

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

IMPORTANCIA DE LAS ZONAS CALENTADAS POR VAPOR (STEAM HEATED) EN LOS DEPÓSITOS DE ALTA SULFURACIÓN –CASO SECTOR SUR DE AYACUCHO-PERÚ

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. Morayma Katherine Ruiz Huamán

Asesor:

Mcs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani

Cajamarca, Perú

2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, quien me dio la vida, y la posibilidad de inmiscuirme en esta rama de la Geología, una carrera de mucho sacrificio, entrega y pasión.

A Compañía de Minas Buenaventura, por darme la oportunidad de emprender en este rubro fascinante que es la Geología Económica, en especial al Área de Exploraciones, quienes me han ayudado a tener nuevos conocimientos, y emprender nuevos retos durante estos años, y a los Ingenieros: Miranda, Calapuja y Deinzer, con los que he ido compartiendo experiencias y rescatando lo mejor de cada una de sus enseñanzas a lo largo de estos años.

A los docentes de la escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, por todos los conocimientos impartidos en los 5 años de estudios universitarios, en especial al Ing. Zenón Quispe Mamani por el apoyo y asesoramiento en este trabajo de investigación, que servirá como guía y apoyo para otros trabajos similares.

A todos ellos muchas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres Rodolfo y Doris, quienes siempre me han cultivado el valor de la responsabilidad, y laboriosidad, que han influenciado de gran manera en mi desarrollo profesional y personal.

A mis hermanos Alfredo, Arturo y Esther, por su gran cariño, apoyo y amistad.

A todos los que se dedican a la exploración, quienes saben la sacrificada y satisfactoria labor de esta rama.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
2.2 BASES TEÓRICAS.....	18
2.2.1 Definición y Clasificación de Depósitos Epitermales.....	18
2.2.2 Relación entre Magmatismo y Sistemas Epitermales.....	20
2.2.3 Depósitos de Alta Sulfuración.....	22
2.2.4 Alteraciones Hidrotermales.....	25
2.2.5 Ensamblajes de Alteraciones Hidrotermales.....	31
2.2.6 Factores que controlan las Alteraciones Hidrotermales.....	33
2.2.7 Reacciones de Hidrólisis.....	34
2.2.8 Lithocaps.....	35
2.2.9 Espectroscopía de Reflectancia Aplicada (Terraspec).....	36
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	37
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.2 PROCEDIMIENTOS.....	41

	Pág.
3.2.1 Metodología.....	41
3.2.1.1 Población.....	41
3.2.1.2 Muestra.....	41
3.2.1.3 Unidad de Análisis.....	41
3.2.2 Definición de Variables.....	42
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
3.4 GEOLOGÍA REGIONAL.....	43
3.4.1 Unidades Litoestratigráficas.....	45
3.4.1.1 Paleógeno.....	45
3.4.1.2 Neógeno.....	46
3.5 GEOLOGÍA LOCAL.....	48
3.5.1 Secuencia Inferior.....	48
3.5.2 Secuencia Superior.....	49
3.6 ESTRUCTURAS.....	52
3.7 ALTERACIONES HIDROTERMALES.....	53
3.7.1 Alteración Sílice Residual.....	53
3.7.2 Sílice Calcedónica.....	54
3.7.3 Argílica Avanzada.....	55
3.8 ALTERACIÓN CALENTADA POR VAPOR (Cerro Runtus).....	55
3.8.1 Malla de Muestreo.....	55
3.8.2 Procedimiento.....	57
3.8.3 Interpretación y Agrupación de Espectros.....	57
3.8.4 Asociación de Minerales de Alteración y Distribución.....	60
3.8.5 Geoquímica.....	63

	Pág.
3.8.6 Análisis de Alunitas	68
3.8.6.1 Muestreo de Lithocaps y análisis	68
 CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
4.1 Discusión de Resultados.....	79
4.1.1 Ubicación del PaleoSistema	80
4.1.2 Comparación de Prospectos.....	82
4.1.3 Alunitas Cerro Runtus Versus Alunitas Pascua Lama-Veladero.....	86
4.1.4 Identificando zonas prospectivas.....	87
4.2 Importancia de Explorar zonas Steam Heated	89
4.3 Contrarrestación de la Hipótesis.....	91
 CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1 Conclusiones.....	92
5.2 Recomendaciones.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	94
ANEXOS.....	97
 Plano de Ubicación – Lámina 01	
 Plano Litológico – Lámina 02	
 Plano de Alteraciones – Lámina 03	
 Plano Estructural – Lámina 04	

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Relación de Alteración de Pórfidos y Epitermales: ejemplo de un modelo de depósito mostrando relación entre pórfido de Cu+- Au+- Mo, tipos de depósitos epitermales y vetas laterales de skarn-Modificado de Sillitoe. (2012).....	21
Figura 02: Representación de los Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración (Kousmanov, 2015).....	22
Figura 03: Principales Depósitos Epitermales Distribuidos en el Circum Pacífico (Arribas, 2000).....	23
Figura 04: Reconstrucción esquemática de Depósitos de Alta Sulfuración: Alteración y Mineralización.	24
Figura 05: Relación entre depósitos de alta y baja sulfuración, no podemos inferir necesariamente esta relación espacial entre todos los sistemas (Hedenquist y Lowernstern, 1994)	26
Figura 06: Sección que muestra el cuerpo mineral de una alteración típica de Alta Sulfuración. (Tomado de Corbett, 1998).	26
Figura 07: Origen de alteración ácido sulfato (ensamble de argílico avanzado) (Hedenquist 2000).....	28
Figura 08: Sección Esquemática que generaliza patrones de alteración en sistemas de alta y baja sulfuración: Se muestra la variable con el incremento de profundidad. (Modificado de Buchanan 1981).....	29
Figura 09: Sección de Lepanto con Mineralización en lithocap (Hedenquist 2013) ..	36
Figura 10: Ilustración de proceso de Absorción y reflexión aplicado en Espectroscopía	36
Figura 11: Zonas más importantes del espectro electromagnético, Las de luz visible e infrarrojo (IR), la luz visible, cercana al infrarrojo (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR). Tomado de Paex (2008).....	37
Figura 12: Ubicación General de la accesibilidad al área de trabajo.....	40
Figura 13: Resumen de los procedimientos a usar (fuente: Propia).....	41
Figura 14: Vulcanismo y control Estructural del MioPlioceno a nivel Regional (Fuente : Área de Exploraciones Regional Buenaventura.)	44

Figura 15: Geología Distrital del área de Trabajo: Vulcanismo Paleógeno-Neógeno, resaltando el centro volcánico Palla Palla. (Fuente INGEMMET).	47
Figura 16: Columna Estratigráfica de la secuencia Litológica a nivel Distrital del área de Trabajo.	48
Figura 17: Plano litológico local de Cerro Runtus.....	51
Figura 18: Plano estructural del área de trabajo.....	52
Figura 19: Distribución de las muestras de mano para análisis terraspec.	56
Figura 20: Espectro del Grupo 1. a) Presencia de espectro de Alunita K con el valle más profundo en 1479; b) Espectro clásico de alunita Na, con el valle más agudo de 1483.	58
Figura 21: Espectro del Grupo 2: Dickita >caolinita , se observa valor entre 1381.9 lo que ratifica la presencia de mezclas entre caolinita y dickita, el pico agudo de 1415 no se considera ya que puede confundirse con illita, por lo que no es diagnóstico para este caso.....	59
Figura 22: Espectro del grupo 3. Pico agudo de 1414.8 , asociado a un pico cercano al 1913, lo que indicaría la presencia ligera de agua. Además de presencia de jarosita en el pico de 1469.....	60
Figura 23: Esquema de asociaciones de Cerro runtus: Observamos que a partir de la mineralogía identificada por la espectometría se establecen 2 asociaciones minerales.	61
Figura 24: Representación en planta de la distrubición de la mineralogía de alteración presente en el Área de Trabajo.	62
Figura 25: Distribución espacial geoquímica de los principales elementos: Au, Ag, Sb, As, Hg y Bi, del proyecto.	66
Figura 26: Espectro de Alunitas (Tomado de P1060 AMIRA).	69
Figura 27: Ejemplo de depósitos de cerro Casale (Chile) y Bantug mostrando la distribución de alunitas vs ratios de Na y K.(Tomado de P1060 AMIRA).	70
Figura 28: Distribución de los principales depósitos asociados a Alta Sulfuración, y estériles y la relación que tiene la alunita con el contenido de Na. .(Tomado de P1060 AMIRA).....	70

Figura 29: Distribución de alunitas en Cerro Runtus: desde rangos 1477 hasta 1493.	71
Figura 30: Distribución de Alunitas principalmente Potásicas y su relación con el contenido de Na.	72
Figura 31: Fórmula química de alunita y compatibilidad con elementos químicos estables (Tomado de P1060 AMIRA).	73
Figura 32: Distribución de Alunitas de Pascua Lama –Veladero y su relación con el Sr y Pb.	74
Figura 33: Distribución de Alunitas de Pascua Lama –Veladero y su relación con el La y Na.	75
Figura 34: Comportamiento del Na con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.	76
Figura 35: Comportamiento del Pb con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.	76
Figura 36: Comportamiento del La con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.	77
Figura 37: Comportamiento del Sr con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.	77
Figura 38: Corte conceptual de la zona resaltando la zona steam heated.	81
Figura 39: Sección de Pascua Lama de Alteración y Litología a) corte de la alteración presente, enfatizando la zona de steam heated. b) Mismo corte y la relación con la mineralogía presente (Fuente: Paper: Alunita en el Depósito de Alta Sulfuración Pascua Lama).	83
Figura 40: Representación de los 3 prospectos comparativos mostrando la relación que tienen con los principales elementos (Au, Ag, Sb y Bi) y el contenido que existe con la cota.	85
Figura 41: Elaboración del Mapa de Alteraciones Integrando data Espectral y alunitas, para la definición de blancos exploratorios.	88
Figura 42: Sección esquemática de Chaquicocha en Yanacocha, mostrando depósitos tipo alta Sulfuración con una capa de sílice residual (steam heated) que cubre la mineralización asociada al cuarzo vuggy.	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Nomenclatura alternativa por los dos principales ambientes Epitermales y correspondencia para entender la Actividad Geotermal (Hedenquist, 2000).	20
Tabla 2: Diferentes tipos de Alteración Silíceá (Kousmanov, 2015).	31
Tabla 3: Resumen de ensambles de alteración Hidrotermal formado en Ambientes Epitermales(Tomado de Hedenquist 2000).	32
<i>Tabla 4: Distancia aproximada del área de trabajo desde Lima.</i>	40
<i>Tabla 5: Definición de variables a usar</i>	42
Tabla 6: Percentiles principales de las muestras y valores máximos y mínimos de principales elementos.	67
Tabla 7: Distribución de diagrama de Pearson de los principales elementos geoquímicos.	67

LISTA DE FOTOS

Foto 01: Vista a detalle de la secuencia de toba de cristales compactado, alterado débilmente y selectivamente a arcillas.	49
Foto 02: Lavas andesíticas de composición máfica con textura afanítica y contenido de pirita perteneciente a la Formación Barroso.	50
Foto 03: Nivel superior de lavas andesíticas, de textura porfirítica media, con abundante concentración de plagioclasas.	50
Foto 04: Vista de roca alterada a sílice residual y arcillas (caolinita y alunita).	53
Foto 05: Vista de Cerro Runtus con presencia de nivel de sílice calcedónica.	54
Foto 06: Muestra de sílice calcedónica brechada con óxidos.	54
Foto 07: Muestra de mano de alunita + sílice residual pulvurenta, asociadas a candidas.	55
Foto 08: Vista de Cerro Runtus y la distribución de secuencias volcánicas.	80
Foto 09: Ubicación del Paleo Sistema de la zona Steam Heated en el área de trabajo.	81

RESUMEN

El presente trabajo de investigación corresponde a un estudio geológico, con énfasis en Alteraciones Hidrotermales, realizado en el sur de la provincia de Parinacochas, Departamento de Ayacucho, denominado cerro Runtus. En superficie este prospecto presenta evidencias de una zona calentada por vapor (steam heated) asociado a un depósito tipo Sulfato-ácido, estas capas suelen ser estériles, sin embargo existen diversos factores que proporcionan evidencias de mineralización en profundidad, tal es el caso de diversos proyectos en Sudamérica que a través de ciertas características y estudios específicos se logra determinar mineralización en profundidad como es el caso de Pascua Lama, con el que se realizó comparación de data espectral y geoquímica con nuestra área de trabajo. 243 muestras de mano fueron recolectadas en Runtus y analizadas mediante espectrometría de luz reflejada, con un previo cartografiado se caracterizó la alteración como alunita-silíce residual .y menor proporción cristobalita, esmectita, clorita, calcita, característicos de una zona Steam Heated. A partir de la mineralogía de la alteración se identificaron 3 tipos de alteración: argílica, argílica avanzada y silicificación; la alteración argílica avanzada en base a su composición y características texturales, se las define como zonas de steam heated, la que está compuesta por ópalo/ sílice masivo +- alunita +- caolinita +- azufre. La alteración argílica se encuentra representada por una zona de caolinita +- muscovita con sílice, finalmente la silicificación corresponde a una sílice caldecónica que coincide con el nivel freático que se encuentra formado por una zona de sílice masiva de baja temperatura, e inferior a estas una zona brechada (con presencia de sílice masiva y/o vuggy), corroborando el esquema de un steam heated que con los resultados integrados permitieron determinar cinco zonas de interés exploratorio.

Palabras Claves: Steam Heated, Alteraciones Hidrotermales, Zona Vadosa, Espectrometría de Reflectancia.

ABASTRAC

The present work of investigation corresponds to a geological study, with emphasis in Hydrothermal Alterations, realized in the south of the province of Parinacochas, Department of Ayacucho, denominated Hill Runtus. On the surface this leaflet presents evidence of a steam heated zone associated with a deposit type Sulfato-acid, these layers are usually sterile, however there are several factors that provide evidence of mineralization in depth, such as several Projects in South America that through certain characteristics and specific studies we can determine in-depth mineralization such as the Pascua Lama case, with which spectral and geochemical data were compared with our work area. 243 hand samples were collected in Runtus and analyzed by reflected light spectrometry, with a previous mapping characterized the alteration as residual alunite-silice and lower proportion of cristobalite, smectite, chlorite and calcite, characteristic of a Steam Heated zone. From the mineralogy of the alteration three types of alteration were identified: argillic, advanced argillic and silicification; The advanced argillic alteration based on their composition and textural characteristics, are defined as zones of steam heated, which is composed of opal / massive silica + - alunite + - kaolinite + - sulfur. The argillic alteration is represented by a zone of kaolinite + - muscovite with silica, finally the silicification corresponds to a caldeconic silica that coincides with the phreatic level that is formed by a zone of massive silica of low temperature, and inferior to these one (With presence of massive silica and / or vuggy in clasts), corroborating the scheme of a steam heated, and that with the integrated results allowed us to determine five areas of exploratory interest.

Key words: Steam heated, Hidrotermal Alterations, Vadose Zone, Reflectance spectrometry

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El término steam heated fue introducido por Buchanan (1981), como evidencia de ebullición en depósitos Epitermales que incluían blankets de capas de argílico avanzado; posteriormente el término fue usado y cobrando mayor interés por Hedenquist, quien lo describía como zonas calentadas por vapor, asociados a mineralización de Au y Ag en profundidad, (Hedenquist, Bissig y otros 2000), aunque no siempre sea el caso.

En el Perú son pocos aquellos sistemas completos e intactos que albergan mineralización y que presentan esta capa calentada por vapor en la superficie, sin embargo ello si es prueba y evidencia de una fuerte actividad hidrotermal en profundidad.

La determinación de las características asociadas a estas zonas, se ve ampliamente reflejada en otros depósitos en la Región Sur de Sudamérica, tales como Pascua Lama, Veladero, en Chile, Chaquicocha (Yanacocha), en Perú, que son grandes potenciales geológicos en mineralización de Au y Ag, asociados a depósitos de Alta Sulfuración; de ahí nace la importancia de los steam heated, para poder discernir, caracterizar e identificar posibles potenciales geológicos que, por ubicare muchas veces en la parte superior de la zoneación de un modelo de alteración Hidrotermal, nos es un poco dificultoso la presencia de anomalías geoquímicas de metales preciosos en superficie.

Por ello el presente trabajo, se realiza en un sector de la Región Sur de Ayacucho (Cerro Runtus), que presenta evidencias de alteración hidrotermal, que pone en manifiesto las características de un Sistema Completo de Alta Sulfuración preservado; en donde el mayor problema es que por ser una amplia capa estéril, no se ha estudiado a detalle la distribución y zonación de la alteración, además de faltar definir un modelo que explique la relación que presenta la zona steam heated asociado a zonas con alteración argílica avanzada, con ello se brindará un zoneamiento de alteraciones que pueda ser comparado con otros depósitos similares, así como poder determinar en qué nivel de la columna de alteración se encuentra el prospecto, que ayude a definir mejor los trabajos exploratorios, puesto que se considera como Hipótesis que las asociaciones de alteración hidrotermal presentes en este prospecto, representan los niveles someros de un sistema Epitermal de Alta Sulfuración, en que gran parte de la alteración es producto de acidificación de aguas subterráneas, por condensación de vapores provenientes de fluidos hidrotermales que se encuentran asociados a zonas de steam heated.

Todos estos alcances descritos en el párrafo anterior, nos permitirá cumplir con el objetivo principal que es determinar la importancia de las zonas calentadas por vapor (Steam Heated) en los depósitos de Alta sulfuración, tomando como ejemplo un prospecto en el sector sur de Ayacucho denominado cerro Runtus; mediante la elaboración de un mapa de alteraciones y estableciendo las asociaciones minerales presentes.

Por lo que en los siguientes capítulos discutiremos a detalle los trabajos a realizar: Capítulo II: Marco Teórico, que abarca desde los antecedentes existentes en el prospecto denominado inicialmente como Palla Palla, estudiado desde décadas pasadas, y bases teóricas usadas para el desarrollo de la investigación, en el Capítulo III, describiremos los Materiales y Métodos, que incluirá los datos generales del área de trabajo, como ubicación y accesibilidad, así como el contexto regional y local del área, que incluya la geología local, alteración y geología estructural, así como los tratamientos y recolección de datos en campo, que serán analizados mediante terraspec y haciendo uso de herramientas usadas en AMIRA; en el capítulo IV realizaremos el Análisis de los datos de alteración (ensambles) ,

y geoquímica, realizando una comparación y asociando resultados, igualmente compararemos la alteración presente con los diferentes proyectos que se consideran como ejemplo teórico, que asocian mineralización con zonas steam heated, de esta forma en el Capítulo V, estableceremos zonas de mayor interés o targets, según zonas que consideramos de mayor actividad hidrotermal o zonas calientes recomendando realizar trabajos exploratorios de fases de muestreo y mapeo a detalle.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel mundial, existen numerosos trabajos relacionando los depósitos Epitermales, principalmente los de Alta Sulfuración con las capas estériles de la parte superficial denominada steam heated, tales como:

Hedenquist (2000 y 2011) - En su publicación Exploration for Epithermal Gold Deposits, hace incapié, en base a publicaciones de Lindgren (1933, p452), que la depositación mineral ocurre por el proceso de ebullición, que es el proceso más común para la depositación , este proceso lleva consigo con el rápido enfriamiento tiene caracteres típicas como la depositación mineral de ganga como cuarzo (depósitos de Baja Sulfuración) y la formación de steam heated que crea una alteración argílica avanzada (principalmente depósitos de alta sulfuración).

AMIRA (2014) - La empresa dedicada a la investigación y solución de trabajos de Exploración Geológica a nivel mundial, en los proyectos P765, P 765^a, junto con el proyecto P1060 (CODES 2015), realizado por un equipo de Geólogos de describen trabajos para exploración en Lithocaps, o zonas estériles, definiendo la importancia de las zonas calentadas por vapor (Steam Heated) y/o, zonas de sílice granular, enfocándose en la geoquímica, Mineralogía, geoquímica mineral, y las características texturales, ya que su presencia indica un posible potencial de

Depósitos de Alta Sulfuración y/o pórfidos, a través del estudio de alunitas, minerales verdes, y geoquímica ICP de rocas.

Cooke (2015)- Describe que el descubrimiento de Pascua Lama, realizado por Barrick Corporation, es un depósito Epitermal de Alta Sulfuración, con 18moz. De Au, ubicado en el Límite de Argentina y Chile, en el que la mineralización es controlada por fracturas verticales, relacionada muy estrechamente con una gran capa de alteración Steam Heated, conformada por Cuarzo, Caolinita, Allunita marginal.

Troncoso Tesis (2013)- Geología del sector Quebrada Pantanillo: Discusión sobre la alteración Hidrotermal con énfasis en la zona Steam Heated, realiza un zoneamiento y modelamiento de alteraciones Hidrotermales, estableciendo la presencia de la zona Steam Heated, asociado a valores anómalos de Elementos volátiles, los mismos que se vinculan con un posible potencial Económico de Au-Ag en profundidad.

Acosta (2009)- Para un trabajo del INGEMMET, realiza un estudio de los volcánicos Cenozoicos del sur del Perú y su relación con la Metalogenia, y depósitos Epitermales de Oro y Plata en la Cordillera Occidental del Sur del Perú (Arequipa-Ayacucho-Huancavelica), definiendo un dominio geotectónico Puquio Caylloma, formado por tres franjas metalogenéticas de Yacimientos Epitermales de Alta y Baja Sulfuración del Oligoceno-Mioceno y Mio-Pleistoceno. Además en dicho informe presenta resultados de Depósitos epitermales que incluyen al Prospecto tratado en el presente trabajo, denominado Palla Palla, definiéndolo como un depósito de Alta Sulfuración de Au-Ag-Cu-Zn asociado a cuerpos en lavas andesíticas, tobas y areniscas tobáceas.

ACOSTA (2011)- Para un trabajo de INGEMMET, produce una Memoria sobre la Geología Económica de la Región Ayacucho, proporcionando datos de las formaciones en un marco Regional del Área de Trabajo, y definiendo a Palla Palla (incluye Cerro Runtus) un prospecto con mineralización asociada a vetas, con un

control estructural principal N60E y N40-50W, hospedadas en rocas de volcánicos Tacaza, y con alteración predominante de Argilización y Sílice Oquerosa.

Inca (2000)- Realizan un reconocimiento del área de Interés, denominado Palla Palla, definiéndolo como un estratovolcán reciente, formado por secuencias de lavas andesíticas como una edad de 1.5-2.6 Ma (Vidal et. Al, 1989), asociando la mena con sulfosales de Plata (pirargirita-Propustita) plata nativa y acantita, definiéndolo como un prospecto del tipo Epitemal de Plata de Alta Sulfuración, relacionado a un Sistema Volcánico Efusivo de fuente volcánico – magmática, desarrollado a partir de un vulcanismo intracontinental de margen activo.

ASC Perú (2007)- Realiza un Programa de Perforación, en áreas aledañas a la zona de trabajo, buscando vetas asociadas a mineralización de Ag, sin embargo los resultados no fueron lo suficientemente justificables para continuar los trabajos.

SILEX Perú (2009)- Realiza trabajos en el área de cartografiado y perforación en áreas aledañas y en mismo Cerro Runtus, el objetivo principal, siempre fue la búsqueda de vetas asociadas a mineralización de Ag y Au, los resultados no fueron alentadores.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Definición y clasificación de Depósitos Epitermales

Los Depósitos Epitermales fueron inicialmente definidos por primera vez por Lindgren (1922), en base a sus características de mineralogía - alteración del mineral, y en base a las texturas y alteración del mineral, hospedando principalmente mineralización de Au-Ag y metales base (tabla 1). Lindgren estima una profundidad alrededor de 1km, y rangos de temperatura entre 50 -200 °C, basada en la reconstrucción geológica.

Si bien esta definición es ampliamente aceptada, no es demasiado rigurosa, he ido modificando con el paso del tiempo, sin embargo, la gran mayoría de autores coinciden en la existencia de 2 tipos de Depósitos Epitermales: Los de Alta y Baja Sulfuración.

En los depósitos Epitermales de Alta Sulfuración el azufre se presenta como S^{4+} en forma de SO_2 (oxidado); mientras que en los depósitos de baja Sulfuración como S^{2+} en forma de H_2S (reducido) (Hedenquist, 1987 y Sillitoe y Hedenquist, 2003). El término Sulfuración Intermedia se ha incluido recientemente para referirse a un subgrupo de los depósitos de Baja Sulfuración que presenta asociaciones minerales específicas. (Hedenquist, 2000).

Una de las características de los depósitos Epitermales es la común asociación temporal y espacial con actividad volcánica reciente, en donde la creciente permeabilidad producida por la lixiviación resalta los canales por donde los fluidos migran, mientras que otra característica importante de estos depósitos, es que la ebullición ocurre en la parte alta de la pluma hidrotermal cuando interactúa con agua meteórica, dependiendo de salinidad, contenido de gases y régimen estructural.

En lo que respecta a la mineralogía, los depósitos de alta sulfuración contienen pirita-enargita-luzonita-covelita, mientras que los de baja sulfuración contienen pirita-pirrotita, arsenopirita, y altos contenidos de esfalerita rica en Fe, a excepción del subgrupo de Sulfuración Intermedia donde presenta pirita – tetrahedrita/tenantita – calcopirita, con esfalerita pobre en Fe y contenidos mayores de metales base (Sillitoe y Hedenquist 2003).

Geothermal (dominado por ph neutral y fluido reducido hipógeno)	Volcánico -Hidrotermal (dominado por fluido hipógeno temprano y oxidado)	Referencias
<p>Veta Au-qz en andesita y riolita Ag-Au, Ag, Au-Te, y vetas de Au-Se, metales base con vetas de Au, Ag, cinabrio, Estibina</p> <p>Hot Spring</p> <p>Adularia-Sericita</p> <p>Bajo Sulfuro</p> <p>Baja Sulfuración</p> <p>Adularia-Sericita</p>	<p>Tipo Goldfield</p> <p>Au-Alunita</p> <p>Enargita Au</p> <p>Acido Sulfato</p> <p>Alto Sulfuro</p> <p>Alta Sulfuración</p> <p>Alunita-Kaolinita</p> <p>Litocaps de cuarzo-alunita</p>	<p>Ransome, 1909, Bethke, 1984 Lindgre, 1922, 1933</p> <p>Ashley, 1982 Giles y Nelson, 1982 Heald et al., 1987 Bonham, 1986 Hedenquist, 1987 Berger y Henley, 1989</p> <p>Sillitoe, 1995^a</p>

Tabla 1. Nomenclatura alternativa por los dos principales ambientes Epitermales y correspondencia para entender la Actividad Geotermal (Hedenquist, 2000).

2.2.2 Relación entre Magmatismo y Sistemas Epitermales

Existiría una relación genética y temporal entre los depósitos Epitermales y los procesos magmáticos, en esta relación los sistemas Epitermales se formarían a partir de fluidos magmáticos originados en cuerpos intrusivos que se emplazan a poca profundidad. En el caso de los depósitos de alta sulfuración son considerados como una expresión superficial de cuerpos magmáticos en consolidación y se

desarrollarían muy cercanos a la fuente hidrotermal magmática. En estos yacimientos la diferencia de edad entre las rocas ígneas y la mineralización asociada genéticamente se encuentra entre los 0.3 y 2 Ma. (Hedenquist y otros 2003).

La relación espacial, que depende de la variación del estilo del depósito con: la profundidad, composición de roca encajonante y distancia de la intrusión de los pórfidos, también se evidencia en la visión tradicional de los footprint delineados por cambios químicos y mineralógicos causados por la interacción fluido-roca alrededor del depósito. Tener en cuenta que aunque se sabe que los depósitos de pórfidos de Cu tienen algunas huellas más grandes, sus halos de alteración solo son detectables en el depósito a escala de campo (Campbell, 2014).

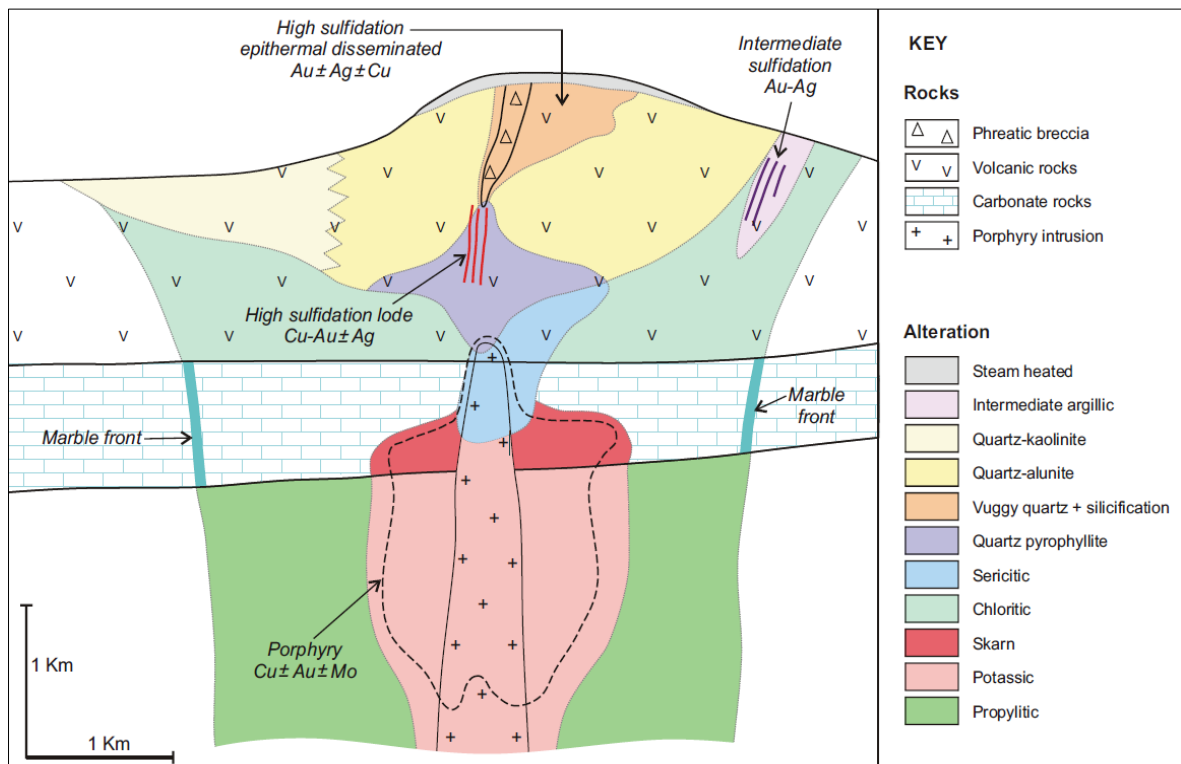


Figura 01: Relación de Alteración de Pórfidos y Epitermales: ejemplo de un modelo de depósito mostrando relación entre pórfido de Cu+- Au+- Mo, tipos de depósitos epitermales y vetas laterales de skarn-Modificado de Sillitoe. (2012).

2.2.3 Depósitos de Alta Sulfuración

Los depósitos de alta sulfuración (o ácido Sulfato) son formados a partir de soluciones ácidas, intermedia a baja salinidad y fluidos oxidados (SO_4) como especie dominante (Kousmanov, 2015).

Los depósitos de Alta Sulfuración, presentan un estilo de depositación transicional entre la superficie y desgasificación del intrusivo superficial, en lugares asociados a depósitos tipo pórfidos. El cuerpo de mineral comúnmente está localizados muy proximal a ventanas volcánicas y son alojados por conductos estructurales o litologías permeables.

