



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

**ANÁLISIS DEL SISTEMA MINERALÓGICO DEL PÓRFIDO DEL
PROYECTO MINERO COLPAYOC PARA DETERMINAR SU TIPO
DE YACIMIENTO, DISTRITO CHETILLA – CAJAMARCA, 2017**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por el Bachiller:

DE LA CRUZ VÁSQUEZ, ROSMEL

Cajamarca - Perú

- 2017 -

DEDICATORIA

Esta tesis se lo dedico a Dios, a mis padres por darme la oportunidad de permitir ser alguien en la vida. A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

A mi hermano Deiser Wilver que por su apoyo incondicional que siempre me estuvo apoyando en todo momento, gracias por su apoyo no la defraudare y seguiré para adelante.

Rosmel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma mater, Universidad Alas Peruanas, Filial Cajamarca, en especial a la Facultad de Ingeniería de Minas; a mis docentes, por todas sus enseñanzas y por el apoyo brindado para abrirme paso hacia el desarrollo profesional.

Quiero brindar mis agradecimientos profundos a Dios por la oportunidad de realizar esta tesis, a mis padres y a mi hermano por el apoyo que me han dado desinteresadamente, de una forma muy especial mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron en la realización de esta tesis.

Rosmel

RESUMEN

Este yacimiento está definido por el Pórfido de Au, Cu. La roca huésped son rocas sedimentarias que se encuentran perturbadas por el corte de intrusiones porfiríticas félsicas y domos roiodacíticos. El magma félsico instruyó la secuencia sedimentaria controlada por un alineamiento estructural de orientación NE. Los intrusivos del cerro Colpayoc, se encuentran a manera de stocks de composición diorítica y sills de composición cuarzo- diorita, asociada a esta intrusión se tiene evidencias de mineralización característica de un depósito porfirítico de oro- cobre, con desarrollo de alteraciones potásica, con alteración intermedia argílica y alteración fílica con ocurrencia de oro- cobre. La fuente de mineralización es la alteración hidrotermal es posible identificar tres zonas: Oeste, Central y Este. En la zona Oeste, se encuentran preferentemente las alteraciones SCC1 y SCC2, asociadas a la andesita. La alteración K1 se distribuye en la zona noroeste del yacimiento. En la zona Este, se encuentran las alteraciones S1 y S2 asociadas al pórfido feldespático. La zona Central correspondería a una transición entre la Este y Oeste. En esta se encuentran las alteraciones SCC2 y K2 en contacto en profundidad con las alteraciones S1 y S2. La alteración AA es posible encontrarla en superficie en cualquiera de las tres zonas descritas.

Palabras Clave: Sistema Mineralógico, Pórfido, Yacimiento Minero, Geoquímica, Ley Mineral.

ABSTRAC

This deposit is defined by the Porphyry of Au, Cu. The host rock is sedimentary rocks that are disturbed by the cut of felsic porphyritic intrusions and riodacitic domes. Felsic magma intruded the sedimentary sequence controlled by an NE-oriented structural alignment. The intrusives of the Colpayoc hill are in the form of dioritic composition stocks and sills of quartz-diorite composition, associated to this intrusion is evidence of mineralization characteristic of a gold-copper porphyritic deposit, with development of potassium alterations, with alteration argillic intermediate and phyllic alteration with occurrence of gold-copper. The source of mineralization is the hydrothermal alteration it is possible to identify three zones: West, Central and East. In the West zone, the alterations SCC1 and SCC2, associated with the andesite, are preferentially found. The alteration K1 is distributed in the northwest zone of the deposit. In the East zone, we find the alterations S1 and S2 associated to the feldspathic porphyry. The Central zone would correspond to a transition between East and West. In this one the alterations SCC2 and K2 are in contact in depth with the alterations S1 and S2. The alteration AA is possible to find it in surface in any of the three zones described.

Key Words: Mineralogical System, Porphyry, Mining Site, Geochemistry, Mineral Law.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRAC.....	v
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación social.....	3
1.2.3. Delimitación temporal	3
1.2.4. Delimitación conceptual.....	3
1.3. Planteamiento de problemas de investigación.....	3
1.3.1. Problema principal.....	3
1.3.2. Problemas secundarios.....	3
1.4. Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis y variables de la investigación.....	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis específicas	5
1.5.3. Variable independiente.....	5
1.5.4. Variable dependiente.....	5
1.5.5. Operacionalización de las variables	6
1.6. Diseño de la investigación	6

	Pág.
1.6.1. Tipo de investigación	6
1.6.2. Nivel de investigación	6
1.6.3. Métodos de investigación	7
1.6.4. Diseño de investigación.....	7
1.7. Población y muestra de la investigación	8
1.7.1. Población.....	8
1.7.2. Muestra	8
1.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	8
1.8.1. Técnicas	8
1.8.2. Instrumentos.....	10
1.9. Justificación e importancia de la investigación.....	10
1.9.1. Justificación	10
1.9.2. Importancia.....	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes del problema	12
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. Generalidades	17
2.2.2. Formación de pórfidos.....	22
2.2.3. Pórfidos cupríferos: depósitos de cu (mo) de gran tonelaje y baja ley.....	22
2.3. Definición de términos básicos	28
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	30
3.1. Aspectos generales.....	30
2.3.1. Política.....	31
2.3.2. Geográfica	31
2.3.3. Accesibilidad	32

	Pág.
2.3.4. Clima	32
2.3.5. Flora y fauna	33
2.3.6. Hidrología	34
2.3.7. Topografía general	34
3.2. Geología estructural.....	35
3.3. Mineralogía	38
3.4. Mineralización del pórfido del proyecto minero colpayoc.....	38
3.5. Modelamiento geológico	39
3.6. Campañas de perforación.....	39
3.7. Logueo.....	39
3.8. Interpretación geológica.....	40
3.9. Definición del sistema	40
3.10. Porcentaje de disolución	47
3.11. Abundancia de minerales.....	51
3.12. Análisis univariable	56
3.13. Depuración de base de datos geoquímicos.....	58
3.14. Clasificación previa	66
3.15. Prueba de hipótesis general	72
3.16. Prueba de hipótesis específicas	72
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	87
ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Modelo idealizado de la alteración hidrotermal	18
Figura 2. Distribución mundial de las provincias metalogénicas.	19
Figura 3. Tipos principales de yacimientos epitermales.	20
Figura 4. Modelo esquemático de un yacimiento epitermal del tipo Carlin.....	21
Figura 5. Vegetación de la zona.....	33
Figura 6. Vegetación de la zona.....	34
Figura 7. Plano estructural de la zona.....	36
Figura 8. Falla regional.....	37
Figura 9. Cantidad de datos por litología.....	40
Figura 10. Cantidad de datos de alteración por litología.	41
Figura 11. Cantidad de datos por minzone.	42
Figura 12. Distribución espacial de los datos geoquímicos según la litología.	44
Figura 13. Distribución espacial de los datos geoquímicos.....	46
Figura 14. Distribución espacial de los datos geoquímicos - mineralización... ..	47
Figura 15. Boxplot de disolución total calculada para elementos mayores.	49
Figura 16. Porcentaje relativo promedio de elementos disuelto - alteración. ...	50
Figura 17. Porcentaje normalizado promedio de elementos traza disueltos. .	50
Figura 18. Esquema de grado de destrucción de los feldespatos.....	51
Figura 19. Abundancia relativa de minerales en cada alteración hidrotermal.	52
Figura 20. Abundancia relativa a todos los minerales-alteración hidrotermal.	54
Figura 21. Histogramas de elementos mayores por alteración hidrotermal. ...	56
Figura 22. Histogramas de algunos elementos.	57
Figura 23. Boxplots eje logarítmico-elementos por alteración hidrotermal.	58
Figura 24. Varianza acumulada según ACP de elementos mayores.	60
Figura 25. Diagrama de sedimentación para elementos mayores.	60
Figura 26. Círculos de correlación para elementos mayores.	62
Figura 27. Diagrama de dispersión entre PC1 y PC2.....	63
Figura 28. Varianza acumulada según ACP de elementos traza.	64
Figura 29. Diagrama de sedimentación para elementos traza.	64
Figura 30. Diagramas de componentes principales para elementos traza.....	65

	Pág
Figura 31. Diagrama de dispersión entre PC1 y PC2.....	66
Figura 32. Diagrama de clasificación Al-Fe-Mg (Townley et al., 2012).	67
Figura 33. Diagrama de clasificación Ca-Fe-S (Townley et al., 2012).....	68
Figura 34. Diagrama de discriminación entre alteraciones.....	69
Figura 35. Diagrama Mg-Fe-S mostrando clasificación de base de datos.	71
Figura 36. Logueo litológico y estructural.....	80
Figura 37. Diagrama de Streckeisen.....	81
Figura 38. Afloramientos de rocas volcánicas	82
Figura 39. Evaluación visual de rocas y minerales.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables.	6
Tabla 2. Coordenadas del proyecto minero Colpayoc.	32
Tabla 3. Accesibilidad a la zona de estudio.	32
Tabla 4. Codificación de zonas mineralógicas.	41
Tabla 5. Cantidad de muestras con única alteración por tramo.	42
Tabla 6. Cantidad de datos por tramo con mezcla de alteraciones.	43
Tabla 7. Estadígrafos de porcentaje de disolución calculada.	48
Tabla 8. Elementos con índice de correlación superior o igual a 0.93.	59
Tabla 9. Clasificación entre clases propuestas por Townley et al. (2012).	70
Tabla 10. matriz de consistencia.	79

INTRODUCCIÓN

Esta tesis tiene por objetivo analizar el sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero Colpayoc para determinar su tipo de yacimiento, además como objetivos específicos caracterizar la geología del pórfido, determinar la fuente de mineralización del que proviene el fluido enriquecedor del pórfido y definir el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido.

El problema principal de esta tesis es ¿Cómo influye el análisis del sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero Colpayoc en la determinación del tipo de yacimiento, distrito de Chetilla – Cajamarca - 2017?

El estudio de pórfido del proyecto minero Colpayoc, desde el punto de vista metalogenético, se justifica porque es la clave para explicar por qué la faja de depósitos minerales del corredor Porculla.

Esta tesis nos ayudó a conocer mejor la evolución metalogenética de este pórfido.

El pórfido Colpayoc se ubica en zonas con débil desarrollo socio económico, la influencia del proyecto ayudará en forma directa al crecimiento y desarrollo de los pueblos de Chetilla, emplazados en los alrededores de la zona de estudio y en forma indirecta a la provincia de Cajamarca.

Estrella Gold indicó además que ha planeado realizar aproximadamente 1,800 metros de perforación base en ocho orificios dentro de las zonas Daylight y Cerro Rico; sostuvo que la zona Daylight ha sido el foco de la mayor parte del trabajo en Colpayoc y contiene mineralización oxidada y en afloramiento de oro y cobre dentro de un sistema de pórfido de los mencionados metales. Indicó que esta zona contiene un área de 300 metros de diámetro de mineralización de oro en afloramiento, rodeada de rocas sedimentarias.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

Cada yacimiento de pórfido de cobre tiene características particulares de ocurrencia y formación, pero, de modo general, ellos mantienen rasgos en común, lo que ha conducido a muchos investigadores a estar en buen acuerdo sobre el zonamiento y cronología de las alteraciones y mineralizaciones diseminadas con baja ley, las cuales están centradas sobre stocks porfiríticos félsicos; así con la misma premisa de generalidad, los pórfidos de Cu tienen ensambles de magnetita sin sulfuros, magnetita+bornita+calcopirita ó pirita+calcopirita, todos representando estados de sulfuración intermedia. (Aliaga, 2012)

Los pórfidos se forman casi siempre en centros intrusivos, o en zonas de colisión de placas de diferente composición mineral desde magmas félsicos o alcalinos hasta magmas calco-alcalinos intermedios; estos centros intrusivos se emplazan normalmente ocupando áreas que van desde 100m hasta unos pocos km de diámetro. (Bendezú, 2014)

Los yacimientos en el Perú en los siguientes ambientes geológicos: en la franja SE del Batolito de la Costa , están ubicados los pórfidos de cobre como por ejemplo la mina Toquepala, en la franja Sedimentaria Mesozoica de la Cordillera Occidental en el departamento de Cusco se encuentra la mina Antapacay, en el departamento de Apurímac, Los

Chancas; en el departamento de Junín Toromocho dentro del distrito minero de Morococha; en el departamento de Cajamarca Michiquillay, La Granja, Minas Conga, Galeno y el proyecto la estrella–Colpayoc, Cerro Corona en el departamento de Piura, Rio Blanco cerca de la frontera con Ecuador. (Petersen, 2014)

Los primeros estudios formales en la localidad de Sexemayo datan del año 2010, en dichos estudios se evaluó las reservas del mineral del ahora proyecto minero Colpayoc, en función a modelamientos, a través de sondeos, pero hasta el momento el proyecto ha quedado paralizado, debido a los conflictos sociales mineros, partiendo de ahí la importancia de una evaluación sobre la rentabilidad de la ejecución del proyecto en cuestión, mencionando también los múltiples beneficios que representaría en un futuro. Colpayoc es un proyecto aurífero (pórfido de cobre-oro) ubicado en la localidad de Sexemayo, actualmente los estudios sobre el cálculo de reservas y otros estudios se encuentran detenidos. (Estraver, 2014)

En este concepto, este proyecto de tesis, se enfocó en analizar del sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero Colpayoc para determinar su tipo de yacimiento, y lograr alcanzar la viabilidad técnica, económica, social y ambiental para iniciar su explotación.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El área de estudio donde se desarrolló el tema de investigación es el área de exploración del proyecto minero Colpayoc, ubicado en el distrito de Chetilla, Provincia y Departamento de Cajamarca de propiedad de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation.

1.2.2. Delimitación social

En la investigación se trabajó con los trabajadores de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation y los pobladores del distrito de Chetilla.

1.2.3. Delimitación temporal

El presente trabajo de investigación se realizó desde el 01 de marzo del 2017 hasta el 30 de Julio del 2017.

1.2.4. Delimitación conceptual

La observación de los componentes mineralógicos de las rocas presentes en el área de exploración del proyecto Colpayoc se empleó para determinar su sistema mineralógico. El uso de esta herramienta requiere alcanzar altos niveles de análisis de minerales, para prevenir malas inversiones en proyectos mineros.

1.3. Planteamiento de problemas de investigación

1.3.1. Problema principal

¿Cómo influye el análisis del sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero Colpayoc en la determinación del tipo de yacimiento, distrito de Chetilla – Cajamarca - 2017?

1.3.2. Problemas secundarios

- ¿Cuáles son las características geológicas del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca?

- ¿Cuál es la fuente de mineralización del pórfido del que proviene el fluido enriquecedor del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca?
- ¿Cuál es el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar el sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero Colpayoc para determinar su tipo de yacimiento, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la geología del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca.
- Determinar la fuente de mineralización del que proviene el fluido enriquecedor del pórfido Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca.
- Definir el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca.

1.5. Hipótesis y variables de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

El Análisis del Sistema Mineralógico del Pórfido del Proyecto Minero Colpayoc influye favorablemente en la determinación de su Tipo de Yacimiento, Distrito Chetilla – Cajamarca, 2017.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Al caracterizar la geología del pórfido del proyecto minero Colpayoc se determinó el sistema de mineralización, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.
- Determinando la fuente de mineralización del que proviene el fluido enriquecedor del pórfido del proyecto minero Colpayoc se evaluará su viabilidad, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.
- Al definir el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido del proyecto minero Colpayoc se determinará su génesis, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.

1.5.3. Variable independiente

Sistema Mineralógico

1.5.4. Variable dependiente

Tipo de Yacimiento

1.5.5. Operacionalización de las variables

Tabla 1
Operacionalización de variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONTEXTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Sistema mineralógico	Independiente	Minerales enclaustrados en la veta, definiendo los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales.	Ganga	Ley en %
			Mena	Ley en %
Tipo de yacimiento	Dependiente	Acumulación geográfica de cierto material, sea sólido – roca, minerales o fósiles-, o fluido –gas natural o petróleo-, que resulta ser de utilidad para el ser humano.	Tipo de Pórfido	Magmático Hidrotermal
			Minerales	Cobre
				Molibdeno
				Oro
				Tungsteno
				Estaño
			Ambiente Tectónico	Convergente Divergente
			Dimensiones	Metros
			Roca Asociada	Granodiorita Riodacita
			Mineral Asociado	Sulfuros
Ley	Alta (gr/Ton) Baja (gr/Ton)			

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.6. Diseño de la investigación

1.6.1. Tipo de investigación

La investigación desarrollada es de tipo aplicada, ya que se contó con análisis de laboratorio especializado en química, para comprobar la hipótesis. (Sampieri, 2006)

1.6.2. Nivel de investigación

- Exploratorio: Porque la mineralización parcialmente se emplaza en el volcánico San Pablo y este tipo de mineralización es aún poco estudiado. (Garro, 2009)

- Descriptivo: Se describió todas las características geológicas y estructurales con las respectivas posibilidades económicas que ofrece el pórfido Colpayoc en cuya roca se han depositado la mineralización de cobre y molibdeno convirtiéndolo en un metalotecto muy importante y que es roca huésped para diferentes tipos de yacimientos. (Garro, 2009)
- Correlacional: Hay muchos depósitos mineralizados en el Perú, que ameritan intensos programas de exploración; de ellos se han identificado importantes depósitos descubiertos en la década de los 90's hacia adelante. Los tipos de yacimientos son distintos, el emplazamiento de los cuerpos también, la correlación existente entre los pórfidos encontrados como son Colpayoc y pórfidos en Minas Conga corresponden a una misma edad y etapa magmática. (Garro, 2009)

1.6.3. Métodos de investigación

El principal método que se utilizó fue el hipotético deductivo; porque el análisis del sistema de mineralización, se desarrolló a través de secuenciales pasos principales como la observación del área de exploración del proyecto minero Colpayoc para llegar a explicar la hipótesis. (Garro, 2009)

1.6.4. Diseño de investigación

La presente investigación tiene diseño longitudinal, porque se comprobó la eficacia del análisis del sistema mineralógico, para determinar el tipo de yacimiento del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017 (Garro, 2009).

1.7. Población y muestra de la investigación

1.7.1. Población

Pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.

1.7.2. Muestra

50 muestras geológicas de rocas para determinar su composición mineralógica.

1.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

1.8.1. Técnicas

- Técnica geológica

Se va proceder utilizando plano topográfico a escala 1/5000, en el cual se va a plasmar todos los datos reconocidos en el campo como son la litología, alteración mineralización y estructuras. Con los datos de campo se va a elaborar el plano geológico con su respectivo perfil sección y un modelo conceptual idealizado de la forma de yacimiento. Se van a realizar un plan de muestreo de rocas, suelos y sedimentos siguiendo un plan de reconocimiento de acuerdo al contexto geológico local reconocido durante el mapeo. Para conocer los esfuerzos principales y secundario se las diferentes estructuras como las fracturas, fallas y venillas se va a ubicar estaciones estructurales.

- Técnica geoquímica

Del muestreo geoquímico se va a obtener un aproximado de 50 muestras durante el mapeo geológico; se utilizará el terraspec para identificación de los filosilicatos, y la pistola laser de análisis mineral inmediato de rocas insitu. Los resultados son confidenciales y no se tiene permiso de la

empresa para su respectiva publicación. Estas muestras fueron acumuladas en bolsas de polietileno, etiquetadas y posteriormente fueron enviadas al laboratorio.

- **Control de calidad de las muestras (QAQC)**

Para el control de calidad de las muestras se ha procedido de la siguiente manera:

- Estándar (STD): El estándar enviado al laboratorio es un material ya pulverizado (-150 #) y que tiene un valor certificado. Corresponde a un material homogéneo y una matriz similar al material que está siendo analizado. El análisis de los ensayos de los estándares permite detectar tendencias en el laboratorio y evaluar la exactitud de los resultados.
- Duplicados (DUP): De cada 10 muestras se tomaron una muestra duplicado, las cuales han sido analizadas por INGGECONSULT E.I.R.L. El duplicado corresponde a una muestra que es dividida en dos partes representativas, las cuales son cuarteadas y homogenizadas. El análisis en los ensayos de duplicado, estimar la desviación que tiene el laboratorio al analizar muestras iguales.
- Blancos (Bl): Se trata de minerales de cuarzo molido sin valor económico los cuales forman parte del control del muestreo que son enviados a laboratorio.

Método geofísico

Se hicieron 5 líneas longitudinales de 1.2km de largo y mediciones con espaciamiento de 100m por parte de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, a cada

lado por lo que la malla estuvo diseñada para obtener una buena interpretación de los resultados. El procedimiento de cálculo y toma de datos se va a desarrollar por la empresa VDG del Perú. Sin embargo, la interpretación de los resultados será un factor importante en la correlación geoquímica-geofísica, en donde finalmente se va a obtener un mapa geofísico que haciendo una superposición de los isovalores se va a diseñar la campaña de perforación diamantina.

1.8.2. Instrumentos

Los instrumentos a emplearse para la elaboración del presente trabajo de investigación serán:

- Logueo litológico y estructural,
- Logueo de mineralización
- Logueo de alteración
- Logueo geotécnico.
- Diagrama de Streckeisen

1.9. Justificación e importancia de la investigación

1.9.1. Justificación

El estudio de pórfido del proyecto minero Colpayoc, desde el punto de vista metalogenético, es la clave para explicar por qué la faja de depósitos minerales del corredor Porculla.

Esta tesis nos ayuda a conocer mejor la evolución metalogenética de este pórfido.

El pórfido Colpayoc se ubica en zonas con débil desarrollo socio económico, la influencia del proyecto ayudará en forma directa al crecimiento y desarrollo de los pueblos de Chetilla, emplazados

en los alrededores de la zona de estudio y en forma indirecta a la provincia de Cajamarca.

1.9.2. Importancia

El interés de esta tesis será para conocer las características composicionales mineralógicas que se convierte importante a la hora de establecer probabilidades de inversión en un proyecto minero.

El análisis del sistema mineralógico permite establecer qué muestras presentan mayor enriquecimiento o los que han sufrido procesos de diferenciación ígnea, y, por tanto, junto con los datos proporcionados por la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, establecer conexiones entre las reservas del mineral comercial y la viabilidad económica.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

En México, en la Universidad Nacional Autónoma de México. En la Escuela de Posgrado en Ciencias de la Tierra, en la tesis: “Mineralización del Pórfido de Cobre-Oro de Tiámara, Estado de Michoacán”, 2014, para optar el título de Doctor en Ciencias de la Tierra, se concluye que el depósito de Tiámara se encuentra albergado en una serie de intrusivos hipabisales que ocurren en forma de stocks y diques de naturaleza tonalítica, adamelítica, granodiorítica y granítica, que guardan una relación genética con el batolito de Tuzantla, y que intrusionan un complejo vulcano-plutónico pre-Valanginiano de más de 132 Ma. Dicho complejo (Leopardi, 2014) está conformado por una secuencia de rocas volcánicas andesíticas y dacíticas con algunos lentes de caliza hacia la parte superior y rocas de naturaleza microdiorítica. En el área de estudio se reconoce un patrón de alteraciones centrado en un cuerpo tonalítico. La alteración SCC (Sericite-Chlorite-Clay) se desarrolla en dicho intrusivo y en las rocas adyacentes y es rodeada por una alteración argílica, las que se superponen a una alteración propilítica misma que se vuelve más prominente a profundidad y hacia el exterior del sistema. (Leopardi, 2014)

En Chile, en la Universidad de Chile. En la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología, en la tesis: “Metalogénesis, Petrogénesis y Tectónica del Distrito Minero de Mantos Blancos, Cordillera de la Costa, Norte de Chile”, 2015, para optar el título de Doctor en Ciencias, se concluye que, en base a los datos experimentales disponibles de inclusiones fluidas, es posible realizar una estimación única de temperatura y condiciones de presión, a partir de las asociaciones de ebullición. Los datos de las otras inclusiones (sin evidencia de ebullición) solo proveen información de presiones y temperaturas mínimas. Las inclusiones de tipo II (muestras Q-1 y Q -1-1), poseen los valores más altos de temperatura de homogenización (T_h) en el campo de vapor. Para la contraparte de fluidos salinos (salmueras), la curva de ebullición indica presiones de entrapamiento entre 360 y 380 bar. Si se asume condiciones hidrostáticas dominantes y 1 g/cm³ de carga hidrostática, esta ebullición temprana debe haber ocurrido a ~3.5 km de profundidad. (Ramírez, 2015)

En Chile, en la Universidad de Chile. En la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología, en la tesis: “Petrogénesis de Rocas Intrusivas del Yacimiento el Teniente y Evolución del Magmatismo Cenozoico de Chile Central”, 2012, para optar el título de Doctora en Ciencias, se concluye que, en la Cordillera Principal occidental existe un amplio y abundante registro de actividad magmática en un rango entre el Oligoceno inferior al Pleistoceno. Para este sector, los datos de isotopía de Hf obtenidos en este trabajo han permitido caracterizar, de manera relativamente continua, un rango de ~25 m.a. de magmatismo respecto de este sistema isotópico, entre los ~28 y 4,8 Ma. A excepción de las unidades de alrededor de ~15 Ma, la signatura isotópica de Hf de los magmas durante este período permanece relativamente constante con valores de ϵ_{Hf1} entre +5 y +10. La única excepción al patrón descrito corresponde al intrusivo Yerba Loca (~15 Ma) que presenta valores más primitivos (ϵ_{Hf1} : +9,2 a +15,3), incluso algunos cercanos a los del Manto Empobrecido ($\epsilon_{Hf} \sim +16$). Coincidentemente, la unidad de ~15 Ma del

Batolito de San Francisco muestra también una tendencia a valores más primitivos (ϵ_{Hfl} : +12,4 a +8,5) respecto de la porción, más joven, de 11 Ma (ϵ_{Hfl} : +8,8 a +7,0). En base a esto, se ha inferido en este trabajo que un estado transiente de stress en la corteza habría permitido un ascenso rápido de los magmas a través del dominio MASH de la base de la corteza y que, por lo tanto, estos conservarían una signatura más primitiva. Sin embargo, se debe notar que la composición isotópica del intrusivo Yerba Loca es particular en tanto que cubre cerca de 6 unidades. (Muñoz, 2012).

