 10,953 | 7,311 | 1,858 | 0,223 | 1,570 | 0,073 | 0,019 |
| 29 | 36,370 | 16,365 | 15,246 | 0,008 | 0,297 | 0,105 | 10,360 | 7,359 | 1,968 | 0,156 | 1,358 | 0,133 | 0,002 |
| 30 | 46,728 | 14,572 | 3,058 | 0,001 | 0,088 | 0,074 | 20,093 | 5,169 | 1,781 | 0,162 | 0,818 | 0,038 | 0,002 |
| 31 | 29,011 | 8,207 | 25,647 | 0,539 | 0,356 | 0,303 | 14,019 | 2,201 | 0,562 | 0,511 | 7,523 | 0,070 | 0,348 |
| 32 | 19,387 | 7,491 | 46,474 | 0,990 | 0,184 | 2,526 | 3,952 | 3,863 | 0,655 | 0,363 | 6,540 | 0,064 | 0,938 |
| 33 | 43,145 | 10,740 | 6,290 | 0,074 | 6,258 | 1,036 | 15,154 | 1,470 | 0,552 | 1,869 | 1,373 | 0,052 | 0,008 |
| 35 | 26,683 | 12,655 | 37,447 | 0,259 | 0,201 | 0,110 | 5,083 | 4,571 | 4,153 | 0,232 | 2,482 | 0,057 | 0,031 |
| 36 | 30,656 | 21,385 | 25,521 | 0,075 | 0,102 | 0,105 | 9,390 | 1,906 | 4,628 | 0,128 | 1,608 | 0,078 | 0,012 |
| 37 | 33,557 | 14,402 | 29,518 | 0,403 | 0,225 | 0,411 | 7,060 | 5,794 | 0,661 | 0,461 | 2,374 | 0,107 | 0,059 |
| 38 | 33,033 | 28,647 | 15,775 | 0,001 | 0,117 | 0,218 | 8,428 | 5,923 | 0,725 | 0,107 | 2,523 | 0,129 | 0,007 |
| 39 | 49,757 | 11,657 | 3,908 | 0,009 | 0,041 | 0,055 | 19,204 | 5,435 | 0,255 | 0,184 | 0,989 | 0,067 | 0,003 |
| 42 | 55,624 | 9,547 | 0,358 | 0,002 | 8,412 | 0,031 | 14,292 | 0,402 | 0,928 | 1,154 | 1,710 | 0,089 | 0,001 |
| 44 | 22,925 | 8,492 | 34,110 | 0,703 | 0,881 | 0,205 | 6,641 | 2,678 | 0,992 | 1,008 | 8,296 | 0,119 | 0,902 |
| 46 | 50,279 | 12,108 | 6,251 | 0,005 | 4,996 | 0,076 | 7,868 | 0,398 | 1,972 | 0,568 | 1,609 | 0,059 | 0,002 |
| 51 | 29,665 | 18,363 | 31,422 | 0,057 | 0,203 | 2,204 | 4,104 | 1,189 | 2,155 | 0,270 | 4,786 | 0,200 | 0,251 |
| 52 | 32,408 | 23,498 | 19,597 | 0,336 | 0,178 | 0,448 | 6,064 | 0,711 | 2,689 | 0,314 | 6,353 | 0,064 | 0,197 |
| 53 | 32,997 | 17,551 | 27,464 | 0,232 | 0,212 | 1,048 | 4,537 | 0,842 | 2,827 | 0,382 | 6,296 | 0,048 | 0,274 |
| 54 | 38,861 | 11,918 | 24,335 | 0,147 | 1,328 | 0,165 | 5,472 | 2,682 | 2,074 | 0,524 | 2,780 | 0,107 | 0,065 |
| 55 | 50,569 | 5,677 | 0,161 | 0,003 | 0,155 | 0,090 | 22,961 | 4,668 | 1,335 | 0,565 | 1,613 | 0,137 | 0,002 |
| 56 | 34,963 | 30,554 | 8,339 | 0,002 | 0,131 | 0,079 | 10,646 | 3,749 | 2,556 | 0,189 | 2,573 | 0,082 | 0,000 |
| 57 | 35,067 | 20,666 | 17,708 | 0,002 | 0,207 | 0,289 | 8,129 | 4,504 | 3,668 | 0,243 | 1,666 | 0,130 | 0,009 |
| 58 | 33,897 | 15,539 | 18,891 | 0,149 | 0,122 | 0,619 | 11,180 | 3,949 | 3,842 | 0,486 | 2,457 | 0,110 | 0,018 |
| 59 | 43,958 | 21,830 | 14,141 | 0,006 | 0,039 | 0,261 | 9,198 | 0,059 | 4,225 | 0,180 | 0,078 | 0,049 | 0,002 |
| 60 | 36,489 | 11,895 | 26,736 | 0,023 | 0,098 | 0,539 | 5,569 | 4,356 | 3,992 | 0,540 | 3,031 | 0,114 | 0,003 |
| 61 | 44,602 | 20,384 | 1,372 | 0,003 | 5,671 | 0,158 | 14,509 | 0,381 | 0,423 | 1,075 | 0,411 | 0,140 | 0,002 |
| 62 | 34,829 | 12,694 | 14,577 | 0,004 | 2,847 | 0,085 | 14,791 | 1,107 | 0,799 | 0,374 | 1,414 | 0,287 | 0,001 |
| 63 | 27,686 | 12,684 | 26,426 | 1,170 | 0,407 | 0,228 | 7,336 | 0,556 | 3,263 | 0,597 | 9,933 | 0,056 | 0,225 |
| 64 | 52,448 | 3,796 | 0,442 | 0,003 | 24,417 | 0,093 | 2,358 | 0,195 | 1,119 | 3,100 | 2,042 | 0,068 | 0,002 |
| 65 | 50,730 | 1,487 | 0,284 | 0,008 | 23,636 | 0,075 | 2,537 | 0,196 | 2,565 | 3,315 | 6,560 | 0,083 | 0,003 |
| 66 | 38,232 | 30,687 | 0,313 | 0,003 | 16,006 | 0,050 | 2,295 | 0,222 | 0,864 | 1,893 | 2,431 | 0,044 | 0,002 |
| 03.06.16 | 29,849 | 20,707 | 25,599 | 0,008 | 0,112 | 0,329 | 11,028 | 1,176 | 0,962 | 0,237 | 2,405 | 0,074 | 0,004 |
| 04.06.16 | 47,657 | 6,104 | 3,012 | 0,006 | 0,577 | 0,121 | 23,812 | 5,602 | 1,731 | 0,140 | 1,199 | 0,077 | 0,001 |

| Muestra | Qz | Fk | PI-Alb | Ep-Zoi | Tur | Anf | Ser-Mus | Bt | Cao | Mont | Clo | Cir | Tit-Esf |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 05.06.16 | 50,758 | 4,513 | 0,119 | 0,016 | 0,634 | 0,123 | 20,932 | 2,542 | 1,515 | 0,162 | 3,040 | 0,050 | 0,002 |
| 06.06.16 | 32,025 | 19,657 | 18,340 | 0,017 | 0,270 | 0,115 | 13,297 | 6,732 | 0,490 | 0,578 | 2,508 | 0,111 | 0,006 |
| 07.06.16 | 47,227 | 13,366 | 0,280 | 0,001 | 0,099 | 0,024 | 22,236 | 5,053 | 0,237 | 0,171 | 0,388 | 0,124 | 0,004 |
| 08.06.16 | 50,241 | 12,746 | 0,162 | 0,011 | 0,097 | 0,096 | 24,562 | 2,789 | 1,432 | 0,111 | 0,713 | 0,077 | 0,001 |
| 09.06.16 | 49,895 | 4,942 | 0,179 | 0,001 | 0,533 | 0,074 | 18,697 | 9,341 | 0,114 | 0,385 | 0,654 | 0,111 | 0,001 |
| 10.06.16 | 41,419 | 8,676 | 9,336 | 0,023 | 0,379 | 0,198 | 26,240 | 1,086 | 1,681 | 0,303 | 1,281 | 0,127 | 0,002 |
| 11.06.16 | 37,074 | 11,202 | 28,301 | 0,041 | 0,082 | 0,096 | 7,020 | 6,814 | 1,776 | 0,330 | 1,479 | 0,048 | 0,022 |
| 12.06.16 | 55,692 | 6,260 | 11,071 | 0,008 | 0,360 | 0,163 | 12,605 | 1,691 | 1,282 | 0,260 | 1,384 | 0,091 | 0,004 |
| 14.06.16 | 21,257 | 10,763 | 42,523 | 1,039 | 0,153 | 1,649 | 5,826 | 0,650 | 0,668 | 0,566 | 5,516 | 0,075 | 0,693 |
| 15.06.16 | 26,266 | 12,302 | 33,642 | 0,312 | 0,214 | 0,194 | 7,506 | 1,570 | 3,048 | 0,389 | 8,553 | 0,054 | 0,205 |
| 16.06.16 | 34,614 | 3,596 | 25,285 | 0,006 | 13,691 | 0,098 | 3,403 | 0,345 | 5,330 | 1,438 | 6,848 | 0,231 | 0,009 |
| F4-12 | 43,578 | 12,385 | 3,583 | 0,025 | 0,146 | 0,070 | 18,881 | 5,780 | 2,453 | 0,104 | 0,498 | 0,081 | 0,009 |
| F4-13 | 32,643 | 12,058 | 22,937 | 0,064 | 0,259 | 0,124 | 10,203 | 3,921 | 1,768 | 0,095 | 2,356 | 0,082 | 0,045 |
| F4-14 | 50,232 | 5,099 | 0,139 | 0,003 | 0,123 | 0,097 | 27,136 | 3,288 | 1,108 | 0,095 | 0,437 | 0,083 | 0,001 |
| F5-1 | 48,381 | 15,453 | 0,511 | 0,055 | 11,173 | 0,107 | 5,630 | 0,782 | 6,479 | 1,977 | 2,316 | 0,103 | 0,004 |
| F5-2 | 52,082 | 13,727 | 0,648 | 0,008 | 3,265 | 0,042 | 14,993 | 0,535 | 4,150 | 0,500 | 0,723 | 0,061 | 0,001 |



Tabla A4.4. Cartilla con el contenido de carbonatos, sulfatos y fosfatos de las 53 muestras analizadas.

