

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTERMALES EN  
COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2017.**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:

**Bachiller: Yordi David Cacho Yupanqui**

Asesor:

**M.Cs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani**

**Cajamarca – Perú**

**- 2021 -**

## **AGRADECIMIENTO**

Un sincero agradecimiento a todos los docentes de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica y demás personas que me brindaron su apoyo y conocimiento incondicional.

Un agradecimiento especial al M.Cs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, asesor de tesis, quien con su orientación y revisión, fue posible la publicación de esta tesis.

Así mismo un agradecimiento a toda mi familia por el apoyo constante para alcanzar mis objetivos.

## **DEDICATORIA**

Principalmente a Dios que me protege y me guía en todo momento. A mi familia, especialmente a mi Madre, Padre y a mis tres hermanas, por el apoyo y motivación constante e incondicional brindado durante mi formación académica, profesional y personal para poder superarme cada día.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	vii
LISTA DE FOTOMICROGRAFÍAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
2.2	BASES TEÓRICAS .....	4
2.2.1.	Generalidades Teóricas Sobre Depósitos Epidermales.....	4
2.2.2	Alteraciones Hidrotermales .....	9
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	12

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
3.1.1	Geográfica .....	14
3.1.2	Política.....	14
3.1.3	Accesibilidad .....	14
3.2	PROCEDIMIENTOS .....	17
3.2.1	Metodología .....	17
3.2.2	Definición de variables.....	17
3.2.3	Técnicas.....	17
3.2.4	Instrumentos y equipos.....	19

	Pág.
3.3	GEOMORFOLOGÍA ..... 20
3.3.1	Unidades Geomorfológicas. Clasificación Ortiz. 2017..... 20
3.3.2	Fisiografía..... 22
3.4	GEOLOGÍA REGIONAL..... 24
3.5	GEOLOGÍA LOCAL..... 25
3.5.1	Estratigrafía ..... 25
3.6	MARCO TECTÓNICO REGIONAL ..... 29
3.6.1	Mesozoico (Triásico - Cretáceo) - Fase Nevadina ..... 29
3.6.2	Cenozoico..... 30
3.7	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... 32
3.7.1	Pliegues ..... 33
3.7.2	Fallas ..... 33
3.7.3	Fracturas ..... 34
3.8	TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS ..... 35
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	
4.1	MINERALIZACIÓN ..... 37
4.1.1	Estudios microscópicos de minerales..... 38
4.1.2	Minerales Económicos ..... 39
4.2.3	Minerales Accesorios ..... 51
4.2	ALTERACIONES HIDROTERMALES ..... 59
4.2.1	Silicificación..... 59
4.2.2	Piritización ..... 63
4.2.3	Alteración Argílico ..... 64
4.2.4	Alteraciones Supergenias ..... 65
4.3	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ..... 66
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	CONCLUSIONES ..... 67
5.2	RECOMENDACIONES ..... 68
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 69

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estilos y geometrías de los depósitos epitermales, ilustran la influencia estructural, hidrotermal y permeabilidad litológica (modificado de Sillitoe, 1993; y Hedenquist, 1996).....	5
Figura 2: Zonamiento típico de alteración para un depósito de alta sulfuración.....	6
Figura 3: Zonamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (modificado de Buchanan, 1981).....	6
Figura 4: Sistemas epitermales de alta y baja sulfuración y su relación con pórfidos.....	9

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Minerales de diagnóstico de varios estados de pH y estados de sulfuración, usados para distinguir ambientes epitermales (modificado de Einaudi y otros, 2003).....	5
Tabla 2: Características de campo de los tres principales tipos de alunita (Sillitoe. 1993). ....	11
Tabla 3: Ensamblajes de Alteración basados en la identificación visual. (Hedenquist, 1995)...	12
Tabla 4: Área geográfica del proyecto San Nicolás.....	14
Tabla 5: Distancia de accesos y tipos de vías. ....	15
Tabla 6: Minerales económicos y accesorios con su respectiva asociación mineralógica que se presenta en el yacimiento San Nicolás .....	58
Tabla 7: Tipo de alteraciones, minerales de alteración principales y secundarios en el yacimiento San Nicolás.....	66

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Vía asfaltada y afirmada de acceso al proyecto de investigación. ....	15
Fotografía 2: Vegetación típica de la zona como ichu y pastizales para la alimentación de sus animales. ....	16
Fotografía 3: A la izquierda se observa aguas de la quebrada La Eme y a la derecha inicios del recorrido del río el Tingo. ....	16
Fotografía 4: Valles jóvenes generados por el río Tingo y la quebrada La Eme. ....	20
Fotografía 5: Depósito antrópico ubicado en la parte inicial e inferior del yacimiento y a los márgenes del río Tingo, conformado por desmonte. ....	21
Fotografía 6: Vertiente Montañoso de pendiente elevada y abrupta ubicado en el cerro Las Venadas, parte alta de nuestra zona de investigación. ....	21
Fotografía 7: Ladera de suave pendiente conformada por depósitos coluviales y también presencia de depósitos antrópicos en la parte inferior. ....	22
Fotografía 8: Calizas de la Formación Chúlec, alteradas texturalmente y también del color debido a los procesos de alteración existentes. (Ubicación N:9252988; E:761204). ....	26
Fotografía 9: Calizas oscuras bituminosas bien estratificadas de la Formación Pariatambo, ubicadas en la parte superior de la mineralización. (Ubicación N:9253016; E:761467). ....	26
Fotografía 10: Caliza silicificada o chert de la Formación Pariatambo ubicado en la parte central mineralizada. (Ubicación N:9252931; E:761548). ....	27
Fotografía 11: Pórfido Granodiorítico con textura obliterada del cerro Las Gordas ubicado en los límites laterales del proyecto. (Ubicación N:9252748; E:760943). ....	28
Fotografía 12: Depósitos antrópicos generados por las empresas mineras aledañas a los márgenes del río el Tingo. (Ubicación N:9253001; E:761034). ....	28
Fotografía 13: Falla El Tingo de orientación trasandina. ....	34
Fotografía 14: Falla Colorada que origino la mineralización y falla normal en la Formación Pariatambo (Ubicación N:9253020;E:761554). ....	34
Fotografía 15: Fracturamiento moderado en la formación Pariatambo y Chúlec. ....	35
Fotografía 16: (Muestra MSN-01) Veta mineralizada de sulfuros de Enargita, Esfalerita, Covelita y Pirita, con estilo de mineralización masivo, semimasivo, parches y diseminado. En protolito de roca calcárea obliterada. ....	39

	Pág.
Fotografía 17: (Muestra MSN-02) Veta mineralizada de sulfuros de Enargita, Galena y Tetraedrita, con estilo de mineralización masivo, semimasivo, parches y diseminado. En protolito de roca calcárea obliterada. ....	42
Fotografía 18: (Muestra MSN-03) Veta mineralizada de sulfuros de pirita, pirrotita y bornita, con estilo de mineralización masivo, semimasivo, parches y diseminado. En protolito de roca calcárea obliterada. ....	44
Fotografía 19: (Muestra MSN-04) Pirita euhedral y subhedral cristalizada con estilo de mineralización masivo y diseminado en matriz de sulfuros dentro de roca calcárea obliterada. ....	46
Fotografía 20: (Muestra MSN-05) Pirita euhedral y subhedral cristalizada con estilo de mineralización masivo, diseminado y rellenando oquedades, en matriz de sulfuros dentro de roca calcárea obliterada. ....	46
Fotografía 21: (Muestra MSN-06) Limonita, Goethita y Jarosita, de hábito masivo, en matriz de óxidos e hidróxidos. ....	48
Fotografía 22: (Muestra MSN-07) Roca calcárea silicificada con cristales y concentraciones de Cuarzo, Baritina y Calcita. ....	51
Fotografía 23: (Muestra MSN-08) Concentraciones de Malaquita como resultado de la oxidación del cobre en las rocas calcáreas con rellenos de cristales de Calcita propio de estas rocas. ....	54
Fotografía 24: (Muestra MSN-09) Concentrados de Calcantita en formas subhedrales y masivas producto de la oxidación de sulfuros ....	55
Fotografía 25: (Muestra MSN-10) Minerales de arcilla como Dickita, Montmorillonita, Illita, Caolinita en matriz de alteración argílica. ....	56
Fotografía 26: Muestra de mano con alteración Sílice Masiva. ....	60
Fotografía 27: Muestra de mano con alteración Sílice Granular. ....	61
Fotografía 28: Muestra de mano con alteración Sílice Vuggy. ....	62
Fotografía 29: Muestra de mano con fuerte piritización. ....	63
Fotografía 30: Muestra de mano con alteración Argílico. ....	64
Fotografía 31: Descarbonatación en calizas como alteración supergena. ....	65
Fotografía 32: Oxidación como alteración supergena o externa. ....	65

## LISTA DE FOTOMICROGRAFÍAS

Fotomicrografía 1: Enargita de color negro gris a hierro con hábito euhedral y subhedral. (Vista aumentada 60x de la muestra MSN-01).....	40
Fotomicrografía 2: Esfalerita de color castaño acaramelado con hábito masivo anhedral. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-01).....	40
Fotomicrografía 3: Covelita de color azul con hábito masivo anhedral. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-01). ....	41
Fotomicrografía 4: Enargita de color negro gris con hábito terroso masivo y también cristales milimétricos alargados. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-02). ....	42
Fotomicrografía 5: Galena de color gris plomo con hábito cubico subhedral y exfoliación perfecta. (Vista aumentada 60x de la muestra MSN-02). ....	43
Fotomicrografía 6: Tetraedrita de color negro grisáceo con hábito euhedral y granular. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-02). ....	43
Fotomicrografía 7: Pirrotita masiva de color bronce. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-03). ....	45
Fotomicrografía 8: Bornita en hábito masivo anhedral de color purpura y azulado. (Vistas aumentadas a 100x de la muestra MSN-03). ....	45
Fotomicrografía 9: A) Pirita en hábito octaédrico. B) Pirita en hábito cubico. De color amarillo latón pálido, en forma maciza a granular y maclada. (Vistas aumentadas a 60x de la muestra MSN-04). ....	47
Fotomicrografía 10: Pirita en hábito pentagonal, de color amarillo latón pálido, en forma granular a granular fina y maclada. (Vistas aumentadas a 60x de la muestra MSN-05). ....	47
Fotomicrografía 11: Limonita en hábito masivo color pardo amarillento. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-06). ....	49
Fotomicrografía 12: Goethita en hábito botroidal color marrón oscuro. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-06). ....	49
Fotomicrografía 13: Jarosita en hábito masivo anhedral de color rojizo. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-06). ....	50
Fotomicrografía 14: Baritina en sistema ortorrómbico de color blanquecino. (Vista aumentada a 60x de la muestra MSN-07). ....	52

	Pág.
Fotomicrografía 15: Cuarzo en forma de granos intercrecidos hexagonales de color blanquecino. (Vista aumentada a 60x de la muestra MSN-07). .....	52
Fotomicrografía 16: Calcita en forma masiva anhedral de color blanquecino. (Vista aumentada a 60x de la muestra MSN-07).....	53
Fotomicrografía 17: Malaquita en forma masiva de color verde. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-08).....	54
Fotomicrografía 18: Calcantita en hábito masivo de color azul marino. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-09).....	55
Fotomicrografía 19: Dickita de aspecto sedoso de color blanquecino. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-10).....	57
Fotomicrografía 20: Montmorillonita e illita en hábito terroso y micas de color blanco a gris. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-10).....	57
Fotomicrografía 21: A) Aumento a 60x. B) Aumento a 100x. Se puede apreciar alteración silícica masiva por cuarzo masivo con presencia de pirita y en menor proporción de óxidos. (Vistas aumentadas de la fotografía 26).....	60
Fotomicrografía 22: Alteración sílice masiva por cuarzo en forma granular y con presencia de pirita diseminada. (Vista aumentada 60x de la fotografía 27). .....	61
Fotomicrografía 23: Alteración sílice vuggy por cuarzo oqueroso y con presencia de pirita y óxidos como rellenos. (Vista aumentada 60x de la fotografía 28). .....	62
Fotomicrografía 24: Alteración de pirita reemplazando y rellenando oquedades en fracturas. (Vista aumentada 60x de la fotografía 29).....	63
Fotomicrografía 25: A) Aumento a 60x. B) Aumento a 100x. Presencia de alteración Argílico por minerales como dickita, montmorillonita y en menos proporción illita. (Vistas aumentadas de la fotografía 30).....	64

## RESUMEN

El proyecto de investigación se realizó en la compañía minera San Nicolás, que está situado en el distrito y provincia de Hualgayoc, Cajamarca-Perú. La mineralización se aloja en vetas portadoras de minerales de Au, Ag, Cu, Pb y Zn, en secuencias de rocas sedimentarias calcáreas del Cretácico inferior y afectadas por la falla extensional Colorada, estructura que está controlando el emplazamiento de la mineralización. Se ha realizado un estudio mineralógico y de alteraciones hidrotermales con la importancia de identificar el tipo de mineralización y alteraciones hidrotermales en relación a la génesis del yacimiento, para poder determinar la mineralización que presenta y el tipo de yacimiento que corresponde. Con los estudios geológicos, estructurales, hidrotermales y mineralógicos, se determinó que la alteración principal es silícica con moderada piritización y presentando un zonamiento externo de argilización en las secuencias calcáreas. La mineralización económica está compuesta principalmente por oro de granulometría muy fina que no es visible macroscópicamente y se encuentra dentro de sulfuros como la pirita fina terrosa y óxidos de hierro (goethita, jarosita, hematita, limonita); también la presencia de polimetálicos como enargita, tetraedrita, tenantita, esfalerita, galena, pirrotita y en menor proporción bornita y covelita. Con sobreimposición de minerales accesorios como calcita, cuarzo, baritina y de alteración supergena (malaquita, calcantita). La mineralogía de mena, ganga y alteraciones hidrotermales definen un sistema de tipo alta e intermedia sulfuración asociado a la mineralización fina de oro principalmente y polimetálica.

**Palabras claves:** Litología, estructural, mineralogía, alteración hidrotermal, yacimiento mineral.

## ABSTRACT

The research project was carried out at the San Nicolás mining company, which is located in the district and province of Hualgayoc, Cajamarca-Peru. The mineralization lodges in the form of veins carrying minerals of Au, Ag, Cu, Pb and Zn, in sequences of calcareous sedimentary rocks of the lower Cretaceous and affected by the Colorada extensional fault, structure that is controlling the location of the mineralization. It is proposed to carry out a mineralogical and hydrothermal alterations study with the importance of identifying and determining the type of mineralogy and hydrothermal alterations in relation to the mineralization and genesis of the deposit, in order to catalog the type of mineralization that it presents and to which type of deposit it includes. With the geological, structural, hydrothermal and mineralogical studies, it was possible to determine that the main alteration where the mineralization is is silicic with moderate pyritization and presenting an external zoning of argilization in the calcareous sequences. The economic mineralization is composed mainly of gold of very fine granulometry that is not visible macroscopically and is found in sulfides such as pyrite and iron oxides (goethite, hematite, limonite); also the presence of polymetallic such as enargite, sphalerite, galena, pirrotite, bornite and in a smaller proportion tetraedrite and covellite. With superimposition of accessory minerals such as calcite, quartz, malachite, calcantite and barite. The mineralogy of ore, gangue and hydrothermal alterations define a system of high and intermediate sulfidation associated with the fine mineralization of mainly gold and polymetallic.

**Keywords:** Lithology, structural, mineralogy, hydrothermal alteration, mineral deposit.

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

El yacimiento que se encuentra en la compañía minera San Nicolás está situado en el distrito y provincia de Hualgayoc, estructuralmente se ubica en la falla extensional Colorada, estructura que está controlando el emplazamiento de la mineralización, se extiende más de 800 m en dirección E-W y en cuyo entorno se encuentran varios yacimientos minerales tales como Cerro Corona, Tantauatay, Cerro Las Gordas, Cerro Jesús, Cerro San José y Minera San Nicolás.

El problema del área en estudio, es que actualmente no existen estudios geológicos no bien detallados localmente de la zona tales como la caracterización geológica, interpretación estructural, alteraciones hidrotermales, y su relación mineralógica. Por esto se plantea realizar la presente investigación que pueda dar a conocer, interpretar y analizar mejor la geología y origen del yacimiento.

El estudio mineralógico y de alteraciones hidrotermales en el yacimiento San Nicolás contribuirá a la mejor comprensión y correcta interpretación del modelo genético del yacimiento polimetálico. Por lo tanto, se formuló la siguiente interrogante ¿Qué tipo de mineralogía y alteraciones hidrotermales se encuentran en el yacimiento minero San Nicolás S.A. Hualgayoc – Cajamarca?. Planteándose como hipótesis que la mineralogía y las alteraciones hidrotermales en la Compañía Minera San Nicolás S.A. presentan composición principalmente silícica – argílica que corresponde a un yacimiento de tipo alta e intermedia sulfuración.

Es necesario señalar que el objetivo general es estudiar el tipo de mineralogía y alteraciones hidrotermales del yacimiento minero San Nicolás S.A., y como objetivos específicos: realizar un cartografiado local a escala, una caracterización mineralógica y cartografiado de las principales alteraciones hidrotermales.

La presente tesis de investigación que se realizará tiene importancia porque permitirá identificar y determinar el tipo de mineralogía y alteraciones hidrotermales en relación a la

mineralización y génesis del yacimiento en la Compañía Minera San Nicolás S.A, para poder así catalogar el tipo de mineralización que presenta y a qué tipo de yacimiento comprende. Se espera contribuir con el siguiente estudio para futuras investigaciones y posteriores trabajos.

Los alcances de la investigación constan de conocer mejor la geología y génesis del yacimiento San Nicolás, de acuerdo a los resultados mineralógicos y de alteraciones hidrotermales obtenidos. Aportando en el conocimiento de los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales y en su relación a la mineralización.

Los capítulos siguientes se ordenan de la siguiente manera: en el segundo capítulo se detalla el marco teórico, bases teóricas y las definiciones generales del yacimiento. En el tercer capítulo se detalla la ubicación y metodología de la investigación desarrollado en gabinete y campo, como técnicas de procesamiento de datos y descripción de programas utilizados; posteriormente en el cuarto capítulo se desarrolla los resultados de la investigación y análisis de las características mineralógicas y alteraciones hidrotermales del yacimiento. Por ultimo en el quinto capítulo se desarrollan conclusiones y recomendaciones finales.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **Antecedentes Internacionales**

**Reyes (2014)** Realiza una caracterización mineralógica de las alteraciones hidrotermales en el yacimiento de oro La India, Sonora, México.

**Montenegro (2015)** En su tesis de maestría Sistema de sulfuración intermedia en Mina Bajo de la Lumbrera, Catamarca, Argentina. Determina el control estructural principal de la mineralización y tipo de mineralogía existente en vetas de alta ley.

#### **Antecedentes Nacionales**

**Salado (2016)** Estudia y caracteriza la mineralogía de alteración hidrotermal y mineralización del área de mina La Poma (Pb-Ag-Zn), Puna Central.

**Soto (2017)** En su tesis controles de mineralización del yacimiento epitermal de alta sulfuración Ancos, Ayacucho; describe las principales características geológicas y petrográficas del yacimiento.

#### **Antecedentes Locales**

**Roncal (2011)** Geología y metalogenia del distrito minero de Hualgayoc, Cajamarca – Perú. Describe y caracteriza los diferentes yacimientos metalogenéticos como Cerro Corona, Cerro Jesús, San José, Tajo El Zorro, Cerro Las Gordas, Cerro Quijote.

**Quispe (2015)** Determina los diferentes controles de mineralización del depósito de alta sulfuración Ciénaga Norte, Hualgayoc – Cajamarca.

**Cabos (2015)** Realiza un zonamiento regional de las alteraciones y menas hidrotermales en Hualgayoc, Cajamarca.

**Dávila (2016)** Describe la geología local, alteración y mineralización del proyecto Antakori Cu-Au-Ag.

**Vereau (2016)** Determina el zoneamiento genético de la mineralización de Au y Cu en relación con las alteraciones y dominios mineralógicos, en el área del yacimiento Cerro Corona.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Generalidades Teóricas Sobre Depósitos Epitermales**

Lindgren (1922) definió por primera vez el ambiente epitermal, se forma a poca profundidad y conteniendo proporciones variables de oro, plata y metales base, incluyendo mercurio, antimonio, telurio y selenio. Estimó que estos yacimientos se forman a una profundidad máxima de 1000 m, con un límite de presión superior a 100 atmósferas. También dedujo un rango de temperatura de 50 a 200 °C, a partir de medir el límite de estabilidad de varios minerales de texturas de vetas de depósitos tipo "hot spring" (Hedenquist et al., 2000).

Lindgren (1933) concluyó que el depósito de los yacimientos epitermales ocurre porque en sitios muy localizados, los fluidos ascendentes cambian rápidamente su composición dentro de un kilómetro o muy cerca de la superficie. La ebullición y el enfriamiento rápido actuando conjuntamente provocan la precipitación de sílice coliforme, adularia y calcita hojosa (bladed) y la formación de vapor-agua caliente que crea alteración argílica avanzada (Hedenquist et al., 2000).

Debido a la baja presión y las condiciones hidrostáticas bajo las cuales se forman, los depósitos epitermales muestran una gran variedad de formas y estilos de mineralización, que incluyen vetas, cuerpos de brechas hidrotermales, "stockworks" y diseminaciones o reemplazamientos (Sillitoe, 1999). En los depósitos de BS son dominantes las vetas con stockworks asociados; en los depósitos de AS son dominantes los diseminados con vetas asociadas (Hedenquist, 2000). La diversidad de formas refleja la influencia de los controles de mineralización, los cuales representan zonas de permeabilidad dentro de las partes bajas de los sistemas hidrotermales activos anteriormente (Simon, 2005). La permeabilidad de las rocas determina el flujo de los fluidos y los mecanismos de precipitación del mineral ("boiling" o "mixing"). La roca permeable en los depósitos epitermales puede ser provista estructural, hidrotermal, y/o litológicamente (Sillitoe, 1993).

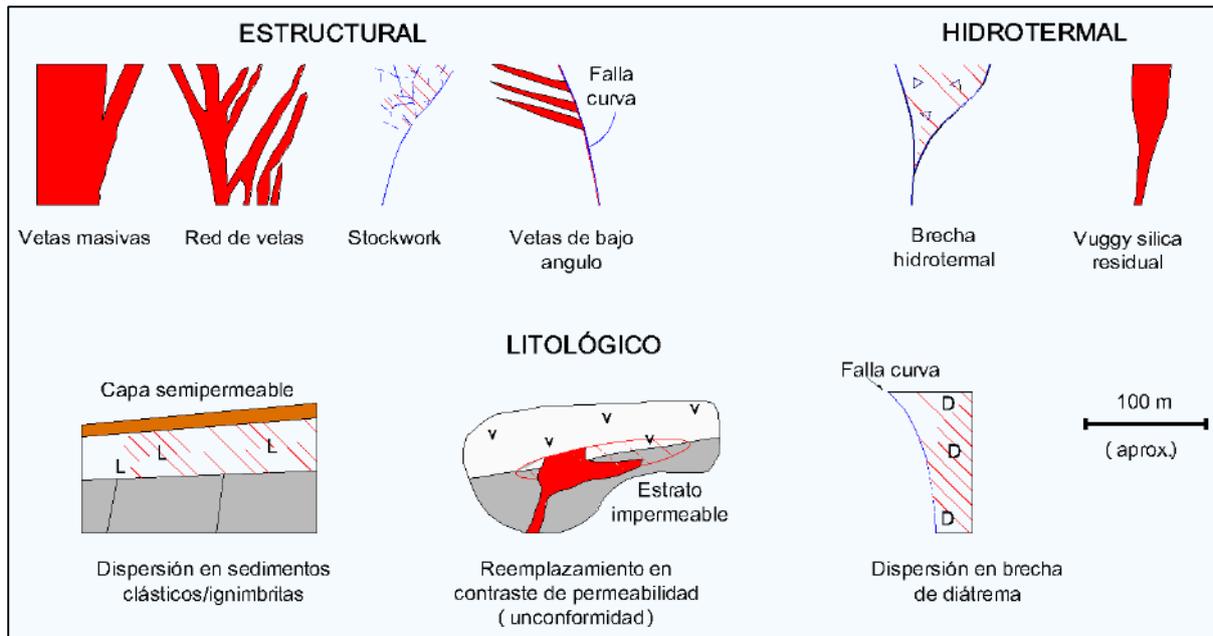


Figura 1: Estilos y geometrías de los depósitos epitermales, ilustran la influencia estructural, hidrotermal y permeabilidad litológica (modificado de Sillitoe, 1993; y Hedenquist, 1996).

Las características claves que distinguen a un depósito epitermal son particularmente mineralógicas, con los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales. Los minerales de ganga característicos del estado de AS son: alto contenido de pirita, enargita, luzonita, digenita, calcosita, famatinita, covelita; y una alteración argílica avanzada caracterizada por cuarzo, cuarzo residual (“vuggy”), alunita, pirofilita y caolinita/dickita. (Sillitoe, 1999). Los minerales de ganga característicos del estado de BS son: cuarzo (incluyendo calcedonia), pirita, esfalerita, arsenopirita, pirrotita y loellingita; y una alteración argílica-sericítica caracterizada por cuarzo, adularia, illita y calcita.

Tabla 1: Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes epitermales formadores de mineral (modificado de Einaudi y otros, 2003).

