

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Geología preliminar de un sistema de mineralización tipo pórfido -  
yacimiento El Porvenir 2019**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. Enrique Mael CHAVEZ CALLUPE**

**Asesor:**

**Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI**

**Cerro de Pasco – Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Geología preliminar de un sistema de mineralización tipo pórfido -  
yacimiento El Porvenir 2019**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Julio Alejandro MARCELO AMES**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Javier LOPEZ ALVARADO**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

### INFORME DE ORIGINALIDAD N° 221-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**“Geología preliminar de un sistema de mineralización tipo pórfido -  
yacimiento El Porvenir 2019”**

Apellidos y nombres del tesista:

**Bach. CHAVEZ CALLUPE, Enrique Mael**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. CALSINA COLQUI, Vidal Víctor**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Geológica**

Índice de Similitud

**22 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 3 de diciembre del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA  
CACERES Reynaldo FAJ  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 03.12.2024 03:41:41 -05:00

## **DEDICATORIA**

A Dios,

A mis Padres,

A mi amada esposa

## **AGRADECIMIENTO**

Es preciso y oportuno dar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que me apoyaron para realizar este proyecto de investigación, que fue el fruto de un intenso laboreo y perseverancia. Asimismo, mi agradecimiento a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica por sus comentarios al realizar este trabajo. De una forma especial a los representantes del yacimiento minero El Porvenir por permitirme realizar el presente estudio.

## **RESUMEN**

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis geológico preliminar del sistema de mineralización tipo pórfido en el Yacimiento El Porvenir, ubicado en la región de Pasco, Perú. La investigación busca caracterizar las principales estructuras geológicas, la distribución de las rocas intrusivas y volcánicas, y los procesos de alteraciones hidrotermales que han afectado la zona. La finalidad es determinar el potencial económico de la mineralización de cobre y molibdeno en este yacimiento, y sentar las bases para la profundización de la exploración minera.

El sistema de mineralización tipo pórfido está relacionado con intrusiones ígneas que generan fluidos hidrotermales ricos en metales, los cuales se diseminaron y concentraron en las rocas cercanas a los intrusivos. La estratigrafía del área está compuesta principalmente por secuencias sedimentarias del Cretácico y volcánoclasticos del Mioceno, afectadas por intrusivos de composición diorítica y granodiorítica. Estas intrusiones son responsables de la alteración hidrotermal y la mineralización metálica.

El estudio empleará técnicas geológicas de campo como el mapeo detallado, análisis estructural, y estudios petrográficos para describir las características del sistema mineralizado. Asimismo, se recolectarán muestras para análisis de laboratorio que permitan evaluar la concentración de metales y su asociación con las fases de alteraciones hidrotermales.

La investigación también tiene un enfoque aplicado, pues proporcionará información crucial para los inversionistas nacionales e internacionales interesados en el desarrollo de proyectos mineros en la región. Este estudio preliminar busca validar la presencia de mineralización significativa, lo que incrementaría el valor del yacimiento para una futura explotación en mayor profundidad.

La investigación concluye que la correcta identificación de las unidades estratigráficas, la zonación de las alteraciones hidrotermales y el control estructural son fundamentales para definir los cuerpos mineralizados y su potencial de explotación económica.

Palabras clave: Alteración hidrotermal, cuerpos mineralizados, intrusiones ígneas, mineralización diseminada, pórfido.

## **ABSTRACT**

The objective of this project is to carry out a preliminary geological analysis of the porphyry mineralization system at the El Porvenir deposit, located in the Pasco region, Peru. The research seeks to characterize the main geological structures, the distribution of intrusive and volcanic rocks, and the hydrothermal alteration processes that have affected the area. The purpose is to determine the economic potential of copper and molybdenum mineralization in this deposit, and to lay the foundations for further mining exploration. The porphyry mineralization system is related to igneous intrusions that generate metal-rich hydrothermal fluids, which were disseminated and concentrated in the rocks near the intrusives. The stratigraphy of the area is mainly composed of sedimentary sequences from the Cretaceous and volcanoclastics from the Miocene, affected by intrusives of dioritic and granodioritic composition. These intrusions are responsible for hydrothermal alteration and metallic mineralization. The study will employ field geological techniques such as detailed mapping, structural analysis, and petrographic studies to describe the characteristics of the mineralized system. Samples will also be collected for laboratory analysis to assess the concentration of metals and their association with the phases of hydrothermal alteration. The research also has an applied focus, as it will provide crucial information for national and international investors interested in developing mining projects in the region. This preliminary study seeks to validate the presence of significant mineralization, which would increase the value of the deposit for future exploitation at greater depth. The research concludes that the correct identification of the stratigraphic units, the zoning of hydrothermal alterations, and structural control are essential to define the mineralized bodies and their potential for economic exploitation.



**Keywords:** Hydrothermal alteration, mineralized bodies, igneous intrusions, disseminated mineralization, copper porphyry.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de investigación “Geología preliminar de un sistema de mineralización tipo pórfido - yacimiento El Porvenir 2019”, se presenta una importancia dentro de su potencial para definir la viabilidad económica de la profundización de la explotación minera en el yacimiento El Porvenir-2019, y en su capacidad para proporcionar una base científica sólida para futuras inversiones y operaciones mineras. Los alcances incluyen la caracterización geológica, la evaluación del potencial minero, el aporte al conocimiento científico y la generación de información valiosa para los inversionistas. Este estudio preliminar se convertirá en un pilar clave para la toma de decisiones estratégicas en la exploración y explotación del yacimiento, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector.

CAPÍTULO I, Los depósitos de mineralización tipo pórfido son de gran importancia económica debido a que albergan cantidades significativas de metales como cobre, molibdeno, y oro. Sin embargo, la complejidad geológica de estos sistemas requiere de estudios detallados para comprender su génesis, zoneamiento, y distribución espacial de minerales económicos El yacimiento El Porvenir-Milpo es reconocido como un depósito con características de mineralización tipo pórfido, pero hasta la fecha no se cuenta con un estudio geológico preliminar que permita caracterizar y comprender en detalle su estructura, alteraciones y mineralogía.

CAPÍTULO II, El yacimiento de Oyu Tolgoi no solo es un recurso económico vital para Mongolia, sino que también ofrece importantes conocimientos sobre los procesos geológicos que controlan la formación de grandes depósitos.

CAPÍTULO III, Este estudio busca generar conocimientos que puedan ser utilizados para la toma de decisiones prácticas en la explotación de recursos minerales,

con el objetivo de determinar la presencia de un sistema de mineralización tipo pórfido y su posible explotación económica.

CAPÍTULO IV, La interpretación de estructuras en la zona permite entender cómo se distribuye la mineralización y cuál es el control estructural sobre el yacimiento. La presencia de fallas o fracturas en ciertas zonas podría sugerir vías de migración de fluidos hidrotermales, algo común en sistemas de pórfido.

Si los patrones estructurales identificados se alinean con los modelos de pórfidos, los resultados indican potencial para profundizar la exploración. La similitud de patrones estructurales con otros depósitos de pórfido cuprífero en la región agregaría credibilidad a la hipótesis

El autor

## **ÍNDICE**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación .....	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.3.1.	Problema general .....	2
1.3.2.	Problemas específicos .....	2
1.4.	Formulación de objetivos .....	3
1.4.1.	Objetivo general .....	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3
1.5.	Justificación de la investigación .....	3
1.6.	Limitaciones de la investigación .....	4

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	5
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	10

2.1.3.	Antecedentes regionales y/o locales .....	16
2.2.	Bases teóricas – científicas .....	21
2.3.	Definición de términos básicos .....	37
2.3.1.	Sistemas de mineralización tipo pórfido .....	37
2.3.2.	Fluidos hidrotermales .....	39
2.3.3.	Petrogénesis de los pórfidos .....	39
2.4.	Formulación de Hipótesis .....	41
2.4.1.	Hipótesis General .....	41
2.4.2.	Hipótesis Específicos.....	42
2.5.	Identificación de variables.....	42
2.5.1.	Variables Independiente .....	42
2.5.2.	Variable Dependiente .....	42
2.5.3.	Variable Interviniente .....	42
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	43

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación .....	44
3.2.	Nivel de investigación .....	45
3.3.	Métodos de la investigación .....	45
3.4.	Diseño de investigación.....	45
3.5.	Población y muestra .....	46
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	46
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	49
3.8.	Tratamiento estadístico.....	52
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica .....	52

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo .....	53
4.1.1.	Ubicación.....	53
4.1.2.	Accesibilidad .....	54
4.1.3.	Fisiografía.....	55
4.1.4.	Geología .....	57
4.1.5.	Estratigrafía .....	62
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	73
4.3.	Prueba de Hipótesis .....	78
4.4.	Discusión de resultados .....	78

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS:

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Modelo pórfido cuprífero relacionado a la intrusión de batilitos a grandes profundidades .....	26
<b>Figura 2</b> Alteración y evolución de pórfidos.....	28
<b>Figura 3</b> Evolución de los procesos de alteración y mineralización en los pórfidos (Camus 2003) .....	29
<b>Figura 4</b> Zonación de alteración y mineralización (Lowell & Gilbert,1970). Alteraciones sistema porfídico .....	30
<b>Figura 5</b> Zonalidad de los yacimientos cupríferos (según Lowell y Guilbert, 1970)....	31
<b>Figura 6</b> Mesófilos asociados a clorita. ....	32
<b>Figura 7</b> Argílica avanzada.....	33
<b>Figura 8</b> Alteración argílica intermedia.....	34
<b>Figura 9</b> Alteraciones mineralógicas en yacimientos: porfidos cupríferos .....	35
<b>Figura 10</b> Cuarzo granular, halo bien definido de bt, sinuosas. Vetillas tipo A.....	36
<b>Figura 11</b> Formadas en roca dúctil. 1 – 25 mm de potencia .....	37
<b>Figura 12</b> La mina El Porvenir .....	54
<b>Figura 13</b> La mineralización en el yacimiento El Porvenir-Milpo.....	60
<b>Figura 14</b> Sistema de pórfido del Yacimiento El Porvenir-Milpo .....	61
<b>Figura 15</b> Splits de Milpo - Atacocha .....	62
<b>Figura 16</b> Vetas en Milpo.....	65
<b>Figura 17</b> Roca porfirítica con venillas de pirita y cuarzo. ....	74
<b>Figura 18</b> Muestra de mano de roca porfirítica en la caja N° 71 a los 260.5 m.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	43
--	----



## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Los depósitos de mineralización tipo pórfido son de gran importancia económica debido a que albergan cantidades significativas de metales como cobre, molibdeno, y oro. Sin embargo, la complejidad geológica de estos sistemas requiere de estudios detallados para comprender su génesis, zoneamiento, y distribución espacial de minerales económicos. El yacimiento El Porvenir-Milpo es reconocido como un depósito con características de mineralización tipo pórfido, pero hasta la fecha no se cuenta con un estudio geológico preliminar que permita caracterizar y comprender en detalle su estructura, alteraciones y mineralogía.

La falta de un análisis geológico exhaustivo en este yacimiento ha generado incertidumbre en la evaluación de su potencial económico, dificultando la toma de decisiones para futuras actividades de exploración y explotación. Además, el desconocimiento de las características geológicas del sistema tipo pórfido en esta región representa una brecha importante en la geología regional y

en la comprensión de la evolución tectónica y magmática del área. Por tanto, se hace necesario un estudio preliminar de la geología del yacimiento El Porvenir-Milpo que aporte información crucial sobre su estructura, alteraciones hidrotermales y mineralización, contribuyendo a una mejor evaluación de sus recursos minerales.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

Actualmente, no se dispone de información detallada sobre la estructura geológica, la zonación de alteración hidrotermal, ni la distribución espacial de los minerales económicos en el yacimiento. La investigación se centrará en realizar un análisis preliminar de la geología del depósito, describiendo las características litológicas, estructurales, y mineralógicas, con el objetivo de establecer un modelo geológico que contribuya a la evaluación de su potencial minera.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo se caracteriza el sistema de mineralización tipo pórfido en el yacimiento El Porvenir – 2019, su estructura geológica, zonación de alteraciones hidrotermales y distribución de minerales económicos?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las principales características estructurales del yacimiento El Porvenir -2019 y cómo influyen en el control de la mineralización tipo pórfido?
- ¿Cómo se distribuyen las zonas de alteraciones hidrotermales en el yacimiento El Porvenir - 2019, y cuál es su relación con la presencia de minerales económicamente valiosos?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Caracterizar el sistema de mineralización tipo pórfido en el yacimiento El Porvenir-2019, mediante el análisis de su estructura geológica, zonación de alteraciones hidrotermal y distribución de minerales económicamente valiosos, con el fin de contribuir a la comprensión de su potencial económico.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar las características estructurales del yacimiento El Porvenir-2019 e identificar el control estructural de la mineralización tipo pórfido.
- Determinar la zonación de alteraciones hidrotermal en el yacimiento El Porvenir-2019 y su relación con la distribución de minerales económicamente valiosos.

## **1.5. Justificación de la investigación**

El proyecto de investigación se justifica porque es necesario realizar una caracterización geológica exhaustiva del yacimiento El Porvenir-2019, con el fin de confirmar la presencia de un sistema de mineralización tipo pórfido. Este análisis es fundamental, ya que permitirá evaluar el potencial de profundización de la explotación minera y, en consecuencia, incrementar los recursos minerales disponibles en el yacimiento. La posibilidad de expandir la extracción hacia mayores profundidades depende directamente del tipo de mineralización que se encuentre, por lo que un estudio geológico preliminar es esencial para optimizar las operaciones y definir estrategias futuras de desarrollo.

Además, también proporcionará información sólida y detallada sobre las características estructurales y las zonas de alteraciones hidrotermales del

depósito. Dicha información será crucial para orientar las actividades de exploración, mejorar la eficiencia de la extracción.

Desde una perspectiva económica y de inversión, la investigación se justifica porque, este estudio no solo contribuirá al desarrollo de El Porvenir-2019, sino que también impulsará la atracción de inversiones necesarias para el crecimiento sostenible del proyecto.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

El proyecto de investigación presenta las siguientes limitaciones:

- La ubicación geográfica del yacimiento podría presentar dificultades, especialmente si se encuentra en una zona de topografía accidental o de difícil acceso.
- Las condiciones climáticas extremas y las restricciones logísticas también podrían limitar el tiempo de trabajo de campo y afectar la recolección de datos geológicos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Martínez, J. (2017). “*Caracterización de Sistemas de Pórfidos de Cobre en la Faja Volcánica de Colima, México*”, Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México. Esta investigación doctoral aborda la investigación revela una zonación clara en la alteración hidrotermal, caracterizada por zonas potásicas, filíticas y propilíticas, que se correlacionan con la distribución de minerales sulfurados como la calcopirita y la bornita. Los datos estructurales indican la importancia de las fallas y fracturas como conductos para la circulación de fluidos hidrotermales, controlando la concentración de minera. Este proyecto propone un modelo geológico preliminar para el cinturón volcánico de Colima, que puede ser utilizado como guía para la exploración y evaluación de nuevos depósitos de pórfido-cobre en la región. Las implicaciones de los resultados son importantes no solo para la explotación de recursos minerales, sino

también para el desarrollo de estrategias de exploración en sistemas de pórfido en ambientes tectónicos.

Clarke, D. (2016). "Geología y mineralización de pórfido de molibdeno en el distrito de San Manuel, Arizona". *Journal of Economic Geology* , 111(2), 235-256. El distrito de San Manuel, ubicado en el estado de Arizona, es conocido por albergar un importante depósito de pórfido-molibdeno, cuyas características geológicas y mineralógicas son objeto de este estudio. El presente trabajo se enfoca en la caracterización detallada del sistema pórfido, desde la geología estructural y magmática hasta la zonación mineralógica y las alteraciones hidrotermales asociadas a la mineralización de molibdeno. El análisis geológico regional revela que el sistema de San Manuel está controlado por intrusiones de rocas ígneas de composición granodiorítica, las cuales generan una estructura zonada típica de los depósitos tipo pórfido. Estas intrusiones fueron seguidas por fases de enfriamiento y fracturamiento, lo que permitió la circulación de fluidos hidrotermales ricos en molibdeno y otros elementos metálicos. La mineralización de molibdeno está mayormente concentrada en vetillas de cuarzo-molibdenita asociadas a zonas de alteración potásica, que son características del núcleo del sistema hidrotermal. Hacia las zonas externas, las alteraciones son de tipo fílico y propilítico, con una disminución de la concentración de molibdeno y un aumento en la presencia de minerales de alteraciones como clorita y epidota. Los estudios petrográficos y geoquímicos permitieron identificar un patrón claro de alteraciones zonales que va desde un núcleo potásico bien mineralizado hasta una periferia propilítica. En cuanto a las estructuras tectónicas, el distrito de San Manuel se encuentra en una región de extensión tectónica, lo que favoreció la generación de fallas y fracturas que sirvieron como conductos para los fluidos

hidrotermales. Estas estructuras de juego son un papel crucial en la concentración de mineralización, especialmente en las zonas de intersección de fallas principales. El proyecto concluye que el depósito de pórfido-molibdeno de San Manuel es representativo de otros depósitos del suroeste de los Estados Unidos, con implicaciones significativas para la exploración de nuevos yacimientos en esta región. Los resultados de este trabajo proporcionan una guía útil para futuros estudios de exploración minera en la región de Arizona.

Lee, K. (2018). "Alteración hidrotermal y mineralización en el yacimiento de pórfido de cobre de Grasberg, Indonesia". *Ore Geology Reviews* , 94, 355-370. El yacimiento de pórfido cuprífero de Grasberg, ubicado en la región montañosa de Papúa, Indonesia, es uno de los depósitos de cobre y oro más grandes y ricos del mundo. Este estudio se centra en las alteraciones hidrotermal y la mineralización asociada a las intrusiones magmáticas que formaron este sistema de pórfido cuprífero, con el objetivo de caracterizar la evolución geológica y los procesos que llevaron a la concentración de minerales económicamente valiosos. El análisis geológico del área muestra que el sistema de Grasberg está dominado por varias intrusiones magmáticas de composición diorítica y granodiorítica, las cuales interactúan con los fluidos hidrotermales generados durante las fases de enfriamiento y fracturamiento del magma. Este proceso de alteraciones hidrotermal produjo una zonación típica de los sistemas de pórfido, con una alteración potásica central acompañada de mineralización de cobre-oro en forma de calcopirita. La investigación identificó una clara zonación de alteraciones que incluye una alteración potásica en el núcleo del sistema, rodeada por zonas de alteraciones físicas y, más lejos, una alteración propilítica en las áreas periféricas. Los estudios petrográficos revelan que la mineralización de cobre y oro está

mayormente concentrada en vetillas de cuarzo-calcopirita en la zona potásica, mientras que la pirita y otros minerales sulfurados se encuentran en las zonas de alteraciones más distales. El sistema de fallas y fracturas en el área de Grasberg jugó un papel crucial en la circulación de fluidos hidrotermales, actuando como conductos para los fluidos ricos en metales que precipitaron la mineralización. Las principales estructuras tectónicas identificadas incluyen fallas de orientación noreste-suroeste, que controlan la ubicación y forma. El estudio también analiza la relación entre la profundidad de las intrusiones y la calidad de la mineralización, encontrando que las zonas más profundas del sistema albergan mineralización más rica en cobre y oro debido a la proximidad a las intrusiones magmáticas. La investigación concluye que la evolución de los fluidos hidrotermales en el depósito de Grasberg fue un proceso complejo, controlado por la interacción entre la tectónica local, las intrusiones magmáticas y la química de los fluidos.