En los trabajos de Arribas (1995), resume el trabajo de 43 depósitos de alta Sulfuración. Estos depósitos se encuentran entre los tamaños de: 55 Moz de oro en Yanacocha, hacia pequeños de 0.3 Moz (e.g. Kasuga, Japon y Rodalquilar), la mayoría comúnmente asociado a domos, mientras que otro pequeño grupo asociado a brechas.

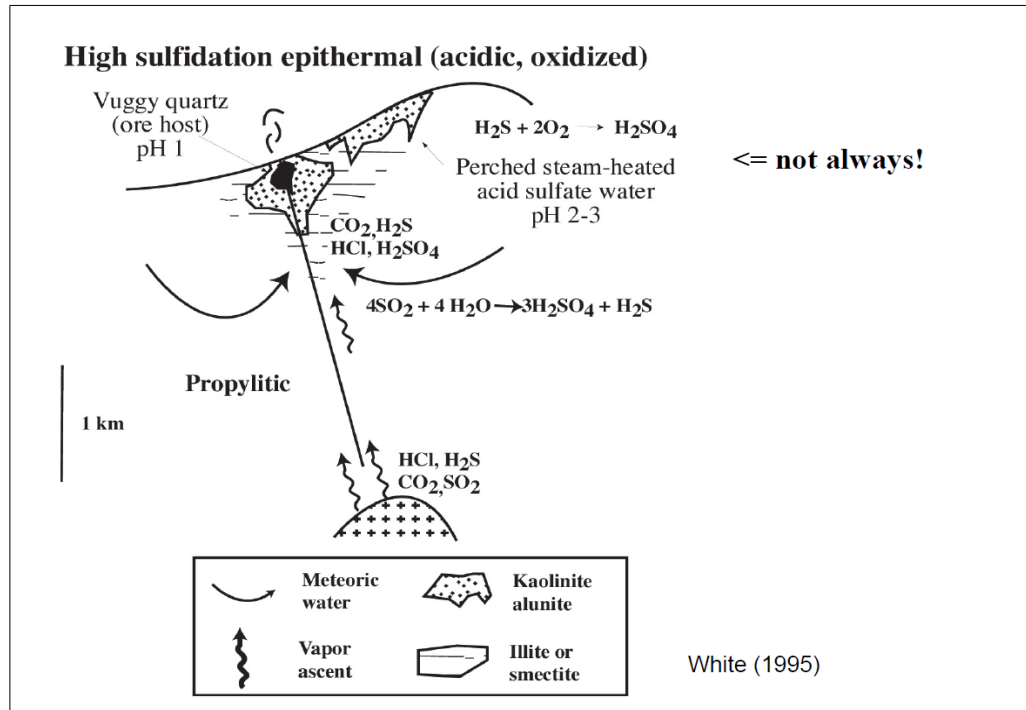


Figura 02: Representación de los Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración (Kousmanov, 2015).

Así mismo este tipo de depósitos son muy bien preservados en los arcos volcánicos del Circum Pacífico del Cenozoico, asociados casi siempre a depósitos tipo pórfido y de Baja sulfuración.

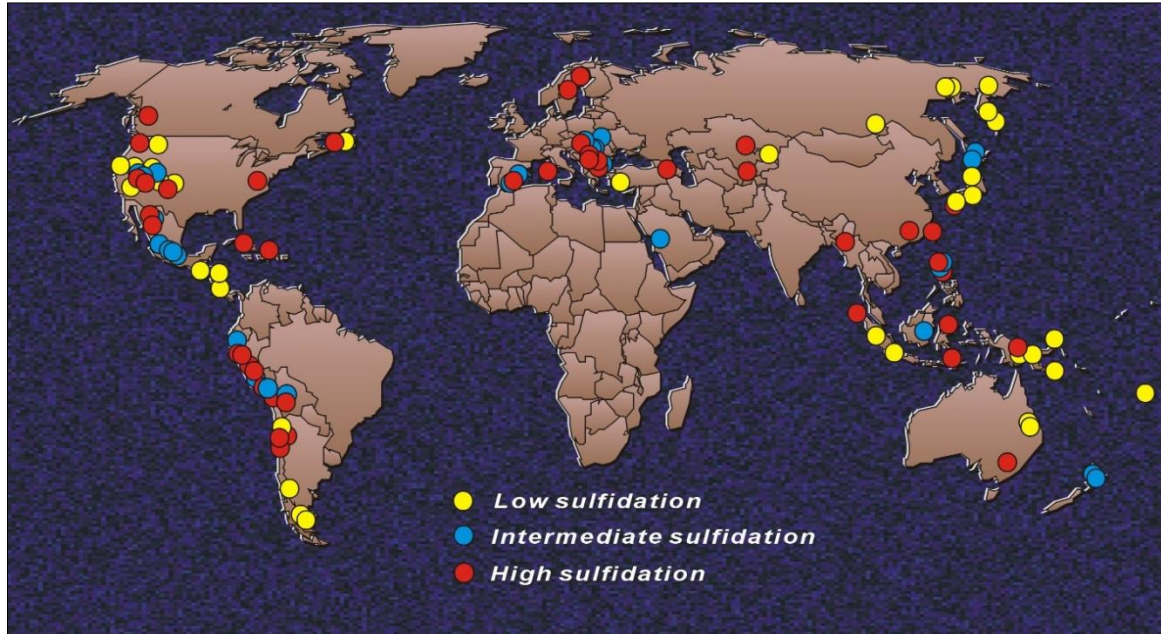


Figura 03: Principales Depósitos Epitermales Distribuidos en el Circum Pacífico (Arribas, 2000).

La principal roca hospedante de los depósitos de alta sulfuración es variable. Rocas volcánicas andesitas y dacitas, y flujos de brechas, hospedan gran parte de 16 de los 43 revisados por Sillitoe (1999) (Hedenquist, 2000).

2.2.3.1 Forma

La forma de los depósitos de alta sulfuración varía desde diseminado hasta remplazamiento de vetas, stockwork, y cuerpos de brechas hidrotermales.

Una de las características comunes de los depósitos de alta sulfuración, es el zoneamiento de la alteración de los halos al cuerpo mineral, este es hospedado en una roca con sílice vuggy con cuarzo recristalizado proveniente de sílice residual.

Fuera de la sílice vuggy, hay una zona de alteración argílica avanzada que consiste en cuarzo-alunita y arcillas del grupo de canditas, incluye a caolinita, nacrita o

dickita, a veces con pirofilita y diásporo. La alteración silíceosa y argílica avanzada es seguida hacia afuera por una alteración argílica compuesta por illita y arcillas interestratificadas, y una zona más exterior de alteración propilítica que incluye clorita.

2.2.3.2 Mineralización

La mineralización de Au en estos depósitos está mayormente asociada a enargita o su polimorfo de menor temperatura, luzonita. El estado de sulfuros de Cu, se forman temprano en la paragénesis, asociado a bajos contenidos de Au, pero cortados por mineralización de Au (e.g., Lepanto, El Indio, Chile). Posterior enargita con oro está asociada con pirita, tenantita, tetraedrita, calcopirita y teluros, estos sulfuros indican un menor grado de sulfuración que la enargita.

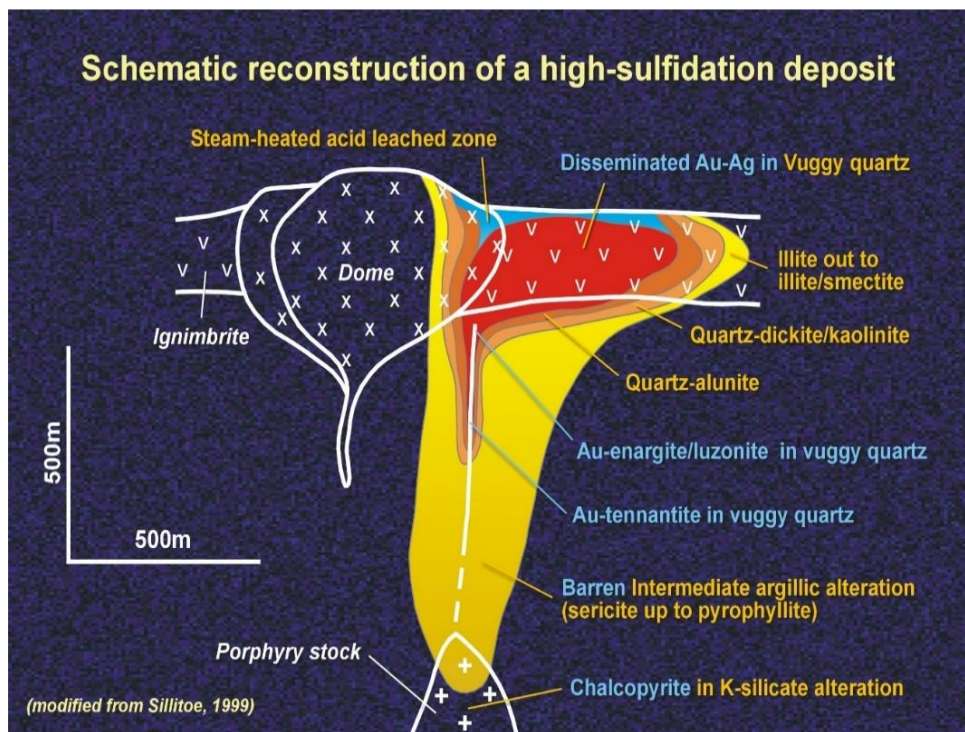


Figura 04: Reconstrucción esquemática de Depósitos de Alta Sulfuración: Alteración y Mineralización.

En la Figura. 04 se puede observar una reconstrucción de los depósitos de Alta Sulfuración, que tienen como fuente una intrusión a profundidad, por lo general, la mineralización tiene que estar afectada por cambios estructurales y de alteración, importante señalar que la presencia de una litología apropiada favorece la diseminación de mineral.

2.2.4 Alteraciones Hidrotermales

Es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido. En efecto, la temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología.

Los fluidos hipógenos ácidos, son generados en el ambiente volcánico- hidrotermal, (Figura 05), lixivian la roca, creando un núcleo residual, comúnmente de sílice vuggy que recristaliza a cuarzo. Estas zonas silíceas tienen formas invariables, del núcleo del halo de alteración argílica avanzada (Figura 06), y el núcleo del fluido puede servir como un acuífero de un subsecuente núcleo del fluido (white 1981).

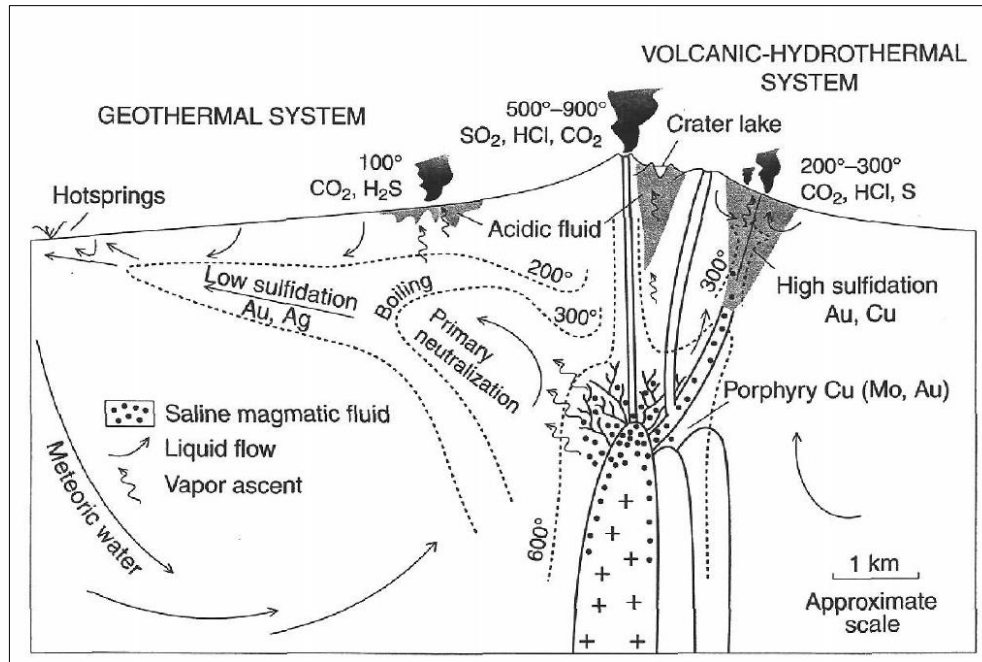


Figura 05: Relación entre depósitos de alta y baja sulfuración, no podemos inferir necesariamente esta relación espacial entre todos los sistemas (Hedenquist y Lowernstern, 1994)

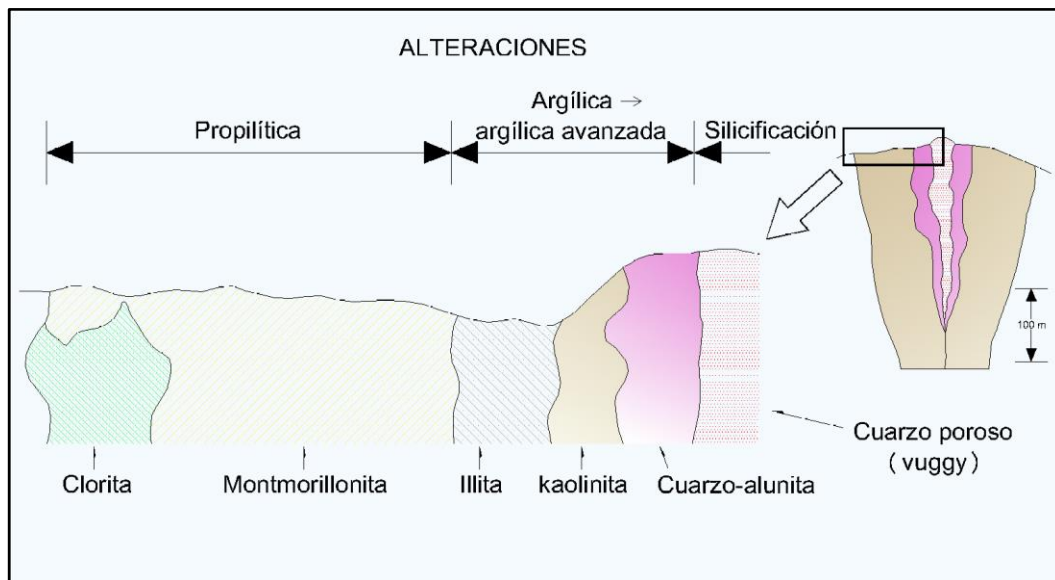


Figura 06: Sección que muestra el cuerpo mineral de una alteración típica de Alta Sulfuración. (Tomado de Corbett, 1998).

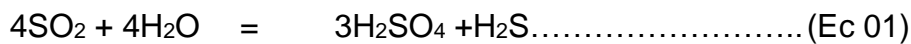
2.2.4.1 Origen de la Alteración Argílica Avanzada

Dentro del ámbito de alteraciones, lo esencial es poder distinguir el origen de la alteración argílica avanzada, bethke (1964), porque esta alteración es producto de diversos procesos, y se presentan en diferentes ambientes y tiene una relación diferente espacial y genéticamente con el potencial mineral.

Bajo condiciones ácidas los feldespatos y minerales máficos pueden ser completamente destruídos, “alteración argílica avanzada”, la destrucción de estos silicatos pueden formar minerales del grupo de las caolinitas (arcillas), alunita $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ y diásporo. En adición, baritina, azufre nativo, topacio, turmalina y otros minerales pueden ser formados lo que caracteriza esta alteración (Kousmanov, 2015).

Según Arribas (1995) existen 3 formas de generar soluciones ácidas con presencia de alunita en un ambiente: condensación hipógena magmática, oxidación steam heated y oxidación supergena.

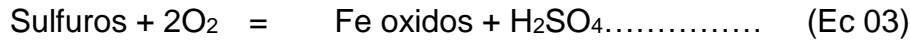
a. **Acidez Hipógena** : Este proceso resulta en el desarrollo de aguas ácidas Hidroclóricas sulfúricas con un pH alrededor de 1, suficientemente ácido para remover la mayoría de componentes, incluyendo el aluminio, dejando una sílice residual (vuggy sílice). La formación de la acidez depende de la absorción de vapores por aguas subterráneas, por lo tanto las zonas silíceas y argílica avanzada tienen un agudo bajo límite coincidente con un acuífero.



b. **Acidez Steam Heated**: En ambos casos: alta y baja sulfuración el H_2S está presente y es oxidado, con oxígeno proveniente de la atmósfera en la zona vadosa. Los vapores volcánicos contienen SO_2 y H_2S , típicamente en moderada concentración (Hedenquist 1995).



c. **Acidez Supérgena**: El tercer ambiente en que se forma soluciones ácidas, es durante la oxidación de minerales de sulfuros:



La alteración supérgena tiene muchos del mismo control de la oxidación de steam heated, desde que ocurre en la zona vadosa y es controlado por la posición del nivel freático. La temperatura varía entre 30-40°C, y en adición a la formación de Kaolinita y alunita, jarosita es común y oxe asociados. Esta acidez generada en el caso de la condensación hipógena genera aguas ácidas con un ph alrededor de 1, lixiviando todos los componentes incluso el aluminio. (Hedenquist, 2000).

A continuación se presenta un resumen de los 3 puntos vistos anteriormente.

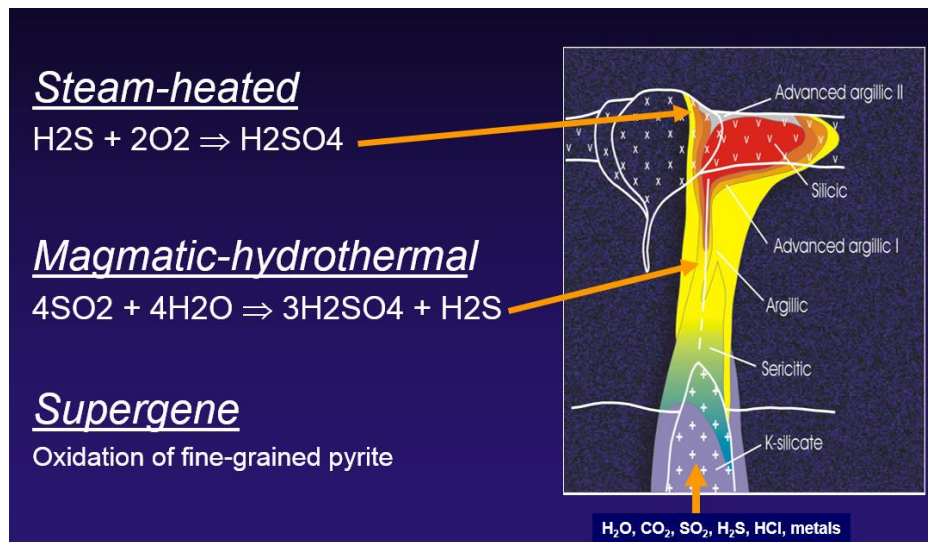


Figura 07: Origen de alteración ácido sulfato (ensamble de argílico avanzado) (Hedenquist 2000).

2.2.4.2 Zonas Steam Heated

a. Definición:

El término Steam Heated, es introducido por Buchanan en 1981 y se refiere a una zona argílica avanzada (alunita, ópalo, caolinita) principalmente que se desarrollan en las partes altas de los sistemas Epitermales de Alta Sulfuración. Este término está relacionado al proceso por el cual las aguas meteóricas son acidificadas, producto de la condensación de vapores, a partir de la ebullición de fluidos hidrotermales en la zona vadosa, Hedenquist (2000). Estas aguas ácidas

sulfatadas se forman por la oxidación atmosférica de H_2S (ecuación 02) con ph entre 2-3 y a temperaturas promedio de $100^\circ C.$ (Shoen, 1974).

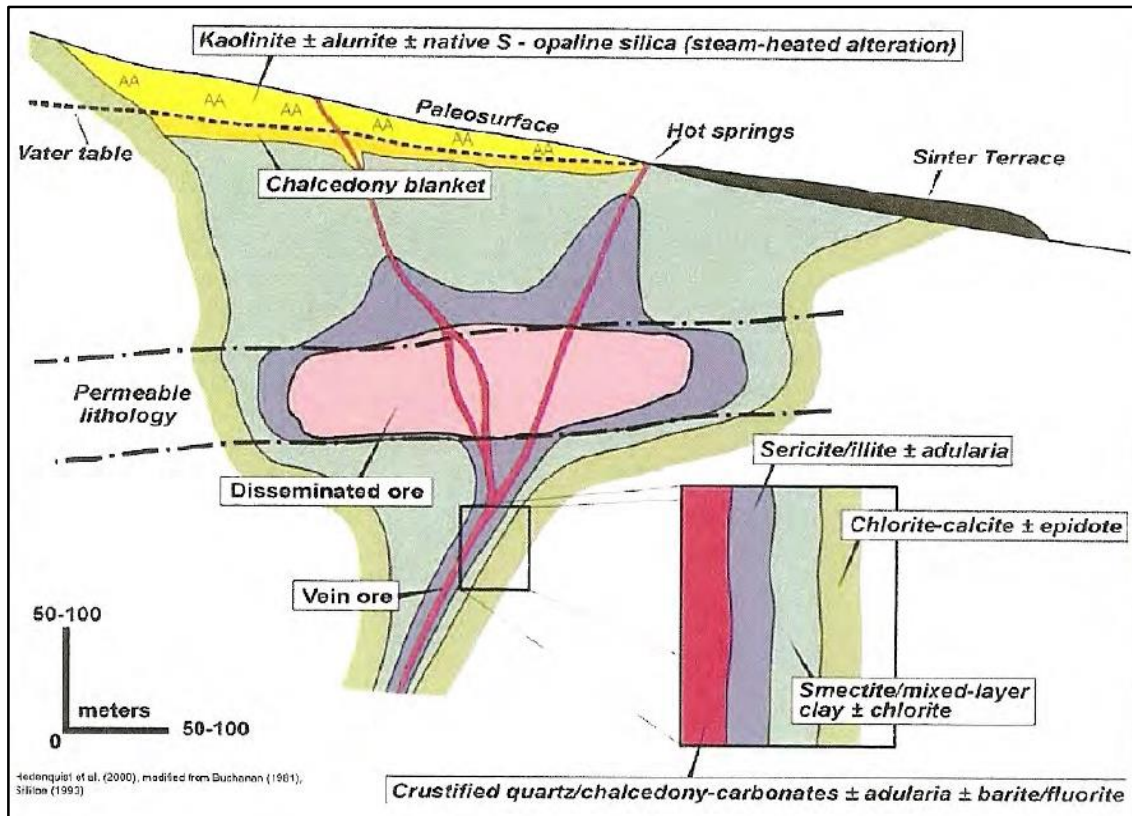


Figura 08: Sección Esquemática que generaliza patrones de alteración en sistemas de alta y baja sulfuración: Se muestra la variable con el incremento de profundidad. (Modificado de Buchanan 1981).

b. Formación Química y Mineralogía:

Un factor importante para el desarrollo de esta zona es el hecho de que esta reacción se produce en la zona vadosa, sobre el nivel freático. Eso es debido a que las aguas subterráneas que circulan a profundidad presentan hasta 10 ppm de O_2 disuelto, lo que indica valor insuficiente para crear sulfatos ácidos. Así, pues, las aguas sulfatadas de steam heated se forman solo en la zona vadosa, esta distribución imita que el nivel freático, forma un blanquet de alteración. (figura 08), sin embargo el nivel de acidez alcanzado por estas soluciones es tan extrema, (alrededor de 2), que los fluidos son capaces de disolver vidrio volcánico y gran

parte de los minerales. A pesar de esto el aluminio tiende a mantenerse insoluble a pH más altos que 2 y se fija en minerales tales como caolinita y Alunita (Sillitoe, 1993). La baja presión y temperatura en la que se genera agua ácida mediante "Steam Heated" no permite el transporte de cloruro de sodio o metales, excepto algunas especies volátiles como mercurio y arsénico. (Hedenquist, 2000)

Por lo tanto los ensamblajes originados mediante este proceso no manifiesta anomalías metálicas, excepto cuando existe una superposición en una zona mineralizada, que se puede evidenciar mediante ligeras anomalías en conductos o "feeders", afectados por un control estructural y/o litológico que provienen de partes inferiores y están asociados con mineralización, difícilmente los niveles de Steam Heated suelen contener mineralización económica.

Las zonas de vapor que desarrollan esta zona (zona vadosa), nivel anaeróbico, se forma por la oxidación del ácido Sulfhídrico, y muchas veces forman parte de un lithocap, solo que esta zona pertenece a el área oxidada y no sería hipógenos

2.2.4.3 Alteración silíceea

La sílice (SiO_2), es un mineral estable en fluidos de $\text{pH} < 1$ (Stoffregen, 1987). Sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en la parte superficial de un sistema hidrotermal, típicamente a temperaturas $< 100^\circ\text{C}$. El cuarzo está presente a temperaturas $> 100^\circ\text{C}$ pero se puede formar sílice amorfa de un fluido a 200°C si este se enfría rápidamente. Calcedonia por lo general se forma entre los rangos de $100\text{-}200^\circ\text{C}$.

- Sílice residual: Denominada también vuggy sílica, es una alteración típica asociada con la alteración argílica avanzada, la formación de sílice residual (por lixiviación de fluidos ácidos en minerales silicatados) no implica silicificación, ya que no hay sílice añadida al sistema.

A continuación se presenta un resumen de los diferentes tipos de alteración silíceea presente en sistemas Epitermales, tanto alta como baja Sulfuración.

Type	Formation	Where?	Significance	Metals	LS or HS
Sinter	From near-neutral pH hot springs	Only at surface	Paleosurface, topographic (hydrologic) depression, focus of upflow	Var. As, Sb, Hg, Tl (Au, Ag if flared vent)	LS only
Residual silica (opaline)	Moderate leaching, pH ~2-3, 80-90% SiO ₂	In vadose zone	Steam-heated origin, above paleowater table	Hg, unless overprint	LS or HS
Chalcedony horizon	Silica remobilized from steam-heated zone; deep fluid may contribute to outflow	At water table, up to 1-2+ km from source	Paleowater table, may be distal from source	Hg if only steam-heated, As, Sb, Au, Ag if deep fluid	LS or HS
Chalcedony veins, colloform bands; cryptocrystalline veins	From low-T fluid, colloids; recrystallized from gel	Shallow depth, <150 m	<200°C, rapidly cooling fluid, boiling at depth; cryptocrystalline at ~200°C	As, Sb, Se, Au, Ag	LS or late HS
Quartz veins, vugs	From cooling solution	>150 m depth	>200°C	Au, Ag, base metals	LS, late HS
Residual silica (vuggy quartz)	Extreme leaching at pH <2, >95% SiO ₂	Core of volcanic-hydrothermal system	Permeable core, principal host to high-sulfidation ore	Barren, or Cu, As, Au, Ag	HS only
Silicification	From cooling water	Surface to 500 m, massive <150 m depth	Shallow portion of system, pervasive flow	Trace Au, Ag	LS, mid to late HS

Tabla 2: Diferentes tipos de Alteración Silíceas (Kousmanov, 2015).

2.2.5 Ensamblajes de Alteraciones Hidrotermales

Denominado como ensamblajes un grupo de minerales que se han formado contemporáneamente bajo soluciones de equilibrio termodinámico, son geoquímicamente significativas por lo que pueden ser usadas para determinar condiciones de formación. Se diferencian de las asociaciones minerales de alteración porque éstas se formaron en diferentes eventos, con variedad de condiciones termodinámicas, entre las principales alteraciones, tenemos:

2.2.5.1. Alunita-Dickita

Ensamblaje que se presenta en rangos de pH de 3-3.5 y temperaturas entre 200-250 °C (Stoffregen, 1987). Es característico en la zona de alteración argílica avanzada.

2.2.5.2. Alunita-Kaolinita

Ensamblaje que se presenta en rangos de pH 3-3.5 y temperaturas de 180-220 °C (Stoffregen, 1987). Se manifiesta generalmente en la transición de los halos de alteración argílica avanzada y argílica.

2.2.5.3. Kaolinita – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

Mineral que se aprecia a pH moderadamente ácido con pH=4. La halloysita (Kaolinita hidratada) se presenta principalmente como producto de la alteración supérgena. La Kaolinita se forma a profundidades someras en condiciones de baja temperatura 150-220 °C (Stoffregen, 1987).

2.2.5.4. Dickita – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

Mineral que se forma en rangos de ph de 3.5-4.5 y temperaturas de 200-250 °C (Stoffregen, 1987).

2.2.5.5. Alteración Propilítica

Se los observa a menudo en las partes distales de los sistemas Epitermales de Alta Sulfuración, se caracteriza por los ensambles de clorita + calcita + epidota, también pueden presentar ensambles de caolinita e illita debido a la alteración supérgena selectiva de las plagioclasas. Los principales agentes de alteración son la hidratación y metasomatismo de CO₂. Los rangos de temperatura y pH de formación son 100-180°C y 5-6.5 respectivamente. (Espinoza, 2008).

Resumen de Alteración hidrotermal formado en ambientes Epitermales		
Alteración	Mineralogía	Ocurrencia y Origen
Propilítico	Cuarzo, feldespato K (adularia), albita, illita, clorita, calcita, epidota,	Desarrollado a >240°C de profundidad en canales de alteración de ambientes epitermales por aguas de ph cerca
Argílico	Illita, esmectita, clorita, arcillas, pirita, calcita, siderita, calcedonia	Desarrollado a <180°C en la periferie y en la superficie del ambiente epitermal, por aguas enriquecidas en vapor
Argílico avanzado (steam heated)	Opalo, alunita, (blanca, de grano fino, pseudocúbica), caolinita, pirita,	Desarrollado a <120°C sobre el nivel freático, y en la superficie, producido por aguas sulfatadas, localmente
Argílico Avanzado (magmático)	Cuarzo, alunita (tabular), dickyta, pirofilita, (diásporo, zunyita)	Desarrollado a >200° con el ambiente epitermal, por aguas ácidas derivadas de una fuente magmática
Argílico Avanzado (Supérgeno)	Alunita, kaolinita, halloysita, jarosita, Oxidos de Fe.	Desarrollado a <40°C producto de la oxidación de rocas

Tabla 3: Resumen de ensambles de alteración Hidrotermal formado en Ambientes Epitermales(Tomado de Hedenquist 2000).

2.2.6 Factores que controlan las Alteraciones Hidrotermales

2.2.6.1. Temperatura

La diferencia de temperatura entre la roca y el fluido que la invade: mientras más caliente es el fluido mejor será el efecto sobre la mineralogía original.

2.2.6.2. Composición del Fluido

Sobre todo el grado de acidez o alcalinidad (pH), el estado de óxido - reducción (rédox), la fugacidad del oxígeno; mientras más ácido es el fluido, mayor será la lixiviación de minerales originales.

2.2.6.3. Permeabilidad de la Roca

Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir fracturamiento hidráulico en las rocas, o permeabilidad secundaria otro factor que genera permeabilidad secundaria son los procesos tectónicos.

2.2.6.4. Duración de la Interacción Agua/ Roca.

Mientras mayor volumen de agua caliente circule por las rocas y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas serán más completas.

2.2.6.5. Composición de la Roca

La proporción de minerales: es relevante para grados menos intensos de alteración, dado que los distintos minerales tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, pero en alteraciones intensas la mineralogía resultante es esencialmente independiente del tipo de roca original.

2.2.6.6. Presión

Controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición del fluido, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales.

Los dos factores iniciales temperatura y composición del fluido hidrotermal son los más importantes para la mineralogía hidrotermal resultante de un proceso de alteración. Esto es relevante porque las asociaciones de minerales

hidrotermales nos dan indicios de las condiciones en que se formaron depósitos minerales de origen hidrotermal.

