

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



TESIS PROFESIONAL

**CARACTERIZACIÓN MINERAGRÁFICA DE LAS VETAS BACA Y
RECUPERADA, DEL CERRO LA CHILCA, CAJABAMBA-PERÚ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

PRESENTADA POR:

Bach. NEIL SIMS THOMPSON HUARIPATA GOICOCHEA

ASESOR:

MCs. Ing. JOSÉ ALFREDO SIVERONI MORALES

CAJAMARCA - PERÚ
2016

Agradecimientos

A todos los docentes de la E.A.P.I.G, que a lo largo de toda la etapa de mi formación profesional, estuvieron apoyándome y brindándome sugerencias, profesionales y personales.

Al Ing. Mario Zaíd Díaz Isuiza, por el apoyo en la realización del estudio Mineragráfico y a la Empresa APT S.A por el uso de sus equipos e instalaciones para el desarrollo de la presente tesis.

A mis compañeros Edwin Villanueva y Eduardo Zambrano, por el apoyo en el trabajo de campo.

Y en especial al Ing. José Alfredo Siveroni Morales, por el tiempo brindado en la revisión y corrección en el desarrollo de la presente tesis.

Dedicatoria

A mis queridos y ejemplares padres, Simón y Graciela, porque gracias a todos sus sacrificios
pudieron brindarme, la herencia más valiosa de todas, la educación.

A mis hermanos; Venus, Berg, Danny, Enrique y Sonia, por su apoyo constante.

Y a mis amigos y colegas; Celso, Jaime, James, Iladoy, Felipe, Eduardo, Juan, Jhimmy y Jhon,
por su sincera amistad.

Neil

RESUMEN

Las vetas Baca y Recuperada, se encuentran ubicadas en el cerro la Chilca, que pertenece al caserío de San José-Cachachi, provincia de Cajabamba, al sur del departamento de Cajamarca. A través de la caracterización mineragráfica de las vetas Baca y Recuperada, se identificó las principales asociaciones mineralógicas de las vetas, siendo en la veta Baca: óxidos de cobre, goethita, limonita, digenita, pirita, calcopirita, cobre gris 1, enargita y en la veta Recuperada: óxidos de cobre, goethita, digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita, esfalerita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita. Además se realizó el zonamiento de dichas vetas, teniendo en la veta Baca: la zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita, limonita), zona de transición (digenita, pirita, calcopirita, enargita) y la zona hipógena (pirita, calcopirita, cobre gris 1, enargita) y en la veta Recuperada: zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita), zona de transición (digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita) y la zona hipógena (pirita, calcopirita, esfalerita, enargita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita). Para lo cual se obtuvo 4 muestras; 2 de la zona de óxidos y 2 de la zona de transición, las cuales fueron preparadas en secciones pulidas, para realizar el estudio mineragráfico. La secuencia paragenética establecida para las vetas, se clasificó en minerales tempranos y tardíos, de acuerdo al evento de precipitación, siendo en la veta Baca: pirita, cobre gris 1, calcopirita, enargita y en la veta Recuperada: arsenopirita, pirita, cobre gris 2, esfalerita, calcopirita, cobre gris. La enargita y los cobres grises, son minerales asociados a yacimientos epitermales de alta sulfuración, por lo que el área de estudio presenta características de un yacimiento tipo pórfido, sobreimpuesto por un evento hidrotermal de alta sulfuración.

PALABRAS CLAVES: La Chilca, caracterización mineragráfica, zonamiento, secuencia paragenética, asociación mineralógica, zona de oxidación, zona de transición, zona hipógena.

ABSTRACT

The Baca and Recuperada veins are located in the Chilca Hill, in San Jose-Cachachi Hamlet, Province of Cajabamba, in the south part of Cajamarca Region. The mineralogical associations identified in the vein Baca are: copper oxides, goethite, limonite, digenite, pyrite, chalcopyrite, gray copper 1, enargite and Recuperada Vein: Copper oxides, goethite, digenite, covellite, pyrite, chalcopyrite, enargite, sphalerite, gray coppers, gray coppers 2, arsenopyrite. Also both veins mineral zonation were identified, the zonation for Baca Vein: Oxides zone (copper oxides, goethite, limonite), transition zone (digenite, pyrite, chalcopyrite, enargite) and the hypogene zone (pyrite, chalcopyrite, gray copper 1, enargite). The zonation for Recuperada Vein: oxides zone (copper oxides, goethite), transition zone (digenite, covellite, pyrite, chalcopyrite, enargite) and hypogene zone (digenite, covellite, pyrite, chalcopyrite, enargite, gray coppers, gray copper 2, arsenopyrite). To achieve this purpose four polished thin sections were prepared in order to study the mineralogical characterization of Baca and Recuperada veins, this allowed identify the main mineralogical association and their zonation. The established paragenetic sequence for the veins was classified in early and lately minerals, according to precipitation event, being in la Baca vein: pyrite, gray copper 1, chalcopyrite, enargite, at the Recuperada Vein: arsenopyrite, pyrite, gray copper 2, sphalerite, chalcopyrite, gray coppers. The gray coppers and enargite have a relation with high sulfidation epithermal deposits, in this way the area has many features that it would indicate that it is a porphyry deposit with high sulfidation overprinted event.

KEYWORDS: La Chilca, mineralogical associations, mineral zonation, paragenetic sequence, mineral association, oxides zone, transition zone, hypogene zone

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
Agradecimientos.....	i
Dedicatoriaii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice de Contenidosv
Lista de Figuras	xii
Lista de Fotografías	xv
Lista de Tablas	xviii
Lista de Planos	xix
Lista de abreviaturas.....	xx

CAPÍTULO I

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación	4
2.2. Bases Teóricas	5
2.2.1. Procesos Hidrotermales	5
2.2.1.1. Fuente de Fluidos Hidrotermales	5
2.2.1.2. Medios de Transporte de Metales	6
2.2.1.3. Precipitación de Sulfuros	7
2.2.2. Estudio Mineragráfico	8
2.2.3. Paragénesis y Zonación	8
2.2.4. Alteración Supérgena	8
2.2.5. Enriquecimiento Secundario	9
2.2.6. Comportamiento Generalizado de Metales en Ambiente Supérgeno	9
2.2.7. Importancia de la Pirita en Procesos Supérgenos	10
2.2.8. Ecuación de Stokes	10
2.2.9. Proceso de Formación Mineral en la Zona de Oxidación y Lixiviación	10
2.2.9.1. Procesos y Productos en la Zona de Enriquecimiento	11
2.2.9.2. Características de los Ciclos de Enriquecimiento del Cobre	14

	Pág.
2.3. Definición de Términos Básicos	15
2.3.1. Minerografía	15
2.3.2. Veta o Filón	16
2.3.3. Enriquecimiento Secundario	16
2.3.4. Hipógeno	16
2.3.5. Zonamiento	16
2.3.6. Paragénesis	17
2.3.7. Asociación Mineralógica	17

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y Accesibilidad	18
3.1.1. Ubicación	18
3.1.1.1. Políticamente	18
3.1.1.2. Geográficamente	18
3.1.2. Accesibilidad	19
3.2. Geología Distrital	19
3.2.1. Formación Chicama	22
3.2.1.1. Edad y Correlación	23
3.2.2. Grupo Goyllarisquizga	24
3.2.2.1. Edad y Correlación	24
3.2.3. Formación Chimú	25

	Pág.
3.2.3.1. Edad y Correlación	26
3.2.4. Formación Santa	26
3.2.4.1. Edad y Correlación	27
3.2.5. Formación Carhuaz	27
3.2.5.1. Edad y Correlación	28
3.2.6. Formación Farrat	28
3.2.6.1. Edad y Correlación	29
3.2.7. Formación Inca	29
3.2.7.1. Edad y Correlación	30
3.2.8. Dacitas y Andesitas Porfiríticas	30
3.3. Geología Estructural	32
3.3.1. Provincias de Pliegues y Sobreescurrecimientos	32
3.4. Geología Local	33
3.4.1. Formación Santa (Ki-sa)	33
3.4.2. Formación Carhuaz (Ki-ca)	33
3.4.3. Pórfido Dacítico	36
3.5. Alteraciones Hidrotermales	37
3.5.1. Alteración Cuarzo-Sericita (Fílica)	37
3.5.2. Alteración Argílica	38
3.6. Contexto Tectónico	39
3.7. Método de Investigación	44
3.8. Estructura del Método Científico	44
3.8.1. Observación o Experimentación	44

	Pág.
3.8.2. Organización	53
3.8.3. Hipótesis y Teoría	53
3.8.4. Verificación y Predicción	53
3.9. Materiales	54
3.9.1. Recolección de Datos	55
3.9.1.1. Muestra N-3	55
3.9.1.2. Muestra N-4	56
3.9.1.3. Muestra N-5	57
3.9.1.4. Muestra N-6	58

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Descripción Minerográfica de las Muestras	59
4.1.1. Descripción Macroscópica Muestra N-3	59
4.1.1.1. Descripción Microscópica	60
4.1.1.2. Mineralogía y Porcentaje Aproximado	60
4.1.1.3. Secuencia de Formación Probable o Paragénesis	61
4.1.1.4. Textura	61
4.1.1.5. Microfotografías	61
4.1.2. Descripción Macroscópica Muestra N-4	64
4.1.2.1. Descripción Microscópica	65
4.1.2.2. Mineralogía y Porcentaje Aproximado	65
4.1.2.3. Secuencia de Formación Probable o Paragénesis	66