González, P. (2020). *Exploración y Modelamiento Geológico de Sistemas de Pórfidos de Cobre en los Andes, Chile* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Este estudio aborda la exploración y modelado geológico de los sistemas de pórfido-cobre en la cordillera de los Andes, una de las regiones más prolíficas del mundo en cuanto a depósitos minerales de cobre. En particular, el trabajo se enfoca en la caracterización de varios prospectos en el norte de Chile, donde la tectónica activa, el vulcanismo andino y los procesos hidrotermales han dado lugar a la formación de grandes depósitos de pórfido. El análisis revela que los sistemas de pórfido-cobre en la región están asociados a intrusiones de composición granodiorítica y tonalítica, con extensas zonas de alteraciones hidrotermales. Estas zonas incluyen alteraciones potásicas, asociadas



principalmente a la mineralización de calcopirita y bornita, seguidas por alteraciones físicas y propilíticas en las zonas más distales. Además, el estudio destaca la influencia de estructuras tectónicas regionales, como fallas y fracturas, que controlan la migración de fluidos hidrotermales y la distribución de la mineralización. El uso de modelado geológico 3D permitió identificar nuevas zonas de interés mineral, especialmente en sectores subexplorados donde la mineralización puede extenderse en profundidad. Los resultados de los modelos indican que los cuerpos mineralizados tienden a estar asociados con zonas de intensa fracturación, lo que sugiere que las fallas desempeñan un papel importante en la concentración de minerales sulfurados. Este trabajo también discute las implicaciones económicas de los resultados obtenidos para la industria minera en Chile, ya que proporciona información clave para la exploración de nuevos recursos. El estudio concluye que el enfoque de exploración sistemática y el uso de modelos geológicos tridimensionales ofrecen una estrategia efectiva para descubrir y evaluar futuros yacimientos de pórfido-cobre en la cordillera de los Andes.

Brown, R. (2019). "Geología y mineralización del yacimiento de pórfido de Oyu Tolgoi, Mongolia". *Economic Geology* , 114(5), 987-1005. El depósito de Oyu Tolgoi, ubicado en el desierto de Gobi en Mongolia, es uno de los depósitos de pórfido cuprífero-aurífero más grandes y significativos del mundo. Este estudio ofrece una revisión exhaustiva de la geología del yacimiento y las características de la mineralización asociada, basada en datos geológicos y geoquímicos recopilados a lo largo de décadas de explotación. El estudio identifica una clara zona de alteraciones, que incluye una alteración potásica central bien desarrollada, rodeada de alteraciones físicas y propilíticas. En el

núcleo del sistema, la mineralización está dominada por calcopirita, bornita y oro nativo, con vetillas de cuarzo y azufre que contienen altas leyes de cobre y oro. La mineralización se extiende a lo largo de un sistema de vetillas en las zonas más profundas, con una importante concentración de oro en los niveles superiores del depósito. Desde el punto de vista estructural, las fallas y fracturas presentes en la región desempeñan un papel crítico en la distribución de los cuerpos mineralizados. Estas estructuras actúan como conductos para los fluidos hidrotermales que transportan el cobre, oro y otros metales desde las zonas magmáticas hacia las áreas. El estudio también evalúa las implicaciones de la mineralización de Oyu Tolgoi para la exploración de futuros yacimientos en la región. Los resultados sugieren que los depósitos de tipo pórfido en Mongolia y en el cinturón geológico de Asia Central tienen un potencial significativo para el descubrimiento de recursos adicionales. Las similitudes con otros grandes depósitos de pórfido en el mundo, como los de Chile y Perú, proporcionan un marco útil para la exploración futura en la región. Este trabajo concluye que el yacimiento de Oyu Tolgoi no solo es un recurso económico vital para Mongolia, sino que también ofrece importantes conocimientos sobre los procesos geológicos que controlan la formación de grandes depósitos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Torres, M. (2016). *Caracterización geológica y geoquímica del pórfido cuprífero en el yacimiento Las Bambas, Apurímac*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El yacimiento Las Bambas, ubicado en la región de Apurímac, es uno de los depósitos de pórfido cuprífero más grandes y económicamente significativos del Perú. En esta investigación, se realiza una caracterización geológica y geoquímica detallada del sistema de mineralización. A través del

mapeo geológico de campo, el análisis petrográfico de las rocas intrusivas y volcánicas, y estudios geoquímicos de muestras de roca y suelos, se logró una mejor comprensión de los controles estructurales y litológicos que influyen en la distribución de la mineralización. El sistema de pórfido cuprífero de Las Bambas está compuesto principalmente por intrusiones de granodioritas y tonalitas que se encuentran asociadas a las alteraciones hidrotermales. Se identificaron tres principales zonas de alteración: potásica, fílica y propilítica. La zona potásica, ubicada en el núcleo del sistema, está caracterizada por una alta concentración de minerales de cobre, como la calcopirita y la molibdenita, mientras que las zonas fílica y propilítica rodean el sistema central y contienen una menor concentración de minerales de cobre. La geoquímica del yacimiento muestra un enriquecimiento significativo de elementos como el cobre, el molibdeno, el arsénico y el zinc, que indican la presencia de un sistema de fluidos hidrotermales provenientes de una fuente magmática profunda. Asimismo, el estudio isotópico sugiere que los fluidos responsables de la mineralización interactuaron con las rocas hospederas en diferentes etapas del proceso mineralizador. El análisis estructural revela que la mineralización está controlada por fallas y fracturas que actúan como canales para los fluidos hidrotermales, lo que ha generado una zonación de la mineralización en profundidad. Este modelo geológico y geoquímico permite predecir áreas de alto potencial mineral a mayor profundidad, lo que es fundamental para la planificación de futuras perforaciones exploratorias y la expansión del yacimiento. En conclusión, la investigación de Las Bambas ha permitido una caracterización integral del sistema de pórfido cuprífero, proporcionando información valiosa para la industria minera y para la

comprensión de los procesos geológicos que controlan la formación de depósitos de este tipo en la región sur del Perú.

Ramos, E. (2018). *Control estructural y distribución de la mineralización en el yacimiento de pórfido cuprífero de Cerro Verde, Arequipa*. Revista Peruana de Geología. El yacimiento de Cerro Verde, ubicado en la región de Arequipa, es uno de los depósitos de pórfido cuprífero más destacados en Perú. Este estudio se enfoca en analizar el control estructural sobre la distribución de la mineralización, con el objetivo de entender mejor los factores que influyen en la formación de este sistema mineral. A través de un detallado mapeo geológico, análisis de imágenes de satélite y estudios geofísicos, se identifican las principales estructuras tectónicas que afectan el yacimiento. El trabajo revela que la mineralización de cobre en Cerro Verde está fuertemente relacionada con un sistema de fallas y fracturas que facilitan la migración de fluidos hidrotermales. Se identificaron tres tipos principales de alteraciones hidrotermales: potásica, fílica y propilítica, cada una asociada a diferentes zonas de concentración mineral. Las alteraciones potásicas se observan predominantemente en el núcleo del sistema, donde se encuentran las más altas concentraciones de calcopirita y molibdenita, mientras que las zonas de alteraciones fílicas y propilíticas presentan mineralización de menor grado. El análisis geoquímico muestra una variación positiva entre la concentración de cobre y la presencia de elementos traza como el arsénico y el zinc, lo que indica un patrón de zonación en la mineralización. Además, los resultados geofísicos sugieren que las estructuras de control tienen un papel fundamental en la acumulación de mineral en ciertas áreas, lo que es crucial para la planificación de futuros trabajos de exploración y explotación. Este estudio concluye que comprender el control estructural en el yacimiento de Cerro

Verde no solo es esencial para optimizar las actividades mineras actuales, sino también para guiar la exploración de nuevas áreas con minerales potenciales.

Alarcón, J. (2017). *Evaluación Geoquímica y Geofísica de Pórfidos Cupríferos en el Yacimiento Toromocho, Junín*. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú. El yacimiento de Toromocho, ubicado en la región de Junín, Perú, es un depósito de pórfido cuprífero de clase mundial. Este estudio se enfoca en la evaluación geoquímica y geofísica del yacimiento con el objetivo de mejorar la comprensión de los controles geológicos y estructurales que influyen en la distribución de la mineralización de cobre y molibdeno. A través de un análisis detallado de datos geoquímicos de superficie y subsuelo, así como la interpretación de estudios geofísicos (magnetometría y polarización inducida), se logró caracterizar la zonación del sistema mineral. Los resultados geoquímicos indican una clara zonación de los elementos traza asociados a la mineralización, con concentraciones elevadas de cobre, molibdeno, zinc y arsénico en el núcleo del sistema, que está dominado por alteraciones potásicas. Este núcleo mineralizado se encuentra rodeado por una zona de alteraciones fílicas, con concentraciones moderadas de cobre y molibdeno, y finalmente una alteración propilítica en las áreas periféricas, que presenta bajas concentraciones de minerales de interés económico. El estudio geofísico corroboró los resultados geoquímicos, mostrando anomalías de alta susceptibilidad magnética y de baja resistividad en las zonas más mineralizadas. Estas anomalías se asocian a la presencia de cuerpos intrusivos y estructuras de fractura que favorecen la circulación de fluidos hidrotermales, esenciales para el proceso de mineralización. Las estructuras tectónicas, en particular las fallas regionales, juegan un papel crucial en la disposición y control de la mineralización. La

investigación concluye que la integración de métodos geoquímicos y geofísicos permite una caracterización precisa del yacimiento, lo que es fundamental para guiar futuras perforaciones exploratorias en zonas no explotadas del yacimiento de Toromocho.

Pérez, L. (2019). “*Alteración Hidrotermal y Mineralización en el Sistema de Pórfido Cuprífero del Yacimiento Constancia, Cusco, Perú*”. Artículo Científico. El yacimiento Constancia, ubicado en la región de Cusco, Perú, es uno de los depósitos de pórfido cuprífero más importantes del país. Este estudio se enfoca en la caracterización de las alteraciones hidrotermales y los procesos de mineralización que han afectado el sistema de pórfido cuprífero de la mina. A través de un análisis petrográfico, geoquímico y estructural, se establecen los controles principales de la distribución de la mineralización de cobre y molibdeno. La investigación reveló que el sistema de alteraciones está zonado en tres tipos principales: potásica, fílica y propilítica, que afecta tanto a las intrusiones ígneas como a las rocas volcánicas hospedantes. Las alteraciones potásicas, localizadas en el centro del sistema, están asociadas con las más altas concentraciones de calcopirita y molibdenita, mientras que las alteraciones fílicas, que rodean esta zona central, muestran concentraciones menores de estos minerales. La alteración propilítica se encuentra en los márgenes del sistema y contiene una mineralización mínima de interés. Los análisis geoquímicos realizados en el yacimiento Constancia muestran una fuerte valoración entre la mineralización de cobre y elementos como el molibdeno, arsénico y zinc, lo que sugiere que estos elementos pueden ser usados como indicadores de zonas mineralizadas en etapas de exploración. Además, los estudios estructurales indican que las fallas y fracturas locales han jugado un papel fundamental en la

movilización y concentración de los fluidos hidrotermales, permitiendo la formación de cuerpos mineralizados en profundidad. Este trabajo concluye que el modelo de zonación hidrotermal y las características estructurales del yacimiento Constancia son fundamentales para la identificación de nuevas zonas con mineral potencial.

Huamán, D. (2020). “*Estudio Geológico y Estructural del Pórfido Cuprífero en el Yacimiento Antamina, Áncash, Perú*”. Universidad Nacional de Ingeniería. El yacimiento Antamina, ubicado en la región de Áncash, Perú, es uno de los depósitos de pórfido cuprífero y skarn más grandes del mundo. Este estudio se centra en el análisis geológico y estructural del sistema mineral, con énfasis en la distribución de las zonas de alteraciones y los controles estructurales que han afectado la mineralización de cobre, zinc y molibdeno. A través de un mapeo geológico detallado, estudios petrográficos y análisis estructurales, se logró una mejor comprensión de los procesos geológicos responsables de la formación del depósito. El yacimiento de Antamina está compuesto por intrusiones de rocas granodioríticas y monzoníticas, que han generado alteraciones hidrotermales de distintos tipos, principalmente potásica, fílica y propilítica. Estas zonas de alteraciones están relacionadas con la mineralización, con las alteraciones potásicas albergando las concentraciones más altas de calcopirita, bornita y molibdenita. La alteración fílica está más dispersa y presenta mineralización de menor ley, mientras que la alteración propilítica se localiza en las zonas más distales del sistema. El análisis estructural identificó varias fallas y fracturas que han influido en la migración de fluidos hidrotermales. Estas estructuras controlan la distribución de la mineralización en el yacimiento, favoreciendo la concentración de los minerales en áreas específicas del depósito. Además, la

interacción entre la intrusión magmática y las rocas sedimentarias calizas del área ha dado lugar a la formación de skarns mineralizados, los cuales enriquecen el contenido de zinc, plomo y cobre en ciertas partes del yacimiento. Los resultados del estudio geológico y estructural indican que la mineralización del pórfido cuprífero de Antamina está fuertemente controlada por la interacción entre las intrusiones magmáticas y las estructuras tectónicas locales.

### **2.1.3. Antecedentes regionales y/o locales**

Chávez, R. (2015). *“Estudio geológico de los pórfidos cupríferos del yacimiento Colquijirca, Pasco, Perú”*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El yacimiento Colquijirca, ubicado en la región Pasco, Perú, es un importante depósito de pórfido cuprífero y zinc, que forma parte del cinturón metalogénico del Perú Central. Este estudio geológico se centra en la caracterización de las diferentes unidades litológicas presentes en el área, así como en los procesos de alteraciones hidrotermales y la mineralización asociada con el sistema de pórfido cuprífero. Mediante un mapeo geológico detallado, análisis petrográficos y estudios geoquímicos, se identifican varias fases de intrusiones magmáticas que han sido claves para el desarrollo del sistema mineral. La mineralización en Colquijirca está controlada por un complejo sistema de fallas y fracturas que permitieron la movilización de fluidos hidrotermales ricos en cobre, zinc y plomo. El sistema de alteraciones hidrotermal está zonado, con una alteración potásica predominante en el núcleo del sistema, donde se concentran los mayores valores de calcopirita y esfalerita. Esta zona central está rodeada por una alteración fílica y, finalmente, por una alteración propilítica en las zonas más externas. El estudio también destaca la relación entre la tectónica regional y la formación del sistema pórfido cuprífero, sugiriendo que



las estructuras locales, en combinación con la actividad magmática, fueron decisivas para la generación de la mineralización en el yacimiento. La investigación concluye que Colquijirca representa un sistema de pórfido complejo, donde los eventos de intrusión, alteraciones hidrotermales y tectónicas interactúan para crear un depósito altamente mineralizado.

Gamarra, A. (2017). *Geología y control estructural en la mineralización del pórfido cuprífero en el yacimiento Toromocho, Junín, Perú* Universidad Nacional de Ingeniería. El yacimiento de Toromocho, ubicado en la región Junín, Perú, es uno de los depósitos de pórfido cuprífero más importantes del país. Este estudio se enfoca en el análisis de la geología regional y local del área, así como en los controles estructurales que influyen en la mineralización. La investigación combina estudios geológicos de campo, mapeo estructural y análisis petrográficos para entender los procesos que han generado y controlar la distribución de los minerales en el sistema. Toromocho está compuesto por una secuencia de intrusiones granodioríticas y monzoníticas que han generado una extensa alteración hidrotermal, caracterizada por zonas de alteraciones potásicas, fílicas y propilíticas. La mineralización está principalmente asociada a la alteración potásica, donde se encuentran los minerales más importantes como la calcopirita, bornita y molibdenita. Uno de los aspectos clave de la investigación es el control estructural de la mineralización. El estudio identificó un complejo sistema de fallas y fracturas que han facilitado la migración de los fluidos hidrotermales. Las fallas principales, de rumbo y de salto en dirección, han accionado como conductos para la mineralización, lo que ha permitido el depósito de minerales económicos en zonas específicas. Además, las estructuras tectónicas regionales, ligadas a la deformación andina, han jugado un papel crucial en la

disposición y zonación de las alteraciones hidrotermales. El modelo geológico estructural desarrollado en este trabajo proporciona una base sólida para entender la distribución de la mineralización en el yacimiento, lo que puede ser útil para optimizar las futuras campañas de perforación y para guiar la expansión de las áreas de explotación.

Quispe, M. (2018). “*Mineralización y alteraciones hidrotermal en el pórfido cuprífero del yacimiento Las Bambas, Apurímac, Perú*”. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco. El yacimiento Las Bambas, ubicado en la región de Apurímac, Perú, es uno de los mayores depósitos de pórfido cuprífero en el país ya nivel mundial. Este estudio se enfoca en la caracterización de los tipos de mineralización y los patrones de alteraciones hidrotermales asociados al sistema de pórfido cuprífero. Se realizaron estudios geológicos de campo, mapeo litológico, análisis petrográficos y geoquímicos, con el objetivo de describir las fases intrusivas, los eventos hidrotermales y su relación con la mineralización de cobre y molibdeno. El análisis litológico muestra que el yacimiento está compuesto por varias fases de intrusión, incluyendo monzonitas y dioritas, que han sido cruciales para la generación del sistema de pórfido. Las alteraciones hidrotermales en Las Bambas presentan una clara zonación, con una alteración potásica en el núcleo del sistema, donde se concentran los minerales más importantes, como calcopirita, bornita y molibdenita. Esta zona central está rodeada por una alteración fílica y, en las áreas periféricas, por una alteración propilítica. Uno de los hallazgos clave de este estudio es la identificación de un control estructural importante en la distribución de la mineralización. Las principales estructuras tectónicas, como fallas y fracturas, han jugado un papel fundamental en canalizar los fluidos hidrotermales y facilitar el depósito de los

minerales de interés económico. La interacción entre las intrusiones magmáticas, la tectónica regional y los procesos hidrotermales ha dado lugar a un depósito altamente mineralizado. Este trabajo concluye que las alteraciones hidrotermales y la mineralización en Las Bambas son características de un sistema de pórfido cuprífero típico, y proporciona una base sólida para futuras investigaciones y exploraciones en el área. Los resultados tienen implicaciones importantes para la planificación de la explotación minera y para la exploración de otros sistemas de pórfido cuprífero en la región de Apurímac.