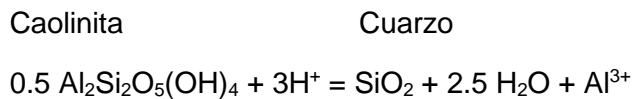
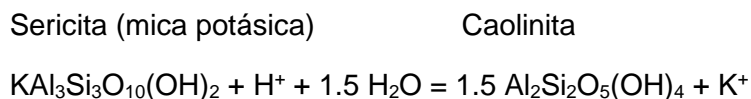
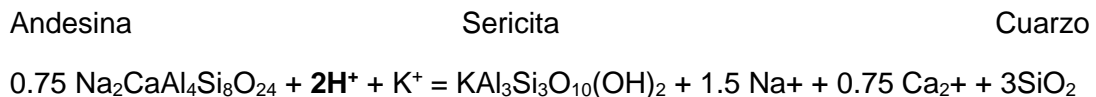
2.2.7 Reacciones de Hidrólisis

La estabilidad de feldespatos, micas y arcillas en procesos de alteración hidrotermal es comúnmente controlada por hidrólisis, en la cual K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , y otros cationes se transfieren de minerales a la solución y el H^+ se incorpora en las fases sólidas remanentes. Esto ha sido denominado metasomatismo de hidrógeno (Hemley and Jones, 1964). La hidrólisis es una reacción de descomposición que involucra la participación de agua. En geología corresponde a la reacción entre minerales silicatados ya sea con agua pura o con una solución acuosa, en la cual los iones H^+ y OH^- son consumidos selectivamente.

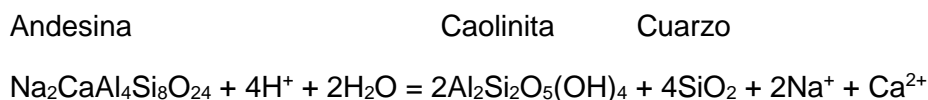


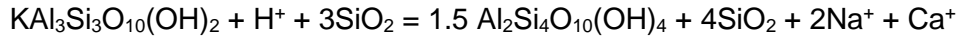
Las reacciones de hidrólisis son muy importantes en los procesos de alteración hidrotermal y algunos tipos de alteraciones son el resultado de distinto grado de hidrólisis de los minerales constituyentes de las rocas.

Ejemplo: Alteración hidrotermal de plagioclasa → sericita → arcillas → cuarzo En términos químicos esto se puede representar por las reacciones siguientes:



Otros ejemplos de hidrólisis:

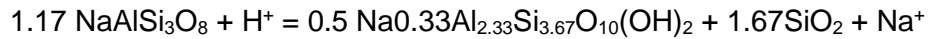




Albita

Motmorillonita-Na

Cuarzo



Todas estas reacciones implican un empobrecimiento en H⁺ en el fluido hidrotermal, consecuentemente un aumento del pH de la solución hidrotermal. Este fenómeno puede neutralizar fluidos ácidos y la neutralización puede resultar en zonaciones de distintos minerales hidrotermales en torno a conductos hidrotermales.

2.2.8 Lithocaps

Los lithocaps son blanquets horizontales a subhorizontales de cuarzo residual y alteración argílica avanzada de origen hipógeno que ocurre sobre intrusiones someras ellos y sus fracturas controlan los feeders, que pueden hospedar depósitos de Alta Sulfuración. Los lithocaps son espacial, temporal y genéticamente asociados a intrusiones, suelen ser de extensas áreas (>20km) Sillitoe (1995) y son resistentes a la erosión, son típicamente prominentes en superficie, por lo que son fáciles de reconocer (Sillitoe, 1995).

En algunos casos estos lithocaps si presentan mineralización, una buena ilustración de ellos es el lithocap de Lepanto que contiene un depósito de alta Sulfuración de Au-Cu, con sus dos distritos Mankayan (4km) y Philippines (2km) de alteración, que provocan mineralización gracias a diques de cuarzo diorita por los que fue activado el fluido.(Hedenquist , 1998). Existen 2 características de la geometría del cuarzo residual y son el halo de argílico avanzado, el tardío dominado por cuarzo-alunita que gradúa hacia afuera en Kaolinita+- dickita, que pueden ser transicional en profundidad con pirofilita y diásporo, las que dependerán en expanderse de acuerdo al tipo de litología presente.

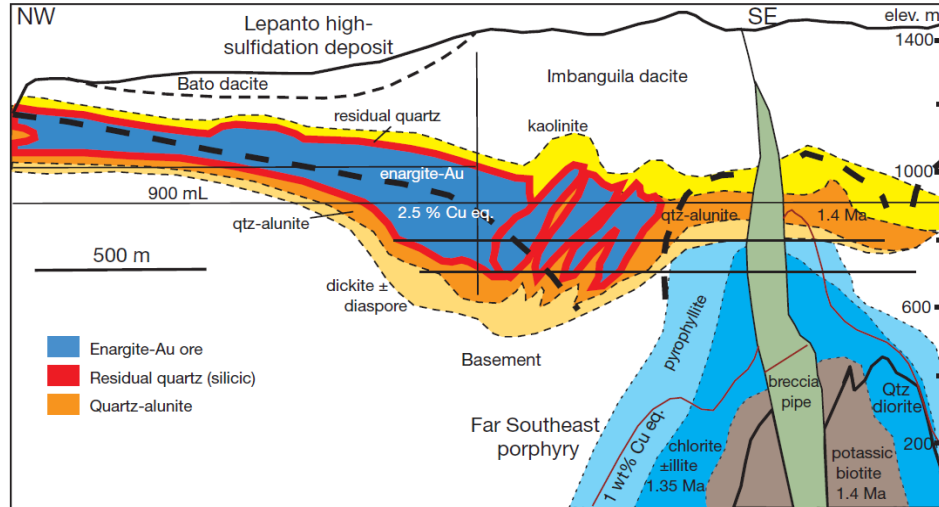


Figura 09: Sección de Lepanto con Mineralización en lithocap (Hedenquist 2013)

2.2.9 Espectroscopía de Reflectancia Aplicada (Terraspec)

La espectrometría de reflectancia es una técnica analítica utilizada desde principios del siglo XX por químicos y mineralogistas para la identificación de ciertos compuestos y minerales.

Se trata de una técnica basada en el estudio del comportamiento de las ondas del campo electromagnético que son emitidas, absorbidas, reflejadas o refractadas por un cuerpo sólido, líquido o gas. Todo cuerpo que sea sometido a efectos de radiación, como un haz de luz, experimenta un fenómeno de reflexión y absorción de energía como se muestra en la figura N° 10, la cual, se manifiesta en forma de ondas electromagnéticas que pueden ser medidas y analizadas en función de su amplitud y longitud, principalmente.

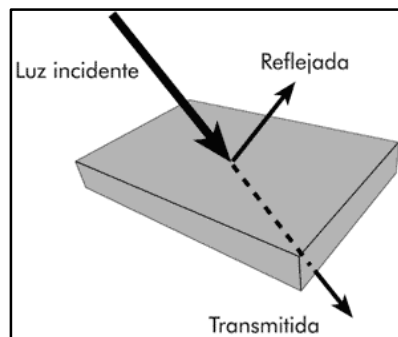


Figura 10: Ilustración de proceso de Absorción y reflexión aplicado en Espectroscopía

El comportamiento de las ondas del campo electromagnético especialmente en las zonas de la luz visible (VIS; 350-740 nm), cercana a la infrarroja (NIR; 740-1300nm) y la infrarroja de onda corta (SWIR; 1300-2500 nm) (Figura N° 11), nos muestra los diversos fenómenos de reflexión y absorción de energía por el que todo cuerpo experimenta al ser sometido a efectos de la radiación.

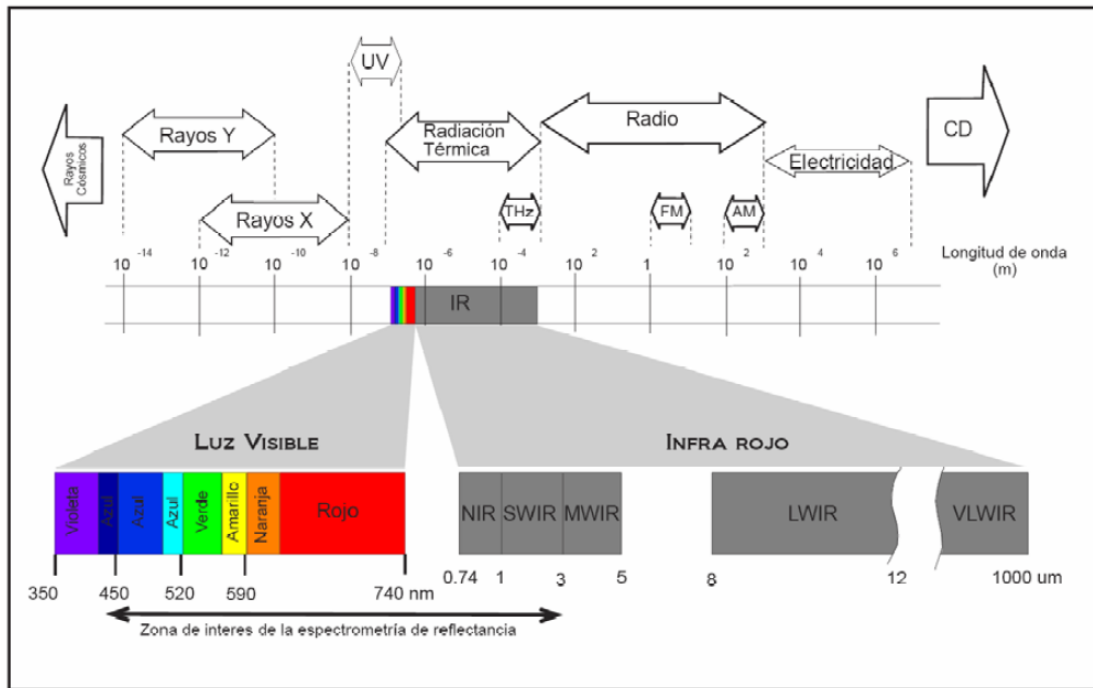


Figura 11: Zonas más importantes del espectro electromagnético, Las de luz visible e infrarrojo (IR), la luz visible, cercana al infrarrojo (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR). Tomado de Paex (2008).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Footprint

Es la huella de alteración hidrotermal en función a un ensamble y dimensionamiento que deja esa alteración, siendo de prueba ello como guía para estudios posteriores, por ejemplo, un pórfido. (Kousmanov, 2015)

2.3.2. Terraspec

Instrumento portátil que estudia el comportamiento de las ondas electromagnéticas de los sólidos, se usa para determinar alteraciones y ensambles de muestras de rocas no húmedas (principalmente arcillas) en base a una firma espectral.

2.3.3. Feeders

Conocidos como conductos (venillas, ledges), producto de una zona de debilidad estructural, por los que la mineralización puede aprovechar en ascender desde niveles profundos, estos feeders por provenir de la parte inferior suelen ser de apariencia brechada con ligero contenido anómalo metálico y/o de volátiles. (Davila J. INGEMMET 2011)

2.3.4. Nivel Freático

Corresponde a nivel de la napa freática, A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica. (Davila J. INGEMMET 2011)

2.3.5. Zona Vadosa

Corresponde a la zona expuesta sobre el nivel freático, representa la zona oxidada en donde se desarrolla el steam heated.(Hedenquist 2000)

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 GEOGRÁFICA

El área de trabajo se encuentra ubicada en el departamento de Ayacucho, hacia el sur, en la provincia de Parinacochas, distrito de Cora Cora, en la comunidad de Negro Mayo, en altitudes que varían entre los 4500 m.s.n.m. y 5000 m.s.n.m. y se encuentra delimitado dentro de los siguientes vértices en coordenadas UTM WGS 84 zona18S:

CORDENADAS DEL ÁREA DE TRABAJO	
Longitud	Latitud
635900	8373100
635900	8371300
637550	8373100
637550	8371300

3.1.2 ACCESIBILIDAD

Se accede al proyecto, siguiendo la Carretera Panamericana Sur, desviándose en la ciudad de Nazca hacia la ciudad de Puquio, para luego dirigirse a la localidad de Negro Mayo. De este punto, se toma un desvío hacia la zona del proyecto. Desde Lima al

proyecto se tiene una distancia estimada en 690 kilómetros aproximadamente, pero existen 2 rutas por las que podemos acceder al área de trabajo como se detalla en la tabla N° 04:

RUTA	Km
Lima-Nazca-Puquio-Negro Mayo	696
Lima-Nazca-Puquio-CoraCora-Prospecto	742

Tabla 4: Distancia aproximada del área de trabajo desde Lima.



Figura 12: Ubicación General de la accesibilidad al área de trabajo

3.2 PROCEDIMIENTOS

3.2.1 METODOLOGIA

3.2.1.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Zona en un sector Sur de la Region Ayacucho (Cerro Runtus) que evidencia alteraciones asociada a depósitos de alta sulfuración con presencia de la zona steam heated.

3.2.1.2 MUESTRA

Muestras de alteraciones, litología, provenientes del área de influencia de estudio.

3.3.1.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

Ensamblajes mineralógicos, texturas de rocas, así como interpretación general de resultados de análisis geoquímicos.

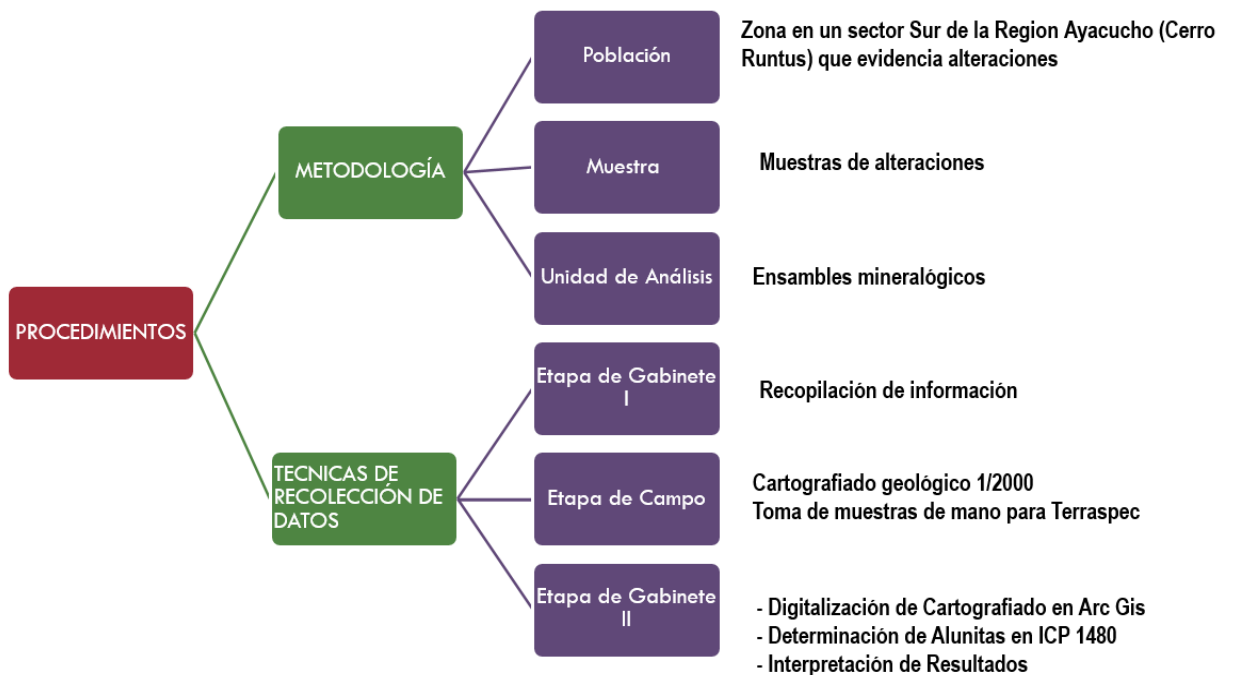


Figura 13: Resumen de los procedimientos a usar (fuente: Propia)

3.2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES (causa)	VARIABLES DEPENDIENTES (efecto)
Tipo de Depósito Epitermal	Depósito de Alta Sulfuración (Steam Heated)
Litología	
Tipo de Alteración	
EH-PH	
Nivel Freático	

Tabla 5: Definición de variables a usar

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas para la recolección de datos son directas de campo a partir de la observación, descripción, recolección de muestras para su posterior procesamiento en laboratorio y gabinete, se trabajará además en base a modelos conceptuales usados en depósitos de alta sulfuración.

3.3.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Etapas de gabinete I

Recopilación de información bibliográfica.: Esta etapa consistirá en la revisión de toda la información existente de trabajos realizados sobre el área de estudio. Se hará una revisión y análisis minucioso sobre las técnicas aplicadas el cartografiado geológico.

Luego se procederá a realizar un análisis de la información obtenida para proceder a realizar una estructuración, diseño, y verificación de cartillas (mapeadores) a usar en campo.

Etapas de Campo

Esta etapa es la más importante en una investigación:

Se realizará un reconocimiento general del área de estudio, procediéndose al cartografiado geológico 1/2000 (litológico, estructural y de alteraciones), poniendo énfasis en la alteración.

La toma de datos de coordenadas se realizará con el GPS(en sistema WGS-84).

Recolección de muestras de mano para posterior procesamiento en terraspec.

Etapas de Gabinete II

Los datos obtenidos en mapeadores, serán digitalizados en ArcGis, así como los resultados de terraspec, serán ploteados en el mismo Programa.

Determinación de alunitas longitud de onda 1480 En base a estudios de Alunitas, (AMIRA), se determinará qué tipo de alunita es la que existe, y cuál es la relación con su distribución espacial presente en la zona vadosa.

Finalmente se interpretará los resultados obtenidos, comparando con otros modelos similares, identificando la presencia de la zona steam heated asociada a depósitos de Alta Sulfuración.

3.4 GEOLOGÍA REGIONAL

El prospecto Denominado en adelante Cerro Runtus, se encuentra en la franja metalogenética Epitermal de Au-Ag del Mio-Pleistoceno que se extiende a lo largo de los andes peruanos. Está controlado por los sistemas de fallas regionales Chíncha – Lluta, Incapuquio, y Condoroma y Caylloma. La mineralización se encuentra en rocas volcánicas de los grupos Tacaza y Barroso (Figura 14). Localmente está controlada por fallas E-O (centros efusivos e hidrotermales) que corresponden a yacimientos Epitermales de Au de alta Sulfuración como Tucari, Santa Rosa (7.16 y 4.64 Ma. respectivamente) Breapampa, Palla Palla Carhuarazo y Minasnioc, depósitos epitermales de Ag en Cacachara y Pavico, y los Proyectos

Masacruz, Baños del Indio. La edad de mineralización de esta franja se encuentra entre los 7 y 1.5 Ma., lo que indica presencia de vulcanismo reciente, con mineralización reciente, que no supera el millón de onzas de Au en Sistemas Epitermales.

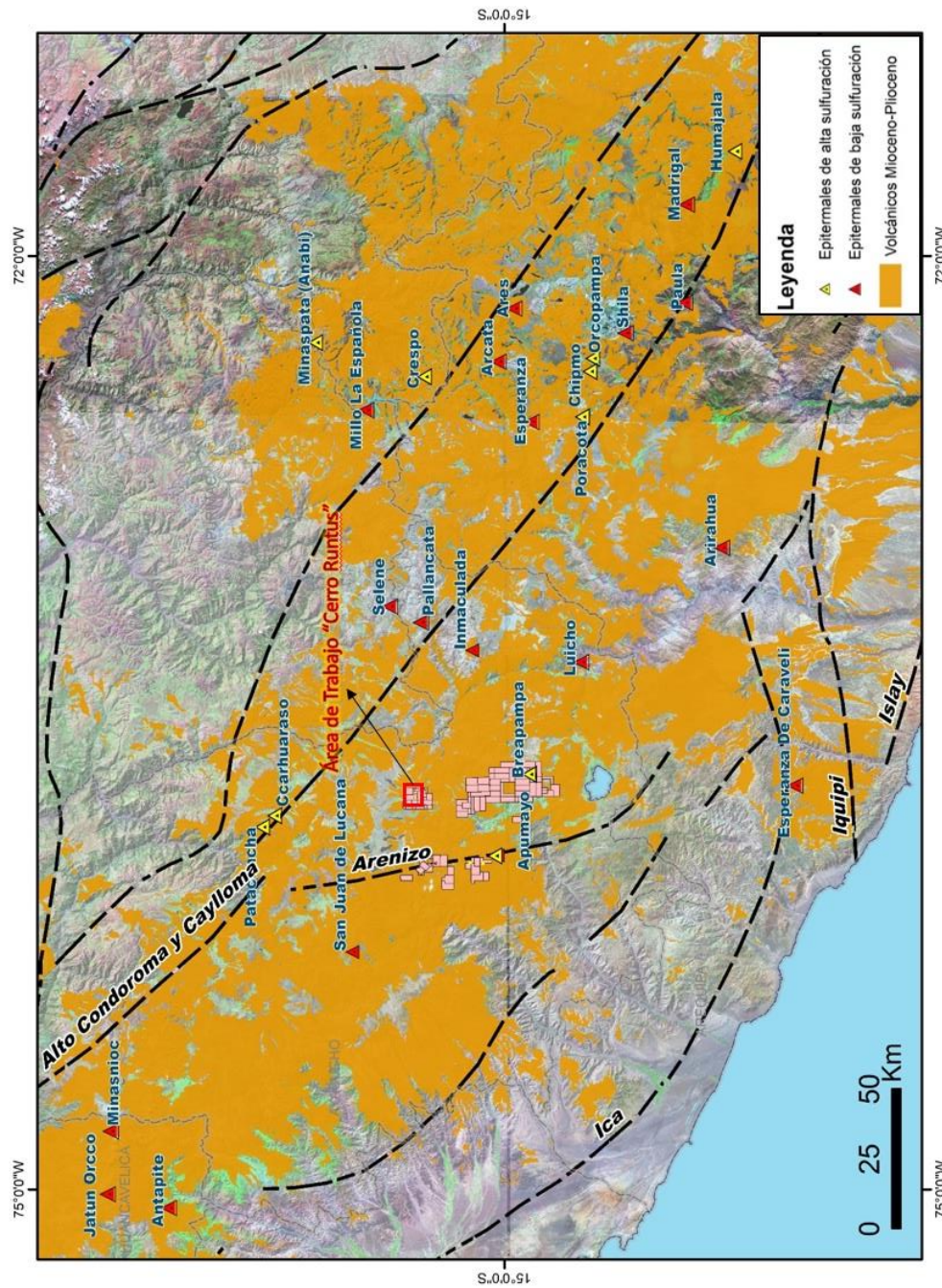


Figura 14: Vulcanismo y control Estructural del MioPlioceno a nivel Regional (Fuente : Área de Exploraciones Regional Buenaventura.)

3.4.1 Unidades Litoestratigráficas

A nivel Distrital las unidades litológicas presentes en el área de trabajo corresponden a secuencias del Paleógeno – Neógeno, correspondiendo principalmente a secuencias volcánicas las mismas que se detallan a continuación (Fuente: INGEMMET).

3.4.1.1 Paleógeno

A. Grupo Tacaza

El término Volcánico Tacaza fue sugerido por Jenks W. (1946) y Newell (1949), posteriores estudios de Marocco R. y Del Pino M. (1966) lo elevan a la categoría de Grupo. Terminología empleada en el sur del Perú para una secuencia volcánica-sedimentaria, que sobreyace en discordancia angular a las secuencia de capas rojas Cretáceo-Terciario siendo cubierto en igual relación por los volcánicos Sencca. Litológicamente consta de lavas grises a andesíticas a riolíticas, intercaladas con sedimentos tobáceos. Por lo tanto al Grupo Tacaza se le considera del Mioceno inferior a medio, teniendo correspondencia con la unidad homónima del sur del Perú. Se le correlaciona con la Formación Castrovirreyna del centro del Perú. En el área de estudio aflora en sectores hacia el SE.

Esta unida representa la fase volcánica que se desarrolló contemporáneamente a los movimientos tectónicos, mayormente con levantamiento epirogenéticos durante el mioceno (Fase Quichuana). Se halla descansando discordantemente sobre la formación Para.

B. Formación Puquio

W. García M. (1974) describe con esta denominación una serie de rocas, mayormente volcánicas con niveles de conglomerados, capas yesíferas y calizas, con intercalaciones de arcillas blanquecinas, se le puede asignar una edad Oligo-Mioceno.

3.4.1.2 Neógeno

A. Formación Alpbamba

Guevara C. y Dávila D. (1983) denominan Formación Alpbamba a una gruesa secuencia de tobas brechoides. Litológicamente está constituida por una gruesa y monótona secuencia de tobas brechoides, riolíticas y dacíticas, blanquecinas a amarillentas, compactas. El grosor de esta unidad es variable, pero se le estima un promedio de 1,000m. La Formación Alpbamba, no tiene fósiles por lo tanto su datación se hace en base a la edad de las unidades infra y suprayacentes, así como con sus relaciones tectónicas, en base a lo cual se considera del Mioceno medio. Esta unidad es correspondiente con el Grupo Palca, y es equivalente con parte del Grupo Pisco de la costa peruana.

B. Formación Anizo

Guevara C. y Dávila D. (1983) reportan esta unidad estratigráfica, de naturaleza sedimentariovolcánica. La Formación Anizo está constituida por intercalaciones de areniscas tobáceas grises a verdosas, con areniscas conglomerádicas cuyos fragmentos subredondeados a subangulares son de tobas o lavas andesíticas; también se observa estratos de tobas blanco-amarillentas. El grosor de esta unidad se estima en 500 m. La Formación Anizo se le considera del Mioceno medio a superior. Esta unidad se le correlaciona con la Formación Ayacucho del centro del Perú y con el Grupo Maure del sur del Perú siendo equivalente con parte del Grupo Pisco de la costa de Ica.

C. Formación Caudalosa

Se describe con este nombre la unidad litológica constituida por aglomerados de composición andesítica y dacítica, tobas brechoides traquiandesíticas y andesíticas. A la Formación Caudalosa se le asigna una edad Mioceno superior-Plioceno inferior. Se correlaciona con la Formación Caudalosa de la región de Huancavelica. Esta es la secuencia que mayormente aflora en nuestra área de estudio, según trabajos del INGEMMET (Figura 15).

D. Grupo Barroso

Fueron reconocidos inicialmente por Wilson (1962), quien la reconoció como un conjunto de rocas volcánicas que edifican la cordillera del barroso. En el presente trabajo se diferencian dos secuencias, una inferior y otra superior.

El volcánico Barroso superior es la unidad más extensa del grupo y cubre gran parte del área de estudio en forma regional; está formado por derrames andesíticos y dacíticos de matriz predominante color gris oscuro a violáceo, la textura es porfirítica de grano medio, se le asigna una edad Plio-pleistocena. corregir



Figura 15: Geología Distrital del área de Trabajo: Vulcanismo Paleógeno-Neógeno, resaltando el centro volcánico Palla Palla. (Fuente INGEMMET).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS		
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos coluviales	Qh-co	Arenas gravas y cantos de 2 a 20 cm. de diam. aprox los materiales sueltos con matriz de arena, limos o arcillas
			Depósitos aluviales	Qh-al	Bloques, gravas arenas y limos no-consolidados
		Pleistoceno	Depósitos fluvio-glaciares	Qpl-fg	Gravas, arenas gruesas a veces tobáceas con limos, con mala selección
			Depósitos morrenicos	Qpl-mo	Bloques, gravas angulosas, arenas y limos ligeramente consolidados
	NEÓGENO	Plioceno	Grupo Barroso		
			Fm. Andamarca	Np-an	Tobas ignimbritas, tobas dacíticas, areniscas tobáceas
		Mioceno	Fm. Caudalosa	Nm-ca	Secuencia de aglomerados composición andesítica y dacítica, tobas brechoides
			Formación Anteo	Nm-an	Arenisca gris violácea a gris verde, intercalaciones tobas retrabajadas horizontales de brecha volcánica y estratos conglomerádicos
			Fm. Alpbamba	Nm-al	Tobas gris verdosas, areniscas tobáceas intercaladas con limoarcillitas verdosas y violáceas
			Fm. Huayllillas	Nm-hu	Tobas ignimbritas, gris rosadas y tobas retrabajadas areniscas tobáceas
PALEÓGENO	Oligoceno	Fm. Puquilo	Nm-puc	Tobas gris verdosas y tobas retrabajadas verdosas, con horizonte calcáreo	
	Paleoceno	Gpo. Tacaza	PN-ta	Flujos andesíticos verdosos, arenisca y limolitas gris violácea, con aglomerados volcánicos	
MESOZOICA	CRETÁCEO		Fm. Arcurquina	Kis-ar	Calizas gris oscura en estratos delgados con venillas de calcita intercaladas con calizas arcillosas

Figura 16: Columna Estratigráfica de la secuencia Litológica a nivel Distrital del área de Trabajo.

3.5 GEOLOGÍA LOCAL

Geológicamente el Prospecto Cerro Runtus es un estratovolcán reciente, formado por una secuencia de lavas andesíticas, riódacíticas y tobas brecha, que se encuentran intercaladas, con una edad de 1.5 a 2.6 Ma (Vidal et al 1,989), el mismo que forma parte del volcanismo cordillerano que afectó al Sur del Perú durante el Plioceno-Pleistoceno, correspondientes a los volcánicos Terciarios Tacaza y Barroso.

3.5.1 Secuencia Inferior

La secuencia inferior correspondería al grupo Tacaza Superior, compuesta por una secuencia intercalada de tobas brechas, tobas finas, tobas de líticos, toba de cristales con secuencias andesíticas de grano medio a fino, las mismas que son poco reconocibles por el nivel de alteración pervasivo presente en la poca presencia de afloramientos presentes en Runtus.

Sin embargo, pese a la alteración que afecta en gran manera a la secuencias aflorantes, si se pudo realizar la reconstrucción de la secuencia presente en el área de trabajo el mismo que se detalla en el plano adjunto (Plano 02).



Foto 01: Vista a detalle de la secuencia de toba de cristales compactado, alterado débilmente y selectivamente a arcillas.

3.5.2 Secuencia Superior

Corresponde a la secuencia perteneciente del Grupo Barroso, aflorante hacia el este del área de trabajo, y hacia sus bordes laterales tanto al oeste como al norte, en general, está compuesta por lavas andesíticas de textura afanítica, con gran contenido máfico, y pirita presente hasta 2%, lavas muy cohesivas, por lo general inalteradas, excepto en el sector donde se encuentra la sílice calcedónica.



Foto 02: Lavas andesíticas de composición máfica con textura afanítica y contenido de pirita perteneciente a la Formación Barroso.



Foto 03: Nivel superior de lavas andesíticas, de textura porfirítica media, con abundante concentración de plagioclasas.