	Pág.
4.1.2.4. Textura	66
4.1.2.5. Microfotografías	66
4.1.3. Descripción Macroscópica Muestra N-5	68
4.1.3.1. Descripción Microscópica	68
4.1.3.2. Mineralogía y Porcentaje Aproximado	68
4.1.3.3. Secuencia de Formación Probable o Paragénesis	70
4.1.3.4. Textura	70
4.1.3.5. Microfotografías	71
4.1.4. Descripción Macroscópica Muestra N-6	73
4.1.4.1. Descripción Microscópica	74
4.1.4.2. Mineralogía y Porcentaje Aproximado	74
4.1.4.3. Secuencia de Formación Probable o Paragénesis	75
4.1.4.4. Textura	75
4.1.4.5. Microfotografías	75
4.2. Zonamiento de las Vetas Baca y Recuperada	77
4.2.1. Veta Baca	77
4.2.2. Veta Recuperada	78
4.3. Secuencia Paragenética de las Vetas Baca y Recuperada	79
4.3.1. Secuencia Paragenética Veta Baca	79
4.3.2. Secuencia Paragenética Veta Recuperada	80
4.4. Modelo Geológico Hipotético de la Formación de las Vetas Baca y Recuperada	81
4.5. Resultados de la Investigación	85

	Pág.
4.6. Contrastación de la Hipótesis	86
4.7. Interpretación de la Información	86

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	88
5.2. Recomendaciones	89

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
-----------------------------------	-----------

LINKOGRAFÍA	91
--------------------	-----------

ANEXOS	92
---------------	-----------

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig.1: Zonación supérgena	9
Fig.2: Diagrama de solubilidad del cobre	13
Fig.3: Microfotografía de enriquecimiento temprano de pirita por calcosina, at Ray. Arizona	14
Fig.4: Microfotografía de calcosina en reemplazamiento avanzado en pirita	15
Fig.5: Columna estratigráfica distrital	20
Fig.6: Columna estratigráfica de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba	21
Fig.7: Configuración tectónica del Perú. Machare (1994)	40
Fig.8: Marco tectónico de los Andes Peruanos del norte y el distrito de Cajamarca. Turner (1997).	43
Fig.9: Microscopio de luz transmitida	47
Fig.10: Microscopio de luz reflejada	48
Fig.11: Soportes	49
Fig.12: Tornillos de enfoque	50
Fig.13: Muestra N-3 (Veta Baca)	59
Fig.14: Cristales subhedrales de pirita diseminados en las gangas	61
Fig.15: Moldes de sulfuros reemplazados por goethita-limonitas	62
Fig.16: Goethita botroidal	62

	Pág.
Fig.17: Microfractura rellena por óxidos de cobre	63
Fig.18: Muestra N-4 (Veta Baca)	64
Fig.19: Calcopirita entre pirita cúbica. Enargita asociada a calcopirita ambos reemplazados por digenita	66
Fig.20: Pirita y cobre gris1 rellena por enargita. Calcopirita rellena microporosidad de pirita	67
Fig.21: Muestra N-5 (Veta Recuperada)	68
Fig.22: Esfalerita reemplazada por cobre gris. Calcopirita reemplazada por Digenita y a su vez reemplazada por enargita	71
Fig.23: Venilla de covelita cortando pirita	71
Fig.24: Óxidos de cobre rellena porosidades	72
Fig.25: Inclusiones subhedrales de arsenopirita embutidos por cobre gris 2	72
Fig.26: Muestra N-6 (Veta Recuperada)	73
Fig.27: Cristales de pirita diseminados en gangas	75
Fig.28: Calcopirita reemplazada por digenita diseminada en gangas	76
Fig.29: Óxidos de cobre impregnados en las gangas y bordes de moldes de Sulfuros	76
Fig.30: Zonamiento Veta Baca	77
Fig.31: Zonamiento Veta Recuperada	78
Fig.32: Paragénesis Veta Baca	79

	Pág.
Fig.33: Paragénesis Veta Recuperada	80
Fig.34: Se inicia por los esfuerzos compresivos, generados en la fase compresional Inca	81
Fig.35: Los esfuerzos compresivos permitieron pasar de un régimen dúctil a un régimen frágil, formando fallas inversas	81
Fig.36: Estas fallas inversas, son zonas de debilidad favorables para el emplazamiento de intrusivos	82
Fig.37: La alteración Fílica, se superpone a las alteraciones tardimagmáticas del intrusivo (Potásica y Propilítica)	82
Fig.38: Posteriormente se produce el emplazamiento de las vetas	83
Fig.39: Estas vetas son afectadas por la circulación descendente de soluciones supérgenas	83
Fig.40: Generándose el zonamiento establecido	84

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Foto 1: Intercalación de lutitas y areniscas (Fm-Carhuaz), vista al sur (Ubicación: 9158500N, 804925E)	34
Foto 2: Lutitas grises (Fm-Carhuaz), afectadas por stockwork con óxidos de hierro (Ubicación: 9158300N, 805210E)	34
Foto 3: Areniscas cuarzosas (Fm-Carhuaz), con presencia de boxwork (Ubicación: 9158300N, 805210E)	35
Foto 4: Pórfido dacítico, observándose ojos de cuarzo (Ubicación: 9158100N, 805400E)	36
Foto 5: Alteración Fílica (cuarzo - sericita)	37
Foto 6: Alteración Argílica (sericita - caolinita)	38
Foto 7: Secciones pulidas	45
Foto 8: Platina giratoria	50
Foto 9: Recolección muestra N-3, zona de óxidos	55
Foto 10: Personal de apoyo indicando el lugar donde se obtuvo la muestra N-4, zona de transición	56
Foto 11: Personal de apoyo indicando el lugar donde se obtuvo la muestra N-5, zona de transición	57
Foto 12: Tesista indicando la veta Recuperada, lugar donde se obtuvo la muestra N-6, zona de óxidos	58

	Pág.
Foto 13: Preparación de las rocas que se van a cortar, se marcan las siglas de campo y elegimos el plano de corte	93
Foto 14: Para cortar las rocas utilizamos, una cortadora de disco adiamantado y refrigerado por agua.	93
Foto 15: Cortamos las rocas en prismas rectangulares (tacos), de dimensión aproximada; 4x3x1 cm	94
Foto 16: El taco se debe desbastar por una de las caras, utilizando polvo de carburo de silíceo de diferente textura de grano	94
Foto 17: Sobre la cara pulida del taco se pega la porta, utilizando epoxy y haciendo presión para que no queden burbujas.	95
Foto 18: Para conseguir un mejor resultado, podemos utilizar las prensa durante unos minutos	95
Foto 19: Dejaremos los tacos sobre la plancha caliente unos minutos, una vez pegados los tacos ya estaran preparados para cortar	96
Foto 20: Antes de cortar el taco marcaremos, con un lapiz de diamante y sobre el porta de cristal , las siglas y orientacion del taco	96
Foto 21: Realizamos un primer corte del taco con la cortadora, sacando una lámina de 1mm de espesor.	97
Foto 22: La lámina de 1mm de espesor se montará en el portamuestras y posteriormente con la rectificadora, haremos un segundo corte para	

	Pág.
reducir la lámina a 300 um	97
Foto 23: Realizaremos el corte en la rectificadora y después pasaremos a la desbastadora.	98
Foto 24: En la desbastadora, las láminas se someten a una abrasión programada (dependiendo del grosor de la lámina, dureza de la roca) y se reducen a 30 um	98
Foto 25: Controlaremos el espesor de la lámina, a través de los colores de interferencia de los minerales observados bajo el microscopio	99
Foto 26: Por último, las láminas se pueden pasar por la pulidora, utilizando abrasivos muy finos (óxido de aluminio, óxido de cerio) de tamaño de partícula 0.005 um	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas de la zona de trabajo	19
Tabla 2. Accesibilidad al Cerro La Chilca	19
Tabla 3: Zonamiento Veta Baca	77
Tabla 4. Zonamiento Veta Recuperada	78

LISTA DE PLANOS

Plano 1.- Plano de Ubicación	P-1
Plano 2.- Plano Geología Regional	P-2
Plano 3.- Imagen Satelital	P-3
Plano 4.- Plano Topográfico	P-4
Plano 5.- Plano Geología Local	P-5
Plano 6.- Plano de Alteraciones	P-6

LISTA DE ABREVIATURAS

(Según IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks)

Apy: Arsenopirita

Ccp: Calcopirita

CGRs: Cobre gris

Cv: Covelita

Dg: Digenita

En: Enargita

Esf: Esfalerita

GGs: Gangas

Gt: Goethita

Lm: Limonitas

OXsCu: Óxidos de cobre

Py: Pirita

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Las vetas Baca y Recuperada se encuentran ubicadas en el caserío de San José – Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, dichas vetas están emplazadas en un intrusivo dacítico de textura porfirítica y presenta las alteraciones hidrotermales filica y argílica en la roca caja.

Estas vetas presentan asociaciones mineralógicas, determinadas a través de un estudio mineragráfico, estas asociaciones mineralógicas son las siguientes: en la veta Baca (óxidos de cobre, goethita, limonita, digenita, pirita, calcopirita, enargita, cobre gris 1 y en la veta Recuperada (óxidos de cobre, goethita, digenita, covelita, pirita, calcopirita, esfalerita, enargita, cobre gris, cobre gris 2, arsenopirita).