Martínez, J. (2019). “*Geología y zonación mineral en el pórfido cuprífero del yacimiento Antapaccay, Cusco, Perú*”. Universidad Nacional de Ingeniería. El yacimiento Antapaccay, ubicado en la región de Cusco, Perú, es uno de los principales depósitos de pórfido cuprífero en el sur del país. Este estudio se enfoca en la caracterización geológica y la zonación mineral del sistema de pórfido cuprífero, empleando estudios de campo, mapeo litológico y análisis petrográficos. La investigación también incluye la evaluación de las alteraciones hidrotermales y la distribución de la mineralización. El análisis geológico revela que el yacimiento está compuesto por varias fases intrusivas de tonalita y granodiorita, que han jugado un papel crucial en la formación del sistema. La zonación mineral indica que el núcleo del sistema está dominado por variaciones potásicas, que contiene los principales minerales de interés económico, como la calcopirita y la bornita. Esta zona está rodeada por una alteración física, seguida de una alteración propilítica en las zonas más distales. El control estructural es otro factor clave identificado en el estudio, ya que las fallas y fracturas han accionado como caminos preferenciales para los fluidos hidrotermales, facilitando la precipitación de minerales metálicos. El estudio concluye que la

zonación hidrotermal y mineral en Antapaccay sigue el patrón típico de sistemas de pórfido cuprífero, lo que proporciona un modelo útil para guiar futuras perforaciones y exploraciones.

Morales, J. (2020). *“Evaluación geológica del potencial de mineralización, zona Longreras Oeste, unidad minera El Porvenir”*, 2019. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. El presente proyecto de investigación es el resultado del reconocimiento y mapeo de la zona de Longreras Oeste y sus alrededores. En ella aflora una gran falla denominada “Longreras Oeste” cuya extensión sobre pasa los 2,300 m, a lo largo de la cual ocurren una serie de afloramientos de anchos y longitudes variables los cuales contienen óxidos de Mn y Fe en diferentes proporciones. Esta estructura fue explorada en años anteriores utilizando un crucero de 1200 metros y 4 taladros diamantinos cuyos resultados fueron desfavorables. En el campo se han reconocido que estos afloramientos son muy irregulares por ello la exploración en profundidad que se realizó tenía mucho riesgo de intersectar mineralización. El estudio comprende la evaluación geológica de la zona Longreras Oeste para poder estimar su potencial de mineralización para contribuir con los recursos de minerales en el incremento de las mismas. Toda exploración se basa en caracterizar la geología, para luego determinar zonas de blancos de exploración que pueden constituir en el tiempo reservas de minerales económicos. Este trabajo consiste| en determinar zonas de exploración y verificar si es importante el blanco de exploración para continuar con una exploración a detalle.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **Definición de sistemas de pórfido cuprífero**

Los pórfidos cupríferos son sistemas hidrotermales formados por intrusiones ígneas que se relacionan con la concentración de minerales metálicos, especialmente cobre, molibdeno y oro, en cuerpos minerales dispersos o diseminados alrededor del núcleo intrusivo. La mineralización está relacionada a los fluidos hidrotermales que son liberados por la solidificación del magma.

**Cita:** Sillitoe, RH (2010). *Sistemas de pórfido cuprífero*. Economic Geology, 105(1), 3-41.

### **Geología de sistemas de pórfidos**

La geología de los sistemas de pórfido involucra la interacción entre las intrusiones ígneas y las estructuras regionales. Estos sistemas suelen presentar múltiples fases de intrusiones que generan halos de alteraciones hidrotermales. La zonación mineral típica incluye una alteración potásica en el centro, rodeada de alteraciones fílicas y propilíticas.

**Cita:** Seedorff, E., Dilles, JH, Proffett, JM, Einaudi, MT, Zurcher, L., Stavast, WJ, ... & Hedenquist, JW (2005). *Depósitos de pórfido: características y origen de los rasgos hipógenos*. Economic Geology, Volumen del centenario, 251-298.

### **Modelos de alteraciones hidrotermal y zonación mineral**

En los sistemas de pórfido cuprífero, las alteraciones hidrotermales generan halos concéntricos de diferentes minerales. La zonación mineral depende de la proximidad al núcleo del sistema y de la temperatura de los fluidos hidrotermales. Estos halos incluyen alteraciones potásicas, fílica, argílica avanzada y propilítica.

**Cita:** Lowell, JD, & Guilbert, JM (1970). *Zonificación de mineralización por alteración lateral y vertical en depósitos de minerales porfídicos*. *Economic Geology*, 65(4), 373-408.

### **Controles estructurales en la mineralización**

Las estructuras geológicas, como fallas y fracturas, juegan un papel crucial en la localización de la mineralización en los sistemas de pórfido cuprífero. Estas estructuras actúan como conductos para los fluidos hidrotermales que transportan los metales hacia las zonas de fractura, donde los minerales se precipitan.

**Cita:** Cox, DP y Singer, DA (1986). *Modelos de depósitos minerales*. Boletín 1693 del Servicio Geológico de Estados Unidos.

### **Geoquímica y exploración de sistemas de pórfido**

Los estudios geoquímicos son fundamentales para la identificación y delimitación de zonas mineralizadas en los sistemas de pórfido. La dispersión de elementos traza como Cu, Mo, y Au, así como el uso de índices geoquímicos, permite identificar las zonas de mayor mineralización en profundidad.

**Cita:** Sinclair, AJ (1995). *Aplicaciones de gráficos de probabilidad en la exploración minera*. Cambridge University Press.

### **Métodos geofísicos aplicados en la exploración de pórfidos**

Las técnicas geofísicas, como la magnetometría y la resistividad, son herramientas eficaces para mapear las características subsuperficiales de los sistemas de pórfido cuprífero. Estas técnicas ayudan a identificar intrusiones y anomalías geológicas asociadas a mineralización en profundidad.

**Cita:** Clark, AH (1999). *Geofísica en la exploración minera: fundamentos y aplicación de métodos eléctricos y electromagnéticos*. Springer.

## **Ejemplos de yacimientos tipo pórfido en el Perú**

En el contexto del Perú, varios depósitos importantes, como Antamina, Toromocho y Las Bambas, son ejemplos de sistemas de pórfido cuprífero. Estos depósitos han sido ampliamente estudiados y sus características geológicas, geoquímicas y geofísicas son de gran relevancia para el estudio de otros yacimientos similares.

**Cita:** Perelló, J., Wilson, AJ, Morgan, JW, Díaz, A., & Fontboté, L. (2003). *Pórfido Cu-Au y depósitos epitermales de Au-Ag del Cinturón Maricunga, norte de Chile: una revisión*. Geología económica, 98(1), 293-320.

### **Fases intrusivas**

Estos complejos intrusivos forman cuerpos epizonales, subvolcánicos, sill y stocks, con morfologías y tamaños variables.

Son rocas calco-alcalinas aluminosas altamente oxidantes del tipo magnetita serie "1" con una textura de pórfido que casi siempre contiene anfíbol, biotita, plagioclasa, magnetita, cuarzo y feldespato de potasio. Profundidad del sitio: 1,5-2,5 km, reservas 2-200 km<sup>2</sup>, promedio 26 km<sup>2</sup>, rango de alteración del mineral 0,5-4 km<sup>2</sup>, promedio 2 km<sup>2</sup>.

La terminología aplicada para las distintas fases intrusivas ha sido asignada según la clasificación de las etapas de intrusión relacionada a pórfidos de Cu-Mo (R. H. Sillitoe, 1987; F. Rivera, 2007) y se detalla a continuación:

### **Intrusivo precursor**

Plutón generalmente de un solo grano, suele servir como roca de cuerpo del sistema. No provoca mineralización (sin penetración hidrotermal); a veces muestra vetas aisladas de cuarzo y granos finos.

### **Pórfido principal**

Es un portador intrusivo de mineralización. Muestra una fuerte alteración, es predominantemente potásico y generalmente exhibe leyes altas (0.3–1.0% Cu). Ejemplos: Cuajone pórfido, pórfido monzonita de Quellaveco, pórfido predominantemente monzonítico de Trapiche.

### **Pórfido intramineral**

Presenta alteración y mineralización de moderada a débil. Por lo general, contiene 0.1-0.3% Cu en el sistema. Ejemplos: pórfido de dacita de Cañariaco, pórfido de asfalto aséptico de Cuajone, pórfido de intramonzonita mineral de Trapiches.

### **Pórfido tardímineral**

Tiene alteración y mineralización de débil a moderada comúnmente asociada con propilita y alteración potásica débil que produce <0.1% de cobre en el sistema. Ejemplos: Porphyrlaxite - Cuajone Third Pulse, Cañariaco biotita-cuarzo diorita pórfido, Minas Conga late PQF, quechua PGM (pórfido granular de cuarzo monzonita), PGD y Trapiche pórfido PQD.

### **Intrusivo postmineral**

Esta es la última expresión intrusiva del sistema, que consiste en pequeños cuerpos y diques con cianita poco profunda y alteración que contiene pirita menor. Esta imagen intrusiva atraviesa todas las unidades de rocas ígneas mencionadas anteriormente. Ejemplos: microgranitos de Cerro Verde y diques de dacita-andesita en Trapiche.

Alteración hidrotermal y mineralización en el proceso de alteración hidrotermal significan intercambios químicos que ocurren durante la interacción de rocas hidrotermales. Esta interacción provoca cambios químicos y



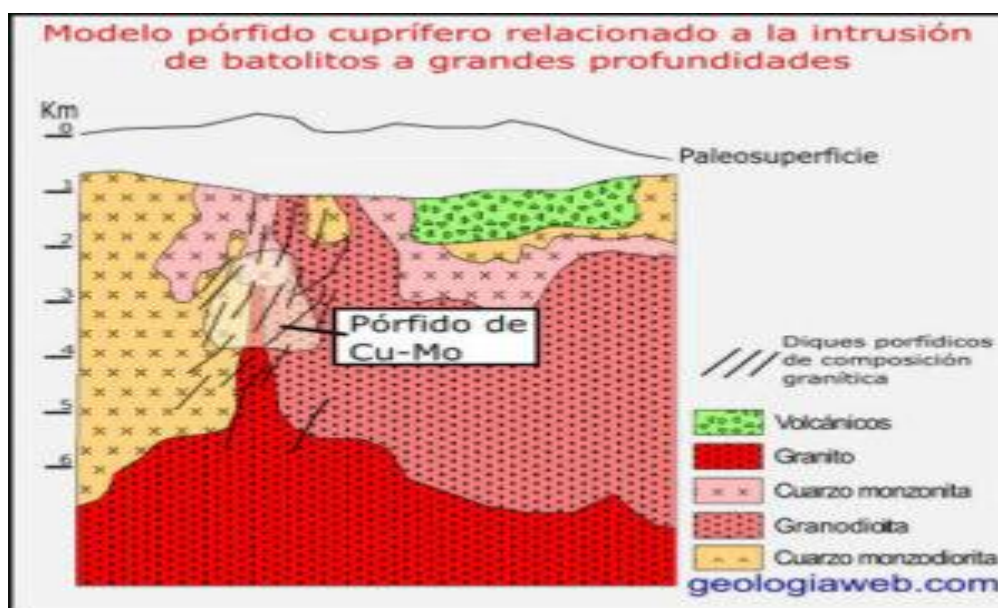
mineralógicos en la roca afectada debido al desequilibrio termodinámico entre las dos fases.

A medida que el conjunto mineral original se transforma en un nuevo conjunto mineral que es más estable bajo las nuevas condiciones de presión y temperatura, especialmente con respecto a la composición de los fluidos hidrotermales que pasan a través de las rocas, la textura y estructura originales pueden cambiar leve o completamente. Fontboté, L., (1998).

Camus, F., (2003) describió bien los procesos de mineralización y alteración hidrotermal del sistema de pórfidos de cobre en los Andes peruanos y chilenos, y resumió estos procesos en las siguientes fases: Magmática tardía, también conocida como potásica, está asociada con el emplazamiento de intrusiones, llevando mineralización de cobre y oro en sistemas de pórfido (Gustafson y Hunt, 1975; Sillitoe, 1989). Esto ocurre en equilibrio con el magma fuente a temperaturas superiores a 300 °C debido a la alta salinidad, la alta relación K/H y la alta humedad del oxígeno y la actividad del azufre (Beane y Titley, 1981). Los intercrecimientos que caracterizan la alteración potásica incluyen feldespato potásico, biotita y anhidrita, que desplazan al mineral máfico feldespato y pueblan vetas tipo EB y A (Gustafson y Hunt, 1975). Ocasionalmente rutilo y magnetita. La bornita y la calcopirita son los minerales más importantes para la fijación del cobre. Junto con la alteración potásica, se desarrolló una fase de temperatura más baja hacia su margen, formando un halo exterior llamado alteración de cianita, que consiste en clorita, epidota, carbonatos y pirita. Ocasionalmente están presentes albita, magnetita y hematites especular. Los límites exteriores del sistema de placas suelen estar definidos. Cuando los fluidos de alteración potásica entran en contacto con rocas carbonatadas, ocurren

reacciones químicas que se desarrollan en contacto con cutinita o skarn y experimentan conjuntos minerales graduados con granate clinopiroxeno y magnetita (Camus, 2003).

**Figura 1** Modelo pórfido cuprífero relacionado a la intrusión de batilitos a grandes profundidades



### **Etapas transicional**

Es intermedio entre los estadios magmático tardío e hidrotermal tardío (Gustafson y Hunt, 1975). Esto ocurre cuando la intrusión cristaliza de tal manera que las condiciones de presión y temperatura se reducen. En esta etapa se observó la primera evidencia de un efecto retrógrado, provocado por el descenso de la temperatura y el ingreso de corrientes de agua atmosférica al sistema (Camus; 2003). El cobre se introdujo en esta etapa, pero la mineralización de molibdeno se volvió prominente, principalmente en vetas de cuarzo tipo B. Esta etapa se caracteriza por una brusca disminución de la temperatura y la presión, lo que facilita la precipitación de la sílice, ya que su solubilidad desciende casi a cero por debajo de los 250 °C. Las etapas de transición descritas en los pórfidos de oro no han sido confirmadas. Por otra parte, casi todas ellas se denominan fases

hidrotermales de alteración intermedia del almidón, sujetas a alteración potásica. Estas alteraciones incluyen sericita, clorita, arcilla (montmorillonita) y calcita.

### **Etapas hidrotermal principal**

También se le conoce como cuarzo de hendidura o sericita. En condiciones de alta actividad de  $S_2$ , baja liberación de  $O_2$  y baja relación K/H, evoluciona hacia una migración hidrotermal desde la fuente de magma y comienza a enfriarse. la roca afectada se destruye casi por completo (Camus, 2003). El intercrecimiento se caracteriza por una combinación de cuarzo, sericitay piritay con proporciones menores de calcopirita, bornita, siderita, esfalerita y galena. Anhidrita, turmalina y carbonatos raros ocurren localmente (Camus, 2003). Su origen está relacionado con los procesos físicos y químicos asociada la separación de líquidos creada por el enfriamiento, en condiciones supercríticas, de las dos fases líquida y vapor, con volúmenes crecientes, mayorformación de fracturas y formación de chimeneas de brecha. (Tosdal y Richards,2001). La mineralización de cobre también se incluyó en esta fase, aunque en una escala relativamente pequeña en comparación con la introducida en fases anteriores. Sin embargo, el cuarzo con piritay se presenta en vetas tipo "D" (Gustafson y Hunt, 1975).

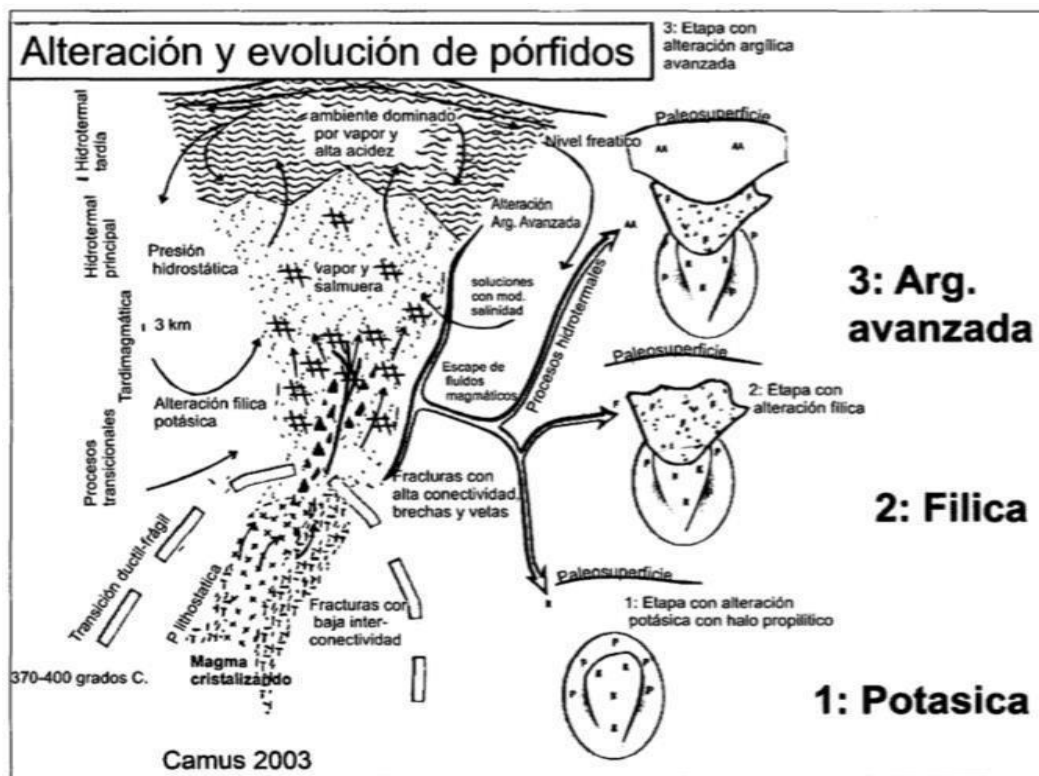
En los depósitos que presentan desarrollo de skarn la alteración hidrotermal principal se presenta como una fase de tipo retrógrada con minerales hidratados como actinolita además de cuarzo, magnetita, carbonatos, clorita, epidota y piritay (Camus, 2003).