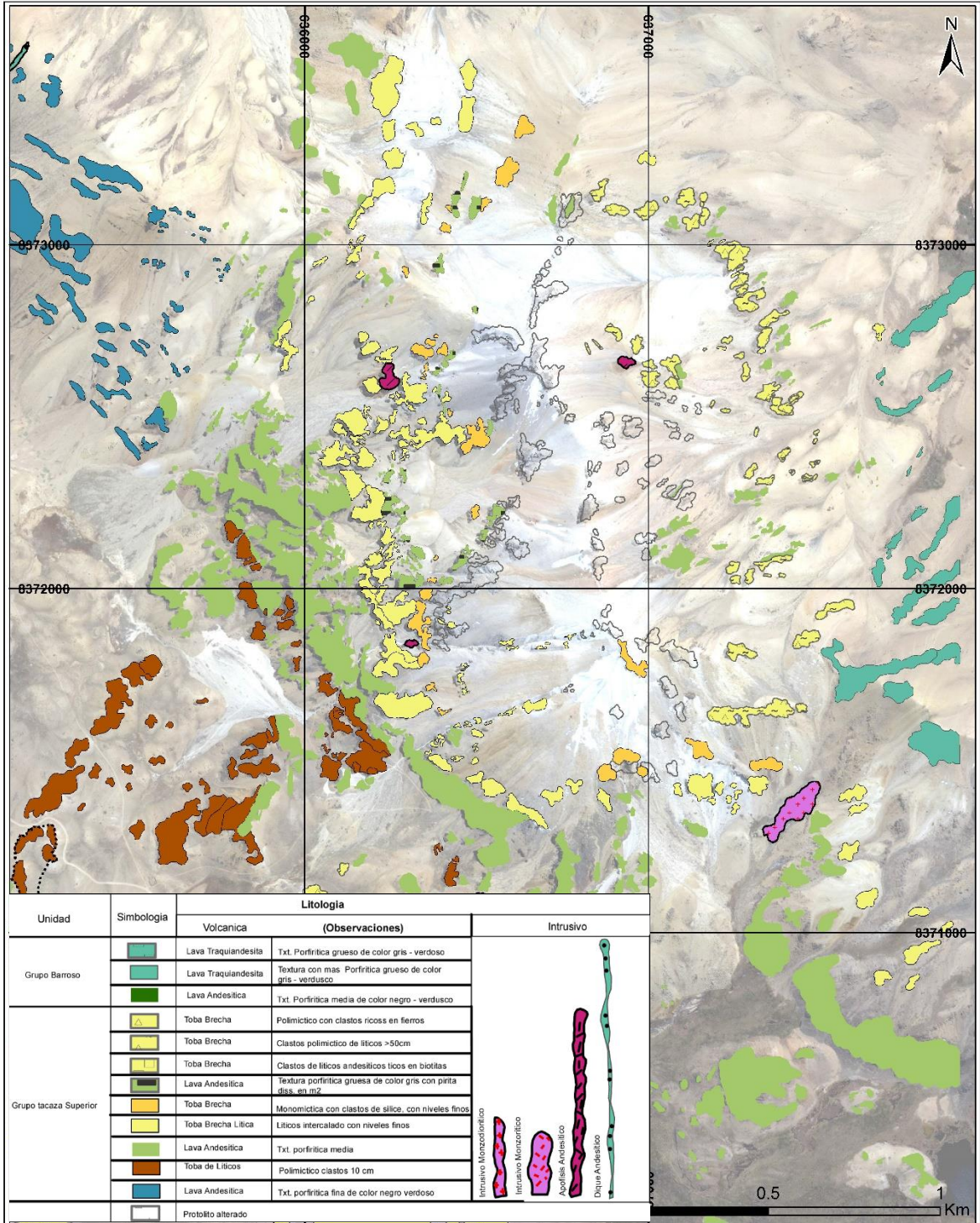


Figura 17: Plano litológico local de Cerro Runtus.

3.6 ESTRUCTURAS

La tectónica que controla la alteración hidrotermal, producto de la compresión ortogonal y posterior relajación, está dominada por la ocurrencia de fallas geológicas de desgarre que siguen la dirección Andina y anti-andina, evidenciando movimientos transcurrentes en sentido sinistral y dextral, posteriormente, se ha evidenciado un evento posterior de relajación que provoca un cambio de régimen en las fallas Andinas, reactivándolas en sentido dextral. Como resultado, se abren un juego de fallas en sentido Norte-Sur con movimiento dextral.

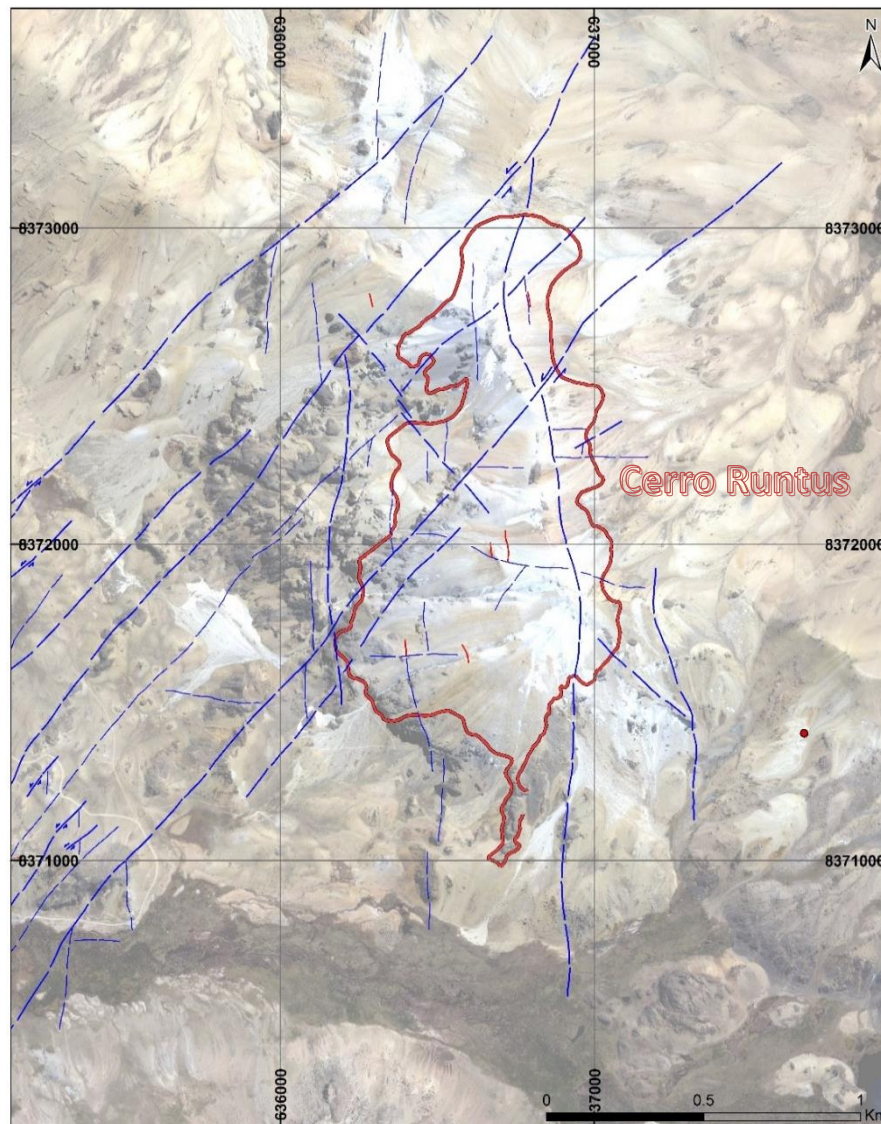


Figura 18: Plano estructural del área de trabajo.

3.7 ALTERACIONES HIDROTERMALES

El relieve topográfico empinado se eleva desde los 4,550 m hasta los 5,050 msnm, a todo lo largo, la extensa alteración hidrotermal, presenta un contorno alargado de 2.5 km de largo por 1.0 km de ancho controlado por fallas y fracturas que se orientan preferentemente de Norte a Sur con buzamientos de bajo ángulo al Este (Plano 03).

En un reconocimiento de campo (mapeo de alteraciones), se evidencia alteraciones características de un sistema sulfato ácido, tales como argílico, argílico avanzado sílice residual, que se encuentran dentro del grupo calentado por vapor, sílice de baja temperatura y silicificación en menor proporción, detallado a continuación:

3.7.1 Alteración Sílice Residual

Caracterizado por la presencia de sílice residual, alunita y caolinita, como una gran capa de alteración sobreimpuesta de esta sílice de textura residual pulverenta, producto de una lixiviación bastante ácida.



Foto 04: Vista de roca alterada a sílice residual y arcillas (caolinita y alunita).

3.7.2 Sílice calcedónica:

Presente en los bordes inferiores de la alteración argílica avanzada, en algunos casos estos crestones de sílice de baja temperatura se encuentran brechados, afectando principalmente a niveles de lavas, la presencia de niveles brechados masivos gris-pardo amarillentos está conformados por generaciones de esta cuarzo calcedónico, como se puede observar en la imagen debajo del nivel de sílice residual.

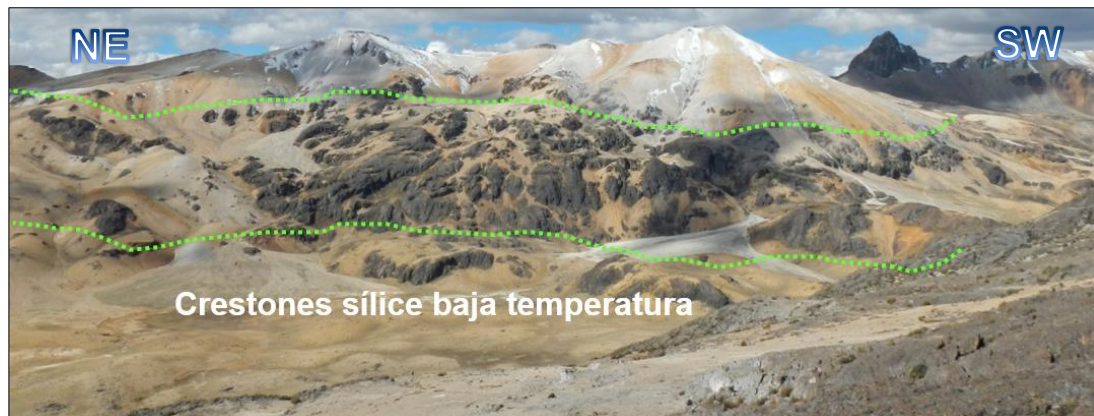


Foto 05: Vista de Cerro Runtus con presencia de nivel de sílice calcedónica.



Foto 06: Muestra de sílice calcedónica brechada con óxidos.

3.7.3 Argílica Avanzada:

Presente en la parte superficial superior del afloramiento de runtus, se observa alunita en muestras de mano asociado a sílice pulvurenta residual, en un contenido mayor al 20 %, el mismo que se muestra en el plano adjunto (Plano 03).



Foto 07: Muestra de mano de alunita + sílice residual pulvurenta, asociadas a canditas.

3.8 ALTERACIÓN CALENTADA POR VAPOR (STEAM HEATED) CERRO RUNTUS

3.8.1 Malla de muestreo

Para la determinación de la alteración presente en los niveles someros aflorantes, fue necesario recurrir al apoyo de un espectómetro, que facilita la identificación de minerales no visibles a simple vista.

El presente trabajo se desarrolló con la extracción de 241 muestras tomadas a lo largo de líneas ubicadas sistemáticas ubicadas a lo largo de la alteración, espaciadas cada 50 en la horizontal y 200 metros en vertical, teniendo la siguiente malla.



Figura 19: Distribución de las muestras de mano para análisis terraspec.

3.8.2 Procedimiento

Para este estudio se usó el espectrómetro Portátil Terraspec para analizar las muestras de terreno, usando rasgos de absorción denominado como valles o picos, para lo que se estudió. Los espectros de referencia se analizan mediante el specmin y validado con el TSG.

A continuación se detalla el proceso a seguir

1. Extracción de muestras que contengan arcillas
2. Secadas al sol, durante un día, para que no se vea afectada por el contenido de agua, para posterior análisis vía terraspec.
3. Calibración de equipo antes de su uso.
4. Toma de 2 lecturas por cada muestra mediante el programa View Spec Pro
5. Análisis e interpretación de espectros mediante comparación con base de datos del Programa Specmin.
6. Agrupación de espectros y construcción de tabla de datos por muestra estableciendo su abundancia.
7. Definición de asociaciones de alteración e identificación de zonas de interés.

3.8.3 Interpretación y agrupación de espectros

Los resultados obtenidos de los análisis vía Espectrómetro Portátil (TERRASPEC) fueron agrupados de acuerdo a la firma espectral característica repetitiva, que permitía agruparlos de acuerdo a la mineralogía dominante en ciertos sectores, y con la ayuda de una lectura para cada muestra (Anexo: Tabla I), es que se pudo realizar con mayor determinación la agrupación de ciertos minerales para asociarlos como ensambles, o grupos característicos presentes, de tal forma que se tiene lo siguiente:

a. Grupo 1:

Este grupo se caracteriza por la presencia de alunita K y Alunita Na, con rasgos de absorción muy típicos. En la región 1400 los dos mínimos se extienden de 1425 a 1439 y de 1478 a 1495. El mínimo de más alta longitud de onda es más relevante y se puede usar para diferenciar entre los “extremos”, el potasio (1478-1486) y el sodio en (1485-1495). La presencia de agua es nula o nada, ya que el agua se la detecta en la región 1900.

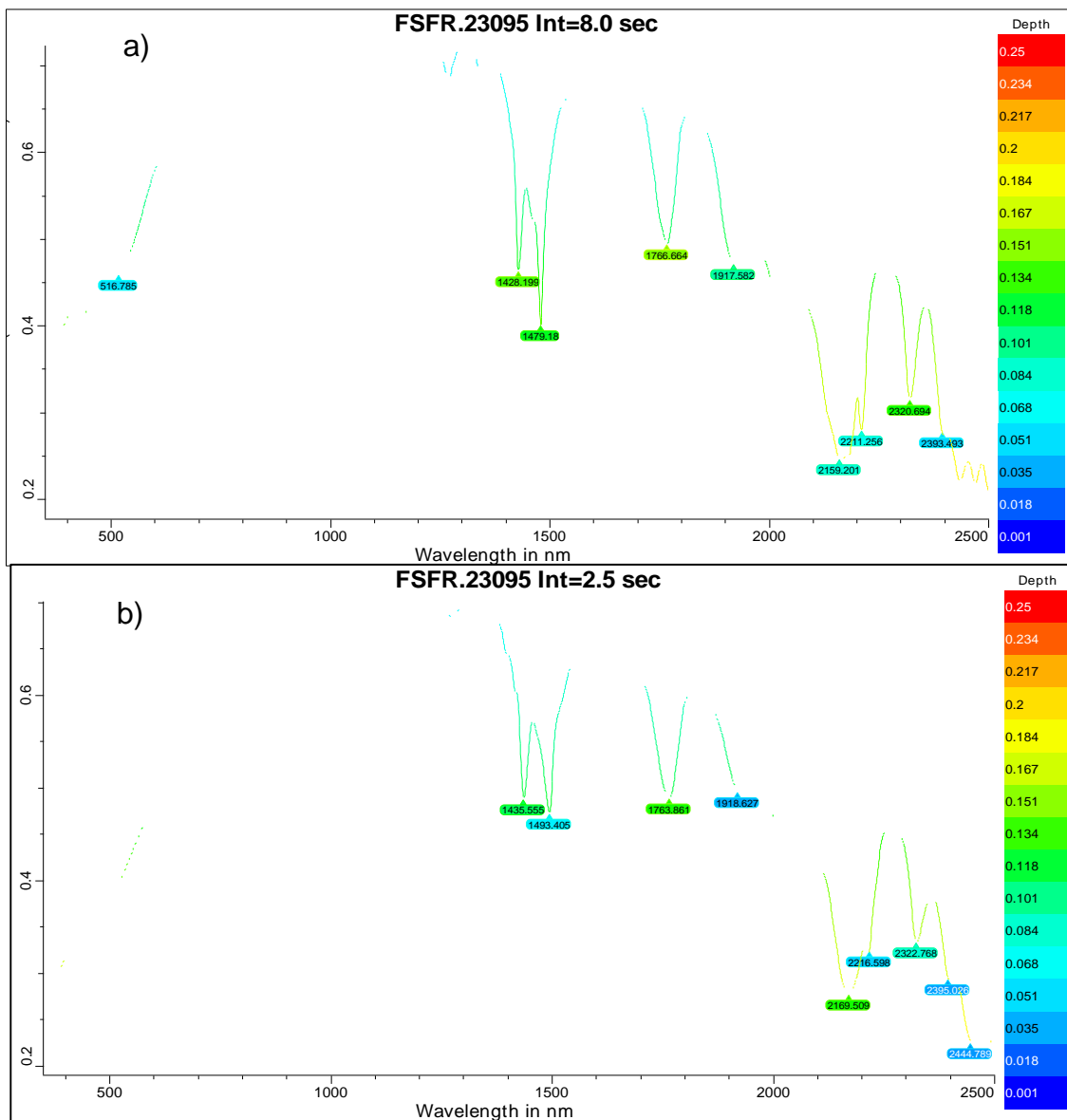


Figura 20: Espectro del Grupo 1. a) Presencia de espectro de Alunita K con el valle más profundo en 1479; b) Espectro clásico de alunita Na, con el valle más agudo de 1483.

b. Grupo 2:

Caracterizado por la abundante presencia de caolinita y dickita, asociado a alunitas potásicas, mientras que la dickita está caracterizada por valles dobles (al igual que la alunita), pero en las regiones de 1378 – 1786 nm, mientras que las caolinitas también rasgos de absorción dobles, estos ocurren entre la longitud de 1392 y 1402 nm, si el rasgo se acerca a los 1380 indicaría una mezcla con dickita, asociado en algunos casos con alunita potásica (Fig. 21)

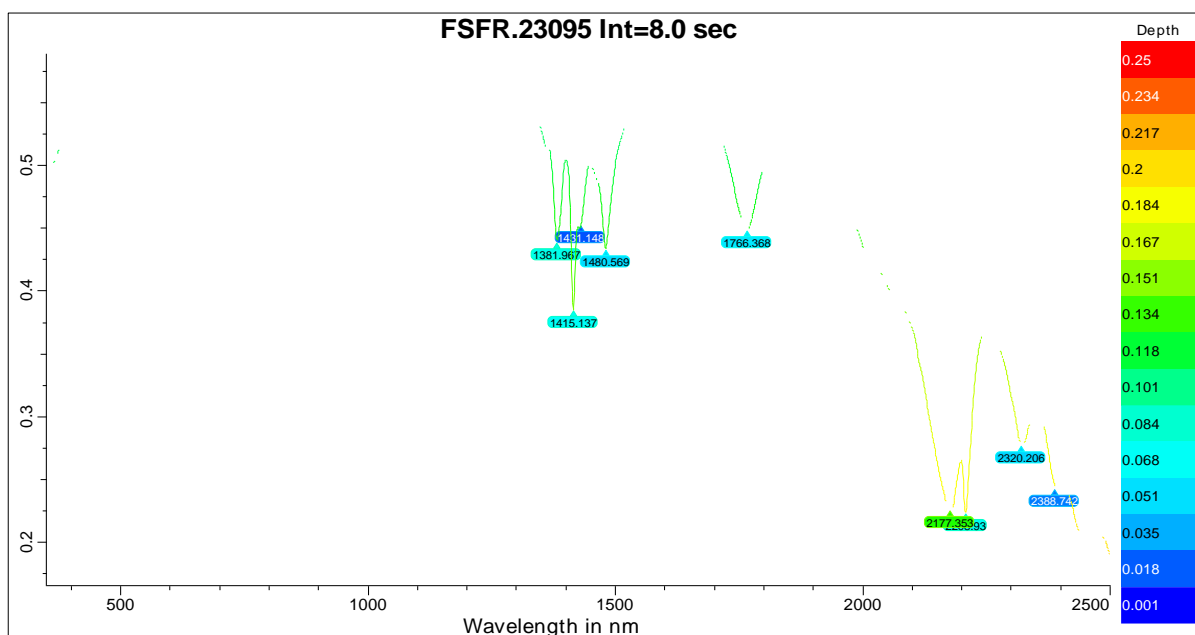


Figura 21: Espectro del Grupo 2: Dickita >caolinita , se observa valor entre 1381.9 lo que ratifica la presencia de mezclas entre caolinita y dickita, el pico agudo de 1415 no se considera ya que puede confundirse con illita, por lo que no es diagnóstico para este caso.

c. Grupo 3:

Presencia de arcillas como motmorillonita asociado a illitas; hay tres tipos de rasgos de absorción para la motmorillonita, y están en las regiones de 1400, 1900 y 2200 nm. El rasgo de absorción entre 1406 y 1418 nm se puede compartir con las illitas, caolinitas y muscovita como es el caso (Fig 22).

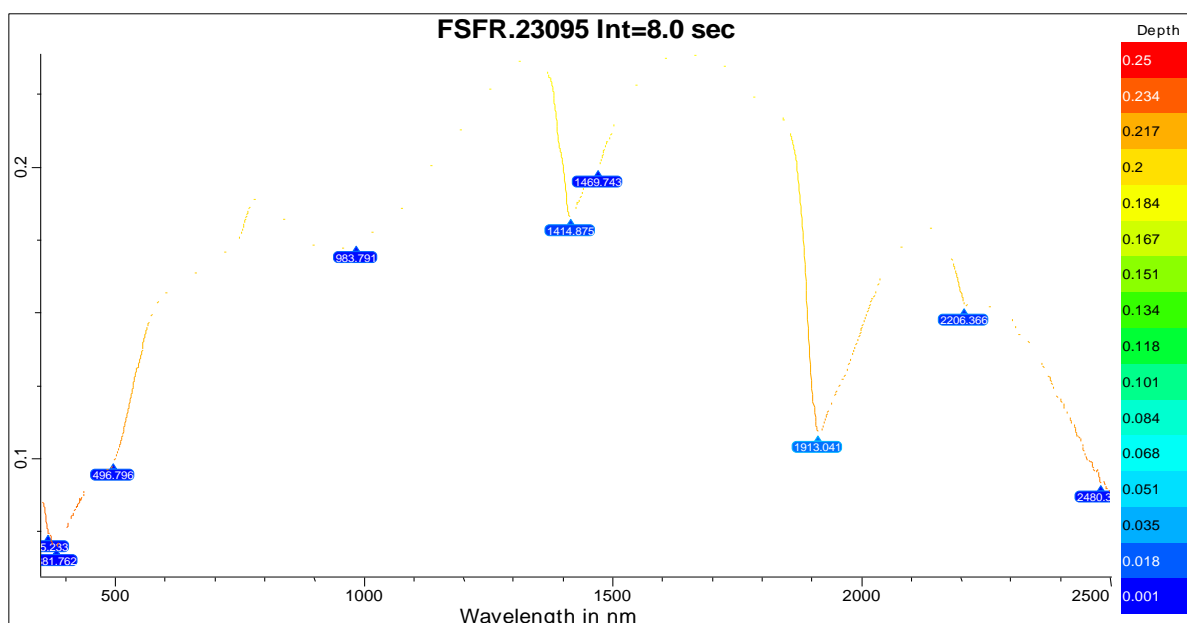


Figura 22: Espectro del grupo 3. Pico agudo de 1414.8 , asociado a un pico cercano al 1913, lo que indicaría la presencia ligera de agua. Además de presencia de jarosita en el pico de 1469.

3.8.4 Asociaciones de Minerales de Alteración y Distribución

La mineralogía de alteración presente en runtus obtenidas a partir de la espectrometría indicaría al menos la presencia de principalmente 2 grupos de asociaciones minerales, los que se pueden correlacionar con la asociación establecida en la tabla de Corbett (Anexo: Tabla II) .

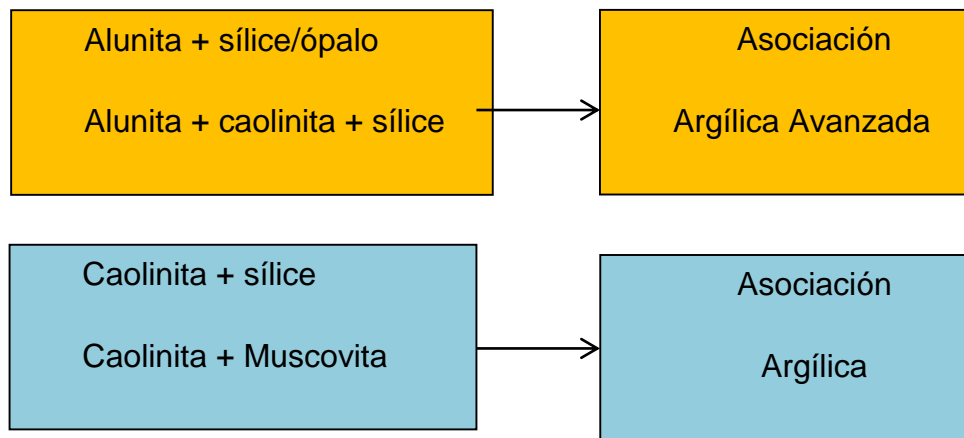


Figura 23: Esquema de asociaciones de Cerro Runtus: Observamos que a partir de la mineralogía identificada por la espectrometría se establecen 2 asociaciones minerales.

Como podemos observar no tenemos la presencia de la alteración argílica intermedia característico con un ensamble de esmectita-illita, dickita ello es debido a que nos encontramos en la parte superficial del sistema, y estos minerales por lo general suelen encontrarse asociados a mayor temperatura.

Estas asociaciones presentes, evidencian condiciones de baja temperatura y acidez. A partir de esto el sistema que se desarrolla, correspondería a un ambiente epitermal somero y de baja temperatura.

Al proyectar en planta las asociaciones de alteración (figura 24) se puede establecer que la alteración argílica avanzada se distribuye en toda el área de estudio, incluyendo las zonas bajas, mientras que la alteración argílica se restringe a los bordes, no podemos descartar la presencia de óxidos como goethita y jarosita y pirofilita con zoisita, presente en forma muy puntual.

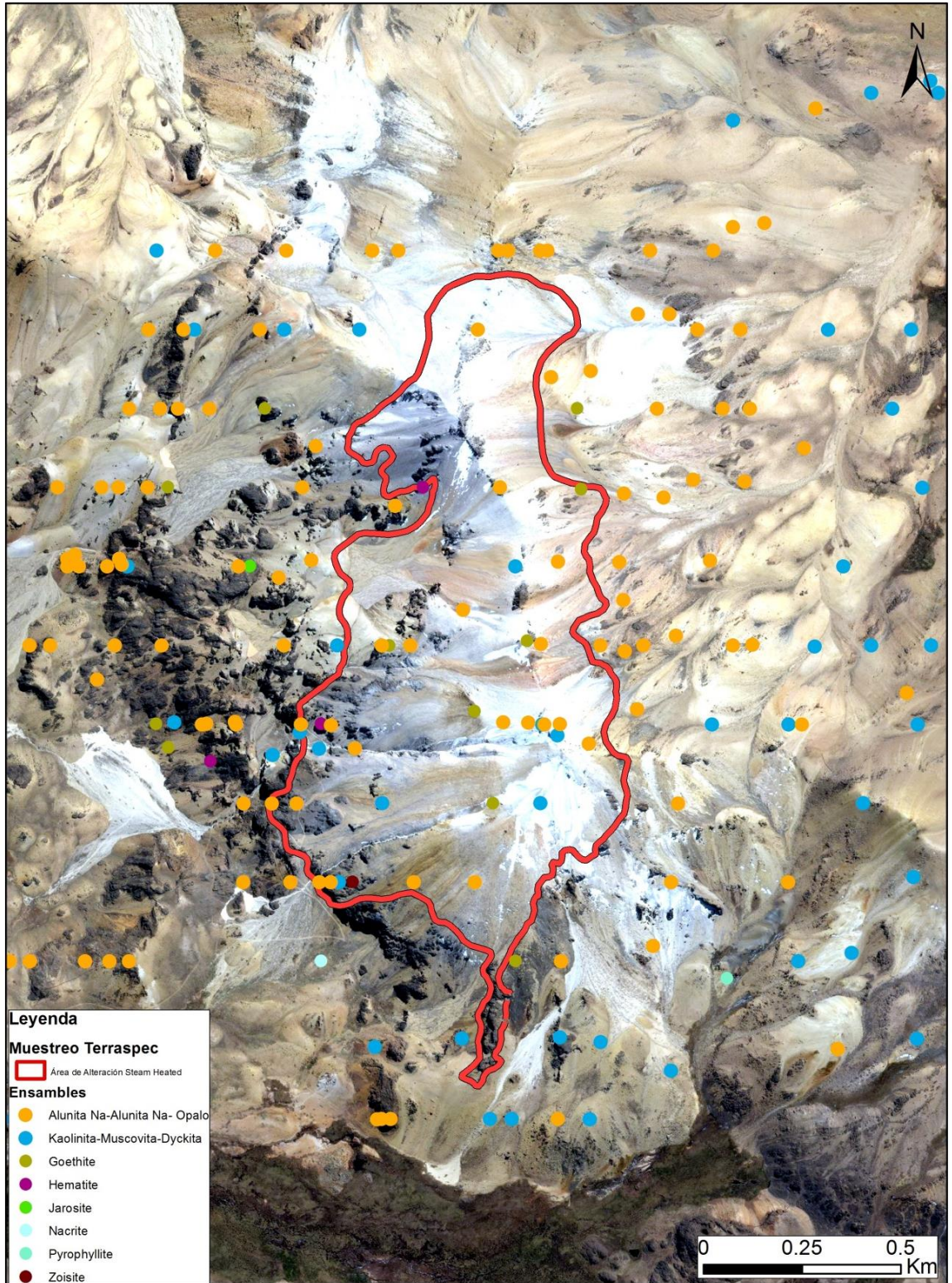


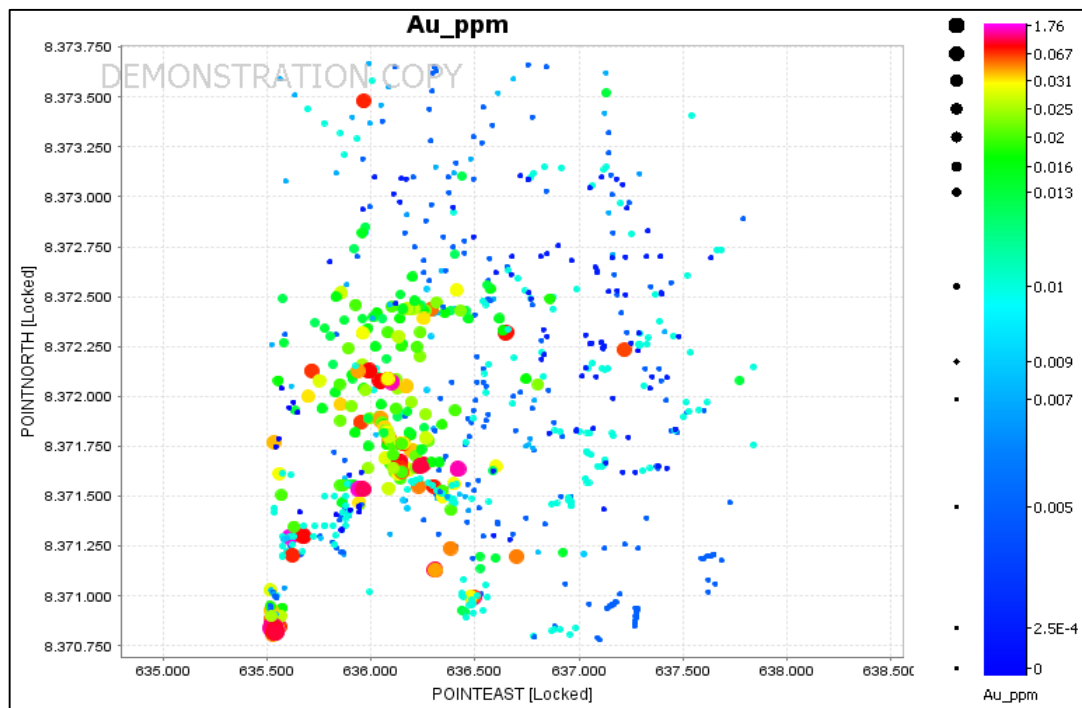
Figura 24: Representación en planta de la distribución de la mineralogía de alteración presente en el Área de Trabajo.