| Muestra | Carbonatos, Sulfatos, Fosfatos (%) | | | | | | |
|-----------------|------------------------------------|---------|-------|--------|-------|---------|----------------|
| | Cal | Dol-Ank | Sid | Ye-Anh | Jar | Apatita | Otros Sulfatos |
| 21 | 0,260 | 0,250 | 0,579 | 0,045 | 0,001 | 0,277 | 0,008 |
| 22 | 0,290 | 0,038 | 0,219 | 0,017 | 0,001 | 0,195 | 0,004 |
| 25 | 0,308 | 0,011 | 0,325 | 0,007 | 0,000 | 0,291 | 0,008 |
| 26 | 0,160 | 0,145 | 0,133 | 0,097 | 0,001 | 0,212 | 0,022 |
| 27 | 0,106 | 0,003 | 0,111 | 0,015 | 0,001 | 0,266 | 0,002 |
| 28 | 0,159 | 0,009 | 0,101 | 0,020 | 0,001 | 0,258 | 0,005 |
| 29 | 0,102 | 0,055 | 0,099 | 0,005 | 0,007 | 0,264 | 0,043 |
| 30 | 0,058 | 0,048 | 0,183 | 0,040 | 0,003 | 0,216 | 0,056 |
| 31 | 0,090 | 0,004 | 0,336 | 0,031 | 0,001 | 0,361 | 0,006 |
| 32 | 0,131 | 0,002 | 0,173 | 0,024 | 0,000 | 0,304 | 0,009 |
| 33 | 0,279 | 1,081 | 1,940 | 0,029 | 0,001 | 0,344 | 0,004 |
| 35 | 0,253 | 0,043 | 0,262 | 0,035 | 0,000 | 0,285 | 0,002 |
| 36 | 0,396 | 0,051 | 0,070 | 0,029 | 0,001 | 0,213 | 0,006 |
| 37 | 0,179 | 0,131 | 0,198 | 0,029 | 0,000 | 0,299 | 0,003 |
| 38 | 0,171 | 0,175 | 0,157 | 0,078 | 0,001 | 0,202 | 0,006 |
| 39 | 0,188 | 0,004 | 0,197 | 0,027 | 0,002 | 0,242 | 0,004 |
| 42 | 0,055 | 0,000 | 0,192 | 0,071 | 0,003 | 0,252 | 0,0023 |
| 44 | 0,113 | 0,000 | 0,554 | 0,037 | 0,001 | 0,403 | 0,003 |
| 46 | 0,049 | 0,001 | 0,102 | 0,007 | 0,013 | 0,247 | 0,085 |
| 51 | 0,855 | 0,060 | 0,315 | 0,028 | 0,000 | 0,324 | 0,005 |
| 52 | 1,380 | 0,142 | 0,322 | 0,070 | 0,000 | 0,383 | 0,004 |
| 53 | 0,654 | 0,043 | 0,206 | 0,006 | 0,000 | 0,388 | 0,013 |
| 54 | 0,290 | 0,000 | 0,195 | 0,021 | 0,001 | 0,387 | 0,021 |
| 55 | 0,110 | 0,011 | 0,413 | 0,079 | 0,003 | 0,408 | 0,030 |
| 56 | 0,121 | 0,004 | 0,428 | 0,009 | 0,002 | 0,178 | 0,006 |
| 57 | 0,164 | 0,127 | 1,663 | 0,062 | 0,000 | 0,237 | 0,008 |
| 58 | 0,261 | 0,441 | 0,373 | 0,543 | 0,001 | 0,475 | 0,036 |
| 59 | 0,372 | 1,276 | 1,591 | 0,070 | 0,000 | 0,133 | 0,009 |
| 60 | 0,221 | 0,251 | 0,196 | 0,018 | 0,001 | 0,223 | 0,002 |
| 61 | 0,085 | 0,156 | 0,364 | 0,874 | 0,010 | 0,224 | 0,021 |
| 62 | 0,181 | 0,009 | 0,346 | 0,137 | 0,002 | 0,500 | 0,010 |
| 63 | 0,536 | 0,021 | 0,330 | 0,058 | 0,000 | 0,817 | 0,009 |
| 64 | 0,039 | 0,000 | 0,272 | 0,002 | 0,008 | 0,080 | 0,034 |
| 65 | 0,073 | 0,004 | 0,409 | 0,012 | 0,005 | 0,167 | 0,014 |
| 66 | 0,114 | 0,000 | 0,424 | 0,029 | 0,001 | 0,322 | 0,015 |
| 03.06.16 | 0,084 | 0,092 | 0,559 | 0,034 | 0,001 | 0,199 | 0,001 |

| Muestra | Cal | Dol-Ank | Sid | Ye-Anh | Jar | Apatita | Otros Sulfatos |
|-----------------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|----------------|
| 04.06.16 | 0,034 | 0,052 | 0,169 | 0,006 | 0,008 | 0,292 | 0,118 |
| 05.06.16 | 0,052 | 0,044 | 0,420 | 0,004 | 0,015 | 0,172 | 0,201 |
| 06.06.16 | 0,487 | 0,012 | 0,260 | 0,017 | 0,001 | 0,297 | 0,003 |
| 07.06.16 | 0,153 | 0,003 | 1,865 | 0,018 | 0,003 | 0,275 | 0,009 |
| 08.06.16 | 0,031 | 0,010 | 0,546 | 0,025 | 0,021 | 0,203 | 0,028 |
| 09.06.16 | 0,141 | 0,031 | 0,720 | 0,035 | 0,001 | 0,185 | 0,005 |
| 10.06.16 | 0,069 | 0,124 | 0,130 | 0,019 | 0,010 | 0,247 | 0,071 |
| 11.06.16 | 0,236 | 0,001 | 0,107 | 0,030 | 0,001 | 0,261 | 0,026 |
| 12.06.16 | 0,121 | 0,093 | 0,902 | 0,010 | 0,006 | 0,212 | 0,053 |
| 14.06.16 | 0,756 | 0,007 | 0,906 | 0,019 | 0,000 | 0,451 | 0,003 |
| 15.06.16 | 0,084 | 0,001 | 0,388 | 0,013 | 0,000 | 0,399 | 0,004 |
| 16.06.16 | 0,083 | 0,000 | 0,246 | 0,063 | 0,000 | 0,498 | 0,032 |
| F4-12 | 0,083 | 0,005 | 0,027 | 0,007 | 0,025 | 0,246 | 0,084 |
| F4-13 | 0,251 | 0,001 | 0,036 | 0,014 | 0,006 | 0,226 | 0,072 |
| F4-14 | 0,045 | 0,158 | 0,561 | 0,029 | 0,045 | 0,156 | 0,128 |
| F5-1 | 0,156 | 0,000 | 0,290 | 0,014 | 0,017 | 0,115 | 0,171 |
| F5-2 | 0,043 | 0,001 | 0,052 | 0,017 | 0,013 | 0,143 | 0,117 |

Tabla A4.5. Clasificación del porcentaje total de pirita, en las 53 muestras analizadas, según el porcentaje de perímetro libre en cada partícula.

| Muestra | Clasificación de pirita según % de perímetro libre | | | | | |
|----------|--|-------------|------------|------------|-----------|-------|
| | 100 | <100 ≥80 | <80 ≥50 | <50 ≥20 | <20 >0 | 0 |
| 22 | 1,729 | 0,284 | 0,090 | 0,017 | 0,006 | 0,004 |
| 25 | 0,567 | 0,081 | 0,014 | 0,005 | 0,005 | 0,002 |
| 26 | 0,727 | 0,109 | 0,023 | 0,004 | 0,003 | 0,006 |
| 27 | 0,819 | 0,086 | 0,073 | 0,027 | 0,002 | 0,001 |
| 28 | 0,266 | 0,178 | 0,049 | 0,007 | 0,001 | 0,002 |
| 29 | 3,415 | 1,884 | 0,281 | 0,025 | 0,006 | 0,013 |
| 30 | 2,104 | 0,249 | 0,069 | 0,009 | 0,025 | 0,001 |
| 31 | 2,830 | 0,231 | 0,147 | 0,016 | 0,026 | 0,016 |
| 32 | 0,675 | 0,040 | 0,022 | 0,025 | 0,002 | 0,003 |
| 33 | 1,553 | 0,206 | 0,079 | 0,010 | 0,009 | 0,006 |
| 35 | 0,025 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,000 | 0,002 |
| 36 | 0,190 | 0,018 | 0,013 | 0,004 | 0,007 | 0,002 |
| 37 | 0,051 | 0,001 | 0,010 | 0,007 | 0,009 | 0,001 |
| 38 | 0,162 | 0,057 | 0,018 | 0,008 | 0,011 | 0,003 |
| 39 | 3,169 | 0,323 | 0,099 | 0,013 | 0,009 | 0,006 |
| 42 | 1,673 | 0,395 | 0,142 | 0,022 | 0,013 | 0,004 |
| 44 | 3,443 | 0,335 | 0,113 | 0,020 | 0,021 | 0,023 |
| 46 | 4,851 | 2,355 | 0,892 | 0,122 | 0,040 | 0,013 |
| 51 | 0,164 | 0,003 | 0,007 | 0,001 | 0,002 | 0,005 |
| 52 | 1,057 | 0,105 | 0,103 | 0,005 | 0,008 | 0,003 |
| 53 | 0,193 | 0,005 | 0,006 | 0,001 | 0,006 | 0,002 |
| 54 | 4,135 | 0,390 | 0,165 | 0,030 | 0,033 | 0,008 |
| 55 | 4,096 | 0,224 | 0,187 | 0,031 | 0,032 | 0,019 |
| 56 | 0,438 | 0,031 | 0,098 | 0,048 | 0,051 | 0,007 |
| 57 | 0,128 | 0,000 | 0,012 | 0,009 | 0,004 | 0,005 |
| 58 | 2,083 | 0,184 | 0,128 | 0,013 | 0,021 | 0,010 |
| 59 | 0,183 | 0,033 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,002 |
| 60 | 1,426 | 0,062 | 0,034 | 0,006 | 0,004 | 0,012 |
| 61 | 5,263 | 0,108 | 0,295 | 0,124 | 0,027 | 0,020 |
| 62 | 6,304 | 0,524 | 0,522 | 0,050 | 0,064 | 0,019 |
| 62 | 5,441 | 0,560 | 0,397 | 0,018 | 0,021 | 0,018 |
| 63 | 0,659 | 0,105 | 0,014 | 0,011 | 0,006 | 0,006 |
| 65 | 4,636 | 1,440 | 0,535 | 0,046 | 0,027 | 0,004 |
| 66 | 1,179 | 0,297 | 0,134 | 0,029 | 0,009 | 0,003 |
| 03.06.16 | 1,189 | 0,189 | 0,085 | 0,007 | 0,003 | 0,007 |
| 04.06.16 | 2,731 | 1,085 | 0,208 | 0,023 | 0,030 | 0,011 |

| Muestra | 100 | <100 ≥80 | <80 ≥50 | <50 ≥20 | <20 >0 | 0 |
|-----------------|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------|
| 05.06.16 | 5,911 | 3,311 | 0,465 | 0,036 | 0,043 | 0,026 |
| 06.06.16 | 0,290 | 0,008 | 0,013 | 0,001 | 0,003 | 0,002 |
| 07.06.16 | 1,723 | 0,242 | 0,043 | 0,010 | 0,007 | 0,016 |
| 08.06.16 | 0,795 | 0,175 | 0,085 | 0,011 | 0,037 | 0,009 |
| 09.06.16 | 0,728 | 0,021 | 0,068 | 0,007 | 0,002 | 0,006 |
| 10.06.16 | 3,992 | 2,037 | 0,371 | 0,057 | 0,019 | 0,004 |
| 11.06.16 | 1,272 | 0,214 | 0,051 | 0,006 | 0,007 | 0,005 |
| 12.06.16 | 3,130 | 1,988 | 0,205 | 0,022 | 0,015 | 0,006 |
| 14.06.16 | 0,270 | 0,005 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |
| 15.06.16 | 0,345 | 0,033 | 0,007 | 0,001 | 0,002 | 0,001 |
| 16.06.16 | 0,070 | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,002 |
| F4-12 | 7,221 | 2,116 | 0,532 | 0,052 | 0,069 | 0,037 |
| F4-13 | 7,262 | 2,663 | 0,423 | 0,010 | 0,038 | 0,006 |
| F4-14 | 4,346 | 1,970 | 0,521 | 0,032 | 0,059 | 0,013 |
| F5-1 | 2,409 | 0,886 | 0,390 | 0,058 | 0,028 | 0,015 |
| F5-2 | 3,939 | 1,870 | 0,396 | 0,039 | 0,017 | 0,005 |

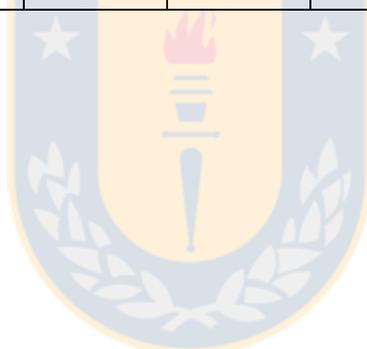


Tabla A4.6. Clasificación del porcentaje de total pirita, en las 53 muestras analizadas, según el tamaño de cada partícula.