<b>PH ácido</b> Alunita, caolinita ( dickita ) pirofilita, sílice residual, cuarzo vuggy	<b>Sulfuración intermedia</b> Tennantita, tetrahedrita, hematita-pirita-magnetita, pirita, calcopirita, esfalerita-pirita pobre en Fe	<b>PH neutro</b> Cuarzo-adularia=illita, calcita
<b>Alta sulfuración</b> Pirita-enargita=luzonita, covelita-digenita, famatinita, oropimente		<b>Baja sulfuración</b> Arsenopirita-loellingita-pirrotita, pirrotita, esfalerita-pirita rica en Fe
<b>Oxidado</b> Alunita, hematita-magnetita		<b>Reducido</b> Magnetita-pirita-pirrotita, clorita-pirita

El zonamiento de la alteración característica de los depósitos de alta sulfuración parte desde un núcleo silíceo constituido de cuarzo poroso, que alberga la parte más importante de la mineralización económica, seguido de alteración argílica avanzada constituida de cuarzo-alunita, caolinita e illita, para terminar en alteración propilítica que incluye la montmorillonita y clorita.

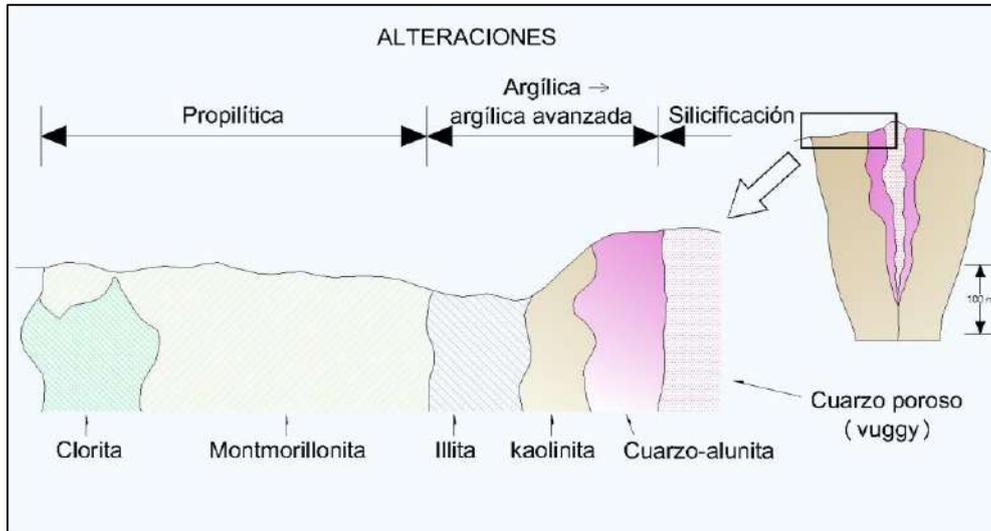


Figura 2: Zonamiento típico de alteración para un depósito de alta sulfuración (Stoffregen, 1987).

Por otro lado, el zonamiento en los depósitos de baja e intermedia sulfuración, se inicia a partir de una estructura de cuarzo-sericita que contienen las menas metálicas, con el desarrollo de un halo de alteración argílica a sericítica, seguida de alteración argílica avanzada, para terminar con alteración propilítica.

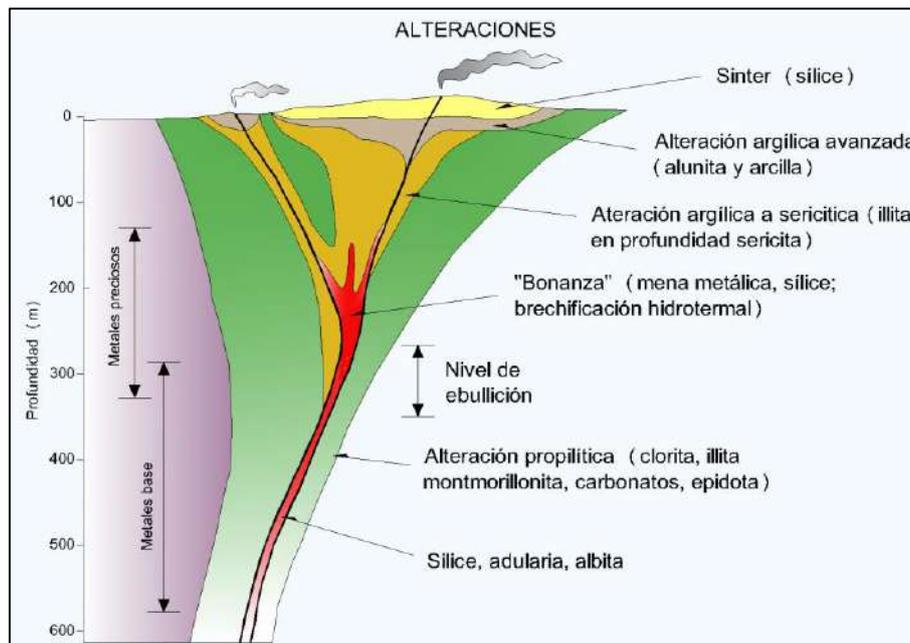


Figura 3: Zonamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (modificado de Buchanan, 1981).

### **2.2.1.1 Clasificación de los Depósitos Epitermales**

La nomenclatura más reciente incluye los términos alta sulfuración(AS), sulfuración intermedia (SI) y baja sulfuración (BS).

#### **Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración**

Aunque se forman a profundidades someras, los yacimientos de Alta Sulfuración (AS) tienen características que indican que el magmatismo estuvo involucrado en su formación. Los estados tempranos de estos depósitos están caracterizados por extensa lixiviación de la roca encajonante por fluidos con un  $\text{pH} < 2$  y una composición isotópica de O y H similar al vapor magmático, mezclado con agua meteórica. La lixiviación forma un núcleo de sílice residual poroso (mayor de 95% de  $\text{SiO}_2$ ) que subsecuentemente podría almacenar mineralización de Au, Cu y sulfuros de Fe.

El estilo de mineralización de alta sulfuración comparte muchas características mineralógicas y de isótopos estables con la zona de alteración argílica avanzada que cubre a los depósitos de Cu porfíricos, hay una estrecha relación espacial entre éstos. Los sistemas de AS están formados por fluidos ácidos, oxidados y ricos en azufre. Estos fluidos son generados por la condensación de volátiles magmáticos ricos en  $\text{SO}_2$  (Heald et al., 1987), con la presencia variable de cantidades de agua meteórica. Los depósitos de AS contienen sulfuros con una proporción azufre/metal elevada, (por ejemplo, enargita, luzonita, covellita) y presentan aureolas de alteración argílica avanzada, donde domina la alunita, pudiendo incluir pirofilita a niveles más profundos (Sillitoe, 1993).

#### **Alteración y Mineralización**

Los yacimientos alta sulfuración contienen minerales estables en ambiente ácido, tales como alunita, caolinita, dickita, pirofilita, diásporo y zunyita. Estos minerales constituyen la paragénesis característica de la alteración del tipo argílica avanzada que tiene lugar en este ambiente durante el proceso inicial de lixiviación. La roca más alterada y que generalmente hospeda la mayor parte de la mineralización es el cuarzo oqueroso, vuggy silica o vuggy quartz.

#### **Depósitos Epitermales de Sulfuración Intermedia**

De acuerdo a Sillitoe y Hedenquist (2003), los depósitos de sulfuración intermedia (SI) ocurren en un amplio rango de rocas de arco, andesíticas a dacíticas, pero comúnmente no muestran una conexión cercana con depósitos de pórfidos de Cu, como en los depósitos de alta

sulfuración. La mayoría de los depósitos epitermales de Au y Ag de sulfuración intermedia aparecen en arcos de rocas andesítico-dacíticas calcoalcalinos, aunque las rocas más félsicas actúan como encajonante localmente. Sillitoe (1999) menciona que algunos de estos depósitos, típicamente los más pequeños, presentan asociadas litocapas con alteración argílica avanzada, con o sin asociación a depósitos de alta sulfuración. En lo que respecta a los fluidos que forman a los depósitos epitermales de SI, la composición de los fluidos a partir de los cuales se formaron es también intermedia entre magmáticos y meteóricos (Sillitoe y Hedenquist, 2003).

Según Albinson et al. (2001) los depósitos de sulfuración intermedia muestran un gran rango en su contenido metálico y características, desde Au/Ag con contenidos inferiores al 0.05% combinado de metales base, hasta depósitos de Ag como metal base. Las vetas de cuarzo son típicamente cristalinas e incluyen silicatos y carbonatos de Mn, así como cantidades arriba del 10% de sulfuros (Sillitoe, 1993).

### **Depósitos Epitermales de Baja Sulfuración**

Los fluidos de los sistemas de Baja Sulfuración (BS) son pobres en azufre y reducidos, con un pH cercano al neutral, semejante a las aguas que se extraen de sondeos realizados bajo fuentes termales de los sistemas geotérmicos. Presentan además una menor contribución magmática (Sillitoe, 1993).

Según Hedenquist y Lowenstern (1994) en contraste a los pórfidos y depósitos de AS, la firma magmática en los depósitos de BS es menos visible. Las concentraciones de Cu no ocurren, porque la baja salinidad y el pH cercano al neutro y escasez de fluidos, no propician el eficiente transporte del cobre. En general los depósitos de BS se forman distantes de la fuente de calor magmático. Aunque existe una variedad de clasificaciones, se puede habilitar una basándose en los elementos metálicos que aparecen y que parecen reflejar diferencias geoquímicas intrínsecas.

### **Alteración y Mineralización**

La alteración asociada con la mena en este tipo de yacimientos es producida por aguas termales con un pH casi neutro, con temperaturas que decrecen al disminuir la profundidad y aumentar la distancia a los conductos del fluido. Los minerales principales de este tipo son oro, plata, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, etc. Como minerales de ganga figuran cuarzo, calcedonia, calcita, adularia e illita principalmente. Entre las texturas de los minerales que

forman la mena y la ganga predominan bandeado de minerales, relleno de cavidades por cuarzo crustiforme y drusas, así como varias generaciones de brecha.

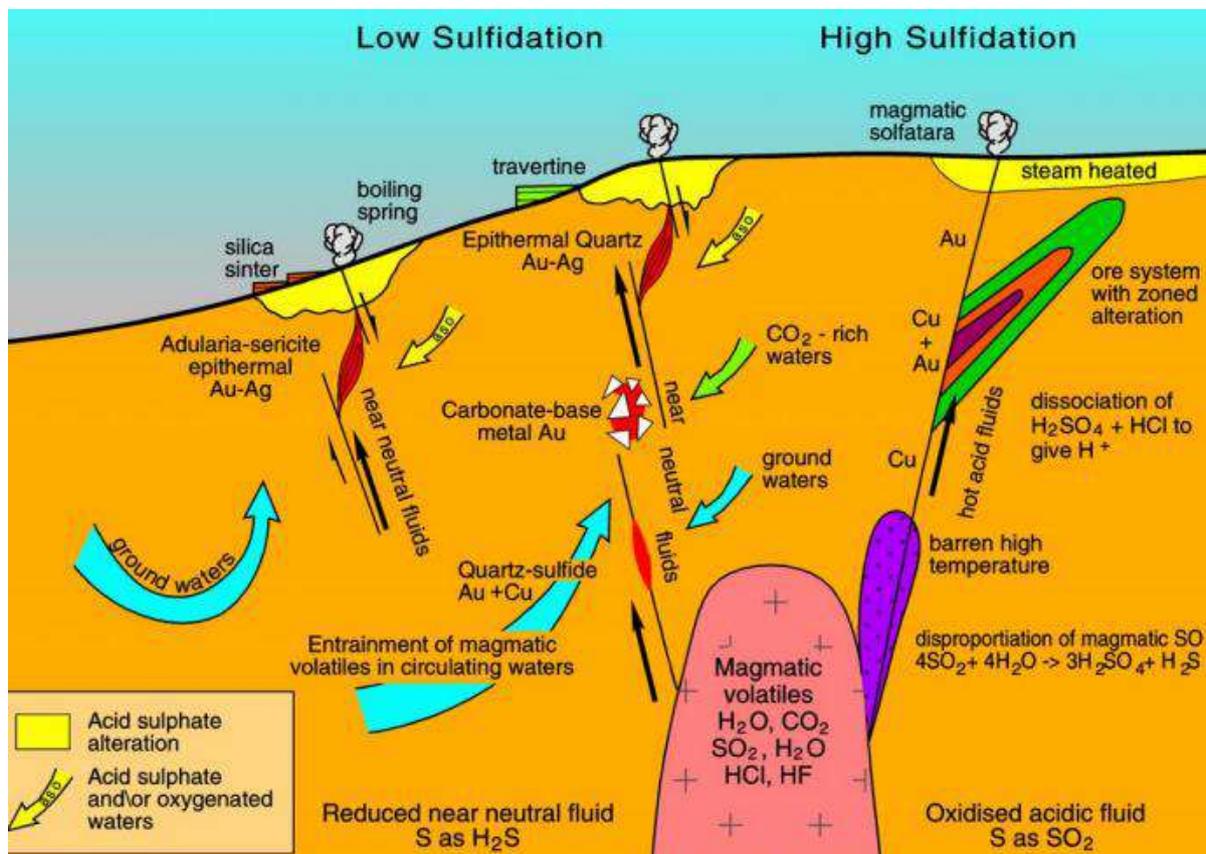


Figura 4: Sistemas epitermales de alta y baja sulfuración y su relación con pórfidos (G. Corbbet, 2005).

### 2.2.2 Alteraciones Hidrotermales

Término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a cambios fisicoquímicos y termodinámicos de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal se manifiesta mediante crecimiento, disolución y/o precipitación de minerales y reacciones de intercambio iónico entre la roca caja y el fluido caliente que circuló por la misma. Asimismo, produce cambios en las propiedades de las rocas, alterando su densidad, porosidad, permeabilidad, susceptibilidad magnética y resistividad. Simultáneamente con esos cambios físicos pueden ocurrir eventos geológicos, fallas y diaclasas, influyendo en el proceso de alteración; pues la presencia de estas estructuras favorece la circulación de fluidos hidrotermales.

Las reacciones de intercambio iónico son importantes en los procesos de alteración, también se conocen como cambio de base y corresponden a una reacción por la cual cationes absorbidos

en la superficie de un sólido, tal como un mineral de arcilla, son remplazados por cationes en la solución circundante. El intercambio de cationes metálicos de los minerales de una roca por  $H^+$  corresponde a un caso especial conocido como hidrólisis y es muy importante en la mayoría de los tipos de alteración hidrotermal (Townley, 2006).

### 2.2.2.1 Factores que controlan las alteraciones hidrotermales

- a. Temperatura del fluido que invade la roca.
- b. Composición del fluido, sobre todo el pH
- c. Permeabilidad de la roca.
- d. Duración de la interacción agua / roca.
- e. Composición de la roca
- f. Presión.

### 2.2.2.2 Ensamblajes de alteración hidrotermal

Al conjunto de minerales que se forman simultáneamente bajo las mismas condiciones físicas químicas se denomina ensamble de alteración. Una asociación de minerales de alteración refleja las condiciones de temperatura, presión, composición química del fluido hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico entre la roca y el fluido.

**Alunita:** este mineral se forma a partir de un fluido con un pH ligeramente superior a 2 en un amplio rango de temperaturas (Stoffregen, 1987), se presenta con andalusita a altas temperaturas ( $>350^{\circ}$ - $400^{\circ}$ ) y con corindón a temperaturas aún mayores ( $>400$ - $450^{\circ}C$ ). En muchos casos  $K_2O$  suele estar sustituida por  $Na_2O$ , denominándose Natroalunita  $(Na,K)Al_3(SO_4)_2(OH)_6$ . Estudios experimentales demuestran que estas sustituciones se dan a temperaturas entre  $350^{\circ}$  a  $450^{\circ}C$  (Stoffregen, 1990) y que corresponden más a un ambiente porfirítico que a un epitermal. Se han reconocido tres ambientes principales de formación de alunita (Reyes et al., 1993).

Tabla 2: Características de campo de los tres principales tipos de alunita (Sillitoe. 1993).

ORIGEN	Condensación o disolución de volátiles magmáticos profundos	Lixiviación ácida superficial	Oxidación supérgena
TEXTURA	Agregados cristalinos gruesos a finos	Agregados muy fino polvorientos	Masas porcelanosas
COLOR	Descolorido, blanco, rosado, crema, amarillo, marrón.	Generalmente blanco	Blanco, crema, amarillo – marrón (manchas de jarosita)
OCURRENCIAS TÍPICAS	Reemplaza cristales de feldespato, clastos líticos, etc.; rellenando cavidades	Reemplazamiento pervasivo, especialmente de feldespatos	Venillas irregulares, masas nodulares, reemplazamiento pervasivo local.
MINERALES DE ALTERACIÓN ASOCIADOS	Cuarzo, caolinita, dickita, diásporo, pirofilita	Cristobalita, opal, caolinita	Caolinita
OCURRENCIA CON RESPECTO A SULFUROS	Con sulfuros a menos que se encuentre sometido a oxidación supérgena.	Normalmente con sulfuros a menos que se encuentre sometido a oxidación supérgena, localmente con limonita hipógena (Hematita)	Normalmente con limonita, pero puede solapar cubriendo zona de sulfuros.
RELACION CON EL YACIMIENTO	Potencialmente relacionado con el depósito mineral	Estéril, sobre el depósito	Relacionado o no al depósito mineral.

**Pirofilita:** se presenta generalmente en las partes más profundas de los depósitos alta sulfuración o en las transiciones de estos a ambientes tipo pórfido. Se desarrolla a temperaturas entre 250° y 300°C con un pH de 4.5.

**Sílice:** es el único mineral estables en forma significativa en fluidos de pH bajo menor a 2 (Stoffregen, 1987). La sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en ambiente superficial de un sistema hidrotermal, típicamente a temperaturas menores a 100°C. A pH más altos se forma sílice amorfa a temperaturas mayores a 100°C.

**Alunita – Dickita:** ensamble que se presente entre rangos de pH entre 3 – 3.5 y temperaturas de 200° - 250°C (Stoffregen, 1987). Es característico en la zona de alteración argílica avanzada o lithocap.

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

**Caolinita:** la caolinita se forma en un pH de 4 y temperaturas de 150° - 220°C (Stoffregen, 1987). La halloysita (caolinita hidratada) se presenta principalmente como producto de alteración Supérgena.

**Dickita:** mineral que se forma en rangos de pH de 3.5 – 4.5 y temperaturas de 200° - 250°C (Stoffregen, 1987).

**Caolinita – Illita:** ensamble que se forma en rangos de pH de 4 – 5 y temperaturas de 150° - 200°C (Stoffregen, 1987).

**Illita:** en fluidos con pH de 4 – 6 dominan minerales del grupo de la illita, coexisten con caolinita y dickita en pH de 4 – 5 (Stoffregen, 1987). A baja temperatura se presenta esmectita de 100° - 150°C, illita + esmectita 100° - 200°C, illita 200° - 250°C, y muscovita a temperaturas mayores a 250°C. Coexisten pirofilita e illita a temperaturas de 220° - 320°C (Reyes, 1990).

La siguiente tabla resume los ensambles de alteración hidrotermal, teniendo presente el ambiente de formación, grado de cristalinidad y mineralogía presente.

Tabla 3: Ensamblés de Alteración basados en la identificación visual. (Hedenquist, 1995).

<b>Ensamble Mineralógico</b>	<b>Tipo de Alteración</b>
Cuarzo dominante (>90%)	Silíceas
Alunita ± cuarzo dominante	Argílica Avanzada 1 (Típicamente Hipógeno, observar texturas)
Mezclas de cuarzo con alunita, y otro mineral ácido como dickita, caolinita, pirofilita, diásporo.	Argílica Avanzada 2 (Puede ser de origen hipógeno, steam heat o supérgeno, observar texturas)
Pirofilita ± dickita ± cuarzo dominante	Argílica Avanzada 3 (Hipógeno profundo).
Illita ± cuarzo dominante	Argílica (alta temperatura)
Interestratificación illita – esmectita dominante	Argílica (moderada temperatura)
Esmectita dominante	Argílica (baja temperatura)
Epidota presente	Propilitico (alta temperatura)
Clorita ± calcita presente	Propilitico (baja temperatura)

### 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Alteración hidrotermal:** Proceso de metamorfismo, mediante el cual los minerales de las rocas se alteran por acción de las soluciones hidrotermales a alta temperatura. (Dávila, 2011).

**Mineralización:** Proceso mediante el cual los minerales son introducidos en la roca, dando como resultado la formación de yacimientos minerales de rendimiento económico. (Dávila, 2011).

**Soluciones Hidrotermales:** Soluciones líquido – gaseosas provenientes del magma que asciende hacia la superficie a través de fisuras, fracturas o fallas; rellenándolas con depósitos minerales, dando lugar a la formación de filones o vetas hidrotermales. A las soluciones gaseosas también se les denomina pneumatolíticas. (Dávila, 2011)

**Ocurrencia Mineral:** Es una concentración anómala de un mineral que se considera valiosa por alguien en alguna parte o que es de interés científico o técnico. (Dávila, 2011).

**Ambiente de depositación:** Sistemas hidrotermales de nivel alto, desde profundidades menores a 1km a fuentes termales superficiales. (Petersen, 1970).

**Fuente termal:** Es el agua que surge a la superficie con una temperatura mayor que la del medio ambiente. La temperatura en algunos casos puede llegar hasta los 100°C. el agua se halla a altas temperaturas en el interior de la tierra debido al calor y a la presión reinante en estos lugares, principalmente por el gradiente geotérmico o a la cercanía a cámaras magmáticas. (Petersen, 1970).

**Metalotecto:** Todo tipo o rasgo geológico que influye en la formación de un depósito mineral, especialmente referido a la roca almacén y al proceso metalogenético. (Dávila, 2011).

**Hipógeno:** Término relacionado a la zona de mineralización que se halla por debajo de la zona de oxidación o enriquecimiento supergénico, contiene mineral primario o que no ha sido alterado por la oxidación, formados por soluciones ascendentes (hidrotermales). (Dávila, 2011).

**Epigenética:** Minerales formados a partir de cualquier tipo de alteración de los minerales pre-existentes (singenéticos o primarios), en la superficie terrestre o cerca de ella. Epi = encima, genesis = origen. Sinónimo: Secundario. (Dávila, 2011).

**Singenética:** Mineral, agua o cualquier material formado coetáneamente con la roca que le contiene. Sin = coetáneo, contemporáneo, génesis = origen. (Dávila, 2011).

**Supérgena o Secundaria:** Mineralización o efectos exógenos sobre cuerpos mineralizados, como meteorización, oxidación, descomposición de minerales y formación de nuevos minerales estables en el ambiente supérgeno. (Dávila, 2011).

## **CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1 Geográfica**

La Compañía Minera San Nicolás, está ubicado a 90 km al noroeste de la ciudad de Cajamarca, a 1.5 km. al noroeste del depósito de “Cerro Corona” entre los 3550 – 3700 m.s.n.m, en la zona norte de la cordillera de los andes del Perú.

#### **3.1.2 Política**

Se encuentra dentro de la jurisdicción del distrito y provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, república del Perú. El área de investigación es de aproximadamente 16 hectáreas y se enmarca dentro de las siguientes coordenadas:

Tabla 4: Área geográfica del proyecto San Nicolás.

VÉRTICE	ESTE	NORTE	COTA PROM.	DATUM	ZONA
V1	761000	9253100	3650m	WGS-84	17-S
V2	761000	9252700	3600m		
V3	761600	9252700	3780m		
V4	761600	9253100	3850m		

#### **3.1.3 Accesibilidad**

El acceso desde la ciudad de Lima es vía aérea; para llegar al proyecto desde Cajamarca se sigue la carretera en dirección a Hualgayoc, asfaltada en su mayoría, aunque existen tramos que aún se encuentra afirmado hasta llegar al desvió al proyecto, posteriormente se toma la carretera afirmada que llegara hasta el proyecto San Nicolás.

Tabla 5: Distancia de accesos y tipos de vías.

Origen	Destino	Distancia/Tiempo	Tipo de vía
Lima	Cajamarca	860 km / 1 hora	Aérea
Cajamarca	Hualgayoc	80 km / 2 horas y 30 min	Carretera asfaltada
Hualgayoc	San Nicolás	8 km / 30 min	Carretera afirmada



Fotografía 1: Vía asfaltada y afirmada de acceso al proyecto de investigación.

### Clima y Vegetación

El proyecto San Nicolás tiene un clima frío, con rangos de temperatura de 3°C a 17°C y con estaciones lluviosas principalmente entre los meses de noviembre a abril, no registra zonas con nieve. Entre los meses de mayo a octubre las lluvias son escasas, son típicas las heladas en esta temporada, así mismo los vientos son fuertes y arremolinados.