### **Etapas hidrotermal tardía**

Esta es la última etapa de la alteración hidrotermal que afecta a los sistemas de pórfidos y se conoce como alteración arcillosa de alto grado. Sillitoe

(1995) reconoció que las zonas de alteración aurífera de alto grado forman un lecho rocoso alterado en los sistemas de pórfido en varias regiones mineras del mundo, o "casquete de roca", y representan pórfido con cobre, oro, molibdeno y estaño en la superficie. Estas alteraciones comúnmente consisten en cuarzo, calcedonia, alunita cristalina, que se gradúa lateralmente en caolinita, dique, sericita, pirofilita y diáspora (Sillitoe, 1995). Las fases hidrotermales tardías se produjeron por la influencia de fluidos y rocas altamente ácidos y relativamente oxidados en un ambiente subvolcánico (Sillitoe, 1995).

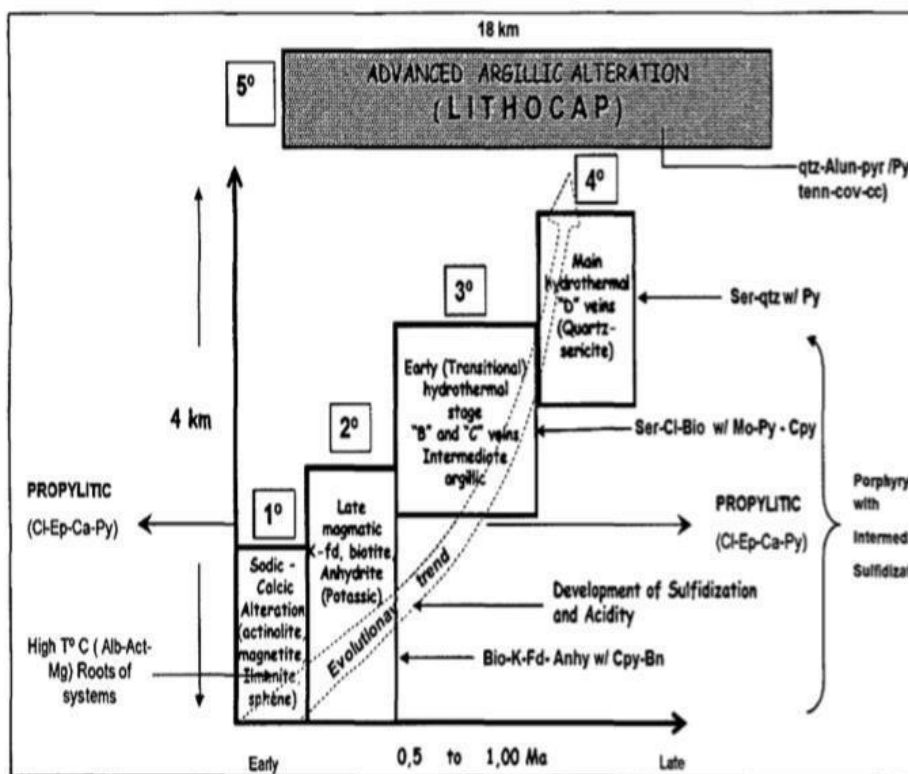
**Figura 2** Alteración y evolución de pórfidos



Modelo esquemático de un sistema tipo pórfido andino donde el techo del intrusivo aparece ubicado a profundidades entre 1 y 3 km. se muestra la transición dúctil/frágil que marca el límite entre el ambiente donde predominan condiciones de presión litostática y aquel donde las condiciones de presión son hidrostáticas.

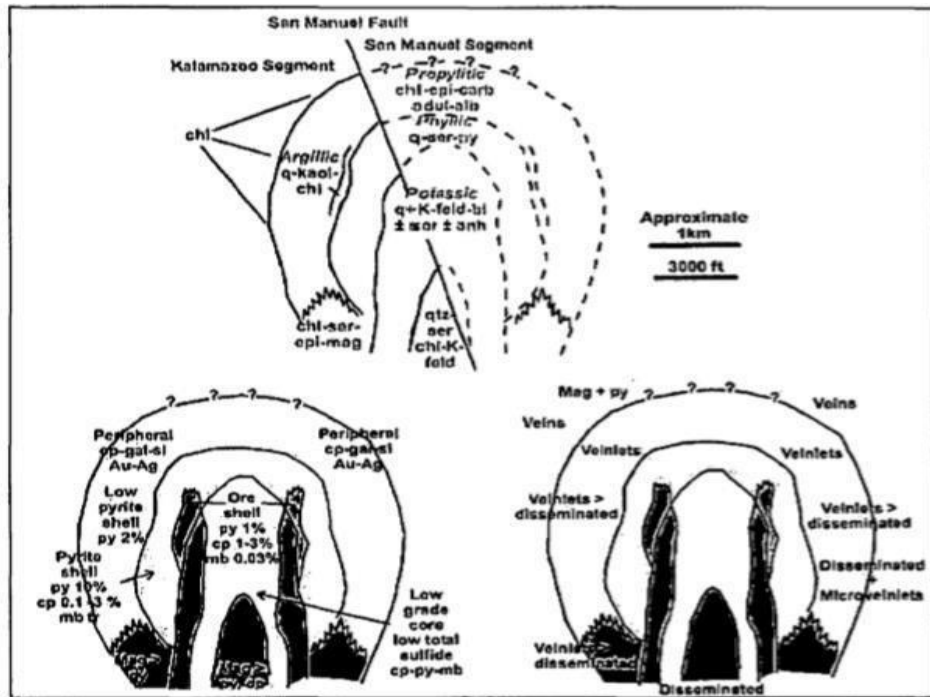
Además, se indican las tres principales etapas de alteración hidrotermal; basada en los trabajos de Burnham (1979); Burnham y Ohmoto (1980) y Fournier (1999).

**Figura 3** Evolución de los procesos de alteración y mineralización en los pórfidos (Camus 2003)



**Figura 4** Zonación de alteración y mineralización (Lowell & Gilbert, 1970).

#### Alteraciones sistema porfídico

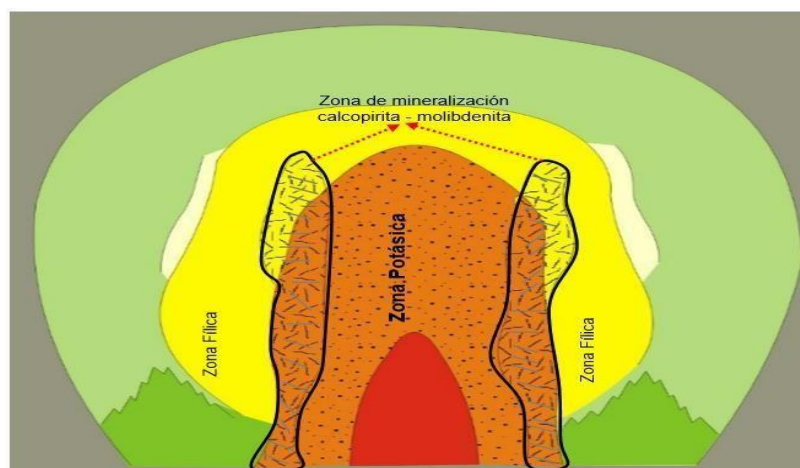


#### Alteración potásica

Sus principales minerales son la moscovita, la biotita y el feldespatopotásico secundario, especialmente los dos últimos. La magnetita o hematita, la anhidrita y los carbonatos se asocian comúnmente con el hierro, pero los minerales arcillosos están ausentes. El feldespatopotásico se encuentra en diversos entornos y, desde un punto de vista fisicoquímico, estos cambios se producen en presencia de soluciones casi neutras y a altas temperaturas (400- 600 °C). Así, en forma de adularia, se asocia a aguas termales y depósitos epitermales por otro lado, se presenta en depósitos de cobre dispersos como cristales verticales (o microclínicas). En este último tipo de sedimentos, el feldespatoproduce como resultado de un cizallamiento difuso con biotita y anhidrita en las vetas. Relación moderada de azufre/metal con una relación de piritade 3 a 1. El sulfuro es el principal mineral de crecimiento profundo y se distribuye. La

mineralización también consiste en calcopirita y molibdenita. De acuerdo con los modelos desarrollados para dichos depósitos, el mineral se encuentra en la interfaz entre los cinturones de potasa y esquistos. El área en consideración es el área ubicada en la parte central y más profunda.

**Figura 5** Zonalidad de los yacimientos cupríferos (según Lowell y Guilbert, 1970)



### **Alteración sericítica o filica**

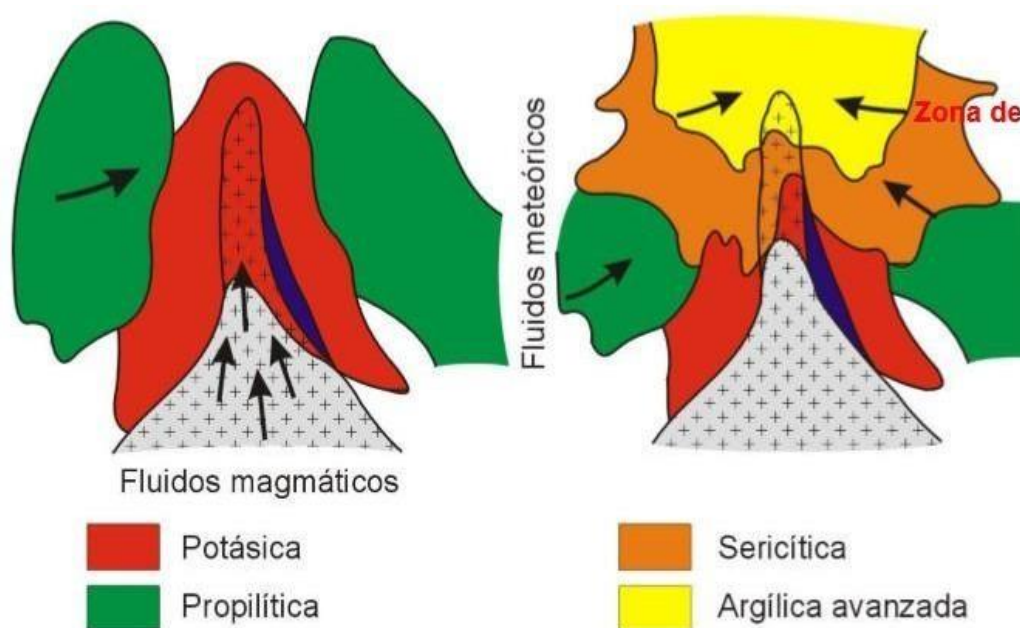
Sus principales minerales son la sericita, el cuarzo y la pirita. Este término se usa en el campo para referirse al material de mica de grano fino y color claro asociado con varios depósitos. Esta alteración, también descrita como cuarzo sericita o alteración esquistosa, es uno de los tipos más comunes. La sericitización de silicatos conduce a zonas de calzone, mineralización de calcopirita-molibdenita.

### **Zona filica**

Las inclusiones de cuarzo y sericita a veces destruyen la textura original de las rocas. Distinguir esta mica de potasio de la pirofilita, la mica de sodio o la flogopita requiere un análisis de composición o difracción de rayos X. Estas variaciones se encuentran en depósitos comunes de cobre, lo que da como

resultado un conjunto de minerales de sericita, cuarzo, pirita, hidrodinámica y, a veces, clorita y rutilo. Grados de potasa hacia la zona central y grados de bronce o almidón hacia rocas no perturbadas. Usualmente este sector es parte del cuerpo mineralizado, especialmente la zona de pirita. Este sulfuro es común y en su mayoría vetado (San Manuel, Arizona, EE. UU.). Este representaría un mayor estado de alteración y sería más joven que el grupo silicopotasio. La sericita también se encuentra como una mineralización greisen Sn-W-Mo junto con cuarzo-topacio-fluorita-apatita-berilo-casiterita, etc. También se ha descrito que está asociado a depósitos mesófilos asociados a clorita.

**Figura 6** Mesófilos asociados a clorita.



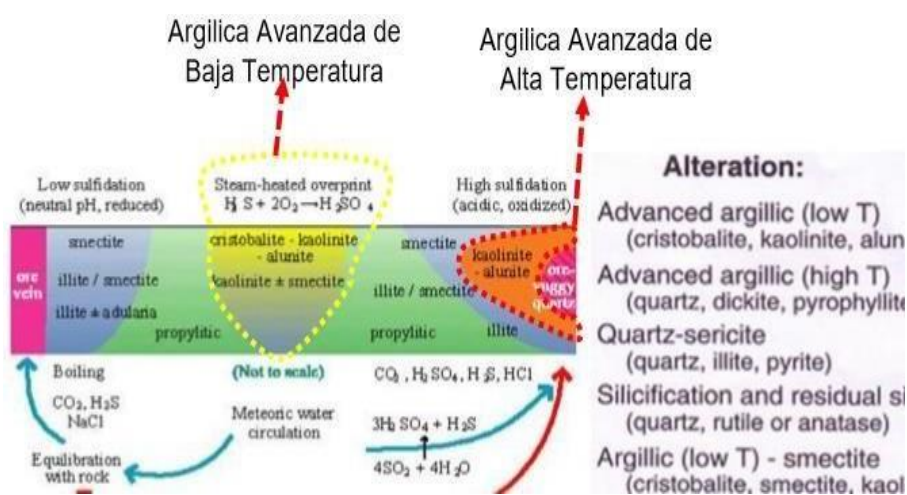
### **Argílica avanzada**

Se caracteriza por la destrucción completa del feldespato bajo condiciones hidrolíticas muy fuertes y la formación de las siguientes combinaciones: dique, caolinita, pirofilita, a menudo sericita y cuarzo, ya veces alunita, pirita, turmalina, topacio, cobre y arcilla amorfa. Ocurre como áreas en o cerca de muchas vetas de metal base (Bart, EE. UU.), telescópicas (Red Mountain, EE. UU.) o de cobre



(Cerro Pasco, Perú). Químicamente, esto representa la lixiviación hidrolítica extrema de todas las bases de la fase de aluminio. Este tipo de cambio ocurre cuando el aluminio se desplaza visiblemente, eliminando parte del sílice, hierro, potasio, sodio, calcio y magnesio. Los sulfuros secundarios asociados varían de raros a abundantes con altas proporciones de azufre/metal.

**Figura 7 Argílica avanzada**



### Alteración argílica intermedia

Predominan la caolinita y la esmectita, aunque algunas arcillas amorfas pueden ser localmente significativas. El feldespato de potasio y la biotita, parcialmente recrystalizados como clorita, están ocasionalmente presentes. La caolinita es inestable por encima de los 400 °C y la esmectita puede ser inestable a temperaturas ligeramente superiores, por lo que el límite superior de esta variación está entre 400 y 480 °C. La clasificación de la zona es alternancia de cianita a la dirección de la nueva montaña, alternancia de sericita a la dirección de mineralización, la zona exterior está dominada por montmorillonita y la zona interior está dominada por caolinita. La dickita, la caolinita, la caolinita y la metacaolinita se encuentran en el grupo de las caolinitas. En la zona exterior se ha identificado la presencia de clorita, magnetita y pirita como productos de

alteración de minerales máficos y plagioclasas. Los sulfuros generalmente no son importantes.

*Figura 8 Alteración argílica intermedia*



### **Alteración propilítica**

Caracterizado por clorita, epidota y/o calcita y plagioclasa albitizada. Preparado a partir de soluciones casi neutras en un rango de temperatura variable. Incluye epidota (zoisita, clinopita), albita, sílice y carbonatos, así como sericita, pirita, arsenopirita y óxido de hierro, y menos comúnmente zeolita o montmorillonita. El nombre se usó por primera vez para describir la alteración de andesita débilmente metasomatizada en Comstock Lode (Nevada, EE. UU.). En algunos trabajos esta alteración ha sido caracterizada por las siguientes asociaciones:

**Clorita-calcita-caolinita   Clorita-calcita-talco   Clorita-epidota-calcita**

**Clorita-epidota**

En los tres primeros, la concentración de CO<sub>2</sub> es significativa. Donde se observa zonación con alteración hidrotermal, avanza paulatinamente a roca



### **Vetillas tipo EB**

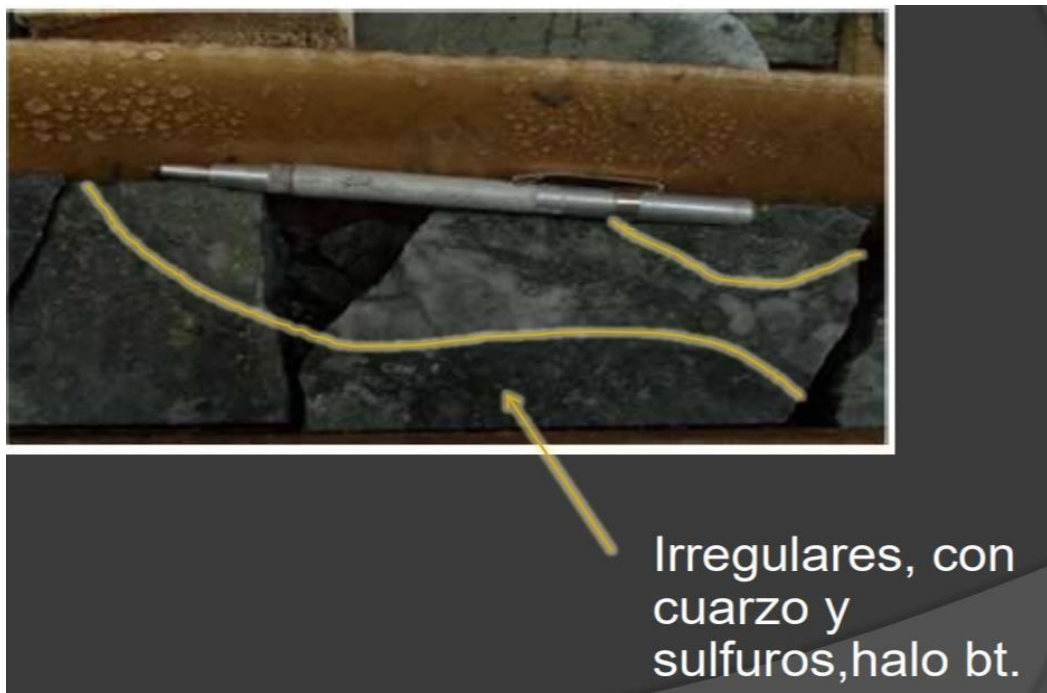
Irregulares, espesor menor a 10 mm. Constituidas por biotita  $\pm$  cuarzo, con variable albita, feldespato potásico, actinolita, apatito, andalucita, corindón, cordierita, ilmenita y esfeno. Mineralización de bornita, calcopirita y pirita. Con o sin halo de biotita y algo de albita.

***Figura 10*** Cuarzo granular, halo bien definido de bt, sinuosas. Vetillas tipo A



Venillas tempranas de cuarzo (50-95%), con K-feld, anh, cpy, br + mo. irregulares, discontinuas y segmentadas. Están cortadas por todos los otros tipos de venillas. Halos de alteración potásica (bt-K-feld), pero poco distinguibles de la fuerte alteración potásica pervasiva de las rocas.