| Muestra | Clasificación de pirita según tamaño de partículas (μm) | | | | | | | |
|----------|--|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
| | ≥ 210 | <210 ≥ 149 | <149 ≥ 105 | <105 ≥ 74 | <74 ≥ 53 | <53 ≥ 44 | <44 ≥ 37 | < 37 |
| 21 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,160 | 0,240 | 0,350 | 0,270 | 2,100 |
| 22 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,660 | 0,530 | 0,170 | 0,090 | 0,680 |
| 25 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,060 | 0,090 | 0,070 | 0,440 |
| 26 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,090 | 0,090 | 0,090 | 0,590 |
| 27 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,290 | 0,300 | 0,070 | 0,050 | 0,290 |
| 28 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,130 | 0,090 | 0,090 | 0,180 |
| 29 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,670 | 1,270 | 0,630 | 0,400 | 1,660 |
| 30 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,090 | 0,660 | 0,300 | 0,250 | 1,140 |
| 31 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,490 | 0,370 | 0,240 | 2,160 |
| 32 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,130 | 0,050 | 0,070 | 0,520 |
| 33 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,050 | 0,120 | 0,300 | 1,380 |
| 35 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,030 |
| 36 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,230 |
| 37 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,080 |
| 38 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,030 | 0,230 |
| 39 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,260 | 0,340 | 2,980 |
| 42 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,250 |
| 44 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,200 | 3,740 |
| 46 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,540 | 1,180 | 0,600 | 1,020 | 4,940 |
| 51 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,180 |
| 52 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,060 | 0,000 | 0,080 | 1,140 |
| 53 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,210 |
| 54 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,380 | 0,160 | 0,280 | 3,940 |
| 55 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,510 | 4,070 |
| 56 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,080 | 0,000 | 0,590 |
| 57 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,160 |
| 58 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,150 | 0,090 | 0,350 | 1,850 |
| 59 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,050 | 0,170 |
| 60 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,140 | 0,150 | 1,250 |
| 61 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,240 | 1,120 | 0,290 | 0,610 | 3,580 |
| 62 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,440 | 0,130 | 6,890 |
| 63 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,060 | 0,090 | 0,650 |
| 64 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,320 | 0,460 | 0,450 | 5,230 |
| 65 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 6,680 |
| 66 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,650 |
| 03.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,150 | 0,170 | 1,150 |

| Muestra | ≥210 | <210 ≥149 | <149 ≥105 | <105 ≥74 | <74 ≥53 | <53 ≥44 | <44 ≥37 | < 37 |
|----------|-------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|-------|
| 04.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,010 | 0,340 | 0,600 | 0,700 | 2,440 |
| 05.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,030 | 2,790 | 1,230 | 0,960 | 4,780 |
| 06.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,300 |
| 07.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,050 | 0,210 | 0,170 | 1,610 |
| 08.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,120 | 0,290 | 0,100 | 0,180 | 0,050 | 0,360 |
| 09.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,030 | 0,800 |
| 10.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,760 | 0,560 | 0,990 | 4,170 |
| 11.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,200 | 0,210 | 0,180 | 0,970 |
| 12.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,780 | 0,550 | 0,690 | 3,340 |
| 14.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,280 |
| 15.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,000 | 0,350 |
| 16.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,020 | 0,040 |
| F4-12 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,650 | 1,720 | 1,030 | 1,040 | 5,600 |
| F4-13 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,740 | 2,530 | 0,890 | 0,840 | 3,390 |
| F4-14 | 0,000 | 0,000 | 0,030 | 0,180 | 1,630 | 1,080 | 0,900 | 3,130 |
| F5-1 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 3,760 |
| F5-2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,630 | 0,170 | 0,780 | 4,680 |

Tabla A4.7. Clasificación del porcentaje total de pirita, en las 53 muestras analizadas, según los minerales vinculados a cada partícula.

| Clasificación de pirita según Asociación mineral | | | | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------|------------------------------|--------------------|
| Muestra | Py:Cpy | Py: Otros Sulf.Cu | Py:Cpy: Otros Sulf.Cu | Py: Moly | Py:Cpy: Moly | Py:Moly: Otros Sulf.Cu | Py:Moly Cpy:Otros Sulf.Cu | Py: Sil.duros | Py: Filosil | Py: Sil.duros: Filosil | Py: Cpy: Sil |
| 21 | 0,744 | 0,138 | 0,000 | 0,024 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,071 | 3,551 | 1,073 | 0,243 |
| 22 | 1,658 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,234 | 3,372 | 0,261 | 0,039 |
| 25 | 4,779 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,777 | 1,559 | 1,056 | 0,314 |
| 26 | 1,557 | 0,000 | 0,157 | 0,253 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,741 | 0,920 | 0,511 | 0,204 |
| 27 | 2,191 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,424 | 2,862 | 2,806 | 0,025 |
| 28 | 5,112 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,515 | 2,158 | 0,745 | 0,138 |
| 29 | 4,277 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,910 | 2,382 | 1,106 | 0,030 |
| 30 | 0,946 | 0,000 | 0,004 | 0,016 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 2,229 | 3,081 | 1,090 | 0,429 |
| 31 | 0,479 | 0,000 | 0,005 | 0,112 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,567 | 3,505 | 1,281 | 0,010 |
| 32 | 0,299 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,461 | 3,933 | 0,505 | 0,020 |
| 33 | 1,551 | 0,000 | 0,000 | 0,061 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,386 | 2,599 | 1,728 | 0,392 |
| 35 | 4,853 | 0,000 | 0,000 | 0,490 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 9,419 | 1,265 | 4,070 | 0,895 |
| 36 | 8,764 | 0,061 | 0,061 | 0,000 | 0,022 | 0,000 | 0,000 | 1,232 | 0,331 | 2,998 | 0,932 |
| 37 | 8,876 | 0,000 | 0,180 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,137 | 3,332 | 6,552 | 2,352 |
| 38 | 3,081 | 0,000 | 0,000 | 0,062 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,224 | 2,148 | 2,687 | 1,110 |
| 39 | 1,501 | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,136 | 3,263 | 0,430 | 0,004 |
| 42 | 2,991 | 0,006 | 0,000 | 0,230 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,305 | 4,278 | 0,679 | 0,233 |
| 44 | 0,951 | 0,000 | 0,000 | 0,381 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,699 | 1,775 | 1,247 | 0,014 |
| 46 | 9,650 | 0,001 | 0,000 | 0,088 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,834 | 1,867 | 2,732 | 0,891 |
| 51 | 0,232 | 0,000 | 0,000 | 0,348 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,822 | 1,161 | 2,836 | 0,000 |
| 52 | 0,112 | 0,000 | 0,000 | 0,182 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,783 | 1,685 | 8,471 | 0,000 |
| 53 | 0,303 | 0,000 | 0,000 | 0,505 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,011 | 1,112 | 3,716 | 0,101 |
| 54 | 0,894 | 0,000 | 0,000 | 0,299 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,646 | 1,257 | 1,021 | 0,015 |
| 55 | 0,474 | 0,006 | 0,000 | 0,241 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,700 | 4,920 | 0,830 | 0,105 |
| 56 | 4,877 | 0,000 | 0,000 | 0,377 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,675 | 6,102 | 8,968 | 1,682 |
| 57 | 5,948 | 0,000 | 0,000 | 0,159 | 0,159 | 0,000 | 0,000 | 3,133 | 0,634 | 1,744 | 6,330 |
| 58 | 1,270 | 0,000 | 0,000 | 0,260 | 0,012 | 0,000 | 0,000 | 1,717 | 1,226 | 0,705 | 0,538 |
| 59 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,105 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,630 | 0,315 | 1,032 | 0,096 |
| 60 | 0,638 | 0,000 | 0,000 | 0,029 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,833 | 1,605 | 1,021 | 0,073 |
| 61 | 1,009 | 0,004 | 0,000 | 0,043 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,461 | 2,376 | 1,060 | 0,773 |
| 62 | 4,824 | 0,398 | 0,000 | 0,236 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 1,833 | 1,456 | 0,611 | 0,169 |
| 63 | 0,126 | 0,000 | 0,000 | 0,077 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,000 | 0,767 | 0,817 | 0,026 |
| 64 | 0,099 | 0,000 | 0,019 | 0,421 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,789 | 3,223 | 2,650 | 0,000 |
| 65 | 0,542 | 0,000 | 0,013 | 0,857 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 10,336 | 3,649 | 1,978 | 0,000 |
| 66 | 0,504 | 0,000 | 0,013 | 0,947 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,809 | 4,299 | 1,713 | 0,000 |
| 03.06.16 | 0,769 | 0,000 | 0,000 | 0,434 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,405 | 0,842 | 3,693 | 0,025 |

| Muestra | Py:Cpy | Py: Otros Sulf.Cu | Py:Cpy: Otros Sulf.Cu | Py: Moly | Py:Cpy: Moly | Py:Moly: Otros Sulf.Cu | Py:Moly Cpy:Otros Sulf.Cu | Py: Sil.duros | Py: Filosil | Py: Sil.duros: Filosil | Py: Cpy: Sil |
|----------|--------|-------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------|------------------------------|--------------------|
| 04.06.16 | 1,529 | 0,079 | 0,000 | 0,298 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,592 | 4,873 | 1,266 | 1,234 |
| 05.06.16 | 0,906 | 0,000 | 0,000 | 0,075 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,039 | 5,491 | 0,899 | 0,051 |
| 06.06.16 | 1,196 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,834 | 1,779 | 1,265 | 0,167 |
| 07.06.16 | 1,147 | 0,000 | 0,076 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,986 | 3,157 | 1,250 | 0,019 |
| 08.06.16 | 3,290 | 0,009 | 0,394 | 0,154 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,232 | 3,700 | 0,625 | 0,974 |
| 09.06.16 | 5,239 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,754 | 1,570 | 0,714 | 1,689 |
| 10.06.16 | 0,067 | 0,000 | 0,000 | 0,071 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,451 | 4,694 | 0,938 | 0,000 |
| 11.06.16 | 3,084 | 0,000 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,668 | 0,995 | 0,408 | 0,018 |
| 12.06.16 | 0,597 | 0,002 | 0,000 | 0,202 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,819 | 3,782 | 0,962 | 0,007 |
| 14.06.16 | 0,118 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,237 | 0,118 | 0,178 | 0,000 |
| 15.06.16 | 0,296 | 0,033 | 0,000 | 0,048 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,282 | 1,523 | 0,463 | 0,000 |
| 16.06.16 | 3,051 | 0,000 | 0,207 | 0,241 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,575 | 0,111 | 4,273 | 0,207 |
| F4-12 | 0,402 | 0,000 | 0,000 | 0,103 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,694 | 3,495 | 2,261 | 0,008 |
| F4-13 | 0,065 | 0,000 | 0,000 | 0,038 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,371 | 2,066 | 0,306 | 0,307 |
| F4-14 | 4,462 | 0,166 | 0,000 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,774 | 7,308 | 0,850 | 0,554 |
| F5-1 | 0,506 | 0,000 | 0,112 | 0,240 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 7,949 | 5,112 | 2,868 | 0,139 |
| F5-2 | 0,341 | 0,000 | 0,000 | 0,407 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 6,021 | 6,629 | 1,202 | 0,070 |