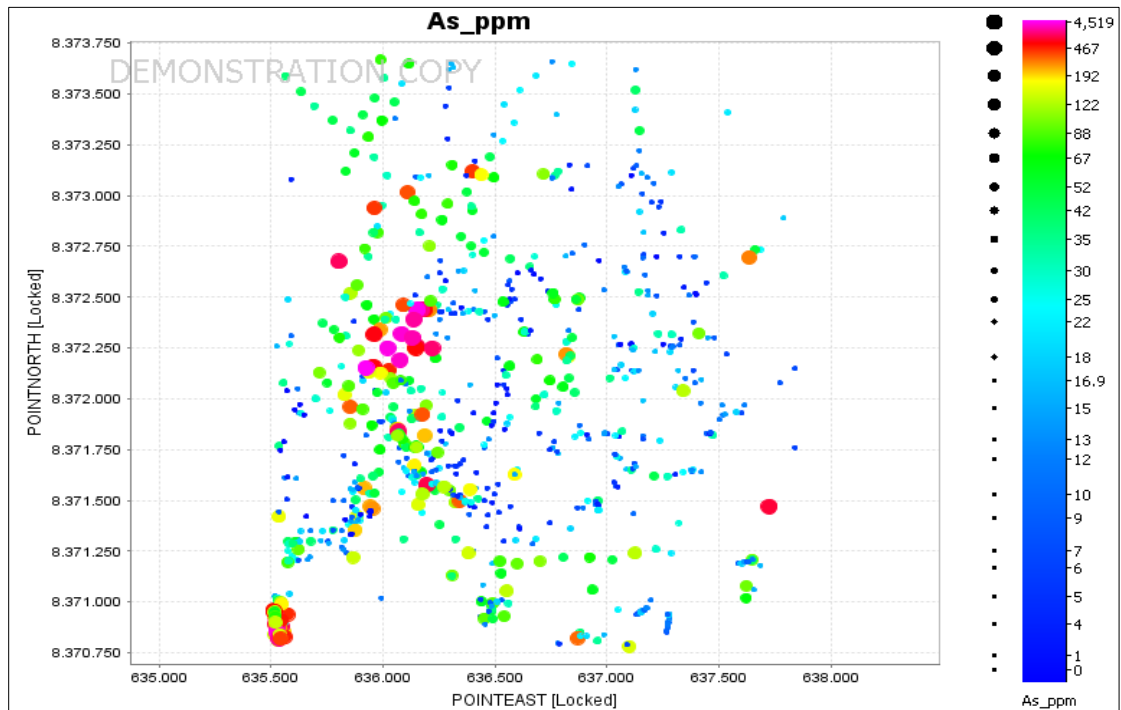
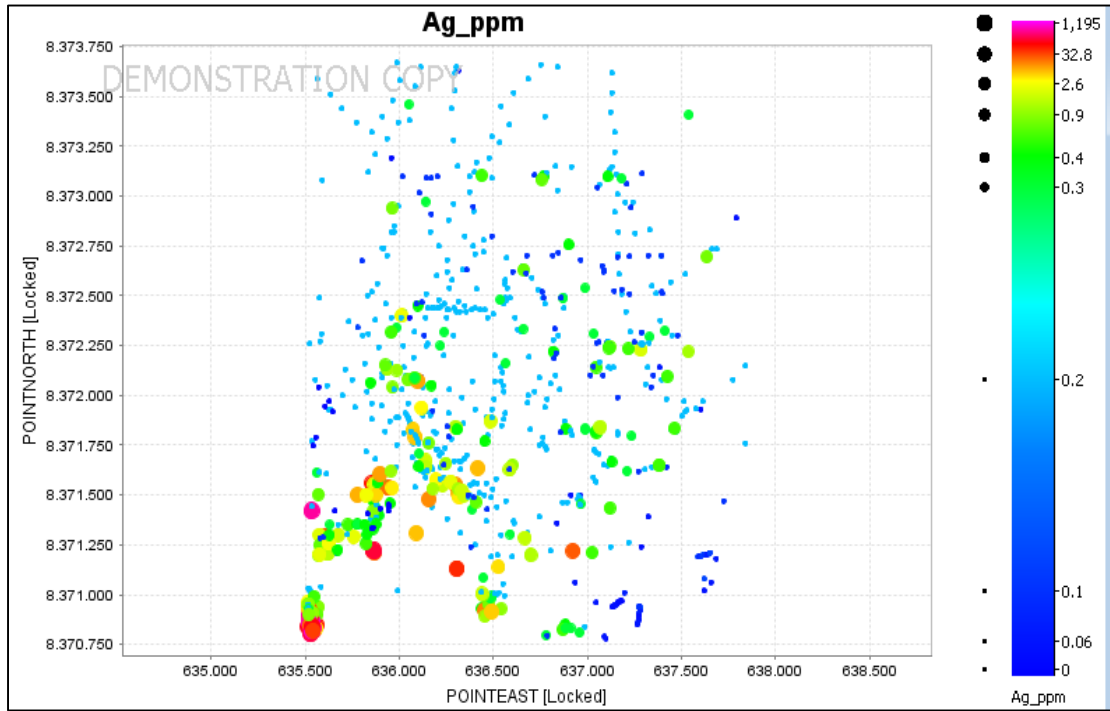
Las zonas calentadas por vapor (steam heated) forman blankets de caolinita, cristobalita, esmectita y alunita. Las aguas de steam heated se coleccionan en el nivel freático y crea, estratiformes blankets de acuíferos controlados de densa silicificación, típicamente calcedonia. Hasta varios kilómetros distante de las zonas de generación de aguas de steam heated (Sillitoe, 1993^a). Los ensambles presentes en el plano líneas arriba, muestran cierta relación con lo expuesto en este párrafo.

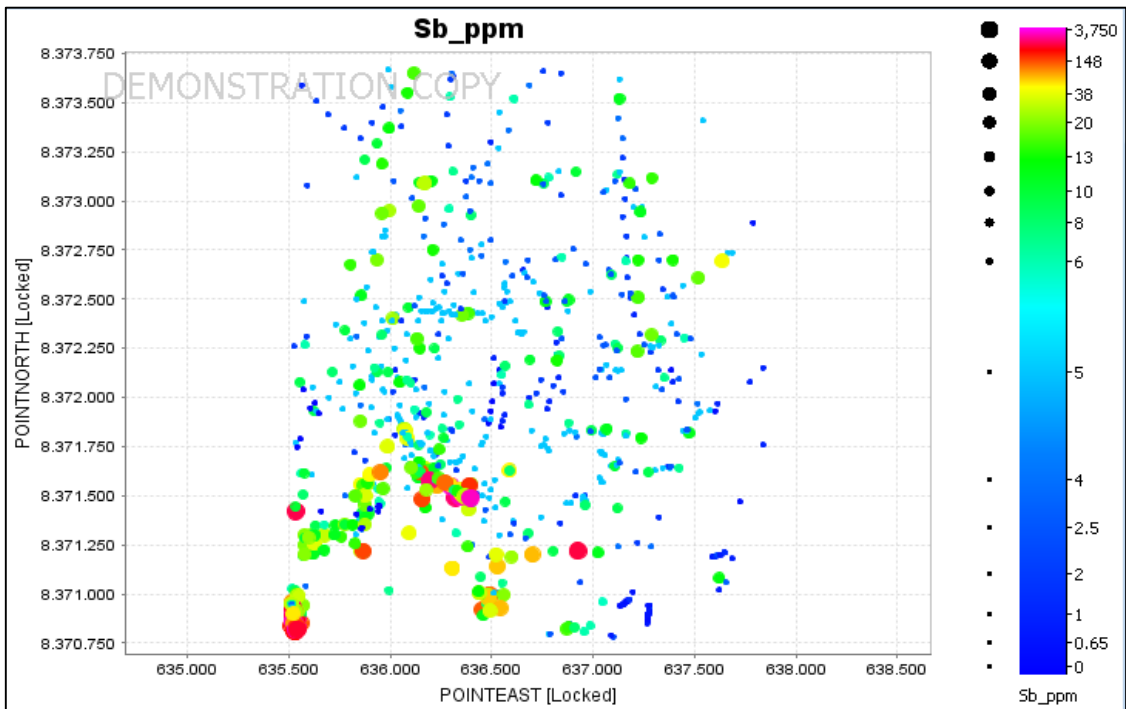
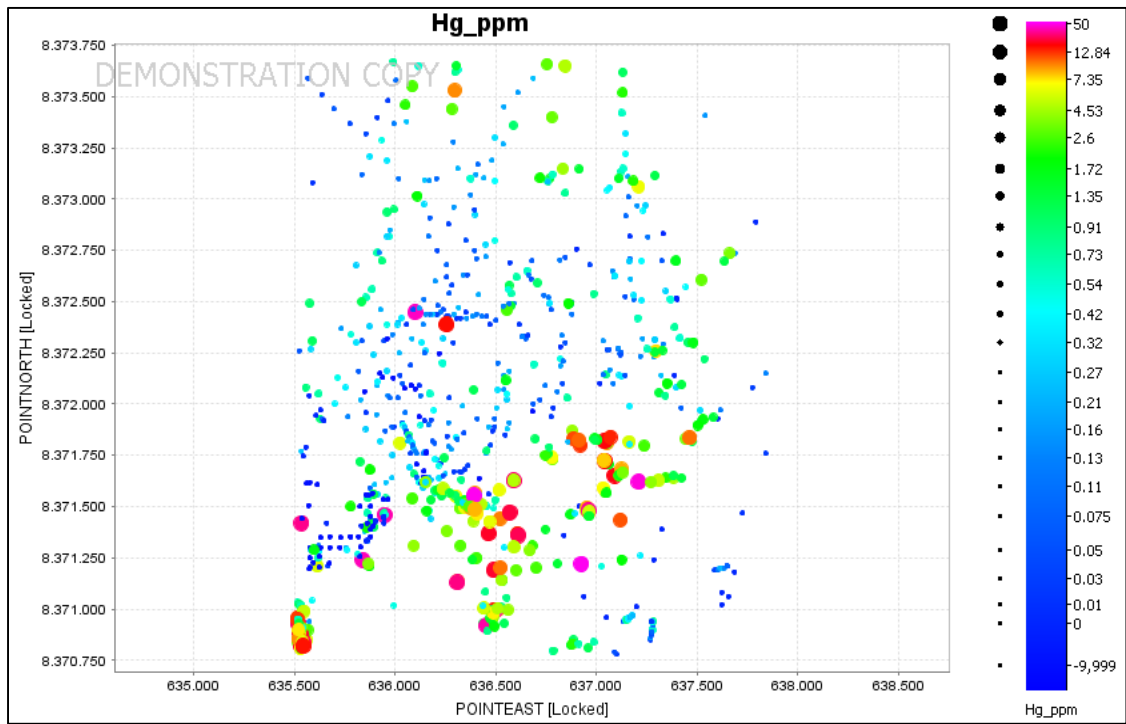
3.8.5 Geoquímica

La baja temperatura (100°C-120°C), hacen que el vapor que es envuelto en generar aguas ácidas sulfatadas de steam heated, no transporte NaCl o metales, excepto el Mercurio, y arsénico y antimonio . (Hedenquist, 2000).y La silicificación formada en el nivel freático, no crea anomalías metálicas.

En Cerro Runtus, se extrajo 808 muestras para ser analizadas mediante estudios ICP de 32 elementos. A continuación se presenta la distribución de los principales elementos que se consideran en este tipo de depósitos asociados a Epitermales de Alta Sulfuración:







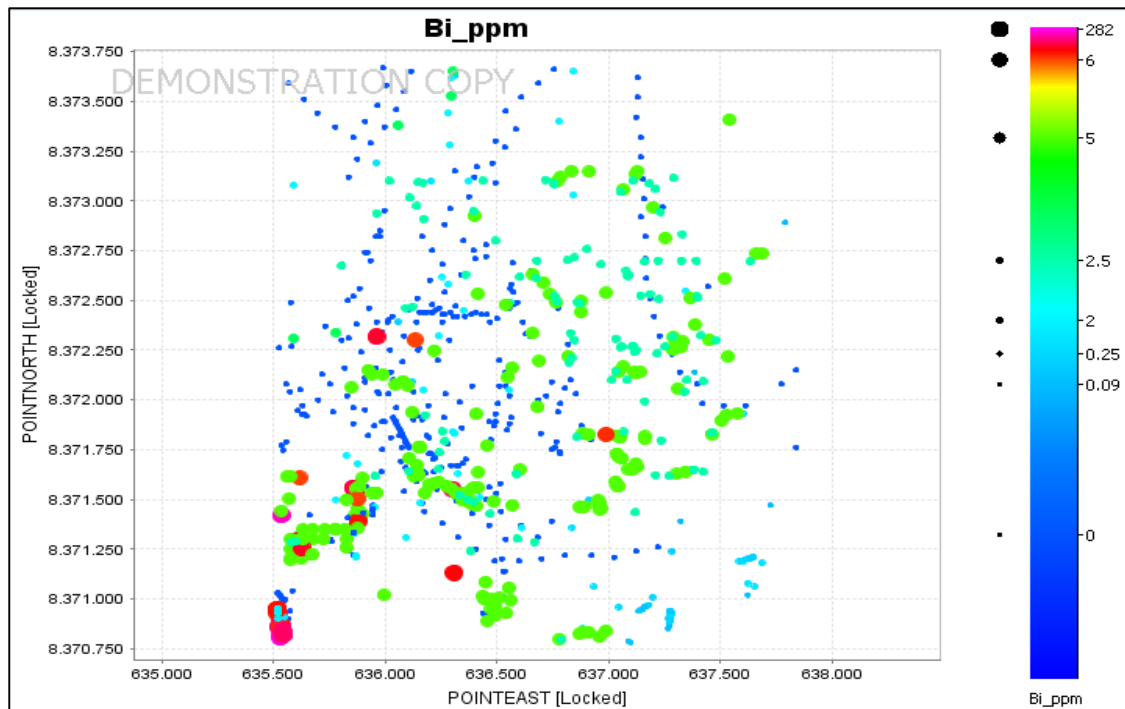


Figura 25: Distribución espacial geoquímica de los principales elementos: Au, Ag, Sb, As, Hg y Bi, del proyecto.

En los gráficos mostrados líneas arriba, se puede observar que la presencia de anomalías de minerales económicos como Au y Ag no son evidenciados en superficie, lo que coincide con los conceptos del modelo steam heated, mientras que los valores de elementos volátiles es relativamente medio a alto, especialmente en la zona que coincide con la sílice calcedónica, ya que existen brechas asociada a estos niveles, y se encuentran asociados a ciertos feeders presentes en forma de estructuras brechadas.

A continuación se detalla el cuadro estadístico con los principales percentiles de los elementos presentes en el área de trabajo.

808 rows - Univariate	Au_ppm	Ag_ppm	Te_ppb	Hg_ppm	Al_pct	As_ppm	Bi_ppm	Mn_ppm	Mo_ppm	Sb_ppm
[Visible] : Count Numeric	808	808	301	808	808	808	808	808	808	808
[Visible] : Count Text	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[Visible] : Count Null	0	0	507	0	0	0	0	0	0	0
[Visible] : Count Negative	0	0	61	61	0	0	0	0	0	0
[Visible] : Count Zero	17	16	0	40	359	29	359	359	26	22
[Visible] : Unique Values	78	110	222	402	287	247	67	72	143	160
[Visible] : Minimum	0	0	-9999	-9999	0	0	0	0	0	0
[Visible] : Maximum	1.76	1195	50000	50	10.05	4519	282	166	531	3750
[Visible] : Mean	0.022955	10.306213	-618.435216	-752.632017	1.622228	94.891708	4.922463	15.450495	14.471733	38.478057
[Visible] : Median	0.01	0.2	326	0.3	0.05	18	0.25	13	5	5
[Visible] : Range	1.76	1195	59999	10049	10.05	4519	282	166	531	3750
[Visible] : Interquartile Ra...	0.008	0.1	898.5	1.3825	1.675	43	5	25	9	7.5
[Visible] : Standard Deviat...	0.100385	64.799918	6728.174427	2643.90429	2.785448	344.245418	23.553481	19.906536	39.830011	193.084675
[Visible] : 1 percentile	0	0	-9999	-9999	0	0	0	0	0	0
[Visible] : 5 percentile	2.5E-4	0.06	-9999	-9999	0	2	0	0	1	0.6545
[Visible] : 10 percentile	2.5E-4	0.1	-9999	0	0	4.9	0	0	2	1
[Visible] : 25 percentile	0.005	0.2	49.5	0.07	0	9	0	0	3	2.5
[Visible] : 75 percentile	0.013	0.3	948	1.4525	1.675	52	5	25	12	10
[Visible] : 90 percentile	0.03	2.21	2729	6.134	7.001	157.1	5	35	27.05	38.1
[Visible] : 95 percentile	0.0541	30.365	4805.2	11.11055	8.211	366.65	6	45	50.55	148
[Visible] : 99 percentile	0.3591	270.5	34737.74	32.91	9.3037	1691.22	144.19	99.55	144.28	721.48

Tabla 6: Percentiles principales de las muestras y valores máximos y mínimos de principales elementos.

Correlacion	Au_ppm	Ag_ppm	Hg_ppm	As_ppm	K_pct	Na_pct	Sb_ppm	Te_ppb	Pb_ppm	Zn_ppm
Au_ppm	1	0.26	0.14	0.1	0.017	0.018	0.21	0.16	0.15	0.011
Ag_ppm	0.26	1	0.035	0.2	0.074	0.062	0.45	0.1	0.18	0.18
Hg_ppm	0.14	0.035	1	0.03	0.3	0.25	0.041	0.7	0.0037	0.064
As_ppm	0.1	0.2	0.03	1	0.051	0.072	0.26	0.029	0.28	0.23
K_pct	0.017	0.074	0.3	0.051	1	0.67	0.076	0.16	0.011	0.02
Na_pct	0.018	0.062	0.25	0.072	0.67	1	0.064	0.094	0.031	0.0059
Sb_ppm	0.21	0.45	0.041	0.26	0.076	0.064	1	0.35	0.81	0.45
Te_ppb	0.16	0.1	0.7	0.029	0.16	0.094	0.35	1	0.0078	0.15
Pb_ppm	0.15	0.18	0.0037	0.28	0.011	0.031	0.81	0.0078	1	0.53
Zn_ppm	0.011	0.18	0.064	0.23	0.02	0.0059	0.45	0.15	0.53	1

Tabla 7: Distribución de diagrama de Pearson de los principales elementos geoquímicos.

Se observa que existe relación entre contenido de Au y Ag asociado a volátiles, principalmente Sb, As y algo de Hg.

3.8.6 Análisis de Alunitas

Un factor importante para la determinación de zonas calientes asociados a depósitos de Alta Sulfuración y pórfidos, es la distribución que presentan las alunitas sódicas y potásicas, enfocados en zonas de lithocaps, que desarrollan zonas de steam heated (en algunos casos). En la mayoría de situaciones, este trabajo se realiza para determinar la presencia de un pórfido en profundidad. Para ello se usó el procedimiento de AMIRA, del trabajo “P1060” (Diciembre 2015) que se detalla:

3.8.6.1 Muestreo de Lithocaps y análisis

El muestreo está fuertemente influenciado por la disponibilidad de muestras en superficie. Las muestras deben ser analizadas usando el SWIR (Terraspec) para identificar el contenido de alunita y la posición de alunita 1480. El ploteo espacial debe ser construido a partir de los picos de absorción de alunitas, los mismos que deben ser en valores no anómalos en contenido metálico.

a. Qué información obtenemos a partir de la alunita?

a.1. Data SWIR de alunita: Mediante el estudio de longitudes de onda es que podemos determinar la cantidad y distribución de alunitas sódicas y potásicas.(Figura 24). Las alunitas presentan 2 regiones en las que pueden ser detectadas, así sea en cantidades mínimas una es la región cerca a los 1470-1495 y otro en el 2200, que como se explicó en párrafos anteriores permiten detectar la presencia de Na y K, y con ello asociarlos a temperaturas de formación.

a.2. Data ICP – MS de alunita: A través de las cantidades presentes de ciertos elementos químicos en alunitas, es que se puede ayudar a vectorizar un depósito (principalmente epitermal y tipo pórfido) , comparando y haciendo relaciones de ratios es que permiten indicarnos zonas de interés, tal así por ejemplo el estudio de razones en ratios de $Na/(Na+K)$ es importante en un estudio de alunitas, ya que podemos definir que a mayores valores de ratios es que podemos identificar y asociarlo con depósitos minerales importantes (Figura 27), en donde mediante el

ejemplo del Depósito de cerro Casale, que es un depósito tipo Pórfido asociado a un lithocap con abundante zonas de alunita en la región Chile, veremos como la geoquímica se asocia a alunitas con rango espectral mayor a los 1485 con valores altos de Na.

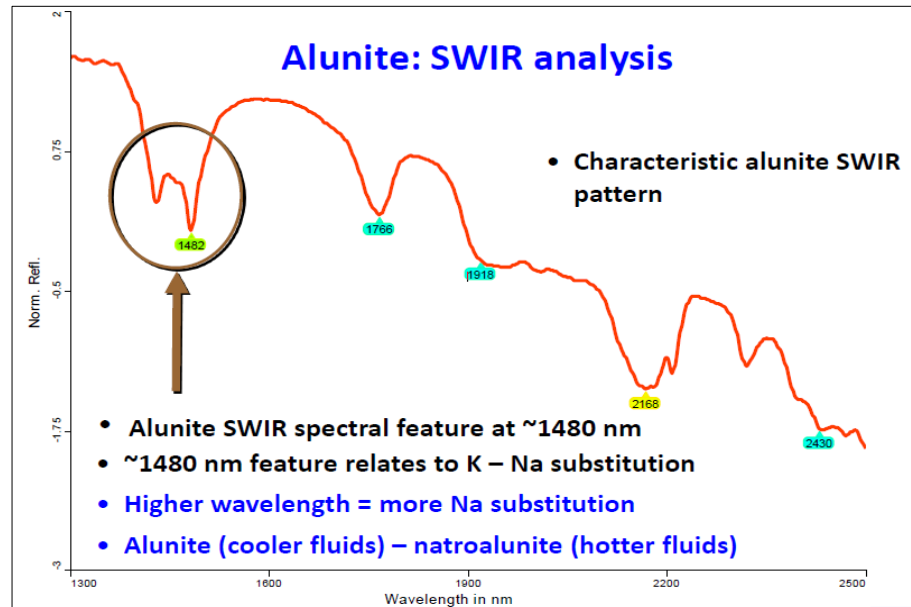


Figura 26: Espectro de Alunitas (Tomado de P1060 AMIRA).

La presencia de los valores de Na en relación al K, sirve para vectorizar pórfidos ocultos principalmente, por lo que los ratios deberían elevarse hacia niveles mayores en Na (Fig N° 27), mientras que si nuestro objetivo es la búsqueda de depósitos de Alta Sulfuración, la relación sería inversa como se puede observar en el ejemplo mostrado (Fig. N° 28), que son resultados de estudios de múltiples depósitos entre grandes, pequeños, medianos y estériles.

Sin embargo, muchas veces las zonas de alteración argílica avanzada presente en un lithocap que puede desarrollar o no la zona steam heated, están asociadas lateral y a profundidad con un posible pórfido, ello dependerá mucho de evidencias en superficie, como anomalías, geoquímica y control estructural.

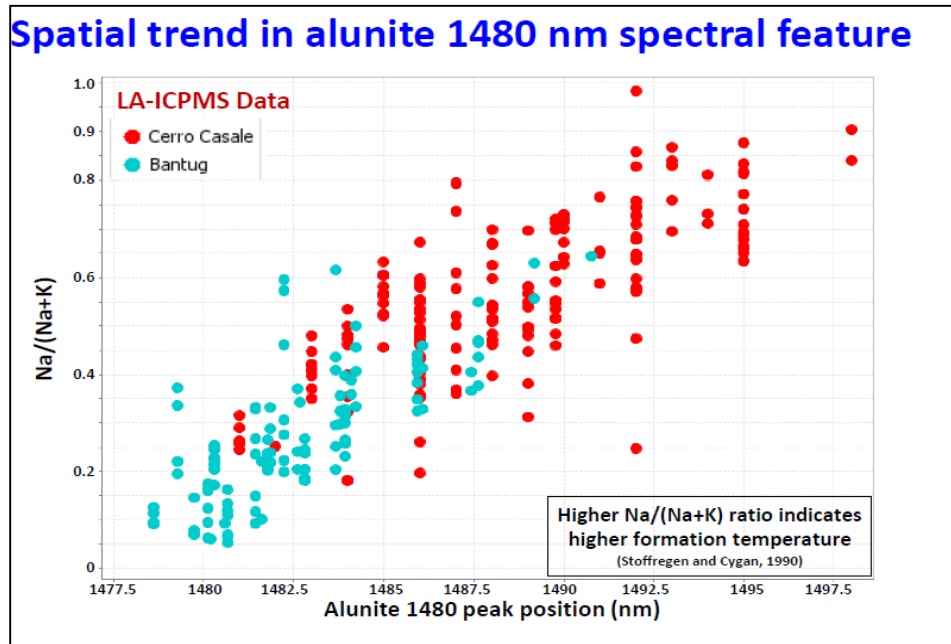


Figura 27: Ejemplo de depósitos de cerro Casale (Chile) y Bantug mostrando la distribución de alunitas vs ratios de Na y K. (Tomado de P1060 AMIRA).

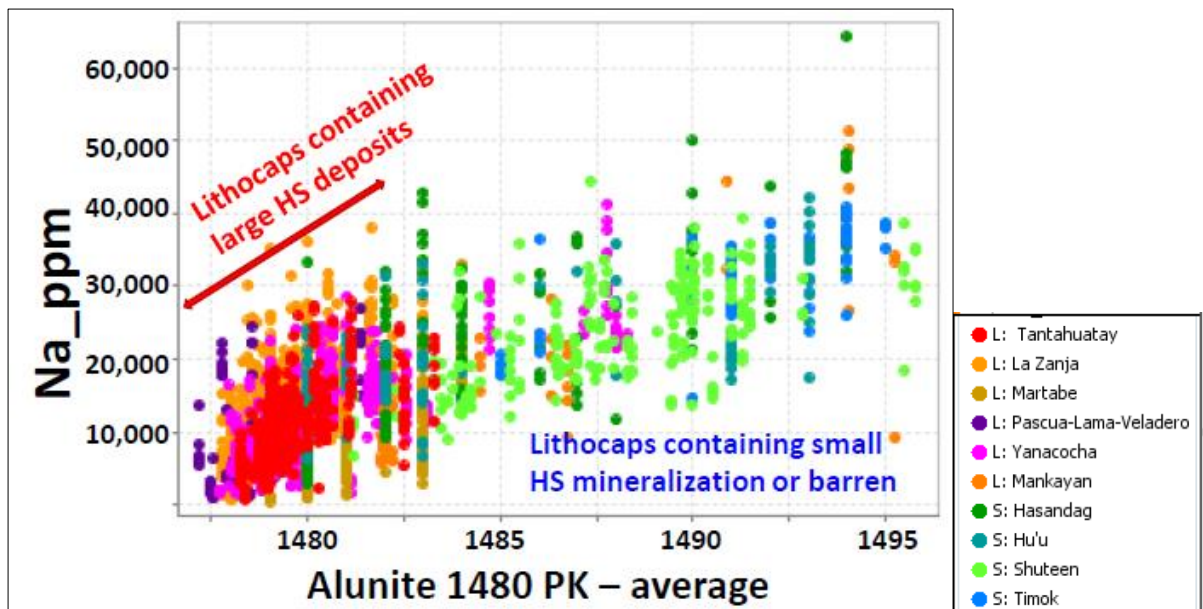


Figura 28: Distribución de los principales depósitos asociados a Alta Sulfuración, y estériles y la relación que tiene la alunita con el contenido de Na. (Tomado de P1060 AMIRA).

A continuación se plotó la data SWIR de alunitas, mostrando su distribución, así como trabajó con data geoquímica de las alunitas, este trabajo se desarrolló con información proveniente de rontus, mostrando la siguiente distribución:

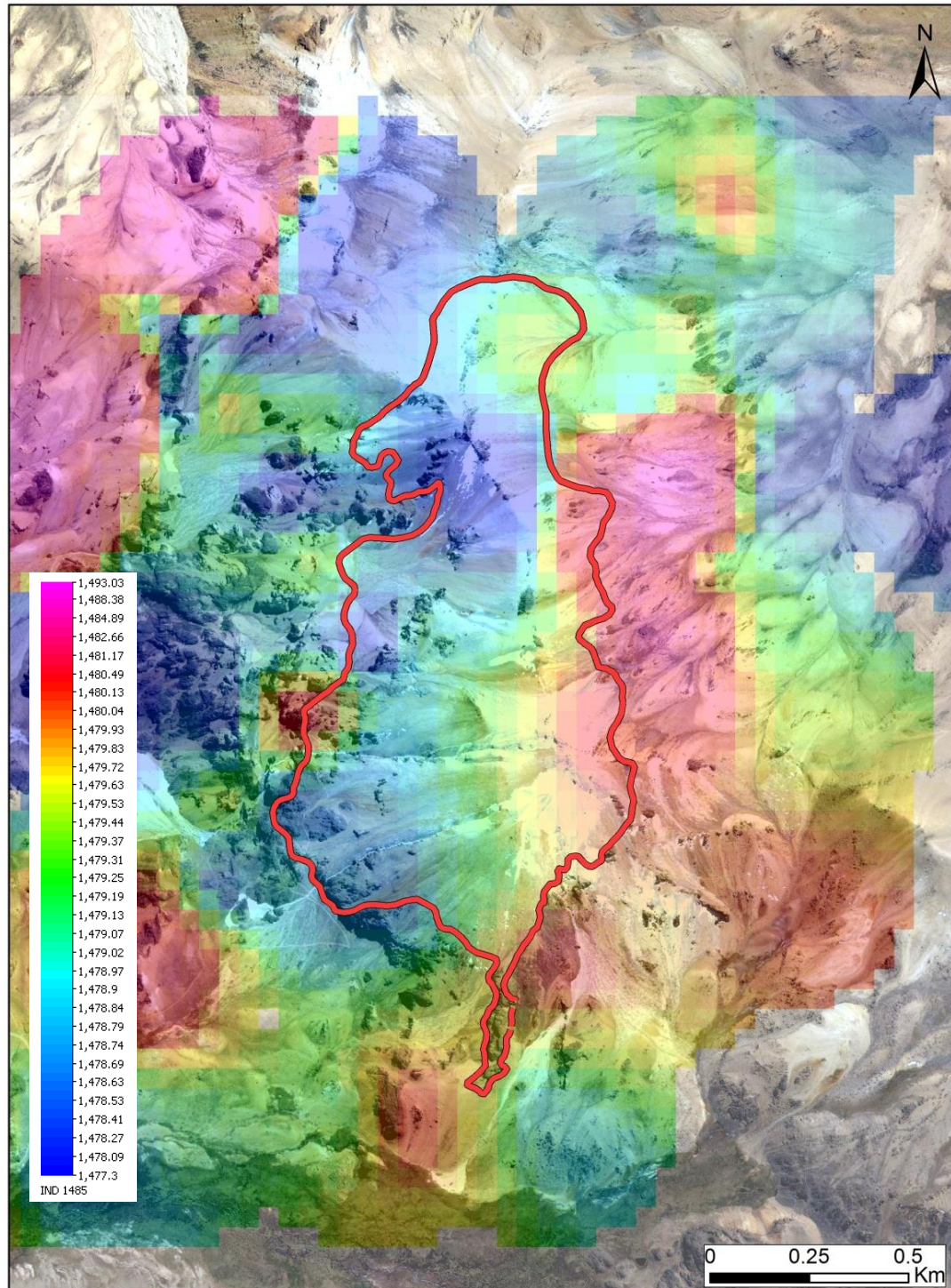


Figura 29: Distribución de alunitas en Cerro Runtus: desde rangos 1477 hasta 1493.