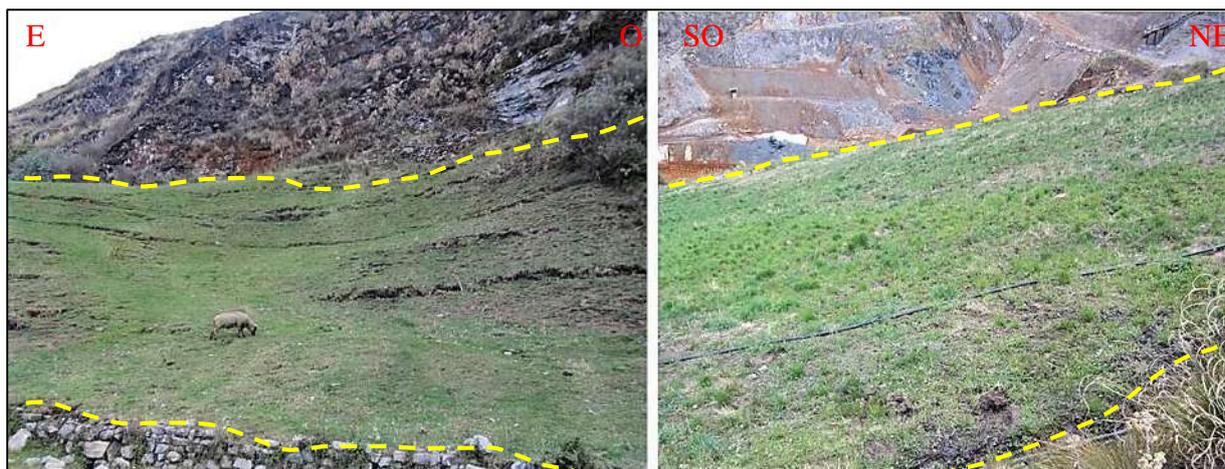
Temperatura Máxima Promedio: 17° C.

Temperatura Mínima Promedio: 3° C.

Temperatura Promedio: 9° C.

Los datos del clima, fueron tomados de boletines meteorológicos de SENAMHI y MINAM (2016).

La vegetación es típica de las zonas altas compuestas por ichu como pasto natural y escasa plantas silvestres tales como escasos sembríos como papa, olluco, oca y algunos árboles tales como el pino y quinal.



Fotografía 2: Vegetación típica de la zona como ichu y pastizales para la alimentación de animales.

### Hidrología

El sistema hidrológico de la zona de investigación está conformado por ríos de régimen de escurrimiento muy irregular de tipo dendrítico y de carácter no torrentoso, sus nacientes están en la zona de investigación y su desembocadura en el Océano Atlántico. Los ríos y quebradas a lo largo del año tienen una descarga irregular de sus aguas, concentrándose en los meses de diciembre a marzo un incremento de sus aguas debido al periodo de lluvias. Dentro de las quebradas que se ubican en la zona de investigación tenemos a la quebrada La Eme de dirección de recorrido noroeste a sureste, que posteriormente se unirá sus aguas al río el Tingo de dirección de recorrido suroeste a noreste, cuyas aguas abastecen a la cuenca del río Llaucano y de éste sus aguas desembocan al océano Atlántico.



Fotografía 3: A la izquierda se observa aguas de la quebrada La Eme y a la derecha inicios del recorrido del río el Tingo.

## **3.2 PROCEDIMIENTOS**

### **3.2.1 Metodología**

Para el presente trabajo de tesis se ha tenido en cuenta la escasa información disponible, la cual fue complementada e implementada con los trabajos realizados por el suscrito los cuales aportarán nueva data y mejoras a los datos conocidos, el tipo de diseño de investigación utilizado es: No Experimental – Transversal (sincrónica), debido a que en la presente tesis estudiamos el aspecto geológico de la zona de investigación en su configuración actual. En cuanto a los alcances en la presente tesis profesional tenemos: exploratorio, descriptivo y analítica interpretativa.

### **3.2.2 Definición de variables**

#### **Variables Dependientes**

**Mineralogía:** estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran concentrados en un yacimiento y sus diferentes asociaciones.

**Alteración Hidrotermal:** cambio mineralógico, textural y químico de las rocas por la circulación de fluidos hidrotermales a altas presiones y temperaturas.

#### **Variables Independientes**

**Litología:** estudia las características de las rocas que aparecen constituyendo una determinada formación geológica.

**Fluido hidrotermal:** soluciones de agua y componentes minerales geotermalmente calientes que se introducen por grietas o fracturas a través de las formaciones rocosas.

### **3.2.3 Técnicas**

#### **Etapa de compilación bibliográfica**

El trabajo en primera instancia contempla la compilación de información disponible (trabajos previos, mapas, papers, tesis, etc.), esto se lo realizó buscando en internet, biblioteca de EAPIG, boletines del INGEMMET; con la finalidad de tener un enfoque más amplio del sector donde se trabajó la presente tesis.

### **Etapa de trabajo de campo**

El trabajo de campo se realizó mediante reconocimiento general del área de estudio generando un cartografiado geológico donde se muestre las unidades litológicas presentes, cartografiado estructural, mineralización, alteraciones y por último una recolección de muestras estratégicas de roca para el análisis de laboratorio respectivo.

### **Etapa de trabajo de gabinete**

Una vez obtenida toda la información por las etapas antes mencionados, se procedió a organizar y procesar toda la data para el análisis correspondiente para la obtención de los resultados y su ubicación dentro de la base geológica, con la elaboración de planos de litología, alteraciones, mineralización y estructural, utilizando las herramientas de AutoCAD 2016 y ArcGis 10.3.

### **Etapa de trabajos de laboratorio**

Los trabajos de laboratorio se dieron paralelamente con el trabajo de gabinete y campo, se seleccionaron muestras para realizar petrografía y también mineralogía.

**Petrografía:** en el estudio petrográfico se realizó una descripción macroscópica y microscópica de las muestras seleccionadas, con el objetivo de determinar la cronología de los eventos de brechamiento, cementación y mineralización.

**Mineralogía:** de las muestras estudiadas en petrografía, se seleccionaron algunas con abundancia de minerales metálicos, para estudiar la sucesión mineral metálica en cada etapa de brechamiento, cementación y mineralización.

### **Etapa de la elaboración de la presente investigación**

Con toda la información obtenida de los trabajos de exploración, y resultados de laboratorio, se elaboró la presente tesis.

Con el cartografiado de campo y con los datos de laboratorio se realizó la digitalización de planos y secciones con el soporte de los softwares como ArcGis 10.3, AutoCAD 2016, entre otros.

Con los planos obtenidos y el análisis del comportamiento geológico, se realizó la interpretación de planos y secciones de la zona de investigación.

### 3.2.4 Instrumentos y equipos

**Sistema de Posicionamiento Global Navegatorio (GPS):** se utilizó para determinar la ubicación espacial de las diferentes zonas de estudio y muestras representativas del yacimiento.

**Brújula Brunton:** se realizó medición de rumbos y buzamientos para la interpretación en planos.

**Planos topográficos, geológicos, estructurales:** se utilizaron para la ubicación en campo y también se tomó como base para el posterior cartografiado.

**Microscopio NIKON modelo ECLIPSE E200,** del Laboratorio de Microscopia de la Universidad Nacional de Cajamarca departamento de biología, para la toma de microfotografías de los diferentes minerales y alteraciones.

**Picota de geólogo:** para obtener muestras de rocas y minerales para su posterior estudio.

**Lupa de geólogo (20X):** para determinar las diferentes propiedades de las rocas y minerales.

**Lápiz rayador:** para determinar la dureza de diferentes minerales.

**Lápices de colores:** se utilizó para diferentes tomas de datos y cartografiado.

**Tablero de mapeo:** para el cartografiado de alteraciones, mineralización y geología.

**Libreta de campo:** para la anotación de puntos, datos, muestreo y otros.

**Bolsas de muestreo:** para la codificación de las diferentes muestras recolectadas.

**Protactor a escala 1/2000 y 1/1000:** para plasmar los detalles en los diferentes planos.

**Cámara Fotográfica Digital:** se utilizó para la toma de fotografías representativas.

#### **Programas utilizados:**

**ArcGis 10.3:** Sistema de Información Geográfica, en el que se ingresó toda la información de campo, estructuras, etc. para obtener capas temáticas y poder realizar una mejor interpretación.

**AutoCAD 2016:** Este software fue utilizado para el intercambio de archivos entre los softwares geológicos y para la impresión de planos del informe final.

### 3.3 GEOMORFOLOGÍA

#### 3.3.1 Unidades Geomorfológicas. Clasificación Ortiz. 2017.

La zona presenta relieves accidentados, propios de una actividad de intensa meteorización y erosión, en el área de estudio se encuentra 5 unidades geomorfológicas que se describen a continuación.

##### **Unidad Geomorfológica Fluvial: Cauces Actuales (Fc)**

Los procesos Fluviales, que erosionan y sedimentan en la superficie del terreno, vienen a ser los ríos y quebradas que lo conforman, los cuales son el río Tingo, La Eme, Las Venadas, El Puente de la Hierba, en estos cauces se observa sedimentos transportados los cuales son sedimentos no consolidados, el caudal del río es variable y depende de las épocas de estiaje en las cuales en los meses más lluviosos (enero- marzo) el caudal es mayor y por lo tanto se tiene mayor cantidad de sedimentos transportados y sedimentados.



Fotografía 4: Valles juveniles generados por el río Tingo y la quebrada La Eme respectivamente.

##### **Unidad Geomorfológica Antrópica: Construcciones Mineras (Ac).**

Se denomina así a todas las modificaciones de la superficie terrestre, realizada por la intervención de la “mano del hombre”, las empresas mineras que operan en el área han alterado el relieve teniendo así en el área: presa de relaves, tajos y campamentos mineros.



Fotografía 5: Depósito antrópico ubicado en la parte inicial e inferior del yacimiento y a los márgenes del río Tingo, conformado por desmonte.

**Unidad Geomorfológica Volcánica: Estructura Montañosa Volcanica (Vm).**

Formada debido a los procesos volcánicos, los cuales constituyeron estructuras montañosas de rocas volcánicas, estas son resistentes a los procesos erosivos. Se caracterizan por el amplio terreno que ocupan así mismo por las mayores elevaciones

**Unidad Geomorfológica Sedimentaria: Estructural Montañoso (Sm).**

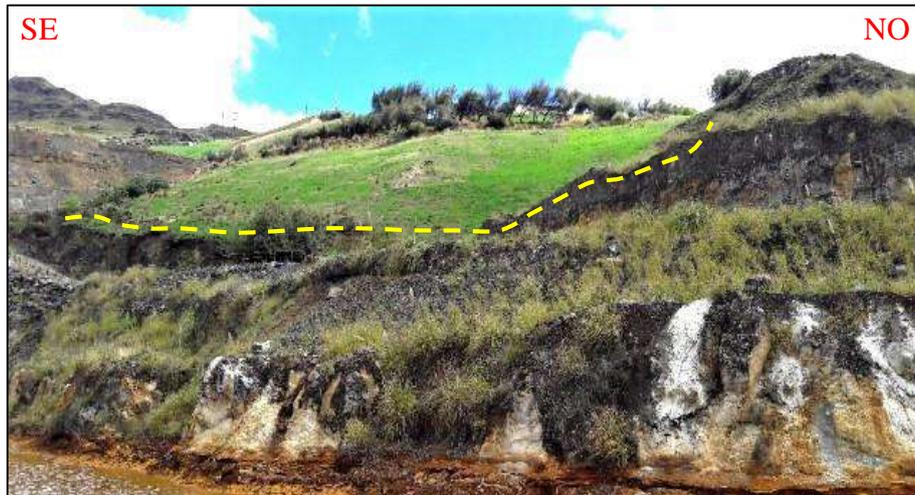
Los procesos estructurales que han deformado a las rocas sedimentarias de las Formaciones: Chúlec, Pariatambo y Yumagual; observándose los bloques afectados y diferenciándose en campo por sus afloramientos de escarpes rocosos.



Fotografía 6: Vertiente Montañosa de pendiente elevada y abrupta ubicado en el cerro Las Venadas.

### **Unidad Geomorfológica Denudacional: Ladera Denudacional Estable (De).**

Se ha tomado en cuenta el proceso principal que ha formado estas unidades, las cuales son los procesos exógenos, que han meteorizado y erosionado a las rocas sedimentarias y volcánicas, estas representan a laderas con baja pendiente menor a 20°, las cuales están compuestas por depósitos coluviales, la meteorización en estas laderas es baja lo cual les da estabilidad.



Fotografía 7: Ladera de suave pendiente conformada por depósitos coluviales y también presencia de depósitos antrópicos en la parte inferior.

### **3.3.2 Fisiografía**

Los rasgos geográficos del área corresponden íntegramente a la vertiente Oriental de la Cordillera Occidental de los Andes del Norte del Perú; caracterizada por una topografía variada con áreas fuertemente disectadas por ríos y quebradas. Las alturas van de 3400 a 4000 m.s.n.m. y con una pendiente máxima de 60°. La zona de investigación presenta un relieve muy accidentado, debido al levantamiento andino, la actividad volcánica y la erosión eólica e hídrica.

Se distinguen ríos, quebradas y valles que surcan las rocas volcánicas del Paleógeno - Neógeno y rocas calcáreas del cretáceo; además muestran drenajes dendríticos y subparalelos, los ríos tienen dirección SW a NE.

### **3.3.2.1 Tipos de pendiente por grados. Clasificación Rodríguez. 2016.**

#### **Planicies (0° a 8°)**

Encontramos dos áreas con estas características y deben su conformación a los remanentes topográficos de la superficie de erosión. Presentan una cobertura de depósitos fluvio-aluviales y antrópicos, que cubren las rocas del substrato, tienen el aspecto de paisajes llanos abiertos, además terminan en bordes que ascienden de manera abrupta hacia las partes altas de la cordillera, debido al microclima que generan son aprovechados por poblaciones para el asiento de sus zonas de cultivo y pueblos, están directamente relacionadas con la disolución de rocas carbonatadas pues están ubicadas en el centro de fondos de valles ciegos.

#### **Lomadas (8° a 25°)**

En el área de investigación encontramos estos tipos de pendientes en la parte baja e inicial del yacimiento San Nicolás al sureste del caserío Tingo, son muy frecuentes y forman parte transicional entre las laderas y las planicies antes descritas.

#### **Laderas (25° a 50°)**

Sobre las unidades litológicas compuestas principalmente por calizas, margas y limolitas fracturadas y altamente meteorizables, se tienen pendientes desde 25° hasta 50°. Constituidas por las inclinaciones de los cerros y cuyo comportamiento mayormente empinado en toda el área de investigación. Presentando variaciones en su conformación morfológica, debido a los agentes erosivos, los cambios litológicos y en especial a su comportamiento frente a las deformaciones.

#### **Escarpes (50° a más)**

Este tipo de unidad geomorfológica es de gran pendiente y están sometidas a procesos de excavación mecánica. Es común en unidades muy consistentes como calizas, chert y algunas calizas margosas. En la parte media encontramos escarpas en el stock diorítico del cerro Las Venadas. Con fuertes pendientes de hasta 75° debido principalmente al retrabajo de los agentes geodinámicos sobre los macizos rocosos, además tenemos escarpas de este tipo en depósitos cuaternarios recientes constituidos por arenas, limos, arcillas y topsoil, materiales sin cohesión y generalmente con presencia de infiltración que cede ante la acción de la gravedad, este tipo de pendientes es llamada también zona de cárcavas.

### **3.4 GEOLOGÍA REGIONAL**

La región está comprendida por el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los andes comprendidos entre altitudes de 3400 y 4000 m.s.n.m., la secuencia estratigráfica está constituida por rocas sedimentarias y volcánicas que se depositaron entre el jurásico superior y el cuaternario, están instruidos por rocas plutónicas principalmente de composición diorítica, y granodiorítica, presentan emplazamientos de eventos subvolcánicos de composición andesíticos, dacíticos y riolíticos. Por lo general los procesos de alteración y generalización metálica de la región está asociada a estos eventos subvolcánicos (sistemas epitermales).

A continuación, se hace una descripción, de las unidades litológicas que han sido definidas en la región por diferentes autores en trabajos de investigación previos.

La zona de investigación se ubica en la parte noroccidental del territorio peruano, en el cuadrángulo Geológico de Chota (14f del INGEMMET); tectónicamente hablando al este de las placas convergentes (placa sudamericana y placa de nazca) y bajo la influencia de la deflexión de Huancabamba a fines del cretácico.

Dentro de las rocas que afloran en mayor proporción tenemos rocas sedimentarias del Cretácico Inferior: Grupo Goyllarisquizga, Formación Inca, Chúlec y Pariatambo; Cretácico Superior: Formación Yumagual. También afloran rocas volcánicas de composición dacítica, andesítica y riolítica del Paleógeno – Neógeno, rocas intrusivas principalmente de composición diorítica y granodiorítica, y depósitos cuaternarios recientes.

La geología de ésta parte de la Cordillera Occidental contiene una potente secuencia de rocas sedimentarias marinas del Mesozoico.

El Grupo Goyllarisquizga está constituida de areniscas blancas de grano medio a grueso, en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje en el techo; la Formación Inca está compuesta gradualmente de intercalaciones de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de areniscas cuarzosas; la Formación Chúlec consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por meteorización adquieren un color crema – amarillento; la Formación Pariatambo consiste de una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos, con un olor fétido al fracturarlos; la Formación Yumagual

consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduscas en bancos más o menos uniformes, destacando un miembro medio lutáceo margoso (Wilson, 1985).

En el distrito minero de Hualgayoc, se distinguen diferentes eventos de intrusión, relacionada a la intensa actividad magmática que tuvo lugar en el Paleogeno – Neogeno. Las dataciones radiométricas realizadas en el distrito indican que la actividad magmática inicio en el Paleoceno – Eoceno con la depositación de los volcánicos Calipuy (53.8 Ma) y el emplazamiento del stock intrusivo San Miguel (45 Ma) (Soler, 1998).

Los intrusivos del distrito minero de Hualgayoc se emplazan en forma de stock, sill y diques, las rocas volcánicas se encuentran cubriendo extensas áreas constituidas por tobas y lavas, y emplazamiento de domos (Bohomme, 1990).

Para la región las rocas ígneas emplazadas en el Cenozoico, son de composición calco – alcalina. Los intrusivos presentan en su mayoría texturas porfiríticas, diferenciándose dioritas y dacitas, mientras que las volcánicas presentan textura afanítica con cristales desarrollados de biotita y horblenda, se distinguen riolitas y andesitas.

### **3.5 GEOLOGÍA LOCAL**

#### **3.5.1 Estratigrafía**

La litología del lugar está conformada por formaciones sedimentarias calcáreas pertenecientes al Cretácico, además de intrusivos y volcánicos del Paleógeno-Neógeno.

##### **3.5.1.1 Rocas Sedimentarias**

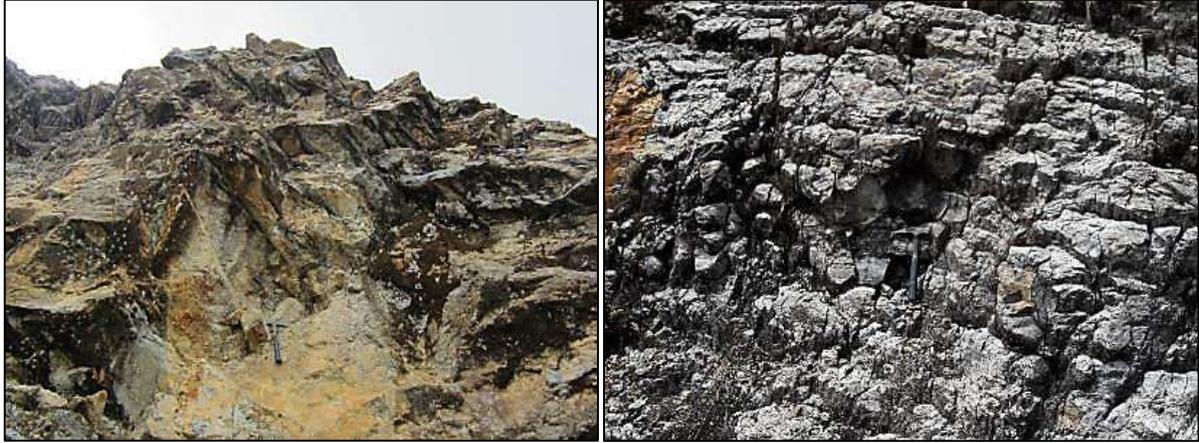
###### **Unidades Cretácicas (Grupo Crisnejas)**

###### **Formación Chúlec (Ki-chu)**

Está compuesta por una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y algunos niveles cortos de margas, presentan un color beige amarillento producto de la meteorización supergena existente.

Su mayor exposición es hacia la zona noreste del distrito, es posible reconocerla aguas abajo del Río Tingo y a lo largo de la carretera que va desde el campamento Colquirrumi hasta el caserío Apan Bajo.

Los contactos de la Formación Chúlec son concordantes, hacia la base con la Formación Inca y al techo con la Formación Pariatambo. Su ambiente de sedimentación representa una segunda etapa de transgresión marina del Albiano.



Fotografía 8: Secuencias de calizas fosilíferas beige-amarillentas y calizas laminares gris oscuras de la Formación Chúlec, con moderada alteración supergena. (Ubicación N:9252988; E:761204).

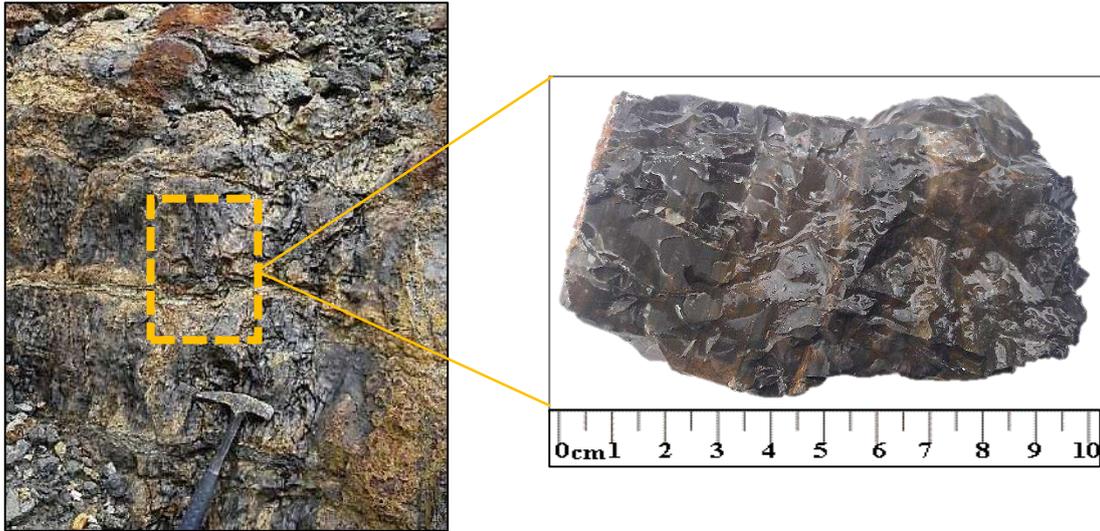
### **Formación Pariatambo (Ki-pa)**

Aflora en las partes más elevadas del distrito, se observa a lo largo del eje del anticlinal Negritos al noreste. Consiste en  $\pm$  200 a 300 metros de espesor, presenta niveles delgados a medios de calizas bituminosas de color gris oscuro, intercalada con niveles delgados de lutitas negras. Su estratificación es rítmica y en general presenta un olor fétido. Son de mayor resistencia que las calizas de la Formación Chúlec y forman escarpes más pronunciados.

La Formación Pariatambo hacia la base se encuentra concordante con la Formación Chúlec, y hacia el techo con la Formación Yumagual.



Fotografía 9: Calizas oscuras bituminosas bien estratificadas de la Formación Pariatambo, ubicadas en la parte superior de la mineralización. (Ubicación N:9253016; E:761467).



Fotografía 10: Caliza silicificada o chert de la Formación Pariatambo ubicado en la parte central mineralizada. (Ubicación N:9252931; E:761548).

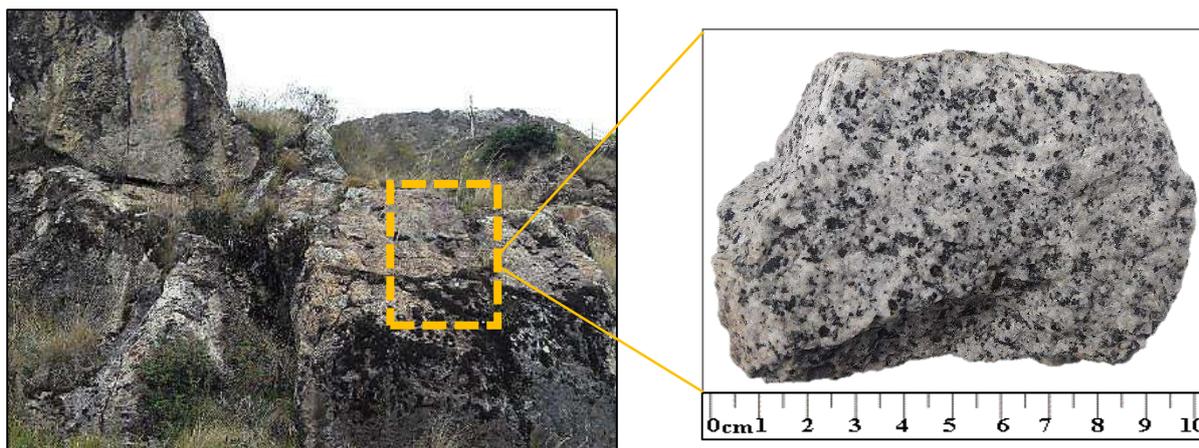
### 3.5.1.2 Rocas Intrusivas

La secuencia sedimentaria cretácica se encuentra cortada y deformada por pequeñas a medianas apófisis de rocas ígneas en forma de stocks y diques que instruyen principalmente a la Formación Pariatambo, la principal estructura ígnea es el stock San Miguel en el cerro Las Gordas y está representado por grandes cuerpos de granodiorita porfídica, las que están mayormente asociadas a la mineralización.