**Figura 11** Formadas en roca dúctil. 1 – 25 mm de potencia



## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Sistemas de mineralización tipo pórfido**

Los sistemas de mineralización tipo pórfido son intrusiones ígneas de composición generalmente granítica que contienen minerales metálicos, especialmente cobre, molibdeno y oro, en concentraciones diseminadas o en vetillas alrededor del núcleo intrusivo. Estos sistemas son los principales depósitos de cobre a nivel mundial y tienen una alta importancia económica por su gran volumen y baja ley. Sillitoe, RH (2010). *Sistemas de pórfido cuprífero*. Economic Geology, 105(1), 3-41. DOI: 10.2113/gsecongeo.105.1.3

#### **Yacimientos pórfidos**

Los yacimientos tipo pórfido están formados por cuerpos intrusivos que enfrían lentamente en profundidad, permitiendo la precipitación de minerales metálicos. Los fluidos hidrotermales liberados durante la solidificación del magma son los responsables de transportar y depositar los metales en las rocas

intrusivas y circundantes. Cooke, DR, Hollings, P., & Walshe, JL (2005). *Depósitos de pórfido gigante: características, distribución y controles tectónicos*. Economic Geology 100th Anniversary, 29-53.

### **Alteración hidrotermal**

El proceso de alteraciones hidrotermal se refiere a los cambios mineralógicos y texturales de las rocas debido a la interacción con fluidos calientes, que pueden redistribuir elementos químicos y formar minerales secundarios. En los sistemas de pórfido, las alteraciones suelen estar zonadas, con alteraciones potásicas, fílicas, argílicas y propilíticas, que son indicativas de diferentes etapas y temperaturas del sistema hidrotermal. Lowell, JD, & Guilbert, JM (1970). *Zonificación de mineralización y alteración lateral y vertical en depósitos de minerales porfídicos*. Economic Geology, 65(4), 373-408.

### **Zonación de alteración en pórfidos**

La zonación de alteraciones es una característica clave en los sistemas pórfidos y se refiere a la distribución de diferentes tipos de alteraciones alrededor del núcleo intrusivo. Comúnmente, la zonación comienza con un núcleo potásico, rodeada por una zona fílica y más exteriormente por una zona propilítica. Seedorff, E., Dilles, JH, Proffett, JM, Einaudi, MT, Zurcher, L., & Stavast, WJ (2005). *Depósitos de pórfido: características y origen de los rasgos hipógenos*. Economic Geology 100th Anniversary, 251-298.

### **Exploración y modelado geológico**

La exploración de sistemas de pórfido cuprífero involucra una combinación de estudios geofísicos, geoquímicos y geológicos. La interpretación de los datos recolectados permite modelar los cuerpos mineralizados y definir las zonas de mayor interés económico. Camus, F. (2002). *Geología de los sistemas*

*porfíricos cupríferos andinos*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago de Chile.

### **2.3.2. Fluidos hidrotermales**

Los fluidos hidrotermales son soluciones calientes derivadas de la interacción entre el magma y el agua (ya sea de origen meteórico, magmático o marino). Estos fluidos tienen la capacidad de transportar metales y otras sustancias químicas a través de la corteza terrestre. En los sistemas pórfidos, los fluidos hidrotermales juegan un papel crucial en la formación y zonación de la mineralización. Hedenquist, JW, & Lowenstern, JB (1994). *El papel de los magmas en la formación de depósitos minerales hidrotermales*. Nature, 370(6490), 519-527. DOI: 10.1038/370519a0

### **2.3.3. Petrogénesis de los pórfidos**

La petrogénesis de los sistemas de pórfido implica la evolución del magma desde su origen en el manto o la corteza inferior, su ascenso hacia la superficie, y su interacción con la corteza superior. Estos procesos controlan la composición química del magma y, por lo tanto, influyen en la mineralogía y la composición de los depósitos asociados.

Richards, JP (2003). *Precursores tectono-magmáticos para la formación de depósitos de pórfido Cu-(Mo-Au)*. Economic Geology, 98(8), 1515-1533. DOI: 10.2113/gsecongeo.98.8.1515

### **Zoneamiento metalogenético**

El zoneamiento metalogenético se refiere a la distribución espacial de los diferentes tipos de mineralización en función de factores tectónicos, magmáticos y geoquímicos. En los sistemas de pórfido cuprífero, la zonación de la mineralización suele tener concentraciones más altas de cobre en el centro del

sistema, mientras que otros elementos como el oro, molibdeno y plata pueden estar más distribuidos en las zonas periféricas. Sillitoe, RH (2000). *Depósitos de pórfido ricos en oro: modelos descriptivos y genéticos y su papel en la exploración y el descubrimiento*. Reseñas en Geología Económica, 13, 315-345.

### **Intrusiones ígneas y su relación con la mineralización**

Los sistemas de pórfido están estrechamente relacionados con intrusiones ígneas de composición generalmente intermedia a ácida, como granodioritas, tonalitas y monzonitas. Estas intrusiones suelen generar los fluidos hidrotermales que depositan los minerales metálicos, y su geometría y extensión son claves para la exploración geológica. Seedorff, E., & Barton, MD (2000). *Procesos magmáticos e hidrotermales en sistemas de pórfido de cobre: una revisión*. Economic Geology, 95(1), 25-37. DOI: 10.2113/gsecongeo.95.1.25

### **Modelos geotectónicos**

Los sistemas de pórfido cuprífero suelen formarse en entornos geotectónicos relacionados con zonas de subducción, donde la interacción entre las placas tectónicas genera un entorno favorable para la intrusión de magmas. Estos sistemas suelen encontrarse en márgenes continentales activos, como el cinturón andino, lo que influye en la disposición de las intrusiones y en la tectónica de los depósitos minerales.

Camus, F. (2003). *Entorno geotectónico de los yacimientos de pórfido cuprífero andino*. Geología Económica, 98(3), 345-366.

### **Exploración geoquímica**

La exploración geoquímica en sistemas de pórfido cuprífero implica el análisis de la composición química de las rocas, suelos y sedimentos para identificar anomalías relacionadas con la presencia de mineralización. Los



elementos trazan como el cobre, molibdeno y oro, así como ciertos indicadores geoquímicos, permiten definir las áreas con mayor potencial. Marschik, R. y Fontboté, L. (2001). *Los yacimientos de óxido de hierro Cu-Au (-Zn-Ag) Candelaria-Punta del Cobre, Chile*. Geología económica, 96(1), 505-541.

### **Sistemas porfiríticos de cobre**

La serie de pórfidos constituye un grupo de yacimientos caracterizados por una alta diversidad, y son grandes yacimientos de baja ley y alto tonelaje. Los sistemas porfídicos reciben este nombre porque están asociados con rocas ígneas intrusivas que contienen fenocristales feldespáticos en una matriz cristalina de grano fino (Maksaev, 2004), están genéticamente y espacialmente relacionados con intrusiones magmáticas félsicas, generalmente plásticas félsicas múltiples. Variedad de leguminosas, a menudo asociadas a presas y grupos de doradas. Las rocas intrusivas, a menudo tienen fracturas fuertes y generalizadas, la mineralización y la alteración ocurren tanto en las rocas intrusivas como en el lecho rocoso. Su ocurrencia está relacionada con el ambiente magmático tectónico formado por el volcán calizo de isla arco o el margen continental activo asociado al fenómeno de subducción. (Oyarzun y Frutos, 1974; Sawkins, 1984)

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

"El Yacimiento El Porvenir-Milpo presenta un sistema de mineralización tipo pórfido, cuya caracterización geológica preliminar permitirá definir zonas con potencial para la profundización de la explotación minera y la expansión de los recursos minerales."

#### **2.4.2. Hipótesis Específicos**

"Las características litológicas y estructurales del Yacimiento El Porvenir-Milpo sugieren la presencia de un sistema intrusivo que generó una mineralización tipo pórfido en zonas profundas del yacimiento."

"La presencia de zonas de alteraciones hidrotermal potásica y propilítica, características de los sistemas de pórfido, confirmará la existencia de mineralización asociada a intrusiones en profundidad."

"La zonación mineral observada en la superficie ya niveles más profundos del Yacimiento El Porvenir-Milpo sugiere la concentración de cobre y otros metales en las zonas más cercanas al núcleo intrusivo."

### **2.5. Identificación de variables**

#### **2.5.1. Variables Independiente**

Geología preliminar

#### **2.5.2. Variable Dependiente**

Sistema de mineralización tipo pórfido - Yacimiento El Porvenir

#### **2.5.3. Variable Interviniente**

Alteraciones hidrotermales.

Mineralización tipo pórfido.

Intrusivo.

Características litológicas.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

En la siguiente tabla se detalla la operacional de variables e indicadores:

*Tabla 1 Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
<b>Variable independiente:</b> Geología preliminar	Es el conjunto de estudios y trabajos de campo iniciales que se realizan para definir las características geológicas generales de una zona. En este caso, incluye el mapeo geológico, muestreo sistemático de rocas, análisis estructural y geoquímico, así como la interpretación de datos geofísicos. Richards, J. P. (2003).	Un sistema de mineralización tipo pórfido se refiere a un conjunto de procesos geológicos en los cuales se produce la concentración de minerales metálicos, principalmente cobre, molibdeno y, en menor medida, oro y plata.	Características geológicas, litología, las estructuras geológicas (fallas, fracturas, pliegues),	Litología  Geología estructural	Plano y Mapeo geológico de las diferentes unidades litológicas, estructuras geológicas (fallas, pliegues),
<b>Variable dependiente:</b> Sistema de mineralización tipo pórfido - Yacimiento	Un sistema de mineralización tipo pórfido se refiere a un conjunto de procesos geológicos en los cuales se produce la concentración de minerales metálicos, principalmente cobre, molibdeno y, en menor medida, oro y plata. Estos minerales están distribuidos de manera diseminada o en vetillas finas alrededor de cuerpos intrusivos de composición ígnea, que actúan como la fuente de calor y fluidos hidrotermales. El Porvenir Sillitoe, R. H. (2010).	Tipos de alteración hidrotermal (potásica, fílica, propilítica, argílica).  Mapeo geológico: Cartografía geológica detallada de superficie y subsuelo.	Mineralización económica (cobre, molibdeno, oro)  Zonas de alteración (potásica, fílica, propilítica, argílica).	Relación entre alteración y mineralización económica.  Zonas de alteración.	Equipo de perforación diamantina clave para obtener muestras de testigos.  Distribución de las diferentes zonas de alteración.

*Nota.* Elaboración propia.

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1. Tipo de investigación**

**Investigación aplicada:** Este estudio busca generar conocimientos que puedan ser utilizados para la toma de decisiones prácticas en la explotación de recursos minerales, con el objetivo de determinar la presencia de un sistema de mineralización tipo pórfido y su posible explotación económica.

**Investigación descriptiva:** El estudio tiene como objetivo caracterizar y describir las características geológicas del yacimiento, identificando estructuras, litologías y alteraciones hidrotermales asociadas al sistema de pórfido.

**Investigación exploratoria:** Dado que se trata de un estudio preliminar, su propósito es explorar e identificar indicios de mineralización tipo pórfido, sentando las bases para investigaciones más detalladas o futuras perforaciones y estudios geoquímicos.

**Investigación cuantitativa y cualitativa:** El proyecto combina el análisis cualitativo (descripción de las características geológicas y estructurales) con el

análisis cuantitativo (datos de concentración de minerales, análisis geoquímicos y geofísicos).

### 3.2. Nivel de investigación

Descriptivo

### 3.3. Métodos de la investigación

Se tomaron en cuenta los siguientes métodos:

**Aplicativo:** Para aplicar conocimientos geológicos y generar resultados prácticos que puedan contribuir a la explotación minera.

**Descriptivo:** Para detallar las características geológicas del yacimiento, basándose en observaciones y análisis.

**Exploratorio:** Para investigar áreas menos conocidas y ampliar la comprensión del sistema de pórfido.

**Cualitativo:** Para interpretar y describir fenómenos geológicos basados en observaciones no numéricas.

**Cuantitativo:** Para realizar análisis numéricos de datos geoquímicos y geofísicos que sustenten la investigación con evidencia medible.

### 3.4. Diseño de investigación

La presente investigación se adecuó a los propósitos de la investigación:

El diseño es **no experimental**, ya que no se manipulan las variables. La investigación se centra en la observación y recolección de datos geológicos existentes en el área de estudio.

Es **descriptivo**, pues se realiza una descripción detallada de las características geológicas, como litologías, estructuras y alteraciones hidrotermales presentes.

Es **exploratorio**, ya que se pretende identificar la presencia de un sistema de mineralización tipo pórfido en una fase inicial, con el fin de generar hipótesis y antecedentes para futuras investigaciones más profundas.

### **3.5. Población y muestra**

#### **Población**

La población del proyecto son todas las unidades litológicas (Rocas ígneas (granodioritas, dioritas) y rocas metamórficas, estructuras geológicas (Fallas, fracturas, y vetas minerales), zonas de alteración hidrotermal, y cuerpos intrusivos presentes en el área de estudio

#### **Muestra**

La selección de la muestra se basará en la estrategia de muestreo estratificado por zonas geológicamente significativas. Esto implica tomar muestras de las áreas que presenten mayor interés geológico o que sean indicativas de mineralización tipo pórfido, muestreo litológico y estructural, seleccionados en función de criterios geológicos (alteración, intrusiones y estructuras).

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas para la recolección de datos y los instrumentos utilizados en la recolección de datos en el proyecto de investigación es el siguiente:

#### **Técnicas de recolección de datos:**

##### **Observación directa:**

La observación geológica en campo es una técnica fundamental para registrar las características del terreno, como la estructura, las formaciones rocosas, y las evidencias de alteraciones hidrotermales y mineralización.

**Objetivo:** Registrar las características geológicas superficiales y estructuras del área de estudio.

**Instrumentos asociados:**

- Libreta de campo geológico.
- Cámara fotográfica.
- Brújula geológica.
- Sistema de posicionamiento global.

**Muestreo geológico:**

El muestreo de rocas es esencial para identificar las unidades litológicas y las zonas de mineralización. Este puede incluir tanto muestras superficiales como subterráneas.

**Objetivo:** Tomar muestras representativas para análisis petrográficos y geoquímicos.

**Instrumentos asociados:**

- Martillo geológico.
- Bolsas para muestras etiquetadas.
- Brújula geológica.
- Mapas geológicos.

**Análisis geoquímico:**

El análisis de las muestras recolectadas en el campo a través de ensayos de laboratorio para identificar la concentración de metales como cobre, molibdeno y oro.

**Objetivo:** Determinar la concentración de elementos metálicos y su distribución espacial.

**Instrumentos asociados:**

- Equipos de espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF).
- Espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).
- Análisis químico en laboratorio especializado.

#### **Levantamiento geofísico:**

La geofísica permite mapear estructuras en el subsuelo y detectar anomalías mineralizadas. Se pueden utilizar métodos de gravimetría, magnetometría o tomografía eléctrica.

**Objetivo:** Identificar anomalías geofísicas que puedan estar asociadas a cuerpos mineralizados.

#### **Instrumentos asociados:**

- Magnetómetro.
- Gravímetro.
- Equipos de tomografía eléctrica.
- Equipos de resistividad.

#### **Mapa geológico:**

El mapeo detallado de las unidades litológicas y estructuras es clave para identificar zonas favorables de mineralización.

**Objetivo:** Elaborar mapas geológicos del área de estudio, mostrando distribución de unidades y alteraciones.

#### **Instrumentos asociados:**

- Software de mapeo geológico (ArcGIS, MapInfo).
- Mapas topográficos.
- Fotografías aéreas o imágenes satelitales.



### **Instrumentos de recolección de datos:**

#### **Martillo geológico:**

Utilizado para recolectar muestras de rocas en campo y para observar características litológicas de la superficie.

#### **Brújula geológica:**

Instrumento para medir la orientación de las estructuras geológicas (estratos, fallas, pliegues).

#### **GPS:**

Para georeferenciar con precisión las ubicaciones de interés, como puntos de muestreo y estructuras observadas.

#### **Mapas y software:**

Utilizado para crear y analizar mapas geológicos detallados de la zona de estudio.

#### **Software recomendado:**

ArcGIS, AutoCAD, Leapfrog, MapInfo.

#### **Cámara fotográfica:**

Para documentar características geológicas de la zona de estudio y las condiciones en las que se encuentran las muestras.

#### **Espectrómetro de rayos X (XRF):**

Equipo portátil o de laboratorio para análisis cuantitativo de elementos químicos presentes en las muestras.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **Procesamiento de datos:**

##### **1. Organización y codificación de datos geológicos**

- Clasificación de las muestras de rocas según su litología y ubicación.

- Codificación de las observaciones estructurales (orientaciones, fallas, pliegues).
- Organización de datos de alteraciones hidrotermal y zonificación mineral.
- Uso de bases de datos geológicos para registrar las coordenadas y características de las muestras.

## **2. Procesamiento de datos geoquímicos**

- Revisión y limpieza de los datos (identificar y corregir errores).
- Normalización de datos para evitar sesgos por variaciones extremas.
- Organización en hojas de cálculo o bases de datos especializados (Excel, Access, GeoStat).

## **3. Análisis estadístico descriptivo**

- Calcular estadísticos descriptivos (media, mediana, moda, desviación estándar).
- Representación gráfica de los datos (histogramas, diagramas de caja y bigotes).
- Identificación de tendencias o agrupamientos de datos.

### **Análisis de datos:**

#### **1. Análisis geoquímico multivariado**

- Análisis de componentes principales (PCA): Para reducir la dimensionalidad de los datos y destacar las variables geoquímicas más relevantes.
- Análisis de evaluación: Para identificar relaciones significativas entre los diferentes elementos químicos presentes en las muestras (eg, Cu, Mo, Au).

## **2. Modelado geológico 3D**

- Integración de datos geológicos y geoquímicos en un software especializado.
- Modelado de estructuras geológicas, zonas de alteraciones hidrotermales y cuerpos mineralizados.
- Visualización de las relaciones espaciales entre las intrusiones, fallas y la mineralización.

## **3. Análisis espacial de datos geofísicos**

- Interpolación de datos geofísicos: Para generar mapas continuos de las propiedades físicas del subsuelo.
- Análisis de anomalías: Comparar las anomalías geofísicas con las zonas de mineralización conocidas.
- Integración geofísica-geológica: Relacionar los resultados geofísicos con la geología superficial y los datos de perforación.

## **4. Estadística inferencial**

- Pruebas de hipótesis: Para evaluar la significancia estadística de las diferencias observadas en los datos geoquímicos y geofísicos.
- Regresión múltiple: Para identificar las relaciones predictivas entre las variables geológicas (eg, relación entre la concentración de cobre y otros elementos).

## **5. Comparación con modelos de sistemas pórfido-cobre**

- Evaluación de las zonas de alteraciones hidrotermales y su relación con la mineralización.
- Comparación de la zonación geoquímica observada con los modelos de zonación de pórfidos cupríferos.