En Perú, Lima, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, en la tesis: "El Pórfido de Cu-Mo Sayta y su Mineralización en Cuarcitas", 2015, para optar el título de Magíster en Geología con Mención en recursos mineros, se concluye que, la génesis de la mineralización del pórfido Sayta básicamente está asociado a las monzonitas en su fase inicial, sin embargo por diferenciación un segundo pulso magmático la traquiandesita transporta los sulfuros y engloba bloques de areniscas y cuarcitas en la cual por su porosidad, intenso craquelamiento y formación de micro fracturas han permitido la concentración de sulfuros de cobre y molibdeno. El yacimiento Sayta es un depósito de tipo pórfido Cu-Mo cuya roca hospedante es la traquiandesita, monzonita, las areniscas y cuarcitas de la formación huintuyo. Sin embargo, el descubrimiento de este pórfido se llevó a cabo de acuerdo a un intenso programa de exploración con recopilación de muestras de sedimento, suelos y rocas. La mineralización secundaria en el pórfido Cu-Mo Sayta esta enriquecido básicamente en las areniscas y cuarcitas, debido al intenso fracturamiento durante la intrusión del pórfido traqui andesítico. Posteriormente las cavidades o micro fracturas se rellenaron con sulfuros primarios y secundarios produciendo una textura tipo hair line, flash point, etc. (Castro, 2012)

En Perú, Lima, en la Universidad Nacional de Ingeniería. En la Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica, en la tesis: “Mineralización Tipo Pórfido de Cu-Mo Asociadas a Venas Cordilleranas de Metales Base: Toromocho-Morococha, Distrito de Morococha”, 2013, para optar el título de Ingeniero Geólogo, se concluye que, las venas tardías en Toromocho (venas dominadas por cuarzo+pirita+sericita) se formaron a partir celdas convectivas restringidas espacialmente al entorno inmediato de los stocks porfiríticos, mientras que las venas polimetálicas alcanzaron mayores distancias kilómetros más allá de la alteración propilítica más distal. Las tendencias estructurales que dominaron la mineralización en el pórfido de cobre y las venas Cordilleranas fueron diferentes. El control estructural sobre la mayor población de las venillas relacionadas al pórfido esta entre N60°O y N80°O, esto es, cercanamente coincidente con el rumbo del dique pórfido dacítico ONO-ESE; mientras que las venas Cordilleranas tienen dos rumbos probablemente conjugados E-O y NE-SO. En las venas Cordilleranas los principales metales Cu, Zn y Pb se depositaron al mismo tiempo, formando zonas de deposición con el cobre ocupando predominantemente la parte central del enrejado de venas, el zinc la parte media y el plomo dominando la parte distal. Si este patrón de zonamiento es también válido en términos de profundidad y dado que por ejemplo no se observa zonas dominadas por Pb en las partes superiores de las vetas aflorantes, se concluye que estas zonas de Pb habrían sido erosionadas consecuentemente el sistema de vetas Cordilleranas se habría emplazado en parte en posiciones superiores a aquel ocupado por el pórfido de cobre. (Bendezú, 2014)

En Perú, Lima, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, en la tesis: “Caracterización Genética del Sistema Pórfido de Cu Pucacorrall Norte”, 2016, para optar el título de Ingeniero Geólogo, se concluye que, el prospecto Pucacorrall Norte es un sistema tipo pórfido de cobre, piritoso. Presenta una zona de alteración de 3.3 x 2.1 km, está

parcialmente lixiviado y es de probable moderada a baja ley, tanto en cobre primario como en secundario. Aunque las condiciones geológicas indican que en general sólo parte de la pirita existente fue lixiviada, es posible que, en el sector sur del sistema, se haya generado una zona con enriquecimiento secundario debido a la relativamente mayor lixiviación (“leached capping” jarosítico existente) y alteración identificadas en dicha zona. Esta zona de enriquecimiento secundario tiene el potencial de albergar mineralización económica de cobre. El Batolito de la Costa no se encuentra afectado por la alteración hidrotermal del Sistema Pucacorrall Norte y están en contacto por una falla de rumbo SO-NE. Estas relaciones de campo entre el Batolito y el sistema nos estarían indicando que el Pórfido Pucacorrall Norte sería anterior a la intrusión del stock granodioríticotonalítico perteneciente a la Superunidad Incahuasi del Batolito de la Costa El Pórfido Pucacorrall Norte, según el marco regional y las características del sistema podría ser de edad Cretáceo superior. Dicha edad ubica al sistema de Pórfido Pucacorrall Norte dentro de la franja cretácica de Pórfidos del Sur del Perú al igual que los pórfidos de Los Pinos-Puquio-Lara-Pecoy. (Moretti, 2016)

En Cajamarca, en la Universidad Nacional de Ingeniería. En la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, en la tesis: “Controles de Mineralización del Pórfido Au – Cu Morocha – Minas Conga, Cajamarca – Perú”, 2012, para optar el título de Ingeniero Geólogo, se concluye que, las alteraciones potásicas de los diferentes pulsos intrusivos controlan la mineralización de Au-Cu en el proyecto Morocha. Cada pulso intrusivo ha generado su propia alteración y mineralización, siendo el evento con mayor mineralización de Au - Cu la fase principal y en menor cantidad la fase tardía. Las anomalías altas de cargabilidad se encuentran en los bordes de la anomalía magnética y es relacionado directamente con la mayor presencia de pirita en las rocas intrusivas como en las rocas sedimentarias calcáreas alteradas. (Aliaga, 2012)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generalidades

Los pórfidos cupríferos son yacimientos de gran tonelaje (106-109 TM) y bajas leyes de cobre (0.2-c.2%Cu). Aparte del cobre estos yacimientos pueden presentar cantidades variables de molibdeno y/o metales preciosos (Au+Ag), susceptibles de ser recuperados económicamente. Se asocian a rocas intrusivas generalmente félsicas de composición granodiorítica, aunque los pórfidos del Pacífico SW (desarrollados en arcos de islas) suelen asociarse a facies intermedias (intrusivos dioríticos). Presentan un modelo zonal de alteración hidrotermal con un núcleo de alteración potásica (feldespato K, biotita, que grada hacia fuera hacia una alteración filica (=cuarzo-sericítica). Más periféricamente encontraremos facies argílicas (intermedia o avanzada) y propilítica (con clorita, epidota, calcita). La secuencia de alteración es la siguiente: 1) formación de las zonas de alteración potásica y propilítica; 2) desarrollo de la alteración filica (hacia fuera y arriba); y 3) formación de facies de alteración argílica en la parte superior del sistema. (Maksaev, 2013)

Se denomina pórfido cuprífero o pórfido de cobre y molibdeno a un tipo de mineralización de origen magmático e hidrotermal. Los pórfidos cupríferos constituyen la principal fuente de extracción tanto de cobre como de molibdeno. Se pueden subdividir en dos grupos: los yacimientos donde prima el molibdeno y aquellos donde prima el cobre, también conocidos como Mo-(Cu) y Cu-(Mo), respectivamente. El nombre pórfido refiere a su típica pero no necesaria asociación a rocas de textura porfirítica, específicamente de grandes feldespatos en una matriz fina. (Chirif, 2013)

En la clasificación de Seedorff y Pirajno los pórfidos cupríferos son uno de cinco tipos de pórfidos siendo los otros pórfido de molibdeno, pórfido de oro, pórfido de tungsteno y pórfido de estaño (Tapia, 2015).

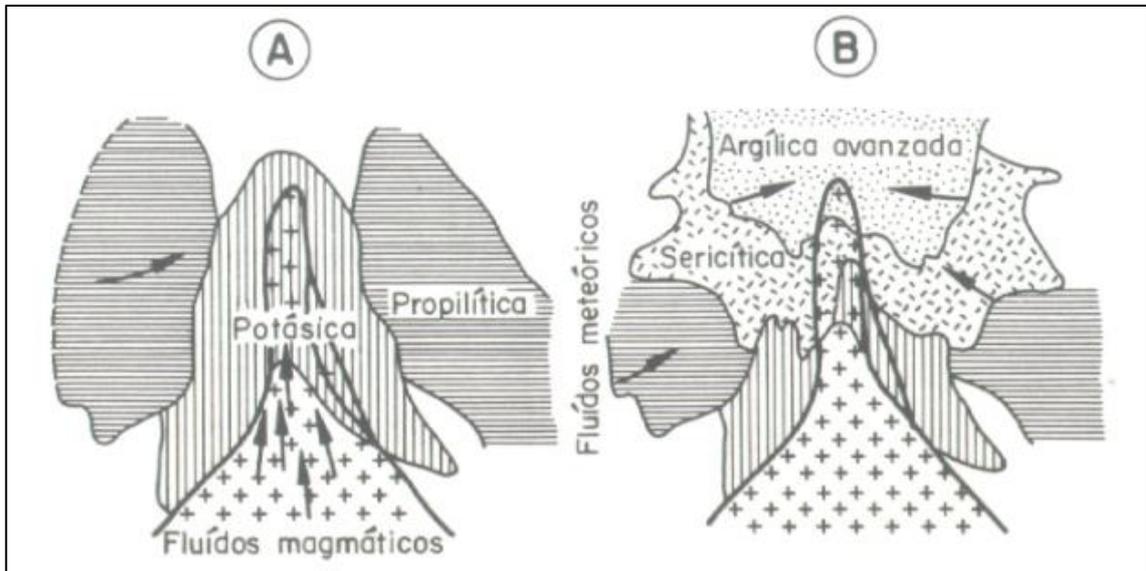


Figura 1. Modelo idealizado del desarrollo evolutivo de la alteración hidrotermal en yacimientos tipo pórfido cuprífero, basado en el yacimiento El Salvador (Chile). Las etapas 1 a 3 han sido resumidas en dos figuras: A y B.

Fuente: Tapia, 2015.

Esta última puede ser avanzada implicando la presencia de minerales tales como caolinita y alunita. Se reconoce un solape temporal y espacial en esta secuencia. De 1 a 3 la participación de aguas meteóricas en el sistema hidrotermal es cada vez más importante ver la figura 1. De hecho, la parte superior del sistema hidrotermal entra de lleno en el campo epitermal (alteración argílica avanzada), donde pueden formarse mineralizaciones auríferas en un ambiente más superficial (desde unos 2 km de profundidad hasta la superficie).

Existen grandes provincias metalogénicas de pórfidos cupríferos, entre las que resaltan las de la cadena andina (Chile-Peru principalmente), la del SW de los Estados Unidos, y del Pacífico SW. (Fig. 2) (Leopardi, 2014)

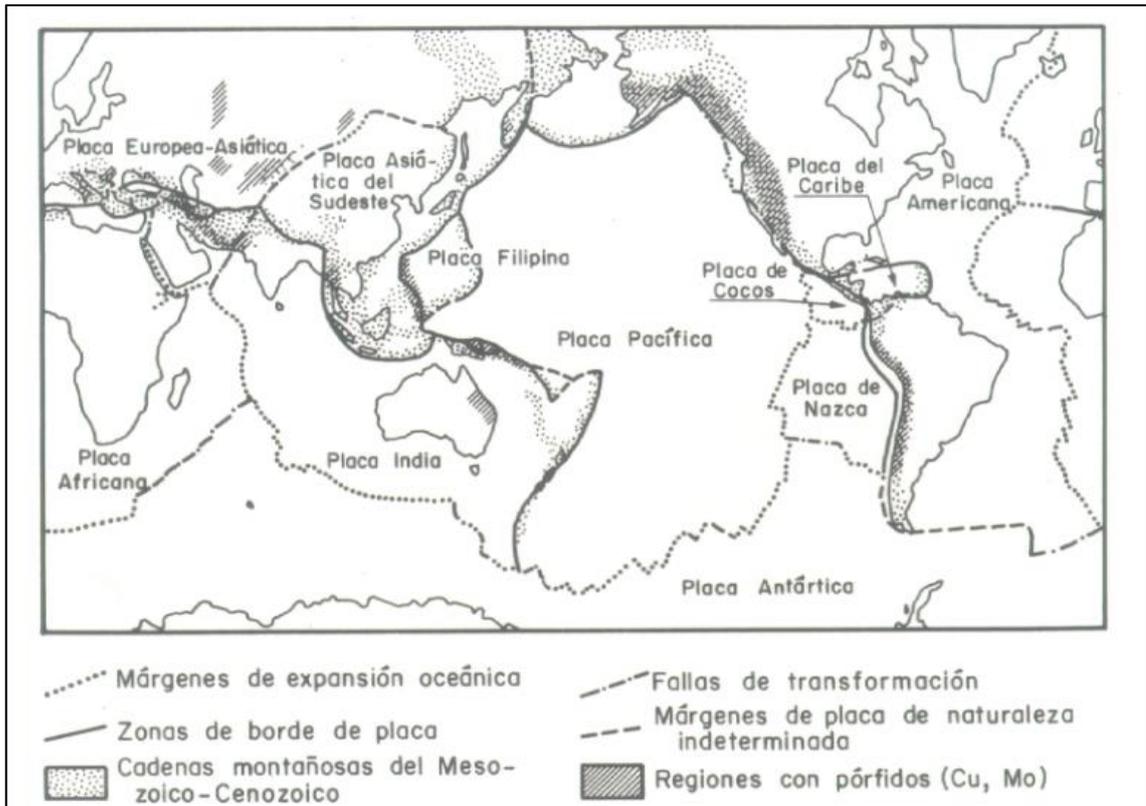


Figura 2. Distribución mundial de las provincias metalogénicas de pórfidos cupríferos y de las fajas de plegamiento del Mesozoico y Cenozoico.

Fuente: Tapia, 2015.

Dado que los pórfidos son de emplazamiento somero (epizona), es raro encontrar yacimientos más antiguos que mesozoicos, de hecho, la mayoría de estos yacimientos son de edad cenozoica ver la figura 2. La razón es simple y radica en la efectividad de los procesos erosivos. (Tapia, 2015)

Como señalábamos anteriormente, en ocasiones el ambiente superior de un sistema hidrotermal puede dar origen a mineralizaciones epitermales de metales preciosos. Esto último asumiendo que las facies plutónicas del sistema tipo pórfido cuprífero constituyen las raíces magmáticas superficiales (epizona) de un sistema volcánico en superficie. Los yacimientos epitermales de metales preciosos (Au-Ag) se forman, como su nombre lo indica, en un rango bajo de temperaturas (50o-300°C), en asociación con manifestaciones volcánicas tipo aparato central, calderas, o campos geotérmicos. Son yacimientos de baja

ley (algunas decenas de g/t de Au; aunque esto puede ser extremadamente variable) y se clasifican en dos tipos: 1) sulfato ácido; y 2) sercita-adularia ver la figura 3 (Tapia, 2015)

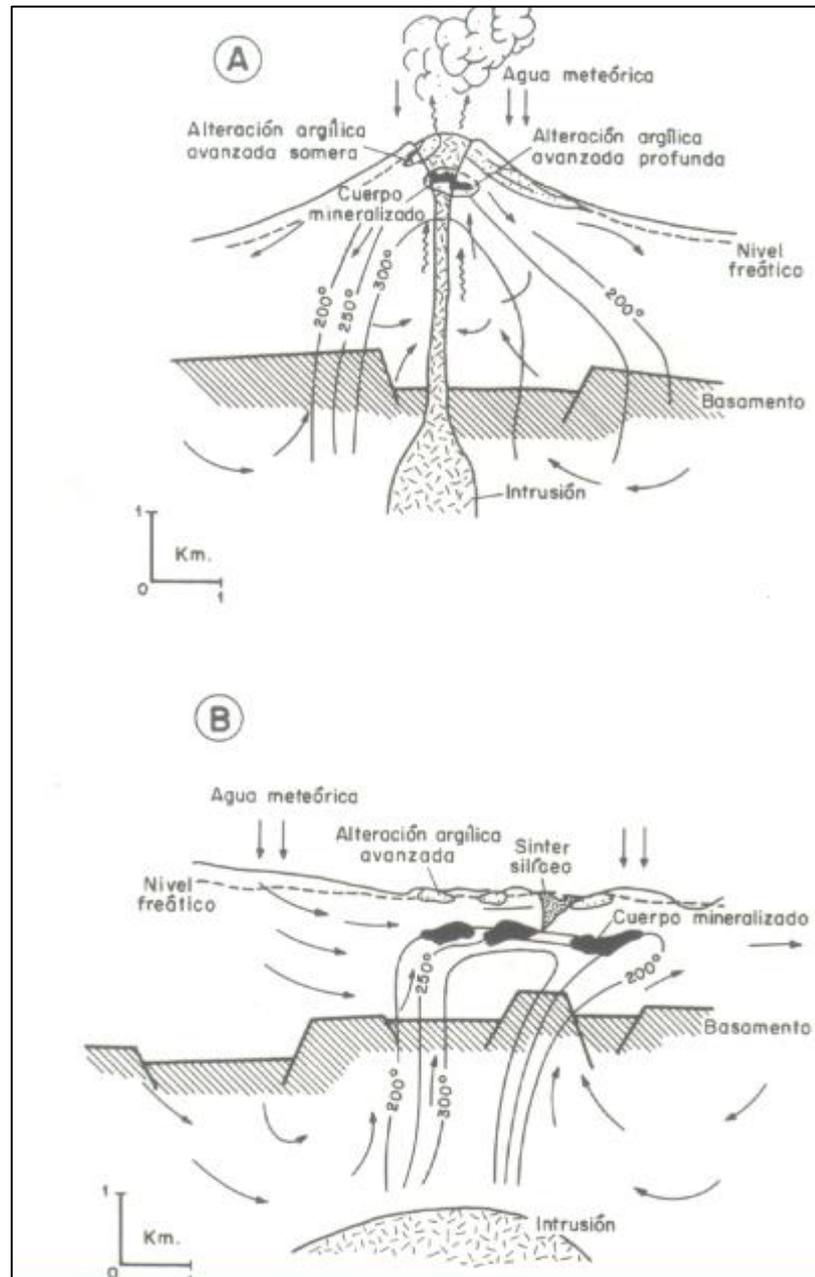


Figura 3. Tipos principales de yacimientos epitermales de metales preciosos y distribución espacial de los fenómenos de alteración. A: sulfato ácido, B: sercita-adularia.

Fuente: Tapia, 2015.

El primer tipo se encuentra relacionado con clásicos fenómenos volcánicos tipo aparato central o calderas, sistema rico en azufre

(generadores de grandes cantidades de ácido sulfúrico) que dan origen a facies de alteración tipo argílica avanzada. Otras facies que reconocemos en ellos incluyen la silicificación y la propilitización. El tipo sericita-adularia se encuentra más bien relacionado con manifestaciones tipo campo geotérmico, y las facies de alteración presentes son principalmente del tipo potásica (adularia) y clorítica. Un tercer tipo, si así podemos denominarles, corresponde al de los denominados yacimientos epitermales tipo "Carlin", que cogen este nombre de la faja de mismo nombre en el Estado de Nevada en USA ver la figura 4 (Richards, 2014)

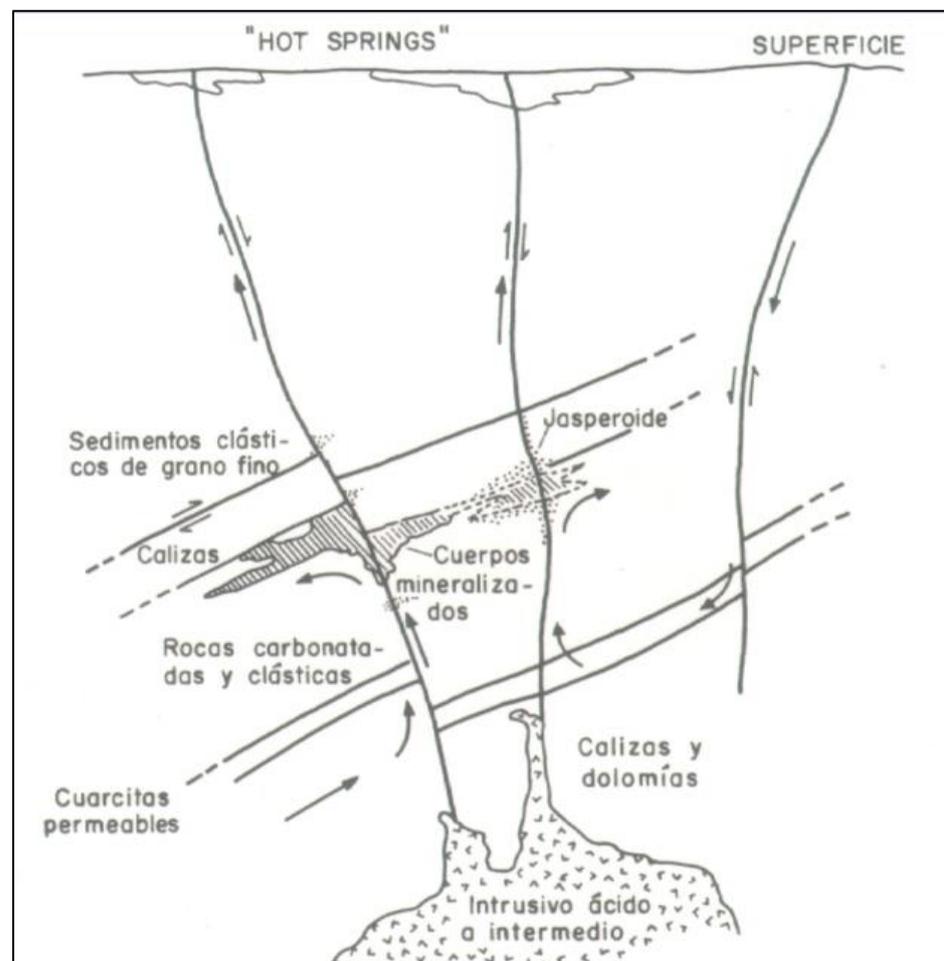


Figura 4. Modelo esquemático de un yacimiento epitermal del tipo Carlin.
Fuente: Richards, 2014.