#### **Stock Porfirítico Granodiorítico San Miguel (45 Ma)**

El intrusivo San Miguel aflora al noreste del río el Tingo. Se encuentra emplazado a lo largo del anticlinal de rumbo andino NO “Negritos”, su geometría es de tipo stock con un afloramiento de 4 km de longitud y 2 km de ancho. Se encuentra en contacto con rocas carbonatadas de las Formaciones Pariatambo y Chúllec.

La roca del intrusivo San Miguel ha sido clasificada como una granodiorita de textura porfírica. Su contenido mineralógico consiste principalmente en fenocristales de plagioclasas (Anortita 45 – 50 %), con minerales accesorios cuarzo, horblenda, clinopiroxenos (apatito) y zircón. Se observa zonamiento de fenocristales de horblenda y plagioclasas (Mac Farlane, 1989).



Fotografía 11: Pórfido Granodiorítico con textura obliterada del cerro Las Gordas ubicado en los límites laterales del proyecto. (Ubicación N:9252748; E:760943).

### 3.5.1.3 Depósitos Cuaternarios

#### Depósitos Aluviales (Q-al)

El material Aluvial se halla en los causes recientes y en las laderas de los valles y quebradas, formando respectivamente terrazas y conos aluviales. Algunas terrazas se hallan a 50 mts. Sobre el nivel de los causes de los ríos actuales, como consecuencia del levantamiento actual de los andes y el subsiguiente rejuvenecimiento de los ríos que han labrado profundamente valles en V.

#### Depósitos de Desmorte o Antrópicos (Q-de)

Las acumulaciones de desmorte o artificiales de suelos naturales, fragmentos de rocas, o material de desecho generados por todas las empresas mineras que operan en el área. Están constituidos mayormente por limos, gravas y cantos angulosos a subredondeados, dentro de una matriz arenosa-arcillosa, presenta una grosera estratificación, que se acuña entre capas de arena y arcilla.



Fotografía 12: Depósitos antrópicos generados por las empresas mineras aledañas y acumulado en los márgenes del río el Tingo. (Ubicación N:9253001; E:761034).

### **3.6 MARCO TECTÓNICO REGIONAL**

La geomorfología de la cordillera occidental de los andes, de cual forma parte el Distrito Minero de Hualgayoc, estuvo caracterizado por dos eventos tectónicos mayores. El primero relacionado a la depositación de sedimentos en un régimen extensional en la cuenca noroccidental y el segundo relacionado a eventos de compresión de la orogenia andina, que fueron el resultado del cambio a un régimen de subducción del tipo andina (Benavides, 1999).

El Distrito Minero de Hualgayoc localizado en la parte norte de la cordillera occidental, presenta fallas y pliegues de rumbo andino NO que se activaron y reactivaron producto de la convergencia ortogonal de las placas durante la orogenia andina (mesozoico - cenozoico). Es parte del corredor estructural Chicama - Yanacocha, cuyo rasgo predominante son las fallas rumbo trasandino NE con un movimiento predominante sinistral, formadas durante la convergencia oblicua NNE de las placas, relacionada a la tectónica Inca (R. Davis, 2002).

El Distrito Minero de Hualgayoc está ubicado en el extremo noreste de la deflexión de Cajamarca en el que se observa como rasgo característico estructuras de orientación NNO a E-O que fueron activadas contemporáneamente a las estructuras trasandinas.

La intensidad de la actividad magmática, está relacionada a periodos de altos ratios de subsidencia de las placas de Nazca y Sudamericana  $>10$  cm/año. En el distrito minero Hualgayoc están representados por el emplazamiento de los volcánicos Llama-Calipuy de 54.8 Ma y el Intrusivo San Miguel 45 Ma (Fase Inca) y el emplazamiento de los intrusivos Sill Yanacancha 16.8 Ma, stock Cerro Corona 14.4 Ma, Sill Coymolache de 14.3, stock Cerro Tantauhatay 13.2 Ma, stock San José 13 Ma, stock Cerro las Gordas y Pan de Azúcar de 12.73 Ma, stock de Cerro Jesús 14.3 Ma (Fase Quechua I) y los domos relacionados al domo de Cerro Hualgayoc con edades de 9.05 a 7.2 Ma (Quechua II) (Soler y Bonhomme, 1990).

#### **3.6.1 Mesozoico (Triásico - Cretáceo) - Fase Nevadina**

En el norte del Perú, el largo periodo de tiempo que antecedió a la orogenia andina (Triásico - Cretáceo) se caracterizó por la depositación de una amplia secuencia de sedimentos continentales y marinos, en un régimen principalmente extensional con el adelgazamiento de la corteza o subducción tipo Marina - Fase Nevadina (Mégard, 1984; Benavides, 1999).

En el Distrito Minero de Hualgayoc, las rocas sedimentarias más antiguas que corresponden a este periodo son las areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga, que se formaron durante

el periodo de regresión marina que se generó debido a un evento de compresión menor a inicios del Valanginiano. Luego de este evento, se inició nueva transgresión que permitió la depositación de los sedimentos marino calcáreos en el Cretáceo, en el área de estudio pertenecen a las formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo y Yumagual (INGEMMET Bol. 55, 1995; Mégard, 1984; Benavides, 1999).

#### **3.6.1.1 Fase Peruana (84 – 79 Ma)**

Después de la sedimentación del Cretáceo, se dio inicio a la orogenia andina. Un primer evento compresivo tuvo lugar en el Perú, denominado Fase Peruana, cuyo principal rasgo es el levantamiento de las cuencas de sedimentación cretácica occidental y oriental (Megard. 1984). Esta fase tuvo una influencia marcada en la formación de pliegues amplios con orientación andina NO-SE, que delinearón la cordillera (INGEMMET Bol. 55,1995).

En el norte del Perú entre los 90, 80 y a los 55 millones de años, hubo un periodo de baja deformación ligado a un significativo decrecimiento en los rangos de subsidencia  $< 10$  cm/año, concluyendo en un importante hiato de sedimentación y el desarrollo de discordancias (Jaillard y Soler, 1996).

En el Distrito Minero de Hualgayoc, debido a este periodo de bajos rangos de subsidencia de las placas, la actividad magmática fue escasa o nula. Sugiriendo que este evento tectónico estuvo relacionado a plegamiento regional de orientación andina con la formación de anticlinales y sinclinales simétricos. Esta fase está representada por la formación del anticlinal Negritos, Apan y Bambamarca.

#### **3.6.2 Cenozoico**

La actividad tectónica del cenozoico estuvo caracterizada por tres grandes eventos tectónicos compresivos Inca, Quechua I y Quechua II los cuales continuaron deformando la secuencia sedimentaria cretácica y estuvieron relacionados a un intenso magmatismo.

Los eventos de intensa actividad magmática están relacionados a altos ratios de convergencia entre las placas de Nazca y la sudamericana ( $> 10$  cm/año). En contraste los periodos de ausencia o baja actividad magmática están sistemáticamente relacionados a periodos de baja subsidencia de las placas  $<10$  cm/año (Soler y Bonhomme, 1990).

### **3.6.2.1 Fase Inca (59 – 55 Ma)**

La fase Inca plegó con mayor intensidad la secuencia sedimentaria deformada en la fase peruana, desarrollando sobre escurrimientos en los pliegues preexistentes y fallamiento inverso. En el Distrito Minero de Hualgayoc, este evento está relacionado a la formación de los anticlinales Negritos, Apan y Bambamarca. La falla Tumbacucho está alineado regionalmente con la falla inversa El Punre, el cual está relacionada al emplazamiento de los depósitos de Galeno, Minas Conga y Michiquillay (Davis, 2002).

Producto de esta fase compresiva (Inca I) se formó la deflexión de Cajamarca, ubicada entre las latitudes 8°- 6°S. La subducción oblicua de la placa oceánica, bajo la placa sudamericana, generó esfuerzos compresivos de orientación SSO - NNO con movimiento sinistral, los cuales formaron estructuras en forma de echelón en la región de Cajamarca. Durante este régimen se formaron fallas de orientación trasandinas NE - SO a E - O y también sistemas de fallas de rumbo andino NO - SE, que presentan un movimiento oblicuo sinistral (Vidal y Noble, 1994).

El Distrito Minero de Hualgayoc, ubicado en el extremo noreste de la deflexión de Cajamarca, evidencia fallas principales de orientación trasandina NE - SO representadas por las fallas Hualgayoc y El Tingo, de movimiento aparentemente sinistral ligadas a la formación de fallas tensionales de orientación andina NO - SE que son las predominantes en las secuencias sedimentarias del cretácico.

Este régimen de extensión controló el emplazamiento de magmas a lo largo de las estructuras pre existentes, los cuales dieron origen al vulcanismo de la Formación Llama (54 - 43 Ma), que se correlaciona con los volcánicos del Grupo Calipuy ampliamente reconocidos en el centro y norte del Perú. También controló el emplazamiento del intrusivo San Miguel (45 Ma) a lo largo del eje del anticlinal Negritos, el cual tiene una orientación andina NO-SE.

### **3.6.2.2 Fase Quechua I (17 Ma)**

En el Distrito Minero de Hualgayoc, las intrusiones magmáticas y vulcanismo están distribuidas a lo largo de la intersección de fallas de orientación andina NO - SE y trasandinas NE - SO, reactivadas en esta tectónica Quechua I (17 Ma), durante el régimen extensional dextral post compresivo, las que controlaron el ascenso de magmas de composición calco - alcalina (Benavides, 1999; Davis, 2002).

Producto de este magmatismo se emplazaron el intrusivo como el Sill Yanacancha de 16.8 Ma que es el más antiguo, seguido de los intrusivos de Cerro Corona de 14.4 Ma y Sill Coymolache de 14.3 Ma, el intrusivo del Cerro Tantahuatay 13.2 Ma que según las dataciones se relaciona con la edad de actividad hidrotermal de Cerro Corona y Cerro San José, el stock granodiorítico de Cerro las Gordas y Pan de Azúcar de 12.73 Ma (Tosdal, 2001).

El evento post compresivo de la fase Quechua I está asociado a movimientos normales de poco desplazamiento. Se evidencia este régimen de extensión con el desarrollo de fallas, como las fallas Colorada, Yanacancha y la reactivación de falla Tumbacucho de orientación ONO - ESE. De acuerdo a las observaciones de campo estas estructuras, sirvieron de control para el ascenso de fluidos hidrotermales que están bien representados por las vetas emplazadas en Cerro Jesús, San José, Tajo el Zorro (Colorada), Pozo Ricos, Firenze, Quebrada Honda y estructuras en los volcánicos Tantahuatay (Cuerpos de brecha), las que indican edades de emplazamiento entre 12.40 - 10.29 Ma (Borredon, 1982 y Mac Farlane et.al., 1994).

### **3.6.2.3 Fase Quechua II (9 Ma)**

Un segundo evento compresivo denominado Quechua II con una edad promedio de 9 Ma caracterizó la reactivación de la actividad magmática de diferente composición, riolítica a riocácica, desarrollándose el emplazamiento de los domos de Cerro Hualgayoc, Las Gordas, Pan de Azúcar y Tantahuatay datados de 9.05 - 7.9 Ma (Mac Farlane et.al., 1994).

## **3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Estructuralmente el área de investigación ha sido afectada por deformaciones, producto de esfuerzos compresivos y distensivos. Esto ha generado plegamientos, los cuales han producido que las estructuras se fallen.

El depósito se encuentra en el control de las fallas mayores de orientación NE – SO del Tingo - Hualgayoc y hacia el flanco suroeste del anticlinal Negritos de orientación andina.

La estructura que está controlando el emplazamiento de la mineralización es la falla extensional Colorada, de orientación oeste noroeste, de cinemática normal, esta falla es parte de un sistema de fallas que está controlando la mineralización epitermal en el distrito. Lo más resaltante de ésta zona es que se ha reconocido un sistema de fallas de rumbo con dirección NO-SE, así como también de un fracturamiento intenso.

### **3.7.1 Pliegues**

Las unidades estratigráficas del Cretáceo presentan deformaciones en extensión y compresión, asociadas a intrusiones posteriores, que originaron una variedad de deformaciones frágiles como fallas y fracturas y deformaciones dúctiles como pliegues cerrados y cabalgamientos con planos axiales de rumbo general NO - SE y plunge al Noroeste, sus núcleos lo forman las calizas de la Formación Chúlec y Pariatambo.

#### **3.7.1.1 Anticlinal Negritos**

El proyecto San Nicolás se encuentra en el flanco suroeste del anticlinal simétrico de Negritos, pliegue regional amplio con orientación andina NO-SE formado en los eventos tectónicos de la fase peruana (84 – 79 Ma), se encuentran afectando las unidades formacionales cretácicas, en el núcleo afloran rocas sedimentarias de las Formaciones Chúlec y Pariatambo acompañados del Grupo Goyllarisquizga, también volcánicos andesíticos y dacíticos.

### **3.7.2 Fallas**

#### **3.7.2.1 Falla El Tingo**

El depósito se encuentra en el control de la falla principal de orientación trasandina NE – SO El Tingo, formada en los eventos tectónicos de la deflexión de Cajamarca en la Fase Inca (59 – 55 Ma). De movimiento aparentemente sinistral ligada a la formación de fallas tensionales de orientación andina NO – SE que son las predominantes en las secuencias sedimentarias del cretácico, no presenta estrías de falla por el tiempo que ha transcurrido. Esta falla se ha podido cartografiar gracias a la linealidad que presenta en el río que lleva el mismo nombre de la falla y en donde se aprecia la no continuidad de los estratos guía en la Formación Chúlec la cual se muestra en el plano geológico.



Fotografía 13: Falla El Tingo de orientación trasandina.

### 3.7.2.2 Falla Colorada

La estructura que está controlando el emplazamiento de la mineralización es la falla extensional Colorada, de orientación ONO – ESE, de cinemática normal (Garay, 1996; Brodie, 2010) con un buzamiento de  $60^{\circ}$  -  $70^{\circ}$  hacia el sur y una extensión en el depósito de 800m. Esta falla es parte de un sistema de fallas que está controlando la mineralización epitermal en el distrito, que se extiende ampliamente hacia el Cerro Jesús, Los Mantos y Cerro José.



Fotografía 14: Falla extensional Colorada que origino la mineralización y falla normal en la Formación Pariatambo (Ubicación N:9253020;E:761554).

### 3.7.3 Fracturas

El patrón de fracturamiento está asociado a las orientaciones de las vetas, fallas, stock y diques, que deformaron las unidades estratigráficas del Cretácico, este fracturamiento tiene orientación NO - SE, paralelo al fallamiento andino.



Fotografía 15: Fracturamiento moderado en la Formación Pariatambo y Chúlec respectivamente.

### **3.8 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para el tratamiento de datos se ha utilizado data de muestreo representativo recolectado en campo y los análisis de muestras petromineralógicas, se empleó los resultados de 15 muestras de mano y un estimado de 40 datos de interpretaciones de fotomicrografía, que serán analizados visualmente y descritos para determinar las asociaciones de minerales, estilo de mineralización y minerales típicos de cada alteración.

Con los datos de campo y el análisis del comportamiento geológico, se realizó la interpretación de planos y secciones de la zona de investigación.

Con el cartografiado de campo y con los datos de laboratorio se elaboraron los planos con el soporte del software como ArcGis 10.3, AutoCAD 2016, entre otros.

Para el ploteo de planos geológicos y ploteo de las muestras tomadas en campo se utilizará el programa Arc GIS 10.3

El tipo de Análisis aplicado es el descriptivo e inferencial ya que a partir de los estudios petromineralógicos se encontrará características importantes del yacimiento y con las interpretaciones - comparaciones descriptivas y visuales se determinará las asociaciones de los minerales económicos y accesorios.

En el estudio petromineralógico se realizará una descripción macroscópica y microscópica de las muestras seleccionadas

De los resultados obtenidos y la correlación de variables litología, alteraciones y mineralización, se determinarán las características petrográficas y los minerales de alteración que estén asociadas a la mineralización en el yacimiento.

Los resultados de las características petromineralógicas y fotomicrográficas serán presentados en cuadros y representados en los planos de litología y alteración con los ensambles mineralógicos correspondiente.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 MINERALIZACIÓN**

La mineralización está controlada por la estructura de la falla Colorada, que permite el ascenso de los fluidos y se extiende a lo largo de las rocas favorables cuya permeabilidad fue incrementada por el cizallamiento y/o la porosidad en la estructura interna de la roca en este caso, calizas de la Formación Chúlec y Formación Pariatambo.

La mineralización principal está emplazada en la veta denominada (Veta Colorada) y hacia el techo de la veta se han reconocido dos mantos de reemplazamiento, emplazados en calizas de la Formación Chúlec.

La veta Colorada, presenta una textura brechada con clastos de calizas descalcificadas y calizas silicificadas, en una matriz compuesta por sulfuros masivos como: pirita, bornita, enargita y silicatos (cuarzo). Los mantos también son de composición de sulfuros masivos, predominantemente se encuentra pirita, esfalerita, galena.

La mineralización fue emplazada en calizas de forma masiva, semimasiva, parches y diseminada y controlada por la fracturación y fallamiento que le sirvieron de conducto al flujo mineralizante epitermal, el mismo que es diseminado en la caliza. Contiene finos granos de oro, minerales como sulfuros, sulfoarseniuros, sulfatos y otros.

La mineralización se produjo a través de un flujo mineralizante y la presencia de una roca favorable como la caliza con impurezas y bituminosa de la Formación Pariatambo, cuyos flujos iniciales silicificaron a la caliza.

El principal mineral económico en el yacimiento San Nicolás es el oro, se presenta con granulometría fina y no es visible macroscópicamente, siendo detectable con análisis químicos. La mineralización de oro se produjo a temperaturas de 175 a 200 °C, habiéndose introducido:

cuarzo, pirita, oro de 5 a 30 micras. Metales bases en ínfima cantidad fueron depositados después del oro. La lixiviación acida se produjo al final de la mineralización.

Entre los minerales económicos tenemos a la enargita, esfalerita, galena, bornita, pirita y óxidos de fierro (goethita, hematita, limonita); también en pequeñas cantidades encontramos tetraedrita y covelita. Como minerales accesorios existe calcita, cuarzo, malaquita, calcantita y además en pequeñas cantidades de baritina.

#### **4.1.1 Estudios microscópicos de minerales**

La descripción mineralógica se realizó a partir de muestras representativas seleccionadas y extraídas del yacimiento; utilizando el microscopio NIKON modelo ECLIPSE E200, del Laboratorio de Microscopia de la Universidad Nacional de Cajamarca departamento de biología. Se tomaron fotos representativas a cada muestra extraída mineralizada, para luego realizar microfotografías con aumentos de 60x y 100x para poder apreciar mejor las características y determinar sus propiedades mineralógicas.

Las muestras seleccionadas presentan diferentes contenidos finos de Au no siendo detectados con el microscopio sino con análisis químicos, pero registrando los demás minerales polimetálicos de tamaño milimétrico a centimétrico aportadores de contenidos metálicos en el yacimiento.

#### 4.1.2 Minerales Económicos

##### Muestra MSN-01

Se puede observar en esta muestra cristales y agregados euhedrales - subhedrales de pirita, con contornos redondeados e irregulares, encontrándose ocasionalmente cristales de formas octaédricas, pentagonales y cubicas; que forman una textura casi masiva parcialmente afectada por un leve fracturamiento.

Concentraciones de esfalerita y galena ocurren como pequeños reemplazamientos en la pirita como parte del desarrollo paragenético y que está asociado a la tetraedrita y enargita. Esta esfalerita se la puede observar en formas anhedrales con contornos irregulares y presentándose en dos ocurrencias como granos que presentan caras muy limpias con reflexiones rojizas y el segundo con inclusiones de diversos tipos de mineral dando una apariencia sucia.

Se puede apreciar covelita como patinas y algunas inclusiones; siempre se encuentra como cristales de formas anhedrales de contornos redondeados.



Fotografía 16: (Muestra MSN-01) Veta mineralizada de sulfuros de Enargita, Esfalerita, Covelita y Pirita, con estilo de mineralización masivo, semimasivo, parches y diseminado. En protolito de roca calcárea obliterada.

### **Enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ )**

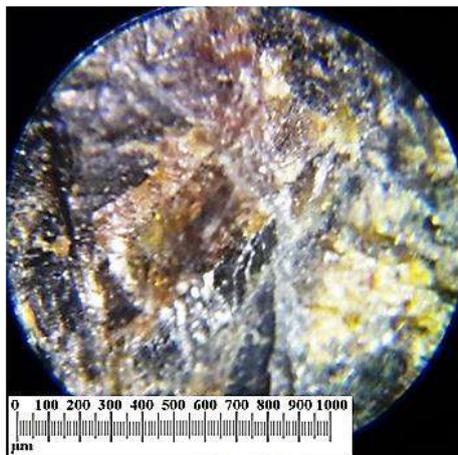
Químicamente es un sulfato de arsénico y cobre, de composición 48.3% Cu, 19.1% As y 32.6% S. Presenta como aspecto típico un hábito masivo negro, color plateado con patina y raya negra grisácea, brillo metálico, dureza 3 y densidad 4.5. Mineral hidrotermal de temperatura media y aportador de cobre en el yacimiento.



Fotomicrografía 1: Enargita de color negro gris a hierro con hábito euhedral y subhedral. (Vista aumentada 60x de la muestra MSN-01).

### **Esfalerita ( $\text{ZnS}$ )**

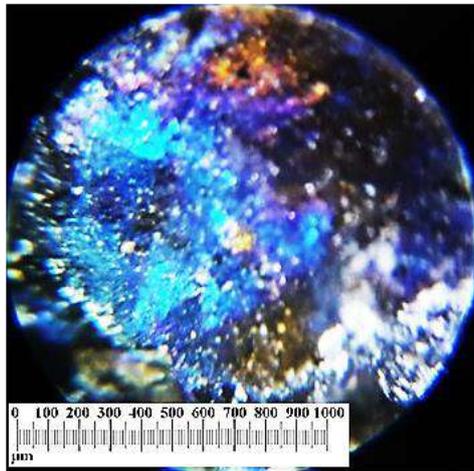
Químicamente es un sulfuro de zinc de composición 67% Zn y 33% S. Presenta color castaño a negro, dependiendo de la cantidad de hierro se torna más oscuro, brillo metálico a resinoso, raya blanco parduzco, dureza 4 y densidad 4.2. Se encuentra emplazado en forma de concentraciones en las zonas de mineralización junto con la pirita y en mayor proporción con la galena. Principal mena de zinc.



Fotomicrografía 2: Esfalerita de color castaño acaramelado con hábito masivo anhedral. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-01).

### **Covelita (CuS)**

Químicamente es un sulfuro de cobre de composición 66.46% Cu y 33.54% S. Presenta color azul añil, brillo submetálico, raya gris o negra, dureza 2 y densidad 4.65. Mineral secundario en zona de oxidación o enriquecimiento de sulfuros de cobre, por lo general masivo o en capas de revestimiento y mena menor de cobre.

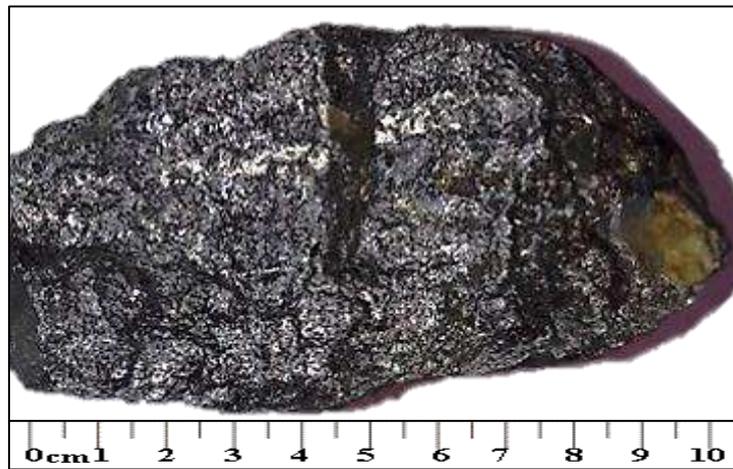


Fotomicrografía 3: Covelita de color azul añil con hábito masivo anhedral. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-01).

## Muestra MSN-02

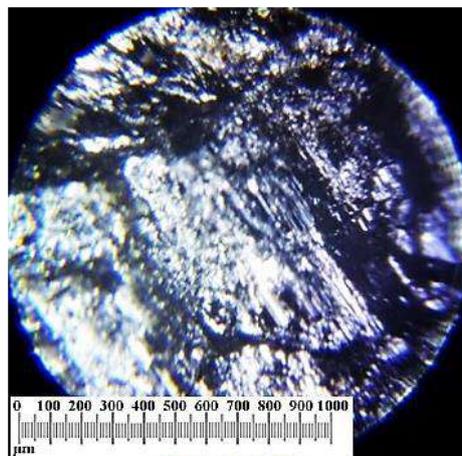
Se observan cristales y agregados aislados de enargita, presenta formas subhedrales y masivas, se encuentra como partículas libres y como inclusiones especialmente con pirita, bornita y tetraedrita.