- Ajuste del modelo geológico del yacimiento El Porvenir a los estándares reconocidos de sistemas pórfidos (eg, Sillitoe, 2010).

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Los análisis e interpretación de datos fue realizado en gabinete y en función al avance de la investigación, utilizando la data obtenida en campo con base en evidencias geológicas y resultados de laboratorio de muestras de roca y minerales que serán procesadas haciendo uso de programas computarizados como hoja de cálculo Excel utilizándose parámetros de la estadística descriptiva para elaborar gráficos estadísticos y software AutoCAD para elaborar planos.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

La orientación ética en la investigación se fundamentará en la honestidad y la validez científica. Con la honestidad se demostrará que toda la información recolectada es original y la validez científica indica que el desarrollo de la investigación será siguiendo la rigurosidad científica, metodológica e interpretación.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Ubicación**

La mina El Porvenir, se ubica en Cerro de Pasco, a 4 100 m.s.n.m. y a 190 Km. al noreste de Lima, es una de las minas más profundas de Latinoamérica (VerFigura N° 01). Geográficamente se ubica en el distrito de San Francisco de Asís - Yarusyacan, Provincia; Pasco, Región: Pasco; a una altitud entre 3,900 a 4,300 m.s.n.m. A una Latitud sur: 10° 35' Longitud oeste: 76° 12'.

**Figura 12 La mina El Porvenir**



#### 4.1.2. Accesibilidad

La zona de estudio donde se llevó a cabo el proyecto de investigación es el siguiente:

Ruta	Vías	Horas	Distancia	Tipo de vía
Lima – La Oroya – El Porvenir	Terrestre	8	342 Km.	Asfaltada
Lima – Canta- Huayllay – El Porvenir	Terrestre	5.5	271 Km.	Asfaltada
Lima-Huaral- Huayllay- El Porvenir	Terrestre	6.5	286 Km.	Asfaltada-Trocha
Lima - Jauja	Aérea	1		
Jauja – El Porvenir	Terrestre	4	232 Km.	Asfaltada
Lima - Huánuco	Aérea	1		
Huánuco – El Porvenir	Terrestre	2	86.7 Km.	Asfaltada

#### **4.1.3. Fisiografía**

##### **Relieve:**

El relieve en el área del yacimiento es característico de la alta cordillera andina, con topografía moderadamente accidentada a fuertemente ondulada. Se observan planicies de alta montaña intercaladas con quebradas profundas y pendientes abruptas. Las montañas circundantes presentan cumbres redondeadas y valles angostos, siendo una región propensa a la erosión y movimientos de masas, sobre todo en las temporadas de lluvia.

##### **Hidrografía:**

La zona de El Porvenir se encuentra en la cuenca alta del río Huallaga, y dentro del sistema hidrográfico, predominan ríos de montaña que discurren por quebradas estrechas y valles profundos. Estos ríos suelen tener un caudal significativo durante la época de lluvias (noviembre a marzo). El agua en estas áreas es clave tanto para el drenaje natural del terreno como para las operaciones mineras.

##### **Clima:**

El clima de la región es típicamente andino, con una estación lluviosa que abarca de noviembre a marzo y una estación seca de abril a octubre. Las temperaturas suelen ser bajas durante todo el año debido a la altitud, con amplitudes térmicas diarias marcadas. Durante el día, las temperaturas pueden variar entre 5°C y 15°C, mientras que por la noche pueden descender a niveles cercanos o inferiores a 0°C.

### **Vegetación y Suelo:**

La vegetación es escasa debido a la altitud y las condiciones climáticas. La cobertura vegetal está compuesta principalmente por pastizales de puna, con presencia de ichu y pequeñas plantas adaptadas a las condiciones frías y secas. Los suelos en la zona suelen ser poco profundos, con predominancia de suelos pedregosos y escarpados, lo que limita el desarrollo agrícola y facilita la erosión.

### **Geomorfología:**

Desde el punto de vista geomorfológico, la región se enmarca en una zona de alta montaña, formada principalmente por procesos tectónicos y erosivos. Las estructuras geológicas observadas, como fallas y fracturas, tienen una fuerte influencia en la disposición del relieve actual y en la exposición de los cuerpos mineralizados. Estas características geomorfológicas son clave para la formación y localización de los depósitos de tipo pórfido cuprífero en la región.

### **Influencia fisiográfica en la mineralización:**

El sistema de mineralización tipo pórfido en El Porvenir está íntimamente relacionado con la geología y la tectónica de la región. La disposición del relieve y la estructura del terreno han facilitado el emplazamiento de intrusivos ígneos y la formación de zonas de alteración hidrotermal. Las altas elevaciones y la erosión prolongada han permitido exponer las zonas más superficiales del sistema mineralizado, lo cual facilita su estudio preliminar.



#### **4.1.4. Geología**

##### **Geología regional:**

El Yacimiento El Porvenir se encuentra en la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú, una región geológicamente activa caracterizada por la presencia de diversas estructuras tectónicas, intrusivos ígneos y eventos volcánicos. La región está asociada al cinturón metalogénico andino, que es conocido por su gran potencial para la formación de depósitos minerales de tipo pórfido cuprífero, entre otros.

##### **Estructuras Tectónicas:**

La región está atravesada por varias fallas y fracturas de gran envergadura, producto de la actividad tectónica asociada a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Estas estructuras han facilitado el ascenso de magmas y la formación de intrusiones que posteriormente dieron origen a la mineralización tipo pórfido.

##### **Cinturón Metalogénico Andino:**

Este cinturón es conocido por su alineación de intrusivos y depósitos de tipo pórfido, yacimientos epitermales y depósitos de sulfuros masivos, lo que hace de la región una de las zonas más ricas en términos de recursos minerales, especialmente cobre, oro, plata y molibdeno.

##### **Geología local:**

El yacimiento de El Porvenir-Milpo se asienta sobre una serie de rocas ígneas intrusivas y volcánicas que han jugado un papel fundamental en la formación de la mineralización tipo pórfido. Las principales unidades geológicas en la zona incluyen:

#### Rocas Volcánicas:

En el área del yacimiento se han identificado flujos de lavas y tufos que pertenecen a unidades volcánicas terciarias y cuaternarias. Estas rocas volcánicas han sido afectadas por procesos de alteración hidrotermal, lo cual es típico en sistemas de pórfido.

#### Intrusivos Ígneos:

El yacimiento está dominado por una serie de intrusivos de composición intermedia a félsica (dioritas, granodioritas, tonalitas), que son responsables de la mineralización. Estos intrusivos datan del Mioceno y están asociados a eventos de magmatismo que ocurrieron durante la formación de los Andes Centrales.

#### Secuencia Sedimentaria:

Además de los cuerpos ígneos, en la región se encuentran sedimentos del Cretácico y Paleoceno, que han sido parcialmente deformados por la actividad tectónica y están afectados por eventos de intrusión y alteración hidrotermal.

#### **Alteración hidrotermal y zonas de mineralización:**

El sistema de pórfido en El Porvenir presenta las características típicas de alteración hidrotermal que acompañan a este tipo de depósitos:

#### Alteración Potásica:

Es la alteración dominante en el núcleo del sistema, caracterizada por la presencia de minerales como feldespatos potásicos y biotita secundaria. Esta alteración está estrechamente relacionada con la mineralización de cobre y molibdeno.

#### Alteración Fílica:

Rodeando la zona potásica, se encuentra la alteración fílica, que incluye minerales como sericita, cuarzo y clorita. Esta zona es típica de los márgenes de los cuerpos intrusivos y puede contener venas de sulfuros diseminados.

#### Alteración Propilítica:

A mayores distancias del núcleo del sistema se encuentra la alteración propilítica, con clorita, epidota y calcita. Esta alteración es indicativa de la periferia del sistema y, aunque no está directamente asociada con alta ley de mineralización, puede servir como guía para la prospección.

#### **Mineralización:**

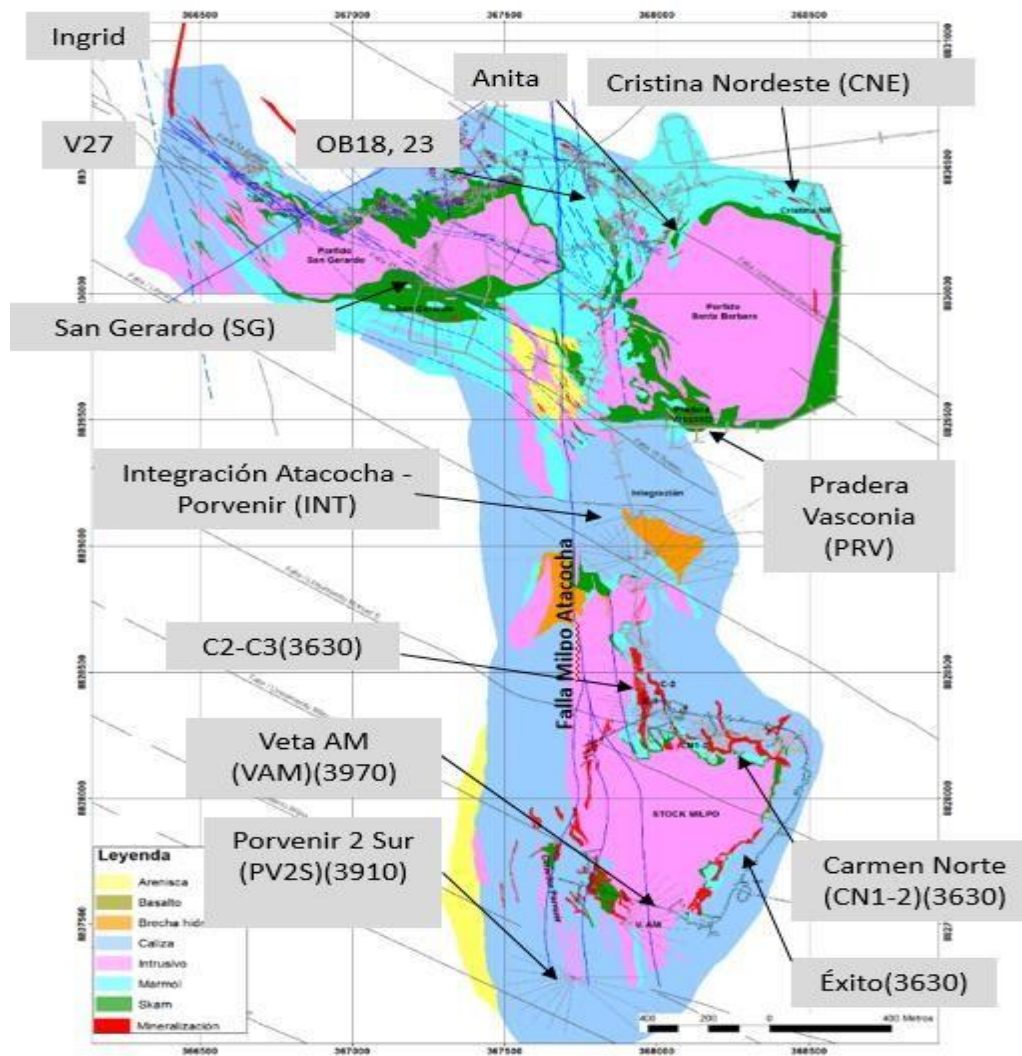
La mineralización en el yacimiento El Porvenir-Milpo está principalmente compuesta por:

Cobre: En forma de minerales como calcopirita y bornita, que están diseminados en venillas dentro de los intrusivos ígneos alterados.

Molibdeno: El molibdeno ocurre en forma de molibdenita y está presente en zonas de mayor alteración potásica.

Oro y Plata: Estos metales preciosos están presentes en menor cantidad, pero se encuentran asociados a los mismos eventos de mineralización hidrotermal, particularmente en venas más tardías o zonas de alteración avanzada.

**Figura 13** La mineralización en el yacimiento El Porvenir-Milpo



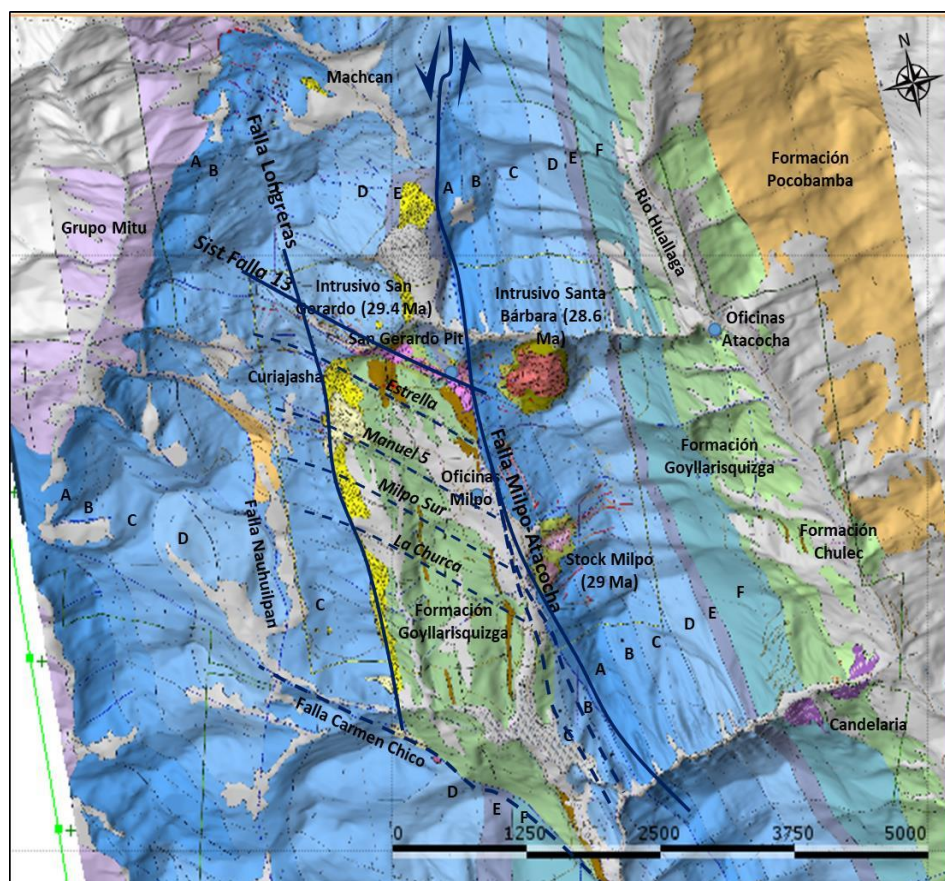
### Control estructural:

Las estructuras tectónicas como fallas (Milpo – Atacocha) y fracturas juegan un papel clave en la localización y distribución de la mineralización en el sistema de pórfido. En El Porvenir, las principales estructuras controlan la disposición de los cuerpos intrusivos y la circulación de fluidos hidrotermales, favoreciendo la concentración de minerales metálicos a lo largo de zonas de debilidad tectónica.

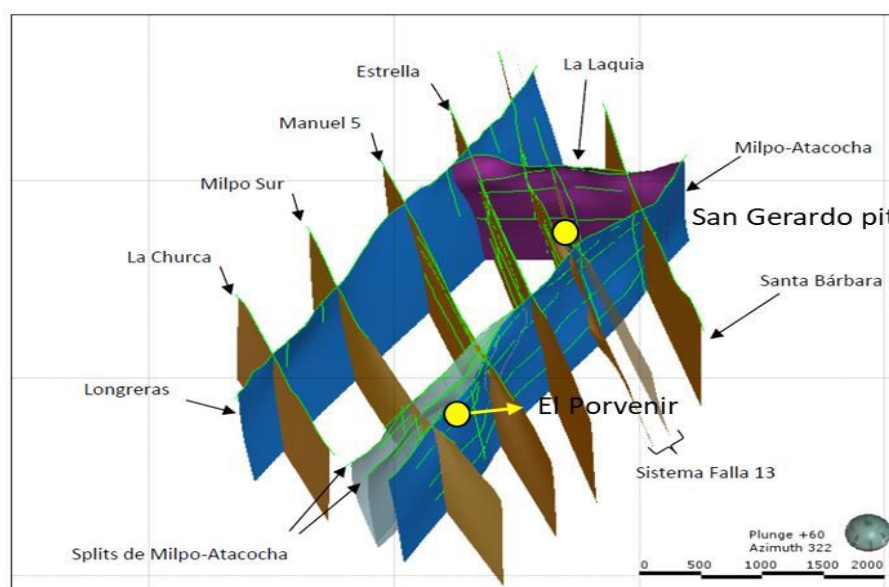
### Importancia del Sistema Pórfido:

Los sistemas pórfido, como el que se espera caracterizar en El Porvenir, son una de las principales fuentes de cobre y molibdeno a nivel mundial. Este tipo de depósitos se asocia a grandes volúmenes de mineralización diseminada, lo que los convierte en importantes objetivos de exploración y explotación minera. En este caso, el sistema de pórfido del Yacimiento El Porvenir-Milpo tiene el potencial de albergar grandes cantidades de recursos, especialmente si se confirman las características típicas de alteración hidrotermal y zonación mineral observadas en sistemas similares

**Figura 14** Sistema de pórfido del Yacimiento El Porvenir-Milpo



**Figura 15** *Splits de Milpo - Atacocha*



#### **4.1.5. Estratigrafía**

Entre las Formaciones Mitú y Goyllarisquizga, la Serie de Calizas Milpo fue nombrada Pucar por Me Laughlin en 1924 y en 1951 incluyó las Calizas Triásica Uliachin y Jurásica Paria por Jenck. Megad (1968) dividió el conjunto Pucará (en tres niveles): Chambará, Aramachay (Hetangiense-Sinemuriano Medio) y Condorsinga (Sinemuriano Superior-Turoniano Superior). Estudios paleontológicos J.L. Guizado señala que los fósiles recolectados en piedra caliza cerca de la Falla Milpo Atacocha muestran una edad similar a los estratos Noriense y Rético de la formación Chambará.

##### **Grupo Pucará**

Consiste en calizas de color gris oscuro a negro parduzco con lutita calcárea y nódulos cortos a 20°N, con un buzamiento vertical de 0,10 a 0,50 m en una distribución estratificada. Hasta 2000 metros de espesor. Según la edad de este grupo se pueden distinguir tres subgrupos: Chambará, Aramachay y Condorsinga, todos correspondientes a sedimentos estrictamente marinos.

### **Grupo Goyllarisquizga**

Yace en discordancia aparente o dudosa sobre el grupo Pucará, debido a que la falla Milpo - Atacocha juntan estas formaciones una al lado de otra. Tiene una litología muy variada representada por las siguientes rocas:

- Arenisca de grano variable de colores gris a pardo claro.
- Cuarzitas impuras de grano medio de color gris claro.
- Brechas de sílice y matriz de cuarzo - calcedonia.
- Lavas basálticas de textura amigdaloides de color gris a pardo.