2.2.2. Formación de pórfidos

Los depósitos Cu-(Mo) se originan cuando magma pobre en agua se acerca a la superficie de la corteza terrestre sin grados mayores de cristalización. Este cuerpo de magma puede formar diques de textura de pórfido y composición de granodiorita o riódacita. Estos diques pueden alcanzar la superficie formando volcanes. Al hallarse cerca de la superficie, el cuerpo de magma se satura en agua magmática en las fases iniciales de la cristalización. El agua magmática suelta tiene aniones de cloro (Cl), lo que provoca la extracción de cobre del magma al agua magmática. Es esta agua la que luego deposita el cobre. (Díaz, 2014)

Se piensa que los depósitos tipo Mo-(Cu), más ricos en molibdeno, originarían a partir de magma similar a la de Cu-(Mo) pero más rico en agua. Este magma se estancaría a niveles más profundos que el que da origen a depósitos Cu-(Mo) y requeriría una mayor grado de cristalización fraccionada para saturarse en agua. Una vez que se satura en agua el molibdeno se concentra en ella. El cobre en cambio no se concentra tanto en el agua ya parte del cobre ya ha sido aislado del sistema en cristales por la cristalización fraccionada. (Díaz, 2014)

2.2.3. Pórfidos Cupríferos: Depósitos de Cu (Mo) de gran tonelaje y baja ley

Más del 50% de la producción de Cu mundial proviene de este tipo de depósitos. La mayor parte de la producción chilena de cobre proviene de 16 pórfidos cupríferos en explotación, 12 en el Norte de Chile y 4 en la Zona Central. Chile posee algunos de los pórfidos cupríferos más grandes del mundo como El Teniente y Chuquibambilla. Los pórfidos cupríferos son esencialmente depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje. Se denominan

pórfidos porque frecuentemente, pero no exclusivamente, se asocian con rocas ígneas intrusivas con fenocristales de feldespato en una masa fundamental cristalina de grano fino. La textura porfírica indica que los magmas intruyeron y cristalizaron cerca de la superficie y debido a su naturaleza relativamente poco profunda se denominan intrusivos epizonales, pero ellos pueden ser equigranulares con grano moderadamente grueso. Los depósitos de pórfido se pueden subdividir en distintos tipos considerando su contenido metálico. Estos tipos incluyen Cu-Mo, Cu-Au, Cu, Au y Mo. En general los pórfidos ricos en Cu o Au se asocian a intrusivos derivados por cristalización fraccionada de magmas máficos originados en fusión parcial del manto en márgenes convergentes de placas (márgenes continentales activos y arcos de islas). Los pórfidos de molibdeno se asocian a intrusiones félsicas derivadas de magmas con una importante componente de corteza continental re-fundida. Los depósitos de tipo pórfido están relacionados genética y espacialmente con intrusiones ígneas félsicas. Por lo general existen varios cuerpos de rocas intrusivas, emplazadas en varios pulsos y los pórfidos cupríferos se asocian frecuentemente con enjambres de diques y brechas. Las rocas de caja intruidas por los pórfidos pueden ser de cualquier tipo. Tanto los intrusivos, como las rocas de caja típicamente muestran un fracturamiento fuerte y pervasivo. La única condición para la mineralización es que la roca huésped sea rígida o frágil desde el punto de vista estructural. La mineralización y alteración pueden presentarse tanto en intrusivos, como en las rocas de caja. El núcleo del sistema mineralizado presenta la alteración hidrotermal más intensa, la que se denomina potásica debido a que se agrega potasio a las rocas afectadas por esta alteración. En la zona potásica se desarrollan biotita, feldespato potásico y cuarzo a expensas de minerales previamente existentes en las rocas. El predominio de biotita o feldespato potásico depende esencialmente de la

disponibilidad de Fe o Mn en las rocas alteradas o en el fluido hidrotermal, de modo que rocas más máficas con alteración de este tipo presentan usualmente dominio de biotita, mientras rocas más félsicas dominio de feldespatos potásicos. La zona potásica gradada hacia fuera a una zona fílica que contiene cuarzo y muscovita, usualmente en una variedad de grano fino denominada sericita que es en realidad una fase intermedia entre illita y muscovita. La zona fílica pasa hacia fuera a una zona argílica donde se desarrollan minerales de arcilla y cuarzo. La alteración hidrotermal más externa corresponde a la zona propílica que contiene clorita, epidota y carbonato, la cual gradada hacia fuera a rocas inalteradas o frescas. Todas estas zonas de alteración no necesariamente se presentan en todos los depósitos de tipo pórfido: cualquiera de ellas puede estar ausente, por Ej. la zona argílica, típicamente la más pequeña, frecuentemente puede estar totalmente ausente. Generalmente la mineralización presenta un núcleo de baja ley que contiene pirita diseminada que gradada hacia fuera en una zona de mena. En la zona de mena se presentan vetillas y diseminación de pirita con calcopirita subordinada (mena de cobre) y molibdenita (mena de molibdeno). Es frecuente el desarrollo de una zona de pirita externa la que pasa hacia fuera a roca no mineralizada.

La zona de mena en los pórfidos cupríferos usualmente se presenta dentro del núcleo de alteración potásica y puede extenderse dentro de la zona fílica, frecuentemente en el sector más interno se presenta una mayor proporción de sulfuros ricos en cobre como bornita, gradando hacia fuera a una mayor proporción de calcopirita, para finalmente en el sector más externo solo sulfuros de Fe (pirita). Normalmente no existe un límite físico del cuerpo mineralizado que puede ocurrir tanto en intrusiones, como en rocas de caja, consecuentemente el límite de un yacimiento de este tipo es fijado en términos económicos

con una ley de corte. La formación de este tipo de depósitos involucra un proceso magmático, que incluye un mecanismo denominado “segunda ebullición” o “ebullición retrógrada”, por el cual el agua (y otros volátiles) saturan un magma residual debido a la cristalización. Con el progreso de la cristalización de un magma, el volumen de agua disuelta en la masa silicatada fundida aumenta proporcionalmente, dado que el agua no se incorpora en los silicatos en cristalización.

Por ejemplo, suponiendo que un magma tiene un 2% de agua disuelta en volumen, para cuando haya cristalizado un 50% de este magma en minerales silicatados, el magma remanente tendrá un contenido de agua disuelta de 4% en volumen. Debido a que el agua hierve a 100°C y el magma tiene temperaturas que superan 600- 700°C, el fluido liberado está inicialmente en estado supercrítico, pero al intersectar el solvus en un diagrama de fases se separan una fase líquida salina y una fase vapor diluida. Cuando se libera el fluido del magma (principalmente agua), elementos como el azufre, cobre, molibdeno y oro pueden concentrarse en solución. Cuando la parte acuosa del magma es expulsada el exceso de presión de fluido produce brechización y fracturamiento de las rocas intrusivas y rocas de caja, lo que provee vías permeables para que las soluciones hidrotermales de derivación magmática fluyan a través de las rocas y depositen su carga metálica.

Por otra parte, el subsecuente enfriamiento del magma intrusivo produce la circulación de aguas subterráneas en las rocas de caja circundantes en torno al centro de calor, generando celdas convectivas similares a las que existen en los fondos oceánicos, cuyos conductos de emisión forman los depósitos de sulfuros masivos. Sin embargo, el rol principal que se asigna a estas celdas convectivas en los pórfidos cupríferos es el de producir un

rápido enfriamiento del sistema a niveles someros, proveyendo una trampa fría para desestabilizar complejos iónicos clorurados que transportan metales y consecuentemente precipitar sulfuros metálicos concentrando mineralización. Los pórfidos cupríferos se presentan en marcos geológicos similares a los depósitos epitermales de oro y ellos comparten muchas de las características y procesos de formación. Algunos depósitos epitermales son parte integral de sistemas mayores de tipo pórfido. Los depósitos de tipo pórfido se encuentran en áreas orogénicas tales como Los Andes de Chile y Perú, la Cordillera de Canadá (British Columbia) y las regiones del Pacífico suroeste, tales como Filipinas, Indonesia y Papua Nueva Guinea.

Los pórfidos cupríferos son la fuente principal de cobre, contribuyendo más de la mitad de todo el cobre de mina en el mundo, y también son una fuente importante de oro. Estos depósitos son la fuente más importante de molibdeno y renio, este último un elemento del grupo del platino asociado a la estructura cristalina de la molibdenita. Además, se recupera plata y otros metales, incluyendo tungsteno, estaño, plomo y zinc en algunas operaciones de pórfidos. Estos depósitos contienen de cientos de millones a billones de toneladas de mineral con leyes desde 0,2% a más de 1% Cu, 0.005% a 0.030% Mo y 0.4 a 2 gr/ton Au. Como ejemplo, el pórfido cuprífero de Bingham, Utah (USA) contiene 2 billones de toneladas de mineral con 0.6% Cu. Este yacimiento ha producido más de 16 millones de toneladas de cobre desde que comenzó a explotarse en 1904.

Otras regiones con pórfidos cupríferos incluyen: Butte, Montana (USA) con más de 2 billones de toneladas con ley de 0.85% Cu, Chuquicamata, Chile, con más de 10 billones de toneladas de mineral con ley de 0.56% Cu y Ok Tedi en Papua, Nueva Guinea, con más de 375 millones de toneladas con 0.7% Cu y

0.66 g/t Au. Debido a sus bajas leyes la minería de pórfidos debe ser de bajo costo y ello se logra mediante una minería masiva no selectiva. Además, para que el costo sea menor muchos de estos depósitos se explotan a rajo abierto, lo cual es menos costoso que operaciones mineras subterráneas.

El tamaño de estos depósitos hace que estas operaciones sean gigantescas. Por ejemplo, la excavación más grande del mundo es el rajo de la mina Bingham, Utah (USA) con 800 m de profundidad y 4 Km. de diámetro. La exploración para este tipo de depósitos se concentra en regiones donde existen rocas intrusivas félsicas a intermedias, particularmente aquellas donde existe una historia con múltiples intrusiones y brechización o fracturamiento de las rocas en contacto con las rocas de caja. Exploraciones de más detalle se concentran en definir halos de alteración que gradan lateralmente desde el núcleo del sistema mineralizado. (Castro, 2012)

Una zonación vertical de la mineralización cuprífera también se puede desarrollar en zonas áridas cálidas, donde las aguas superficiales tienden a redistribuir el cobre de un sistema de pórfido expuesto, concentrándolas en otro lado. Estos enriquecimientos se denominan supérgenos y contienen minerales de alta ley de cobre tales como los del grupo de la calcosina.

Las aguas oxidantes superficiales disuelven el cobre del mineral hipógeno o primario original y lo transportan en forma de sulfatos descendiendo hasta el nivel de aguas subterráneas donde encuentran una zona reductora y precipita como sulfuro supérgeno. La presencia de un nivel de enriquecimiento supérgeno indica la existencia previa de un gran sistema porfírico hipógeno original que fue exhumado hasta zonas superficiales

oxidantes. Las técnicas de exploración útiles incluyen estudios geoquímicos regionales tanto por los metales, como alteración, como el potasio.

Levantamientos geofísicos incluyendo métodos electromagnéticos, magnéticos y de espectrometría de rayos gamma pueden ser útiles para localizar este tipo de mineralización. Los sistemas de pórfidos de Los Andes son detectables en imágenes de satélite que muestran anomalías de color relacionadas a sus halos de alteración hidrotermal. Los levantamientos geofísicos de superficie incluyen la polarización inducida (IP) para detectar sulfuros diseminados y magnetometría, ya sea para detectar la presencia de magnetita hidrotermal o destrucción de minerales magnéticos por alteración fílica. (Moretti, 2016)

2.3. Definición de términos básicos

Caracterización: Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás". Puede referirse a personajes, tipografías, páginas web, empresas, productos, entre otros (Tapia, 2015).

Controles Geológicos: Estudian las condiciones de formación y los lugares o ámbitos geológicos del emplazamiento de un yacimiento. (Chirif, 2013)

Emplazamiento: Colocación de una cosa en un lugar y lugar donde está ubicada. (Estraver, 2014)

Epitermal: Son aquellos yacimientos en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes. (Castro, 2012)

Exploración: Una vez establecidas las posibilidades de la región estudiada, se pasa al estudio sobre el terreno. En esta fase aplicaremos las diversas técnicas disponibles para llevar a cabo de forma lo más completo posible el trabajo, dentro de las posibilidades presupuestarias del mismo. Su objeto final debe ser corroborar o descartar la hipótesis inicial de existencia de mineralizaciones del tipo prospectado. (Bendezú, 2014)

Fluido: Se denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas sólo hay una fuerza de atracción débil. La propiedad definitoria es que los fluidos pueden cambiar de forma sin que aparezcan en su seno fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma "original" (lo cual constituye la principal diferencia con un sólido deformable, donde sí hay fuerzas restitutivas). (Petersen, 2014)

Hidrotermal: Proceso geológico en el cual sedimentos o rocas sufren los efectos de la circulación de fluidos a altas temperaturas y químicamente activos. (Ramírez, 2015)

Mina: Es el conjunto de labores necesarias para explotar un yacimiento y, en algunos casos, las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído. Las minas también reciben el nombre de explotaciones mineras, o, simplemente, explotaciones. Los minerales se originan por procesos geológicos tanto internos (tectonismo y vulcanismo) que son extraídos del subterráneo, como externos (sedimentación) son sacados de algunas cuevas o cavernas, etc. (Ramírez, 2015)

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Aspectos Generales

El proyecto “Colpayoc” se encuentra ubicado en la provincia de Cajamarca, en el distrito de Chetilla, cerca de los poblados Peña Blanca, Alto Chetilla, Las Quinuas, Chalhua y Quinuayoc. Cuenta con un área de 4.285 Km² equivalente a 428.5 Ha. El proyecto pertenece a la Estrella Gold Perú S.A.C. Los trabajos de exploración se realizaron en las concesiones mineras “El Ferrol N° 17” y “Ferrol N° 18” que pertenecen a Sociedad Minera Chetilla S.R.L., la concesione minera “El Ferrol CH” que pertenece a Estrella Gold Perú S.A.C. y las concesiones mineras “Francisco José IV” y “Francisco José V” que pertenece a Francisco José Santolalla Villanueva-Meyer. El área del proyecto se encuentra en la quebrada Portachuelo, que forma parte de la cuenca del río Ronquillo, cuyas aguas son vertidas al río Mashcón que pertenece a la cuenca del río Cajamarquino.

- Empresa: Estrella Gold Perú S.A.C.
- Estado del proyecto: En exploración
- Estudios ambientales: Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto de Exploración “Colpayoc” aprobado mediante Constancia de Aprobación Automática N° 053-2009-MEM-AAM el 02 de diciembre de 2009.
- Extensión: Cuenta con un área de 4.285 Km equivalente a 428.5 Ha.

- Concesiones: Los trabajos de exploración se realizaron en las concesiones mineras “El Ferrol N° 17” y “Ferrol N° 18” que pertenecen a Sociedad Minera Chetilla S.R.L., la concesione minera “El Ferrol CH” que pertenece a Estrella Gold Perú S.A.C. y las concesiones mineras “Francisco José IV” y “Francisco José V” que pertenece a Francisco José Santolalla Villanueva-Meyer.
- Cuencas afectadas: El área del proyecto se encuentra en la quebrada Portachuelo, que forma parte de la cuenca del río Ronquillo, cuyas aguas son vertidas al río Mashcón que pertenece a la cuenca del río Cajamarquino.

2.3.1. Política

Políticamente la zona de Exploración Colpayoc, está ubicado en los distritos de Chetilla y Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca. Dicho proyecto se encuentra ubicado a una hora (vehículo) de la ciudad de Cajamarca, ubica en la región inter-montañosa de la zona norte de la Cordillera de los Andes a una altura que varía entre los 3,600 y 4,000 msnm. El acceso al área de estudios y por ende al área del proyecto se realiza a través de una carretera, la cual es una carretera afirmada que llega hasta la zona de interés.

2.3.2. Geográfica

Geográficamente se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas UTM:

Tabla 2
Coordenadas del proyecto minero Colpayoc.

UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO		
ITEM	COORDENADAS	
	E	N
V1	762000	9211500
V2	764500	9211500
V3	764500	9209500
V4	762000	9209500

Fuente: Elaboración propia (2017).

2.3.3. Accesibilidad

La zona es accesible mediante la carretera Cajamarca-Chetilla como se muestra en la tabla:

Tabla 3
Accesibilidad a la zona de estudio.

Tramo	Distancia	Tiempo	Condición
Cajamarca- Proyecto Colpayoc	18 km	60 min	Afirmada

Fuente: Elaboración propia (2017).

2.3.4. Clima

El clima es seco y templado; con ausencia de precipitaciones en los meses de Abril - Agosto y un clima soleado, la temperatura máxima media es de 21.5° C y la temperatura mínima media es de 5,5 ° C.

2.3.5. Flora y fauna

En la zona de trabajo, debido principalmente a la alta humedad y baja temperatura, no presenta muchas asociaciones vegetales, siendo el Ichu o también conocido como pajonal de puna, la especie vegetal representativa del área de trabajo.

La evaluación de la fauna correspondió a las Aves y Mamíferos. Se realizaron por observaciones durante el desarrollo de la práctica.



Figura 5. Vegetación de la zona.
Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 6. Vegetación de la zona.
Fuente: Elaboración propia (2017).

2.3.6. Hidrología

Durante la realización de la práctica no se notó la presencia de cuerpos de agua como lagos o lagunas, cabe resaltar también que tampoco existen ríos o quebradas de interés relevante, por lo que no se ha tomado en cuenta para esta práctica a la hidrología superficial.

2.3.7. Topografía general

La topografía regional se caracteriza por la presencia de superficies de laderas bastante amplias, lomadas y valles de escorrentía temporal, sobre las cuales se notan geoformas menores tales como laderas de depósitos coluviales y terrazas aluviales, determinadas principalmente por los efectos de la erosión y pendiente.

3.2. Geología estructural

El área de estudio se encuentra en el control estructural del norte del Perú, asociado al corredor estructural Chicama – Yanacocha que tiene una dirección NE, que se diferencia de los corredores estructurales Michiquillay – Hualgayoc y el corredor San Pablo – Porculla que poseen una dirección NW.

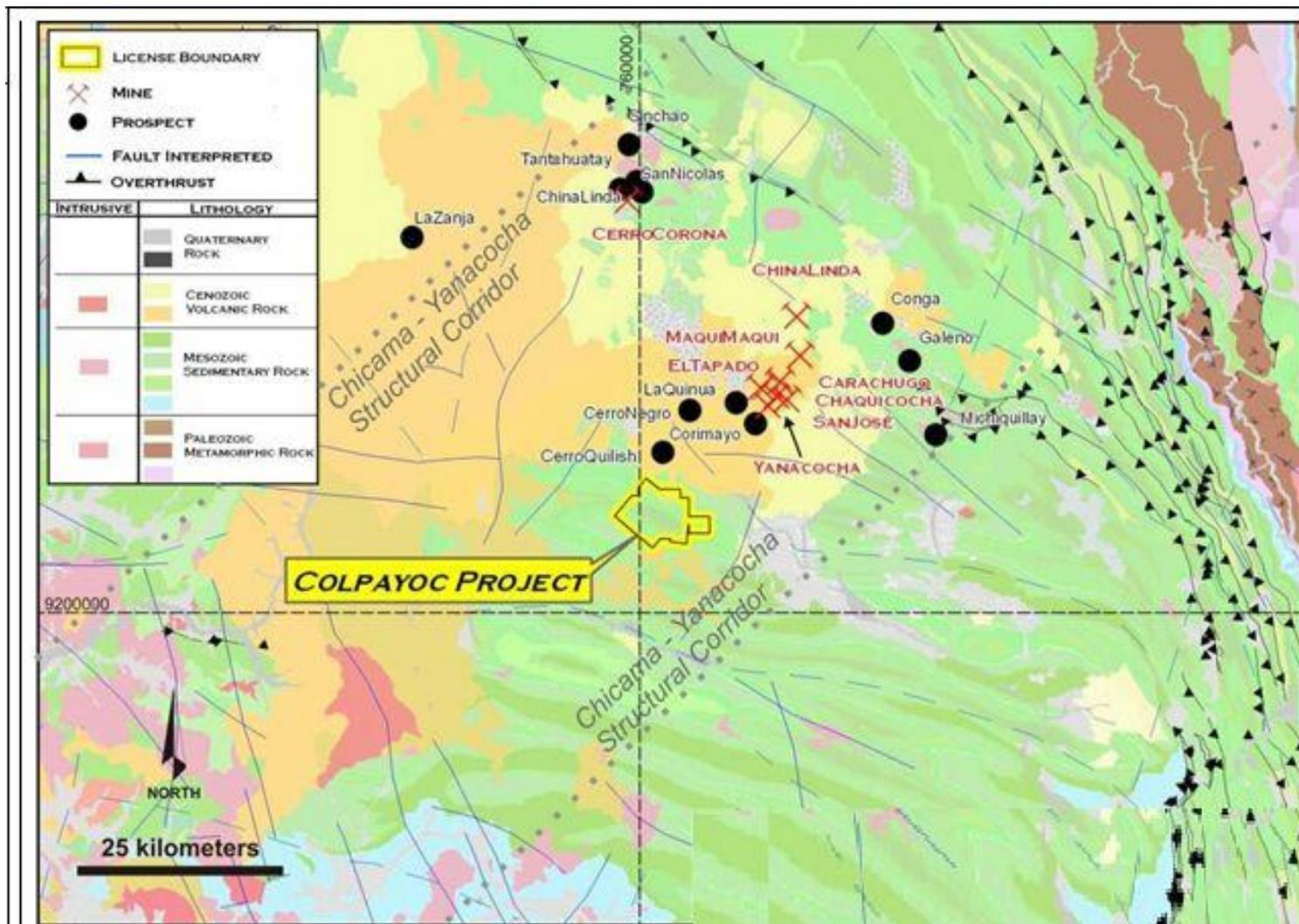


Figura 7: Plano estructural de la zona.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Las estructuras principales, se tiene sinclinal de orientación NW, domo volcánico de composición andesita porfirítica y sistemas de fallas con breve tendencia hacia el NW, afectando a rocas sedimentarias del periodo cretáceo (formaciones Cajamarca, Quilquiñan Mujarrun, Yumagual, Pariatambo, etc).

En la salida a campo pudo observarse una falla regional de dirección dextral (con una orientación NE) que corresponde al corredor estructural antes mencionado y que permitió el emplazamiento del domo volcánico andesítico descrito en la geomorfología del presente informe. En las fotos puede observarse claramente el cambio de dirección q sufre el estrato guía (hacia la derecha) con respecto a la continuación del mismo; por la perpendicular del estrato guía desplazado es por donde se encuentra el eje de la falla regional.



Figura 8. Falla regional.

Fuente: Elaboración propia (2017).

También se observó una serie de venillas mineralizadas correspondientes al pórfido (venillas tipo A y B, las primeras tempranas y caracterizadas por la presencia de cuarzo, las segundas tardías y caracterizadas por la presencia de magnetita y biotita); las venillas tenían espesores aproximados de 5 mm.

Estas venillas corresponden a la presencia de una zona de fracturas correspondientes a la naturaleza de los pórfidos (presencia de stockwork y brechas hidrotermales). Esta zona toma una posición circundante con respecto al afloramiento del intrusivo y está ubicada en la zona de oxidación si se toma en cuenta la disposición de todo el sistema pórfido, aunque esta zona oxidada está muy cercana a la zona de skarn.

3.3. Mineralogía

El área de la zona estuvo dominada por minerales producto de procesos de alteración, a partir de un cuerpo intrusivo, compuesto por rocas andesitas. En este proceso se logró encontrar minerales como la rodocrosita, Hematita, etc. además encontramos el mármol. Encontramos diversos tipos de alteración como por ejemplo la alteración potásica, en la cual las biotitas se alteraron a hematitas.

3.4. Mineralización del Pórfido del Proyecto Minero Colpayoc

Este Pórfido de Au, Cu, está ubicado en Cajamarca - Chetilla. La roca huésped son rocas sedimentarias que se encuentran perturbadas por el corte de intrusiones porfiríticas félsicas y domos roiodacíticos. El magma félsico instruyó la secuencia sedimentaria controlada por un alineamiento estructural de orientación NE. Los intrusivos del cerro Colpayoc, se encuentran a manera de stocks de composición diorítica y sills de composición cuarzo- diorita, asociada a esta intrusión se tiene evidencias de mineralización característica de un depósito porfirítico de oro- cobre, con desarrollo de alteraciones potásica, con alteración intermedia argílica y alteración fílica con ocurrencia de oro- cobre.

3.5. Modelamiento geológico

El modelamiento geológico, que va desde las perforaciones que se realizan, los logueos, la caracterización geológica que nos permite tener los diversos modelos geológicos como: modelo de mineralización, modelo de alteración, modelo de roca, y todos aquellos controles de la mineralización necesarios para la caracterización matemática, la estadística y la geoestadística son herramientas que nos permiten determinar el modelo de leyes, modelos geometalúrgicos, etc. Uno de los puntos importantes del estudio es la determinación de las confianzas de los bloques, con toda la información podemos determinar las reservas geológicas en el entorno del modelo de bloques.