Tabla A4.7. Clasificación del porcentaje total de pirita en las 53 muestras analizadas, según los minerales vinculados a cada partícula.
Continuación

| Clasificación de pirita según Asociación mineral | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|
| Muestra | Py:Cpy: Sil:Otros Sulf.Cu | Py:Cpy: Moly:Sil | Py:Sil Otros Sulf.Cu | Py: Fe-Ti Ox | Py: Sil Fe-Ti Ox | Py: Cpx.Sulf | Py:Sil: Cpx.Sulf: Fe-Ti Ox | Py:Sil: Carb: Fe-Ti Ox | Py:Carb: Fe-Ti Ox: Otros Sulf | Py: Sil: Cpx Sulf |
| 21 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,139 | 0,009 | 0,345 | 0,014 | 0,010 | 0,000 | 0,000 |
| 22 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,013 | 1,080 | 0,013 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 25 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,068 | 0,000 | 0,045 | 0,045 | 0,090 | 0,000 | 0,000 |
| 26 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,197 | 0,000 | 2,740 | 0,025 | 0,005 | 0,000 | 0,000 |
| 27 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,688 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 28 | 0,008 | 0,023 | 0,000 | 6,441 | 0,021 | 0,008 | 0,016 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 29 | 0,023 | 0,000 | 0,000 | 1,057 | 1,384 | 1,045 | 0,021 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 30 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 0,072 | 0,381 | 0,038 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 31 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,768 | 0,392 | 0,147 | 0,087 | 0,041 | 0,000 | 0,000 |
| 32 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,104 | 0,041 | 0,143 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 33 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,069 | 0,022 | 0,184 | 0,023 | 0,008 | 0,008 | 0,000 |
| 35 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,774 | 0,000 | 0,163 | 0,163 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 36 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,022 | 0,000 | 0,090 | 0,022 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 37 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,784 | 1,960 | 1,176 | 0,392 | 0,000 | 0,000 |
| 38 | 0,000 | 0,062 | 0,000 | 0,385 | 0,981 | 0,740 | 0,000 | 0,493 | 0,000 | 0,000 |
| 39 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,366 | 0,000 | 0,315 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 42 | 0,000 | 0,012 | 0,000 | 1,390 | 0,741 | 0,577 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 44 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,218 | 0,281 | 0,092 | 0,331 | 0,015 | 0,000 | 0,000 |
| 46 | 0,043 | 0,000 | 0,000 | 0,318 | 0,048 | 3,375 | 0,047 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| 51 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,232 | 0,000 | 0,000 | 0,116 | 0,116 | 0,000 | 0,000 |
| 52 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,116 | 0,017 | 0,264 | 0,017 | 0,033 | 0,000 | 0,000 |
| 53 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,303 | 0,000 | 0,000 | 0,202 | 0,000 | 0,000 |
| 54 | 0,000 | 0,041 | 0,000 | 0,229 | 0,005 | 0,180 | 0,021 | 0,005 | 0,000 | 0,000 |
| 55 | 0,006 | 0,006 | 0,000 | 0,062 | 0,061 | 0,105 | 0,075 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 56 | 0,029 | 0,064 | 0,000 | 0,093 | 0,032 | 0,478 | 0,630 | 0,096 | 0,032 | 0,000 |
| 57 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,159 | 0,000 | 0,159 | 0,000 | 0,634 | 0,000 | 0,000 |
| 58 | 0,000 | 0,012 | 0,000 | 0,072 | 0,000 | 1,604 | 0,023 | 0,024 | 0,024 | 0,000 |
| 59 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,105 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 60 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,614 | 0,029 | 0,132 | 0,000 | 0,015 | 0,000 | 0,000 |
| 61 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 0,475 | 0,104 | 0,142 | 0,024 | 0,009 | 0,000 | 0,000 |
| 62 | 0,331 | 0,027 | 0,000 | 0,020 | 0,014 | 0,169 | 0,014 | 0,338 | 0,000 | 0,000 |
| 63 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,719 | 0,205 | 0,882 | 0,000 | 0,080 | 0,000 | 0,000 |
| 64 | 0,000 | 0,025 | 0,000 | 1,685 | 1,261 | 0,148 | 0,034 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 65 | 0,000 | 0,086 | 0,000 | 0,512 | 0,394 | 0,225 | 0,014 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 66 | 0,000 | 0,028 | 0,000 | 1,245 | 0,467 | 0,255 | 0,028 | 0,014 | 0,000 | 0,000 |
| 03.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,482 | 0,079 | 0,039 | 0,039 | 0,081 | 0,013 | 0,000 |

| Muestra | Py:Cpy: Sil:Otros Sulf.Cu | Py:Cpy: Moly:Sil | Py:Sil Otros Sulf.Cu | Py: Fe-Ti Ox | Py: Sil Fe-Ti Ox | Py: Cpx.Sulf | Py:Sil: Cpx.Sulf: Fe-Ti Ox | Py:Sil: Carb: Fe-Ti Ox | Py:Carb: Fe-Ti Ox: Otros Sulf | Py: Sil: Cpx Sulf |
|----------|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|
| 04.06.16 | 0,000 | 0,049 | 0,000 | 0,154 | 0,157 | 3,216 | 0,046 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 05.06.16 | 0,000 | 0,006 | 0,000 | 0,742 | 0,078 | 1,625 | 0,020 | 0,035 | 0,000 | 0,000 |
| 06.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,385 | 0,111 | 0,273 | 0,056 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 07.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,925 | 0,009 | 0,153 | 0,047 | 0,123 | 0,000 | 0,000 |
| 08.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,048 | 0,048 | 5,548 | 2,806 | 0,016 | 0,006 | 0,000 |
| 09.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,000 | 0,517 | 0,159 | 0,320 | 0,020 | 0,000 |
| 10.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,059 | 0,004 | 3,592 | 0,016 | 0,011 | 0,000 | 0,000 |
| 11.06.16 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,003 | 0,337 | 0,319 | 0,003 | 0,000 | 0,000 |
| 12.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,041 | 0,404 | 2,270 | 0,017 | 0,017 | 0,002 | 0,000 |
| 14.06.16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,059 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 15.06.16 | 0,000 | 0,121 | 0,000 | 0,061 | 0,012 | 0,158 | 0,012 | 0,024 | 0,000 | 0,000 |
| 16.06.16 | 0,152 | 0,415 | 0,000 | 0,000 | 0,166 | 0,055 | 0,222 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| F4-12 | 0,000 | 0,058 | 0,000 | 0,553 | 0,431 | 3,546 | 0,108 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| F4-13 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,267 | 0,089 | 2,302 | 0,018 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| F4-14 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,100 | 0,362 | 2,563 | 0,040 | 0,017 | 0,000 | 0,000 |
| F5-1 | 0,000 | 0,038 | 0,000 | 2,649 | 1,051 | 5,921 | 0,063 | 0,007 | 0,000 | 0,000 |
| F5-2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,399 | 0,028 | 3,692 | 0,043 | 0,002 | 0,000 | 0,000 |

Abreviaciones:

Alb: Albita

Anf: Anfíbol

Anh: Anhidrita

Ank: Ankerita

Ap: Apatito

Apy: Arsenopirita

Bt: Biotita

Bo: Bornita

Bou: Bournonita

Cal: Calcita

Cao: Caolinita

Carb: Carbonatos

Cir: Circón

Clo: Clorita

Cpx.sulf: Sulfuros
complejos

Cpy: Calcopirita

Cs: Calcosina

Cv: Covelina

Dol: Dolomita

En: Enargita

Ep: Epidota

Es: Esfeno

Esf: Esfalerita

Fe-Ti Ox.: Óxidos de Fe-Ti

Filosil: Filosilicatos

Fk: Feldespato potásico

Gal: Galena

Got: Goethita

Harr: Harrinsonita

Hm: Hematita

Ilm: Ilmenita

Jar: Jarosita

Mgt: Magnetita

Moly: Molibdenita

Mont: Montmorillonita

Mus: Muscovita

Pl: Plagioclasa

Py: Pirita

Qz: Cuarzo

Rut: Rutilo

Sel: Seligmanita

Sid: Siderita

Sil: Silicatos

Sil.Dur. Silicatos duros

Sulf.Cu: Sulfuros de Cu

Ser: Sericita

Ti: Titanita

Tn: Tenantita

Tt: Tetraedrita

Tur: Turmalina

Ye: Yeso

Zoi: Zoisita

ANEXO 5: Reporte Análisis Geoquímico

Tabla A5. Cartilla con el contenido elemental de las 53 muestras analizadas.

| Elemento | Ag | Al | As | Ba | Be | Bi | Ca | Cd | Ce | Co | Cr | Cs | Cu |
|----------|---------|------|--------|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|
| Unidad | ppb | % | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Lim.Det. | 20 | 0,01 | 0,2 | 1 | 1 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0,1 |
| Lím.Sup. | 200.000 | 20 | 10.000 | 10.000 | 1.000 | 4.000 | 40 | 4.000 | 2.000 | 4.000 | 10.000 | 2.000 | 10.000 |
| Muestra | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 819 | 6,64 | 26,1 | 71 | 1 | 0,30 | 0,58 | 0,19 | 25,10 | 14,4 | 20 | 9,0 | 3259,9 |
| 22 | 1284 | 7,07 | 12,5 | 107 | 2 | 0,33 | 0,81 | 0,36 | 31,10 | 11,5 | 20 | 4,0 | 3670,9 |
| 25 | 645 | 7,51 | 4,7 | 646 | 2 | 0,12 | 0,95 | 0,11 | 29,30 | 8,4 | 18 | 2,8 | 2522,2 |
| 26 | 1611 | 6,98 | 8,6 | 103 | 2 | 0,08 | 0,32 | 0,24 | 23,96 | 8,3 | 14 | 2,4 | 8583,1 |
| 27 | 584 | 7,07 | 4,3 | 572 | 2 | 0,08 | 0,81 | <0.02 | 28,23 | 5,4 | 20 | 3,3 | 3239,3 |
| 28 | 1031 | 6,61 | 3,1 | 479 | 1 | 0,09 | 0,59 | 0,07 | 23,39 | 8,4 | 16 | 3,3 | 4049,8 |
| 29 | 788 | 6,84 | 2,6 | 39 | 1 | 0,20 | 0,30 | 0,05 | 29,41 | 34,5 | 18 | 2,5 | 4465,2 |
| 30 | 1324 | 7,25 | 6,6 | 98 | 1 | 0,51 | 0,12 | 0,14 | 20,39 | 10,6 | 20 | 3,0 | 5938,8 |
| 31 | 514 | 7,98 | 7,7 | 86 | 1 | 0,70 | 1,08 | 0,03 | 31,00 | 24,7 | 13 | 3,1 | 775,5 |
| 32 | 209 | 8,45 | 5,2 | 530 | 2 | 0,29 | 2,48 | 0,07 | 32,15 | 17,5 | 22 | 1,6 | 462,4 |
| 33 | 453 | 7,42 | 87,5 | 391 | 1 | 3,05 | 0,48 | 0,23 | 34,76 | 16,5 | 29 | 4,7 | 505,6 |
| 35 | 513 | 7,51 | 3,6 | 444 | 1 | 0,07 | 0,82 | <0.02 | 31,40 | 8,3 | 18 | 2,6 | 2664,2 |
| 36 | 935 | 8,51 | 3,9 | 653 | 2 | 0,07 | 0,45 | 0,28 | 21,17 | 6,7 | 146 | 1,8 | 5897,5 |
| 37 | 2124 | 9,16 | 4,0 | 499 | 2 | 0,47 | 0,88 | 0,11 | 39,41 | 10,3 | 21 | 3,7 | 5862,9 |
| 38 | 790 | 7,30 | 3,7 | 768 | 1 | 0,12 | 0,24 | 0,20 | 27,77 | 8,0 | 17 | 2,1 | 6418,1 |
| 39 | 1256 | 7,78 | 10,5 | 54 | 1 | 0,28 | 0,18 | 0,02 | 21,55 | 20,3 | 226 | 2,6 | 6458,0 |
| 42 | 1912 | 6,37 | 24,8 | 73 | 1 | 0,38 | 0,12 | 0,11 | 35,17 | 13,7 | 224 | 1,5 | >10000,0 |
| 44 | 1503 | 8,39 | 49,2 | 57 | 1 | 2,20 | 1,38 | 0,04 | 29,09 | 46,9 | 177 | 2,7 | 2140,1 |
| 46 | 3964 | 5,77 | 145,5 | 25 | 1 | 10,98 | 0,15 | 0,10 | 19,26 | 35,6 | 7 | 1,6 | 8806,9 |
| 51 | 206 | 7,61 | 12,9 | 690 | 2 | 0,33 | 1,91 | 0,11 | 28,33 | 9,7 | 20 | 5,2 | 135,1 |
| 52 | 973 | 7,33 | 15,3 | 302 | 1 | 2,19 | 1,38 | 0,44 | 28,37 | 14,3 | 18 | 6,3 | 653,9 |
| 53 | 243 | 7,83 | 14,2 | 654 | 2 | 0,85 | 1,55 | 0,09 | 32,79 | 9,1 | 21 | 3,9 | 390,9 |
| 54 | 788 | 7,18 | 13,9 | 53 | 3 | 0,42 | 0,95 | 0,08 | 26,01 | 12,7 | 33 | 3,2 | 2557,9 |
| 55 | 2087 | 6,37 | 23,0 | 35 | 1 | 1,41 | 0,15 | 0,06 | 14,46 | 25,1 | 18 | 3,8 | 9171,9 |
| 56 | 1626 | 6,69 | 2,2 | 318 | 1 | 0,32 | 0,15 | 0,35 | 20,29 | 9,5 | 183 | 2,5 | >10000,0 |
| 57 | 775 | 6,74 | 60,1 | 550 | 1 | 0,30 | 0,27 | 0,11 | 35,62 | 10,0 | 191 | 4,4 | 6154,2 |
| 58 | 4416 | 7,05 | 10,8 | 49 | 1 | 0,17 | 1,16 | 4,19 | 30,01 | 14,0 | 256 | 2,9 | 5676,1 |
| 59 | 196 | 7,30 | 7,5 | 976 | 2 | 1,63 | 0,61 | 0,15 | 25,84 | 1,7 | 5 | 6,9 | 140,1 |
| 60 | 788 | 7,87 | 1,9 | 117 | 2 | 0,15 | 0,83 | 0,31 | 33,92 | 7,2 | 29 | 3,8 | 4050,7 |
| 61 | 1389 | 6,29 | 124,3 | 32 | 2 | 1,04 | 1,28 | 0,42 | 30,31 | 27,4 | 11 | 1,4 | 5858,4 |
| 62 | 3838 | 6,14 | 406,9 | 54 | 2 | 4,60 | 0,50 | 1,16 | 29,75 | 13,7 | 188 | 1,7 | >10000,0 |
| 63 | 435 | 9,74 | 12,4 | 655 | 2 | 0,55 | 1,48 | 0,05 | 34,37 | 14,3 | 108 | 3,0 | 564,0 |
| 64 | 326 | 7,34 | 122,1 | 76 | 3 | 2,84 | 0,20 | 0,06 | 31,75 | 23,9 | 148 | 1,4 | 237,4 |