El zonamiento establecido en la veta Baca consta de: zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita, limonita), zona transicional (digenita, pirita, calcopirita, enargita) y zona hipógena (pirita, calcopirita, enargita, cobre gris 1) y en la veta Recuperada del mismo modo con: zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita), zona transicional (digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita) y zona hipógena (pirita, calcopirita, esfalerita, enargita, cobre gris, arsenopirita, cobre gris 2).

En ese contexto se ha planteado el problema general ¿ Que asociaciones mineralógicas presentan las vetas Baca y Recuperada del cerro la Chilca, como dichas asociaciones mineralógicas se encuentran distribuidas en las vetas, para proponer un adecuado zonamiento de estas y definir un modelo geológico hipotético ?.

La presente investigación se justifica ya que se aportó, al realizar el mapeo geológico de la zona, así como al haber realizado la delimitación mineralógica de las vetas y definido un modelo geológico hipotético de estas, que nos servirá para entender el comportamiento de estas estructuras mineralizadas. A través del estudio mineragráfico se logró identificar las distintas asociaciones mineralógicas de cada zona mineralógica, lo que nos ha permitido realizar un adecuado zonamiento de estas vetas; finalmente la presente investigación servirá para futuros trabajos en la zona.

Se plantearon los siguientes objetivos para la investigación, siendo el principal: Realizar la caracterización mineragráfica de las vetas Baca y Recuperada, del cerro la Chilca, Cajabamba-Perú.

También los objetivos específicos tales como: Realizar el cartografiado geológico del cerro la Chilca, identificar las asociaciones mineralógicas de las vetas Baca y Recuperada a través de estudios mineragráficos, proponer el zonamiento de la mineralización de acuerdo a las asociaciones mineralógicas, proponer la secuencia paragenética, definir un modelo geológico hipotético.

La hipótesis propuesta menciona que mediante la caracterización mineragráfica de las vetas Baca y Recuperada se determinara sus asociaciones mineralógicas y su zonamiento vertical, diferenciando las zonas de oxidación, transicional e hipógena.

La distribución de los capítulos se realizó de la siguiente manera:

- Capítulo II: Marco teórico, en este capítulo se describe los antecedentes teóricos de la investigación, que sean tomado como referencia para el presente trabajo de investigación, además de las bases teóricas y definición de términos básicos.
- Capítulo III: Materiales y métodos, se describe el método de investigación y la ubicación de la zona de estudio, además de los recursos de gabinete y campo utilizados en el desarrollo del trabajo de investigación.

- Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados, se presenta el análisis y los resultados provenientes del trabajo de investigación, estos resultados obtenidos son contrastados con la hipótesis propuesta.
- Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones, se detallan las conclusiones y recomendaciones originadas de los resultados en base a los objetivos planteados.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

- **RIVERA (1980).** Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, donde se hace el reconocimiento de la litología y mineralización de todo el cuadrángulo.
- **GARCÍA (2007).** Realizó un estudio de evaluación ambiental y socio-económico de la zona de Algamarca, donde determinó que los mineros artesanales extraen mineral de las vetas, de la zona de óxidos.
- **SANCHEZ (2012).** Realizó su tesis denominada determinación de los vectores de mineralización y zonamiento de alteraciones hidrotermales del proyecto Shahuindo-Perú, proyecto aledaño a la zona de estudio y donde concluye de que este depósito mineral es un sistema epitermal de alta sulfuración sobre impuesto a un sistema de sulfuración intermedia, además realizó el zonamiento mineralógico, identificando la zona de óxidos (jarosita, goethita, escorodita y hematita) y sulfuros (pirita singenética, pirita fina terrosa y pirita fina masiva).
- **PASCUAL (2014).** Distribución geoquímica de elementos trazas y su relación con los yacimientos de Au-Cu del mioceno, en la cuenca del río Condebamba, dicho trabajo lo realizó con muestras obtenidas de los sedimentarios siliciclásticos del Cretácico, donde determina mediante el análisis geoquímico – estadístico áreas anómalas relacionadas principalmente a la mineralización aurífera en asociación con As, Pb, Sb, W, Ag, Bi, Te, Cu, Cd y Hg.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PROCESOS HIDROTERMALES

La formación de muchos depósitos de minerales metálicos involucra la participación de soluciones acuosas calientes; por Ej. Vetas, stockworks de varios tipos, depósitos exhalativos volcanogénicos, pórfidos cupríferos, etc. La mayor parte de los depósitos metálicos de la Cordillera de Los Andes son de origen hidrotermal, por lo que estos procesos son muy relevantes para comprender la formación de los yacimientos. Los fluidos participantes en estos procesos se denominan soluciones hidrotermales y existen distintas evidencias que indican su importancia como mineralizadores, particularmente las que provienen de inclusiones fluidas dentro de minerales precipitados a partir de soluciones hidrotermales y alteración hidrotermal de las rocas encajadoras (las que serán discutidas más adelante). La homogenización de inclusiones fluidas en minerales de depósitos hidrotermales ha mostrado que el rango de depositación de minerales de mena y ganga para todo tipo de depósitos hidrotermales es de aproximadamente 50° a 650°C. Los análisis de los fluidos muestran que el agua es la fase más común y el contenido salino es frecuentemente más alto que en el agua de mar. Las soluciones hidrotermales tienen evidentemente la capacidad de transportar una amplia variedad de materiales y depositarlos en minerales tan diversos como el oro o la sericita (hidromuscovita), lo que muestra que la físico-química de tales soluciones es compleja y difícil de duplicar en laboratorios.

El conocimiento de las propiedades y comportamiento de las soluciones hidrotermales todavía no está totalmente aclarado, existiendo muchas ideas sobre el origen de tales soluciones y los materiales que ellas transportan. Los problemas principales son la fuente y naturaleza de las soluciones acuosas, la fuente de los metales y el azufre transportados por ellas, la fuerza que mueve las soluciones a través de la corteza, la forma de transporte de los componentes en solución y los mecanismos de deposición. (Maksaev, 2001).

2.2.1.1 FUENTE DE FLUIDOS HIDROTERMALES

Existen evidencias (sobre todo de inclusiones fluidas) que las soluciones hidrotermales salinas están ampliamente distribuidas en la corteza. En algunos sistemas geotermales activos (Ej. El Tatio en el norte de Chile) se puede observar como afloran aguas calientes en superficie. Los

sistemas geotermales son objeto de estudios para comprender la circulación de soluciones hidrotermales. ¿De dónde provienen las soluciones? Los datos provenientes de fuentes termales, aguas de minas, túneles, sondajes, inclusiones fluidas de minerales y rocas indican que hay cinco fuentes de aguas hidrotermales:

1.- Aguas meteóricas: incluye aguas superficiales y subterráneas (acuíferos o napas de aguas subterráneas).

2.- Aguas marinas: agua de los océanos.

3.- Aguas connatas o de formación: aguas que quedan atrapadas en los intersticios o poros de secuencias de rocas y aguas meteóricas de penetración profunda.

4.- Aguas metamórficas: aguas liberadas por cambios mineralógicos de minerales hidratados a minerales anhidros.

5.- Aguas magmáticas: aguas primarias derivadas de procesos ígneos que dan origen a rocas intrusivas y volcánicas. (Maksaev, 2001).

2.2.1.2 MEDIOS DE TRANSPORTE DE METALES

Los sulfuros y otros minerales metalíferos tienen muy baja solubilidad en agua, de modo que debe existir otra forma de transporte de metales en fluidos hidrotermales. Sabemos que muchos elementos precipitan como sulfuros a partir de fuentes hidrotermales (los campos geotérmicos son un ejemplo y otro son las fuentes termales submarinas “black smokers”), pero si los metales son insolubles como iones simples debe haber otro modo de transporte y este es como complejos o iones complejos en los cuales los cationes metálicos se unen a grupos complejos (ligantes). Los ligantes más importantes son HS⁻ o H₂S, Cl⁻ y OH⁻. Para que los complejos sulfurados sean estables se requieren altas concentraciones de H₂S y HS⁻. (Ej. PbS(HS)⁻). Muchos autores favorecen el transporte de metales como complejos clorurados tales como AgCl₂⁻ y PbCl₃⁻. Para ilustrar como los iones complejos pueden transportar metales, cabe mencionar que el proceso industrial más utilizado en la recuperación del oro es la lixiviación con cianuro. Este proceso

(cianuración) aprovecha el hecho que el oro forma un complejo estable a temperatura ambiente que es el dicianato de oro: $\text{Au}(\text{CN})_2$. Este anión es altamente soluble y permite extraer el oro de una pila o de mineral pulverizado a una solución de la cual luego se precipita el oro, ya sea incorporando zinc en polvo o haciendo pasar la solución por carbón activado. (Maksaev, 2001).