### **Formación Aramachay**

Yace en concordancia paralela sobre el grupo Goyllarisquizga, con rumbo y buzamiento similar a este grupo, está representada principalmente por calizas arenosas de colores grises y pardos claro a amarillento, en bancos de 0.10 m. a 0.40 m. De espesor y horizontales inter estratificados de basalto de color marrón de textura amigdaloides, con una potencia de 100 m.

### **Rocas Intrusivas**

La intrusión Terciaria Milpo-Atacocha (K.A.M. Gunnesch) asociada con la zona magmática Cenozoica al suroeste del batolito de la costa, que está directamente relacionada con el batolito cordillera Blanca, formará una falla reservorio hipobisal (corrimiento andino) asociada con el sistema profundo. Relacionado con la tectónica andina. La distribución de cuerpos subvolcánicos en la zona es de aproximadamente 1 km<sup>2</sup> representada por Santa Bárbara, San Gerardo y Milpo. También existen diques e intrusiones de lecho rocoso en el tope de la caliza Pucará y cerca de Goyllarisquizga hacia la NS, utilizando como zona de entrada la falla Milpo-Atacocha y fallas preexistentes. Las intrusiones juegan un papel importante en la formación de sedimentos y la ubicación, el tamaño y la

mineralización de los yacimientos y vetas existentes. En la zona de contacto piedra-caliza intrusiva, existe una zona de alteración de metamorfismo, skarn y mármol.

### **Intrusivos dacíticos**

De composición "Granodiorítica, equivale a una dacita" en la clasificación de rocas volcánicas e hipabisales. Los "intrusivos dacíticos" están directa e indirectamente asociados con los cuerpos y vetas de mineralización económica del yacimiento.

### **Intrusivos andesíticos**

De composición "Diorítica", equivalente a la andesita, como roca volcánica e hipabisales.

### **Mineralización**

Son depósitos de contornos irregulares de gran magnitud verticalmente alargada de manera de tubos y de variada ocurrencia.

Cuerpos ubicados en las aureolas del contacto con el intrusivo Dacíticos más favorable asociada y diseminada en el skarn. La intensidad está controlada por la extensión del modelo fracturado, con una aureola de caliza decolorada o mármol.

Cuerpos emplazados en bloques erráticos de caliza englobados dentro de stock, que tiene áreas de 1 600 m<sup>2</sup>

Todos estos tipos de cuerpos mineralizados ocurren mayormente relacionados a los intrusivos dacíticos, no existiendo evidencias de su ocurrencia en o cerca de los contactos con los intrusivos Andecíticos, y profundizan algunos hasta el nivel 280 como AM., la veta V3 N° 6 solo hasta el nivel -50 etc., con características similares a los anteriormente descritos.



## Vetas

Las principales estructuras de vetas en Milpo estrechamente relacionadas con los sistemas de fracturamiento muestran las características del elipsoide de deformación originadas por su fuerza Comprensión de dirección E. Las vetas en fracturas de tensión tienen un rumbo N°65° a 70°E y N50° A 60°W, todas buzando al N.

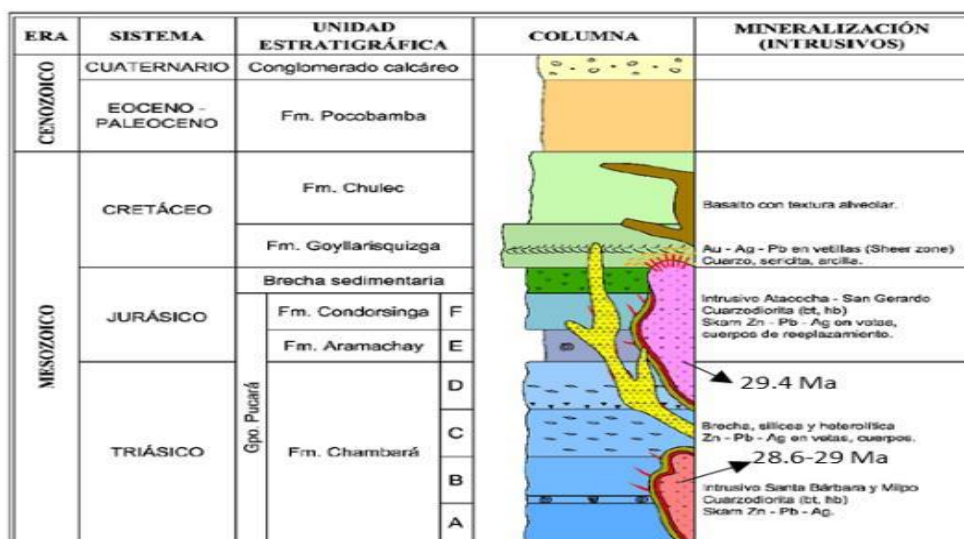
Las vetas tienen además características peculiares que las diferencian:

- Las vetas relacionadas a diques emplazados en fracturas que son continuación de diques.

Vetas en intrusivo y caliza, que cruzan tanto a las calizas como al stock y se presentan hacia el lado SE.

- Vetas en el grupo Goyllarisquiza por lo menos se conoce siete vetas de rumbo N40° E y N 70° E de buzamiento vertical, con 0.10 m. A 1.00 de ancho, ubicados en esta formación y al W de la falla Milpo - Atacocha. Son vetas con mineralización irregular de acuerdo con el tipo de roca que cruzan favorable en arenisca y no favorable en lutitas.

**Figura 16 Vetas en Milpo**



## **Geología Estructural**

Las estructuras predominantes en el depósito Milpo, en orden cronológico, son: Sinclinal Milpo Atacocha, Falla Regional Milpo Atacocha y fracturamientos.

El Sinclinal Milpo-Atacocha Es un pliegue asimétrico de la cúpula, cuyo eje está dirigido al NW. Durante la segunda fase de la orogenia andina (Inkafold), ocurrida entre el Eoceno y el Oligoceno del período Terciario, los sedimentos de los depósitos se comprimieron en dirección este-oeste, resultando en la exposición de la caliza Pucará en el medio. Y a lo largo de toda la longitud del eje de inclinación vertical. El grupo Goyllarisquizga se hunde 50° al oeste.

### **La Falla Regional Milpo-Atacocha**

Es la estructura de mayor importancia del distrito y tiene un rumbo N-S con longitudde 15 Km. desde Yarusyacán en el norte hasta Carmen Chico en el Sur, Megard (1919) considera que la falla Milpo Atacocha pertenece a un sistema de fractura miento que estuvo activo desde el Triásico tardío.

### **Fracturamientos**

En el distrito se presentan varios sistemas de fracturamiento más jóvenes concordantes con la tectónica de bloques, relacionadas con las fuerzas compresionales E a O, que de acuerdo con el "elipsoide de deformación" unas corresponderían a fracturas de tensión (rumbo E-O) y otras de fracturas de cizalla rumbo N65° - 70°E y N50° - 60°O.

## **Mineralogía**

Los minerales que se encuentran presente en el área de estudio son principalmentelos siguientes:

- Esfalerita

Se encuentra mayormente compacta, granular y fina granular-fina, cristalizada y masiva; los cristales son de forma de tetraedros y cubos.

- Galena

Se presenta mayormente bien cristalizada, principalmente en las zonas de mármol, en cristales cúbicos de clivaje perfecto, también compacta y masiva; presenta porcentajes altos de plata.

La galena se encuentra en buenas cantidades después de la esfalerita con la que se está asociada, constituye al segundo mineral principal de mena, después de la esfalerita.

- Pirita

Se encuentra por lo general formando grandes masas, normalmente cristalizada, casi siempre en cubos y piritoedros.

Presenta maclas y las caras de los cristales son paralelas a las aristas del cristal; los cristales encontrados en Milpo llegan a tener hasta 0.05 m de diámetro. Comúnmente se encuentra en la roca intrusiva rellenando fracturas y como cristales de impregnación. También en estado masivo asociada a la esfalerita más que a la galena. La pirita ocurre casi en todo yacimiento, pero en mayor cantidad en la aureola de contacto caliza - intrusivo (endoskarn).

- Calcita

Se encuentra rellenando fracturas, asociada a minerales de mena en geodas y drusas, como especie de tapiz. Se presenta en todas sus formas de cristalización: escalenoédrica. La mayoría de las veces ésta presenta compacta en cristales diminutos y en mayoría de los casos es de color blanco, amarillento a grisáceo por las impurezas, su brillo es vidrio - resinoso.

- Calcopirita

Se ven muy pequeña cantidad en forma de impregnaciones y venillas dentro del intrusivo, normalmente en el contacto caliza intrusivo y a profundidad.

### **Metamorfismo**

La mineralización del distrito de Milpo - Atacocha está asociada a la zona de metamorfismo de contacto entre intrusivos hipabisales: stocks, sills y diques y las rocas sedimentarias de las formaciones Pucará, principalmente Goyllarisquizga que ocurren al E de la falla Milpo - Atacocha. Dos stocks uno ácido dacítico y otro básicoandesítico provenientes de la cámara magmática andina, marmolizaron a las calizas Pucará en el contacto y el proceso metasomático originó skarn.

En los bordes de los contactos se originó el endoskarn granates andradíticos y diopsidos, los stocks erráticos de caliza englobados dentro del intrusivo se metamorfizan, también a diópsido andradita, wollastonita, vesuvianita.

Durante el enfriamiento se produjo el metamorfismo retrógrado, las soluciones forman exoskarns y los volátiles migran al interior del intrusivo incrementando la presión, que rompe expansivamente la costra sólida por el escape de volátiles, originando espacios vacíos que son ocupados por soluciones que depositan nuevos minerales; feldespato potásico, esfalerita, calcopirita, galena, pirita. Las soluciones circularon a lo largo de los contactos formando aureolas y de las diversas vías relacionadas al fracturamiento, donde los minerales de las soluciones remplazaron a las calizas en variadas intensidades, aparentemente los contactos con los intrusivos andesíticos no fueron favorables para esta deposición.

En superficie el remplazamiento está limitado a vetas angostas e irregulares y a cuerpos de brechas de pequeña magnitud, que en profundidad forman depósitos bien mineralizados.

Existen zonas o intervalos a lo largo del contacto donde la caliza muestra escasa o ninguna alteración y otras donde el fracturamiento y alteración es intensa y aunque la mineralización no está íntegramente confinada en las calizas alteradas, éstas son las áreas más favorables y económicas.

La mineralización también ocurre en brechas calcáreas y en los intrusivos que contienen mineralización en vetillas.

### **Alteraciones de la roca y del mineral**

Con respecto a las alteraciones debemos considerar tres tipos:

- Alteraciones hipógenas de calizas.
- Alteraciones supérgenas de calizas.
- Alteraciones supérgenas de minerales.

La alteración hipógena de las calizas representada por la caolinización y piritización del tipo hidrotermal, la silicificación, cloritización, propilitización, calcitización, propilitización, y recristalización de las calizas (mármol). La alteración hipógena es previa a la metalización y es de alcance epitermal.

La alteración supérgena de calizas está representada por la limonitización de la piritización, caolinización de los volcánicos y rocas intrusivas y la disolución de las calizas.

La alteración supérgena de los minerales está constituida por la limonitización de la pirita; la esfalerita y la galena son reacios a la alteración supérgena, la misma que no es profunda. Sin embargo, estos halos de alteración

se distribuyen muy irregularmente y su extensión varía desde algunos centímetros a más de 100 metros.

En el intrusivo la alteración de la roca varía de muestra en muestra y consiste en la descomposición de los ferromagnesianos (biotita y hornblenda) en clorita, calcita, así como la de los feldespatos en Clorita y caolín. En casi todos los casos el intrusivo se encuentra piritizado en los márgenes del cuerpo, y relacionados especialmente con la mineralización de plomo y zinc. En la zona de contactos predomina fundamentalmente el skarn con granate, diópsido y epídota; se observa a veces una débil propilitización. Es de suma importancia la localización y análisis de las alteraciones, nos estará indicando la probable proximidad de cuerpos mineralizados y una escasa mineralización o ausencia de la misma, nos estará manifestando una nula o pobre mineralización. En las intrusivas (F. De las Casas y C. Canepa) se observaron los siguientes minerales de alteración: Clorita, Epídota La calcita como descomposición de los minerales ferromagnesianos. Clorita sericita y caolín como descomposición de los feldespatos así como también piritización. En las calizas se aprecia aureolas de recristalización marmolización, silicatización (skarn) y piritización relacionada con la mineralización de Pb. y Zn. Por lo tanto, la alteración del yacimiento de Milpo estaría representada por: Marmolización silicatización, sausseritización, sericitización, propilitización y argilitización.

### **Controles de mineralización**

Los controles de mineralización, a los cuales ha sido sometido nuestro yacimiento, son los siguientes:

- Control Litológico

La sustitución está restringida únicamente a las calizas Pucará, reflejan ordinariamente un evidente control litológico, desde el punto de vista de presencia del intrusivo a través de la falla Atacocha entre dichas calizas Pucará al este y las areniscas Goyllarisquizga hacia el Oeste, notándose remplazamiento y formación de cuerpos irregulares en las calizas y rellenos en fracturas de poca importancia en las areniscas con someras impregnaciones de Sulfuros en areniscas gruesas.

El mármol blanco a gris blanquesino es más favorable a la formación de cuerpos mineralizados de plomo y plata con poco porcentaje de zinc.

- Control Mineralógico

La frecuencia distribución de las concentraciones de pirita, zinc pirita-zinc-plomo, plata, dentro de la asociación mineralógica de los contactos, es una evidencia concreta de la influencia de los controles mineralógicos durante el proceso de mineralización. La distribución predominante de la pirita cerca del endoskrarn (Skarn desarrollado dentro del intrusivo) sugiere un intenso remplazamiento de los calcosilicatos por dicho mineral en la distribución horizontal, predominando así en profundidad. La poca asociación del plomo y la plata en las masas de pirita es claramente definida en los cuerpos; la presencia de fluorita y venillas de galena es un control mineralógico importante para la determinación de cuerpos o lentes en la zona de mármol dentro de la aureola de contacto.

En suma, la asociación de los cuerpos tiene una dirección horizontal indicada, partiendo de la alteración del intrusivo hacia la zona de skarn, terminando en el mármol y la caliza negra; en función de condiciones

adecuadas; temperatura, presión y tiempo; la evolución de las asociaciones mineralógicas establece un estado ambiental de una aproximada constancia de azufre, una disminución de fierro y un crecimiento del contenido de zinc, plomo y plata hacia el mármol. El mineral de cobre se encuentra en proporciones insignificantes en los niveles es más notoria y siempre relacionada a las masas de pirita.

- Control estructural

Es uno de los principales controles geológicos de la mineralización, sin cuya presencia no habría sido posible el remplazamiento de la magnitud del yacimiento de Milpo, ya que la distribución de los silicatos y sulfuros tiene una relación estrecha con las diversas estructuras. Las siguientes evidencias sostienen dicha relación:

- Además de la sustitución por los silicatos de la parte afectada del calcáreo Pucará, existen halos de los mismos, en las paredes de las diversas fracturas y fallas localmente desarrolladas en las calizas.
- A pesar del remplazamiento parcial del skarn por los sulfuros (pirita, esfalerita, galena), se observa en algunos sitios de la mina, un control por fallas y dique. En la parte Oeste de la mina las fracturas tensionales preliminares que siguen una orientación general Este - Oeste han sido rellenados por minerales de plata -plomo y zinc. Un control interesante se considera la brecha producida por minerales tectónicos, principalmente en las calizas al norte de los cuerpos veta 3 y éxito, zona denominada Carmen Norte.



- **Control por Contacto**

Es el principal control de la mineralización de Milpo; es el control por contacto entre el intrusivo Milpo y las calizas Pucará.

Las soluciones hidrotermales portadores de los sulfuros metálicos, aprovecharon el contacto y el fracturamiento existente como zonas de debilidad para circular y depositar su contenido metálico en un proceso de solución y deposición esencialmente simultáneo. De esta forma encontramos mineral como lentes de remplazamiento en la zona de contacto, principalmente en el mármol y el skarn, también como filones de pequeña corrida que cruzan el contacto a ambos lados ya lo largo de él. En resumen, la mineralización que se encuentra en los contactos siempre está relacionada con el fracturamiento.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

##### **Geología preliminar del sistema porfirítico**

La investigación se ha basado en la revisión del D.D.H. N° 2614 ubicado a la altura del Niv. - 600 (3470m.s.n.m) para conocer sobre la posible presencia de un pórfido de cobre dentro del complejo de intrusivos Milpo.

Este D.D.H. fue perforado con la finalidad de reconocer la zona de contacto del intrusivo con la caliza tipo B (Plano geológico preliminar).

La zona de contacto está bien descrita con el logueo que realizó el departamento de geología de la unidad minera.

Se revisó las 132 cajas que contienen los cores de los 501 metros perforados de este sondaje, con el fin de observar alguna evidencia de las características de un posible pórfido de cobre.

## Caracterización geológica

Después de la observación petrológica y mineralógica de los cores (testigos) se tiene la siguiente caracterización:

1. Relación espacial y temporal con cuerpos intrusivos. Stocks subvolcánicos (intrusiones epizonales; 1-5 km de profundidad) de composición félsica, usualmente porfíricos con fenocristales de plagioclasa, biotita y hornblenda. Existe una relación con una roca intrusiva de tipo andesítico de composición félsica, en la roca intrusiva hay un cambio de textura, modificándose a una textura porfirítica con fenocristales de feldespato en una masa fundamental cristalina de grano fino.

Debido a la naturaleza relativamente poco profunda se le denominan intrusivos epizonales, por esa razón los cristales se originaron cerca de la superficie con cristales equigranulares con grano moderadamente grueso se observa remanentes de la roca original alterada, con fuerte vetilleo relleno con pirita.

***Figura 17 Roca porfirítica con venillas de pirita y cuarzo.***



**Figura 18** Muestra de mano de roca porfirítica en la caja N° 71 a los 260.5 m



2. Cambio de alteración en el intrusivo desde los 230 m. hasta los 430 m.

Se observa alteración fílica; en la caja N° 66, además venilleo de cuarzo y pirita.

3. Además, la presencia de vetillas de cuarzo a manera de stockwork, que confirman la presencia de un sistema tipo pórfido que podría ser uno de los pórfidos causativos de la mineralización en el yacimiento El Porvenir.

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.

4. Presencia de alteración hidrotermal de moderada a fuerte, principalmente silicificación.

Caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original. La roca queda convertida en una masa silícea. Representa el mayor grado de hidrólisis posible.

5. Presencia de vetillas tipo D rellenas con pirita y trazas de calcopirita.
6. Presencia de vetillas tipo A rellenas con cuarzo.
7. Presencia de ojos de cuarzo.

8. Moderada alteración argílica sobre impuesta a una débil alteración fílica, (cuarzo, sericita, pirita)

La alteración argílica externa está compuesta de minerales de arcilla, montmorillonita, clorita, pirita.