| Elemento | Ag | Al | As | Ba | Be | Bi | Ca | Cd | Ce | Co | Cr | Cs | Cu |
|----------|---------|------|--------|--------|-------|-------|------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|
| Unidad | ppb | % | Ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Lim.Det. | 20 | 0,01 | 0,2 | 1 | 1 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0,1 |
| Lim.Sup. | 200.000 | 20 | 10.000 | 10.000 | 1.000 | 4.000 | 40 | 4.000 | 2.000 | 4.000 | 10.000 | 2.000 | 10.000 |
| Muestra | | | | | | | | | | | | | |
| 65 | 470 | 7,12 | 78,0 | 90 | 3 | 1,44 | 0,28 | 0,05 | 103,70 | 41,8 | 104 | 1,3 | 151,1 |
| 66 | 553 | 7,48 | 81,5 | 238 | 2 | 0,92 | 0,26 | 0,46 | 27,52 | 13,3 | 120 | 2,7 | 1446,4 |
| 03.06.16 | 1210 | 8,18 | 4,4 | 161 | 2 | 0,14 | 0,22 | 0,11 | 24,11 | 7,0 | 6 | 1,8 | 7092,7 |
| 04.06.16 | 966 | 7,65 | 1,8 | 52 | <1 | 0,33 | 0,20 | 0,03 | 25,50 | 13,8 | 20 | 3,3 | 4124,6 |
| 05.06.16 | 1703 | 6,72 | 5,8 | 24 | 1 | 1,29 | 0,11 | 0,11 | 29,33 | 43,4 | 14 | 2,5 | 2428,5 |
| 06.06.16 | 807 | 7,80 | 10,3 | 705 | 1 | 1,00 | 0,76 | 0,15 | 33,05 | 6,4 | 19 | 5,9 | 2959,2 |
| 07.06.16 | 687 | 7,74 | 40,6 | 104 | 1 | 0,25 | 0,15 | 0,18 | 24,19 | 11,0 | 21 | 4,9 | 3347,1 |
| 08.06.16 | 3821 | 7,56 | 38,7 | 127 | 1 | 0,33 | 0,14 | 0,07 | 20,78 | 9,2 | 18 | 4,0 | >10000,0 |
| 09.06.16 | 7506 | 7,22 | 7,8 | 37 | <1 | 0,48 | 0,14 | 0,16 | 27,82 | 20,2 | 168 | 4,2 | >10000,0 |
| 10.06.16 | 484 | 8,56 | 54,1 | 31 | 2 | 0,92 | 0,24 | 0,04 | 30,97 | 44,2 | 201 | 8,4 | 586,5 |
| 11.06.16 | 1320 | 7,77 | 2,9 | 179 | 2 | 0,24 | 1,14 | 0,07 | 37,91 | 12,7 | 207 | 3,1 | 5823,8 |
| 12.06.16 | 516 | 6,79 | 95,8 | 33 | 1 | 0,44 | 0,40 | 0,17 | 21,61 | 21,6 | 246 | 3,9 | 2343,8 |
| 14.06.16 | 344 | 8,53 | 5,7 | 627 | 2 | 0,25 | 2,57 | 0,05 | 31,80 | 10,7 | 117 | 2,3 | 724,4 |
| 15.06.16 | 131 | 8,89 | 4,7 | 745 | 1 | 0,31 | 1,47 | 0,03 | 36,53 | 14,1 | 150 | 1,9 | 287,3 |
| 16.06.16 | 585 | 7,99 | 44,7 | 98 | <1 | 0,36 | 0,29 | 0,29 | 76,32 | 6,2 | 9 | 0,9 | 2341,2 |
| F4-12 | 498 | 7,49 | 4,4 | 27 | <1 | 0,92 | 0,20 | 0,05 | 15,81 | 32,2 | 17 | 3,2 | 2162,4 |
| F4-13 | 746 | 6,86 | 5,2 | 28 | 1 | 1,07 | 0,57 | 0,06 | 21,28 | 35,5 | 83 | 2,2 | 1708,2 |
| F4-14 | 3049 | 7,60 | 128,7 | 26 | <1 | 1,29 | 0,14 | 0,93 | 37,66 | 23,9 | 120 | 2,5 | >10000,0 |
| F5-01 | 581 | 6,92 | 219,1 | 37 | 2 | 2,00 | 0,13 | 0,14 | 10,37 | 15,1 | 8 | 1,5 | 1537,8 |
| F5-02 | 1714 | 7,37 | 20,9 | 35 | 1 | 3,73 | 0,08 | <0,02 | 29,85 | 11,7 | 154 | 2,2 | 4442,6 |

Tabla A5. Cartilla con el contenido elemental de las 53 muestras analizadas.
Continuación

| Elemento | Dy | Er | Eu | Fe | Ga | Gd | Hf | Ho | In | K | La | Li | Lu | Mg |
|----------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| Unidad | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % |
| Lim.Det. | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 0,1 | 0,02 | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,01 |
| Lím.Sup. | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 60 | 100 | 2.000 | 1.000 | 2.000 | 1.000 | 10 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 30 |
| Muestra | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 4,10 | 20,65 | 1,5 | 0,07 | 0,2 | 0,12 | 3,68 | 11,4 | 7,9 | <0,1 | 0,78 |
| 22 | 0,9 | 0,5 | 0,6 | 4,26 | 19,29 | 1,7 | 0,06 | 0,2 | 0,14 | 3,29 | 14,7 | 6,8 | <0,1 | 0,92 |
| 25 | 1,2 | 0,5 | 0,6 | 3,83 | 18,93 | 1,8 | 0,04 | 0,2 | 0,11 | 2,80 | 14,7 | 6,5 | <0,1 | 1,04 |
| 26 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 3,18 | 16,94 | 1,5 | 0,07 | 0,2 | 0,05 | 3,88 | 11,7 | 8,3 | <0,1 | 0,70 |
| 27 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 4,02 | 21,22 | 1,2 | 0,04 | 0,2 | 0,11 | 2,45 | 14,1 | 6,8 | <0,1 | 0,98 |
| 28 | 0,9 | 0,5 | 0,5 | 3,17 | 20,49 | 1,8 | 0,04 | 0,2 | 0,16 | 3,77 | 11,5 | 8,3 | <0,1 | 1,06 |
| 29 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 5,61 | 19,80 | 1,4 | 0,06 | 0,2 | 0,08 | 4,19 | 12,8 | 7,6 | <0,1 | 0,88 |
| 30 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 4,96 | 21,67 | 0,9 | 0,09 | 0,1 | 0,19 | 4,65 | 9,9 | 7,8 | <0,1 | 0,87 |
| 31 | 1,4 | 0,4 | 0,9 | 6,45 | 23,04 | 2,1 | 0,08 | 0,2 | 0,17 | 2,88 | 14,4 | 8,9 | <0,1 | 1,25 |
| 32 | 1,3 | 0,5 | 0,8 | 4,32 | 22,75 | 2,0 | 0,16 | 0,2 | 0,12 | 1,84 | 15,1 | 8,6 | <0,1 | 1,42 |
| 33 | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 5,88 | 18,59 | 1,8 | 0,20 | 0,2 | 0,42 | 2,51 | 17,4 | 17,6 | <0,1 | 1,00 |
| 35 | 1,2 | 0,6 | 0,7 | 3,63 | 17,85 | 1,4 | 0,04 | 0,2 | 0,05 | 2,26 | 16,1 | 8,4 | <0,1 | 0,92 |
| 36 | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 2,38 | 18,63 | 1,0 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 3,42 | 10,3 | 6,1 | <0,1 | 0,6 |
| 37 | 0,9 | 0,5 | 0,7 | 3,55 | 21,23 | 1,7 | 0,08 | 0,2 | 0,12 | 2,13 | 20,2 | 11,9 | <0,1 | 1,17 |
| 38 | 0,9 | 0,4 | 0,5 | 3,01 | 19,64 | 0,9 | 0,07 | 0,1 | 0,09 | 3,25 | 13,6 | 8,2 | <0,1 | 0,97 |
| 39 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 5,18 | 20,62 | 1,5 | 0,04 | 0,2 | 0,12 | 4,58 | 9,5 | 7,2 | <0,1 | 0,84 |
| 42 | 1,1 | 0,4 | 0,7 | 3,96 | 21,88 | 2,0 | 0,04 | 0,2 | 0,26 | 3,32 | 16,2 | 8,2 | <0,1 | 0,60 |
| 44 | 1,2 | 0,6 | 0,6 | 6,54 | 22,78 | 1,9 | 0,07 | 0,2 | 0,31 | 2,48 | 13,3 | 7,7 | <0,1 | 1,48 |
| 46 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 6,68 | 17,07 | 1,2 | 0,05 | 0,2 | 0,50 | 2,94 | 8,2 | 4,9 | 0,1 | 0,49 |
| 51 | 1,3 | 0,6 | 0,5 | 3,42 | 17,93 | 1,5 | 0,11 | 0,2 | 0,04 | 2,59 | 13,9 | 5,0 | <0,1 | 0,96 |
| 52 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 3,79 | 17,80 | 1,5 | 0,09 | 0,3 | 0,37 | 3,38 | 14 | 6,7 | <0,1 | 0,93 |
| 53 | 1,3 | 0,6 | 0,7 | 3,87 | 19,08 | 1,9 | 0,15 | 0,3 | 0,07 | 2,67 | 15,5 | 6,1 | <0,1 | 1,05 |
| 54 | 1,0 | 0,4 | 0,7 | 4,86 | 19,81 | 1,6 | 0,11 | 0,2 | 0,16 | 3,17 | 12,5 | 8,1 | <0,1 | 0,90 |
| 55 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 6,54 | 19,75 | 1,1 | 0,03 | 0,1 | 0,26 | 3,48 | 5,8 | 6,4 | <0,1 | 0,85 |
| 56 | 0,9 | 0,4 | 0,6 | 3,42 | 21,07 | 1,5 | <0,02 | 0,2 | 0,09 | 4,29 | 9,7 | 10,7 | <0,1 | 0,88 |
| 57 | 0,9 | 0,4 | 0,4 | 3,68 | 19,01 | 1,6 | 0,03 | 0,2 | 0,09 | 3,84 | 17,6 | 12,4 | <0,1 | 0,89 |
| 58 | 0,9 | 0,4 | 0,7 | 3,92 | 20,02 | 1,7 | 0,05 | 0,2 | 0,09 | 3,13 | 14,4 | 8,6 | <0,1 | 0,95 |
| 59 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 2,74 | 19,45 | 0,9 | 0,28 | 0,1 | 0,28 | 3,62 | 13,7 | 9,3 | <0,1 | 0,35 |
| 60 | 1,1 | 0,5 | 0,7 | 3,73 | 19,73 | 1,8 | 0,05 | 0,2 | 0,03 | 2,93 | 17,4 | 6,7 | <0,1 | 1,11 |
| 61 | 1,3 | 0,3 | 0,6 | 4,91 | 19,46 | 1,3 | 0,07 | 0,2 | 0,15 | 2,83 | 14,1 | 6,8 | <0,1 | 0,54 |
| 62 | 1,1 | 0,5 | 0,6 | 6,96 | 21,39 | 1,5 | <0,02 | 0,2 | 0,22 | 3,35 | 13,2 | 6,9 | <0,1 | 0,53 |
| 63 | 1,3 | 0,6 | 0,8 | 6,41 | 21,74 | 2,5 | 0,07 | 0,3 | 0,24 | 2,17 | 16,1 | 12,5 | <0,1 | 1,35 |
| 64 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 7,50 | 21,94 | 1,6 | 0,32 | 0,2 | 0,50 | 1,68 | 15,9 | 6,7 | <0,1 | 1,07 |
| 65 | 1,8 | 0,8 | 1,5 | 7,01 | 21,04 | 3,0 | 0,32 | 0,3 | 0,59 | 1,26 | 62,0 | 6,8 | <0,1 | 1,21 |