3.6. Campañas de Perforación

En este tipo de yacimiento se pueden hacer perforaciones Churn Drill, Perforación Diamantina y Circulación Reversa, la información que proveen estas perforaciones nos dan las herramientas necesarias para poder determinar la calidad y cantidad del yacimiento. El espaciamiento de las perforaciones puede responder a una malla predeterminada y los taladros en general son verticales, pero las dificultades topográficas o la necesidad de interceptar algún cuerpo pueden hacer que la perforación tenga algún grado de inclinación.

3.7. Logueo

El logueo de los taladros se realiza generalmente a medida que avanza la perforación, durante el logueo se levanta toda la información posible: Nivel, Nro. Muestra, Diámetro del núcleo, Tope de Yeso, Mineralización, Roca, Alteración, RQD, Densidad, Presencia de minerales, intensidad de alteración, etc. De esta manera similar el área de Geotecnia obtiene información geotécnica que le permita clasificar el macizo rocoso para el análisis de estabilidad de taludes. La información proveniente del logueo, se lleva en diferentes formatos a una base de datos para su fácil

procesamiento, en el mercado existen diferentes softwares que permiten guardar toda esta información de manera sencilla, es aun común ver que se usan planillas en Excel para guardar esta información, pero definitivamente es mejor tener esta información en un manejador de base de datos.

3.8. Interpretación geológica

La interpretación geológica consiste en procesar la información obtenida en el logueo y llevarla a planos y diferentes secciones En cada sección impresa o en computadora se va haciendo la interpretación geológica mediante contorneos. Por ejemplo, si lo que se desea es el modelamiento de rocas, se contornea cada tipo roca de acuerdo a la información que se tiene en perforación como en superficie. De la misma manera se hace la interpretación por bancos para cada uno de los niveles del yacimiento.

3.9. Definición del sistema

Con la finalidad de acotar las variables del sistema, se definen las características litológicas de las muestras con las que se realizará el análisis. Como criterio general, se utilizaron aquellas categorías de litología, alteración hidrotermal y zona de mineralización que presentan mayor cantidad de datos como primer y segundo muestreo aleatorio. (ver Figura 9)

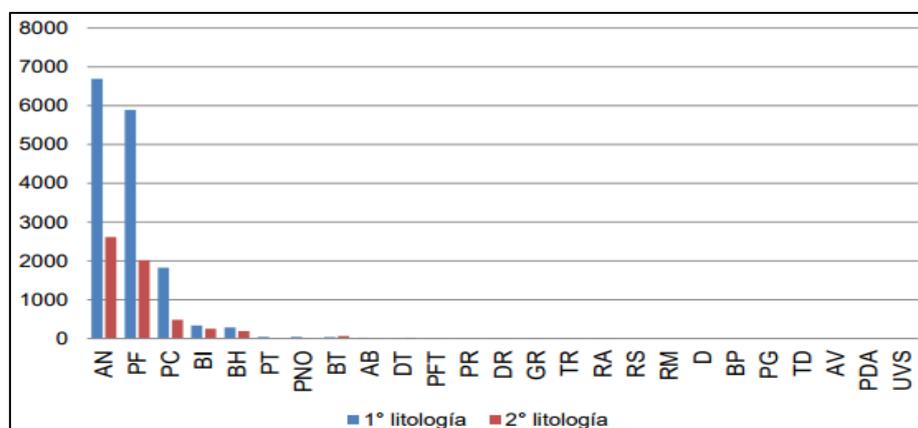


Figura 9. Cantidad de datos por litología.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

A pesar de que la litología PC (Pórfido Cuarcífero - 33) presenta una gran cantidad de muestras, solo posee alteraciones sericita-cuarzo y algunas para clorita-sericita, por lo cual se deja fuera del análisis. (ver Figura 10)

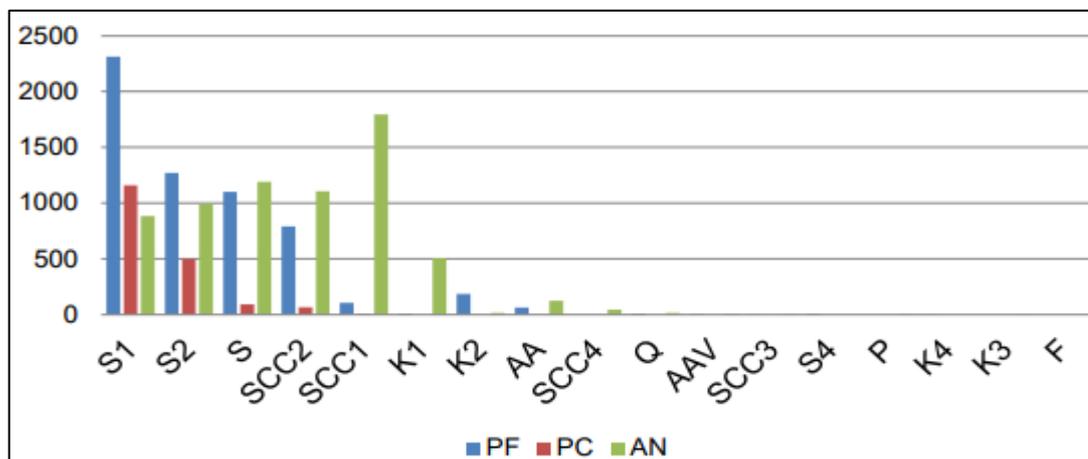


Figura 10. Cantidad de datos de alteración por litología.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Otro parámetro importante al momento de definir el sistema en el que se trabajará es la mineralización. La mineralización predominante corresponde a la variable denominada minzone y se agrupa en 3 categorías: alto enriquecido (HE), bajo enriquecido (LE) y primario (PR) (ver Figura 11). La zona de HE se caracteriza por la presencia de calcosina, covelina y pirita. La zona de LE se caracteriza por calcosina, covelina, calcopirita, posible bornita y pirita. La zona PR se caracteriza por pirita, calcopirita y/o bornita (ver Tabla 4).

Tabla 4
Codificación de zonas mineralógicas.

Zona mineralógica	Abrev.	Código
Cc + Py	HE1	50
Cc + Cv + Py	HE2	51
Cv + Py	HE3	52
Cc + Cpy + Py	LE1	60
Cc + Cv + Cpy + Py	LE2	61
Cv + Cpy + Py	LE3	62
Cv + Cpy + Bo (+/-Cc, +/-Py)	LE4	63

Py	PR1	72
Cpy – Py	PR2	70
Bo – Cpy (+/-Py)	PR3	71

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

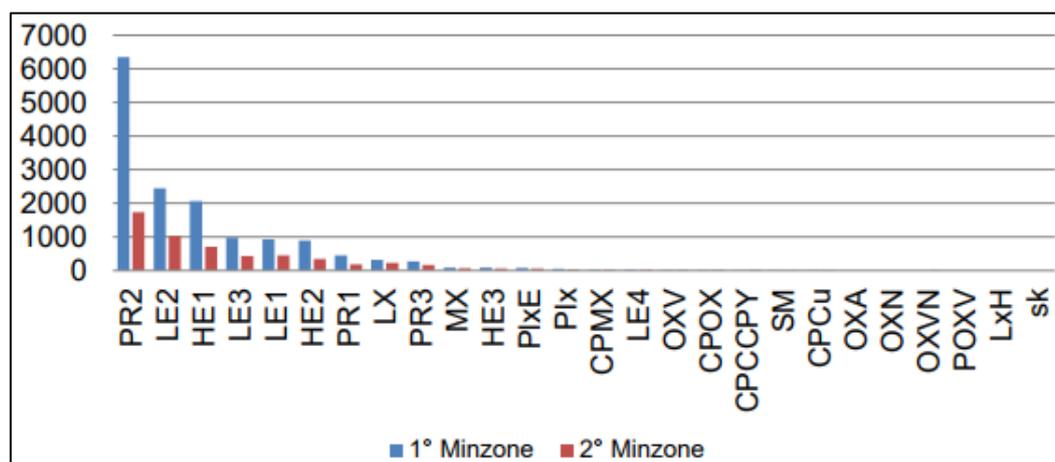


Figura 11. Cantidad de datos por minzone.

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Dado que las muestras pueden tener un máximo de dos alteraciones predominantes, se considerarán solo aquellas cuyos tramos sumen más de un 93%, es decir, las 2 alteraciones que representen casi la totalidad de la muestra.

Tabla 5

Cantidad de muestras con única alteración por tramo.

Alteración Hidrotermal	Abrev.	Código	Alteración
Potásica (solo Bt Secundaria)	K1	30	264
Feld K>Bt	K2	31	122
Clorita – Sericita – Arcillas	SCC1	40	1111
Clorita – Sericita – Cuarzo	SCC2	41	1417
Fílica	S	50	1151
Sericita-Cuarzo	S1	51	2551
Sericita – Cuarzo - Arcilla	S2	52	1706
Argilizacion supergena	AA	61	57
Total			8379

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

En la Tabla 6 se muestran los datos cuyos tramos presentan dos alteraciones distintas. Las alteraciones etiquetadas como 1° alteración corresponden a aquellas que representan un mayor porcentaje del tramo en cuestión y no tienen ninguna connotación genética. Se destaca que las alteraciones que presentan mayor cantidad de muestras con 2 alteraciones son las tipo S, S1, S2, SCC1 y SCC2.

Tabla 6
Cantidad de datos por tramo con mezcla de alteraciones.

		2da alteración								
		K1	K2	SCC1	SCC2	S	S1	S2	AA	Total
1ra Alteración	K1	0	2	49	38	17	6	2	2	116
	K2	3	0	4	11	12	3	1	0	34
	SCC1	43	1	0	17	122	5	30	19	237
	SCC2	31	12	24	0	19	109	35	0	230
	S	12	7	94	23	0	0	0	22	158
	S1	7	2	10	120	0	0	169	4	312
	S2	1	3	33	41	0	158	0	5	241
	AA	1	0	5	1	16	4	4	0	31
										1359

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

La alteración S (código 50) corresponde a un código de mapeo antiguo el cual caracteriza a la alteración fílica sin hacer distinción de la presencia de arcillas como lo hacen la S1 y S2, es decir, posee información agrupada de la alteración fílica, por lo que será reclasificada al finalizar el análisis. De esta manera, la base de datos geoquímicos se reduce a 8240 muestras, 7225 para tramos con alteración único y 1015 para tramos con mezcla de 2 alteraciones. Esta base de datos corresponde aproximadamente a un 23% de la base de datos original compilada por Townley et al. (2012) y Luca et al. (2012), dado que solo se consideran las muestras de la zona sur del rajo Escondida que cumplen con los criterios descritos anteriormente. La distribución espacial de los datos muestra tendencias según litología, alteración hidrotermal y mineralización. Según litología (ver Figura 4.4) el pórfido feldespático se distribuye preferentemente en la zona noreste del

yacimiento pudiendo alcanzar mayor profundidad que la andesita, la cual tiende a encontrarse en la zona oeste.

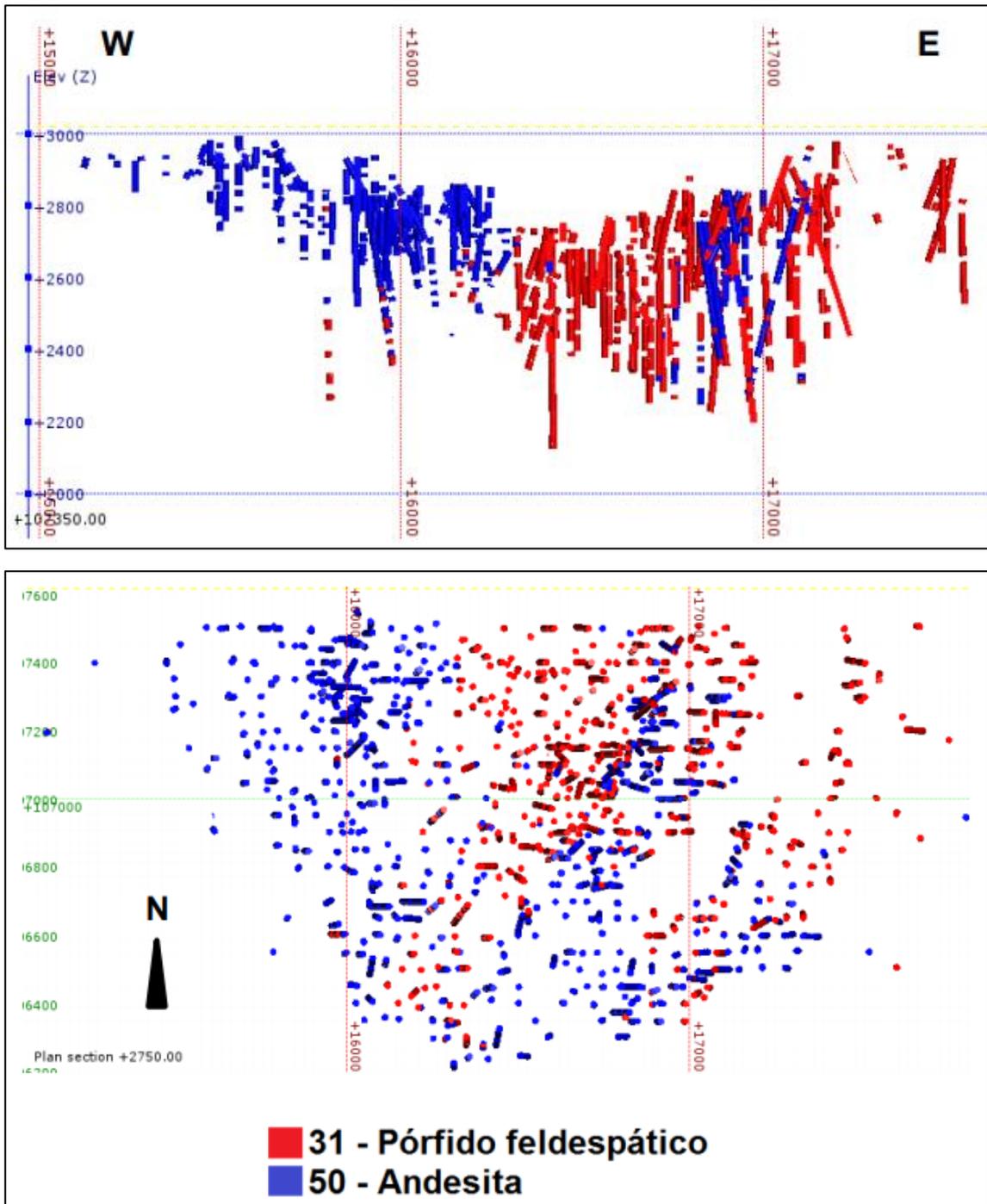


Figura 12. Distribución espacial de los datos geoquímicos según la litología.
Nota: Arriba: Perfil EW N = 107350 ± 50 m. Abajo: Planta cota = 2750 ± 50 m
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Según la alteración hidrotermal (ver Figura 13) es posible identificar tres zonas: Oeste, Central y Este. En la zona Oeste, se encuentran preferentemente las alteraciones SCC1 y SCC2, asociadas a la

andesita. La alteración K1 se distribuye en la zona noroeste del yacimiento. En la zona Este, se encuentran las alteraciones S1 y S2 asociadas al pórfido feldespático. La zona Central correspondería a una transición entre la Este y Oeste. En esta se encuentran las alteraciones SCC2 y K2 en contacto en profundidad con las alteraciones S1 y S2. La alteración AA es posible encontrarla en superficie en cualquiera de las tres zonas descritas.

Al igual que la alteración hidrotermal, es posible definir 3 zonas en función de la distribución espacial de la mineralización (ver Figura 14): alto enriquecido (HE), bajo enriquecido (LE) y primario (PR). Estas zonas se caracterizan por presentarse gradualmente a mayor profundidad. La zona de HE (50, 51 y 52) es de baja profundidad y tiende a asociarse al pórfido feldespático en la zona Este. La zona de LE (60, 61, 62 y 63) se encuentran a profundidad intermedia y no presentan una distribución preferencial.

según litología o alteración. Por último, la zona PR (70, 71 y 72) se presenta a profundidad alta y corresponde a la más abundante ya que se caracteriza por la presencia predominante de pirita. Al igual que LE, no presenta una tendencia a asociarse con alguna litología o alteración en particular.

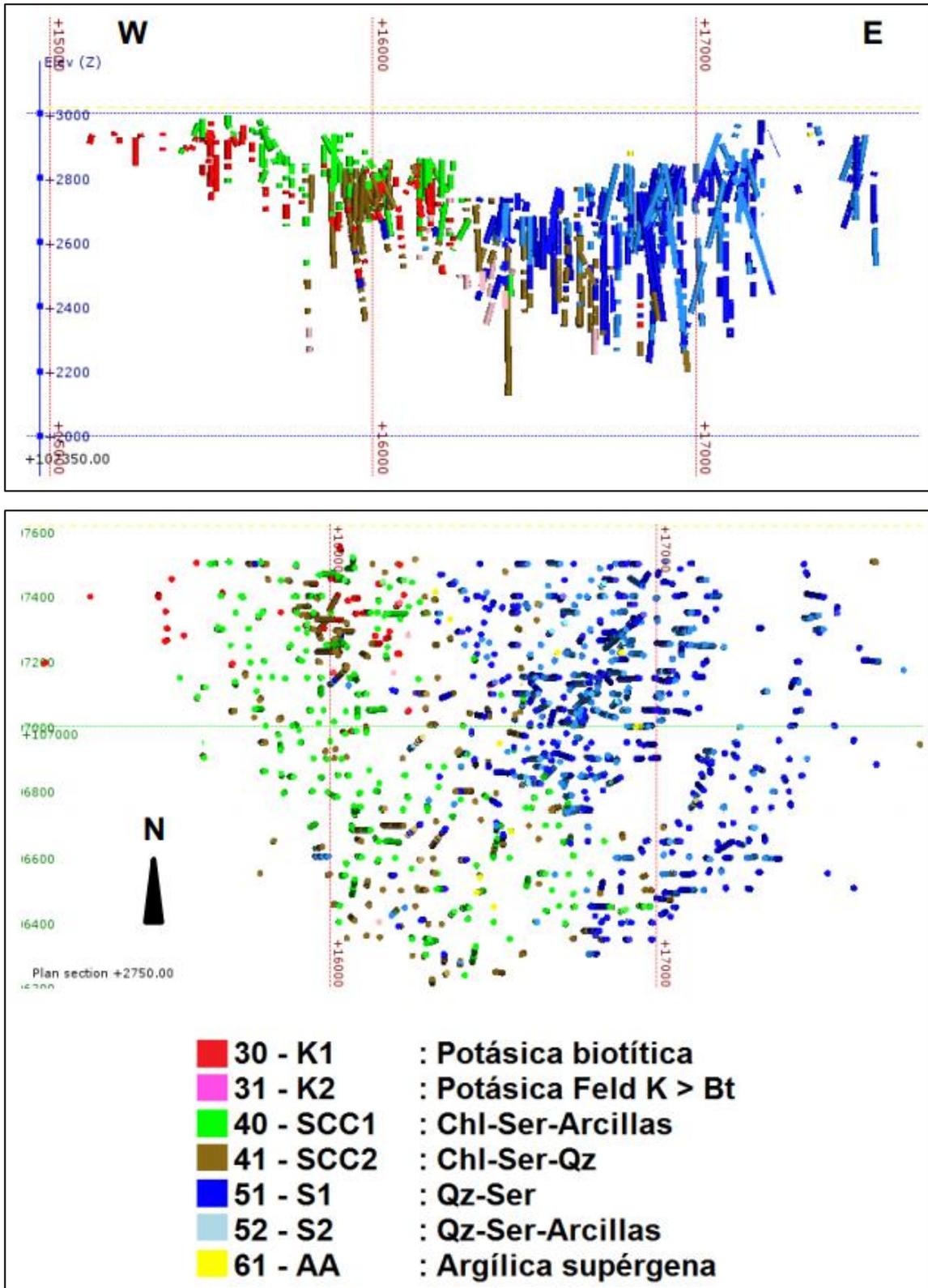


Figura 13. Distribución espacial de los datos geoquímicos según alteración hidrotermal.
Nota: Arriba: Perfil EW N = 107350 ± 50 m. Abajo: Planta cota = 2750 ± 50 m.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

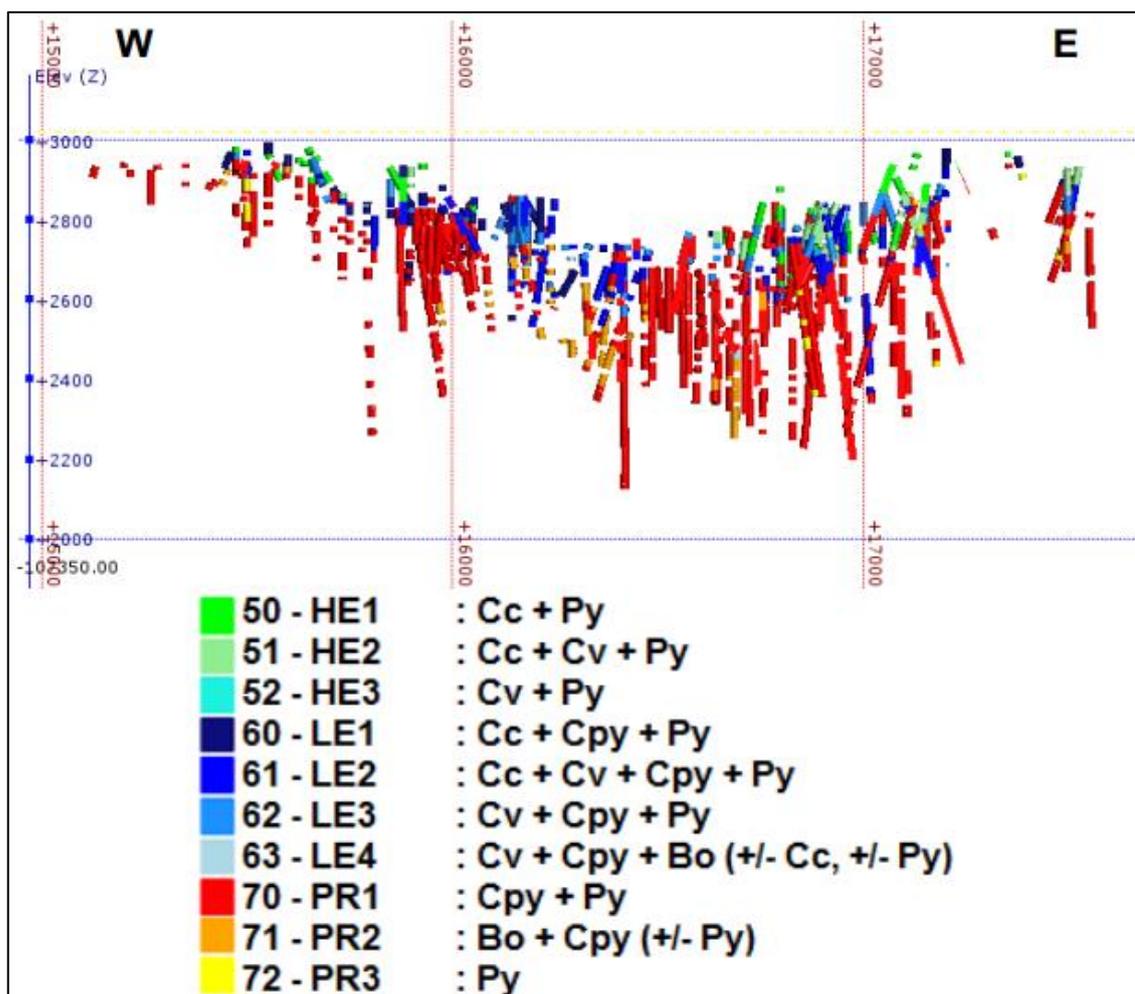


Figura 14. Distribución espacial de los datos geoquímicos según mineralización.

Nota: Perfil EW N = 107350 ± 50 m.

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

3.10. Porcentaje de disolución

Los valores calculados de la disolución muestran que en promedio se disuelve tan solo un 7.5% de la roca, pudiendo llegar hasta 30% en algunos casos (ver Tabla 7). Es decir, la suma de las concentraciones de elementos mayores no corresponde a un 100% como en el caso de los análisis de roca total utilizando ácidos más fuertes como el ácido fluorhídrico.