La tetraedrita se presenta en medianas concentraciones desde formas anhedrales, con bordes muy irregulares, hasta subhedrales con diversos hábitos; la asociación más frecuente de la tetraedrita es con la enargita, ya sea como inclusiones dentro de esta, intercrecidas o como partículas libres; y también está asociado a la pirita, esfalerita y galena este último se lo aprecia en pequeñas cantidades en forma de cristales anhedrales a subhedrales, intercrecida con otras fases minerales como pirita, esfalerita y bornita.



Fotografía 17: (Muestra MSN-02) Veta mineralizada de sulfuros de enargita, galena y tetraedrita, con estilo de mineralización masivo, semimasivo, parches y diseminado. En protolito de roca calcárea obliterada.

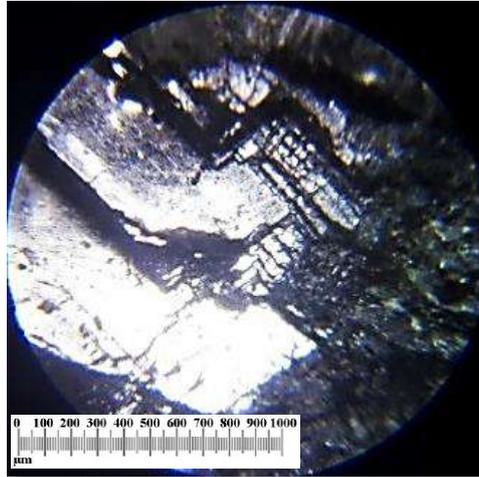
## Enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ )



Fotomicrografía 4: Enargita de color negro gris a hierro con hábito terroso masivo y también cristales milimétricos alargados. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-02).

### **Galena (PbS)**

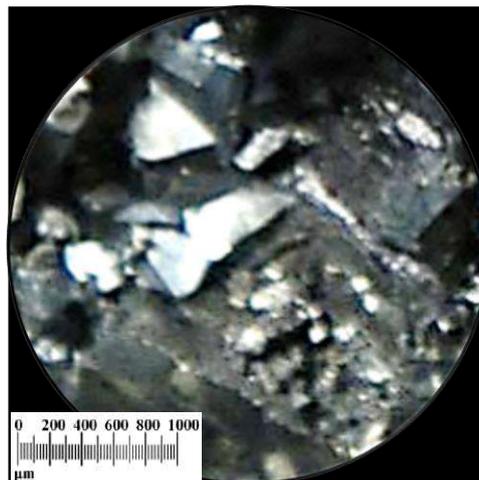
Químicamente es un sulfuro de plomo de composición 86.6% Pb y 13.4% S. Presenta color gris plomo, brillo metálico, raya gris oscuro, dureza 2.5 y densidad 7.5. Se encuentra con hábito subhedral y es el principal mineral de plomo en el yacimiento.



Fotomicrografía 5: Galena de color gris plomizo con hábito cubico subhedral y exfoliación perfecta. (Vista aumentada 60x de la muestra MSN-02).

### **Tetraedrita (Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)**

Químicamente es un antimoniosulfuro de hierro y cobre de composición 45.77% Cu, 29.22% Sb y 25.01% S. Presenta color negro grisáceo, brillo metálico, raya negra, dureza 3 y densidad 5.2. Mineral de contacto de baja y media temperatura, se encuentra con hábito tetraédrico, aunque a veces viene acondicionado por el hábito de la calcopirita, a quien recubre. Tambien en concentraciones masivas y granulares.



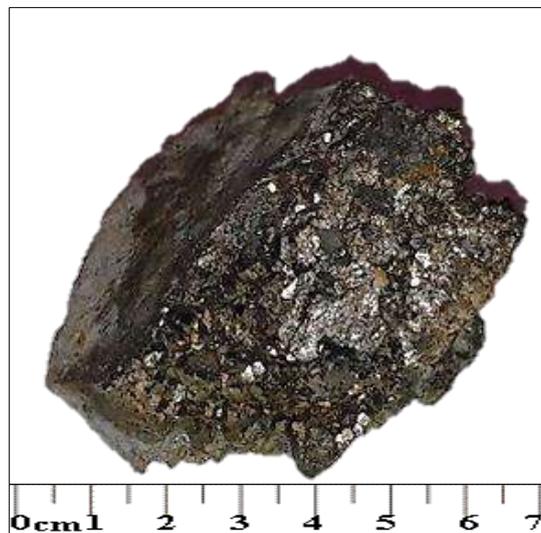
Fotomicrografía 6: Tetraedrita de color negro grisáceo con hábito euhedral y granular. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-02).

### **Muestra MSN-03**

Esta muestra presenta mineralización débil de pirita a lo largo de las microfracturas, trazas de pirrotita y bornita se encuentran asociados y reemplazando a la pirita; la cual ocurre como relleno en los microcontactos de granos o rellenando fracturas, con tamaños menores.

La pirrotita es escasa, sin embargo, se la puede ver en algunas muestras. La forma como se presenta es siempre masiva anhedral en inclusiones, de contornos muy redondeados, en ocasiones muy irregulares y algunos en forma de gránulos de tamaños muy finos.

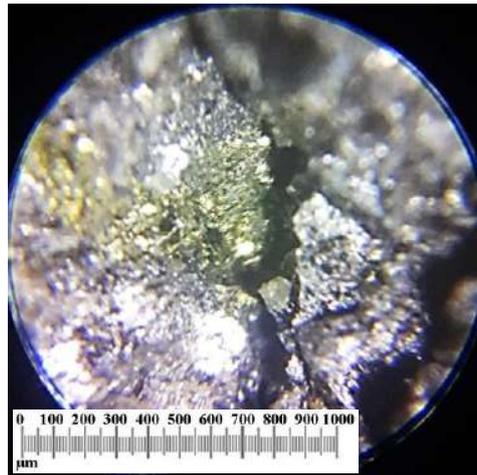
La bornita está presente como partículas libres. La mayoría de veces se encuentra asociada a otros minerales de la mena y en menos proporción se puede ver como cristales individuales



Fotografía 18: (Muestra MSN-03) Veta mineralizada de sulfuros de pirita, pirrotita y bornita, con estilo de mineralización masivo, semimasivo, parches y diseminado. En protolito de roca calcárea obliterada.

### **Pirrotita (Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>)**

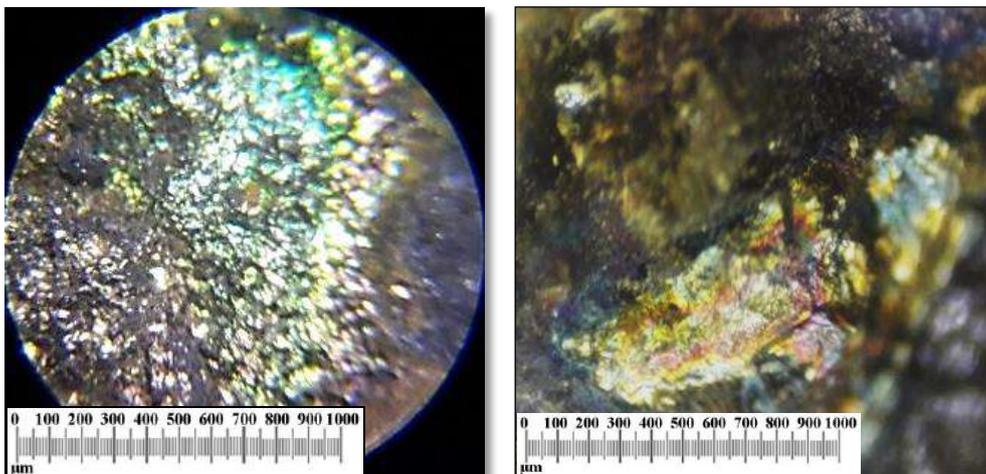
Químicamente es un sulfuro de hierro de composición 62.33% Fe y 37.67% S. Presenta color bronce a marrón oscuro, brillo metálico, raya gris oscura a negra, dureza 4 y densidad 4.7. Mineral hidrotermal de alta temperatura y magnético, por lo general se encuentra en estado masivo y filones de sulfuros diseminados. En el yacimiento está asociado a galena, pirita y esfalerita.



Fotomicrografía 7: Pirrotita masiva de color bronce. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-03).

### **Bornita (Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>)**

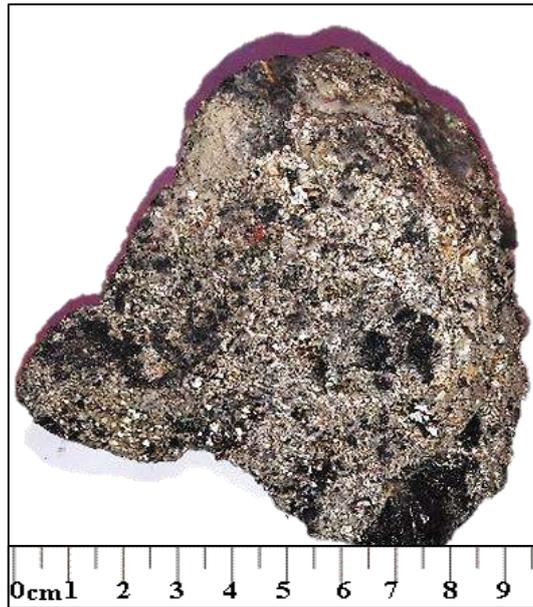
Químicamente es un sulfuro de hierro y cobre de composición 63.3% Cu, 11.2% Fe y 25.5% S. Presenta en superficie fresca color bronce pardo, pero al aire rápidamente se cubre de una pátina jaspeada, purpura y azul, brillo metálico, raya negra grisácea, dureza 3 y densidad 5. Mineral hidrotermal de temperatura media se encuentra con otros sulfuros como covelita, pirrotita y pirita, es mena de cobre.



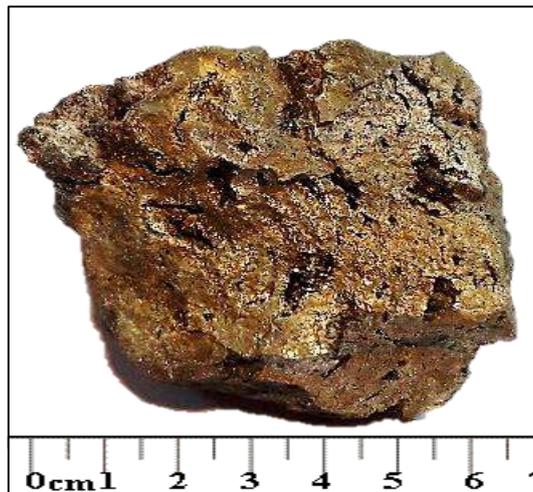
Fotomicrografía 8: Bornita en hábito masivo anhedral de color purpura y azulado. (Vistas aumentadas a 100x de la muestra MSN-03).

### **Muestra MSN-04 y MSN-05:**

En el análisis mineralógico se puede observar una mineralización de sulfuros alta en pirita en forma de cristales y agregados, euhedrales y subhedrales que están aislados o se encuentran a lo largo de microfracturas en la mena, asimismo es apreciable el fracturamiento de la pirita. Este fracturamiento producto de los esfuerzos tectónicos. También se encuentra entre las uniones de los cristales o como relleno de microespacios en el mineral preexistente. Muestra rellenos y reemplazamientos aislados de sulfuros como bornita, enargita y esfalerita.



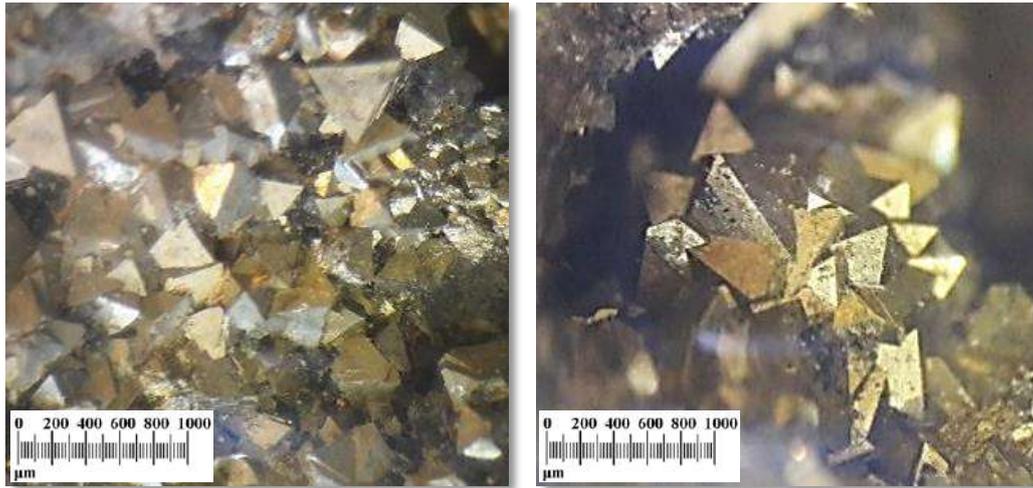
Fotografía 19: (Muestra MSN-04) Pirita euhedral y subhedral cristalizada con estilo de mineralización masivo y diseminado en matriz de sulfuros dentro de roca calcárea obliterada.



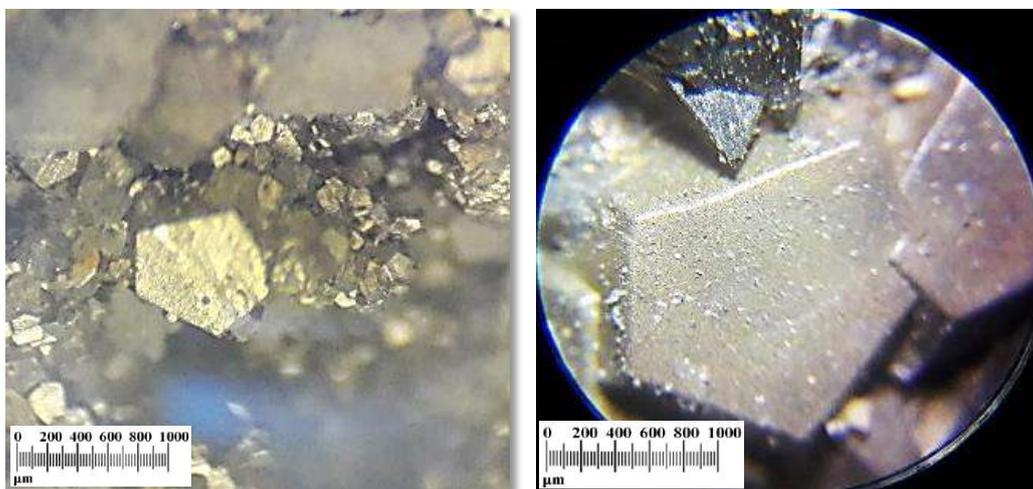
Fotografía 20: (Muestra MSN-05) Pirita euhedral y subhedral cristalizada con estilo de mineralización masivo, diseminado y relleno de oquedades, en matriz de sulfuros dentro de roca calcárea obliterada.

### **Pirita (S<sub>2</sub>Fe)**

Químicamente es un sulfuro de hierro de composición 46.6% Fe y 53.4% S. Presenta color amarillo latón pálido, brillo metálico, raya negra, dureza 6 y densidad 6.5. La presencia de pirita se la puede observar casi en la mayor parte del yacimiento, es así que es componente principal de las zonas de mineralización, relleno de algunas fisuras, fallas y en forma diseminada en zonas mineralizadas.



Fotomicrografía 9: A) Pirita en hábito octaédrico. B) Pirita en hábito cúbico. Ambas de color amarillo latón pálido, en forma maciza a granular y maclada. (Vistas aumentadas a 60x de la muestra MSN-04).



Fotomicrografía 10: Pirita en hábito pentagonal, de color amarillo latón pálido, en forma granular a granular fina y maclada. (Vistas aumentadas a 60x de la muestra MSN-05).

### **Muestra MSN-06:**

Se puede apreciar en esta muestra representativa la oxidación de la zona de investigación; minerales identificados como goethita, en todas las muestras analizadas es el mineral más abundante, se presenta masivo de forma botroidal, posee coloraciones marrón medio a oscuro.

Asociado a la goethita, pero en menor cantidad encontramos jarosita y limonita, cada vez en menor proporción, producto del reemplazamiento por los hidróxidos de hierro. La Jarosita se encuentra como un mineral accesorio común en ambientes hidrotermales, se destaca por su color rojo ocre, en todas las muestras analizadas presenta reemplazamiento por limonita y goethita. En la mayoría de los casos se presenta en forma de concentraciones masivas.

Limonita, fácilmente identificable por su marcada anisotropía amarillenta, en agregados radiales y rellenando espacios vacíos.

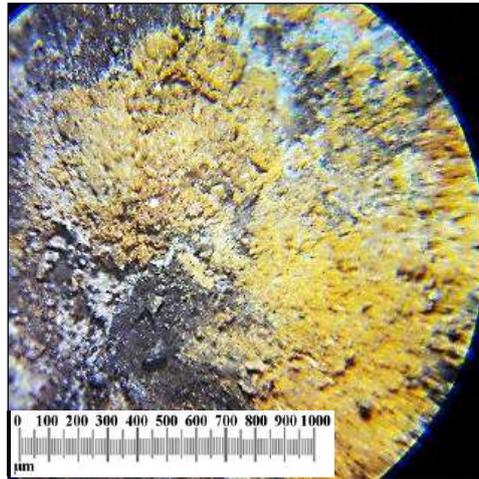
También se puede encontrar óxidos precipitados a lo largo del clivaje de algunos carbonatos.



Fotografía 21: (Muestra MSN-06) Limonita, Goethita y Jarosita, de hábito masivo, en matriz de óxidos e hidróxidos.

### **Limonita ( $\text{FeO}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$ )**

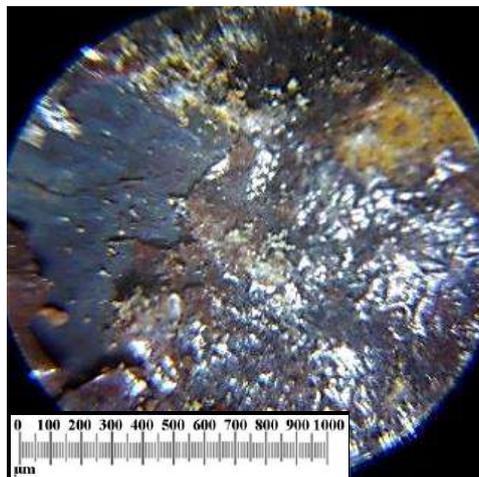
Químicamente es un óxido de hierro de composición 89,90%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y 10,01%  $\text{H}_2\text{O}$ . Presenta color amarillo-pardo-naranja, brillo semivítreo, raya marrón, dureza 5.5 y densidad 3.7. Se ha formado por la acción meteórica y se encuentra en parte de la formación Pariatambo, generalmente en patinas que recubren los estratos; como parte de la alteración y también en relleno de fracturas.



Fotomicrografía 11: Limonita en hábito masivo de color pardo amarillento. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-06).

### **Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ )**

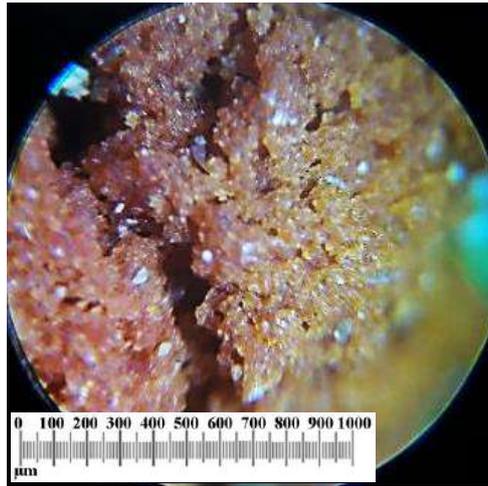
Químicamente es un óxido e hidróxido de hierro de composición 1.13% H, 36,01% O y 62.85% Fe. Presenta color marrón oscuro a negro, brillo sedoso, raya pardo amarillenta, dureza 5.5 y densidad 4.3. Se forma producto de alteración de otros minerales de hierro, como pirita, magnetita y siderita, asociado a hematites, óxidos de manganeso y calcita.



Fotomicrografía 12: Goethita en hábito botroidal de color marrón oscuro. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-06).

### **Jarosita ( $\text{KFe}_3+(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ )**

Químicamente es un sulfato de potasio y hierro hidróxido de composición 1.21% H, 12,81% S, 33.45% Fe, 44.73% O y 7.81% K. Presenta color pardo amarillento a rojizo, brillo vítreo, raya amarilla, dureza 3.5 y densidad 3.25. Mineral secundario que se forma en depósitos de mena por la oxidación de sulfuros de hierro, típicamente aparece a modo de costras granulares, nódulos, masas fibrosas y en concreciones.



Fotomicrografía 13: Jarosita en hábito masivo anhedral de color rojizo. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-06).

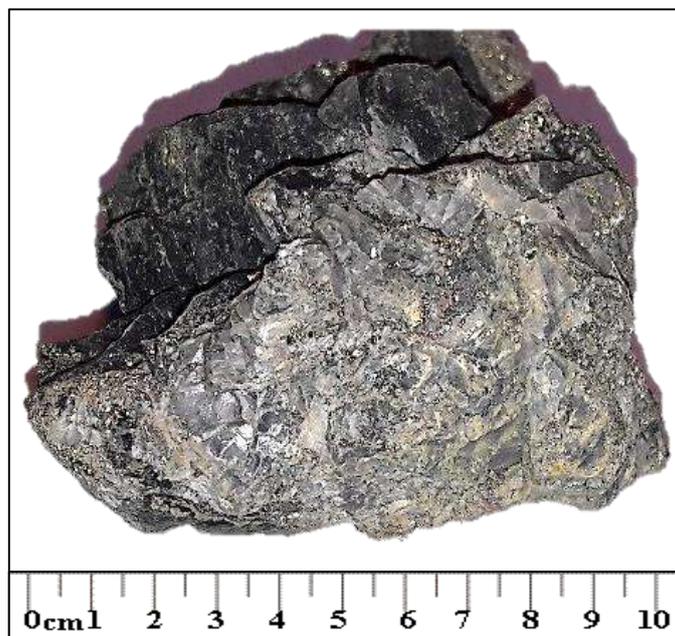
### 4.2.3 Minerales Accesorios

#### Muestra MSN-07:

Se puede observar concentraciones de cuarzo euhedral y subhedral, que se presentan como granos formando parte constituyente de la roca encajante o como granos acompañantes de los minerales; presente también en otras muestras como relleno de la pirita; es común encontrar estas características texturales en la mena, donde es frecuente la visualización de cuarzo en estado libre sea como relleno de micro y macroespacios, como relleno de microfracturas y microcontactos formados.

En esta muestra se encuentra con inclusiones ocasionales de baritina, este sulfato es apreciable en algunas zonas y en pequeñas cantidades que es reconocible fácilmente por su sistema de cristalización ortorrómbico.

Los carbonatos como la calcita se presentan de formas anhedrales a subhedral, conformando venillas, vetillas, vetas y diseminaciones, también es muy común la asociación del cuarzo con los carbonatos, generalmente las microfracturas del cuarzo están rellenas por carbonatos.



Fotografía 22: (Muestra MSN-07) Roca calcárea silicificada con cristales y concentraciones de Cuarzo, Baritina y Calcita.

### **Baritina (BaSO<sub>4</sub>)**

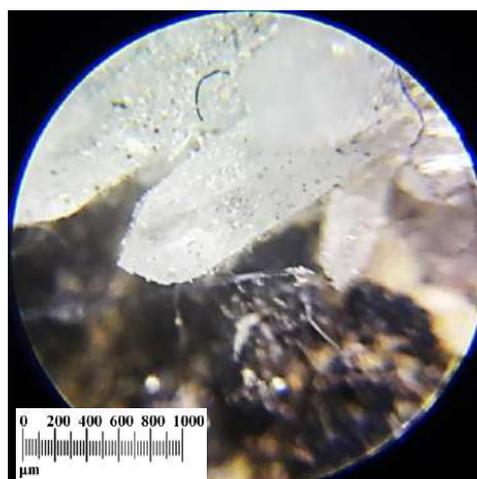
Químicamente es un sulfato de bario de composición 59% Ba, 27% O y 14% S. Presenta color variable predominando el blanco y el pardo, brillo vítreo, raya blanca, dureza 3.5 y densidad 4.5. Mineral hidrotermal de temperatura baja y media, se encuentra constituyendo la ganga de numerosos filones de sulfuros metálicos. También puede presentarse en venas y cavidades de sustitución en las calizas.



Fotomicrografía 14: Baritina en sistema ortorrómbico de color blanquecino. (Vista aumentada a 60x de la muestra MSN-07).

### **Cuarzo (SiO<sub>2</sub>)**

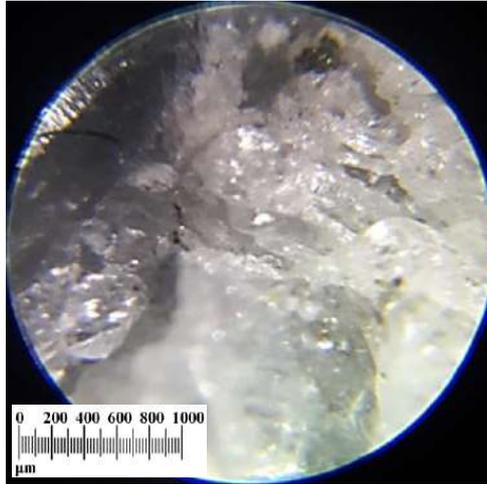
Químicamente es un silicato de composición 46.74% Si y 53.26% O. Presenta color blanco a transparente, brillo vítreo, raya blanca, dureza 7 y densidad 2.7. Mineral muy común en depósitos metálicos hidrotermales, en rocas carbonatadas y en vetas epitermales.