2.2.1.3 PRECIPITACIÓN DE SULFUROS

Este es un campo complejo de debate. El ascenso de soluciones hidrotermales hacia zonas saturadas con aguas subterráneas va a producir precipitación por dilución de los materiales disueltos y por cambios en el estado de oxidación o pH de la solución. La ebullición del fluido al acercarse a la superficie redundará en la liberación de H_2S y aumento del pH de la solución con la consecuente precipitación de los materiales en solución. Por lo que la ebullición se plantea como un medio eficiente de precipitación en algunos tipos de depósitos. El descenso de la temperatura del fluido también reduce drásticamente las solubilidades, asimismo cambios en el fluido tales como el aumento de especies sulfuradas reducidas, aumento de la concentración de metales, descenso de la concentración de ligantes, oxidación o reducción son fenómenos que producen precipitación. Hay autores que asignan un rol fundamental a la mezcla de fluidos hidrotermales con aguas oxidantes superficiales o con aguas sulfatadas ácidas, mientras que otros favorecen la ebullición para depósitos formados a profundidades someras.

En síntesis, cambios físico-químicos de las soluciones hidrotermales producen la precipitación de los materiales transportados en solución. La precipitación de sulfuros metálicos en el sector donde ocurren cambios físicos o químicos de la solución (“trampa de mena”) a medida que continúa la circulación de fluido hidrotermal redundará en la concentración local de elementos metálicos precipitados que puede dar origen a yacimientos hidrotermales. (Maksaev, 2001).

2.2.2 ESTUDIO MINERÁGRAFICO

A través de este estudio se puede determinar todos los minerales metálicos que presenta la veta, así como el tamaño de granos, definir las asociaciones mineralógicas (relación entre minerales), reconocer las alteraciones y reemplazamientos, además del tipo de textura y reconocer la secuencia paragenética.(Bisa,2009).

2.2.3 PARAGÉNESIS Y ZONACIÓN

El orden cronológico de depositación mineral se conoce como la secuencia paragenética o paragénesis de un depósito mineral, mientras que la distribución espacial se conoce como zonación. La secuencia temporal de depositación de minerales se conoce como secuencia paragenética o paragénesis. Esta se determina principalmente en base a estudios microscópicos con luz reflejada de secciones pulidas, pero la relación entre distintas venillas constituyen también antecedentes valiosos al respecto. (Maksaev, 2011).

2.2.4 ALTERACIÓN SUPÉRGENA

Proceso de reequilibrio de la mineralogía hipógena a las condiciones oxidantes en las cercanías de la superficie (sobre el nivel de aguas subterráneas) por la circulación descendente de soluciones supérgenas. Afecta a los silicatos generando minerales de arcillas (halloysita, smectita) y a los sulfuros hipógenos que se transforman en minerales oxidados. (Maksaev, 2011).

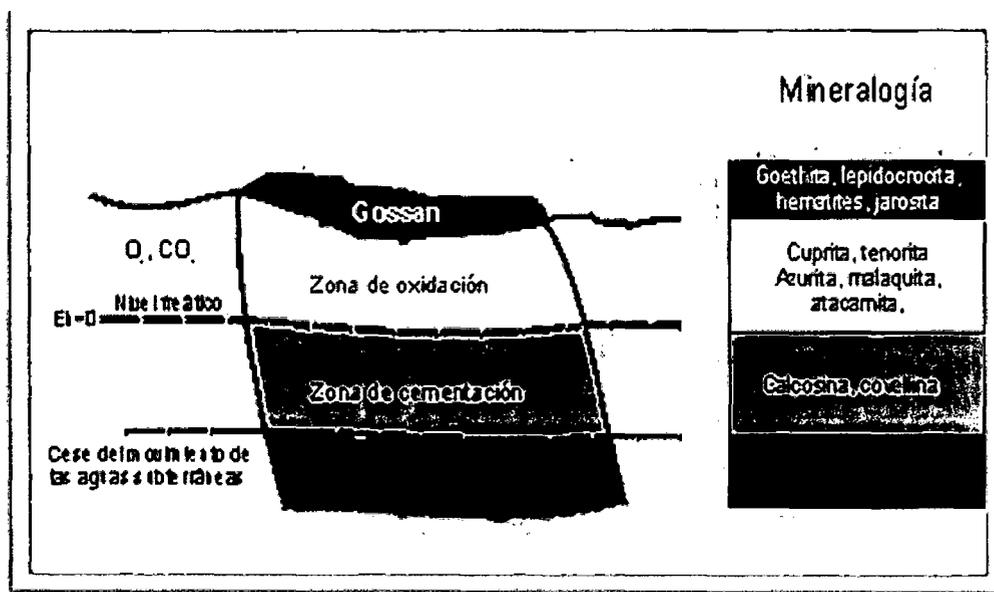


Figura 1: Zonación supérgena.

Fuente: Maksaev (2011).

2.2.5 ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO

Proceso resultante de la meteorización (alteración supérgena) de depósitos minerales, en el cual la oxidación produce soluciones ácidas que lixivian metales transportándolos hacia abajo y re-precipitándolos, con el consecuente enriquecimiento de los minerales sulfurados originalmente presentes. (Maksaev, 2011).

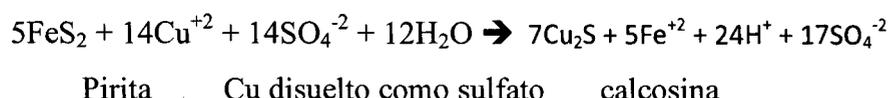
2.2.6 COMPORTAMIENTO GENERALIZADO DE METALES EN AMBIENTE SUPÉRGENO

Fe, Al, Ti, Cr, Mn, Ni, Co, Pb forman óxidos estables. Permanecen en la zona de oxidación (sobre el nivel de aguas subterráneas). Cu, Mo, Zn, Ag forman sulfatos solubles, son lixiviados de niveles superficiales y transportados en solución hacia abajo re-precipitando como sulfuros supérgenos debajo del nivel de aguas subterráneas. Au no reactivo químicamente, tiene a permanecer en zona de oxidación, aunque puede ser transportado si existe Cl o Br. (Maksaev, 2001).

2.2.7 IMPORTANCIA DE LA PIRITA EN PROCESOS SUPÉRGENOS

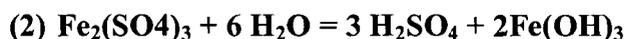
El ácido sulfúrico generado por la oxidación de la pirita contribuye a la descomposición de otros sulfuros hipógenos, hidrólisis de minerales silicatados (alteración supérgena) y a formar sulfatos solubles de algunos metales como el cobre. Stokes (1907) demostró experimentalmente cómo la reacción entre iones Cu y la pirita puede resultar en enriquecimiento secundario. (Maksaev, 2001).

2.2.8 ECUACIÓN DE STOKES



2.2.9 PROCESOS DE FORMACIÓN MINERAL EN LA ZONA DE OXIDACIÓN Y LIXIVIACIÓN

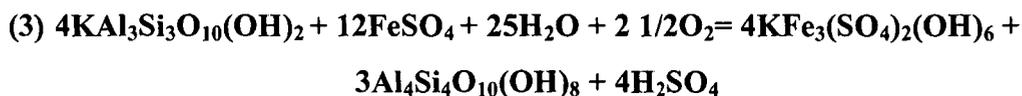
La oxidación de pirita produce especies de hierro disuelto y ácido. Los minerales formados de la oxidación de la pirita son residuales y reemplazados principalmente en función de condiciones redox y pH, lo que se controla por la cantidad de pirita original presente y la reactividad de las rocas huésped. Los principales productos minerales son hematitas (Fe_2O_3) y/o goetita ($2\text{Fe}(\text{OH})_3$), la formación de lo que se muestra en las ecuaciones (1) y (2).



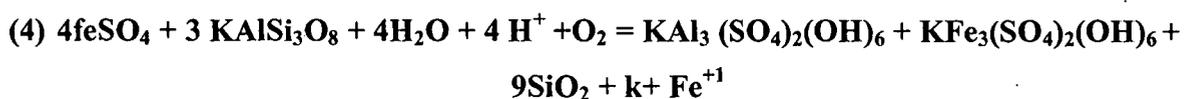
Estas reacciones sugieren que la goetita es un producto de la hidratación, una conclusión que es apoyada por las relaciones del afloramiento. Los sulfatos de hierro como coquimbita y copiapita, puede ser estable en regiones muy áridas, pero ellos no están reportados en las zonas de oxidación y enriquecimiento de los depósitos del sudoeste americano.

Los ácidos formados de la precipitación de hematita y goetita reaccionan con rocas huésped silicato-potásico-aluminicas para producir alunita y jarosita ($2\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$). Estas reacciones se mejoran por el ambiente ácido producido por la abundante pirita y sufre oxidación

(ecuación 3). La alunita y caolinita ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), como se muestra en la parte inferior se produce en un ambiente ácido estable.

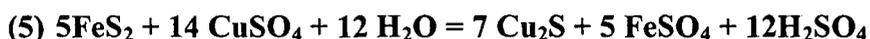


La alteración ácida de feldespato en la cual el aluminio y SO_4 se conserva los resultados en una combinación de alunita y jarosita se muestra en la ecuación (4). La alunita analizada de Silver Bell y de algún otro lugar tiene un tono verde pálido opaco a amarillo, y el análisis de XRD revela mucho que sea muestras de jarosita, alunita, y sílica consistente con las reacciones mostradas en este debate. (Titley and Marozas, 1993).