Cabe señalar, que se realiza la siguiente distinción entre elementos mayores y trazas. Los elementos considerados como mayores son aquellos que constituyen minerales que conforman una roca dentro de un sistema en particular. Por otro lado, los elementos traza son aquellos

que pueden reemplazar a los elementos mayores en la estructura cristalina sin afectar significativamente las fases. Además, se destaca que algunos elementos pueden comportarse como mayores o traza dependiendo el sistema que se defina (Hofmann, 2003). Para este caso en particular, dada la mineralogía soluble en agua regia, el grupo de los elementos mayores corresponde a: Al, Mg, K, Ca, Na, Fe, S, Cu y Ti. Los elementos de P y Mn, pese a constituir parte de la mineralogía accesoría, sus concentraciones son del orden de ppm por lo que solo se consideran al analizar las variaciones conjuntas y no su valor absoluto (ver Análisis de componentes principales).

Tabla 7
Estadísticos de porcentaje de disolución calculada.

Estadístico	% Total disuelto elementos mayores	% Total disuelto
Media	7.54	7.73
Desviación Estándar	3.24	3.31
Mínimo	1.88	1.98
Maximo	30.21	30.27

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

En la Figura 15 se muestran los boxplots de la disolución total calculada para elementos mayores por alteración, evidenciando que el porcentaje de disolución parece no estar controlado por el tipo de alteración hidrotermal asociada, ya que los rangos de variación se sobreponen casi totalmente.

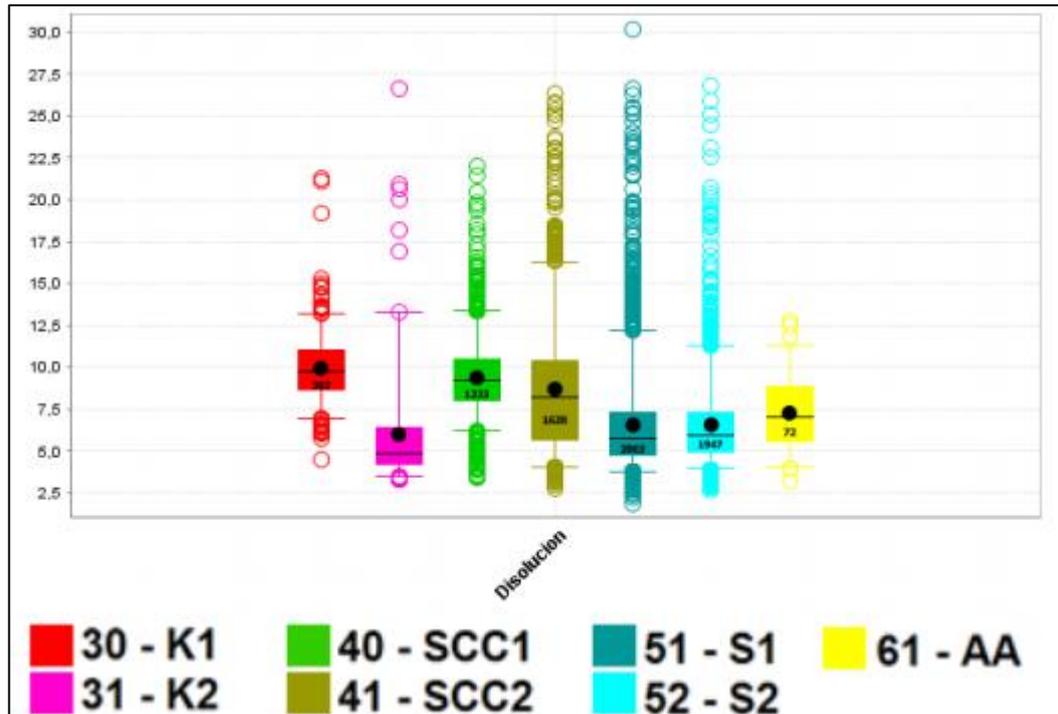


Figura 15. Boxplot de disolución total calculada para elementos mayores.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Los elementos representan un mayor porcentaje relativo de disolución en orden decreciente son Fe, S, Al, CuT, Mg, K, Ca, Na y Ti. Para el caso del Al, Mg y Ca, el porcentaje de disolución es mayor para las muestras caracterizadas por alteraciones neutras (K1 – 30 a SCC2 – 41) y menor para las ácidas (S1 – 51, S2 – 52 y AA – 61), mientras que el azufre se comporta de manera opuesta (ver Figura 16).

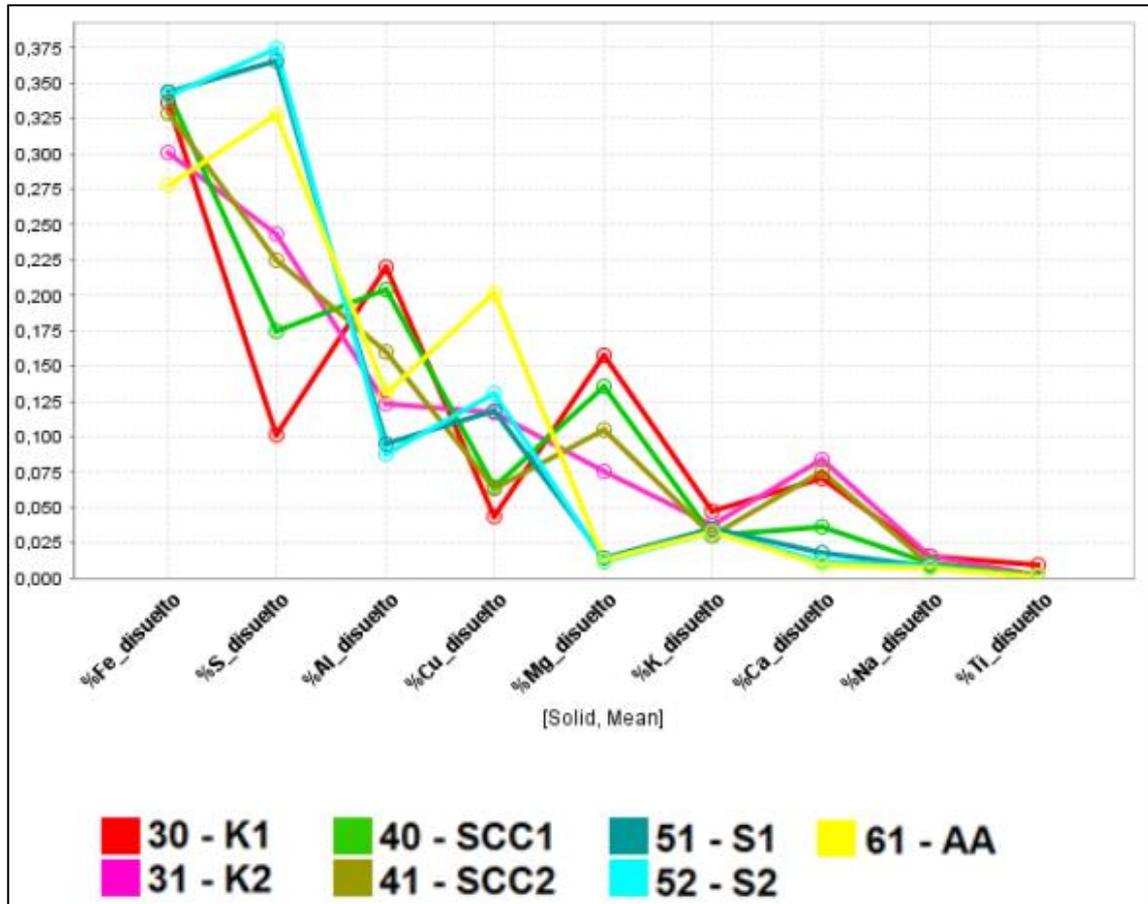


Figura 16. Porcentaje relativo promedio de elementos disueltos por alteración.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

La Figura 17 muestra que los elementos traza que presentan un mayor porcentaje de disolución corresponde a P, Zn y Mn, lo que puede deberse a la presencia de minerales altamente solubles en agua regia como fosfatos, blenda y óxidos de manganeso.

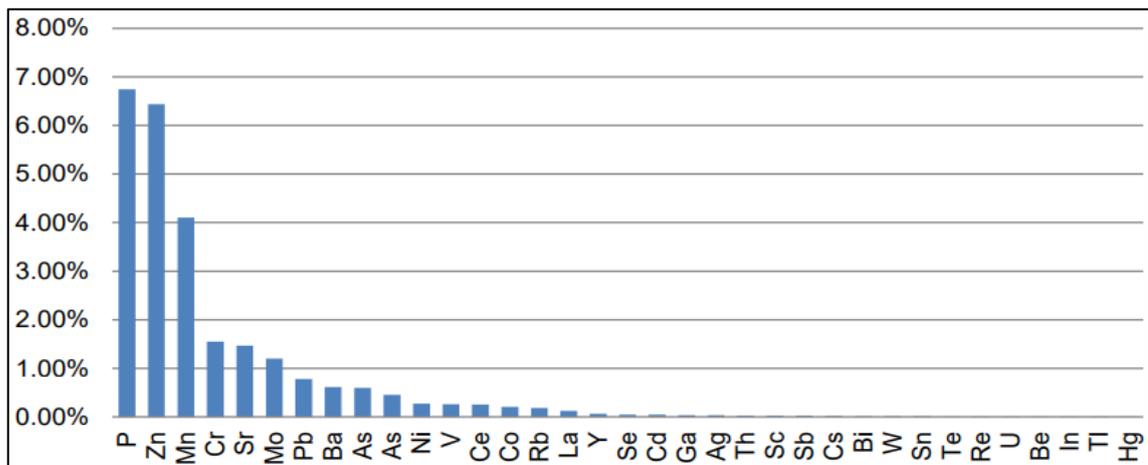


Figura 17: Porcentaje normalizado promedio de elementos traza disueltos.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

La diferencia entre los porcentajes de disolución calculados por alteraciones se debería al tipo de digestión utilizada. El agua regia disuelve ciertos minerales que pueden darse en distintas proporciones dependiendo de la alteración hidrotermal. Así, la alteración potásica biotítica puede presentar mayor porcentaje de disolución que la potásica feldespática, puesto que la biotita es disuelta fácilmente por el agua regia a diferencia del feldespato y la sericita.

3.11. Abundancia de minerales

Esta sección del mapeo de sondajes representa la abundancia relativa entre los minerales de alteración y en ningún caso la intensidad de un tipo de alteración en particular. Por ejemplo, la intensidad de sílice puede representar la generada por silicificación, alteración potásica, cuarzo-sericita, entre otras. Otros parámetros que se encuentran en esta base de datos son: Alteración de los máficos (AltMaf) y Destrucción de feldespatos (Desfel). Al igual que la intensidad mineral, la alteración de los feldespatos consta de 4 categorías: ausente (0), biotitizados (1), cloritizados (2) y blanqueados (3). La categoría de biotitizados y cloritizados son asociados comúnmente a las alteraciones potásica biotítica y clorítica, respectivamente. La categoría de blanqueados se asocia a las alteraciones fílicas y argílicas supérgenas. La destrucción de feldespatos consta de 5 categorías: ausente (0), nulo o fresco (1), pseudomorfo (2), destrucción parcial (3) y destrucción total (4). La Figura 4.10 esquematiza el grado de destrucción de los feldespatos.

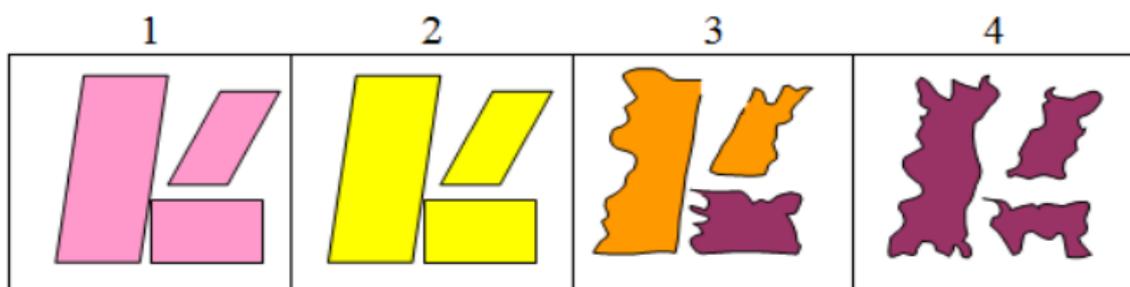


Figura 18. Esquema de grado de destrucción de los feldespatos.

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

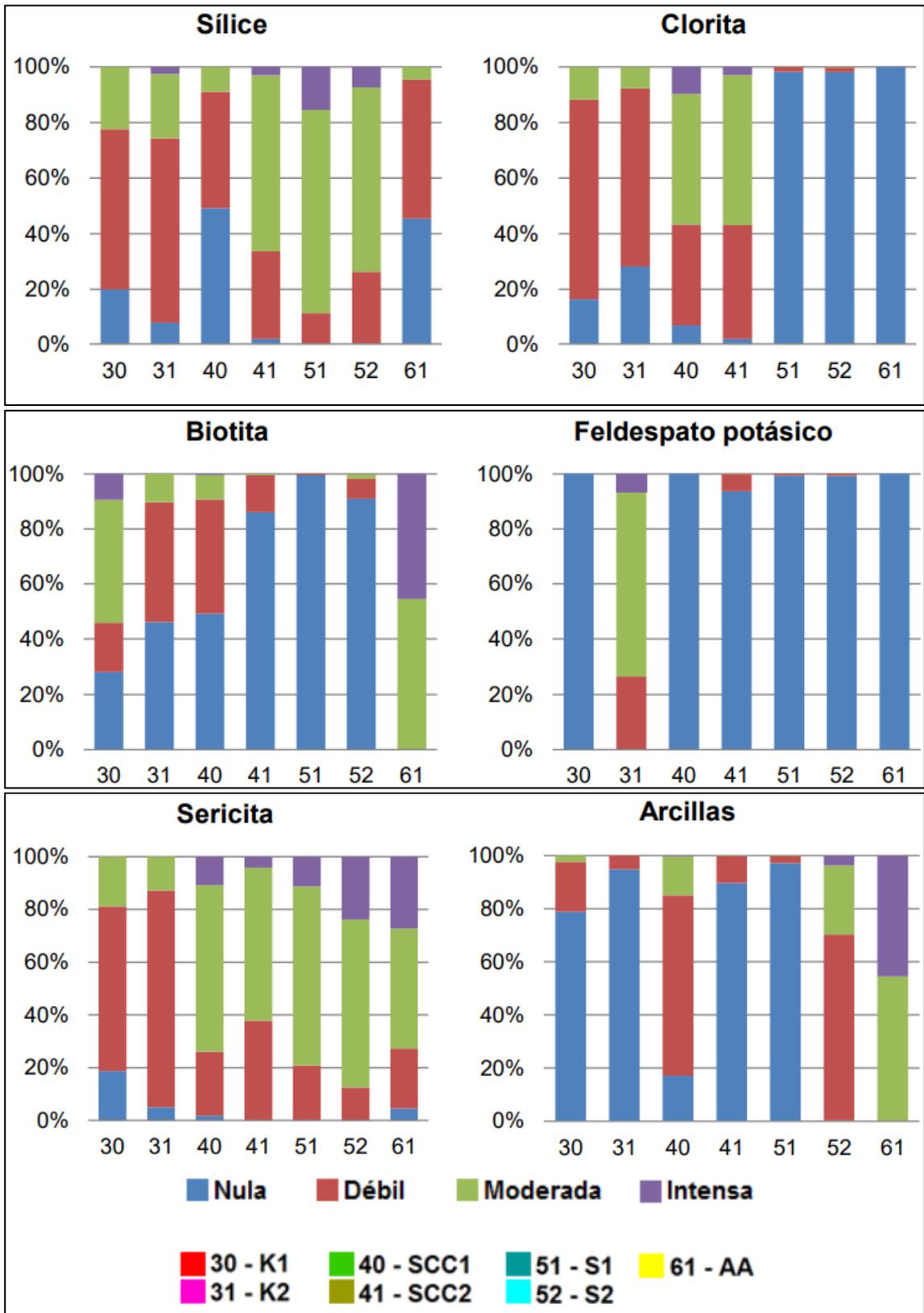


Figura 19. Abundancia relativa de minerales en cada alteración hidrotermal.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

En la Figura 19 se muestran las abundancias minerales mapeadas para un total de 3906 muestras. Esta cantidad se debe a que el mapeo no es por tramos de longitud constante y, por lo tanto, para hacerlos coincidir con la base de datos geoquímicos se han considerado solo los mapeos de abundancia que representen la totalidad del soporte geoquímico.

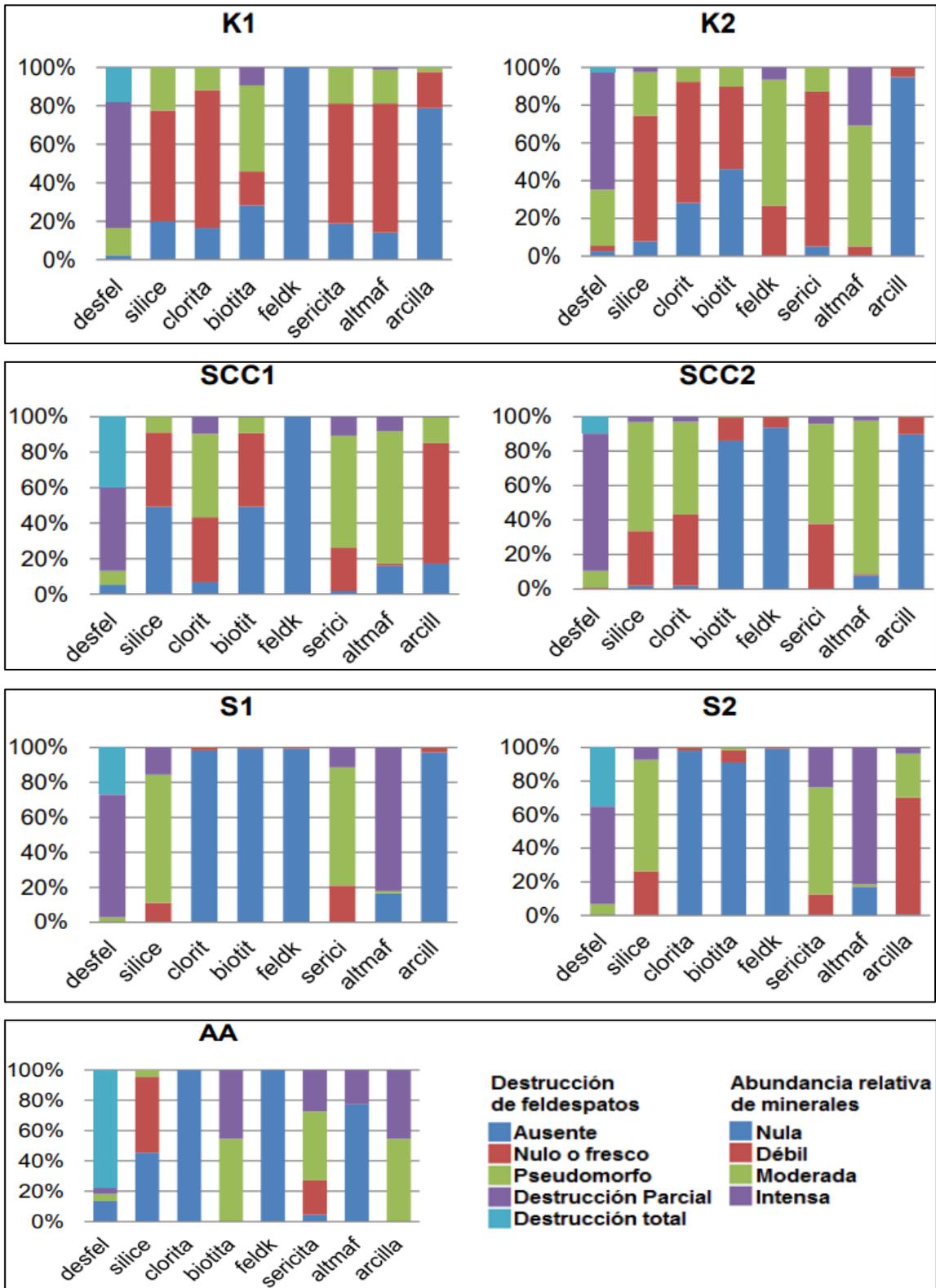
En los gráficos, la abundancia relativa de minerales por alteración se normaliza por la cantidad de datos. La biotita y clorita presentan un mapeo de abundancia medio a alto preferentemente en las alteraciones potásicas y clorita-sericita. Se destaca que la presencia de clorita es esencial para distinguir entre las alteraciones SCC (40 y 41) y S (51 y 52).

La intensidad de la biotita es alta en la alteración biotítica. En la alteración argílica supérgena la biotita tiene un mapeo moderado a intenso lo que pone en duda la clasificación relativa de minerales.

La biotita es un mineral inestable bajo las condiciones fisicoquímicas de la alteración argílica supérgena, lo que hace improbable encontrar esta asociación en la mayoría de los datos de alteración AA. La sericita es mapeada con abundancia media a alta en las alteraciones hidrolíticas (fílicas y argílica avanzada), mientras que solo con intensidad media a nula en las alteraciones potásicas (30 y 31). Sin embargo, la intensidad media y baja de sericita en las alteraciones potásica indica que existe una superposición de las alteraciones potásica y sericítica a pesar de haber filtrado la base de datos por tramos con solo una alteración.

La arcilla es mapeada con abundancia baja a media en las alteraciones 40 y 52, las cuales por definición poseen arcillas. Mientras que en la alteración argílica supérgena se presenta con intensidad media a alta dado que es un mineral clave para definir esta alteración. El sílice es mapeado con intensidades relativamente homogéneas en todas las

alteraciones, mientras que el feldespato solo se mapea en la alteración potásica feldespática.



La alteración potásica biotítica (K1) se caracteriza por la destrucción de feldespatos parcial a total; moderada a intensa biotita y clorita; moderada a baja de sericita y arcillas; y máficos cloritizados y biotitizados, principalmente (ver Figura 20). La alteración potásica feldespática (K2) se caracteriza por destrucción de feldespatos pseudomorfa a parcial, moderada a baja sericita, biotita y clorita, moderado a intenso feldespato potásico, nula, arcillas y máficos cloritizados a blanqueados. La alteración clorita-sericita-arcillas (SCC1) se caracteriza por destrucción de los feldespatos parcial a total; clorita, sericita y arcilla moderada a intensa; biotita moderada a nula; nulo feldespato potásico; y máficos biotitizados y cloritizados.

La cartilla de logueo de sondajes de Escondida cuenta con una sección en la cual se debe entregar un índice de intensidad de presencia de algunos minerales. La escala consiste en los valores nominales 0, 1, 2 y 3 que indican intensidad nula, débil, moderada e intensa, respectivamente.

La alteración clorita-sericita-cuarzo (SCC2) se caracteriza por destrucción de feldespatos parcial a total; clorita, sericita y sílice moderada a intensa; nula a baja presencia de arcillas, biotita y feldespato potásico; y máficos cloritizados.

La alteración cuarzo-sericita (S1) se caracteriza por destrucción parcial a total de feldespatos; nula clorita, biotita, feldespato potásico y arcillas; moderada a abundante sericita y sílice; y máficos blanqueados.

La alteración cuarzo-sericita-arcillas (S2) se caracteriza por destrucción parcial a total de los feldespatos; nula clorita, biotita y feldespato potásico; baja a moderada sílice, sericita y arcillas; y máficos blanqueados. La alteración argílica supérgena (AA) se caracteriza por una destrucción total a parcial de los feldespatos; nula clorita y

feldespato potásico; baja a moderada sílice y sericita; moderada a intensa arcilla y biotita; y máficos blanqueados.

3.12. Análisis univariable

Los histogramas muestran que la distribución de los elementos se asemeja a una lognormal. Además, existen algunos elementos mayores y traza que presentan dos poblaciones bien definidas y que coinciden con dos grupos de alteraciones hidrotermales:

alteraciones neutras y ácidas. Las primeras la conforman las alteraciones potásicas (30 y 31) y las sericita-clorita (40 y 41), y en las segundas se encuentran las alteraciones cuarzo-sericita (50, 51 y 52) y argílica supérgena (61). Entre los elementos mayores destacan Mg, Al, Ca, P y Mn (ver Figura 21), y en los elementos traza lo hacen Zn, Be, Ga, Sc, V e Y (ver Figura 22).