Fotomicrografía 15: Cuarzo en forma de granos intercrecidos hexagonales de color blanquecino. (Vista aumentada a 60x de la muestra MSN-07).

### **Calcita (CaCO<sub>3</sub>)**

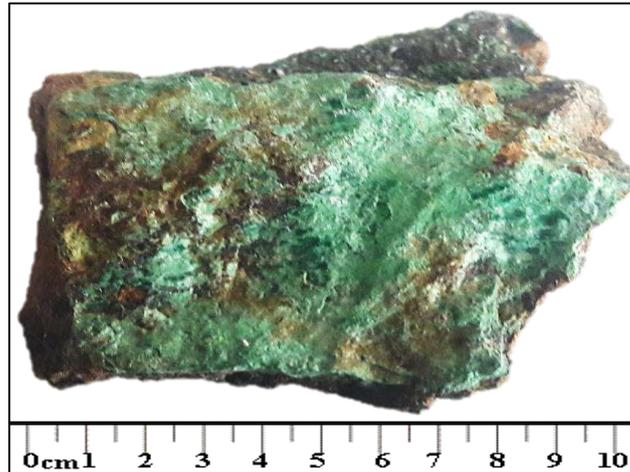
Químicamente es un carbonato de calcio de composición 56.03% CaO y 43.97% CO<sub>2</sub>. Presenta color blanco a incoloro, brillo vítreo a terroso, raya blanca, dureza 3 y densidad 2.7. Se encuentra generalmente como relleno de fisuras y venillas en calizas y zonas de alteración contiguas al emplazamiento de la veta. Así como también de los demás cuerpos mineralizados.



Fotomicrografía 16: Calcita en forma masiva anhedral de color blanquecino. (Vista aumentada a 60x de la muestra MSN-07).

### Muestra MSN-08:

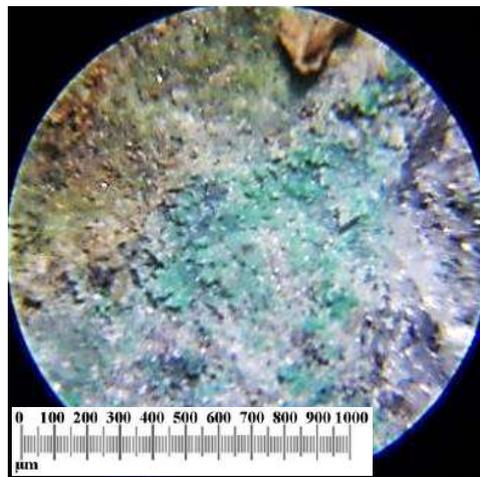
Se puede observar concentraciones de carbonatos como malaquita, que se encuentra en forma masiva, parcialmente fracturada e intemperizada y con rellenos de calcita. La calcita dentro de los minerales de ganga es el más abundante, se presenta en forma de rellenos de microfracturas y microespacios.



Fotografía 23: (Muestra MSN-08) Concentraciones de Malaquita como resultado de la oxidación del cobre en las rocas calcáreas con rellenos de cristales de Calcita propio de estas rocas.

### Malaquita ( $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ )

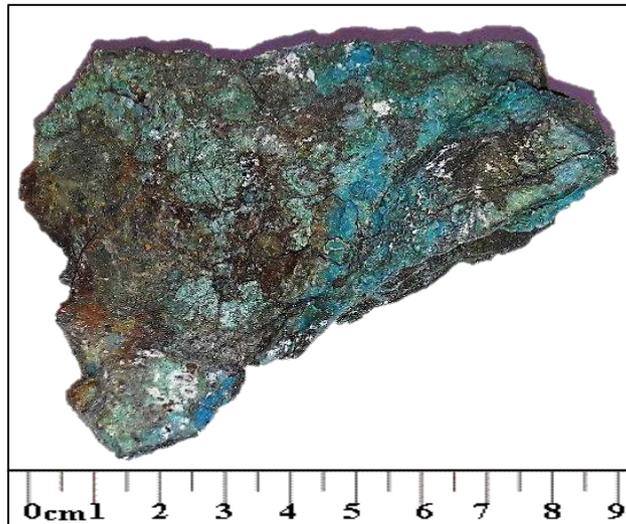
Químicamente es un carbonato hidratado de cobre de composición 0.91% H, 27.13%  $\text{CO}_3$ , 36.18% O, 5.43% C y 57.48% Cu. Presenta color verde, brillo vítreo sedoso, raya verde clara, dureza 3.5 y densidad 4. Se forma predominantemente en las zonas de alteración superficial debido a la precipitación de compuestos de aguas ricas en carbonato de calcio derivados de la alteración y disolución de sulfuros y óxidos de cobre.



Fotomicrografía 17: Malaquita en forma masiva de color verde. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-08).

### **Muestra MSN-09:**

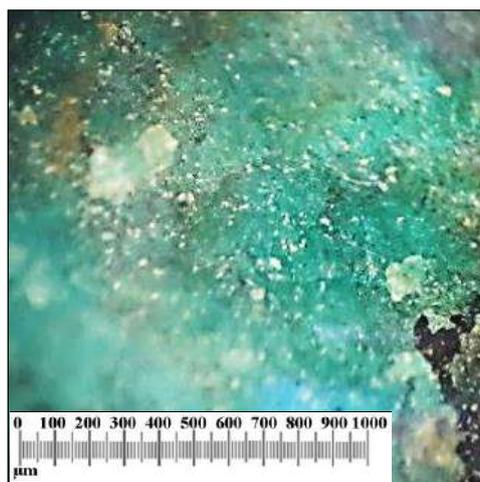
Podemos apreciar calcantita como un sulfato concentrado en las galerías de extracción, observable a simple vista y que corresponde a los precipitados de cobre, los mismos que se almacenan entre las grietas de las estructuras.



Fotografía 24: (Muestra MSN-09) Concentrados de Calcantita en formas subhedrales y masivas producto de la oxidación de sulfuros.

### **Calcantita ( $\text{Cu}(\text{SO}_4)5\text{H}_2\text{O}$ )**

Químicamente es un sulfato de cobre hidratado de composición 31.40%  $\text{CuO}$ , 32.13%  $\text{SO}_3$ , 0.76%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y 35,90%  $\text{H}_2\text{O}$ . Presenta color azul intenso, brillo vítreo a resinoso, raya blanca, dureza 2.5 y densidad 2.3. Se presenta en las zonas de oxidación de sulfuros de cobre y se asocia a la calcopirita y malaquita.

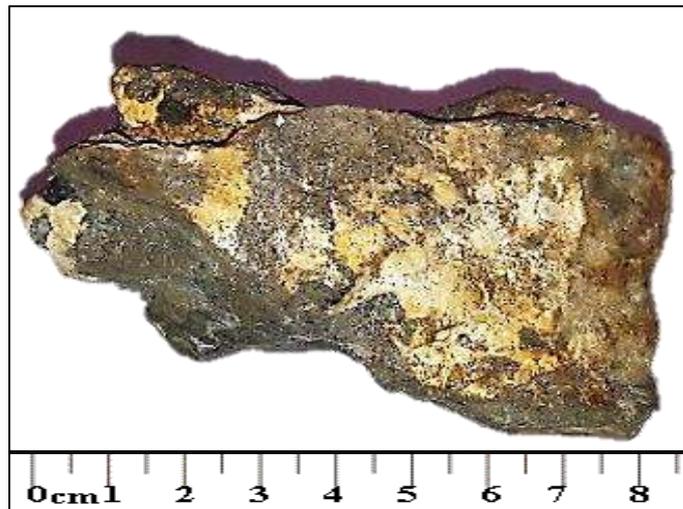


Fotomicrografía 18: Calcantita en hábito masivo de color azul marino. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-09).

**Muestra MSN-10:**

En el análisis mineralógico se puede observar también la presencia de minerales de arcilla que están representados por montmorillonita y concentraciones de illita, se encuentran en hábito masivo terroso, de baja dureza y color gris blanquesino.

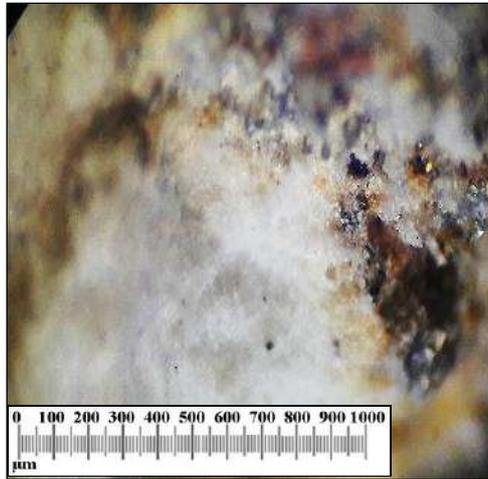
Presenta dickita en menor proporción como mineral secundario por lo general de origen hidrotermal y asociado a vetas, se presenta de color blanco satinado con la característica de tener un tacto sedoso como jabón, todos estos minerales producto de la alteración argílica.



Fotografía 25: (Muestra MSN-10) Minerales de arcilla como Dickita, Montmorillonita, Illita, Caolinita en matriz de alteración argílica.

### **Dickita ( $\text{Al}_2(\text{SiO}_2)(\text{OH})_4$ )**

Químicamente es un filosilicato de composición 1.56% H, 20,90% Al, 21.76% Si y 55.78% O. Presenta color blanco-amarillo-gris, brillo satinado, raya blanca, dureza 2 y densidad 2.6. Mineral hidrotermal accesorio de baja temperatura y está asociado a vetas mineralizadas.



Fotomicrografía 19: Dickita de aspecto sedoso de color blanquecino. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-10).

### **Montmorillonita ( $\text{NaCa}(\text{AlMg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )**

Químicamente es un hidroxisilicato de magnesio y aluminio de composición 0.91% Ca, 1,05% Na, 2.29% H, 2.76% Mg, 25.55% Si, 4.09% H<sub>2</sub>O, 58.23% O y 9.21% Al. Presenta color gris-blanco-amarillo, brillo terroso, raya blanca, dureza 1.5 y densidad 2.7. Mineral hidrotermal accesorio de baja temperatura, se presenta con hábito de masas terrosas, agregados foliares y granulares.



Fotomicrografía 20: Montmorillonita e illita en hábito terroso y micas de color blanco a gris. (Vista aumentada 100x de la muestra MSN-10).

Se ha caracterizado los siguientes minerales de mena y accesorios que se encuentran dentro del yacimiento San Nicolás, así como al grupo mineral al que pertenecen y sus respectivas asociaciones mineralógicas.

Tabla 6: Minerales económicos y accesorios con su respectiva asociación mineralógica que se presenta en el yacimiento San Nicolás

<b>Yacimiento San Nicolás</b>	<b>Grupo mineral</b>	<b>Mineral</b>	<b>Asociación</b>
<b>Minerales Económicos</b>	Óxidos	Limonita	Limonita-Jarosita-Goethita
		Jarosita	
		Goethita	
	Sulfuros	Pirita	Enargita-Esfalerita-Covelita-Pirita Pirita-Pirrotita-Bornita Pirita-Cuarzo-Calcita Enargita-Tetrahedrita-Galena
		Esfalerita	
		Covelita	
		Galena	
		Bornita	
		Pirrotita	
	Sulfosal	Enargita	
Tetrahedrita			
<b>Minerales Accesorios</b>	Sulfato	Baritina	Cuarzo-Calcita Cuarzo-Calcita-Baritina
	Filosilicato	Cuarzo	
	Carbonatos	Calcita	
		Malaquita	
	Sulfato	Calcantita	Calcantita-Azurita
	Filosilicatos	Dickita	Dickita-Montmorillonita-Illita
		Montmorillonita	
Illita			

## **4.2 ALTERACIONES HIDROTERMALES**

Las alteraciones hidrotermales, así como los distintos ensambles mineralógicos presentes en el proyecto San Nicolás son observados a pequeña escala en superficie y son típicos de un sistema epitermal de alta e intermedia sulfuración.

La alteración presenta un zonamiento concéntrico de silicificación con moderada piritización a argílico avanzado, controlado por la estructura principal de la falla colorada. La silicificación es intensa, concéntrica a la falla y formando chert en las calizas. Se distinguen también alteración argílica dickita, pirofilita, illita en el contacto de la falla con la formación Pariatambo hacia el techo del sistema, y a profundidad en los mantos reemplazados de la formación Chúlec.

La alteración silícica representa la etapa hidrotermal más importante desde el punto de vista económico. Esta alteración en el sentido más amplio, se encuentra afectando a todos los tipos de roca, siendo más característica en la parte central de la falla colorada.

También se observa descalcificación de las calizas y oxidación en las zonas distales del sistema.

Se presentan las siguientes alteraciones: Silicificación, Piritización y Argilización, todas ellas en moderadas concentraciones.

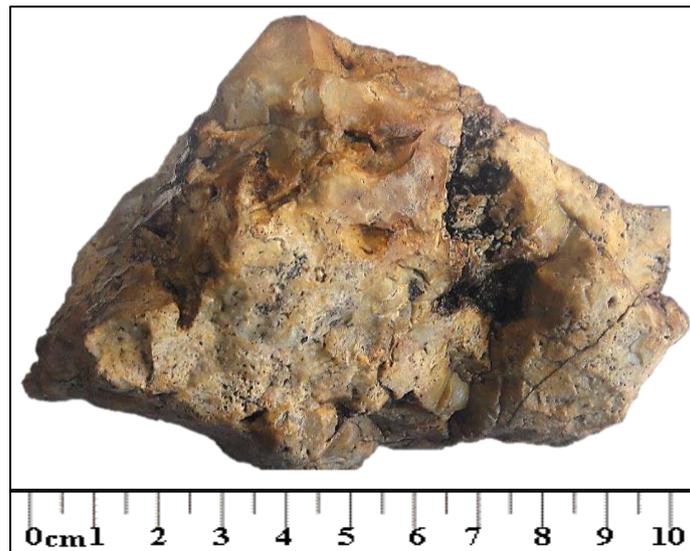
### **4.2.1 Silicificación**

La distribución de la sílice hidrotermal se presenta en 3 facies, distribuidos principalmente en las partes centrales del yacimiento y asociados a estructuras tectónicas (Falla Colorada).

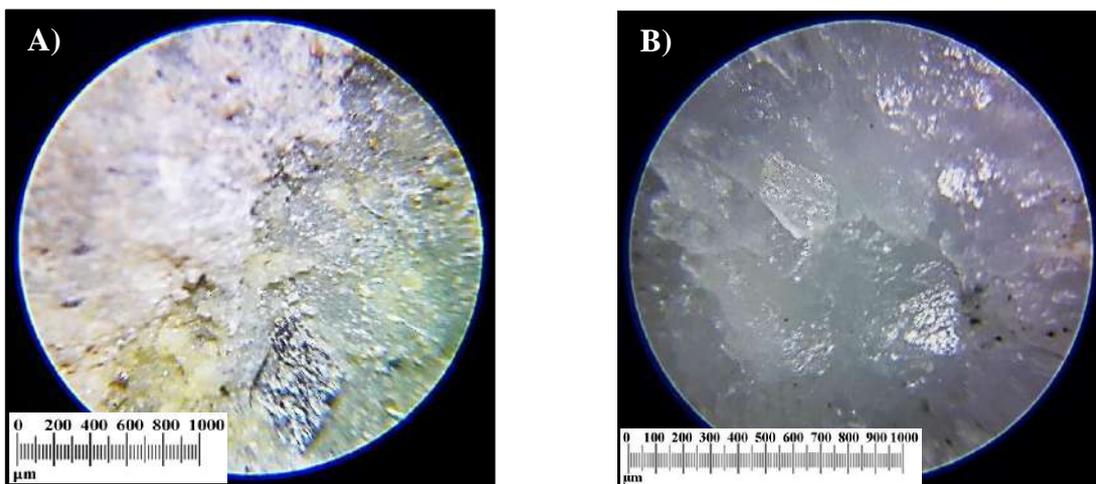
#### 4.2.1.1 Sílice Masiva (SM)

##### Descripción macroscópica:

Representa la base del sistema alterado y mineralizado, de textura obliterada (caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original), se presenta de tonalidades grisáceas en forma masiva, en brechas silíceas y venillas. En esta alteración se puede apreciar diseminación de pirita; acompañado también de óxidos de hierro principalmente hematita y goethita en fracturas. En promedio distribuidos principalmente en la parte central del yacimiento.



Fotografía 26: Muestra de mano con alteración Sílice Masiva.

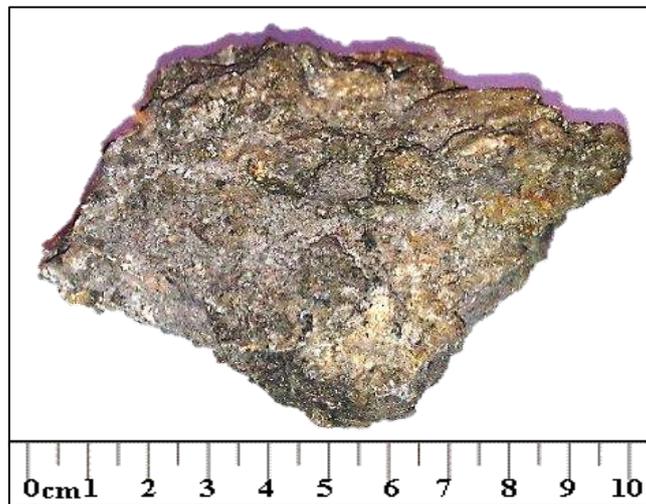


Fotomicrografía 21: A) Aumento a 60x. B) Aumento a 100x. En ambas se puede apreciar alteración silícica masiva por cuarzo masivo con presencia de pirita y en menor proporción de óxidos. (Vistas aumentadas de la fotografía 26).

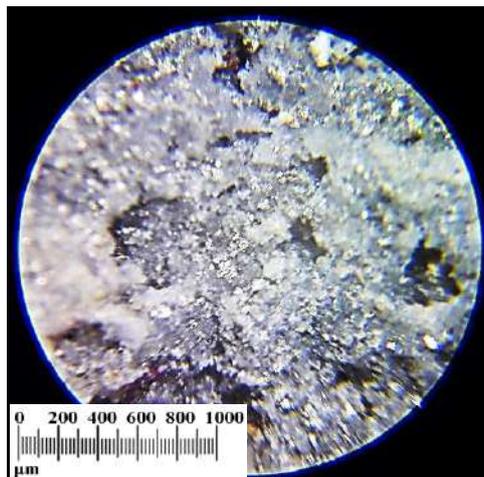
#### 4.2.1.2 Sílice Granular (SG)

##### Descripción macroscópica:

La textura original es difícil de reconocer, solamente quedan testigo los líticos de lo que alguna vez fueron unidades calcáreas. Se encuentra en tonalidades gris blanquecinas, beige; de manera deleznable con presencia de óxido con arcillas. Consiste en cuarzo remanente, poco compacto y de textura sacaroidea (Pan de azúcar), producido por los fluidos ácidos. La lixiviación del ácido sulfúrico sobre la roca caja ha generado la formación de sílice granular, por encima de la napa freática. Dependiendo de cuanta sílice se disuelve dentro de la solución hidrotermal, la sílice granular se convierte en más masiva o parcialmente masiva, conservando cierta textura granulosa.



Fotografía 27: Muestra de mano con alteración Sílice Granular.



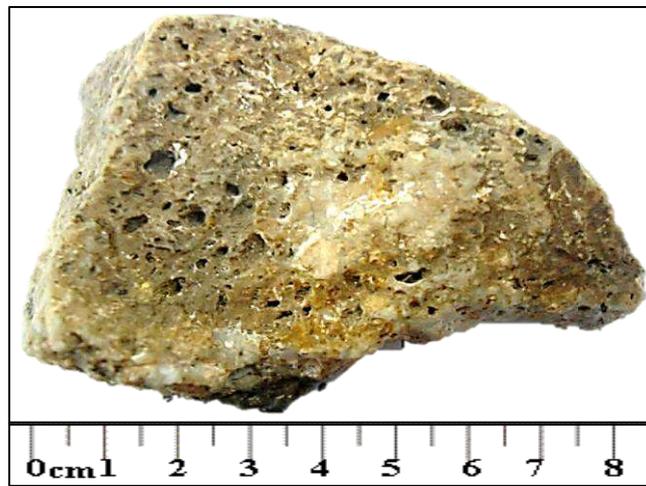
Fotomicrografía 22: Alteración sílice masiva por cuarzo en forma granular y con presencia notable de pirita diseminada. (Vista aumentada 60x de la fotografía 27).

#### 4.2.1.3 Sílice Vuggy (SV)

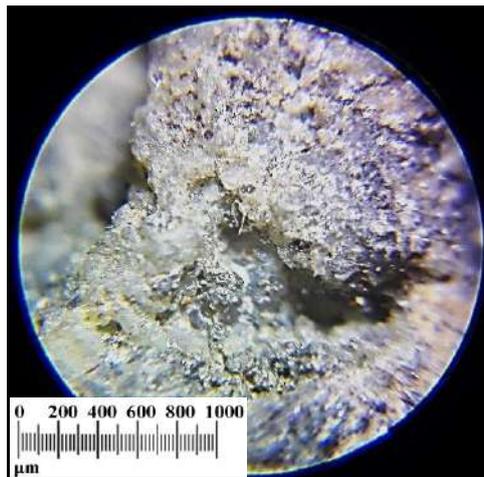
##### Descripción macroscópica:

Se presenta gradando a la sílice masiva y también relacionado a facies de sílice granular, con una textura oquerosa (porosa), presenta diseminaciones y rellenos de pirita con bornita y óxidos de hierro principalmente hematita y goethita en las oquedades y en las fracturas.

La fuerte lixiviación afectó directamente a las calizas, presentando una textura porosa, en partes conserva aún las formas de la caliza, en partes se observa formas convexas, ovaladas y sin forma la cual explica que hubo mayor lixiviación y menor reemplazamiento de sílice.



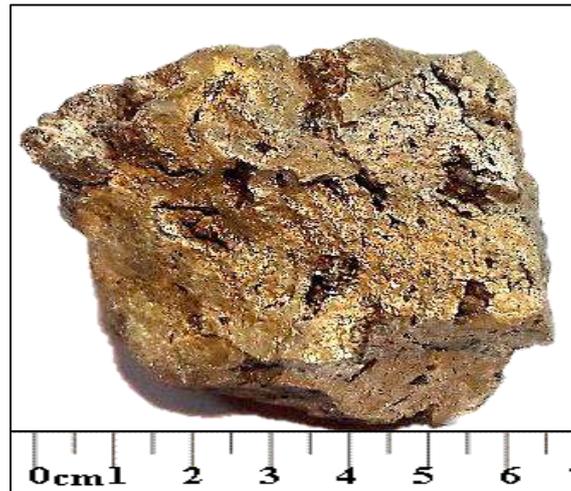
Fotografía 28: Muestra de mano con alteración Sílice Vuggy.



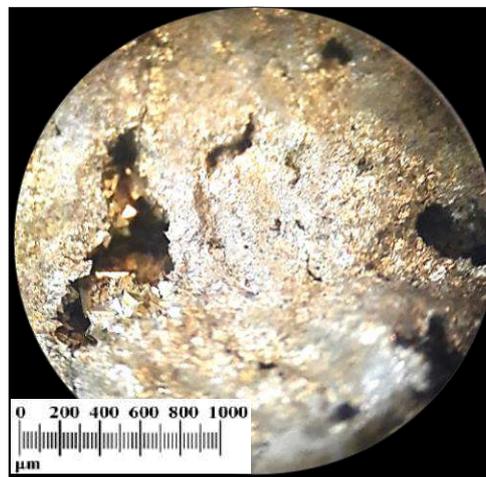
Fotomicrografía 23: Alteración sílice vuggy por cuarzo oqueroso y con presencia de pirita y óxidos como rellenos. (Vista aumentada 60x de la fotografía 28).

#### 4.2.2 Piritización

Se encuentra en asociación a la silícica y es una de las más comunes en las rocas encajonantes, ya que se encuentra relleno de fracturas y venillas milimétricas en las calizas próximas a la veta con mineralización de sulfuros de cobre y las zonas de mineralización de los cuerpos mineralizados de plomo y zinc. Se ha logrado reconocer 3 diferentes estilos de mineralización que son masivo, cristalizado y terroso.



Fotografía 29: Muestra de mano con fuerte piritización.

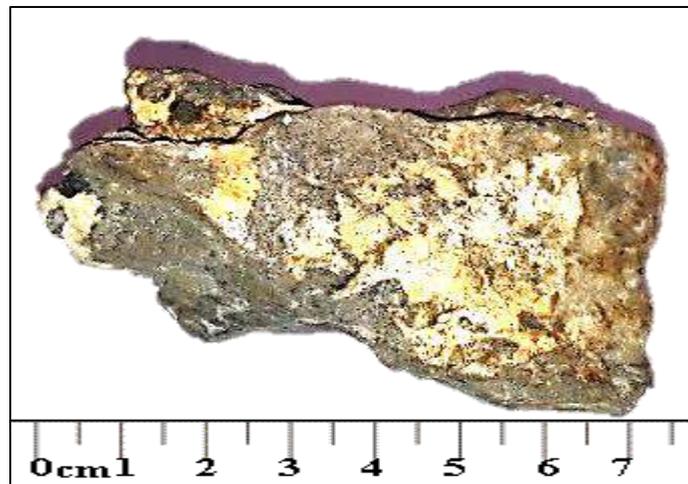


Fotomicrografía 24: Alteración de pirita reemplazando y rellenando oquedades en fracturas. (Vista aumentada 60x de la fotografía 29).