2.2.9.1 PROCESOS Y PRODUCTOS EN LA ZONA DE ENRIQUECIMIENTO

El cobre movilizado durante la oxidación de pirita y calcopirita se mueve a lo largo de la zona de oxidación usualmente, a un nivel horizontal de condiciones redox de contraste (generalmente nivel freático), donde contribuye para la formación de un manto enriquecido. Schwartz (1934) publicó una revisión de minerales de la zona de enriquecimiento, donde la pirita no se somete a la oxidación y el cobre precipita sobre la pirita o en otros sulfuros de cobre hipógenos disponibles. Esta precipitación sigue los principios de sustitución reportados por Schurmann (1888). Una evaluación a un grupo de rocas enriquecidas bajo el microscopio revela que la calcopirita y la bornita son los primeros sulfuros atacados en este proceso de remplazo. La reacción que lógicamente sigue la generación de cobre soluble, es esa de la precipitación de cobre sobre pirita (ecuación 5), la cual es fundamental para el proceso de enriquecimiento de cobre.



Los mantos enriquecidos de calcosina pueden tener dimensiones horizontales extensas (100s a 1000s metros) pero son relativamente delgados (10s de metros). Se puede presumir que el manto es estable hasta que la base del nivel baje ya sea por disminución directa del nivel freático o por levantamiento local o regional. Se resume que los procesos de meteorización y enriquecimiento de la calcosina y los sulfuros primarios subyacentes son una vez más atacados y movidos a una nueva posición de equilibrio. Estos ciclos de re-enriquecimiento resultan en el aumento de la madurez de los mantos de sulfuros enriquecidos, el cobre no se pierde del sistema, así las condiciones de enriquecimiento de cobre ideal ocurre donde los mantos con altos ratios de calcosina: pirita del enriquecimiento anterior disuelve y provee de cobre de la creación de nuevo y más alto grado de mantos enriquecidos a través del reemplazamiento sucesivo de grandes cantidades de sulfuros primarios y calcosina. Estudios de laboratorio por Durek (1964) muestran que la pirita promueve la solubilidad del cobre en los mantos enriquecidos de calcosina por lo que es crítico para el ciclo de re-enriquecimiento. Los efectos de los diferentes ratios de pirita: calcosina en la movilidad de cobre se muestran en la figura 4, donde se pueden ver que una porción más grande de pirita resulta en una mayor solubilidad de calcosina en los mantos enriquecidos. Tunell (1930) y Tunell y Posnjak (1931).

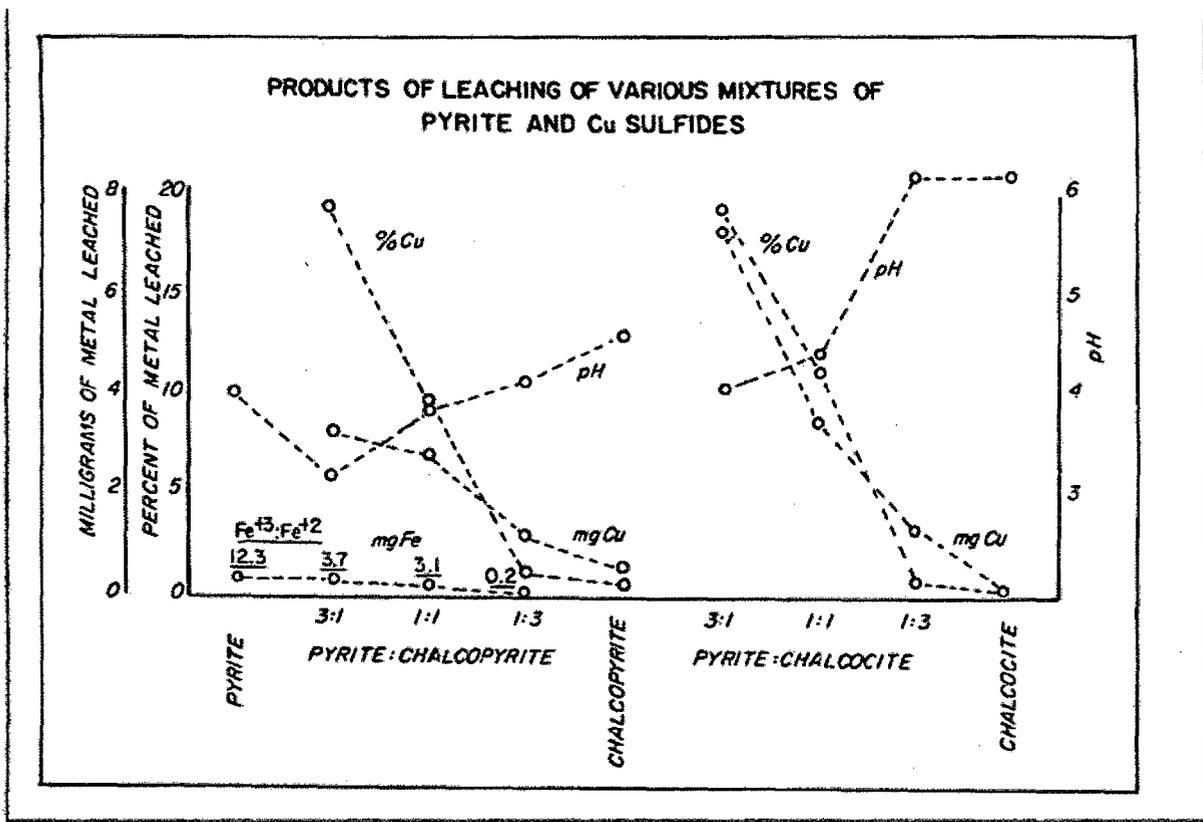


Figura 2: Diagrama de solubilidad del cobre

Fuente: Durek (1964).

Habían notado que los ratios incrementados de pirita: calcosina resultaron en la disolución de calcosina y la producción de suficiente ácido para mantener al hierro moviéndose (ecuación 6); el hierro puede ser precipitado como hematita exótica tras la disolución y neutralización.



Los consiguientes ciclos de enriquecimiento resultan, en una adicional descomposición de calcosina y su disminución de núcleos más pequeños de pirita, resultando en la reducción del ratio de pirita: calcopiritas mostradas en la ecuación (7).



En esta reacción la hematita se fija en la oxidación en lugar de transportarse, dando lugar a la característica textura de relieve boxwork típica de la hematita residual dejada después de la

movilización de mezcla de calcosina-pirita. Uno o dos ratios moleculares de pirita a calcosina provee de la cantidad mínima de pirita necesaria para completar la disolución de calcosina, así el ratio de pirita a calcosina en mantos formados más jóvenes es fundamental para continuar la movilización de cobre y el desarrollo de los mantos enriquecidos completamente maduros. (Titley and Marozas, 1993).

2.2.9.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CICLOS DE ENRIQUECIMIENTO DEL COBRE

La figura .3 es una microfotografía del ciclo de enriquecimiento relativamente inmaduro joven. Esta especie de Ray, Arizona, tiene un ratio de pirita: calcosina, mucho más grande que 2 a 1 y muestra la forma temprana o la etapa inmadura de los procesos de enriquecimiento de sulfuros por el reemplazamiento de pirita a lo largo de los límites de mosaico. (Ver fig. 3).

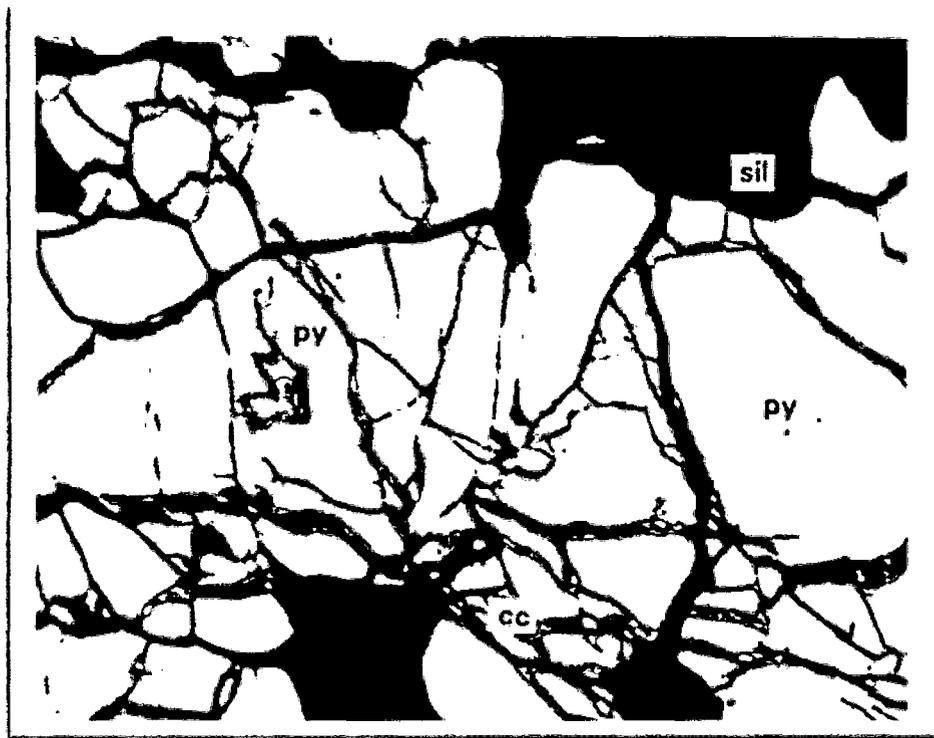


Figura 3: Microfotografía de enriquecimiento temprano de pirita por calcosina, at Ray.Arizona.