| Elemento | Dy | Er | Eu | Fe | Ga | Gd | Hf | Ho | In | K | La | Li | Lu | Mg |
|----------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| Unidad | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % |
| Lim.Det. | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 0,1 | 0,02 | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,01 |
| Lím.Sup. | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 60 | 100 | 2.000 | 1.000 | 2.000 | 1.000 | 10 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 30 |
| Muestra | | | | | | | | | | | | | | |
| 66 | 1,1 | 0,5 | 0,6 | 4,82 | 18,69 | 1,7 | 0,27 | 0,2 | 0,38 | 5,18 | 14,0 | 9,7 | <0,1 | 0,89 |
| 03.06.16 | 0,8 | 0,3 | 0,6 | 3,38 | 20,01 | 1,2 | <0,02 | <0,1 | 0,07 | 4,27 | 10,9 | 5,7 | <0,1 | 0,49 |
| 04.06.16 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 6,83 | 19,79 | 1,8 | 0,05 | 0,2 | 0,24 | 4,29 | 11,2 | 6,6 | <0,1 | 0,84 |
| 05.06.16 | 1,1 | 0,4 | 0,6 | 8,97 | 18,41 | 1,8 | 0,07 | 0,2 | 0,36 | 3,52 | 12,4 | 8,8 | <0,1 | 0,78 |
| 06.06.16 | 1,1 | 0,5 | 0,6 | 3,60 | 17,08 | 1,7 | 0,05 | 0,2 | 0,10 | 4,42 | 16,7 | 8,7 | <0,1 | 1,03 |
| 07.06.16 | 0,9 | 0,4 | 0,6 | 4,52 | 18,69 | 1,3 | 0,03 | 0,1 | 0,12 | 5,14 | 11,2 | 9,0 | <0,1 | 0,77 |
| 08.06.16 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 4,36 | 20,49 | 1,2 | 0,05 | 0,1 | 0,59 | 4,79 | 10,3 | 7,1 | <0,1 | 0,66 |
| 09.06.16 | 0,8 | 0,3 | 0,6 | 6,74 | 24,58 | 1,6 | 0,03 | 0,1 | 0,65 | 4,23 | 11,5 | 8,8 | <0,1 | 1,12 |
| 10.06.16 | 0,9 | 0,4 | 0,6 | 5,39 | 21,38 | 1,4 | <0,02 | 0,1 | 0,20 | 4,15 | 14,2 | 6,9 | <0,1 | 0,56 |
| 11.06.16 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 3,93 | 18,59 | 1,8 | 0,03 | 0,2 | 0,19 | 3,10 | 19,6 | 7,1 | <0,1 | 1,00 |
| 12.06.16 | 0,8 | 0,3 | 0,4 | 4,78 | 15,34 | 1,1 | <0,02 | 0,1 | 0,08 | 3,00 | 9,5 | 8,9 | <0,1 | 0,55 |
| 14.06.16 | 1,3 | 0,5 | 0,8 | 4,14 | 20,74 | 2,0 | 0,13 | 0,2 | 0,08 | 2,38 | 14,8 | 8,3 | <0,1 | 1,23 |
| 15.06.16 | 1,3 | 0,4 | 0,9 | 4,47 | 21,05 | 2,2 | 0,05 | 0,2 | 0,05 | 2,33 | 18,1 | 9,9 | <0,1 | 1,29 |
| 16.06.16 | 1,5 | 0,6 | 1,4 | 5,33 | 22,96 | 3,5 | 0,08 | 0,2 | 0,18 | 0,93 | 38,8 | 5,8 | <0,1 | 1,38 |
| F4-12 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 6,22 | 20,06 | 1,6 | 0,06 | 0,1 | 0,16 | 4,87 | 6,3 | 4,6 | <0,1 | 0,83 |
| F4-13 | 1,1 | 0,5 | 0,6 | 6,74 | 18,93 | 1,6 | 0,02 | 0,2 | 0,10 | 3,15 | 9,3 | 7,7 | <0,1 | 1,00 |
| F4-14 | 1,0 | 0,4 | 0,6 | 6,35 | 19,82 | 1,8 | <0,02 | 0,1 | 0,29 | 4,21 | 16,0 | 8,6 | <0,1 | 0,72 |
| F5-01 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 5,23 | 15,66 | 1,2 | 0,13 | 0,1 | 0,33 | 3,46 | 4,3 | 9,8 | <0,1 | 0,66 |
| F5-02 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 4,38 | 19,34 | 1,2 | 0,03 | 0,1 | 0,19 | 4,31 | 13,2 | 6,1 | <0,1 | 0,39 |

Tabla A5. Cartilla con el contenido elemental de las 53 muestras analizadas.
Continuación

| Elemento | Mn | Mo | Na | Nb | Nd | Ni | P | Pb | Pr | Rb | Re | S | Sb |
|----------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|------|-------|
| Unidad | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm |
| Lim.Det. | 1 | 0,05 | 0,001 | 0,04 | 0,1 | 0,1 | 0,001 | 0,02 | 0,1 | 0,1 | 0,002 | 0,04 | 0,02 |
| Lím.Sup. | 10.000 | 4.000 | 10 | 2.000 | 2.000 | 10.000 | 5 | 10.000 | 2.000 | 2.000 | 100 | 10 | 4.000 |
| Muestra | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 261 | 18,97 | 1,326 | 0,99 | 11,1 | 15,3 | 0,055 | 17,72 | 2,9 | 145,5 | 0,010 | 1,90 | 1,75 |
| 22 | 251 | 20,17 | 2,022 | 1,16 | 13,7 | 15,5 | 0,062 | 20,63 | 3,6 | 116,4 | 0,007 | 1,31 | 2,82 |
| 25 | 268 | 24,65 | 2,513 | 1,32 | 12,7 | 16,1 | 0,064 | 13,39 | 3,3 | 99,3 | 0,006 | 0,54 | 0,58 |
| 26 | 168 | 84,78 | 1,634 | 0,94 | 10,3 | 12,3 | 0,046 | 11,56 | 2,7 | 125,5 | 0,019 | 1,39 | 1,13 |
| 27 | 111 | 6,35 | 2,297 | 1,39 | 12,2 | 15,3 | 0,061 | 4,45 | 3,2 | 98,1 | <0,002 | 0,69 | 0,41 |
| 28 | 130 | 8,91 | 1,647 | 1,26 | 10,6 | 14,6 | 0,057 | 7,61 | 2,7 | 119,4 | 0,006 | 0,60 | 0,51 |
| 29 | 164 | 20,94 | 1,651 | 1,12 | 13,3 | 17,5 | 0,058 | 4,88 | 3,6 | 143,3 | 0,012 | 3,42 | 0,47 |
| 30 | 166 | 142,53 | 0,512 | 0,91 | 8,8 | 12,3 | 0,049 | 6,66 | 2,3 | 155,0 | 0,046 | 1,89 | 0,70 |
| 31 | 423 | 2,28 | 2,159 | 2,48 | 14,7 | 11,6 | 0,104 | 8,45 | 3,6 | 96,3 | <0,002 | 1,60 | 2,05 |
| 32 | 390 | 5,72 | 3,671 | 2,76 | 14,0 | 18,0 | 0,098 | 13,09 | 3,9 | 42,9 | 0,010 | 0,50 | 0,80 |
| 33 | 687 | 16,48 | 1,130 | 0,96 | 16,2 | 20,2 | 0,070 | 22,79 | 4,5 | 136,9 | 0,006 | 1,01 | 5,01 |
| 35 | 178 | 8,88 | 3,664 | 1,30 | 13,1 | 16,2 | 0,058 | 12,30 | 3,6 | 91,1 | <0,002 | 0,27 | 1,48 |
| 36 | 182 | 423,13 | 2,909 | 0,88 | 9,5 | 9,2 | 0,052 | 10,88 | 2,4 | 99,4 | 0,202 | 0,72 | 1,42 |
| 37 | 519 | 29,55 | 3,052 | 1,46 | 17,2 | 19,6 | 0,064 | 14,69 | 4,5 | 95,0 | 0,010 | 0,52 | 8,21 |
| 38 | 484 | 96,10 | 2,133 | 1,04 | 11,8 | 15,4 | 0,060 | 11,35 | 3,1 | 101,4 | 0,035 | 0,63 | 1,28 |
| 39 | 190 | 21,34 | 0,571 | 1,23 | 10,2 | 17,6 | 0,059 | 4,69 | 2,6 | 148,6 | 0,009 | 2,50 | 0,67 |
| 42 | 140 | 299,05 | 0,297 | 1,11 | 16,1 | 9,0 | 0,055 | 4,09 | 4,1 | 137,5 | 0,088 | 2,27 | 2,47 |
| 44 | 588 | 13,67 | 2,943 | 2,13 | 14,3 | 22,9 | 0,109 | 18,89 | 3,6 | 81,7 | 0,039 | 2,04 | 1,65 |
| 46 | 145 | 44,62 | 0,906 | 0,81 | 9,0 | 8,7 | 0,051 | 41,82 | 2,3 | 122,4 | 0,005 | 5,04 | 11,60 |
| 51 | 607 | 5,43 | 2,836 | 3,83 | 13,0 | 15,3 | 0,060 | 18,36 | 3,2 | 72,4 | 0,005 | 0,12 | 1,28 |
| 52 | 1052 | 15,61 | 2,046 | 3,24 | 11,8 | 15,9 | 0,056 | 25,56 | 3,2 | 114,4 | <0,002 | 0,87 | 2,61 |
| 53 | 756 | 8,26 | 2,651 | 3,43 | 13,7 | 17,1 | 0,061 | 13,35 | 3,8 | 74,4 | <0,002 | 0,16 | 1,40 |
| 54 | 166 | 26,75 | 2,027 | 1,45 | 12,2 | 16,6 | 0,055 | 7,33 | 3,1 | 117,3 | 0,008 | 2,33 | 0,82 |
| 55 | 163 | 150,16 | 0,102 | 1,47 | 8,1 | 17,9 | 0,070 | 2,89 | 2,0 | 131,7 | 0,110 | 3,84 | 1,03 |
| 56 | 370 | 278,17 | 1,487 | 1,00 | 9,0 | 17,1 | 0,059 | 9,07 | 2,3 | 138,6 | 0,143 | 1,03 | 1,74 |
| 57 | 983 | 50,79 | 2,299 | 1,32 | 14,7 | 17,8 | 0,054 | 16,43 | 3,9 | 139,4 | 0,018 | 0,58 | 4,81 |
| 58 | 318 | 81,34 | 1,768 | 1,24 | 12,9 | 16,8 | 0,062 | 742,2 | 3,6 | 119,7 | 0,036 | 2,29 | 1,42 |
| 59 | 702 | 0,90 | 1,863 | 1,82 | 10,5 | 2,6 | 0,032 | 12,44 | 2,9 | 186,0 | 0,003 | 0,13 | 2,41 |
| 60 | 160 | 468,73 | 2,956 | 1,39 | 14,4 | 15,1 | 0,060 | 6,70 | 4,1 | 119,2 | 0,667 | 1,23 | 0,44 |
| 61 | 242 | 543,00 | 0,322 | 0,92 | 13,7 | 9,7 | 0,044 | 8,57 | 3,8 | 101,8 | 0,140 | 4,71 | 3,93 |
| 62 | 278 | 646,66 | 1,179 | 1,18 | 13,7 | 10,7 | 0,057 | 24,54 | 3,5 | 122,8 | 0,062 | 5,81 | 11,23 |
| 63 | 871 | 6,39 | 2,344 | 3,01 | 18,0 | 12,6 | 0,103 | 22,42 | 4,2 | 71,6 | 0,003 | 0,45 | 1,86 |
| 64 | 233 | 5,79 | 0,527 | 1,25 | 15,3 | 15,9 | 0,032 | 79,46 | 3,9 | 87,4 | 0,008 | 3,99 | 5,68 |
| 65 | 273 | 2,21 | 0,563 | 0,89 | 35,0 | 17,7 | 0,062 | 59,99 | 10,6 | 73,2 | 0,004 | 3,45 | 6,94 |