Muchos Depósitos Económicos presentan este tipo de trabajos, que enfocándolo desde el punto de vista exploratorio de nuevos targets, nos facilita una especie de guía para determinar áreas de interés. Tal es el caso de Mina Pascua Lama (Chile). Con el que se elaboró el mismo trabajo, relacionando la presencia de alunitas con el estudio de la geoquímica ICP, realizando relaciones entre ambas para determinar y corroborar los estudios que realizó AMIRA en su publicación del proyecto P1060 del 2014-2015 (Principalmente relación de alunitas con los ratios de Na/(Na+K) y las relación con elementos guía como Lantano, Estroncio, Plomo y Sodio).

Se contó con la data de 174 muestras provenientes de Pascua Lama y Veladero, (de fuente CODES) en donde basándonos en el trabajo realizado por AMIRA p1060 con data de diversos proyectos de alta Sulfuración del mundo es que podemos realizar este trabajo enfocándonos en zonas con fuerte presencia de alunitas y relacionándolo con ciertos elementos de interés.

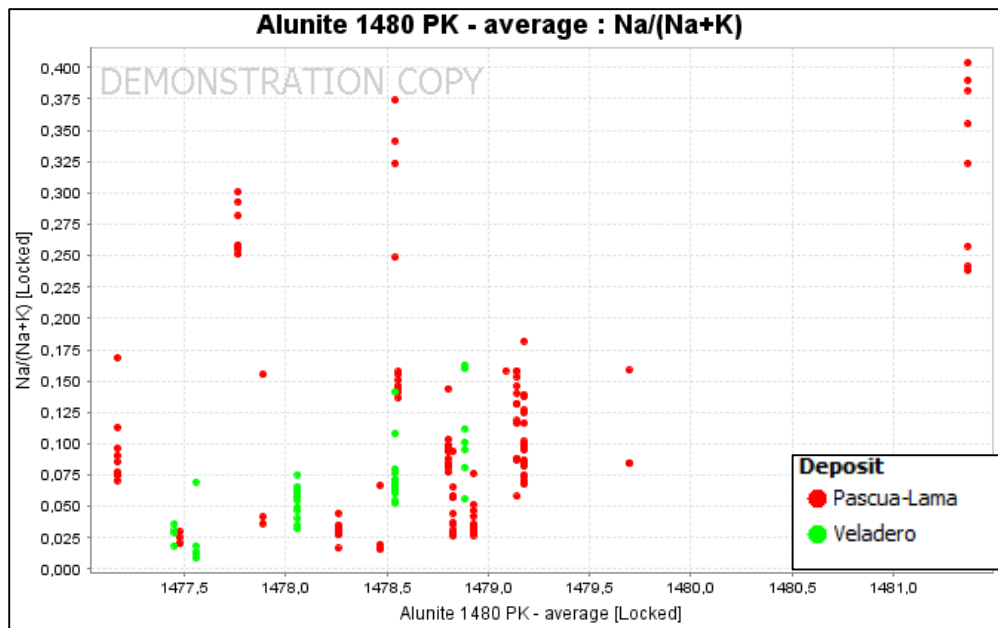


Figura 30: Distribución de Alunitas principalmente Potásicas y su relación con el contenido de Na.

Observamos que tenemos una población densa principalmente de alunitas potásicas hacia un valor de 0.75 en contenido de Na/(Na+K), ello es debido a que mientras mayores sean los contenidos del ratio de Na/(Na+K) se asocia a mayores temperaturas. De la misma forma se realiza el trabajo de alunitas con Sr, Pb, La y Na, ya que dentro de la estructura de las alunitas (fig 31) existen estos elementos que nos indican que son estables bajo ciertas temperaturas, tal es así que el contenido de Pb es mayor en profundidad y va disminuyendo conforme llega a superficie, ocurriría directamente proporcional con los demás valores de Sr La y Na. asociados a alunitas potásicas principalmente (AMIRA P1060).



Figura 31: Fórmula química de alunita y compatibilidad con elementos químicos estables (Tomado de P1060 AMIRA).

Teniendo en cuenta este concepto se realizó este trabajo para los principales 4 elementos guía, con las alunitas y su data ICP, de las muestras de alunitas de Pascua Lama-Veladero, teniendo lo siguiente:

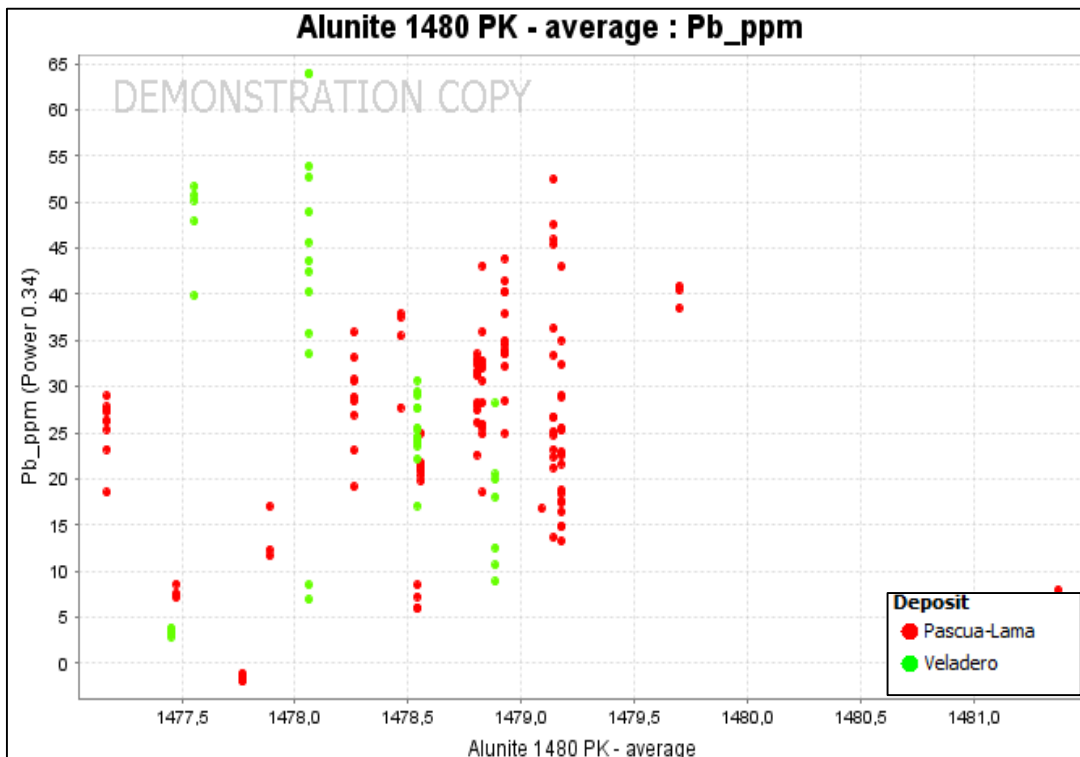
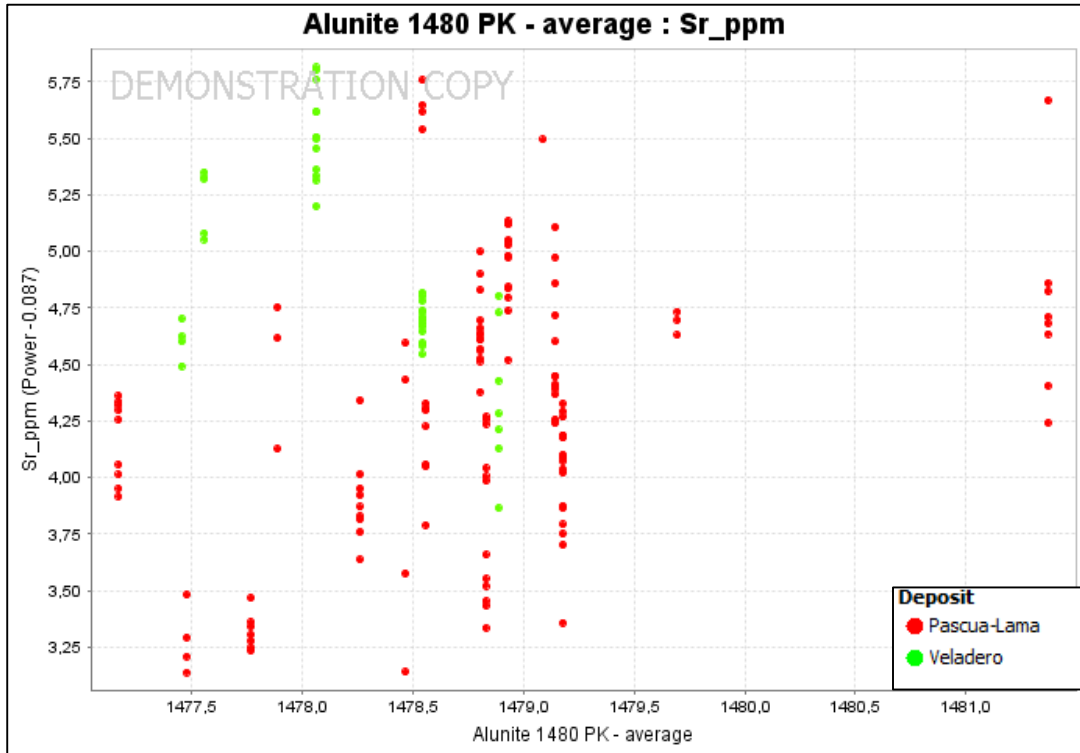


Figura 32: Distribución de Alunitas de Pascua Lama –Veladero y su relación con el Sr y Pb.

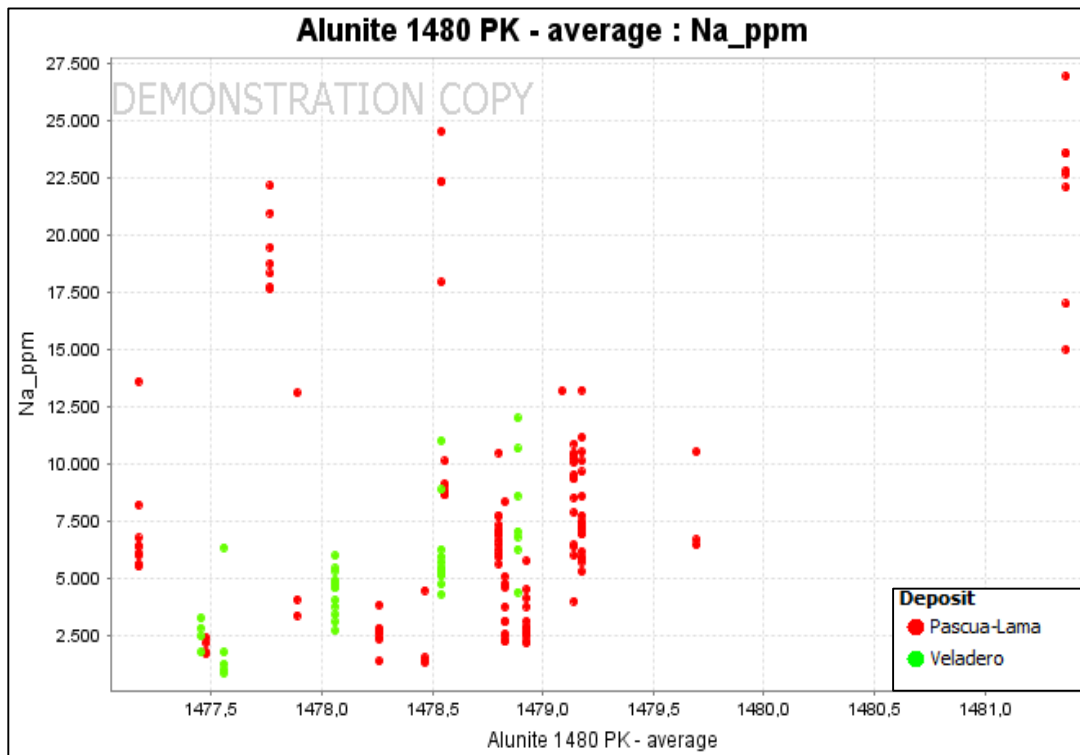
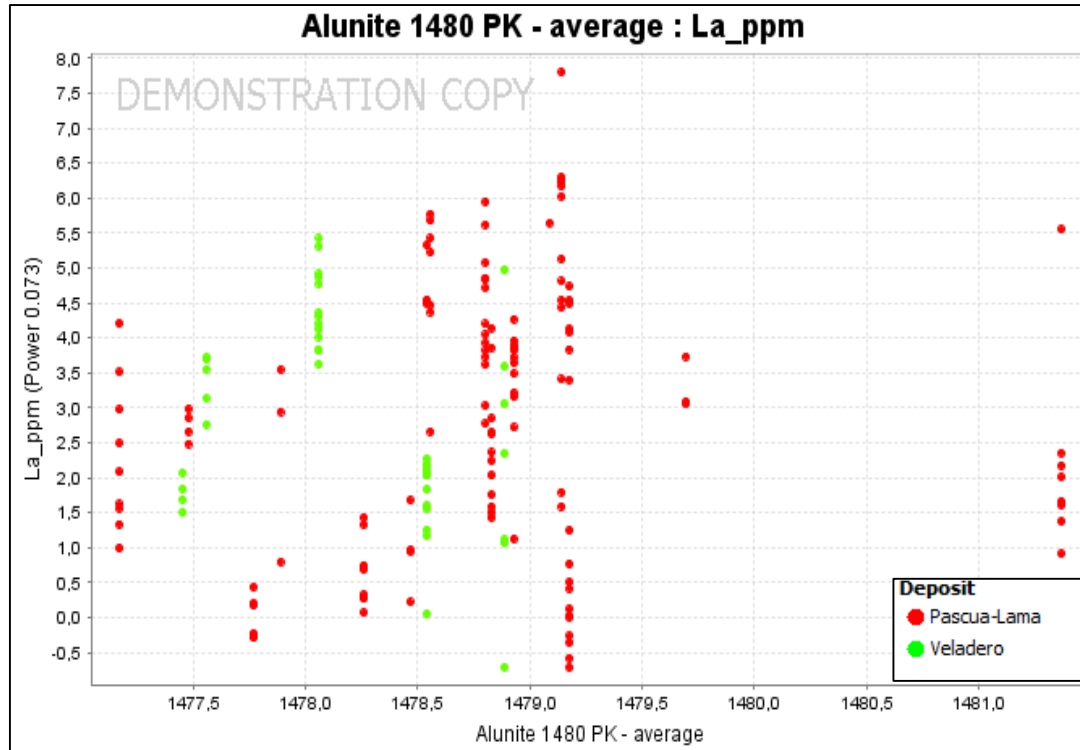


Figura 33: Distribución de Alunitas de Pascua Lama –Veladero y su relación con el La y Na.

Tomando como referencia los resultados de la composición geoquímica de las alunitas en Pascua Lama que se asocian a un depósito Epitermal en un lithocap y en profundidad a un pórfido, se realizó la comparación con las alunitas y geoquímica de nuestra área de trabajo (cerro runtus), integrando resultados de los 3 prospectos, como se detalla a continuación:

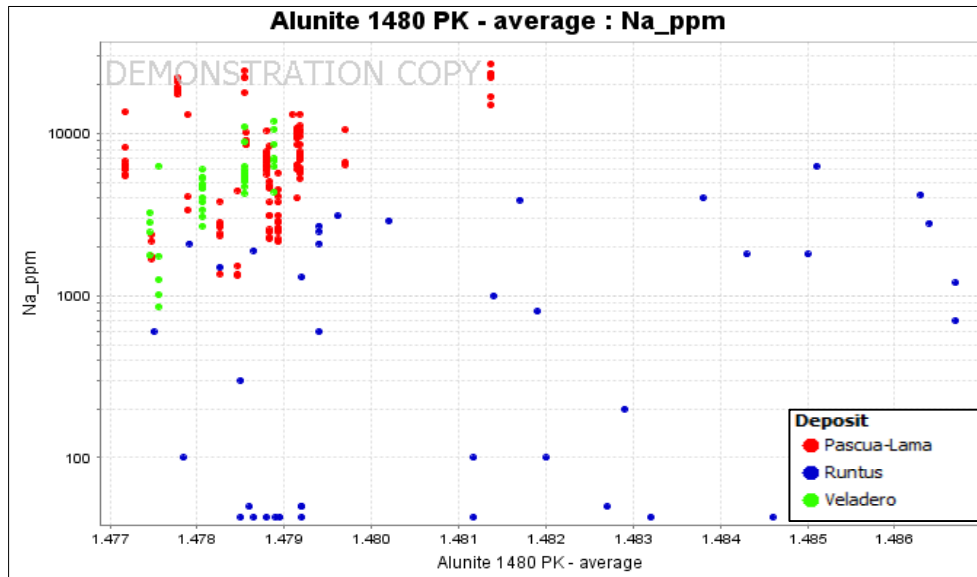


Figura 34: Comportamiento del Na con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.

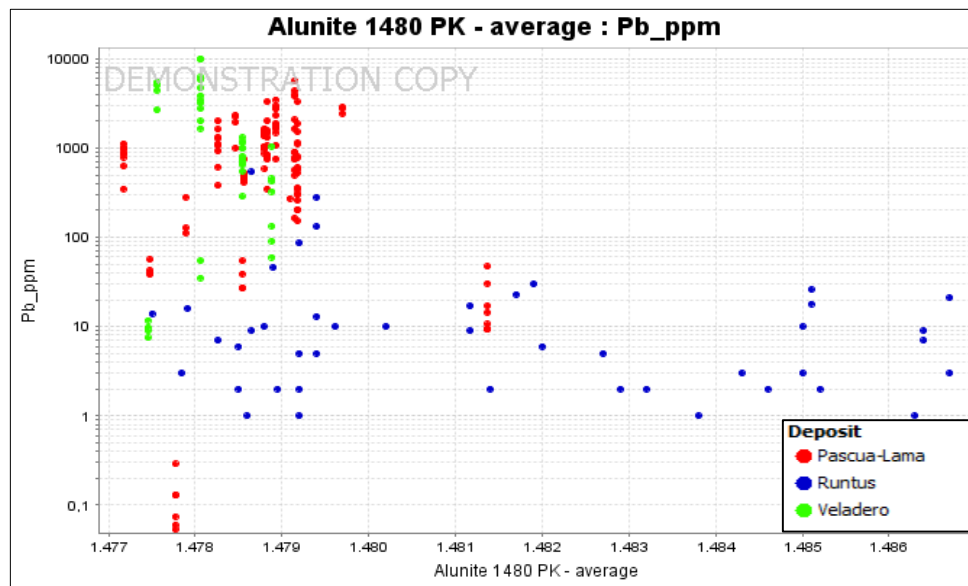


Figura 35: Comportamiento del Pb con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.

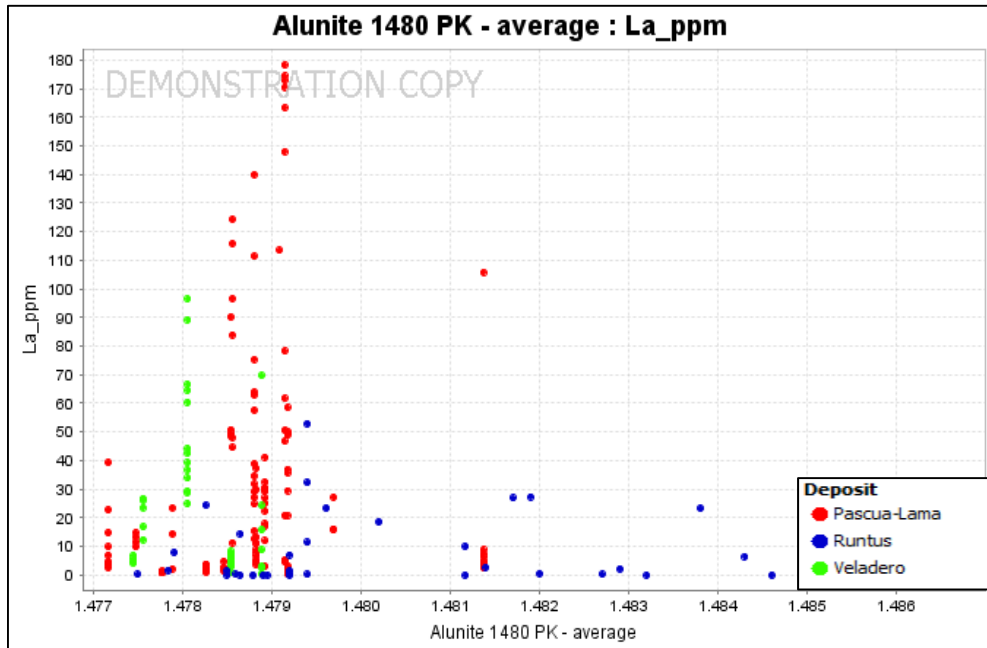


Figura 36: Comportamiento del La con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.

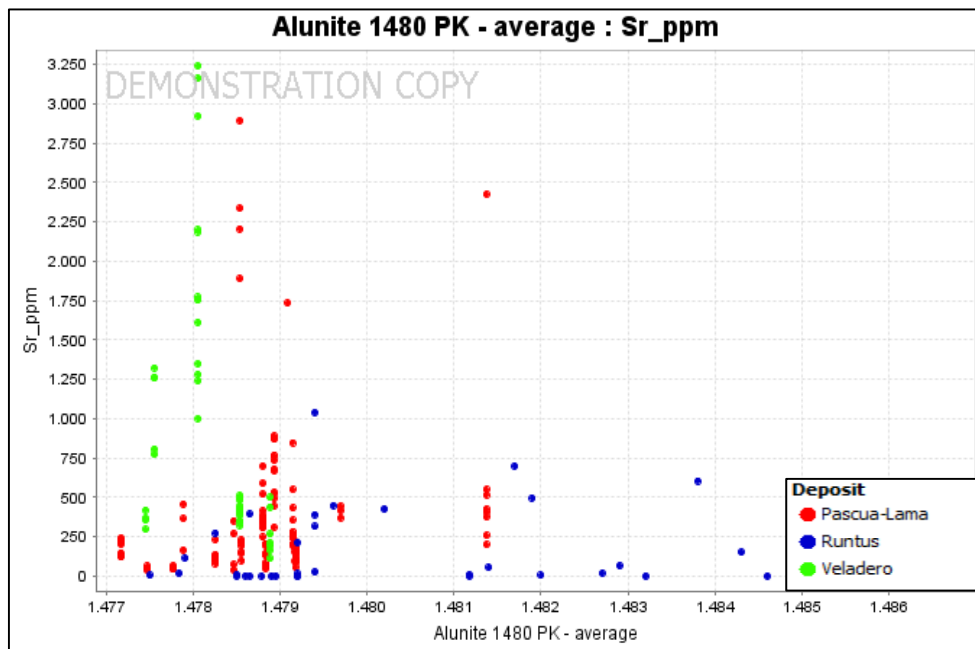


Figura 37: Comportamiento del Sr con las Alunitas de Pascua Lama-Veladero-Runtus.

En los 4 casos mostrados líneas arriba, se trabajó previamente con los resultados obtenidos de Terraspec, y se usó solo la data que tenía Alunita como componente principal (en el caso de la data de Alunitas de Pascua Lama-Veladero es de fuente confidencial). Se observa una distribución dispersa de las alunitas de Cerro Runtus para los 4 elementos (Na, La, Sr y Pb) comparándola con la distribución de la información de Pascua Lama, en términos generales comparando los 3 prospectos tenemos: el Na y Pb no no representan una distribución semejante al de Pascua Lama y Veladero, mientras que el La y Sr si coinciden en concentraciones bajas para alunitas de longitud de onda de 1478 y 1480, es decir alunitas potásicas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis y Discusión de Resultados

En el sector Cerro Runtus a partir de los trabajos realizados de cartografiado geológico y análisis espectral de arcillas, se pudo establecer asociaciones mineralógicas definidas como argílica avanzada y argílica, mientras que con el cartografiado geológico se determinó alteración como propilitización débil en los bordes (Plano 3). Las anomalías de mineralización económica corresponde a los niveles brechados en las partes bajas hacia los bordes del área de trabajo relacionado con la sílice calcedónica, asociado a niveles efusivos de lavas principalmente, mientras que la alteración steam heated se desarrolla en zonas de niveles piroclásticos que se denomina como niveles brechados indiferenciados por el alto grado de alteración pervasiva que no permite diferenciar a exactitud la litología.

La presencia de niveles piroclásticos como los de brecha volcánica indiferenciada en la parte alta serían la que se asocia a la presencia de alteración steam heated por el grado de permeabilidad y porosidad de la roca, sin embargo la intercalación con secuencias efusivas es marcador del nivel freático, que se encuentra asociados a brechas con alteración argílica avanzada y calcedónica en su mayoría.

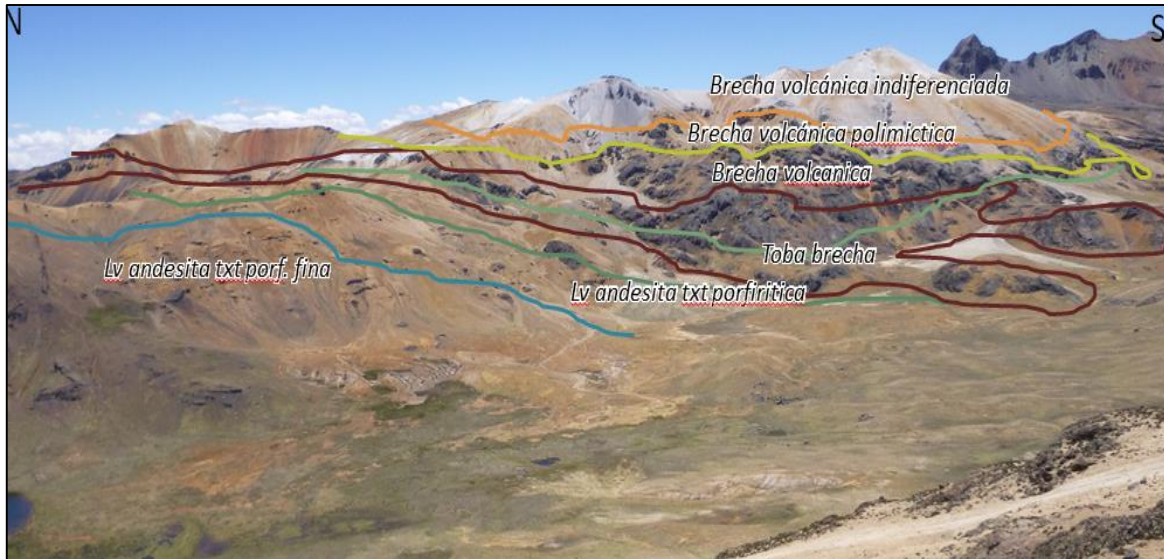


Foto 08: Vista de Cerro Runtus y la distribución de secuencias volcánicas.

La distribución de la litología enmarca un contexto de actividad volcánica bastante joven por la formación Barroso que cubre las demás litologías (se sospecha de la formación Anizo) asociando la alteración a un evento hidrotermal bastante joven y por ende preservado.

4.1.1 Ubicación del Paleo Sistema

Dentro del Marco Teórico conceptual de un Sistema Epitermal no erosionado, la zona steam heated se desarrolla en los niveles muy someros del sistema, esta zona coincide con la zona vadosa, sobre el nivel freático, lo que es un factor importante para su existencia. En los trabajos de cartografiado geológico y de alteraciones principalmente, se pudo determinar las diferentes variaciones de alteración que gradan de forma abrupta desde la cota más alta 5090 hacia los 4700, en donde se observa la diversa mineralogía asociada a la sílice residual y argílico avanzado del steam heated, es decir cerca a 400 m. de desnivel en los que se encuentra la sílice residual asociada a niveles de argílico avanzado, otro factor importante a considerar para determinar la ubicación del paleo sistema, fue el nivel calcedónico presente bajo cotas de los 4700 con intercalaciones de niveles brechados de sílice calcedónica, asociado con anomalías puntuales de Au.

En la siguiente foto observamos un esquema realizado para cerro Runtus y los diferentes niveles encontrados en campo y verificados con análisis espectral.

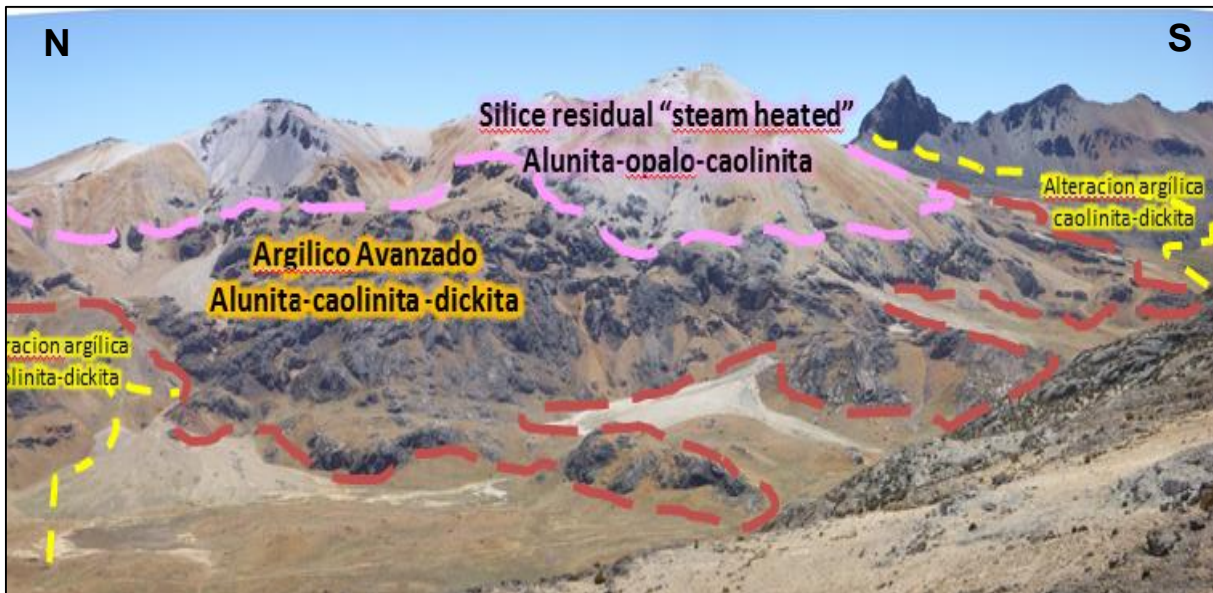


Foto 09: Ubicación del Paleo Sistema de la zona Steam Heated en el área de trabajo.

A partir de ello, se ha propuesto un perfil esquemático presente en el área de trabajo, que idealiza un posible potencial en profundidad, asociado a zonas de mayor temperatura con características de una zonacion de alteración de un depósito epitermal producido por fuente hipogena, que podría albergar mineralización.