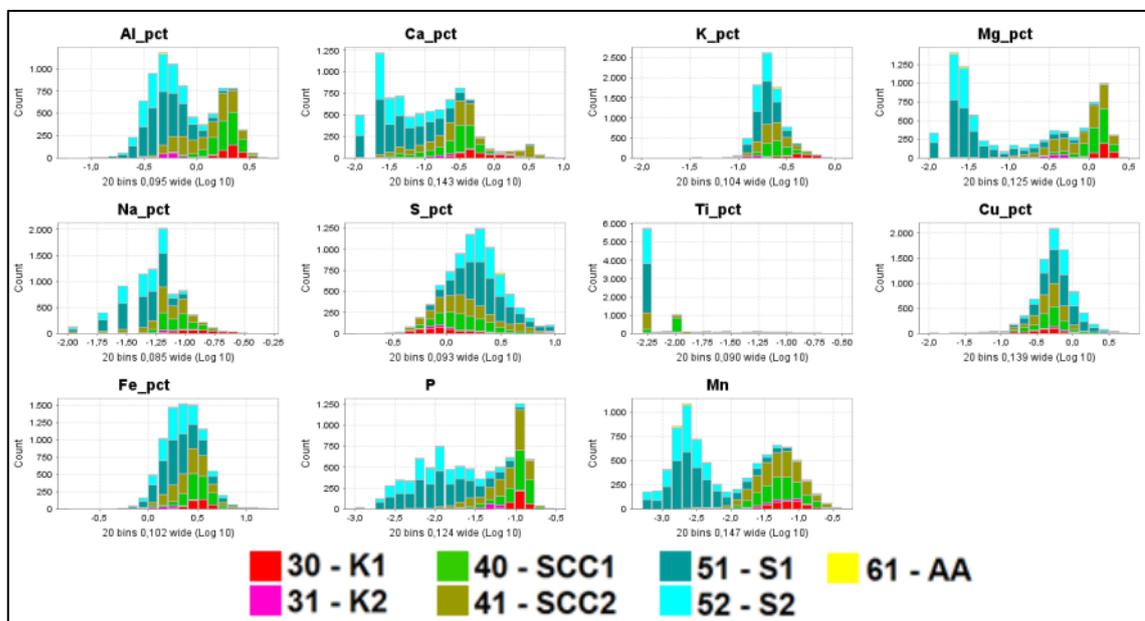


Figura 21. Histogramas de elementos mayores por alteración hidrotermal.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

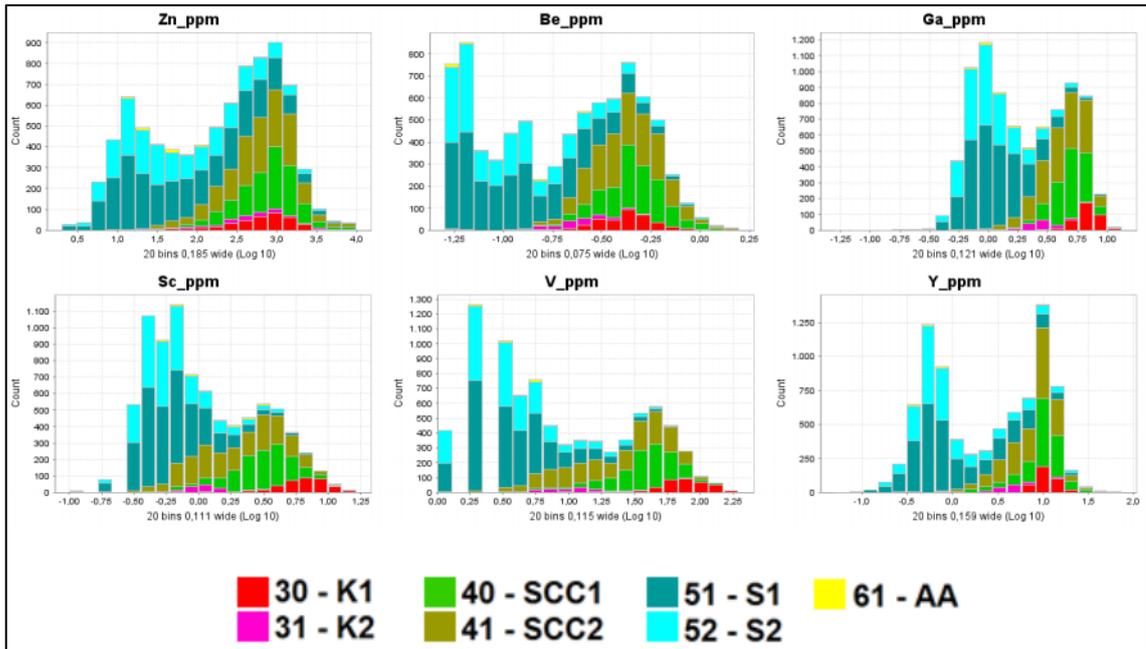


Figura 22. Histogramas de algunos elementos separados por alteración hidrotermal.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Los gráficos de caja (boxplot) se caracterizan por mostrar una caja, una línea, un punto y dos bigotes, uno inferior y otro superior. Dentro de la caja se encuentran los valores entre el primer cuartil y el tercero (Q1 a Q3), la línea corresponde a la mediana, el punto es la media, el bigote inferior corresponde al 5% de los datos, y el bigote superior al 95% de estos. Los datos graficados como círculos son aquellos que se encuentran fuera de rango entre 5 y 95%. Las alteraciones a pH neutro presentarían mayores concentraciones de Al, Mg, Ca, Na, Ti, Mn, P, Zn, Ce, Rb, V, Y, Th y Be, mientras que las alteraciones ácidas presentan mayor concentración de S (ver Figura 23).

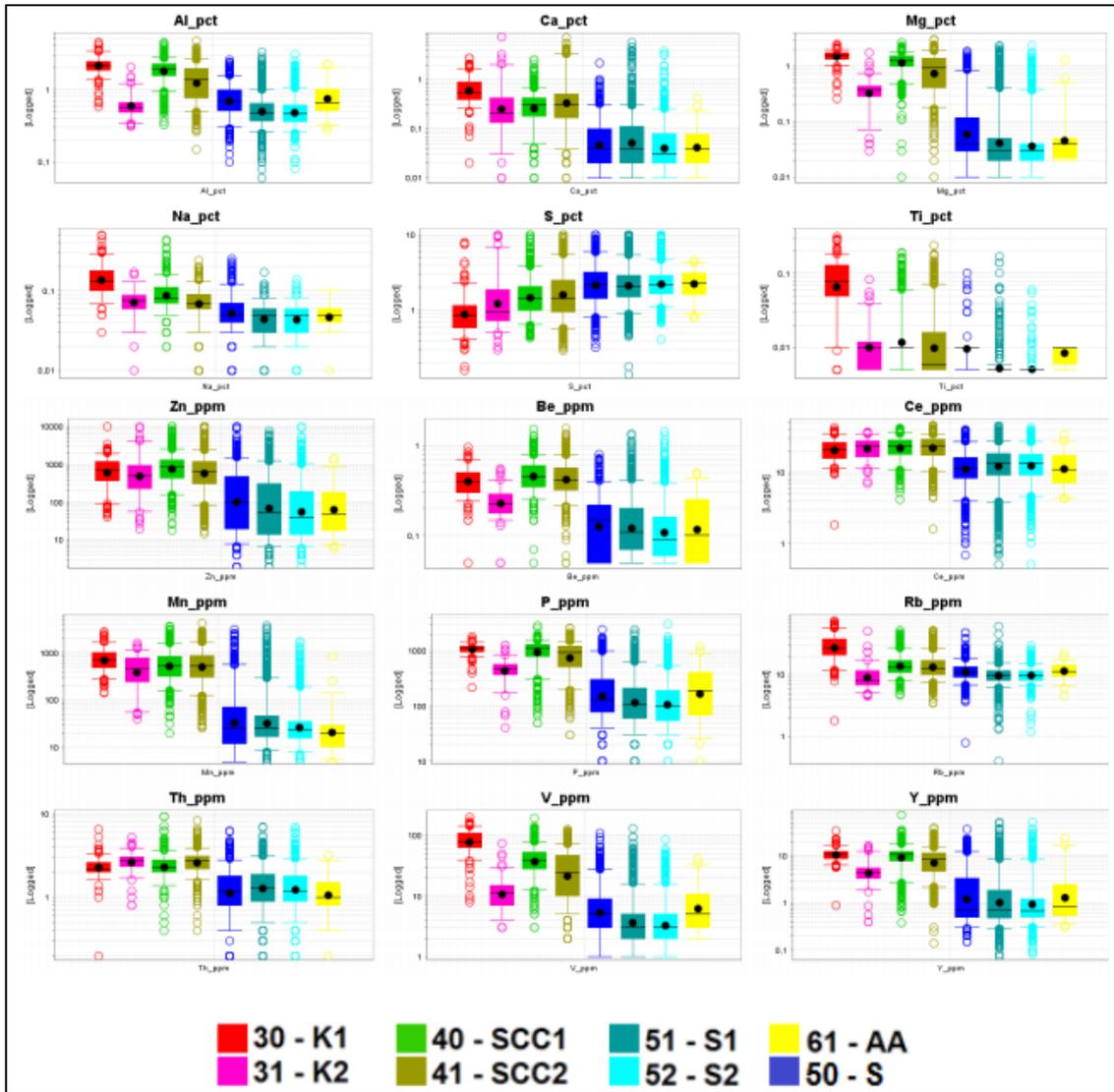


Figura 23. Boxplots con eje logarítmico de elementos por alteración hidrotermal.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

3.13. Depuración de base de datos geoquímicos

Según estudios previos realizados con la misma base de datos (Townley et al., 2012; Luca et al., 2012), existen variables que fueron eliminadas debido a no cumplir ciertas condiciones.

En este estudio, se procede a realizar un análisis exploratorio de datos usando las siguientes herramientas: Histogramas de frecuencia y acumulados, cálculo de estadígrafos básicos y medidas de dispersión, y matriz de correlación. Los histogramas de frecuencia evidencian que existen ciertos elementos cuyas concentraciones son casi constantes, lo

que se puede observar también en los estadígrafos de rango y rango intercuartil cercanos a cero. De esta manera, se descartan los siguientes elementos: Au, B, Hf, Hg, Nb, Ta y Zr. Además, algunos elementos, Li y Au, poseen más del 20% de sus datos en blanco, lo que quiere decir que no se posee información y son eliminados. De este modo, la base de datos geoquímicos final consta de un total de 45 variables. Cabe destacar que existen elementos que poseen más de una columna como Cu_ppm, CuS y CuT y As_ppm y As_Tot. Con lo cual se contaría con información de 42 elementos por cada muestra. En el caso del Cu, se decide trabajar con el CuT porque representa el contenido total de cobre en la muestra y es uno de los principales elementos presente en los minerales solubles en agua regia, mientras que para el As se considera el soluble (As ppm) ya que el total no está disponible para todas las muestras. Comúnmente, otro factor importante a considerar para disminuir el número de variables es la correlación entre elementos. Una correlación muy alta indicaría que hay elementos que presentan una relación lineal entre ellos y estarían entregando información redundante. Los pares de elementos con mayor correlación se muestran en la Tabla 8 Sin embargo, se prefiere no eliminar estos elementos antes del análisis ya que podrían presentar un comportamiento favorable para el objetivo de éste estudio.

Tabla 8
Elementos con índice de correlación superior o igual a 0.93.

Elementos	Índice de Correlación
Ce – La	0.98
Ga – Mg	0.94
Li – Mg	0.93
V – Sc	0.94

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Finalmente, la base de datos geoquímicos constaría de un total de 8240 muestras en el espacio con información de concentración para 42 elementos químicos, 10 mayores: Al, Ca, Na, K, Mg, Fe, S, Cu, P y Mn; 32 elementos traza y su información de mapeo: litología, alteración

hidrotermal, minzone y abundancia relativa de minerales. La mineralogía que se considerará para el estudio de las alteraciones hidrotermales será detallada más adelante en la sección de análisis mineralógico. Elementos mayores En la Figura 24, se muestra que las 4 primeras componentes principales explican un 79.7% de la varianza, mientras que la Figura 25 muestra que solo las primeras 3 poseen valores propios asociados mayores a 1.

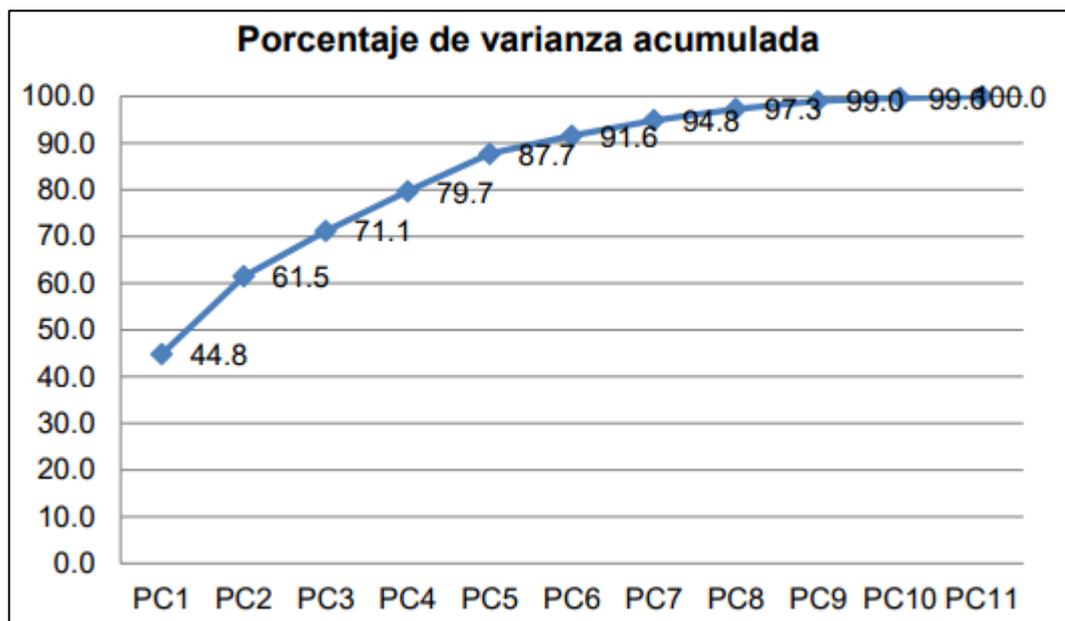


Figura 24. Varianza acumulada según ACP de elementos mayores.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

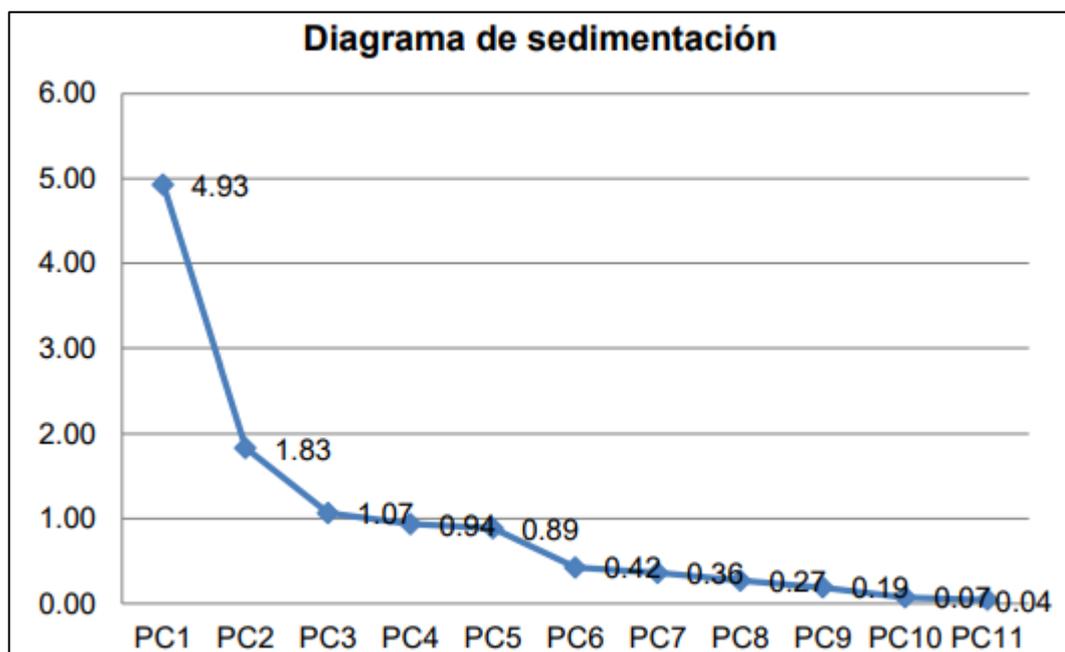


Figura 25. Diagrama de sedimentación para elementos mayores.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Los coeficientes de correlación entre los elementos mayores indican que existe una fuerte correlación entre dos grupos de elementos. Por un lado se encuentran Al, Mg, K, Ti, Na, P y Mn, y por otro, Fe, S y Ca. El primer y segundo grupo se correlaciona fuertemente con las componentes principales 1 y 2, respectivamente. Los círculos de correlación muestran una proyección de la esfera de las variables en dos componentes, representadas por un punto dentro de un círculo unitario.

Si la distancia entre la proyección de las variables es baja entonces su correlación es alta, sin embargo, no siempre la proximidad en las proyecciones implica una proximidad en la esfera, a menos que las proyecciones se encuentren cerca de la circunferencia del círculo. En la Figura 26, se resalta la relación entre los elementos mayores. Se destaca el grupo de elementos conformado por Al, Mg, K, Ti, Na, Mn y P, los cuales muestran una alta correlación entre ellos asociándose con el primer factor. Además, K y Ti muestran un comportamiento conjunto pudiendo alejarse de las demás proyecciones. El grupo de S, Fe y Ca tienen una correlación baja con el grupo anterior, y se asocia con el segundo factor. Por su parte, el Cu parece tener un comportamiento inverso con el resto de los elementos, y no se explica completamente por las primeras 3 componentes principales.

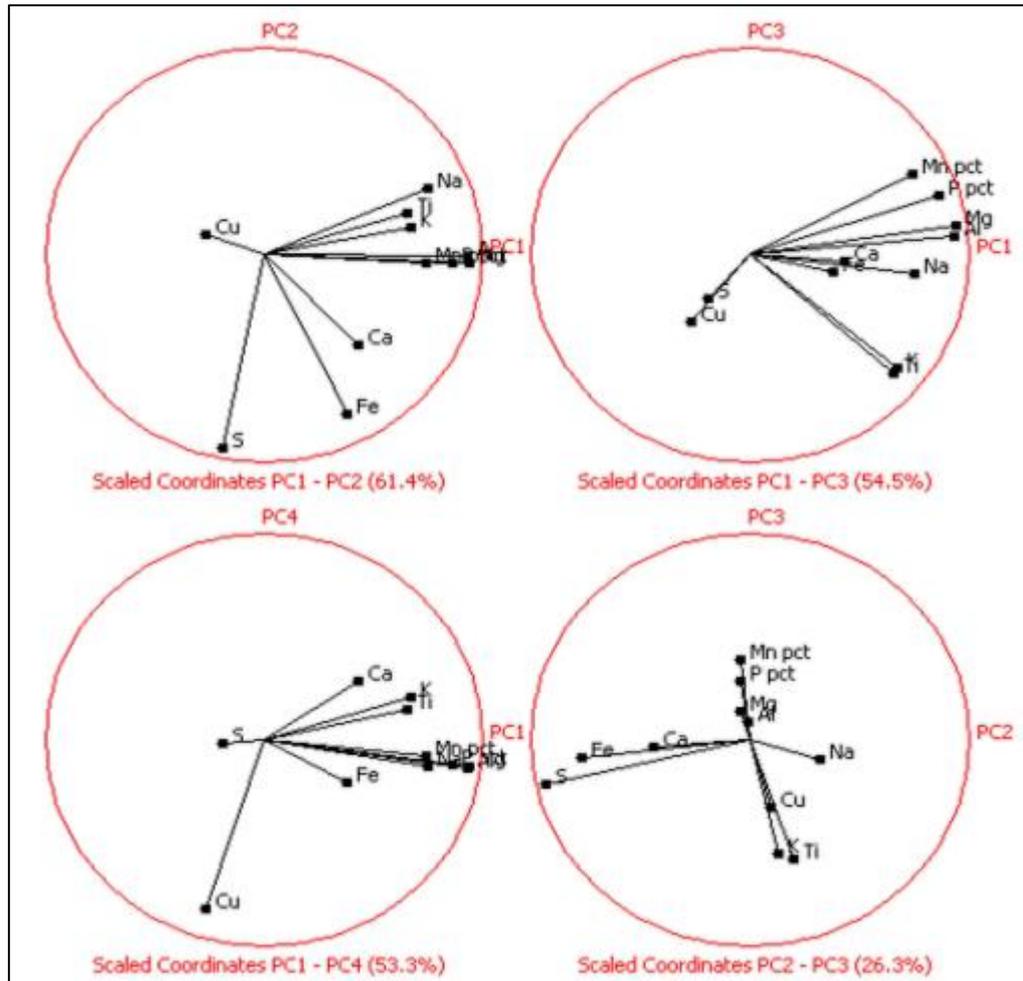


Figura 26. Círculos de correlación para elementos mayores.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

El diagrama de dispersión (ver Figura 27) entre el primer y segundo factor resalta que la primera componente es capaz de clasificar los datos en 3 grupos. El primer grupo presenta los valores más altos dentro del PC1 y corresponde principalmente a la alteración K1, mientras que el segundo grupo corresponde a los valores de PC1 menores a cero y se caracteriza por las alteraciones fílicas S1 y S2. El tercer grupo se encuentran las alteraciones SCC1, SCC2 y K2, y corresponderían a una zona transicional entre los dos grupos mencionados anteriormente.

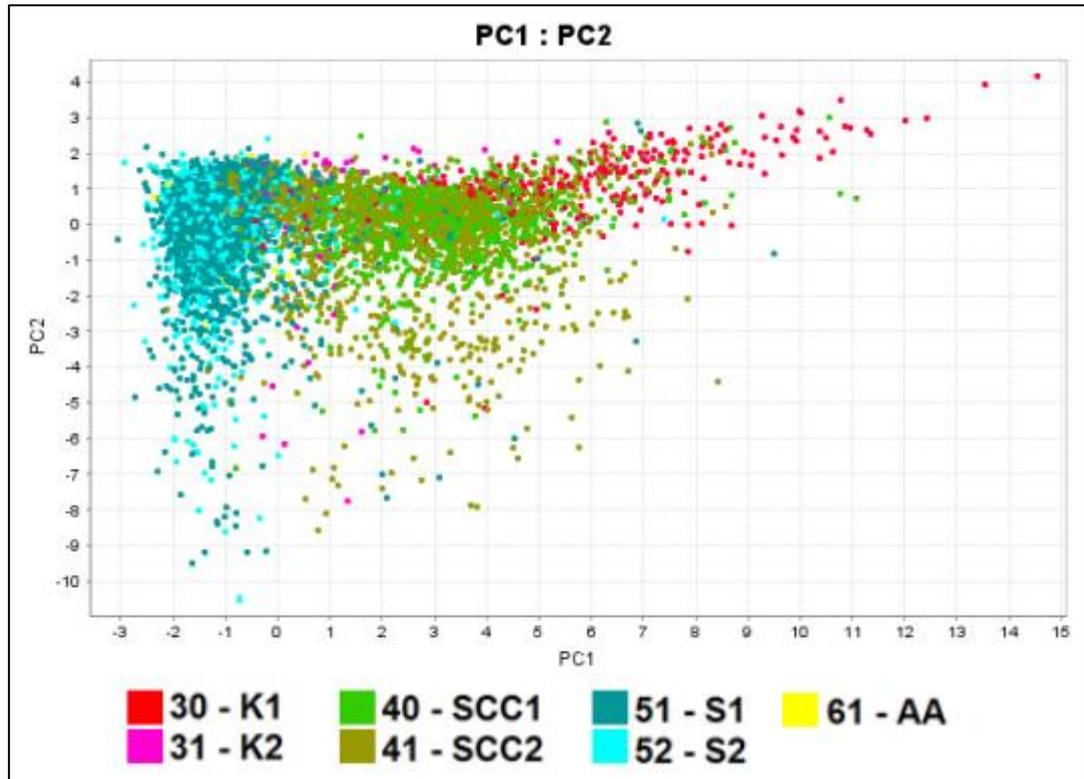


Figura 27. Diagrama de dispersión entre PC1 y PC2. Los colores indican alteraciones hidrotermales.