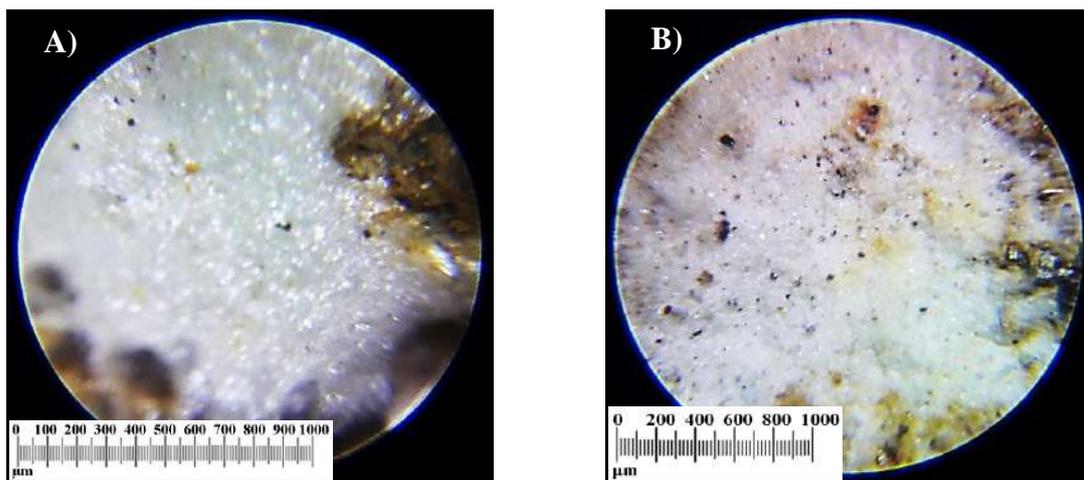
### 4.2.3 Alteración Argílica

Alteración caracterizada por la formación de minerales de arcilla por acción de la hidrólisis originada en la descomposición de los sulfuros por agua meteórica y formación de acidez. Dentro de sus ensambles mineralógicos se tiene a la sílice y arcillas principalmente a la dickita, montmorillonita y poca illita con piritita diseminada, conserva la textura original de la roca caja siendo de una textura porfidoblástica, las calizas están alteradas a arcillas conservando su forma original

Este tipo de alteración está asociada a pequeñas estructuras aflorantes en las partes del techo e inferiores del yacimiento, presenta óxidos de hierro principalmente hematita en fracturas.



Fotografía 30: Muestra de mano con alteración Argílica.

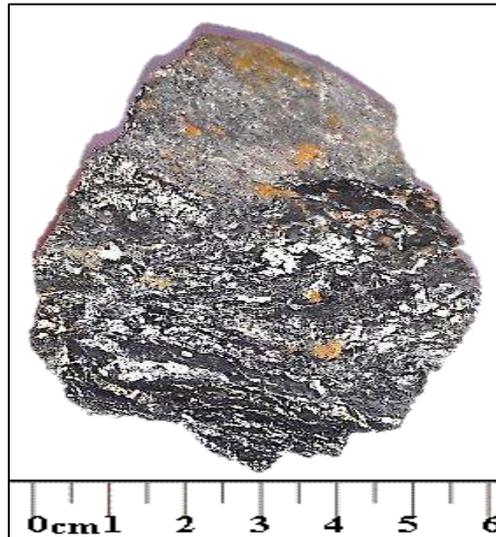


Fotomicrografía 25: A) Aumento a 60x. B) Aumento a 100x. Ambas con presencia de alteración Argílica por minerales como dickita, montmorillonita y en menor proporción illita. (Vistas aumentadas de la fotografía 30).

#### 4.2.4 Alteraciones Supergenias

##### Descarbonatación

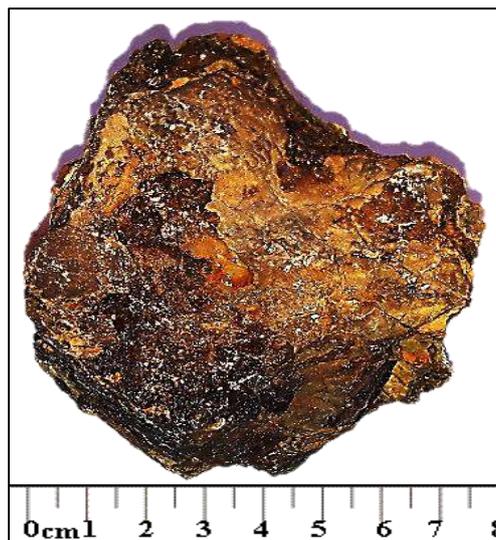
Descarbonatación de las calizas en las zonas distales del sistema de mayor predominancia en la formación Pariatambo. Producto de la liberación de aguas acidas.



Fotografía 31: Descarbonatación en calizas como alteración supergena.

##### Oxidación

Encontramos óxidos e hidróxidos de hierro como goethita, hematita, jarosita y en menor proporción turgita, provenientes de los procesos de oxidación y alteración supergena de sulfuros.



Fotografía 32: Oxidación como alteración supergena o externa.

Se ha determinado los principales minerales de alteración, así como sus minerales secundarios del yacimiento San Nicolás. Así mismo gracias a estos minerales y a los minerales indicadores que se han utilizado del diagrama de Corbett & Leach (1998) se han determinado los tipos de alteraciones en el campo hidrotermal, clasificaciones que se vienen utilizando para ambientes de alta sulfuración.

Tabla 7: Tipo de alteraciones, minerales de alteración principales y secundarios en el yacimiento San Nicolás.

<b>Zona</b>	<b>Tipo De Alteración</b>		<b>Minerales De Alteración Principales</b>	<b>Minerales De Alteración Secundarios</b>
<b>Yacimiento San Nicolás</b>	Silicificación	Sílice Masiva	Sílice	Cuarzo masivo
		Sílice Granular	Sílice granular	Cuarzo remanente
		Sílice Vuggy	Sílice vuggy	Cuarzo oquerosa
	Piritización		Pirita	Pirita fina diseminada
	Argílico		Sílice-Dickita	Montmorillonita-illita

#### 4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los diferentes estudios que se realizaron en el yacimiento San Nicolás tales como: estudio geológico, estudio estructural, estudio hidrotermal, más el estudio mineralógico; determinó que la alteración principal donde se encuentra la mineralización es silícica con moderada piritización y presentando un zonamiento externo de argilización en las secuencias calcáreas.

La mineralización económica está compuesta principalmente por oro de granulometría muy fina que no es visible macroscópicamente, este se encuentra dentro de los sulfuros como la pirita y óxidos de fierro como (goethita, hematita, limonita); también presencia de polimetálicos como enargita, esfalerita, galena, pirrotita, bornita y en menor proporción tetraedrita y covelita. Con superposición de minerales accesorios como calcita, cuarzo, dickita, illita, malaquita, calcantita y además en pequeñas cantidades de baritina. Esta mineralización se encuentra controlada por estructuras con dirección E-O que le sirvieron de conducto al flujo mineralizante epitermal.

Se cumplió con la hipótesis inicial de un sistema de tipo alta e intermedia sulfuración, pero también asociado a la mineralización fina de oro principalmente y polimetálica.

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

El tipo de mineralización principal es de oro microscópico y polimetálico con minerales como la enargita, esfalerita, galena, bornita, pirita y óxidos de hierro (goethita, hematita, limonita); pequeñas concentraciones de tetraedrita y covelita; sobreimpuesto a minerales accesorios como la calcita, cuarzo, dickita, illita, malaquita, calcantita y además en pequeñas cantidades de baritina.

Las alteraciones hidrotermales del yacimiento presentan un zonamiento concéntrico de silicificación con moderada piritización y argilización, pero también con zonas de oxidación como alteración supergena.

El yacimiento San Nicolás es de tipo epitermal de alta e intermedia sulfuración, con mineralización fina de oro y polimetálica, emplazada en calizas, pero controlada por la fracturación y fallamiento que le sirvieron de conducto al flujo mineralizante epitermal.

La principal concentración mineral del yacimiento San Nicolás se localiza en la zona central de la veta Colorada y hacia el techo en dos mantos de reemplazamiento de composición de sulfuros masivos.

La configuración de la geología estructural principal es de dirección andina y es favorable para albergar la mineralización y emplazamiento.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Realizar estudios de paragénesis para determinar la secuencia de evolución mineralógica acompañado de inclusiones fluidas para definir el evento mineralizante más importante y su caracterización del ambiente de formación.

Continuar el estudio mineralógico con la ayuda de secciones pulidas que permitirá determinar mejor las propiedades físicas de cada mineral identificado.

Realizar estudios y pruebas geometalúrgicas en zonas de concentración mineral para determinar el posible proceso de extracción de los metales incluidos en los minerales existentes.

Identificar los compuestos minerales con la observación y medición de los diferentes rasgos espectrales con el uso del terraspec, especialmente para los minerales de arcilla provenientes de la alteración argílica.

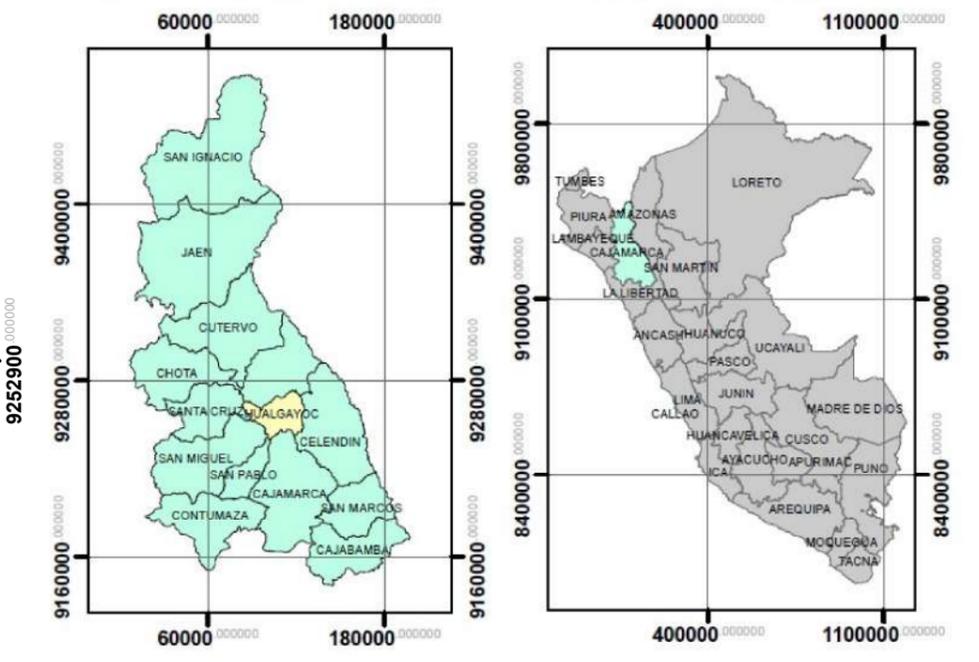
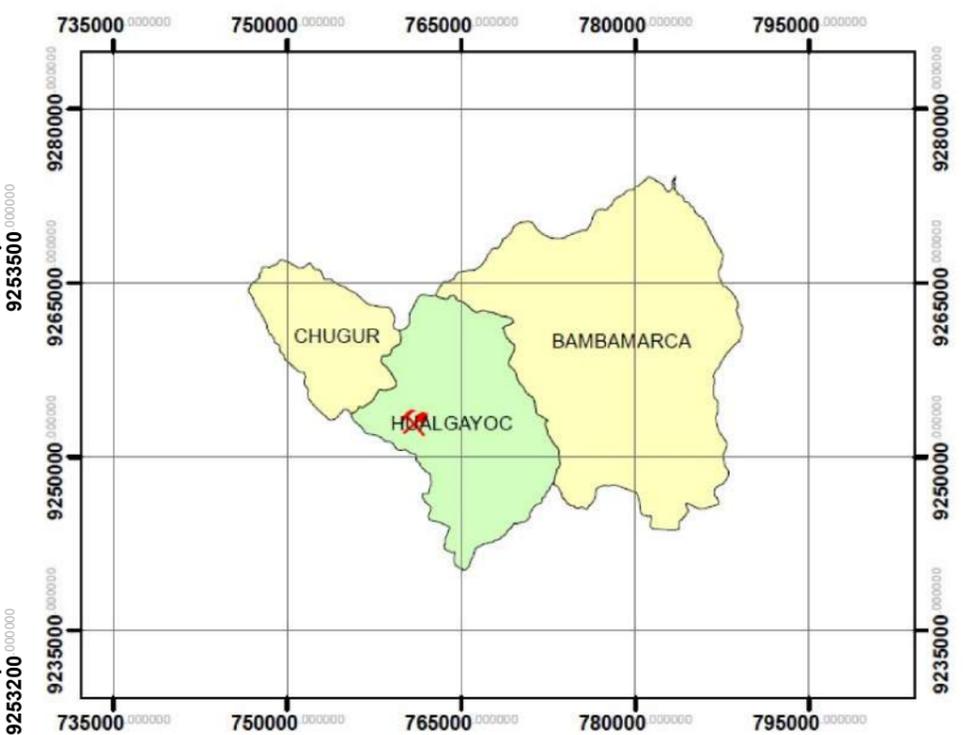
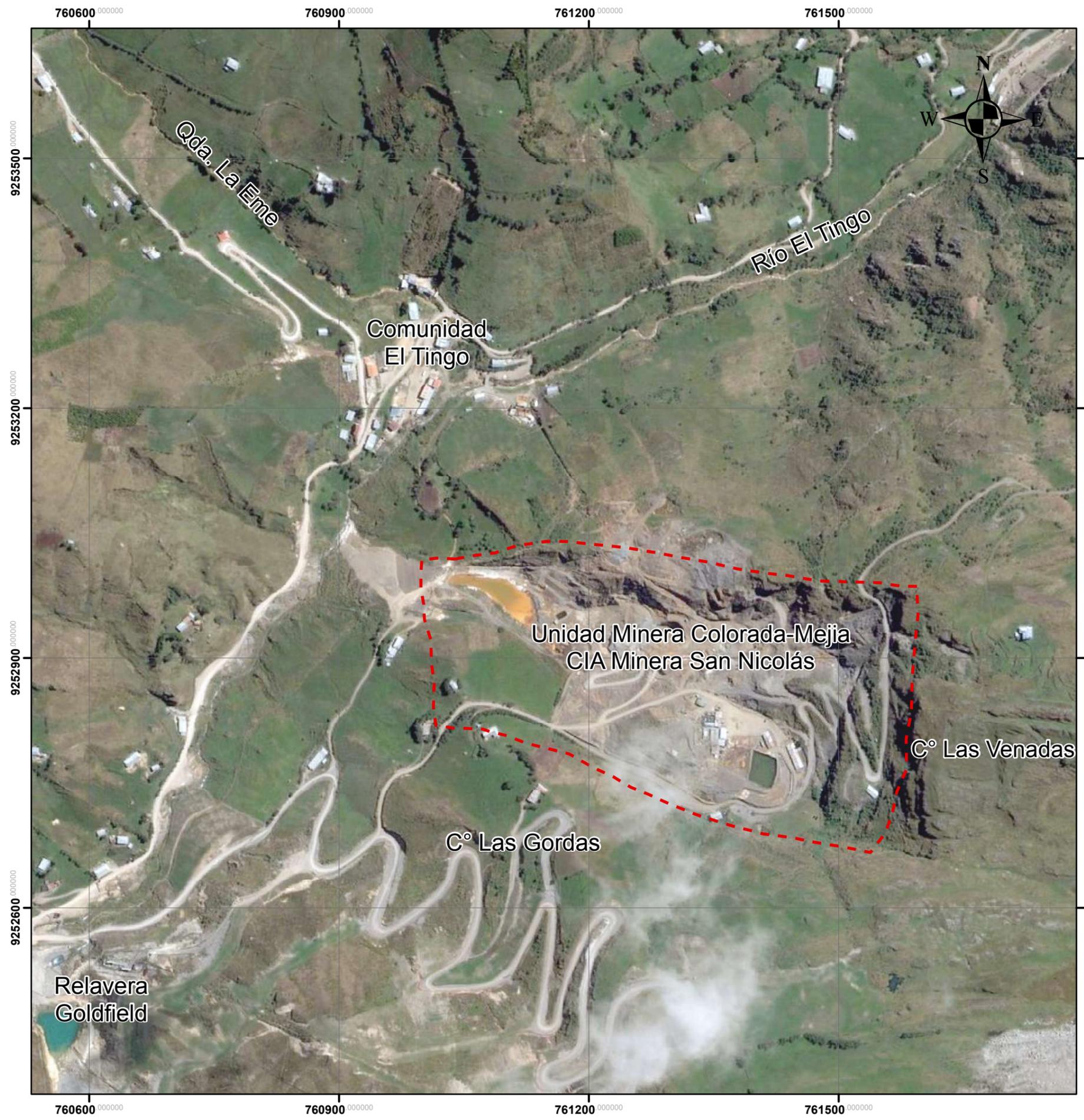
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albinson, T.; Norman, D.; Cole, D.; Chomiak, B. 2001. Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data: Society of Economic Geology Special Publication 8, p. 1-32.
- Bagby, W.; Berger, B. 1985. Chapter 8, Geologic characteristics of sediment-hosted, disseminated precious metal deposits in the western United States: Reviews in Economic Geology, v. 2, p. 169-202.
- Cerón, F. 2010. Pucamarca nuevo yacimiento epitermal de oro de alta sulfuración en el sur del Perú. Tacna, Perú.
- Corbett, G.; Leach, T. 1998. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6, 237p.
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, Perú.
- Erickson, G. 1956. Estudio geológico del distrito minero de Hualgayoc. Cajamarca, Perú.
- Heald, P.; Foley, N.; Hayba, D. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid sulfate and adularia-sericite types, Economic Geology, 82: p.1-26.
- Hedenquist, J.; Lowenstern, J. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits: Nature, 370, 519-527.
- Hedenquist, J. 2000. Estilos de yacimientos epitermales y su relación con pórfidos de Cu-Au. Short course to Newmont Mining Corporation.
- Hedenquist, J. 2000. Yacimientos Epitermales de Oro: Tipos de Mineralización, Características y Exploración. School of Mines, Madrid.
- James, J. 1998. Investigación de la geología, alteración y mineralización del yacimiento Cerro Corona. Cajamarca, Perú.
- Janjou, D. 1981. Descripción litoestratigráfica de la secuencia sedimentaria, volcánica e intrusiva del distrito de Hualgayoc. Cajamarca, Perú.

- Khuen, R. 1995. Evidence for a magmatic origin for Carlin-type gold deposits: Isotopic composition of sulfur in the Betze-Post-Screamer Deposit, Nevada, USA.
- Lindgren, W. 1922. A suggestion for the terminology of certain mineral deposits: *Economic Geology*, v.17, p.292-294.
- Lindgren, W. 1933. *Mineral deposits*, 4th edition: New York, McGraw-Hill, 930p.
- Macfarlane, A.; Peterson, U. 1990. Correlación cronológica de los ensambles de mineralización en mantos y vetas. Cajamarca, Perú.
- Nelson, C. 1990. Comparative geochemistry of jasperoids from Carlin-type gold deposits of the western United States, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 36, p. 171-195.
- Núñez, A. 2007. Inclusiones fluidas y metalogenia del depósito epitermal Ag-Au del distrito de San Martín. Colón, México.
- Núñez, F. 1989. Yacimientos de oro en calizas tipo carlin y mantos con oro en calizas, Colorada. Hualgayoc, Cajamarca.
- Paredes, J. 1979. Estudio geológico del distrito minero de Hualgayoc, resaltando la influencia del control estructural en la mineralización del oro, para el depósito Cerro Corona. Cajamarca, Perú.
- Quispe, J. 2015. Determinación de los controles de mineralización del depósito de alta sulfuración Ciénega Norte, Hualgayoc. Cajamarca, Perú.
- Reyes, A. 1990. Petrology of Philippine geothermal system and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Reyes, D. 2014. Caracterización mineralógica de las alteraciones hidrotermales en el yacimiento de oro La India. Sonora, México.
- Roncal, L. 2011. Geología y metalogenia del distrito minero de Hualgayoc. Cajamarca, Perú.
- Sillitoe, R. 1993. Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features, in Kirkham. *Geological Association of Canada Special Paper*.

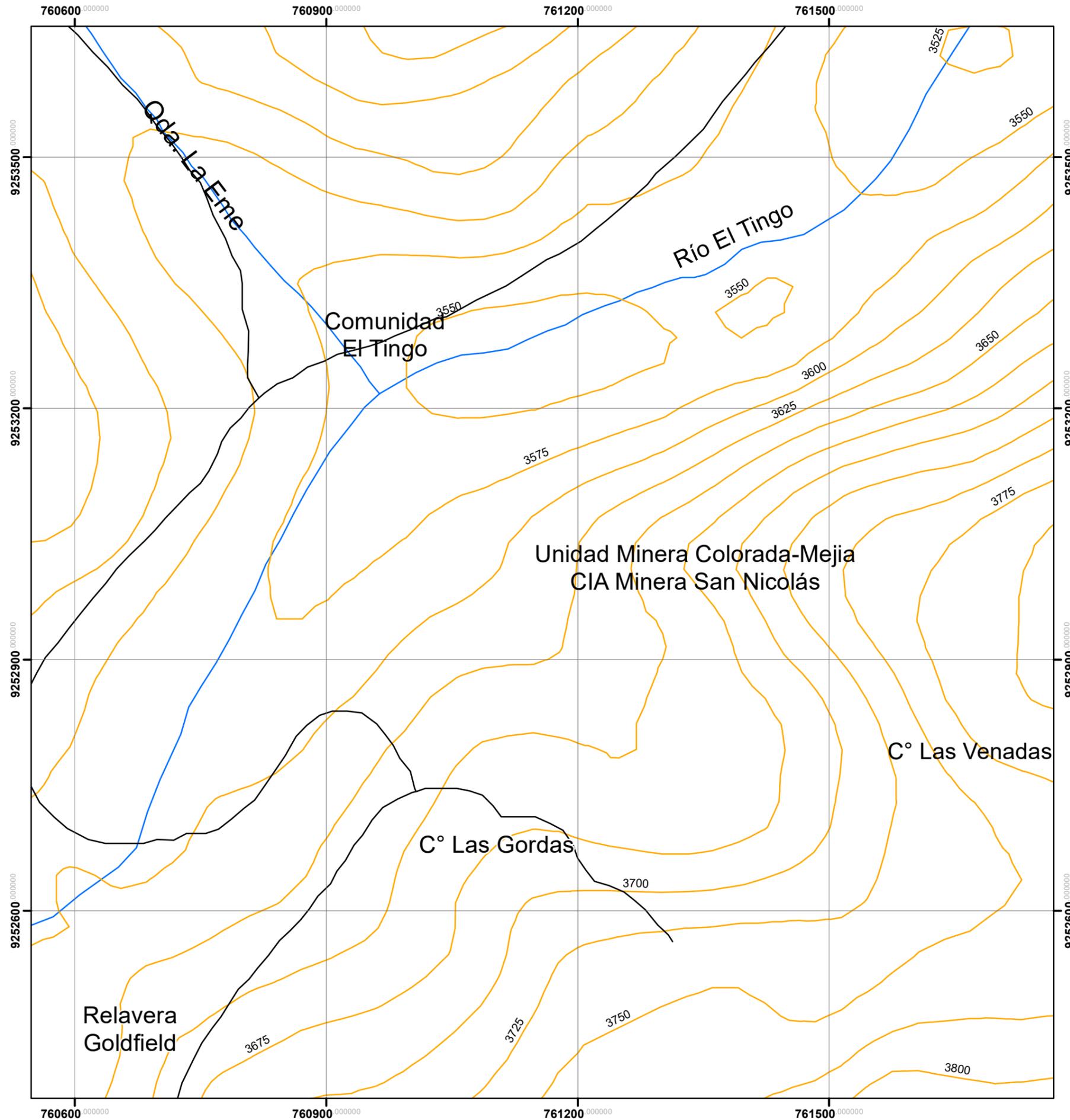
- Sillitoe, R. 1995. Exploration of porphyry copper lithocaps, in Mauk, J.L, and St. George, J.D., eds., Proceedings Pan American Conference on Research on Fluid Inclusions Congress 1995. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Sillitoe, R.; Hedenquist, J. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits: Society of Economic Geologists, Special Publication 10, p. 315-343.
- Sillitoe, R. 2003. Departamento Geología Universidad de Chile, 64 pp. Iron oxide – copper – gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposit*, 38: 787 – 812.
- Stoffregen, R. 1987. Genesis of acid – sulfate alteration and Au – Cu – Ag mineralization at Summitville, Colorado. *Economic Geology*.
- Thompson, J. 1995. Magmas, fluids and ore deposits: Mineralogical association of Canada Short Course, v.23, p. 263-289.
- Townley, B. 2006. Hydrothermal alteration and magnetic properties of rocks in the Carolina de Michilla stratabound copper district, northern Chile. *Miner Deposita* 42:771-789.