La figura 4 es una microfotografía del ciclo de enriquecimiento maduro tardío. En contraste al ciclo de enriquecimiento joven de la figura 3, esta especie muestra orillas de calcosina gruesas

sobre pirita en áreas y en completo reemplazamiento de pirita y otros. (Titley and Marozas (1993). Processes and products of supergene copper enrichment.), (Ver fig.4).

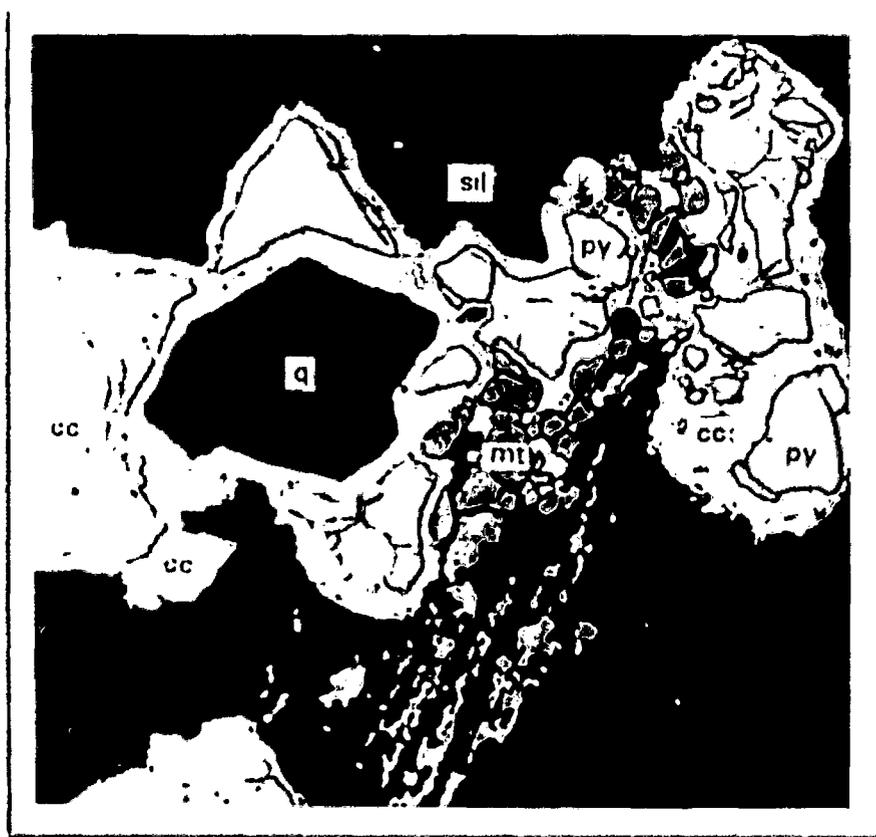


Figura 4: Microfotografía de calcosina en reemplazamiento avanzado en pirita.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. MINERAGRAFÍA

Estudio de los minerales opacos por medio del microscopio utilizando la luz reflejada.

2.3.2. VETA O FILÓN

Estructura paralelepípeda, generalmente mineralizada, presenta una potencia, un largo y una profundidad. Las vetas mineralizadas constituyen yacimientos de rendimiento económico. Las vetas son generalmente el producto del relleno de fracturas o fallas por procesos hidrotermales. Se clasifican en: monometálicas, bimetálicas y polimetálicas.

2.3.3. ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO

Enriquecimiento de una parte del yacimiento a expensas de las partes superiores o aledañas.
Enriquecimiento supérgeno

2.3.4. HIPÓGENO

Término relacionado a la zona de mineralización que se halla por debajo de la zona de oxidación o enriquecimiento supérgeno, contienen mineral primario o que no ha sido alterado por la oxidación, formado por soluciones ascendentes (hidrotermales).

2.3.5. ZONAMIENTO

Patrón regular de distribución de los minerales o de modelos de fábrica, en zonas, en la corteza terrestre, pudiendo tratarse de un yacimiento mineral específico. Los depósitos minerales hidrotermales, generalmente, se encuentran zoneados en un arreglo concéntrico alrededor de una masa ígnea. Los minerales de alta temperatura (hipotermales) se han formado cerca de la roca ígnea y los de baja temperatura (epitermales) alejados de la masa ígnea. El zonamiento mineral de un cristal es el resultado de una distribución no uniforme de los cationes de la estructura atómica. En la mayoría de los casos el arreglo ocurre concéntricamente alrededor de un punto o eje, en el espacio.

2.3.6. PARAGÉNESIS

Asociación de minerales cristalizados en equilibrio en el seno de una roca o de un proceso de mineralización, en el tiempo.

2.3.7. ASOCIACIÓN MINERALÓGICA

Grupo de minerales que se encuentran juntos en una roca, por afinidad mineralógica o por pertenecer a una misma facies.

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

3.1.1 Ubicación

3.1.1.1 Políticamente

El Cerro La Chilca se encuentra ubicado, en el caserío de San José-Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca.

3.1.1.2 Geográficamente

El Cerro La Chilca geográficamente, se encuentra ubicado en la provincia de Cajabamba, que se encuentra situada al sur del departamento de Cajamarca, en la sierra septentrional del Perú. Cajabamba está ubicada 124 Km. Al sur de Cajamarca y 60 Km. Al norte Huamachuco, está a 2650 metros sobre el nivel del mar. Entre los paralelos $7^{\circ} 7' 30''$ y $7^{\circ} 35' 10''$ de latitud sur; entre los meridianos $77^{\circ} 42' 35''$ y $78^{\circ} 31' 20''$ longitud oeste, y una extensión de 2, 0225.15 Km².

Tabla 1. Coordenadas de la zona de trabajo.

VÉRTICE	COORDENADAS UTM (WGS 84)	
	NORTE	ESTE
1	9158100	806300
2	9158900	806300
3	9158900	804900
4	9158100	804900

3.1.2 Accesibilidad

Para acceder al Cerro La Chilca, se toma la carretera asfaltada de Cajamarca a Cajabamba, hasta el desvío a Tabacal en el distrito de Condebamba, luego se sigue por la trocha carrozable hasta el Cerro La Chilca, todo el recorrido se hace en 4 horas aproximadamente, en camioneta.

Tabla 2. Accesibilidad al Cerro La Chilca.

Origen	Destino	Distancia	Tipo de acceso	Tiempo
Cajamarca	Desvío a Tabacal	95 Km.	Carretera asfaltada	2 h.
Desvío a Tabacal	Cerro La Chilca	36 Km.	Trocha carrozable	2 h.

3.2 Geología Distrital

El cretáceo inferior, comprendiendo el Neocomiano, el Aptiano y hasta el Cenomaniano, en la Cordillera Occidental como en la Región Subandina y en el Llano Amazónico, consiste de una serie clástica arenoarcillosa con intercalaciones calcáreas.

En la parte norte y centro de la Cordillera Occidental del Cretácico inferior está representado por sedimentos arenosos de facies mayormente marinas del Grupo Goyllarisquizga. Al este, hacia la Cordillera Oriental al Cretácico inferior comprende, una serie deltaica casi continental que yace sobre el Grupo Pucará (Jurásico superior).

En la Cordillera Occidental, el Grupo Goyllarisquizga yace sobre la formación Chicama, e infrayace a las calizas albianas de la Formación Inca del departamento de Cajamarca y a la formación Pariahuanca del Callejón de Huaylas del Perú central.

Carta Geológica Nacional (1995).

Figura 5: Columna estratigráfica distrital.

ERA	PERIODO	ÉPOCA	FORMACIÓN		ESPESOR (m)	COLUMNA
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	ALUVIALES, FLUVIALES			
		PLEISTOCENO	CONDEBAMBA		50	
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	GRUPO CRISNEJAS	PARIATAMBO	>200	
				CHÚLEC	400-500	
			INCA		100-200	
		INFERIOR	GRUPO GOYLLARISQUIZGA	FARRAT	500-700	
				CARMUAZ	300-500	
				SANTA	50-200	
				CHIMÚ	500-700	

Fuente: Sánchez (2012).