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

El comportamiento conjunto de los elementos mayores puede reflejar directamente la mineralogía de la cual provienen. El grupo de elementos asociados con la PC1, muestran un comportamiento capaz de separar las alteraciones neutras de las hidrolíticas. El Al, Mg, K, Ti, Mn y P se encuentran en mayor proporción en las alteraciones potásicas y sericit-clorita, que en las alteraciones fílicas. Esto puede reflejar el control mineralógico que ejercerían los filosilicatos de biotita, clorita y óxidos de hierro como magnetita. Por otro lado, el grupo de Fe, S y Ca no muestran una clasificación asociada a la PC2. Esto puede deberse principalmente a que los elementos no muestran una correlación total con esta componente, lo que se explicaría por las múltiples proveniencias de estos elementos, como sulfuros, sulfatos, carbonatos, óxidos e hidróxidos de hierro, entre otros. De esta manera, el comportamiento de los elementos mayores se relacionaría con la composición de aquellos minerales propios de algunas alteraciones hidrotermales debido a los efectos de la digestión por agua regia.

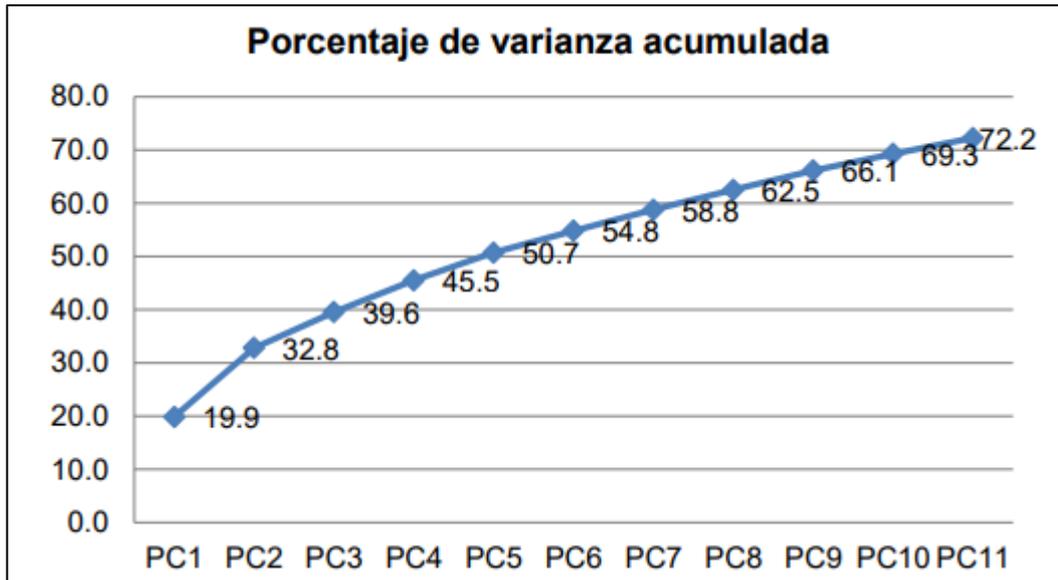


Figura 28. Varianza acumulada según ACP de elementos traza.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

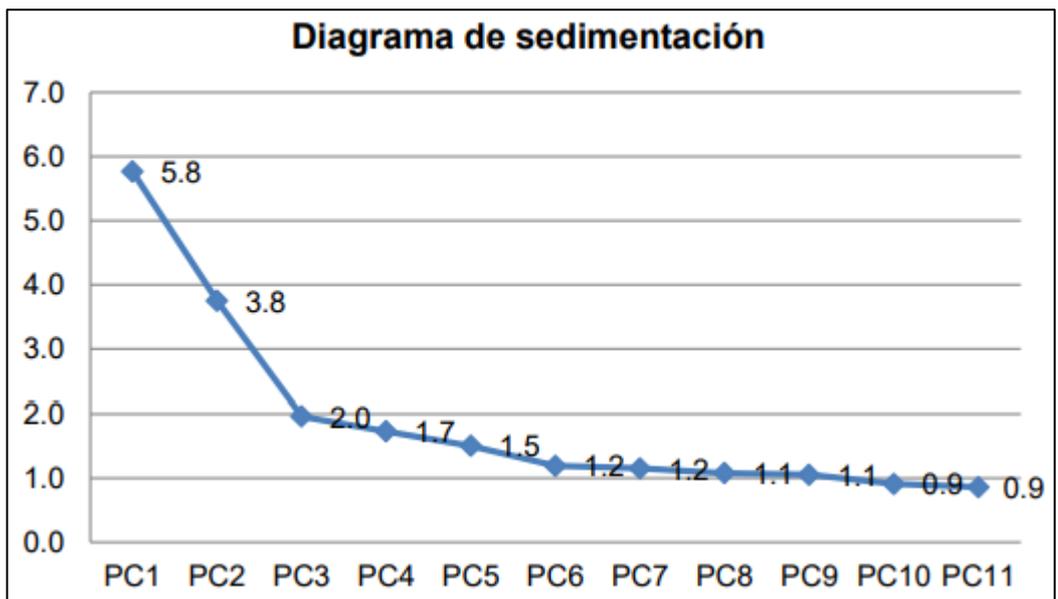


Figura 29. Diagrama de sedimentación para elementos traza.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

A pesar de la gran cantidad de variables, los círculos de correlación muestran que existen elementos que se relacionan fuertemente entre sí y con los primeros factores. En la Figura 30, se observa que las proyecciones de algunos elementos dentro de los círculos de correlación se relacionan fuertemente entre ellos y con la PC1, como: Ce, Be, Ce, Th, Y, Cs, Ga, Rb y V. El Zn, que es el elemento que posee una mayor concentración relativa a los demás, se correlaciona levemente con la

PC1, sin embargo, también lo hace con otras componentes lo que habla de su gran dispersión dentro del yacimiento.

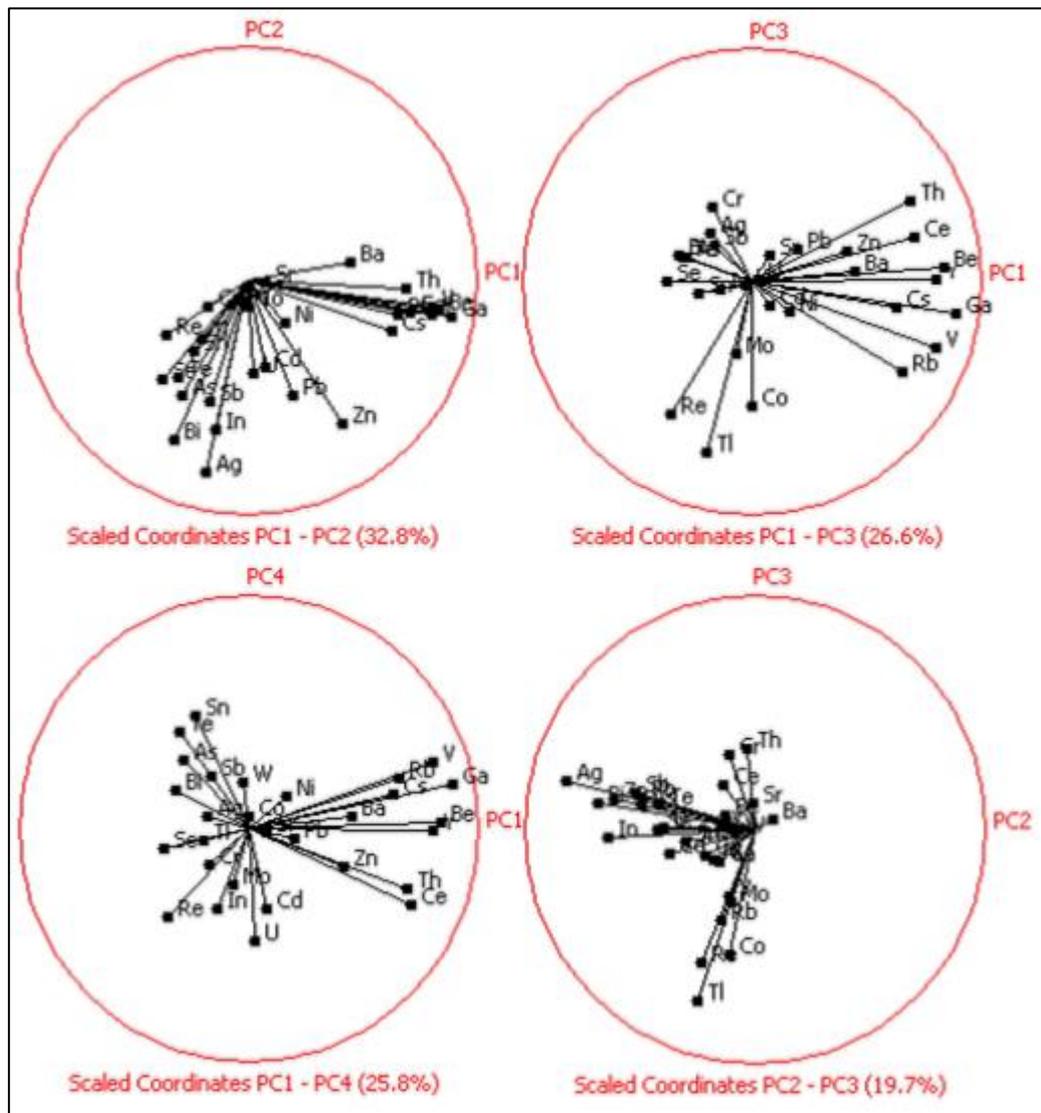


Figura 30. Diagramas de componentes principales para elementos traza.
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Al igual que el primer factor del ACP para elementos mayores, el primer factor de los elementos clasifica las alteraciones en tres grupos: potásica biotítica (K1), fílicas (S1 y S2) y transicionales (SCC1, SCC2 y K2) (ver Figura 31).

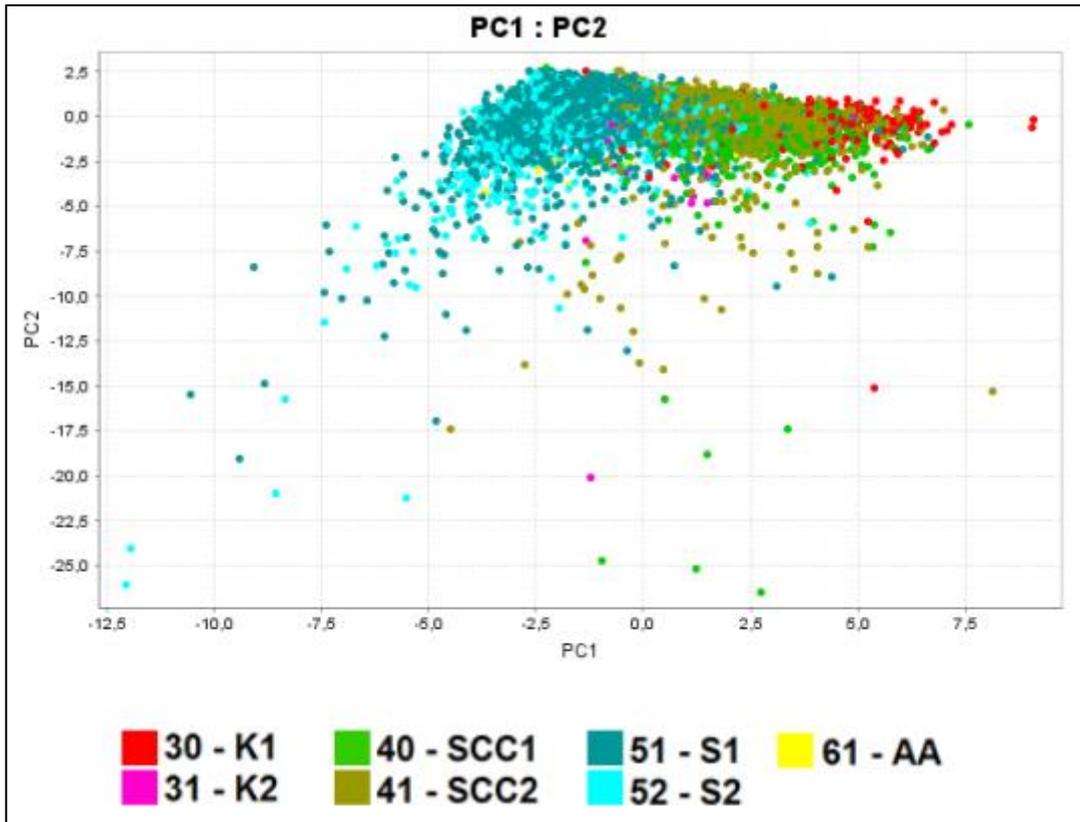


Figura 31. Diagrama de dispersión entre PC1 y PC2. Los colores indican alteraciones hidrotermales.

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

3.14. Clasificación previa

En estudios anteriores (Townley et al., 2012) esta base de datos fue clasificada utilizando parámetros construidos a partir de la representación gráfica del comportamiento de los elementos químicos. Esta clasificación reagrupa las alteraciones hidrotermales según una mineralogía teórica. A continuación, se describen los 3 pasos de clasificación.

- Diagrama de clasificación Al-Fe-Mg: La línea caracterizada por la razón $Al/(Mg+Al)=80\%$ divide el triángulo en dos zonas, denominadas zona 1 (>biotita, >clorita, sericita, arcillas), ambos con pirita. Esta etapa es capaz de clasificar la base de datos geoquímicos con una eficiencia del 92,4% (ver Figura 32).

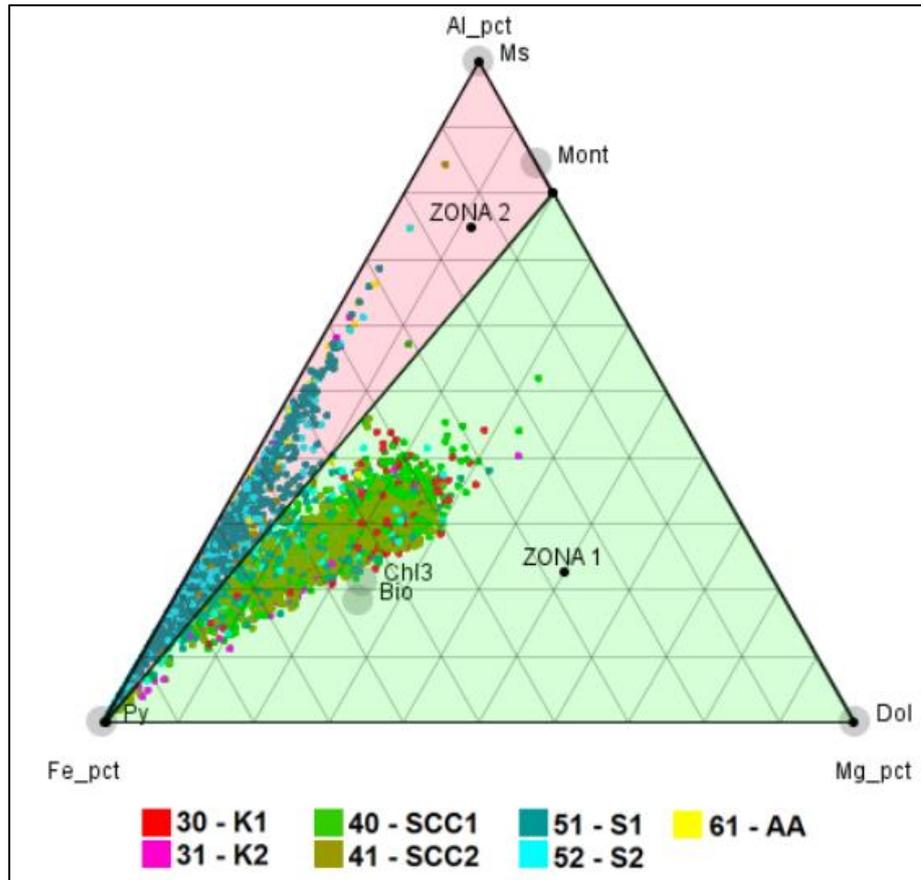


Figura 32. Diagrama de clasificación Al-Fe-Mg (Townley et al., 2012).
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

- Diagrama de clasificación Ca-Fe-S: Se divide el triángulo en dos zonas según los siguientes criterios:

$$\frac{Ca}{(Ca+Fe+S)} > 10\%$$

$$\frac{Fe}{Ca+Fe+S} < 50\%$$

De esta manera, es posible distinguir aquellas muestras que teóricamente contendrían anhidrita de las que no (ver Figura 33).

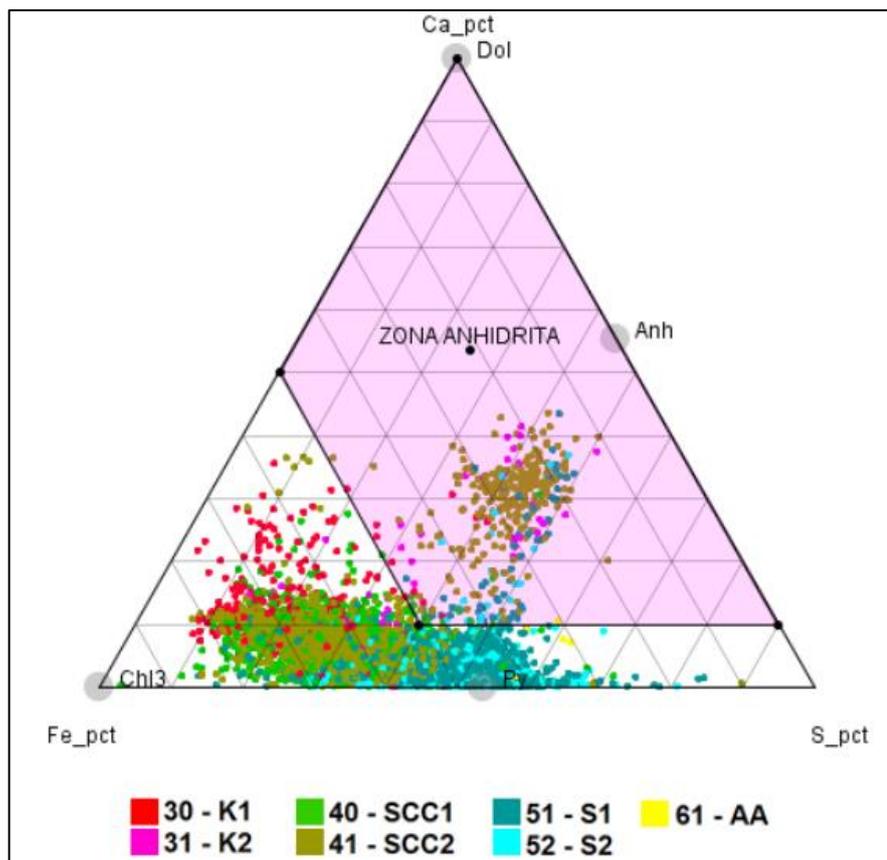


Figura 33. Diagrama de clasificación Ca-Fe-S (Townley et al., 2012).
Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

Diagrama de clasificación $(Al+K)/(Na+Ca+Mg)$ vs Sc^*V : Este diagrama destaca 4 zonas bien definidas (ver Figura 34): zona de alteración sericita-cuarzo-arcillas, clorita-sericita-potásica, potásica y con anhidrita/yeso. El criterio propuesto es que aquellas muestras cuyo producto Sc^*V sea mayor a 250 serían clasificados como alteraciones potásicas.

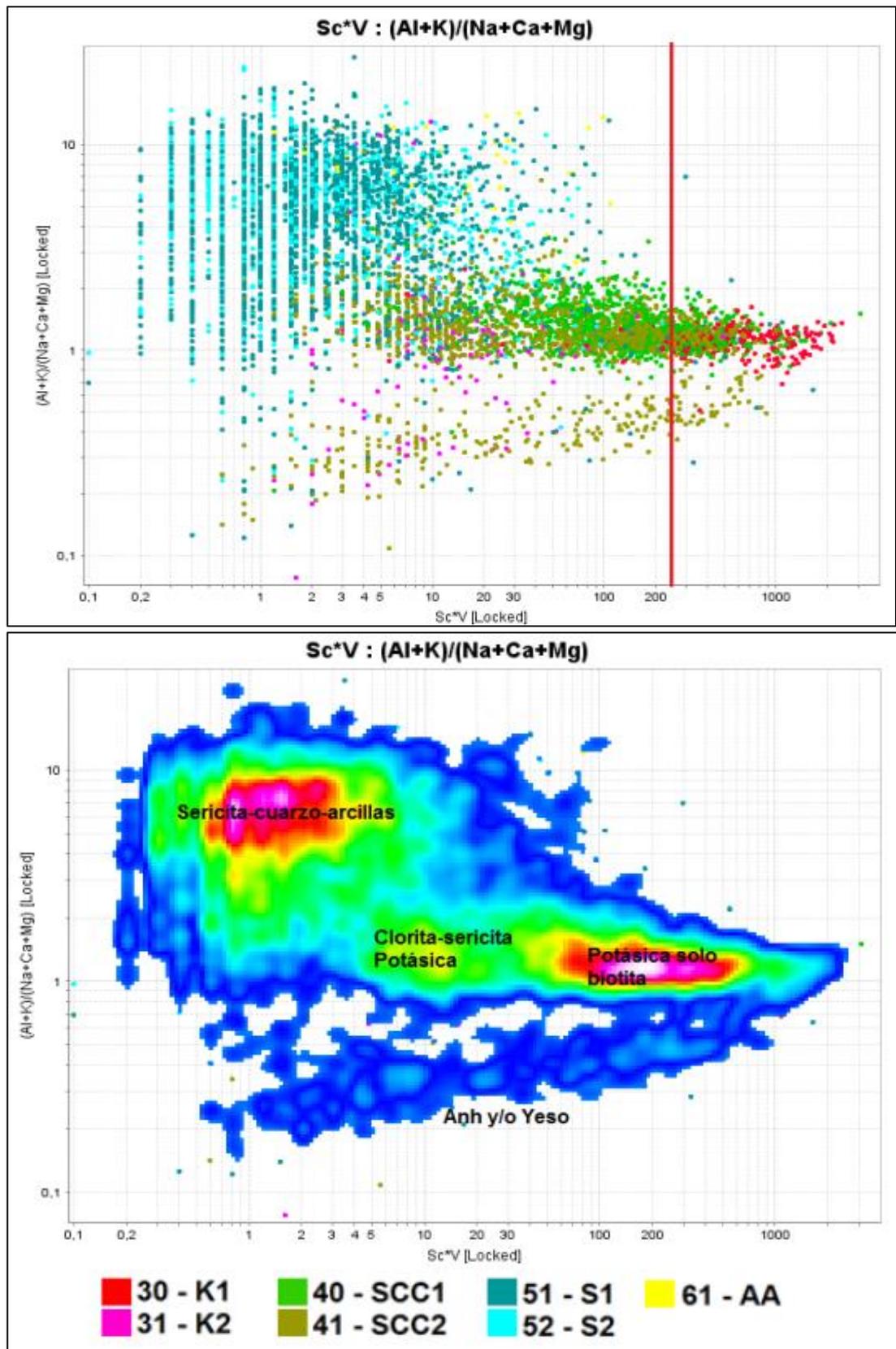


Figura 34. Diagrama de discriminación entre alteraciones usando índice $(Al+K)/(Na+Ca+Mg)$ vs $Sc*V$.

Nota: Arriba se indica con una línea roja el límite para la clasificación como alteración potásica. Abajo se indica la densidad de datos.

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

De acuerdo a la clasificación propuesta por Townley et al., 2012, las muestras de la base de datos geoquímicos de Escondida fueron catalogadas en 5 clases distintas. Como se observa en la Tabla 9, la alteración potásica biotítica fue clasificada en su mayoría como K1 y SCC, mientras que la alteración potásica feldespática fue clasificada como SCC y SCC+Anh, pudiendo incluso caer en el campo de las alteraciones fílicas y argílica avanzada. Las alteraciones SCC fueron clasificadas preferentemente como SCC, K1 y SCC+Anh. Las alteraciones S1, S2 y AA fueron clasificadas preferentemente como S+AA pudiendo caer en el campo de las SCC.

Tabla 9
Clasificación entre clases propuestas por Townley et al. (2012).