| Elemento | Mn | Mo | Na | Nb | Nd | Ni | P | Pb | Pr | Rb | Re | S | Sb |
|---------------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|------|-------|
| Unidad | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm |
| Lim.Det. | 1 | 0,05 | 0,001 | 0,04 | 0,1 | 0,1 | 0,001 | 0,02 | 0,1 | 0,1 | 0,002 | 0,04 | 0,02 |
| Lím.Sup. Muestra | 10.000 | 4.000 | 10 | 2.000 | 2.000 | 10.000 | 5 | 10.000 | 2.000 | 2.000 | 100 | 10 | 4.000 |
| 66 | 254 | 60,79 | 0,494 | 1,21 | 12,2 | 17,1 | 0,062 | 27,50 | 3,1 | 208,2 | 0,004 | 0,92 | 4,47 |
| 03.06.16 | 296 | 62,53 | 2,837 | 1,02 | 12,5 | 5,9 | 0,054 | 10,57 | 3,0 | 119,9 | 0,024 | 1,24 | 0,46 |
| 04.06.16 | 156 | 5,67 | 0,453 | 1,23 | 12,8 | 15,2 | 0,057 | 4,20 | 3,0 | 148,1 | 0,004 | 2,80 | 0,86 |
| 05.06.16 | 824 | 51,07 | 0,106 | 0,99 | 15,2 | 18,1 | 0,039 | 10,42 | 3,6 | 137,1 | 0,033 | 5,94 | 1,66 |
| 06.06.16 | 436 | 54,14 | 2,215 | 1,04 | 14,4 | 16,1 | 0,063 | 15,83 | 3,7 | 169,0 | 0,020 | 0,45 | 1,44 |
| 07.06.16 | 746 | 10,74 | 0,190 | 1,04 | 11,9 | 14,3 | 0,062 | 47,96 | 2,8 | 177,8 | 0,007 | 1,57 | 1,81 |
| 08.06.16 | 356 | 29,25 | 0,141 | 1,23 | 9,1 | 11,3 | 0,056 | 14,42 | 2,2 | 149,8 | 0,015 | 1,61 | 2,77 |
| 09.06.16 | 150 | 19,56 | 0,125 | 1,05 | 14,3 | 18,8 | 0,053 | 12,21 | 3,4 | 148,5 | 0,009 | 2,46 | 0,66 |
| 10.06.16 | 220 | 23,11 | 1,004 | 0,82 | 13,1 | 26,5 | 0,047 | 4,76 | 3,5 | 153,8 | 0,008 | 4,07 | 1,23 |
| 11.06.16 | 165 | 4,72 | 2,333 | 1,45 | 15,7 | 16,6 | 0,060 | 6,92 | 4,1 | 108,4 | <0,002 | 1,30 | 0,38 |
| 12.06.16 | 832 | 56,01 | 0,978 | 1,31 | 9,9 | 12,8 | 0,043 | 5,27 | 2,5 | 100,0 | 0,013 | 3,07 | 1,43 |
| 14.06.16 | 406 | 2,46 | 3,288 | 3,67 | 16,0 | 15,8 | 0,108 | 11,67 | 3,7 | 66,4 | 0,003 | 0,28 | 1,39 |
| 15.06.16 | 292 | 4,51 | 3,185 | 1,35 | 17,8 | 17,6 | 0,085 | 9,84 | 4,2 | 77,5 | 0,010 | 0,35 | 0,74 |
| 16.06.16 | 222 | 185,00 | 3,430 | 1,34 | 32,0 | 13,9 | 0,107 | 4,86 | 8,4 | 40,4 | 0,050 | 0,14 | 3,77 |
| F4-12 | 72 | 41,17 | 0,453 | 0,96 | 9,9 | 16,9 | 0,057 | 6,36 | 2,1 | 155,5 | 0,008 | 4,89 | 0,40 |
| F4-13 | 411 | 2,61 | 2,034 | 1,05 | 11,4 | 14,1 | 0,053 | 9,20 | 2,7 | 105,6 | <0,002 | 5,04 | 0,54 |
| F4-14 | 471 | 34,32 | 0,135 | 1,11 | 20,0 | 15,2 | 0,049 | 103,00 | 4,7 | 134,9 | 0,006 | 4,61 | 6,04 |
| F5-01 | 377 | 67,33 | 0,414 | 1,03 | 5,8 | 9,4 | 0,056 | 32,99 | 1,3 | 125,2 | 0,028 | 2,57 | 5,93 |
| F5-02 | 72 | 5,08 | 0,201 | 1,64 | 12,9 | 6,8 | 0,044 | 4,91 | 3,4 | 142,9 | <0,002 | 3,23 | 1,37 |

Tabla A5. Cartilla con el contenido elemental de las 53 muestras analizadas.
Continuación

| Elemento | Sc | Se | Sm | Sn | Sr | Ta | Tb | Te | Th | Ti | Tl | Tm | U |
|---------------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Unidad | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm |
| Lim.Det. | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,001 | 0,05 | 0,1 | 0,1 |
| Lím.Sup. Muestra | 200 | 1.000 | 2.000 | 2.000 | 10.000 | 2.000 | 2.000 | 1.000 | 4.000 | 10.000 | 10.000 | 2.000 | 4.000 |
| 21 | 5,3 | 0,5 | 2,1 | 3,0 | 159 | <0,1 | 0,2 | 0,36 | 7,5 | 0,161 | 1,19 | <0,1 | 2,7 |
| 22 | 5,0 | 0,9 | 2,3 | 4,0 | 269 | <0,1 | 0,2 | 0,11 | 8,8 | 0,171 | 0,99 | 0,1 | 4,1 |
| 25 | 5,4 | <0,3 | 2,3 | 1,9 | 308 | 0,1 | 0,1 | 0,17 | 6,9 | 0,192 | 0,91 | <0,1 | 3,0 |
| 26 | 4,4 | 1,0 | 1,6 | 5,7 | 136 | 0,1 | 0,1 | <0,05 | 8,3 | 0,133 | 0,81 | <0,1 | 2,7 |
| 27 | 5,5 | <0,3 | 2,1 | 3,4 | 297 | 0,1 | 0,2 | <0,05 | 7,5 | 0,178 | 0,79 | <0,1 | 2,9 |
| 28 | 5,8 | 0,5 | 2,0 | 2,9 | 237 | 0,1 | 0,1 | 0,09 | 6,4 | 0,175 | 0,97 | <0,1 | 7,8 |
| 29 | 5,0 | 1,8 | 2,2 | 3,5 | 155 | <0,1 | 0,1 | 0,10 | 5,8 | 0,167 | 0,73 | <0,1 | 3,8 |
| 30 | 5,4 | 1,0 | 1,6 | 5,4 | 42 | <0,1 | <0,1 | 0,06 | 8,9 | 0,122 | 0,74 | <0,1 | 2,7 |
| 31 | 4,3 | <0,3 | 2,9 | 3,3 | 387 | 0,2 | 0,2 | 0,15 | 3,6 | 0,268 | 0,80 | <0,1 | 1,3 |
| 32 | 6,3 | 0,3 | 2,7 | 1,6 | 675 | 0,2 | 0,2 | 0,10 | 3,2 | 0,357 | 0,43 | <0,1 | 1,1 |
| 33 | 6,6 | <0,3 | 3,2 | 1,4 | 66 | <0,1 | 0,2 | <0,05 | 4,5 | 0,153 | 1,12 | <0,1 | 0,9 |
| 35 | 5,4 | 0,6 | 2,3 | 1,8 | 278 | 0,1 | 0,2 | <0,05 | 6,6 | 0,191 | 0,59 | <0,1 | 2,9 |
| 36 | 2,8 | 1,1 | 1,6 | 2,3 | 225 | <0,1 | <0,1 | <0,05 | 4,1 | 0,115 | 0,73 | <0,1 | 1,9 |
| 37 | 5,8 | 0,4 | 2,6 | 2,4 | 251 | 0,1 | 0,1 | 0,07 | 6,5 | 0,228 | 0,91 | <0,1 | 2,8 |
| 38 | 5,4 | 1,1 | 2,3 | 3,6 | 122 | 0,1 | 0,1 | <0,05 | 8,0 | 0,178 | 0,85 | <0,1 | 3,1 |
| 39 | 5,7 | 1,8 | 2,2 | 5,3 | 58 | <0,1 | 0,1 | 0,12 | 5,8 | 0,157 | 0,83 | <0,1 | 2,7 |
| 42 | 3,7 | 2,6 | 3,4 | 5,5 | 37 | <0,1 | 0,2 | <0,05 | 8,4 | 0,107 | 0,53 | <0,1 | 3,2 |
| 44 | 7,1 | <0,3 | 2,8 | 2,7 | 445 | <0,1 | 0,2 | 0,39 | 3,2 | 0,278 | 0,60 | 0,1 | 2,2 |
| 46 | 3,3 | 2,0 | 1,5 | 4,7 | 55 | <0,1 | <0,1 | 1,16 | 5,9 | 0,076 | 0,75 | 0,1 | 3,0 |
| 51 | 5,3 | <0,3 | 2,1 | 1,2 | 433 | 0,3 | 0,2 | <0,05 | 7,0 | 0,301 | 0,58 | 0,1 | 1,7 |
| 52 | 5,0 | <0,3 | 2,1 | 1,5 | 284 | 0,3 | 0,2 | 0,09 | 8,2 | 0,277 | 0,89 | <0,1 | 2,1 |
| 53 | 6,1 | 0,4 | 2,4 | 1,6 | 365 | 0,3 | 0,2 | 0,22 | 7,7 | 0,294 | 0,58 | 0,1 | 2,2 |
| 54 | 5,2 | 0,5 | 2,4 | 3,3 | 296 | 0,1 | 0,1 | <0,05 | 6,6 | 0,184 | 0,79 | <0,1 | 2,5 |
| 55 | 5,0 | 1,7 | 1,7 | 5,7 | 11 | 0,1 | <0,1 | 0,96 | 7,3 | 0,154 | 0,87 | <0,1 | 5,7 |
| 56 | 5,3 | 1,6 | 1,5 | 4,2 | 120 | <0,1 | <0,1 | 0,06 | 5,1 | 0,142 | 0,84 | <0,1 | 2,4 |
| 57 | 5,2 | 0,7 | 2,3 | 3,2 | 151 | <0,1 | 0,1 | <0,05 | 6,9 | 0,182 | 0,90 | <0,1 | 2,5 |
| 58 | 5,3 | 1,4 | 2,5 | 3,3 | 206 | <0,1 | 0,2 | <0,05 | 7,9 | 0,178 | 0,87 | <0,1 | 2,5 |
| 59 | 1,7 | <0,3 | 1,5 | 1,1 | 172 | 0,1 | <0,1 | <0,05 | 3,3 | 0,094 | 1,67 | <0,1 | 0,9 |
| 60 | 5,6 | 0,6 | 2,5 | 3,0 | 282 | 0,1 | 0,2 | 0,07 | 8,7 | 0,191 | 0,80 | <0,1 | 3,3 |
| 61 | 3,5 | 2,3 | 2,6 | 4,9 | 234 | <0,1 | 0,2 | 0,19 | 8,7 | 0,089 | 0,65 | <0,1 | 3,6 |
| 62 | 3,7 | 5,0 | 2,5 | 5,3 | 98 | <0,1 | 0,1 | 0,58 | 6,2 | 0,139 | 0,72 | <0,1 | 3,1 |
| 63 | 5,1 | <0,3 | 3,1 | 2,0 | 347 | 0,2 | 0,3 | 0,07 | 5,2 | 0,313 | 0,68 | <0,1 | 1,5 |
| 64 | 6,1 | 0,4 | 2,4 | 2,3 | 115 | 0,1 | 0,3 | 0,82 | 4,1 | 0,183 | 0,47 | <0,1 | 1,5 |
| 65 | 6,0 | <0,3 | 5,2 | 2,1 | 183 | <0,1 | 0,3 | 0,78 | 4,7 | 0,177 | 0,36 | <0,1 | 1,5 |