Figura 6: Columna estratigráfica de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	Grosor (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. fluviales y eoliales			Arenas, gravas. Limos, arcillas.	
		PLEISTOCENO	Dep. lagunares y glaciares				
			Formación Condebarba	150		Conglomerados, areniscas y arcillas rojas.	
	NEOGENO	PLIOCENO	Formación Cajabamba	200		Lutitas, lodolitas, areniscas finas blanco amarillentas.	
			Formación Berbamerca	300		Tobas dacíticas y traquiandesíticas blanquecinas. Disc. arg.	
		MIOCENO	Sup.				Tobas blanco amarillentas intercaladas con areniscas. rojizas, aglomerados y proclastos.
			Inf.				Dacita
	PALEOGENO	OLIGOCENO	Grupo Calipuy	Formación Porculla	2100		Intercalación de derrames andesíticos, tobas blanquecinas. areniscas tobáceas y conglomerados lenticulares.
							Diorita
							Tobas blanquecinas intercaladas con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas.
EOCENO		Formación Llana	600		Derrames y brechas andesíticas.		
PALEOCENO		Formación Chota	500		Disc. arg. Conglomerados con cantos de cuarcita.		
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Formación Celendín	200		Conglomerados con cantos de calizas y areniscas rojizas	
			Formación Cajamarca	600-700		Calizas, margas y lutitas gris amarillentas.	
			Grupo Quisquán	500		Calizas gris azuladas, macizas, con delgadas intercalaciones de lutitas y margas.	
			Grupo Pucallana	700		Calizas nodulares macizas, margas y lutitas pardo-amarillentas fosilíferas.	
						Calizas gris parduscas, fosilíferas, margas y escasos niveles de lutitas.	
		INFERIOR	Formación Paratambo	150-200		Lutitas grises o negras, calizas bituminosas nodulares.	
			Formación Chútec	200-250		Calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas.	
			Formación Inca	150		Areniscas calcáreas y limolitas ferruginosas.	
			Grupo Goyllariquiza			Cuarzitas y areniscas blancas.	
			Formación Farat	500		Areniscas rojizas y cuarzitas blancas intercaladas con lutitas grises.	
	JURASICO	SUPERIOR	Formación Carhuáz	500		Lutitas grises y calizas margosas.	
			Formación Santa	150-100		Areniscas, cuarzitas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior, principalmente cuarzitas en la parte superior.	
			Formación Chimú	80-600		Lutitas negras, laminares y deleznales, con intercalaciones de areniscas grises y horizontes arcillosos.	
	TRIASICO	SUPERIOR	Formación Chicama	500		Disc. arg.	
			Formación Oyotún	500		Tobas, brechas y derrames andesíticos.	
PALEOZOICO SUP.	PERMIANO	SUPERIOR	Grupo Pucará	700-800		Tonalita/granodiorita	
			Grupo Mito	300		Calizas gris azuladas, macizas con nódulos silíceos. Disc. arg.	
PALEOZOICO INF.	ORDOVICIANO		Formación Salas	?		Areniscas, limolitas y conglomerados rojizos. Disc. arg.	
			Formación Salas	?		Filitas pelíticas y tobáceas de colores marrones y negruzcos con algunas cuarzitas hacia la parte superior. Disc. arg.	
PROTEROZOICO			Complejo Olmos	?		Esquistos gris verdosos y anfíbolitas.	

Fuente: Ingemmet (2007).

3.2.1 FORMACIÓN CHICAMA

Esta denominación fue dada por STAPPENBECK (1929), a un conjunto litológico que aflora en la parte baja del valle de Chicama, situado al oeste del área del presente trabajo en la que existe una secuencia con ligeras variantes, como la que se expone, cerca al puentes del río Crisnejas donde superficialmente sufre un cambio de coloración.

En la mayoría de los afloramientos del valle de Condebamba se nota predominancia de lutitas negras laminares, deleznales, con delgadas intercalaciones de areniscas grises. Contienen abundantes nódulos negros, piritosos, algunas veces con fósiles algo piritizados. Es común observar manchas blancas amarillentas por eflorescencia de alumbre.

En los alrededores del puentes del río Crisnejas, la formación Chicama presenta, por intemperismo, una coloración rosada, por lo que fácilmente puede confundirse con la formación Carhuaz; en este sector los sedimentos arenosos de coloración rojiza han aumentado, y los estratos lutáceos ofrecen colores claros, ligeramente marrones. Numerosos sills andesíticos gris verdosos con más de un kilómetro de longitud, se exponen en algunos lugares y finalmente venillas de yeso entrecruzan a los estratos de esta formación.

Ocasionalmente, las lutitas oscuras con intercalaciones de areniscas pardas tienen horizontes arcillosos ricos en alúmina, por lo que son explotadas como material para la industria de la cerámica.

Las rocas de la formación Chicama dan suelos negruzcos y blandos, debido a la cantidad de material limo-arcilloso, favoreciendo el desarrollo de una topografía suave.

Como en otras partes, en el área estudiada, no se ha visto la base de la formación Chicama, se supone que descansa discordantemente sobre las calizas del Grupo Pucará u otras formaciones. Su contacto superior es generalmente de aparente conformidad con la formación Chimú, siendo más probable una discordancia paralela.

Por el sector oriental, el intenso disturbamiento sufrido por estas rocas dificulta la exacta estimación de sus grosores; sin embargo, en el sector occidental, los estratos están menos deformados, excepto se presentan algunas intrusiones pequeñas y medianas que distorsionan los estratos, a pesar de lo cual puede estimarse un grosor de 800 a 1000 m.

La presencia de esta formación señala un límite oriental de deposición a pesar de que su facies de bordura rara vez se observa, porque generalmente los continuos sobreescurrecimientos la cubren, o sencillamente por efectos de la erosión. Las porciones que afloran son netamente sedimentos de cuenca marina.

La litología y el alto contenido de pirita en los sedimentos de la formación Chicama, sugieren que el material se depositó en una cuenca anaeróbica, donde prevalecía un ambiente de reducción. Los sectores donde la formación muestra una coloración rojiza con mayor contenido de areniscas, pueden representar el borde de esta cuenca, ya que se tiene la seguridad de que los sedimentos titonianos no se depositaron hacia el este del flanco occidental del Geoanticlinal del Marañón. Por la tal razón, los sobreescurrecimientos son menos intensos a medida que se avanza hacia el este del supuesto límite oriental. Es de anotar que el límite de la cuenca marcha paralelo a la gran curvatura que forman las estructuras a la altura de San Marcos, Matara, Namora, San Juan, Magdalena y Valle del Jequetepeque (Cajamarca), pasando de una dirección SE-NO a E-O.

3.2.1.1 EDAD Y CORRELACIÓN

En la zona del Valle de Chicama se han encontrado algunas especies de amonites (Berriasella y Aspidoceras) pertenecientes al Titoniano, lo mismo que en uno de los afluentes del río Negro, en el valle de Condebamba.

La Formación Chicama es correlacionable con las formaciones Oyón de la zona de Canta, Puente Piedra de la zona de Lima, y con la parte inferior del Grupo Yura de Arequipa.

3.2.2 GRUPO GOYLLARISQUIZGA

Este grupo en su facies de plataforma ha sido estudiado bajo la denominación de Grupo Goyllarisquizga y en su facies de cuenca ha sido diferenciando en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. En el primer caso, sus afloramientos están limitados al sector noreste del cuadrángulo de San Marcos, pero se sabe que se extiende ampliamente por la región. Inicialmente fue determinada como formación por MC.LAUGHLIN (1925).

En el área estudiada, aflora al sur de Celendín, hacia Oxamarca, en contacto anormal sobre calizas del Cretáceo superior. Su verdadera posición se observa a unos cientos de metros más al este, donde comienza el cañón del valle del Marañón, allí suprayace, con suave discordancia, a las calizas del Grupo Pucará e infrayace a la Formación Crisnejas del Albiano, aparentemente concordante, pudiendo ser en discordancia paralela en otros lugares.

Litológicamente consiste en cuarcitas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior. Su grosor oscila entre los 200 y 500m., con tendencia a adelgazarse hacia el oeste.

3.2.2.1 EDAD Y CORRELACIÓN

La ausencia de fósiles en este grupo, no permite determinar su edad con precisión, pero sus relaciones estratigráficas son las mismas a las encontradas en las regiones vecinas y los Andes Centrales del Perú, por lo que se le asigna al Neocomiano-Aptiano.

3.2.3 FORMACIÓN CHIMÚ

La Formación Chimú, designada con este nombre por BENAVIDES (1956), aflora yaciendo mayormente en forma concordante, sobre la formación Chicama, (lo más probable es que exista una discordancia paralela) e infrayaciendo con igual carácter a la Formación Santa.

La secuencia se extiende ampliamente en el área y fuera de ella, alcanzando ámbitos regionales. Sus afloramientos se destacan nítidamente en la topografía por su dureza y estructuras, originando farallones. Estructuralmente, esta formación funcionó como roca competente, dando perfectos anticlinales y sinclinales y quedando como rezagos de ellos las estructuras del norte de la hacienda Sunchubamba hasta el sur de Contumazá y San Benito, así como las de Sanagorán, Mallucayan, etc.

Litológicamente, la Formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y de una potente de secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano medio a grueso, con ocasionales lentes de granos de cuarzo poco redondeados. Tiene un grosor aproximadamente superior a los 600m.

En las areniscas, se observa estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada y ripple marks. En el sector NO de la hoja de Cajamarca, la Formación Chimú, experimenta en corta distancia cambios bruscos de grosores, pasando de cientos de metros a 80m., lo que nos sugiere la existencia de diferencias notorias en la profundidad de la cuenca. En el corte de la carretera que conduce a San Benito, Algarrobal y Cascas se observan buenas exposiciones con las variaciones indicadas. Se asume que las formaciones Chimú y Santa se adelgazan gradualmente hacia el oeste como se observa en el corte de la carretera Pacasmayo-Tembladera y en la zona Algarrobal-San Benito.

Es frecuente encontrar en los niveles inferiores e intermedios de la Formación Chimú mantos de carbón, como en Callacullán y Yanahuanca, al este de Quiruvilca; generalmente se presentan uno o dos mantos, como lo que se encuentran al norte y oeste del cerro Huaylillas, al sur de Huamachuco; el de San Marcos y Sondor, en el cerro Shogo a noreste de la hacienda Jocos; el de

baños Yumagual y los de la zona de Coína, Usquil, Chuquizongo y Huaranchal los cuales pertenecen a la cuenca carbonera del Alto Chicama.