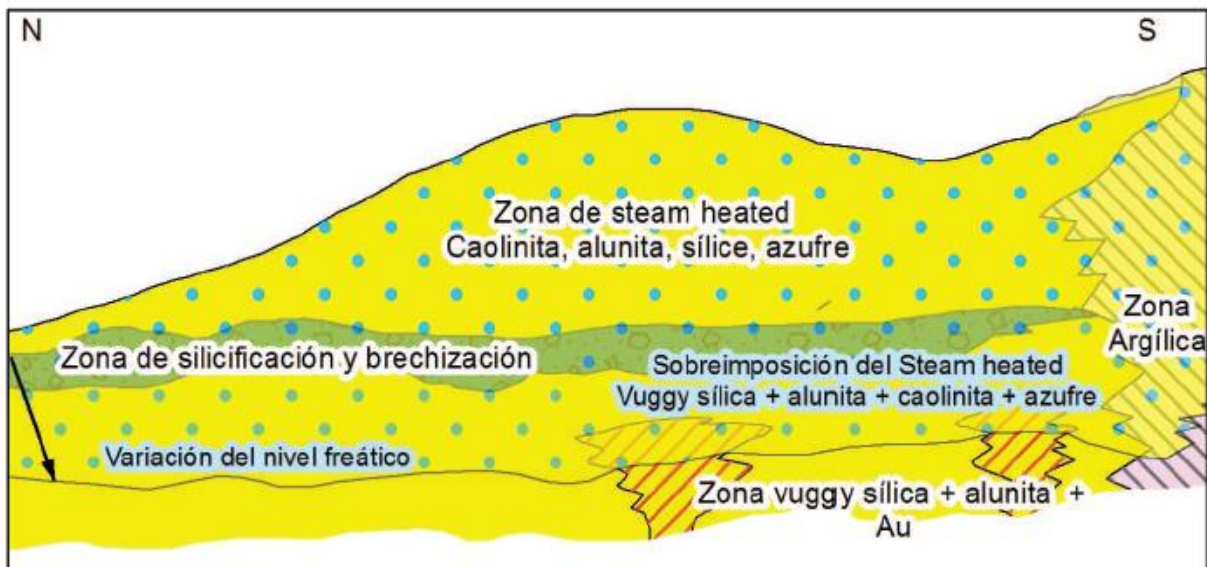


Figura 38: Corte conceptual de la zona resaltando la zona steam heated.

Un aspecto importante a resaltar es que existen evidencias de variación del nivel freático, en donde por variación de topografía este se muestra expuesto como brechas o zonas de sílice calcedónica de forma intercalada, es decir niveles de sílice calcedónica que varían con la topografía y que en algunos casos se encuentran asociados con valores anómalos en Au y elementos volátiles como vimos en el capítulo III, ello es debido a la superposición de la zona steam heated, ya que la teoría citada por Hedenquist (2000) indica que las zonas calcedónicas no presentan anomalías económicas, y esta superposición sería la respuesta.

4.1.2 Comparación de Resultados Alunitas

4.1.2.1 Pascua Lama

Pascua Lama es un depósito Epitermal del tipo Alta Sulfuración, ubicado en la región Chile y Argentina en el cinturón del Indio- Pascua Lama, con alrededor de 16 Moz de Au y 585 Moz de Ag. en reservas que se encuentra asociado a brechas hidrotermales, considerándose como principal la brecha central que alberga el 25% de la mineralización total Deyell, (2005). Presenta niveles de steam heated en los niveles altos del sistema y son formados posiblemente por la oxidación del H₂S durante la ebullición del fluido magmático, que conforman blankets de sílice (cristobalita, ópalo, calcedonia), caolinita, alunita y azufre nativo que se extiende en vertical a lo largo de las estructuras presentes. La alunita junto con la sílice residual pulvurenta presentan los mayores constituyentes en los ensambles asociados a los blankets del steam heated (Figura 39).

La mineralogía de la alteración presente en Pascua Lama es muy similar a la que existe en el área de trabajo (cerro runtus), los steam heated se presentan en las partes altas y siempre coinciden con niveles superficiales no erosionados de un sistema Epitermal, con presencia de volátiles asociados a cotas más altas, y valores escasos de Au (Figura 40). En muchos casos ello se puede asociar a pórfidos muy profundos.

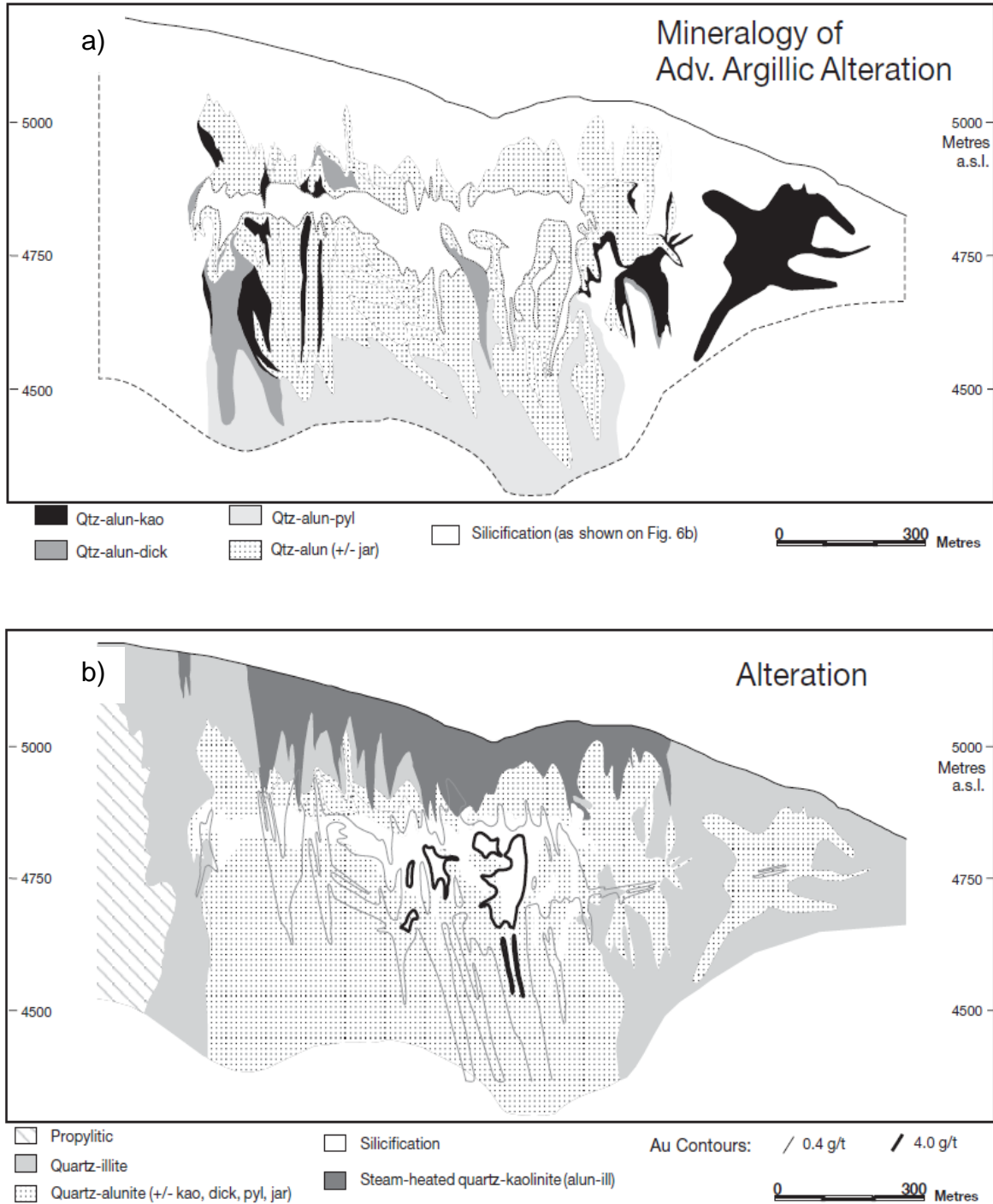
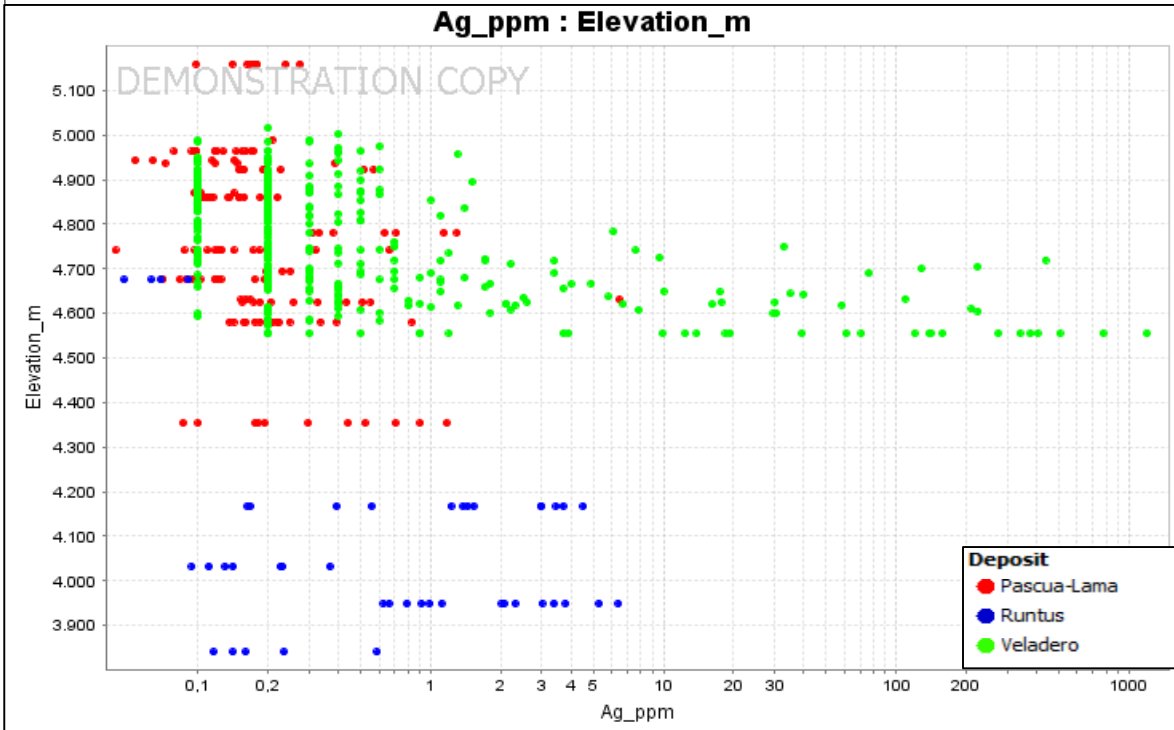
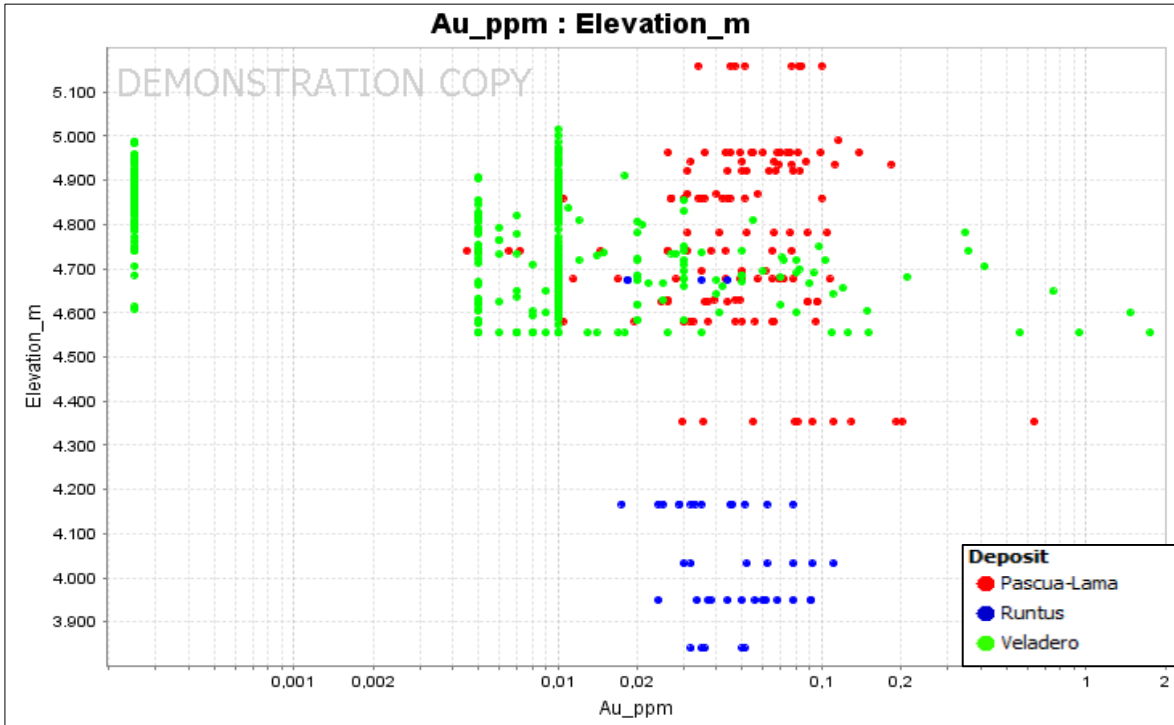


Figura 39: Sección de Pascua Lama de Alteración y Litología a) corte de la alteración presente, enfatizando la zona de steam heated. b) Mismo corte y la relación con la mineralogía presente (Fuente: Paper: Alunita en el Depósito de Alta Sulfuración Pascua Lama).



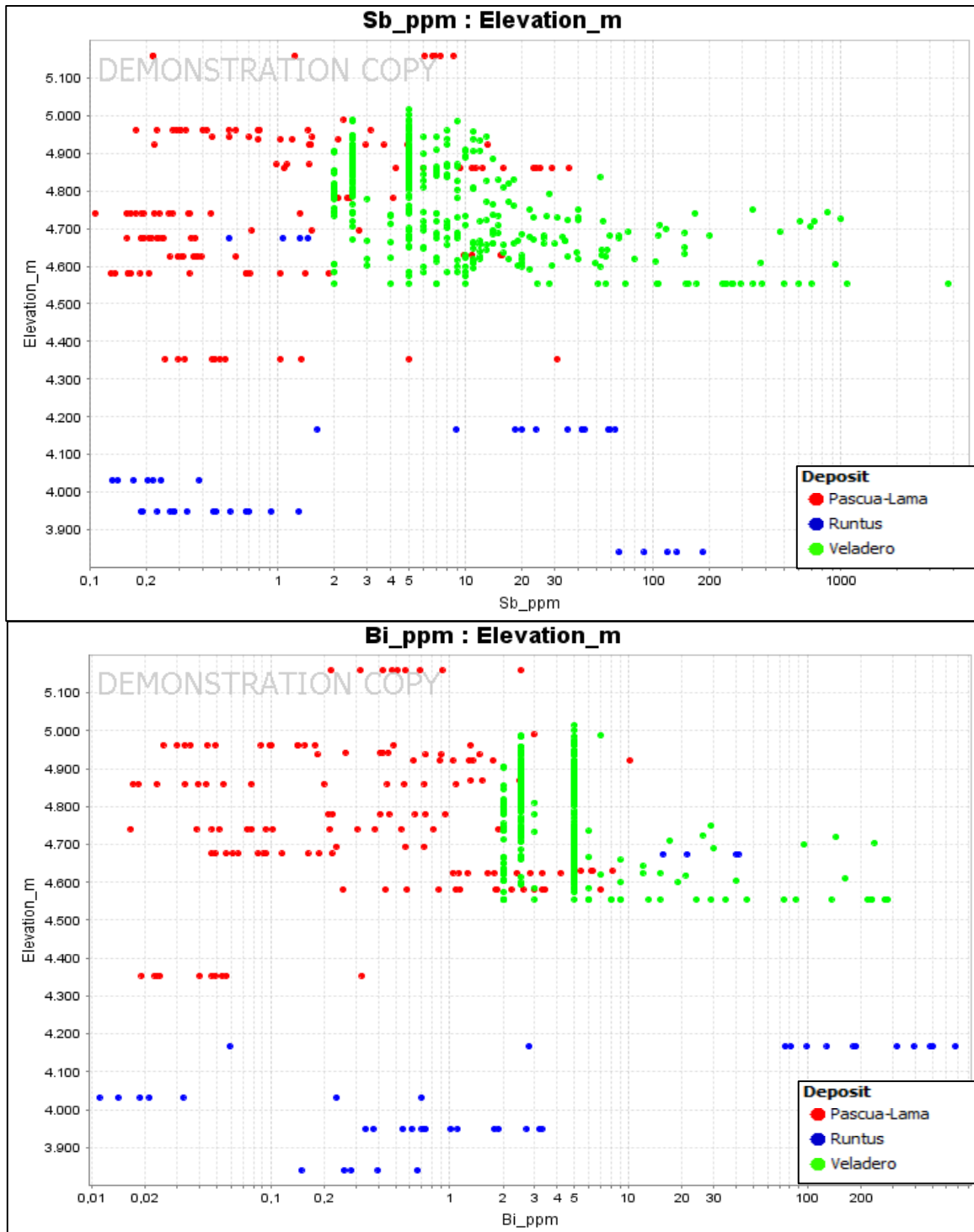


Figura 40: Representación de los 3 prospectos comparativos mostrando la relación que tienen con los principales elementos (Au, Ag, Sb y Bi) y el contenido que existe con la cota.

4.1.3 Alunitas Cerro Runtus Versus Alunitas Pascua Lama –Veladero

Los resultados mostrados en las figuras 34 a 37 nos indicarían que existe la probabilidad de encontrar mineralización en profundidad, como se detalla a continuación:

La distribución del Na es irregular y dispersa, no teniendo un patrón definido, ya que nuestra data espectral principalmente está caracterizada por alunita K (Anexo: Tabla I). A diferencia de los resultados en Pascua Lama en que las alunitas de rango 1478 a 1480 se encuentran con valores anómalos de Na, es decir alunitas K con ligero contenido en su estructura de Na, que indican zonas de mayor temperatura, ya que Pascua Lama se encuentra asociada distalmente a un pórfido que es Veladero.

La distribución del Pb es constante en valores menores a 100 ppm para los diversos rangos de Alunita; en la data de Pascua Lama-Veladero las Alunitas principalmente Potásicas tienen altos valores de Pb, ello es debido a que este elemento se encuentra asociado a mayores cantidades mientras más cerca estemos de una fuente caliente, es decir mientras nos alejamos del sistema las concentraciones de Pb decrecerán, así mismo Depósitos con mineralización económica del tipo Alta Sulfuración de tamaño medio a largo el Pb está en concentración mayor a 100 ppm (AMIRA Project 1060). Podría decirse que en el caso de Cerro Runtus estaríamos a cotas muy altas del Posible depósito o es que nuestro posible blanco tenga el tamaño medio a pequeño.

La distribución de La y Sr está en concentraciones bajas para alunitas principalmente potásicas, que se evidencia tanto para Cerro Runtus como para Pascua Lama-Veladero, ello es debido a que estos elementos se presentan en menores cantidades en las partes superficiales, lo que sería aceptable si nuestro objetivo es la búsqueda de un depósito tipo Alta Sulfuración.

En la figura 28 se muestra que los depósitos con contenido económico del tipo Alta Sulfuración se asocian más a alunitas potásicas, mientras que si nuestro objetivo es la búsqueda de pórfidos, como en el caso de Cerro Casale (Figura 27), los

resultados serían inversos, es decir tendríamos que tener presente los valores de alunitas Na, con elevado contenido de Pb, Sr, La y Na, ya que estos pueden estar asociados a lithocaps netamente estériles sin la presencia de elementos volátiles que nos puedan servir como guía.

4.1.4 Identificando zonas prospectivas

Integrando resultados del estudio de alunitas provenientes del steam heated, cartografiado geológico (alteraciones), ensambles de alteración hidrotermal con ayuda del terraspec, y geoquímica, se elaboró un mapa de alteraciones hidrotermales, definiendo 2 zonas de alteración: alteración steam heated (cuarzo-alunita-cristobalita +- azufre) y argílico (caolinita+- dickita principalmente), para luego identificar 5 posibles áreas de interés exploratorio:

Las 5 zonas representadas en el plano de alteraciones está definido por los contrastes que presenta: 1: la alunita K, que presenta los valores más altos de Pb, que intersectan con valores anómalos de volátiles (sea As, Sb o Hg), y 2: en el caso de la zona 2 y 4, asociados a anomalías de Au. (Figura 41).

Los 5 posibles targets generados están enfocados en la búsqueda de mineralización económica de Au y Ag asociada a depósitos de alta Sulfuración a través de un cuerpo en profundidad mayor a 200 m. como lo es Pascua Lama.

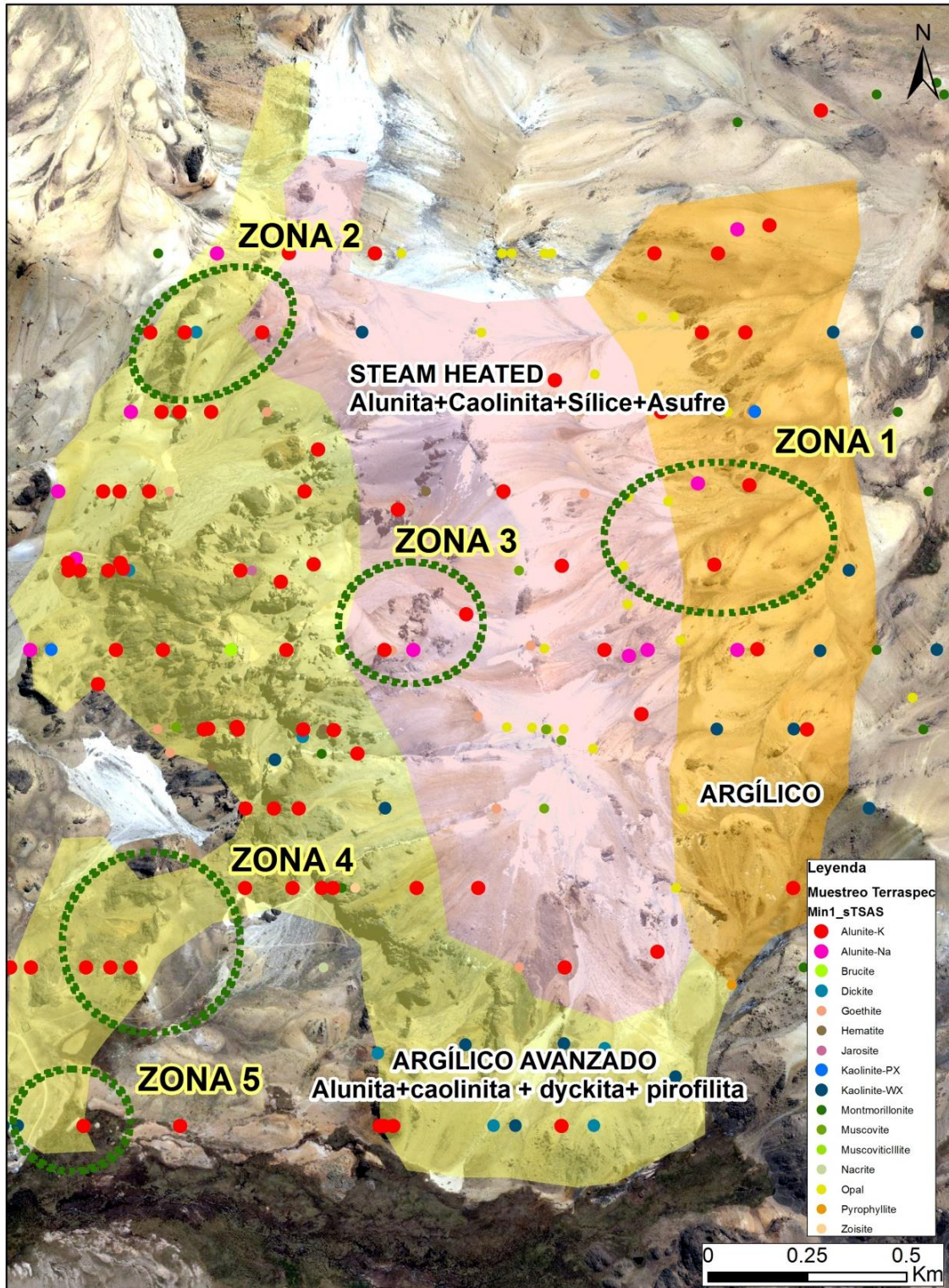


Figura 41: Elaboración del Mapa de Alteraciones Integrando data Espectral y alunitas, para la definición de blancos exploratorios.

4.2 Importancia de Explorar zonas calentadas por vapor (STEAM HEATED)

Desde el punto de vista económico los depósitos Epitermales asociados a zonas de steam heated, y/ o lithocaps suelen carecer de evidencias de mineralización en superficie ya que son considerados como áreas estériles, pocas veces prospectables, sin embargo en los últimos años se habla de las exploraciones asociadas a depósitos ocultos que se encuentran cubiertos por estas áreas “barren” (estériles) de cientos de metros que pueden albergar mineralización en profundidad.

Todo parte de modelos conceptuales que muchas veces funcionan y las observamos en yacimientos que presentan esta capa y están asociados a mineralización como por ejemplo el caso de Chaquicocha (Figura 42) y Pascua Lama, aunque otras veces no, sin embargo, no en todos los depósitos se realizan los mismos estudios para poder explorar desde el punto de vista económico. Los steam heated son de gran importancia, ya sea para vectorizar áreas con posible potencial e identificar targets, o simplemente para entender el comportamiento de la alteración, que pudo ser hipógena, supérgena, steam heated, o una mezcla de las 3 con superposición de diferentes pulsos hidrotermales. Ahí radica la importancia de realizar un estudio a detalle y no pasar por alto la presencia de esta área, con fines exploratorios.

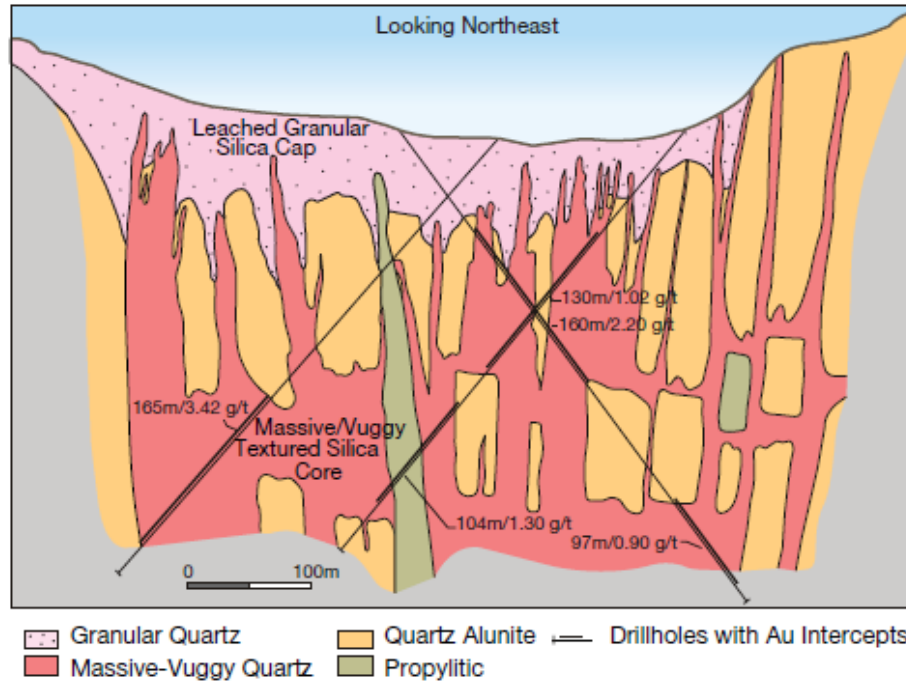


Figura 42: Sección esquemática de Chaquicocha en Yanacocha, mostrando depósitos tipo alta Sulfuración con una capa de sílice residual que cubre la mineralización asociada al cuarzo vuggy.

En la región de Ayacucho, el vulcanismo presente está asociado desde el Mioceno hacia el Paleógeno-Neógeno, principalmente, es decir secuencias volcánicas recientes menores a los 23 Ma. en donde la mineralización corresponde al cenozoico, razón por la que existe mayor posibilidad de encontrar zonas intactas, no erosionadas, que pueden presentar evidencias de alteración en superficie, constituyéndolos de esta manera en zonas atractivas a explorar desde el punto de vista económico.

4.3. Contrarrestación de la Hipótesis

Con los resultados de los estudios realizados de: cartografiado geológico, estudios de muestras para terraspec (haciendo énfasis en alunitas) y muestreo de rocas para análisis ICP-MS se ha podido demostrar que Cerro Runtus representa la parte somera de un sistema Hidrotermal no erosionado, asociado al steam heated, en que gran parte de esta alteración es producto de la acidificación de aguas subterráneas en la zona vadosa, a través del: establecimiento de asociaciones minerales de argílica avanzada (alunita + sílice/opalo +- cristobalita) y argílica (caolinita + sílice / caolinita + muscovita) ubicado hacia los bordes del target principal; que corroboran la existencia del Steam Heated según las teorías propuestas por Hedenquist y los modelos presentados en Pascua Lama, a ello suma la identificación del nivel de paleosuperficie, sus variaciones y fluctuaciones en eventos mineralizantes que la asocian a ciertas anomalías de contenido metálico, y por último el estudio de las alunitas que usa 4 elementos geoquímicos para vectorizar en lithocaps (Na, Pb, Sr y La), que pudiendo haberse trabajado en una forma comparativa con la firma geoquímica de las alunitas de Pascua Lama, nos permitieron identificar y corroborar partes altas de un sistema no erosionado, asociándola así y clasificando nuestra alteración como una gran capa de Steam Heated.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Los steam heated representan niveles someros de un sistema Epitermal no erosionado, cuya importancia reside en la capacidad de poder estar asociada a un depósito económico en profundidad, en Cerro Runtus su importancia radica en existencia de este nivel asociado a un depósito tipo sulfato ácido, evidenciado por las anomalías geoquímicas y alteración.
- ✓ Se elaboró un plano de alteraciones del área de trabajo, identificando alteraciones típicas de los depósitos tipo sulfato ácido, asociado a un steam heated.
- ✓ Se estableció 2 asociaciones principales: argílico y argílico avanzado, asociada a la zona steam heated, que fueron reconocidas mediante la integración de la información proporcionada por 241 muestras de mano para Terraspec y el cartografiado 1/2000.
- ✓ Se determinó el nivel de exposición del sistema Hidrotermal a través de la ubicación de la paleosuperficie, mineralogía, grado de alteración, nivel freático asociado a sílice calcedónica principalmente con ciertas anomalías de contenido metálico.
- ✓ Se comparó la zona Steam Heated de un proyecto fértil (Pascua Lama), con el nuestro, haciendo relaciones principalmente en la firma geoquímica de

las alunitas, mediante el uso de Sr, La, Na, y Pb que permitieron corroborar cierta similitud con un depósito tipo alta sulfuración, ya que a mayores temperaturas el Pb tiende a aumentar en concentración (en el caso de estar asociado a un pórfido) mientras que Sr, La y Na disminuye en superficie debido a temperaturas de menor rango, lo que verifica además la existencia de la zona steam heated.

5.2 RECOMENDACIONES:

- ✓ Se recomienda a CIA de Minas Buenaventura S.A.A. realizar un mapeo a mayor detalle de las fluctuaciones del nivel freático para determinar las variaciones de alteración steam heated, que pueden estar asociadas a múltiples estadios de alteración y por consiguiente con mineralización en profundidad.
- ✓ Se recomienda perforar en los blancos ubicados en Cerro Runtus, a fin de construir y validar el modelo conceptual.
- ✓ Se recomienda realizar estudios de petrografía y mineragrafía en los afloramientos para determinar con certeza, la clasificación de roca, y qué relación tienen los valores anómalos con roca y alteración.
- ✓ Se recomienda hacer un estudio de roca total para determinar la edad de alteración y posible mineralización.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA J. (2011) IMGEMMET. Memoria sobre la Geología Económica de la Región Ayacucho . Pág 12-17

AMIRA P765A (2010) Geochemical and Geological Halos in Green Rocks and Lithocaps: The explorers toolbox for porphyry and epithermal districts. Final Meeting. Slides 2-16.