# **ANEXOS**



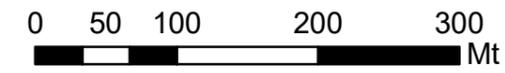
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

	TESIS: ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2017.		
	REALIZADO POR: CACHO YUPANQUI, YORDI DAVID		
	ASESOR: MCs. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN		
	PLANO: IMAGEN SATELITAL	DATUM: WGS 84-ZONA 17S	
ESCALA: 1/5000	FECHA: Marzo 2020	N°: 01	

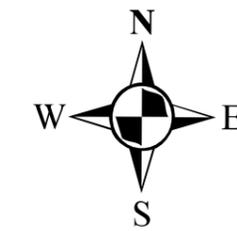
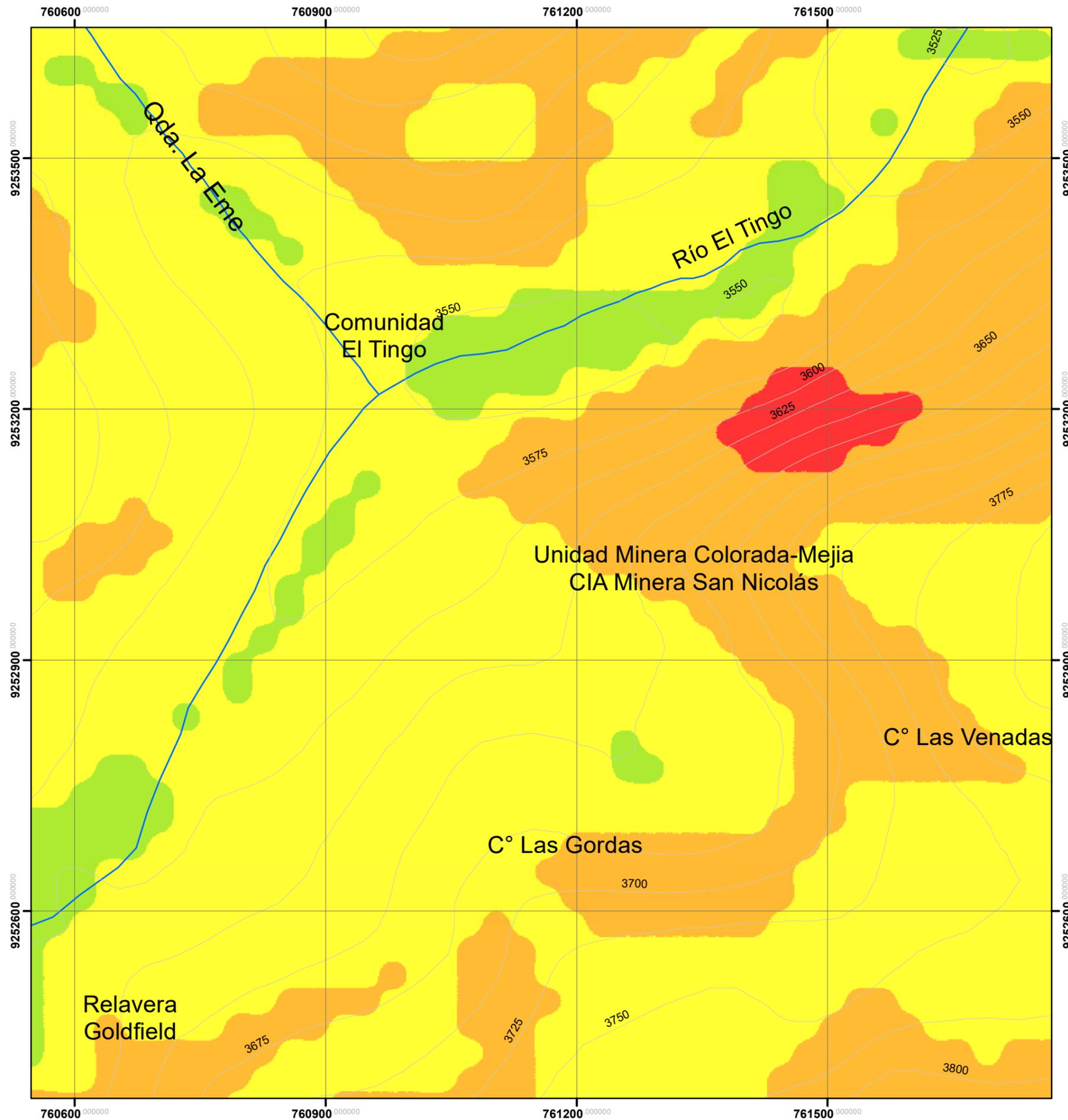


**LEYENDA**

- VIAS DE ACCESO
- CURVAS 25m
- DRENAJE



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
	TESIS: ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2017.		
	REALIZADO POR: CACHO YUPANQUI, YORDI DAVID		
	ASESOR: MCs. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN		
	PLANO: HIDROLÓGICO Y TOPOGRÁFICO	DATUM: WGS 84-ZONA 17S	
ESCALA: 1/5000	FECHA: Marzo 2020	N°: 02	



**LEYENDA**

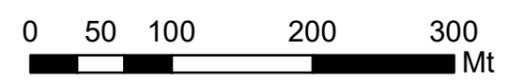
**PENDIENTE**

	>8°
	8° - 25°
	25° - 50°
	<50°

CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES (RODRÍGUEZ 2014)

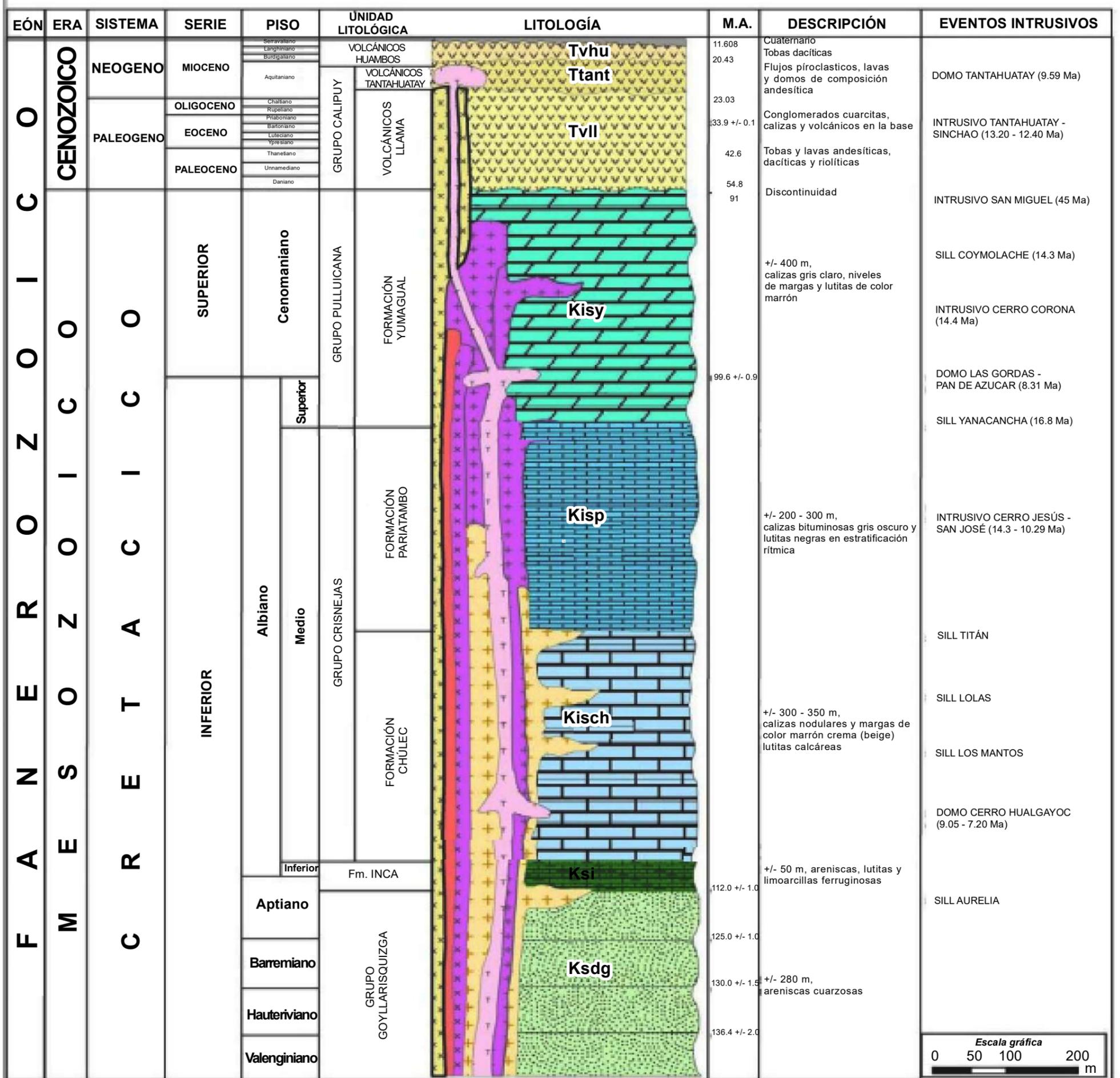
**SIMBOLOGÍA**

	CURVAS 25m
	DRENAJE



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS: ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA. 2017.	
	REALIZADO POR: CACHO YUPANQUI, YORDI DAVID	
	ASESOR: MCs. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN	
	PLANO: PENDIENTES	
ESCALA: 1/5000	FECHA: Marzo 2020	N°: 03

# COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL DISTRITO MINERO HUALGAYOC

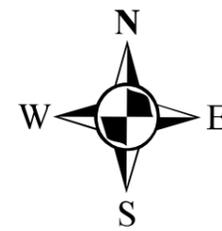
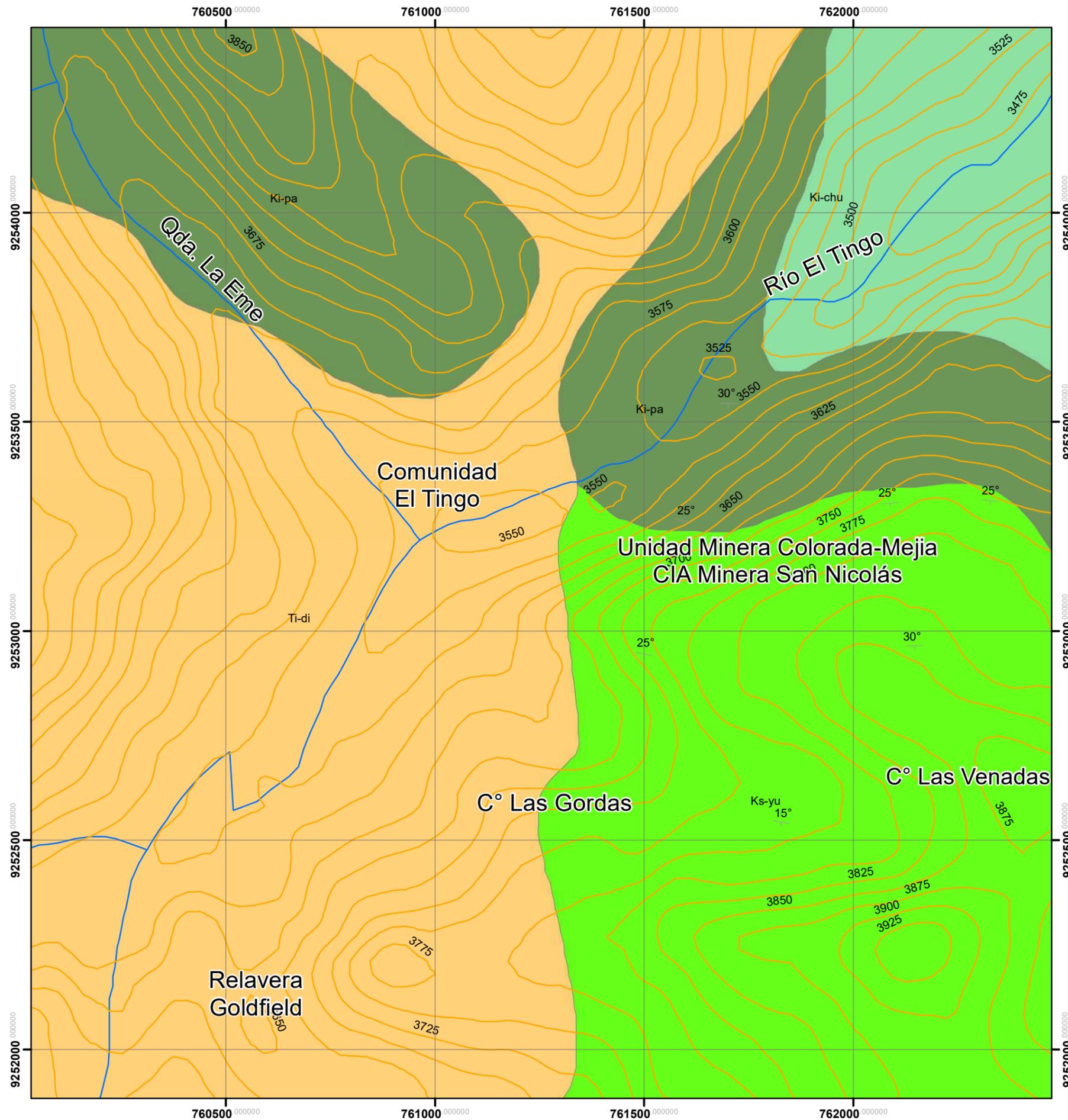


Estratigrafía y estructuras geológicas del yacimiento minero San Nicolás, a partir de la columna estratigráfica del distrito minero Hualgayoc.  
Fuente: (Modificado de Canchaya, 1999 y Julcamoro, 2011)

## LEYENDA

Kisy	Fm. YUMAGUAL	[Pink pattern]	INTRUSIVOS DACÍTICOS
Kisp	Fm. PARIATAMBO	[Yellow pattern]	INTRUSIVOS TANTAHUATAY
Kisch	Fm. CHULEC	[Purple pattern]	INTRUSIVOS DACÍTICOS
Ksi	Fm. INCA	[Red pattern]	C <sup>o</sup> Jesús, C <sup>o</sup> San José, Sill Mantos - Lolos, Sill Titán y Sill Aurelia
Ksdg	GRUPO GOYLLARISQUIZGA	[Green pattern]	INTRUSIVOS DIORÍTICOS
		[Purple pattern]	C <sup>o</sup> Las Gordas, Pan de Azúcar Cerro Corona, Quijote
		[Pink pattern]	INTRUSIVOS DIORÍTICOS
		[Purple pattern]	INTRUSIVOS GRANODIORÍTICOS - DIORÍTICOS
			Relacionados al intrusivo San Miguel

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA				
FACULTAD DE INGENIERÍA				
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA				
	TESIS:	ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2017.		
	REALIZADO POR:	CACHO YUPANQUI, YORDI DAVID		
	ASESOR:	MCs. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN		
	PLANO:	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DATUM:	WGS 84-ZONA 17S
	ESCALA:	GRÁFICA	FECHA:	Marzo 2020
		N <sup>o</sup> :	04	

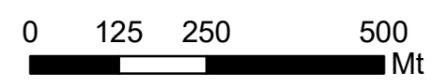


**LEYENDA**

- Drenaje
- Curvas de nivel 25m

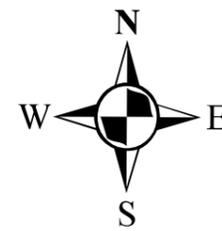
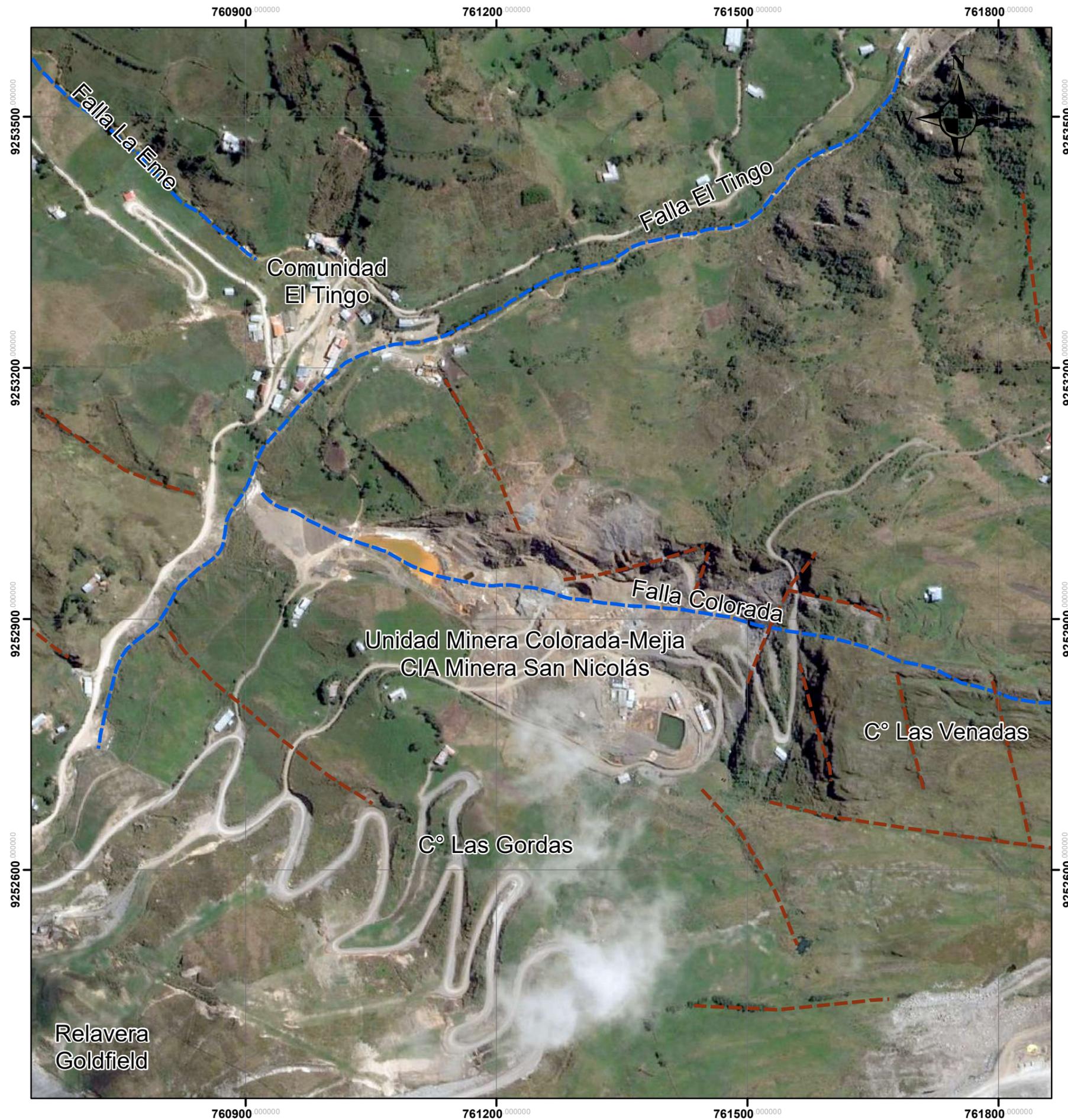
**LITOLOGÍA**

- Ks-pu Grupo Pulluicana
- Ki-pa Formación Pariatambo
- Ki-chu Formación Chúlec
- Ti-di Stock Granodiorítico



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

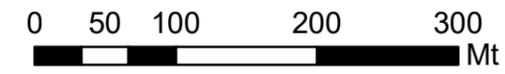
	TESIS: ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2017.		
	REALIZADO POR: CACHO YUPANQUI, YORDI DAVID		
	ASESOR: MCs. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN		
	PLANO: GEOLÓGICO	DATUM: WGS 84-ZONA 17S	
ESCALA: 1/10000	FECHA: Marzo 2020	N°: 05	



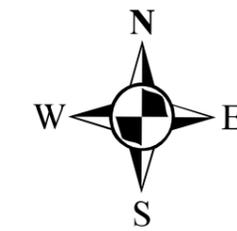
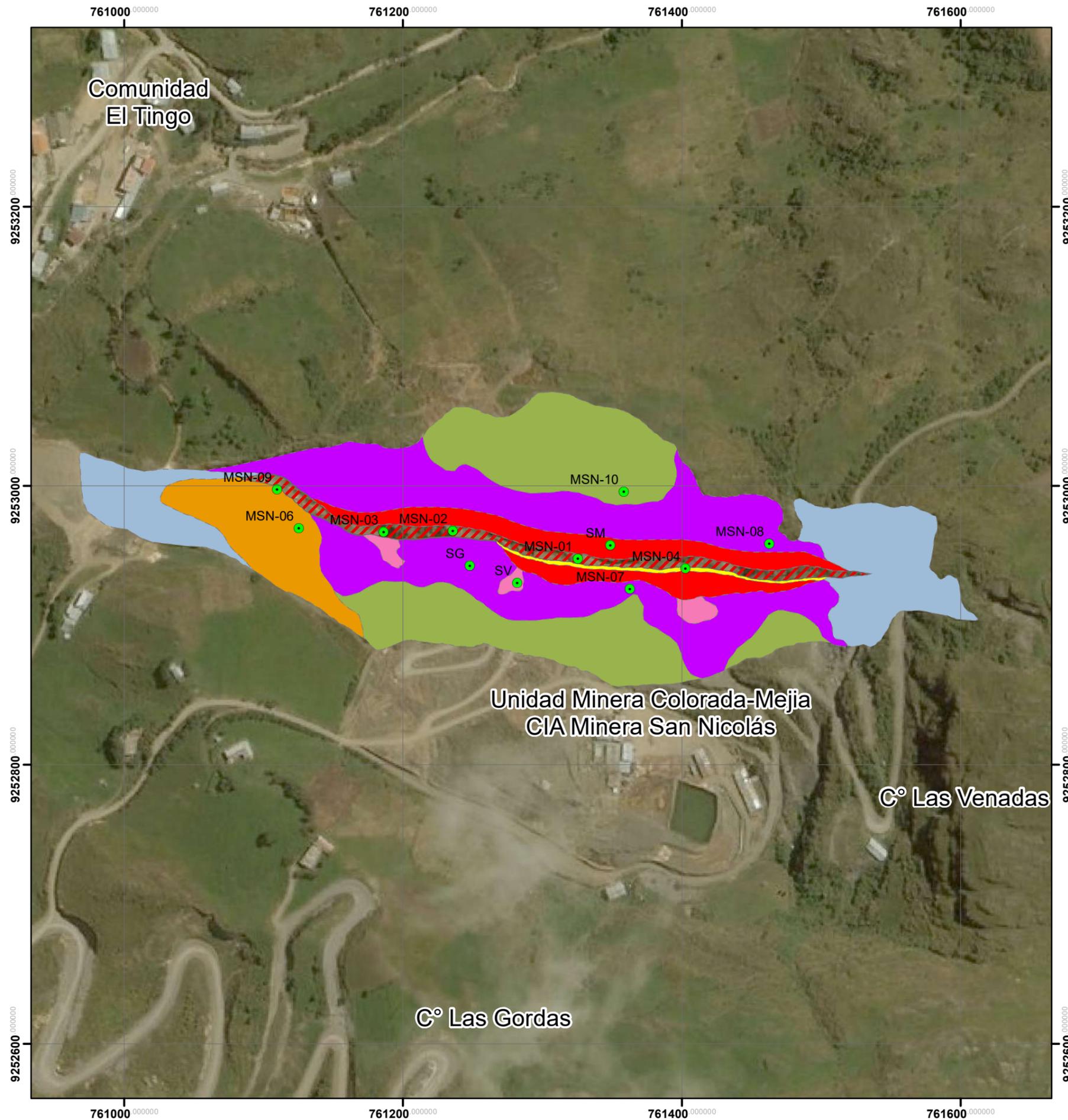
**LEYENDA**

**Estructura**

- - - Falla Definida
- - - Falla Inferida



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
	TESIS: ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2017.		
	REALIZADO POR: CACHO YUPANQUI, YORDI DAVID		
	ASESOR: MCs. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN		
	PLANO: ESTRUCTURAL	DATUM: WGS 84-ZONA 17S	
ESCALA: 1/5000	FECHA: Marzo 2020	N°: 06	

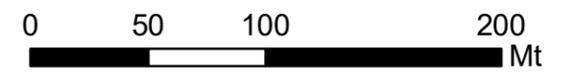


**SIMBOLOGÍA**

- Muestras

**ALTERACION**

- Oxidación
- Descarbonatación
- Argilización
- Piritización
- Silice Vuggy
- Silice Granular
- Silice Masiva
- Veta Mineralizada



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>		
	<p>TESIS: ESTUDIO MINERALÓGICO Y ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN COMPAÑÍA MINERA SAN NICOLÁS S.A. HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2017.</p>	
	<p>REALIZADO POR: CACHO YUPANQUI, YORDI DAVID</p>	
	<p>ASESOR: MCs. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN</p>	
	<p>PLANO: ALTERACIÓN</p>	<p>DATUM: WGS 84-ZONA 17S</p>
<p>ESCALA: 1/3000</p>	<p>FECHA: Marzo 2020</p>	<p>N°: 07</p>