		% de Clasificación por geoquímica					Cantidad total
		K1	SCC	SCC+Anh	S+AA	S+Anh	
Alteración Mapeada	K1	83%	15%	2%	0%	0%	264
	K2	2%	71%	20%	4%	2%	122
	SCC1	21%	77%	1%	1%	0%	1108
	SCC2	15%	68%	15%	2%	0%	1417
	S1	1%	11%	1%	86%	1%	2551
	S2	0%	9%	1%	90%	0%	1706
	AA	0%	7%	0%	91%	2%	57

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

A medida que la alteración a clasificar presenta más sobreimposición de alteraciones su dispersión en relación a los datos geoquímicos aumenta. Las alteraciones potásicas muestran una mejor clasificación y un menor rango de variación a diferencia de las alteraciones fílicas y argílica avanzada que pueden ser clasificadas frecuentemente como alteraciones SCC. Esto habla de que existe una transición del grado de alteración desde un núcleo potásico a un halo fílico pasando por alteración clorita-sericita-arcillas. En la Figura 35, se evidencia que las alteraciones potásicas caen cercanas a la composición de la clorita-

biotita, mientras que las alteraciones clasificadas como S+AA y S+Anh se encuentran cerca de la composición de la pirita, mineral que predomina en esta alteración.

Las alteraciones potásicas muestran una mejor clasificación y un menor rango de variación a diferencia de las alteraciones fílicas y argílica avanzada que pueden ser clasificadas frecuentemente como alteraciones SCC. Esto habla de que existe una transición del grado de alteración desde un núcleo potásico a un halo fílico pasando por alteración clorita-sericita-arcillas

Por su parte, las alteraciones SCC tienden a graficar entre estos dos extremos lo que coincide con una etapa de transición entre ambas.

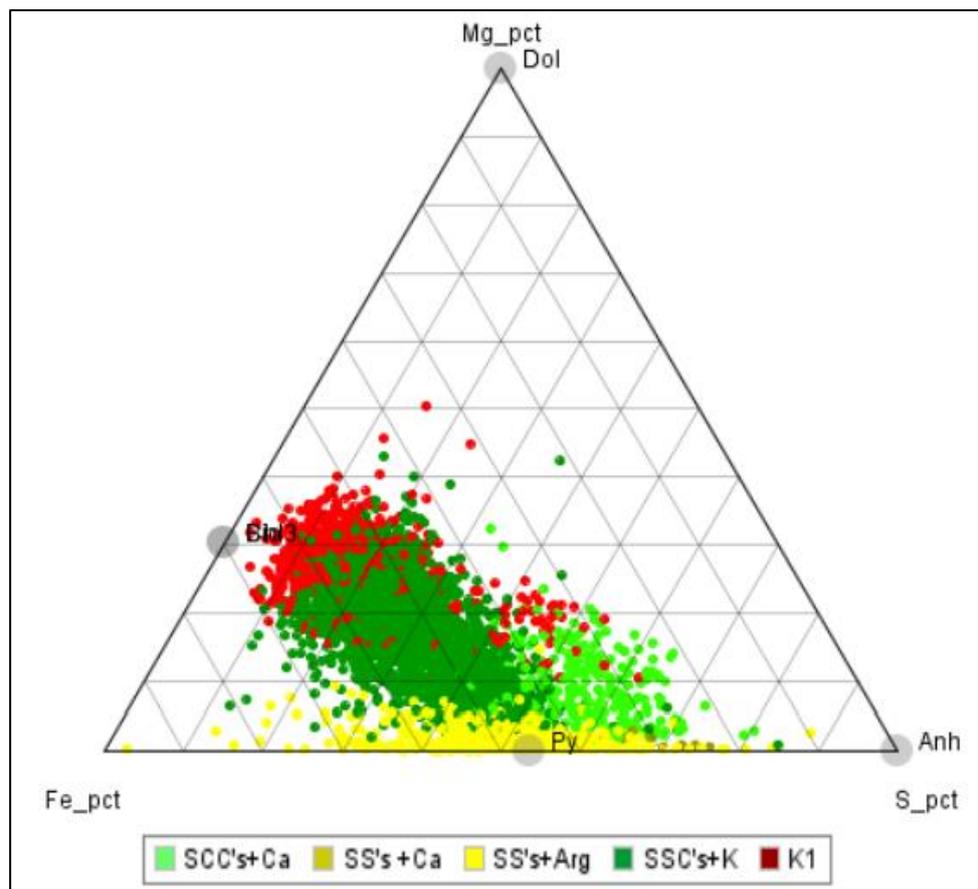


Figura 35. Diagrama Mg-Fe-S mostrando clasificación de base de datos.

Fuente: Estrella Gold Perú S.A.C. (2016).

3.15. Prueba de Hipótesis General

De acuerdo a los resultados obtenidos la hipótesis general se aprueba ya que con el análisis mineralógico logramos determinar que el yacimiento es un pórfido de Au y Cu.

3.16. Prueba de Hipótesis Específicas

- La geología del pórfido del proyecto minero Colpayoc determinó el sistema de mineralización, que son intrusiones porfiríticas félsicas y riodacíticas; por tanto, la hipótesis es aprobada.
- Se identificaron 3 zonas que son fuentes de mineralización, lo que representa altas ganancias económicas para la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, por tanto, queda aprobada esta hipótesis.
- Al definir el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido del proyecto minero Colpayoc se determinará su génesis, de acuerdo a los estudios esta hipótesis queda refutada.

CONCLUSIONES

Este yacimiento está definido por el Pórfido de Au, Cu. La roca huésped son rocas sedimentarias que se encuentran perturbadas por el corte de intrusiones porfiríticas félsicas y domos roiodacíticos.

El magma félsico instruyó la secuencia sedimentaria controlada por un alineamiento estructural de orientación NE. Los intrusivos del cerro Colpayoc, se encuentran a manera de stocks de composición diorítica y sills de composición cuarzo- diorita, asociada a esta intrusión se tiene evidencias de mineralización característica de un depósito porfiríticas de oro- cobre, con desarrollo de alteraciones potásica, con alteración intermedia argílica y alteración filica con ocurrencia de oro- cobre.

La fuente de mineralización es la alteración hidrotermal es posible identificar tres zonas: Oeste, Central y Este. En la zona Oeste, se encuentran preferentemente las alteraciones SCC1 y SCC2, asociadas a la andesita. La alteración K1 se distribuye en la zona noroeste del yacimiento. En la zona Este, se encuentran las alteraciones S1 y S2 asociadas al pórfido feldespático. La zona Central correspondería a una transición entre la Este y Oeste. En esta se encuentran las alteraciones SCC2 y K2 en contacto en profundidad con las alteraciones S1 y S2. La alteración AA es posible encontrarla en superficie en cualquiera de las tres zonas descritas.

La base de datos geoquímicos costó de un total de 8240 muestras en el espacio con información de concentración para 42 elementos químicos, 10 mayores: Al, Ca, Na, K, Mg, Fe, S, Cu, P y Mn; 32 elementos traza y su información de mapeo: litología, alteración hidrotermal, minzone y abundancia relativa de minerales. La mineralogía que se considerará para el estudio de las alteraciones hidrotermales será detallada más adelante en la sección de análisis mineralógico.

RECOMENDACIONES

Se debe realizar dataciones de la roca para diferenciar los posibles pulsos magmáticos y la paragénesis, en mi opinión se trataría de diferentes rocas tanto hipabisales como intrusivas, ya que en el logueo se ha encontrado mega cristales de ortosa que no corresponden a la monzonita o traqui-andesita sugerida y que se encuentran más profundas.

La posibilidad de un yacimiento de clase mundial es positiva, por lo tanto, el área del pórfido actual reconocido es de 600x800m, esta área se puede incrementar fácilmente hacia Este dónde el pórfido se encuentra cubierto por ignimbritas, por tanto, el pórfido se incrementaría a un área de 800x1200m.

Se recomienda expandir la investigación en los alrededores del Proyecto Colpayoc teniendo en cuenta los resultados de los estudios geofísicos y geoquímicos, para interpretar y definir mejor el potencial que puede tener la mineralización en este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aliaga, M. (2012). Controles de Mineralización del Pórfido Au - Cu Morocha - Minas Conga. *Tesis*, 46-48. Lima, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/hane/uni/115>

Bendezú, A. (2014). Mineralización Tipo Pórfido de Cu-Mo Asociadas a Venas Cordilleranas de Metales Base: Toromocho - Morococha. *Tesis*, 85-96. Lima, Junín, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/hande/uni/11>

Castro, E. (2012). El Pórfido de Cu-Mo Sayta y su Mineralización en Cuarcitas. *Tesis de Maestría*, 85-92. Paruro, Cusco, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstr/cybertesis/3287/1/Castro_me.pdf

Chirif, H. (12 de Mayo de 2013). Modelos de Yacimientos y Metalogenia en el Perú. *PROExplo*, 14-29. Lima, Perú: GeoWissens.
http://www.proexplo.com.pe/2013/programa/cursos_cortos/%20y%20Metalogenia/DEPOSITOS%20TIPO%20PORFIDO

Diaz, S. (2014). *Yacimientos Pórfidos* . Chile.

Estraver, H. (2014). Evaluación Geológica de la Zona de Colpayoc y sus Alrededores. *Investigación*, 98-104. Chetilla, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
<http://nuevoinvestigacion.unc.edu.pe/Investigacion/VisualizarProyectosa=5>

GARRO. (2009) Geoquímica De Los Procesos De Alteración Hidrotermal En La Mineralización
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/3287/1/Castro_me.pdf

Leopardi, D. (2014). Mineralización del Pórfido de Cobre-Oro de Tiámaro, Estado de Michoacán. *Tesis*, 68-75. Morelia, Michoacán, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.24.100/5500>

Maksaev, V. (15 de Febrero de 2013). Depósitos de Cu (Mo) de gran tonelaje y baja ley. *Investigación*, 8-12. Santiago, Chile: Universidad de Chile.

<http://www.cec.uchile.cl/maksaev/PORFIDOS%20CUPRIFEROS.pdf>

Moretti, A. (2016). Caracterización Genética del Sistema Pórfido de Cu Pucacorrall Norte. *Tesis de Grado*, 65-74. Lucanas, Ayacucho, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/hale/cybertesis/76>

Muñoz, M. (2012). Petrogénesis de rocas intrusivas del yacimiento el teniente y evolución del magmatismo cenozoico de Chile central (33°00'-34°30's). Santiago de Chile.

Petersen, P. (2014). Evaluación y Clasificación de Recursos Minerales en la Veta Ramal Techo, Unidad el Ticlio. *Tesis*, 62-67. Ticlio, Junín, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/hande/cybertesis/335>

Ramírez, L. (2015). Metalogénesis, Petrogénesis y Tectónica del Distrito Minero de Mantos Blancos, Cordillera de la Costa, Norte de Chile. *Tesis Doctoral*, 28-32. Santiago, Antofagasta, Chile: Universidad de Chile.

http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/r_o/sources/ramirez_lo.pdf

Richards, J. (2014). Evolución del Conocimiento de los Procesos Involucrados en la Génesis de los Pórfidos. *Economic Geology*, 10, 18-32. Miami, Florida, EE.UU: Models.

<http://www.cec.uchile.vmaksaev/P%F3rfidos%20Cupr%EDferos.pdf>

Sampieri. (2016) Metodología De La Investigación

Tapia, J. (2015). Depósito Tipo Pórfido. *Minería*, 8-22. Chile: Metalgenia.
http://www.pepeline.cl/ontent/uploads/2013/08/MN632_05_2015.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Tabla 10

Matriz de consistencia

Análisis del sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero colpayoc para determinar su tipo de yacimiento, distrito Chetilla – Cajamarca, 2017

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	MUESTRA	MÉTODO	INSTRUMENTO
Problema Principal	Objetivos General	Hipótesis General	Variable Dependiente			
¿Cómo influye el análisis del sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero Colpayoc en la determinación del tipo de yacimiento, distrito de Chetilla – Cajamarca - 2017?	Analizar el sistema mineralógico del pórfido del proyecto minero Colpayoc para determinar su tipo de yacimiento, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.	El Análisis Del Sistema Mineralógico del Pórfido del Proyecto Minero Colpayoc influye favorablemente en la determinación de su Tipo de Yacimiento, Distrito Chetilla – Cajamarca, 2017	Tipo De Yacimiento	50 muestras geológicas de rocas para determinar su composición mineralógica.	El principal método que se utilizo fue el hipotético deductivo	Logueo litológico y estructural. Logueo de mineralización Logueo de alteración Logueo geotécnico. Diagrama de Streckeisen
Problemas Secundarios	Objetivos Específicos	Hipótesis Secundarias	Variable Independiente			
<p>¿Cuáles son las características geológicas del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca?</p> <p>¿Cuál es la fuente de mineralización del pórfido del que proviene el fluido enriquecedor del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca?</p> <p>¿Cuál es el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca?</p>	<p>Caracterizar la geología del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca.</p> <p>Determinar la fuente de mineralización del que proviene el fluido enriquecedor del pórfido Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca.</p> <p>Definir el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido del proyecto minero Colpayoc, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla - Cajamarca.</p>	<p>Al caracterizar la geología del pórfido del proyecto minero Colpayoc se determinará el sistema de mineralización, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.</p> <p>Determinando la fuente de mineralización del que proviene el fluido enriquecedor del pórfido del proyecto minero Colpayoc se evaluará su viabilidad, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017.</p> <p>Al definir el emplazamiento mineralógico en la roca caja del pórfido del proyecto minero Colpayoc se determinará su génesis, de la empresa minera canadiense Estrella Gold Corporation, Chetilla – Cajamarca, 2017</p>	Sistema Mineralógico			

Fuente: Elaboración propia, 2017

Anexo 2: Logeo litológico y estructural

PROJECT NAME:				MINERALOGY LOGGING															
Collar elev:		Date start:		N / LATITUDE:				Az:		Hole N°:									
Machine:		Date end:		E / LONGITUDE:				Dip:		Logged by:									
From	To	Graphic	Sample n°	Grade %										Results					
				CHC	MAL	AZU	COV	CC	CPY	BOR	MOL	PY	NEO	BRO	OLI	MT	HEM	Au ppb	Cu ppm

PROJECT NAME				LITHOLOGY AND STRUCTURE LOGGING																	
Collar elev:		Date start:		N/LATITUDE:				Az		Hole N°:											
Machine:		Date end:		E/LONGITUDE:				Dip:		Logged by:											
LITHOLOGY %										STRUCTURE											
From	To	Graphic	Lithology	COLOR	Texture	ort	plag	qtz	hnb	Bio	others	Comments	From	To	Graphic	type	Style	Angle CA	Others	comments	

PROJECT NAME:				ALTERATION LOGGING																								
Collar Elev:		Date start:		N / LATITUDE:				Az:		Hole N°:																		
Machine:		Date end:		E / LONGITUDE:				Dip:		Logged by:																		
From	To	Graph	ALT MINERAL (intensity)								VEIN TYPE intensity						ALTERATION											
			QZ	BI	KF	SER	CL	EP	CY	TOU	OK	Ca-Na	A	B	D	QZ	Kspar	CA	Anh	BI	n°	% VN	Style	TYPE 1	INT	TYPE 2	INT	comments

GEOTECHNICAL LOG													
Geol Resp: _____				date: _____				Drill hole: _____					
From	to	rock type	core size	structure	RQD	infill	roughness	hardness	core type	zonation	data	logger	comments

Figura 36. Logeo litológico y estructural

Fuente: Aliaga, M. (2012).

Anexo 3: Diagrama de Streckeisen

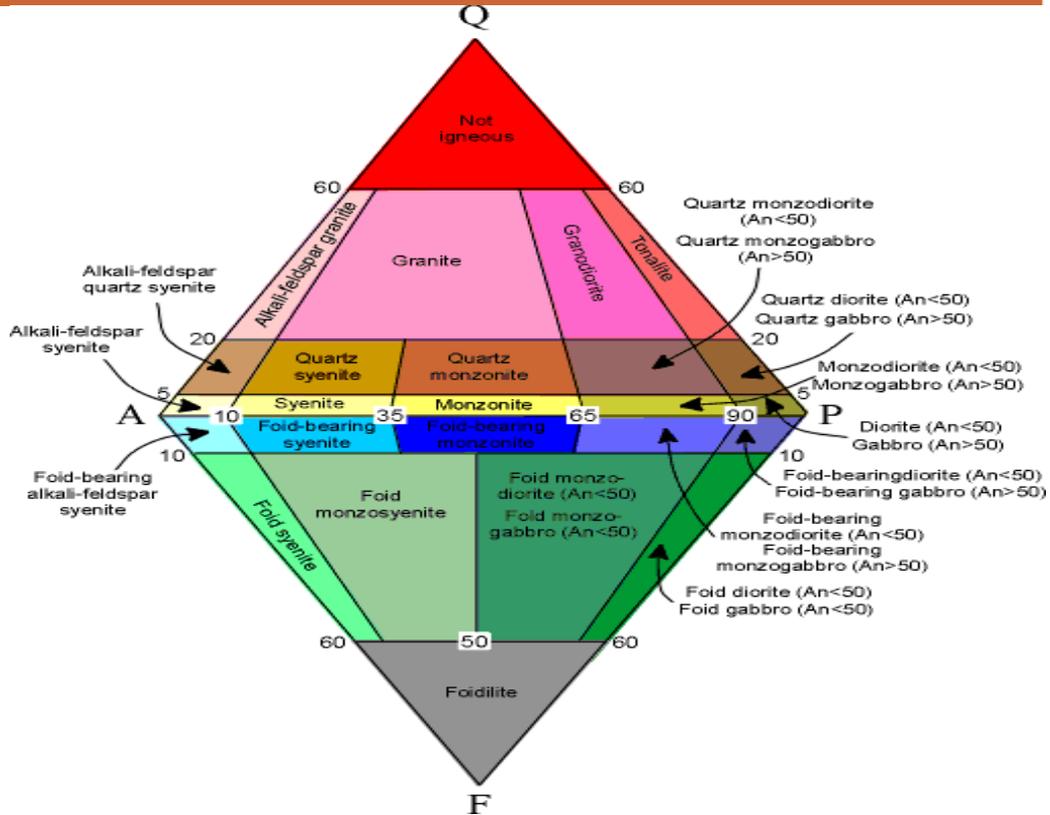
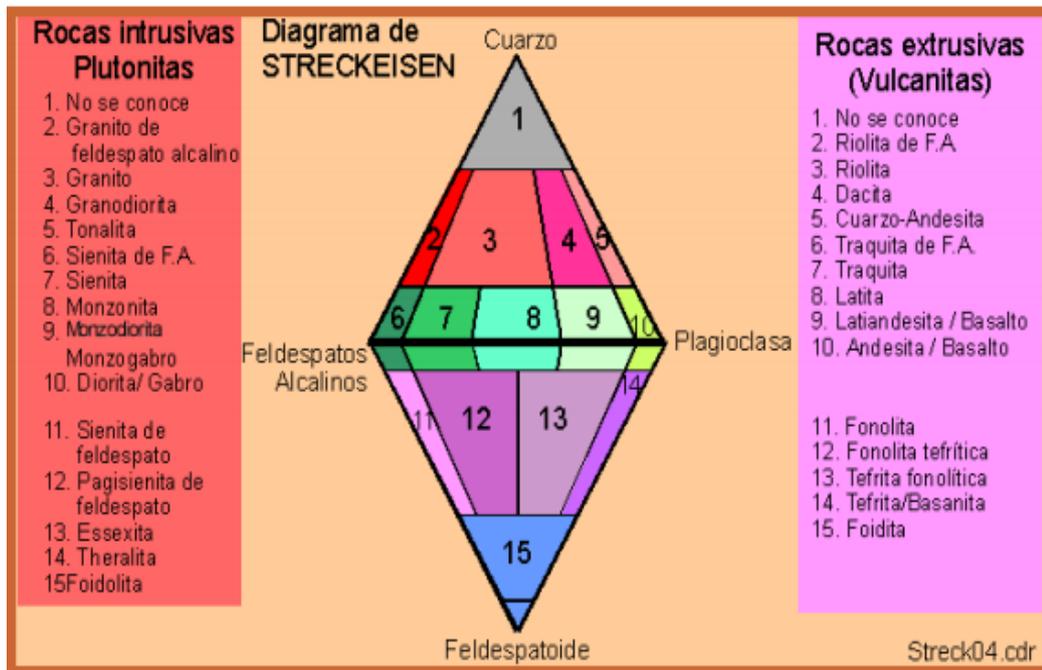


Figura 37. Diagrama de Streckeisen
Fuente: Castro, E. (2012)

Anexo 4: Afloramientos de rocas volcánicas.

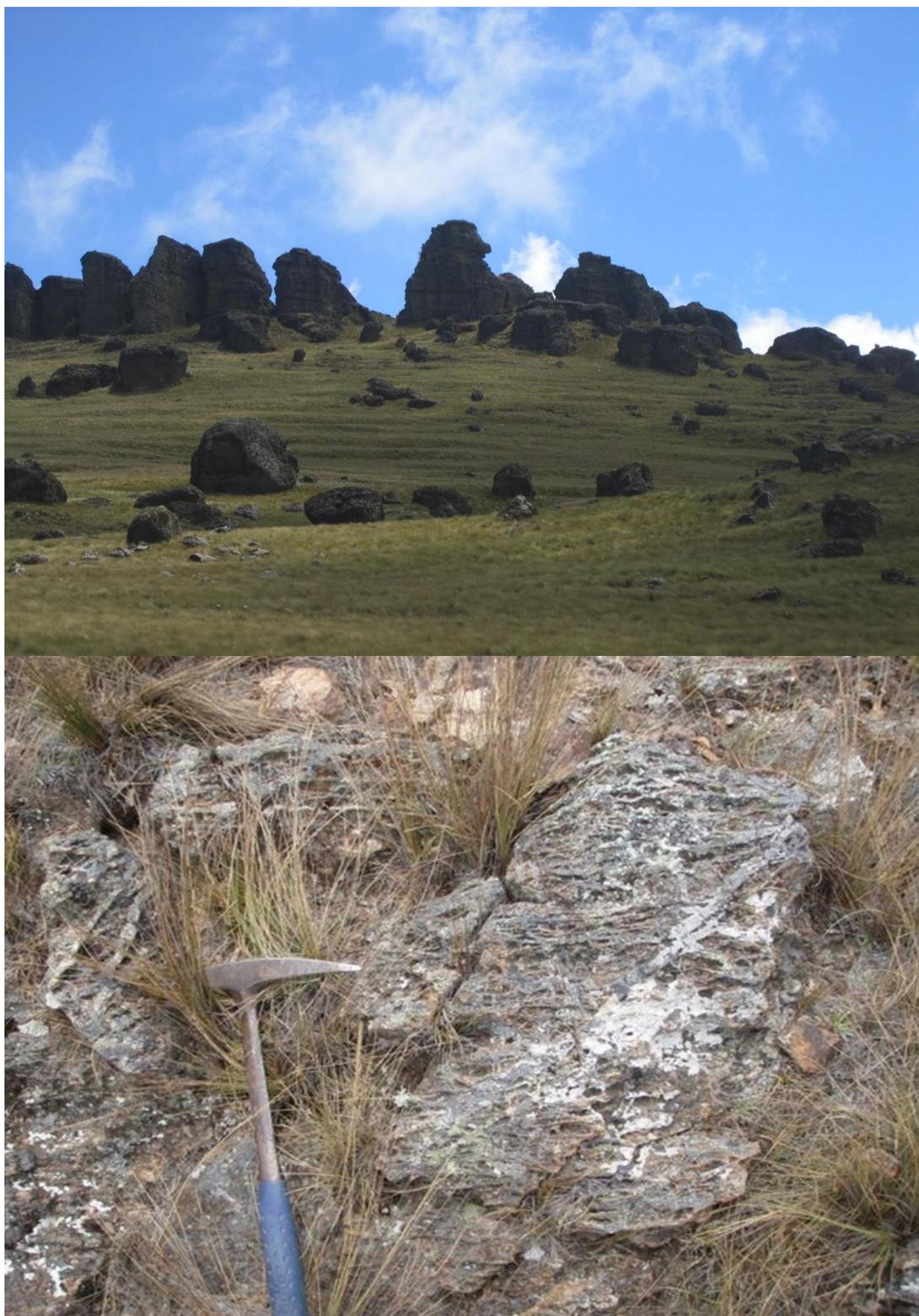


Figura 38. Etapa de recolección de muestras.
Fuente: Elaboración propia, 2017

Anexo 4: Evaluación visual de rocas y minerales



Figura 39. Evaluación visual de rocas y minerales
Fuente: Elaboración propia, 2017