AMIRA P1060 (2014) Alunite synthesis Slides: 1-33

ARRIBAS A. (1995) Characteristics of high-Sulfidation Epithermal Deposits, and their relation to magmatic fluid. Pag 421-430

CARLOTTO V. (2012) Evolución Tectónica y Metalogenética de la Litósfera del Sur del Perú: Resultado de la acreción de Bloques Alóctonos. Pág. 1-11

CARLOTTO V. (2009) Geotectonic domains tool for metalogenetic mapping in peru. Pág. 2-11

CHARCHAFLIÉ. D. (2007) Geologic Framework of the Veladero High-Sulfidation Epithermal Deposit Area, Cordillera Frontal, Argentina. Pág 171-176

COOKE D. (2015) Characteristics, settings and genesis in High sulfidation and Porphyry depositis- Short course Seg Student Chapter UNI. Slides 35-58

DEYELL C. (2001) Alunite and High Sulfidation Gold-Silver-Copper Mineralization in the Indio-Pascua Belt, Chile-Argentina. Pág 1-44

DEYELI C Alunite in Pascua Lama High –Sulfidation Deposit: Constraints on Alteration and Ore Deposition Using Stable Isotope Geochemistry. Pág 136-145.

ESPINOZA W. (2008) Estudio de los Ensamblajes de Alteración y su zonamiento en Depósitos de Alta Sulfuración utilizando el Terraspec. Pag. 47-55

HARVEY, BRUCE (2004) Breapampa, Perú Trip Report, Newmont Perú S.R.L. Reporte Pág. 6 - 9

HEDENQUIST, J.W. (1995). The ascent of magmatic fluid: Discharge versus Mineralización. In J.F.H. Thompson (ed.), Magmas, Fluids and ore Deposits: Mineralogical Association of Canada, short course Series 23: 263 - 289.

HEDENQUIST J. W. (1996) Pág. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration Pág 1-6

HEDENQUIST J. W. (2000) Exploration for Epithermal Gold Deposits. Pág 245-274

HEDENQUIST J. W.(2010) Modeling the Formation of Advanced Argillic Lithocaps: Volcanic Vapor Condensation Above Porphyry Intrusions. Pág 1523-1525

HEDENQUIST J. W. (2011) Lithocaps and high sulfidation epithermal deposits. Slides 2-122

INCA P. (2000) Geología y Mineralización del Yacimiento Epitermal Palla Palla Ayacucho-Perú. Pág: única.

KING J. (2014) High-Sulfidation Epithermal Pyrite-Hosted Au (Ag-Cu) Ore Formation by Condensed Magmatic Vapors on Sangihe Island, Indonesia. Pag. 1706-1712

KOUZMANOV K. (2012) Hidrotermal Controls on Metal Distribution in Porphyry Cu (Mo-Au) Systems. Pag 574-578

KOUSMANOV K. (2015) Reading rocks: Alteration and mineralization textures. Pag 37

KOUSMANOV K. (2015) Hidrotermal alteration and alteration textures. Ore minerals. Slides 2-16.

LEWIS T. & BENAVIDES A. (2010) History and Geologic Overview of the Yanacocha Mining District, Cajamarca, Peru. Pág 1173-1183

LONGO A. (2005) Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the yanacocha Mining District, Northern Perú. Pág 147-185

MEDRANO B. (ASC PERÚ) (2007) Memorandum: Informe Final del Proyecto Palla Palla. Pág. 1-33

MIRANDA M. (2013) Potencial Geológico Prospecto Palla Palla –Ayacucho. Slides 2-26

OLCHAUSKI E. (1980) Geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra. Pág. 28-43

SILEX PERÚ (2009) Informe: Reporte Resumen de la Campaña de Perforación 2009 – Proyecto Palla Palla. Pág 2-23

SILLITOE R. (2010) Porphyry Copper Systems. Pág 4, 8-10

SHANE W. (1995) Secondary Precious Metal Enrichment by Steam –Heated Fluids in the Crofoot-Lewis Hot Spring Gold-Silver Deposit and Relation to Paleoclimate. Pág 588-589

TRONCOSO N. (2013) Tesis: Geología del Sector Quebrada Pantanillo: Discusión sobre la Alteración Hidrotermal con énfasis en la zona de Steam Heated. Pág 1-74

WHITE N. (1990) Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. Pág. 5-9

ANEXOS

SAMPLE_ID	ELEVATION	Spectral_Sample	Min1 sTSAS	Wt1 sTSAS	Min2 sTSAS	Wt2 sTSAS
PII_PII00001	4867.06	PII_PII00001.asd.sco	Opal	0.731	Siderite	0.269
PII_PII00003	4905.95	PII_PII00003.asd.sco	Opal	1		
PII_PII00005	4915.00	PII_PII00005.asd.sco	Opal	0.726	Siderite	0.274
PII_PII00007	4841.55	PII_PII00007.asd.sco	Opal	0.738	Siderite	0.262
PII_PII00013	4872.84	PII_PII00013.asd.sco	Opal	0.731	Siderite	0.269
PII_PII00015	4826.38	PII_PII00015.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00017	4782.40	PII_PII00017.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00021	4803.76	PII_PII00021.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00023	4755.48	PII_PII00023.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00027	4746.25	PII_PII00027.asd.sco	Alunite-Na	1		
PII_PII00029	4727.90	PII_PII00029.asd.sco	Montmorillonite	0.562	Kaolinite-PX	0.438
PII_PII00031	4703.85	PII_PII00031.asd.sco	Alunite-K	0.541	Alunite-Na	0.459
PII_PII00033	4741.09	PII_PII00033.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00035	4744.64	PII_PII00035.asd.sco	Dickite	0.749	Alunite-Na	0.251
PII_PII00037	4775.11	PII_PII00037.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00039	4793.76	PII_PII00039.asd.sco	MuscoviticIllite	0.522	Kaolinite-WX	0.478
PII_PII00043	4842.19	PII_PII00043.asd.sco	Kaolinite-WX	0.681	Alunite-K	0.319
PII_PII00053	4886.56	PII_PII00053.asd.sco	Opal	1		
PII_PII00055	4679.32	PII_PII00055.asd.sco	Kaolinite-WX	1		
PII_PII00057	4701.94	PII_PII00057.asd.sco	Kaolinite-WX	1		
PII_PII00059	4668.48	PII_PII00059.asd.sco	Alunite-Na	0.713	Alunite-K	0.287
PII_PII00061	4684.18	PII_PII00061.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00063	4702.08	PII_PII00063.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00065	4709.32	PII_PII00065.asd.sco	Alunite-K	0.566	Alunite-Na	0.434
PII_PII00067	4736.27	PII_PII00067.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00079	4862.40	PII_PII00079.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00081	4812.95	PII_PII00081.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00084	4771.90	PII_PII00084.asd.sco	Opal	0.656	Siderite	0.344
PII_PII00086	4761.31	PII_PII00086.asd.sco	Kaolinite-PX	0.604	Alunite-K	0.396
PII_PII00090	4728.37	PII_PII00090.asd.sco	Montmorillonite	0.789	Jarosite	0.211
PII_PII00092	4907.80	PII_PII00092.asd.sco	Alunite-K	0.5	Brucite	0.5
PII_PII00096	4863.89	PII_PII00096.asd.sco	Hematite	1		
PII_PII00104	4743.66	PII_PII00104.asd.sco	Alunite-K	0.523	Kaolinite-WX	0.477
PII_PII00108	4673.07	PII_PII00108.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00110	4661.05	PII_PII00110.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00112	4650.58	PII_PII00112.asd.sco	Alunite-K	0.558	Kaolinite-WX	0.442
PII_PII00114	4629.76	PII_PII00114.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00116	4607.05	PII_PII00116.asd.sco	Alunite-Na	0.832	Alunite-K	0.168
PII_PII00118	4578.21	PII_PII00118.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00120	4587.75	PII_PII00120.asd.sco	Alunite-K	1		

SAMPLE_ID	ELEVATION	Spectral_Sample	Min1 sTSAS	Wt1 sTSAS	Min2 sTSAS	Wt2 sTSAS
PII_PII00122	4605.80	PII_PII00122.asd.sco	Alunite-K	0.695	Kaolinite-WX	0.305
PII_PII00124	4630.46	PII_PII00124.asd.sco	Dickite	0.784	Kaolinite-PX	0.216
PII_PII00134	4716.43	PII_PII00134.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00138	4724.12	PII_PII00138.asd.sco	Jarosite	0.579	Brucite	0.421
PII_PII00146	4905.50	PII_PII00146.asd.sco	Muscovite	0.63	Muscovite	0.37
PII_PII00148	4892.05	PII_PII00148.asd.sco	Alunite-K	0.704	Alunite-Na	0.296
PII_PII00150	4874.60	PII_PII00150.asd.sco	Alunite-Na	0.733	Alunite-K	0.267
PII_PII00152	4843.41	PII_PII00152.asd.sco	Alunite-Na	0.661	Alunite-K	0.339
PII_PII00154	4813.23	PII_PII00154.asd.sco	Kaolinite-WX	0.696	Alunite-K	0.304
PII_PII00160	4831.51	PII_PII00160.asd.sco	Alunite-Na	0.766	Alunite-K	0.234
PII_PII00162	4815.95	PII_PII00162.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00164	4807.12	PII_PII00164.asd.sco	Alunite-K	0.62	Alunite-K	0.38
PII_PII00166	4780.00	PII_PII00166.asd.sco	Muscovite	0.62	Muscovite	0.38
PII_PII00170	4727.31	PII_PII00170.asd.sco	Alunite-K	0.616	Dickite	0.384
PII_PII00172	4718.21	PII_PII00172.asd.sco	Brucite	1		
PII_PII00176	4634.71	PII_PII00176.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00178	4593.27	PII_PII00178.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00180	4570.00	PII_PII00180.asd.sco	Kaolinite-PX	1		
PII_PII00182	4547.90	PII_PII00182.asd.sco	Alunite-Na	0.64	Brucite	0.36
PII_PII00184	4579.10	PII_PII00184.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00186	4599.00	PII_PII00186.asd.sco	Muscovite	0.666	Muscovite	0.334
PII_PII00190	4640.63	PII_PII00190.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00192	4646.71	PII_PII00192.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00194	4684.88	PII_PII00194.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00196	4718.00	PII_PII00196.asd.sco	Alunite-K	0.535	Kaolinite-PX	0.465
PII_PII00198	4732.72	PII_PII00198.asd.sco	Hematite	1		
PII_PII00204	4967.95	PII_PII00204.asd.sco	Muscovite	0.587	Muscovite	0.413
PII_PII00206	4851.63	PII_PII00206.asd.sco	Kaolinite-WX	0.592	Alunite-K	0.408
PII_PII00208	4848.24	PII_PII00208.asd.sco	Alunite-K	0.646	Kaolinite-WX	0.354
PII_PII00212	4833.14	PII_PII00212.asd.sco	Montmorillonite	0.726	Magnesite	0.274
PII_PII00214	4885.57	PII_PII00214.asd.sco	Kaolinite-WX	0.718	Alunite-K	0.282
PII_PII00216	4874.57	PII_PII00216.asd.sco	Opal	0.558	Siderite	0.442
PII_PII00222	4921.48	PII_PII00222.asd.sco	Muscovite	0.671	Muscovite	0.329
PII_PII00224	4881.66	PII_PII00224.asd.sco	Goethite			
PII_PII00226	4774.90	PII_PII00226.asd.sco	Kaolinite-WX	0.607	Alunite-K	0.393
PII_PII00230	4700.66	PII_PII00230.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00232	4668.37	PII_PII00232.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00234	4638.72	PII_PII00234.asd.sco	Alunite-K	0.813	Alunite-Na	0.187
PII_PII00236	4624.12	PII_PII00236.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00238	4655.19	PII_PII00238.asd.sco	Alunite-K	1		

SAMPLE_ID	ELEVATION	Spectral_Sample	Min1 sTSAS	Wt1 sTSAS	Min2 sTSAS	Wt2 sTSAS
PII_PII00240	4667.49	PII_PII00240.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00242	4690.60	PII_PII00242.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00244	4696.38	PII_PII00244.asd.sco	Montmorillonite	0.725	Jarosite	0.275
PII_PII00246	4714.01	PII_PII00246.asd.sco	Zoisite	1		
PII_PII00250	4770.68	PII_PII00250.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00252	4819.14	PII_PII00252.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00260	4816.11	PII_PII00260.asd.sco	Opal	1		
PII_PII00262	4786.88	PII_PII00262.asd.sco	Alunite-K	0.619	Alunite-Na	0.381
PII_PII00266	4774.41	PII_PII00266.asd.sco	Montmorillonite	1		
PII_PII00270	4764.20	PII_PII00270.asd.sco	Alunite-K	0.634	Alunite-Na	0.366
PII_PII00272	4757.99	PII_PII00272.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00282	4621.13	PII_PII00282.asd.sco	Nacrite	0.543	Kaolinite-WX	0.457
PII_PII00286	4629.93	PII_PII00286.asd.sco	Alunite-K	0.565	Alunite-Na	0.435
PII_PII00288	4611.58	PII_PII00288.asd.sco	Alunite-K	0.777	Alunite-Na	0.223
PII_PII00290	4590.05	PII_PII00290.asd.sco	Alunite-K	0.629	Alunite-Na	0.371
PII_PII00294	4568.05	PII_PII00294.asd.sco	Alunite-K	0.631	Alunite-Na	0.369
PII_PII00296	4560.47	PII_PII00296.asd.sco	Alunite-K	0.629	Dickite	0.371
PII_PII00298	4589.89	PII_PII00298.asd.sco	Alunite-K	0.726	Dickite	0.274
PII_PII00300	4587.29	PII_PII00300.asd.sco	Alunite-K	0.545	Dickite	0.455
PII_PII00308	4585.43	PII_PII00308.asd.sco	Dickite	1		
PII_PII00312	4602.20	PII_PII00312.asd.sco	Kaolinite-WX	0.603	Dickite	0.397
PII_PII00314	4603.32	PII_PII00314.asd.sco	Dickite	1		
PII_PII00316	4608.36	PII_PII00316.asd.sco	Kaolinite-WX	0.838	Dickite	0.162
PII_PII00318	4602.87	PII_PII00318.asd.sco	Kaolinite-WX	0.615	Dickite	0.385
PII_PII00320	4587.31	PII_PII00320.asd.sco	Kaolinite-WX	0.586	Dickite	0.414
PII_PII00324	4569.52	PII_PII00324.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00327	4577.14	PII_PII00327.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00331	4598.65	PII_PII00331.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00333	4592.17	PII_PII00333.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00335	4596.03	PII_PII00335.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00339	4599.56	PII_PII00339.asd.sco	Alunite-K	0.607	Dickite	0.393
PII_PII00341	4588.63	PII_PII00341.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00342	4597.88	PII_PII00342.asd.sco	Alunite-Na	0.66	Alunite-K	0.34
PII_PII00344	4622.93	PII_PII00344.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00346	4577.14	PII_PII00346.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00348	4608.34	PII_PII00348.asd.sco	Alunite-K	0.751	Alunite-Na	0.249
PII_PII00352	4602.19	PII_PII00352.asd.sco	Alunite-K	0.775	Dickite	0.225
PII_PII00354	4603.14	PII_PII00354.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00356	4603.89	PII_PII00356.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00362	4597.88	PII_PII00362.asd.sco	Alunite-K	1		

SAMPLE_ID	ELEVATION	Spectral_Sample	Min1 sTSAS	Wt1 sTSAS	Min2 sTSAS	Wt2 sTSAS
PII_PII00363	4592.96	PII_PII00363.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00365	4599.55	PII_PII00365.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00368	4596.06	PII_PII00368.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00372	4638.48	PII_PII00372.asd.sco	Alunite-K	0.657	Alunite-Na	0.343
PII_PII00378	4585.44	PII_PII00378.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00379	4665.65	PII_PII00379.asd.sco	Kaolinite-WX	0.72	Nacrite	0.28
PII_PII00381	4680.13	PII_PII00381.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00382	4690.00	PII_PII00382.asd.sco	Dickite	1		
PII_PII00384	4628.30	PII_PII00384.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00385	4638.15	PII_PII00385.asd.sco	Alunite-K	0.696	Alunite-Na	0.304
PII_PII00386	4656.25	PII_PII00386.asd.sco	Dickite	0.548	Kaolinite-PX	0.452
PII_PII00389	4599.22	PII_PII00389.asd.sco	Hematite	1		
PII_PII00398	4639.24	PII_PII00398.asd.sco	Montmorillonite	0.739	Vegetation-Dry	0.261
PII_PII00399	4629.16	PII_PII00399.asd.sco	Montmorillonite	1		
PII_PII00400	4602.81	PII_PII00400.asd.sco	Opal	0.83	Tourmaline-Fe	0.17
PII_PII00401	4592.08	PII_PII00401.asd.sco	Opal	1		
PII_PII00403	4555.21	PII_PII00403.asd.sco	Alunite-K	0.644	Alunite-Na	0.356
PII_PII00407	4569.04	PII_PII00407.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00410	4556.50	PII_PII00410.asd.sco	Kaolinite-WX	0.52	Dickite	0.48
PII_PII00412	4545.00	PII_PII00412.asd.sco	Kaolinite-WX	0.549	Montmorillonite	0.451
PII_PII00416	4562.79	PII_PII00416.asd.sco	Kaolinite-WX	1		
PII_PII00420	4573.90	PII_PII00420.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00422	4698.56	PII_PII00422.asd.sco	Montmorillonite	1		
PII_PII00424	4708.09	PII_PII00424.asd.sco	Montmorillonite	1		
PII_PII00429	4588.38	PII_PII00429.asd.sco	Montmorillonite	1		
PII_PII00430	4586.68	PII_PII00430.asd.sco	Dickite	1		
PII_PII00433	4670.00	PII_PII00433.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00434	4657.20	PII_PII00434.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00436	4634.74	PII_PII00436.asd.sco	Dickite	0.64	Kaolinite-WX	0.36
PII_PII00437	4568.58	PII_PII00437.asd.sco	Goethite	1		
PII_PII00445	4714.77	PII_PII00445.asd.sco	Alunite-Na	0.798	Alunite-K	0.202
PII_PII00446	4728.86	PII_PII00446.asd.sco	Alunite-Na	0.772	Alunite-K	0.228
PII_PII00453	4726.42	PII_PII00453.asd.sco	Opal	1		
PII_PII00455	4719.15	PII_PII00455.asd.sco	Opal	1		
PII_PII00457	4697.26	PII_PII00457.asd.sco	Alunite-K	0.584	Alunite-Na	0.416
PII_PII00459	4674.90	PII_PII00459.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00470	4555.00	PII_PII00470.asd.sco	Alunite-K	1		
PII_PII00476	4564.60	PII_PII00476.asd.sco	Alunite-Na	0.721	Alunite-K	0.279
PII_PII00479	4598.82	PII_PII00479.asd.sco	Alunite-K	1		

PII_PII00481	4599.30	PII_PII00481.asd.sco	Alunite-K	0.6	Alunite-Na	0.4
SAMPLE_ID	ELEVATION	Spectral_Sample	Min1 sTSAS	Wt1 sTSAS	Min2 sTSAS	Wt2 sTSAS
L-300N_001	4828.00	L-300N-0100000.asd.sco	Alunite-K	1		
L-300N_003	4865.00	L-300N-0300000.asd.sco	Opal	1		
L-300N_004	4908.00	L-300N-0400000.asd.sco	Alunite-K	1		
L-300N_007	4879.00	L-300N-0700001.asd.sco	Alunite-K	0.676	Alunite-Na	0.324
L-300N_008	4783.00	L-300N-0800001.asd.sco	Alunite-K	0.701	Alunite-Na	0.299
L-300N_009	4755.00	L-300N-0900000.asd.sco	Alunite-K	1		
L-300N_013	4634.00	L-300N-1400000.asd.sco	Alunite-K	1		
L-300N_014	4630.00	L-300N-1400000.asd.sco	Alunite-K	1		
L-300N_015	4594.00	L-300N-1500000.asd.sco	Alunite-K	1		
L-300N_016	4594.00	L-300N-1600000.asd.sco	Alunite-Na	0.505	Alunite-K	0.495
L_300N_017	4775.00	L_300N_01700001.asd.sco	Kaolinite-WX	1	NULL	NULL
L_300N_018	4765.00	L_300N_01800001.asd.sco	Kaolinite-WX	0.46	Kaolinite-WX	0.46
L-100S-001	4893.00	L-100S-00100001.asd.sco	Kaolinite-WX	1		
L-100S-002	4898.00	L-100S-00200001.asd.sco	Alunite-K	0.639	Alunite-Na	0.361
L-100S-003	4898.00	L-100S-00300001.asd.sco	Alunite-K	0.732	Alunite-Na	0.268
L-100S-004	4955.00	L-100S-00400001.asd.sco	Opal	1		
L-100S-005	4977.00	L-100S-00500001.asd.sco	Muscovite	0.638	Brucite	0.362
L-100S-006	4971.00	L-100S-00600002.asd.sco	Opal	0.512	Teflon	0.488
L-100S-007	4986.00	L-100S-00700001.asd.sco	Opal	1		
L-100S-008	4973.00	L-100S-00800001.asd.sco	Opal	1		
L-100S-009	4944.00	L-100S-00900001.asd.sco	Opal	1		
L-100S-010	4916.00	L-100S-01000003.asd.sco	Goethite	1		
L-100S-015	4771.00	L-100S-01500001.asd.sco	Alunite-K	0.545	Dickite	0.455
L-100S-016	4764.00	L-100S-01600001.asd.sco	Alunite-K	1		
L-100S-016 A	4764.00	L-100S-016A00002.asd.sco	Alunite-K	0.557	Alunite-Na	0.443
L-100S-018	4735.00	L-100S-01800001.asd.sco	Montmorillonite	1		
L-100S-019	4740.00	L-100S-01900002.asd.sco	Dickite	0.53	Kaolinite-WX	0.47
L-100S-020	4708.00	L-100S-02000001.asd.sco	Kaolinite-WX	0.722	Dickite	0.278
L-100S-021	4710.00	L-100S-02100001.asd.sco	Alunite-K	1		
L-100S-021A	4710.00	L-100S-021A00001.asd.sco	Alunite-K	1		
L-100S-023	4645.00	L-100S-02300002.asd.sco	Hematite	1		
L-100S-024	4608.00	L-100S-02400001.asd.sco	Goethite	1		
L-100S-026	4594.00	L-100S-02600002.asd.sco	Alunite-K	1		
L_100N_002	4962.00	L_100N_00200000.asd.sco	Goethite	1		
L_100N_003	4947.00	L_100N_00300001.asd.sco	Opal	1		
L_100N_004	4900.00	L_100N_00400001.asd.sco	Alunite-Na	0.502	Alunite-K	0.498
L_100N_005	4870.00	L_100N_00500000.asd.sco	Opal	1		
L_100N_006	4851.00	L_100N_00600000.asd.sco	Alunite-K	1		

L_100N_007	4819.00	L_100N_00700001.asd.sco	Kaolinite-WX	0.843	Jarosite	0.157
L_100N_008	4790.00	L_100N_00800000.asd.sco	Montmorillonite	0.741	Jarosite	0.259
SAMPLE_ID	ELEVATION	Spectral_Sample	Min1 sTSAS	Wt1 sTSAS	Min2 sTSAS	Wt2 sTSAS
L_100N_009	4820.00	L_100N_00900001.asd.sco	Opal	0.812	Alunite-Na	0.188
L_500N_001	4837.00	L500N_00100000.asd.sco	Alunite-K	1		
L_500N_002	4837.00	L500N_00200003.asd.sco	Alunite-K	1		
L_500N_005	4780.00	L500N_00500002.asd.sco	Alunite-K	0.773	Kaolinite-WX	0.227
L_500N_006	4730.00	L500N_00600001.asd.sco	Montmorillonite	0.815	Jarosite	0.185
L_500N_007	4740.00	L500N_00700001.asd.sco	Opal	0.723	Siderite	0.277
L_500N_008	4780.00	L500N_00800001.asd.sco	Alunite-K	1		
L_500N_009	4785.00	L500N_00900000.asd.sco	Alunite-Na	0.849	Alunite-K	0.151
L_500N_010	4815.00	L500N_01000002.asd.sco	Opal	1		
L_500N_011	4850.00	L500N_01100000.asd.sco	Opal	1		
L_500N_012	4865.00	L500N_01200000.asd.sco	Goethite	1		
L_700N_003	4910.00	L700N_00300000.asd.sco	Opal	0.711	Siderite	0.289
L_700N_006	4782.00	L700N_00600000.asd.sco	Alunite-K	1		
L_700N_007	4863.00	L700N_00700001.asd.sco	Brucite	1		
L_700N_008	4840.00	L700N_00800000.asd.sco	Opal	1		
L_900N_002	4835.00	L900N_00200000.asd.sco	Alunite-K	0.755	Alunite-Na	0.245
L_900N_005	4798.00	L900N_00500000.asd.sco	Opal	0.634	Siderite	0.366
L_900N_006	4790.00	L900N_00600000.asd.sco	Opal	0.646	Siderite	0.354
L_900N_007	4780.00	L900N_00700000.asd.sco	Alunite-K	1		
L_900N_008	4755.00	L900N_00800000.asd.sco	Alunite-K	1		
L_500S_001	4900.00	L_500S_00100000.asd.sco	Kaolinite-WX	0.509	Opal	0.491
L_500S_002	4905.00	L_500S_00200000.asd.sco	Opal	1		
L_700S_001	4821.00	L700S_00100000.asd.sco	Kaolinite-WX	1		
L_700S_002	4864.00	L700S_00200000.asd.sco	Kaolinite-WX	1		
L_700S_003	4761.00	L700S_00300000.asd.sco	Pyrophyllite	0.711	Kaolinite-WX	0.289
L_700S_004	4761.00	L700S_00400000.asd.sco	Alunite-K	1		
L_900S_001	4821.00	L900S_00100000.asd.sco	Montmorillonite	1		
L_900S_002	4806.00	L900S_00200001.asd.sco	Opal	0.553	Kaolinite-WX	0.447
L_900S_003	4726.00	L900S_00300002.asd.sco	Kaolinite-WX	0.62	Dickite	0.38
L_900S_004	4744.00	L900S_00400000.asd.sco	Dickite	1		
L_900S_005	4732.00	L900S_00500000.asd.sco	Kaolinite-WX	0.72	Alunite-Na	0.28
L_900S_007	4699.00	L900S_00700000.asd.sco	Kaolinite-WX	0.706	Dickite	0.294
L_900S_008	4642.00	L900S_00800000.asd.sco	Dickite	0.517	Alunite-K	0.483
L_1100N_001	4750.00	L1100N_00100000.asd.sco	Alunite-Na	0.743	Alunite-K	0.257
L_1100N_002	4750.00	L1100N_00200000.asd.sco	Alunite-K	1		
L_1200N_001	4748.00	L_1200N_00100000.asd.sco	Montmorillonite	1		

L_1200N_002	4715.00	L_1200N_00200000.asd.sc	Alunite-K	0.555	Kaolinite-WX	0.445
L_1200N_003	4700.00	L_1200N_00300000.asd.sc	Montmorillonite	0.684	Palygorskite	0.316
L_1200N_004	4675.00	L_1200N_00400001.asd.sc	Montmorillonite	0.835	Kaolinite-PX	0.165
SAMPLE_ID	ELEVATION	Spectral_Sample	Min1 sTSAS	Wt1 sTSAS	Min2 sTSAS	Wt2 sTSAS
L_1200N_005	4668.00	L_1200N_00500001.asd.sc	Montmorillonite	1		
L_1200N_006	4650.00	L_1200N_00600000.asd.sc	Opal	0.523	Montmorillonite	0.477

Tabla I: Lecturas de Terraspec para las 241 muestras sacadas sistemáticamente, se muestra el mineral 1 y 2, considerándose el mineral 1 de mayor confiabilidad por estar en mayor proporción en la lectura.

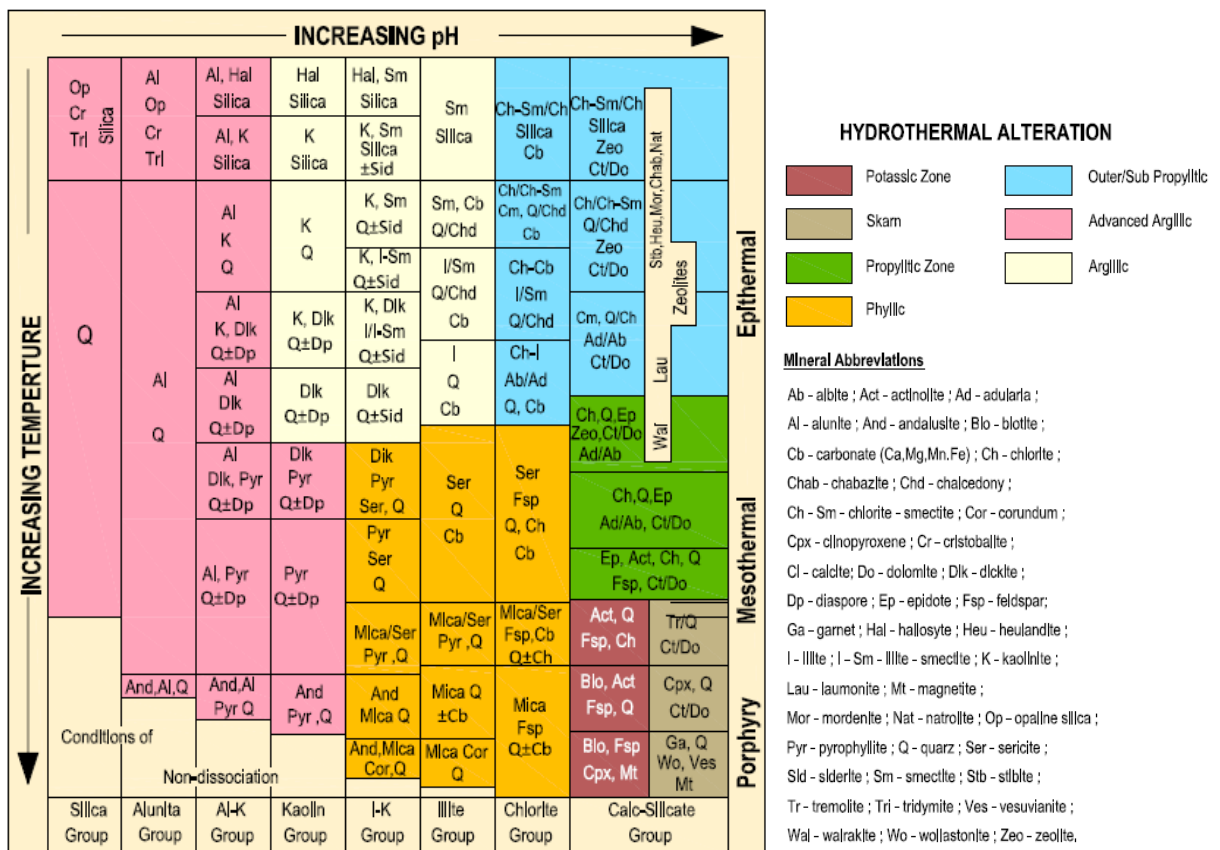


Tabla II: Cuadro de Corbett & Leach de alteraciones Hidrotermales, para ambientes Epitermales, Mesotermiales y tipo pórfido.