| Elemento | Sc | Se | Sm | Sn | Sr | Ta | Tb | Te | Th | Ti | Tl | Tm | U |
|---------------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Unidad | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm |
| Lim.Det. | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,001 | 0,05 | 0,1 | 0,1 |
| Lím.Sup. Muestra | 200 | 1.000 | 2.000 | 2.000 | 10.000 | 2.000 | 2.000 | 1.000 | 4.000 | 10.000 | 10.000 | 2.000 | 4.000 |
| 66 | 6,2 | <0,3 | 2,5 | 1,9 | 157 | <0,1 | 0,1 | 0,34 | 3,9 | 0,172 | 1,28 | <0,1 | 1,4 |
| 03.06.16 | 2,5 | 0,9 | 2,1 | 6,0 | 172 | <0,1 | <0,1 | <0,05 | 3,5 | 0,123 | 0,62 | <0,1 | 1,8 |
| 04.06.16 | 6,0 | 1,2 | 2,4 | 3,6 | 43 | 0,1 | 0,1 | 0,09 | 7,2 | 0,163 | 0,78 | <0,1 | 3,0 |
| 05.06.16 | 5,1 | 1,8 | 2,9 | 4,2 | 9 | <0,1 | 0,1 | 0,28 | 8,0 | 0,137 | 0,69 | <0,1 | 3,1 |
| 06.06.16 | 5,9 | <0,3 | 2,5 | 2,3 | 251 | <0,1 | 0,1 | 0,46 | 8,5 | 0,195 | 1,35 | <0,1 | 2,7 |
| 07.06.16 | 6,0 | 0,5 | 2,0 | 3,2 | 32 | <0,1 | <0,1 | 0,26 | 5,4 | 0,168 | 1,12 | <0,1 | 2,1 |
| 08.06.16 | 5,6 | 1,1 | 1,5 | 5,0 | 56 | <0,1 | <0,1 | 0,31 | 9,1 | 0,159 | 0,91 | <0,1 | 2,9 |
| 09.06.16 | 5,9 | 1,5 | 2,9 | 7,9 | 16 | <0,1 | <0,1 | 0,44 | 5,4 | 0,153 | 1,03 | <0,1 | 2,5 |
| 10.06.16 | 6,3 | <0,3 | 2,1 | 1,9 | 61 | <0,1 | <0,1 | 0,73 | 7,3 | 0,113 | 0,73 | <0,1 | 3,5 |
| 11.06.16 | 5,6 | 1,0 | 2,3 | 2,6 | 307 | 0,1 | 0,1 | 0,19 | 9,6 | 0,173 | 0,75 | <0,1 | 3,3 |
| 12.06.16 | 3,7 | 0,7 | 1,4 | 4,4 | 103 | 0,1 | <0,1 | 0,17 | 9,1 | 0,104 | 0,57 | <0,1 | 3,2 |
| 14.06.16 | 5,6 | <0,3 | 3,1 | 1,4 | 663 | 0,2 | 0,1 | 0,23 | 3,9 | 0,311 | 0,49 | <0,1 | 1,4 |
| 15.06.16 | 6,8 | <0,3 | 2,7 | 1,7 | 514 | <0,1 | 0,1 | 0,14 | 3,1 | 0,192 | 0,52 | <0,1 | 1,1 |
| 16.06.16 | 4,8 | 0,4 | 5,3 | 4,0 | 99 | 0,1 | 0,2 | 0,15 | 3,6 | 0,203 | 0,27 | <0,1 | 3,2 |
| F4-12 | 5,9 | 0,7 | 1,7 | 4,6 | 58 | <0,1 | <0,1 | 0,36 | 6,4 | 0,147 | 0,82 | <0,1 | 3,0 |
| F4-13 | 5,3 | 0,5 | 2,1 | 2,6 | 152 | <0,1 | <0,1 | 0,31 | 4,6 | 0,156 | 0,70 | <0,1 | 2,9 |
| F4-14 | 6,0 | 1,6 | 3,5 | 6,3 | 27 | <0,1 | 0,1 | 0,14 | 8,1 | 0,131 | 0,63 | <0,1 | 2,6 |
| F5-01 | 3,5 | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 281 | <0,1 | <0,1 | 0,32 | 5,4 | 0,122 | 0,69 | <0,1 | 2,1 |
| F5-02 | 2,8 | 0,6 | 2,1 | 5,7 | 37 | 0,2 | <0,1 | 0,32 | 12,1 | 0,091 | 0,72 | <0,1 | 3,0 |

Tabla A5. Cartilla con el contenido elemental de las 53 muestras analizadas.
Continuación

| Elemento | V | W | Y | Yb | Zn | Zr |
|----------|--------|------|-------|-------|--------|-------|
| Unidad | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Lim.Det. | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Lím.Sup. | 10.000 | 200 | 2.000 | 2.000 | 10.000 | 2.000 |
| Muestra | | | | | | |
| 21 | 78 | 16,6 | 4,3 | 0,6 | 80,4 | 1,7 |
| 22 | 77 | 12,3 | 4,7 | 0,4 | 147,9 | 1,3 |
| 25 | 81 | 16,0 | 5,2 | 0,4 | 67,8 | 1,4 |
| 26 | 64 | 15,7 | 3,5 | 0,3 | 59,6 | 1,7 |
| 27 | 79 | 7,8 | 4,0 | 0,4 | 31,6 | 0,9 |
| 28 | 80 | 10,3 | 4,1 | 0,5 | 38,1 | 1,4 |
| 29 | 76 | 14,0 | 4,3 | 0,4 | 39,3 | 1,3 |
| 30 | 86 | 16,4 | 2,8 | 0,3 | 43,4 | 1,3 |
| 31 | 106 | 15,6 | 5,1 | 0,3 | 94,9 | 1,5 |
| 32 | 127 | 5,4 | 5,6 | 0,6 | 48,9 | 2,4 |
| 33 | 88 | 8,4 | 4,1 | 0,4 | 214,0 | 5,3 |
| 35 | 75 | 5,9 | 5,1 | 0,5 | 51,0 | 1,9 |
| 36 | 54 | 13,8 | 2,8 | 0,2 | 53,3 | 1,2 |
| 37 | 86 | 9,4 | 5,0 | 0,4 | 118,0 | 2,1 |
| 38 | 83 | 13,4 | 4,1 | 0,5 | 101,5 | 1,9 |
| 39 | 80 | 22,9 | 3,7 | 0,3 | 29,4 | 0,4 |
| 42 | 73 | 19,2 | 5,5 | 0,5 | 32,6 | 0,5 |
| 44 | 129 | 11,2 | 5,9 | 0,4 | 107,5 | 1,2 |
| 46 | 62 | 9,6 | 4,7 | 0,8 | 40,8 | 1,5 |
| 51 | 76 | 3,1 | 6,2 | 0,5 | 95,0 | 3,4 |
| 52 | 74 | 13,9 | 5,5 | 0,5 | 254,9 | 2,4 |
| 53 | 80 | 4,7 | 6,8 | 0,6 | 141,7 | 3,1 |
| 54 | 77 | 13,3 | 5,2 | 0,4 | 34,6 | 2,3 |
| 55 | 70 | 18,8 | 2,8 | 0,3 | 20,2 | 1,7 |
| 56 | 91 | 16,3 | 4,0 | 0,4 | 79,7 | 0,6 |
| 57 | 86 | 11,2 | 4,3 | 0,4 | 103,5 | 0,5 |
| 58 | 80 | 18,0 | 5,4 | 0,3 | 1459,2 | 0,4 |
| 59 | 23 | 5,7 | 2,5 | 0,2 | 168,8 | 5,1 |
| 60 | 77 | 9,8 | 5,2 | 0,4 | 51,7 | 1,8 |
| 61 | 62 | 24,2 | 4,4 | 0,4 | 34,8 | 2,7 |
| 62 | 71 | 18,1 | 4,5 | 0,4 | 217,4 | 0,5 |
| 63 | 107 | 9,1 | 6,6 | 0,5 | 132,5 | 1,0 |
| 64 | 79 | 12,2 | 4,4 | 0,5 | 57,4 | 8,1 |
| 65 | 77 | 9,5 | 8,2 | 0,7 | 43,2 | 8,1 |

| Elemento | V | W | Y | Yb | Zn | Zr |
|---------------------|--------|------|-------|-------|--------|-------|
| Unidad | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Lim.Det. | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Lím.Sup. Muestra | 10.000 | 200 | 2.000 | 2.000 | 10.000 | 2.000 |
| 66 | 74 | 13,7 | 5,1 | 0,4 | 96,7 | 5,3 |
| 03.06.16 | 51 | 21,2 | 3,2 | 0,3 | 48,3 | 1,2 |
| 04.06.16 | 75 | 17,2 | 4,3 | 0,5 | 39,3 | 1,2 |
| 05.06.16 | 76 | 21,8 | 4,3 | 0,4 | 111,8 | 1,4 |
| 06.06.16 | 75 | 6,3 | 5,2 | 0,4 | 98,3 | 1,3 |
| 07.06.16 | 77 | 22,8 | 3,5 | 0,3 | 92,0 | 1,1 |
| 08.06.16 | 77 | 23,1 | 3,6 | 0,4 | 60,2 | 1,6 |
| 09.06.16 | 84 | 21,6 | 3,4 | 0,3 | 49,2 | 0,6 |
| 10.06.16 | 84 | 15,5 | 3,7 | 0,3 | 38,0 | 0,5 |
| 11.06.16 | 75 | 32,4 | 5,4 | 0,5 | 30,4 | 0,4 |
| 12.06.16 | 55 | 14,1 | 3,6 | 0,3 | 54,4 | 0,4 |
| 14.06.16 | 104 | 5,4 | 5,4 | 0,4 | 64,3 | 1,9 |
| 15.06.16 | 109 | 5,1 | 5,3 | 0,4 | 44,9 | 0,9 |
| 16.06.16 | 97 | 11,9 | 6,3 | 0,5 | 67,7 | 2,2 |
| F4-12 | 76 | 16,9 | 3,5 | 0,3 | 23,0 | 1,8 |
| F4-13 | 70 | 15,9 | 4,8 | 0,4 | 88,1 | 0,3 |
| F4-14 | 79 | 25,6 | 3,9 | 0,3 | 178,1 | 0,5 |
| F5-01 | 55 | 19,9 | 3,5 | 0,3 | 83,7 | 3,7 |
| F5-02 | 43 | 22,7 | 3,7 | 0,3 | 20,5 | 0,6 |