En la alteración fílica los feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) son transformados a sericita y cuarzos secundarios, con cantidades menores de caolinita. Los minerales máficos están completamente destruidos en este tipo de alteración.

9. Presencia de biotita primaria inalterada.

El predominio de biotita depende esencialmente de la disponibilidad de Fe 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. Estas características son comunes en un sistema tipo pórfido con fuerte a moderado vetilleo de cuarzo tipo D y puntualmente A.

10. La mineralización predominante es la pirita

La mineralización presenta baja ley que contiene pirita diseminada que grada haciafuera. 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 rocano mineralizada.

La zona de mena se encuentra en la zona fílica.

11. Posible origen del pórfido

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 como resultado de su 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 exceso de agua es esencialmente expulsada en forma gaseosa (de ahí el término de segunda ebullición) si es liberada cerca de la superficie terrestre. Cuando se libera esta agua, elementos como el azufre, cobre, molibdeno y oro pueden concentrarse en solución en ella. Cuando la parte acuosa del magma es expulsada por ebullición el exceso de presión produce brechas 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.

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** No existe un sistema de mineralización tipo pórfido en el Yacimiento El Porvenir, y las características geológicas observadas no corresponden a este tipo de yacimiento.

**Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ):** Existe un sistema de mineralización tipo pórfido en el Yacimiento El Porvenir, cuyas características geológicas y perforaciones diamantinas son consistentes con este tipo de sistema mineral.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Los resultados preliminares deben evidenciar intrusiones ígneas en la zona de estudio, junto con estructuras de alteraciones características de sistemas de pórfido cuprífero, como las zonas de alteraciones potásica, fílica, argílica y propilítica.

Los análisis de concentración de elementos traza (Cu, Mo, Au) en muestras de roca permiten identificar zonas de enriquecimiento mineral, indicativas de una posible mineralización de pórfido. Resultados con

concentraciones significativas de cobre y molibdeno respaldarían la presencia de este tipo de sistema mineral.

La presencia de alteraciones potásicas y fílicas junto con valores anómalos de elementos asociados es un factor clave. La compensación positiva entre las concentraciones de estos elementos y las zonas de alteración sería un indicador sólido de mineralización, alineándose con la hipótesis y estudios internacionales como el de Sillitoe (2010).

La interpretación de estructuras en la zona permite entender cómo se distribuye la mineralización y cuál es el control estructural sobre el yacimiento. La presencia de fallas o fracturas en ciertas zonas podría sugerir vías de migración de fluidos hidrotermales, algo común en sistemas de pórfido.

Si los patrones estructurales identificados se alinean con los modelos de pórfidos, los resultados indican potencial para profundizar la exploración. La similitud de patrones estructurales con otros depósitos de pórfido cuprífero en la región agregaría credibilidad a la hipótesis.

## **CONCLUSIONES**

1. El D.D.H. N° 2614 ubicado en el Nivel (- 600) a la cota de 3470 msnm. Presenta un sector desde los 230 m. hasta 430 m. con características de un sistema tipo pórfido.
2. Esta revisión rápida de los cores es un primer avance de chequeo y comprobación del D.D.H. N° 2614, en el cual hay evidencias que caracterizan la presencia de un posible pórfido.
3. La presencia de este pórfido en el yacimiento Milpo, puede ser uno de los causativos de la mineralización existente en el yacimiento.
4. Este pórfido estaría apareciendo aproximadamente a los 800 metros debajo de la superficie lo cual no es nada extraño en estos sistemas. Esta ocurrencia ayuda mucho en la interpretación del yacimiento Milpo y también en el potencial geológico que se puede tener en profundidad donde la mineralización puede bajar a cientos de metros debajo del Nivel. (- 600) de cota 3470 msnm.



## **RECOMENDACIONES**

1. Loguear la zona de interés del DDH N° 2614 con criterio de un pórfido y muestrear los cores. El muestreo de la zona de interés debe tener 1.5. m. o 2 m. de ancho de muestra en forma sistemática.
2. Buscar más evidencias del pórfido en niveles más profundos, en los DDH que se hayan perforado hacia el intrusivo. Los DDH generalmente en la mina se perforan hacia la zona de contacto y algunos metros más en el intrusivo.
3. Programar al menos 3 taladros diamantinos en otros niveles debajo del Nivel (-600) en la búsqueda de más evidencias y la posible continuidad del pórfido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, J. (2017). "*Evaluación Geoquímica y Geofísica de Pórfidos Cupríferos en el Yacimiento Toromocho, Junín*". Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Brown, R. (2019). "Geología y mineralización del yacimiento de pórfido de Oyu Tolgoi, Mongolia". *Economic Geology* , 114(5), 987-1005.
- Camus, F. (2002). *Geología de los sistemas porfíricos cupríferos andinos*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago de Chile.
- Cooke, DR, Hollings, P., & Walshe, JL (2005). *Depósitos de pórfido gigante: características, distribución y controles tectónicos*. *Economic Geology* 100th Anniversary, 29-53.
- Chávez, R. (2015). "*Estudio geológico de los pórfidos cupríferos del yacimiento Colquijirca, Pasco, Perú*". Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Clarke, D. (2016). "Geología y mineralización de pórfido de molibdeno en el distrito de San Manuel, Arizona". *Journal of Economic Geology* , 111(2), 235-256.
- Gamarra, A. (2017). "*Geología y control estructural en la mineralización del pórfido cuprífero en el yacimiento Toromocho, Junín, Perú*" . Universidad Nacional de Ingeniería.
- González, P. (2020). *Exploración y Modelamiento Geológico de Sistemas de Pórfidos de Cobre en los Andes, Chile* [Tesis de maestría, Universidad de Chile].
- Huamán, D. (2020). "*Estudio Geológico y Estructural del Pórfido Cuprífero en el Yacimiento Antamina, Áncash, Perú*". Universidad Nacional de Ingeniería.
- Lee, K. (2018). "Alteración hidrotermal y mineralización en el yacimiento de pórfido de cobre de Grasberg, Indonesia". *Ore Geology Reviews* , 94, 355-370.

- Lowell, JD, & Guilbert, JM (1970). *Zonificación de mineralización y alteración lateral y vertical en depósitos de minerales porfídicos*. Economic Geology, 373-408.
- Martínez, J. (2017). “*Caracterización de Sistemas de Pórfidos de Cobre en la Faja Volcánica de Colima, México*” [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Martínez, J. (2019). “*Geología y zonación mineral en el pórfido cuprífero del yacimiento Antapaccay, Cusco, Perú*”. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Morales, J. (2020). “*Evaluación geológica del potencial de mineralización, zona Longreras Oeste, unidad minera El Porvenir*”, 2019. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Pérez, L. (2019). “*Alteración Hidrotermal y Mineralización en el Sistema de Pórfido Cuprífero del Yacimiento Constancia, Cusco, Perú*”. Artículo Científico.
- Quispe, M. (2018). “*Mineralización y alteraciones hidrotermal en el pórfido cuprífero del yacimiento Las Bambas, Apurímac, Perú*”. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco.
- Ramos, E. (2018). *Control estructural y distribución de la mineralización en el yacimiento de pórfido cuprífero de Cerro Verde, Arequipa*. Revista Peruana de Geología.
- Seedorff, E., Dilles, JH, Proffett, JM, Einaudi, MT, Zurcher, L., & Stavast, WJ (2005). *Depósitos de pórfido: características y origen de los rasgos hipógenos*. Economic Geology 100th Anniversary, 251-298.
- Sillitoe, RH (2010). *Sistemas de pórfido cuprífero*. Economic Geology, 105(1), 3-41.  
DOI: 10.2113/gsecongeo.105.1.3
- Torres, M. (2016). *Caracterización geológica y geoquímica del pórfido cuprífero en el yacimiento Las Bambas, Apurímac*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

**ANEXOS:**

## **INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- Libreta de campo geológico.
- Cámara fotográfica.
- Brújula geológica.
- Sistema de posicionamiento global.
- Martillo geológico.
- Bolsas para muestras etiquetadas.
- Brújula geológica.
- Mapas geológicos
- Equipos de espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF).
- Espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).
- Análisis químico en laboratorio especializado.

Sample	UTM East	UTM North	Station	Line	Elevation	Depth	Au	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	S	Zn
CHS001	565992	8601642			4133	0.7	0.014	0.2	34	232	4.6	5370	178	44	0.05	134
CHS002	565855	8601747	1750	5850E	4150	0.6	0.049	1.8	42	588	4.63	211	95	60	0.16	68
CHS003	565856	8601803	1800	5850E	4157	0.4	0.02	1.7	24	338	3.77	95	69	58	0.15	47
CHS004	565852	8601854	1850	5850E	4159	0.5	0.014	<0.2	6	40	3.3	182	6	16	0.06	99
CHS005	565855	8601903	1900	5850E	4182	0.7	0.045	0.2	17	158	4.42	240	9	13	0.28	51
CHS006	565856	8601955	1950	5850E	4190	0.3	0.062	0.6	11	160	2.96	84	22	65	0.07	34
CHS007	565850	8601998	2000	5850E	4222	0.34	0.021	0.3	12	93	3.64	108	11	24	0.12	27
CHS008	565852	8602050	2050	5850E	4235	0.4	0.024	0.2	18	90	3.02	122	11	25	0.11	33
CHS009	565850	8602098	2100	5850E	4216	0.26	0.031	0.5	44	175	3.95	1020	38	75	0.08	49
CHS010	565853	8602146	2150	5850E	4191	0.4	0.028	0.2	31	44	0.97	28	5	114	0.02	18
CHS011	565856	8602203	2200	5850E	4154	0.75	0.031	0.9	52	688	13.2	155	6	87	0.16	80
CHS012	565856	8602256	2250	5850E	4130	0.72	0.019	0.5	11	56	4.56	118	8	23	0.34	33
CHS013	565852	8602299	2300	5850E	4092	0.5	0.029	1	25	106	4.68	126	13	298	0.08	57
CHS014	565852	8602349	2350	5850E	4066	0.48	0.02	<0.2	23	282	4.02	1400	8	15	0.03	152
CHS015	565859	8602401	2400	5850E	4076	0.5	0.007	0.2	13	98	4.84	437	14	19	0.05	77
CHS016	565855	8602449	2450	5850E	4081	0.65	0.01	0.5	34	113	4.21	336	5	38	0.07	166
CHS017	565849	8602502	2500	5850E	4069	0.7	0.007	0.5	70	164	4.32	3360	20	45	0.09	282
CHS018	565841	8602547	2550	5850E	4071	0.51	0.01	0.6	18	65	3.45	442	4	27	0.18	194
CHS019	565849	8602603	2600	5850E	4091	0.37	0.018	0.4	25	41	3.53	273	5	77	0.06	76
CHS020	565843	8602656	2650	5850E	4101	0.33	0.01	1.4	20	39	3.73	174	3	202	0.16	82
CHS021	565843	8602700	2700	5850E	4097	0.42	0.007	1	13	52	3.65	216	10	229	0.09	76
CHS022	565849	8602751	2750	5850E	4078	0.72	0.008	0.6	8	32	2.89	154	4	134	0.07	51
CHS023	565855	8602802	2800	5850E	4104	0.54	0.011	1.1	12	24	3.96	133	6	276	0.09	50
CHS024	565846	8602872	2850	5850E	4108	0.22	0.005	0.2	2	16	3.73	154	3	29	0.14	52
CHS025	565856	8602914	2900	5850E	4170	0.36	0.009	<0.2	7	21	3.9	101	6	52	0.09	35
CHS026	565602	8602904	2900	5600E	4230	0.69	0.022	0.6	28	140	5.22	421	4	236	0.04	70
CHS027	565602	8602848	2850	5600E	4276	0.5	0.006	0.2	17	75	5.01	502	3	77	0.05	102
CHS028	565585	8602828	2800	5600E	4262	0.31	0.005	<0.2	11	4	2.86	478	1	15	0.03	61

CHS029	565591	8602752	2750	5600E	4251	0.52	0.009	1.3	8	9	2.32	102	2	135	0.01	44
CHS030	565594	8602706	2700	5600E	4228	0.16	0.006	<0.2	10	7	3.28	118	3	29	0.03	37
CHS031	565602	8602655	2650	5600E	4224	0.68	<0.005	<0.2	5	8	2.67	91	4	32	0.07	37
CHS032	565611	8602597	2600	5600E	4205	0.83	0.014	2.6	13	36	4.08	102	5	996	0.07	52
CHS033	565603	8602556	2550	5600E	4181	0.36	0.02	0.5	53	77	4.71	152	7	149	0.05	90
CHS034	565597	8602502	2500	5600E	4173	0.82	0.018	<0.2	35	47	4.16	384	5	48	0.09	79
CHS035	565601	8602451	2450	5600E	4172	0.4	0.007	0.8	54	152	2.79	2360	4	17	0.19	156

Sample	UTM East	UTM North	Station	Line	Elevation	Depth	Au	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	S	Zn
CHS036	565597	8602402	2400	5600E	4173	0.7	0.013	0.3	107	36	4.73	444	3	53	0.04	108
CHS037	565604	8602346	2350	5600E	4173	0.51	0.019	0.6	57	210	0.68	30	1	16	0.22	39
CHS038	565591	8602285	2300	5600E	4159	0.51	0.018	2.5	385	514	16.6	11400	40	62	0.07	320
CHS039	565599	8602246	2250	5600E	4172	0.77	0.046	0.7	32	68	4.44	407	3	59	0.1	48
CHS040	565600	8602200	2200	5600E	4196	0.66	0.045	<0.2	19	60	5.37	72	3	25	0.5	27
CHS041	565606	8602152	2150	5600E	4235	0.44	0.015	0.5	45	76	10.9	43	10	71	0.34	14
CHS042	565606	8602095	2100	5600E	4271	0.63	0.013	0.4	24	138	4.61	211	6	45	0.07	49
CHS043	565605	8602054	2050	5600E	4303	0.5	0.029	0.2	13	136	6.55	140	6	16	0.15	37
CHS044	565595	8601997	2000	5600E	4329	0.58	0.027	0.3	19	151	6.23	130	8	22	0.06	30
CHS045	565599	8601948	1950	5600E	4307	0.6	0.012	<0.2	9	31	2.79	81	7	25	0.08	24
CHS046	565601	8601899	1900	5600E	4302	0.53	0.008	2.3	27	66	3.72	75	7	1440	0.2	52
CHS047	565603	8601846	1850	5600E	4286	0.45	0.014	0.4	29	108	2.81	311	8	42	0.01	47
CHS048	565599	8601795	1800	5600E	4289	0.6	0.017	0.5	23	125	5.28	105	4	46	0.12	36
CHS049	565599	8601742	1750	5600E	4297	0.32	0.013	0.2	22	15	4.14	87	2	21	0.2	23
CHS050	565595	8601703	1700	5600E	4318	0.58	0.009	0.4	10	36	4.83	164	2	20	0.16	33
CHS051	565599	8601641	1650	5600E	4324	0.63	0.01	0.2	31	90	6.73	224	4	10	0.68	41
CHS052	565599	8601603	1600	5600E	4338	0.14	0.019	0.2	29	99	7.36	327	2	20	0.29	51
CHS053	565598	8601551	1550	5600E	4352	0.54	0.016	0.4	34	51	6.58	363	2	56	0.15	88
CHS054	565598	8601491	1500	5600E	4364	0.27	0.019	1.7	66	72	6.34	351	4	60	0.14	85
CHS055	565602	8601452	1450	5600E	4385	0.79	0.016	0.4	26	59	4.44	296	16	26	0.13	54
CHS056	565603	8601405	1400	5600E	4415	0.5	0.013	<0.2	38	75	7.31	282	4	17	0.33	47
CHS057	565592	8601341	1350	5600E	4435	0.47	0.019	0.3	55	53	5.04	94	6	47	0.12	52
CHS058	565599	8601299	1300	5600E	4392	0.78	0.013	1.2	91	37	3.33	728	25	148	0.05	178
CHS059	565602	8601248	1250	5600E	4397	0.46	0.018	0.5	74	30	6.16	113	6	48	0.23	63
CHS060	565602	8601204	1200	5600E	4399	0.38	0.022	0.4	110	30	6.01	247	6	47	0.22	79
CHS061	565590	8601147	1150	5600E	4410	0.32	0.041	2.1	895	20	8.52	114	4	506	0.25	625
CHS062	565600	8601106	1100	5600E	4402	0.64	0.02	0.7	118	24	8.92	184	5	62	0.32	57



CHS063	565597	8601051	1050	5600E	4384	0.66	0.015	0.9	116	39	4.09	280	3	172	0.09	227
CHS064	565591	8601006	1000	5600E	4362	0.58	0.02	2	100	40	4.71	183	4	100	0.13	63
CHS065	565596	8600941	950	5600E	4358	0.49	0.009	0.2	89	39	3.29	189	1	27	0.06	47
CHS066	565594	8600903	900	5600E	4330	0.4	0.023	0.6	169	44	7.31	222	4	139	0.17	139
CHS067	565600	8600851	850	5600E	4306	0.29	0.017	0.7	159	84	6.72	186	5	144	0.1	113
CHS068	565598	8600803	800	5600E	4281	0.45	0.01	0.5	37	61	5.98	524	4	32	0.14	341
CHS069	565590	8600743	750	5600E	4252	0.43	0.013	0.8	97	64	5.88	703	1	57	0.11	172
CHS070	565604	8600689	700	5600E	4249	0.45	NSS	<0.2	57	69	5.82	670	6	30	0.12	132
CHS071	565602	8600646	650	5600E	4222	0.25	0.031	0.8	125	36	4.48	161	5	61	0.07	102
CHS072	565850	8601699	1700	5850E	4159	0.23	0.008	<0.2	6	35	3.32	73	6	140	0.16	31
CHS073	565853	8601649	1650	5850E	4166	0.46	0.032	0.5	4	91	3.03	91	11	19	0.15	30
CHS074	565851	8601605	1600	5850E	4206	0.53	0.044	0.4	11	130	3.8	129	16	174	0.12	41
CHS075	565834	8601547	1550	5850E	4207	0.35	0.029	0.6	25	115	3.49	190	14	81	0.1	95
CHS076	565849	8601496	1500	5850E	4235	0.43	0.16	56	263	411	7.19	15450	49	>10000	0.01	1390
CHS077	565856	8601450	1450	5850E	4262	0.5	0.051	0.4	26	97	2.9	165	6	101	0.06	65
CHS078	565846	8601408	1400	5850E	4280	0.35	0.007	<0.2	12	49	2.58	107	10	29	0.11	37
CHS079	565844	8601353	1350	5850E	4297	0.52	0.012	0.4	12	86	3.15	190	4	70	0.1	41
CHS080	565851	8601302	1300	5850E	4322	0.51	0.014	0.3	21	41	4.48	73	5	45	0.13	42