Al noroeste del pueblo de San Marcos, el Grupo Goyllarisquizga exhibe una estructura difícil, definida como un anticlinal recostado hacia el NE habiéndose encontrado en el flanco invertido tres ejemplos de estratificación cruzada los que se usaron como criterio de polaridad.

3.2.3.1 EDAD Y CORRELACIÓN

Por sus relaciones estratigráficas se ubica a la Formación Chimú en el Valanginiano inferior a medio, pues, yace sobre la Formación Chicama del Titoniano e infrayace a la Formación Santa del Valanginiano superior. Se correlaciona con las cuarcitas de la Formación Hualhuani (parte superior del Grupo Yura) de la región de Arequipa y con la parte inferior de la Formación Llacanora. TAFUR (1950).

3.2.4 FORMACIÓN SANTA

Esta denominación fue dada por BENAVIDES (1956), en el área consiste en una intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150m. Sobreyace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos.

El cambio de facies es notable según los lugares; así, mientras en la zona de Huamachuco, Cajamarca y Coína la proporción calcárea es predominante; en la zona de Cajamarca, Cascas y San Benito solamente hay lutitas y areniscas grises, fenómeno que se interpreta como relacionado a la formación de la cuenca.

Indudablemente, hacia el borde de la cuenca sus cambios de facies son gradacionales ya que el material calcáreo lateralmente pasa a pelítico.

La Formación Santa intertemperiza generalmente con un tono gris marrón, localmente contiene nódulos calcáreos y como sus afloramientos topográficamente conforman depresiones; están cubiertos mayormente por suelo, razón por la que sólo son observables en los cortes de quebradas y carreteras. Siempre dá terrenos blancos, deleznales y fangosos. Ocasionalmente tiene horizontes fosilíferos.

3.2.4.1 EDAD Y CORRELACIÓN

En la Formación Santa se ha encontrado las especies *Paraglauconia Strombiformis*, en la bajada de la carretera, en la laguna Sausacocha-El Pallar, hacienda Jocos y en la subida del puente crisnejas Ichocán. También se han hallado lamelibranquios y gasterópodos en el estrechamiento del río Llacanora, entre el pueblo del mismo nombre y los Baños del Inca. Cerca de tambores se encontraron *Nucula* sp y *Protocardia* sp, pero ninguno de los fósiles mencionados son diagnósticos como para precisar una edad determinada. Sin embargo, a la formación Santa puede asignársele al Valanginiano en base a que en otros lugares; en la sección superior se han encontrado *Dobrodgeiceras broggianum* (LISSON) del Valanginiano superior. BENAVIDES (1956).

La Formación Santa se extiende hacia el sur del área; zona del Callejón de Huaylas, Pomabamba y Sihuas, donde se encuentra con las mismas relaciones estratigráficas, a pesar que su litología varía en el contenido calcáreo y lutáceo, siendo correlacionable, en parte, con el sector inferior de la Formación Llacanora.

REYES (1980).

3.2.5 FORMACIÓN CARHUAZ

Esta formación descrita inicialmente por BENAVIDES (1956), en el área tiene aproximadamente un grosor de 500m., con incremento hacia el sur y disminución hacia el noreste.

Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo). Hacia la parte

superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. Solamente en la bajada de la hacienda Jocos (Cajamarca) se ha observado por vez primera, delgados lechos carbonosos en esta formación.

La Formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace, concordantemente, a la formación Farrat.

3.2.5.1 EDAD Y CORRELACIÓN

Probablemente las edades Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano corresponden a esta formación, ya que encima se encuentra la Formación Farrat que a su vez infrayace a sedimentos del Aptiano-Albiano; es equivalente con la parte intermedia de la Formación Llacanora. REYES (1980).

3.2.6 FORMACIÓN FARRAT

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500m. Aumentando en el sector suroeste. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.

La Formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares, de tratarse de un paso gradual.

Por su similitud litológica con la Formación Chimú es fácil confundirlas, siendo necesario en el campo, establecer muy bien sus relaciones estratigráficas para diferenciarlas, aunque en algunos casos solamente por la falta de mantos de carbón es posible diferenciarla de la formación Chimú.

Por su características litológicas, es común encontrar a las formaciones Farrat y Chimú conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas, observables por las zonas de Contumazá,

Asunción, Cospan, hacienda Chuquizongo, Callacullán, Algamarca, ruinas de Marcahuamachuco, Tamboras y al sur de Huamachuco.

A lo largo de la carretera Coína- hacienda Huacamochal, después de pasar el desvío de la hacienda Chuquizongo, se ha encontrado en la Formación Farrat magníficas impresiones o huellas de pisadas de saurios, circulares y dirigidas perpendicularmente a los ripple marks. Aproximadamente a 15m. De dichas huellas existen otras pisadas donde se notan tres uñas de 20cm. Por 4cm. Con una distancia de 0.85m. Entre un paso y otro, a excepción del primero que es de 0.50m. Al igual que en el primer caso, las trazas de estas huellas son perpendiculares a la dirección de los ripple marks. También se ha encontrado impresiones de tres uñas en otros estratos dispuestos indistintamente. Cuando se hallaron estas huellas, se estaba haciendo el ensanchamiento de la carretera hacia la hacienda Huacamochal.

3.2.6.1 EDAD Y CORRELACIÓN

En el corte de la carretera Cajamarca-San Juan, a la altura del cerro Ventanilla, la parte inferior de la Formación Farrat contiene impresiones de plantas regularmente conservadas correspondientes a *Weichselia peruviana* ZEILLER, *Scleropteris c. S. ellensis* SALF y restos de tallos indeterminados, pero asignables al Cretáceo inferior. Por otra parte, la formación Farrat infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano, por lo que se le asigna una edad Aptiana.

La Formación Farrat se extiende con el mismo nombre hacia el norte del Perú, y a las regiones de Sihuas, Pomabamba, etc. Al sur. Se correlaciona con la parte superior de la formación Llacanora. REYES (1980).

3.2.7 FORMACIÓN INCA

Esta formación, inicialmente llamada “Capas Rojas” del Barremiano por TAFUR (1950), fue posteriormente definida por BENAVIDES (1956) como Formación Inca, refiriéndose a los afloramientos al este de los Baños del Inca en Cajamarca.

Infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la Formación Farrat, con un aparente paso transicional. En varios lugares, se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcita, dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza, pero en el resto del área, el color predominante es amarillo-anaranjado, con evidente acción de limonitización. Su grosor no pasa de los 100m.

Esta formación representa a la cuenca occidental, caracterizada entonces por un mar de poca profundidad con corrientes turbulentas y bien oxigenadas.

3.2.7.1 EDAD Y CORRELACIÓN

En esta unidad es común encontrar estratos con numerosos pelecípedos entre los cuales abundan: Cucullaea, Pterotrigonia, algunos equinodermos (Enallaster), escasos cefalópodos y Parahoplites nicholsoni. En la parte superior aparece Douvilleiceras que representa la base de la Formación Chúlec.

Por la presencia de Parahoplites, BENAVIDES (1956) asigno para la Formación Inca una edad Albiano inferior, pero teniendo en cuenta que éstos presentan sus costillas con poco abultamiento en el lado umbilical, respecto a los parahoplites albianos que los tienen más desarrollados (Hypacanthoplites), la edad de la Formación Inca se encuentra entre el Aptiano superior y Albiano inferior, máximo si se tiene en cuenta que en algunos lugares ella se presenta como un paso transicional de la Formación Farrat. REYES (1980).

3.2.8 DACITAS Y ANDESITAS PORFIRÍTICAS

Las intrusiones dacíticas y andesíticas porfiríticas, constituyen cuerpos de menores dimensiones, habiéndose emplazado generalmente a lo largo del rumbo del plegamiento y estratificación. Se presentan como cuerpos alargados, consistiendo muchas veces de sills o diques.

Los principales cuerpos de dacitas y andesitas porfiríticas están representados por los stocks de Michiquillay, Calconga, Minas Aurora, Patricia, Cerros Magante, Shichahuanga y Yanahuaca, al norte de Quiruvilca; a los que hay que agregar la intrusión del Cerro Chapa, las del anticlinal de Algamarca (Minas Algamarca), cerro Blanco (Minas Sayapullo), Guzmango y a los sills y diques como los del Observatorio Meteorológico de Kanzel (hacienda Sunchubamba), de los baños termales de la Grama ubicados al este del cerro Huaylillas y el de Callacullán (Quiruvilca).

Las dacitas porfiríticas son gris claras, tienen textura porfirítica y matriz microcristalina. Sus minerales esenciales están constituidos por cuarzo y plagioclasas (andesina) microfracturadas, macladas, zonadas y parcialmente alteradas. Los fenocristales de cuarzo presentan bordes irregulares. Los minerales accesorios están representados por hornblenda, sanidina, biotita, apatita, zircón y opacos.

En muchos lugares, la roca ha sufrido procesos de alteración hidrotermal, manifestada por carbonatación, sericitización, cloritización y epidotización.

Las andesitas porfiríticas tienen un color gris claro, en parte faneríticas y de aspecto masivo. Presentan como minerales esenciales plagioclasas y hornblenda, las primeras en forma subhedral y anhedral, parcialmente alteradas y microfracturadas. Entre los minerales accesorios se presentan; biotita, cuarzo, apatita, magnetita y pirita. Como minerales de alteración, se tiene: sericita, clorita, epidota y limonita.

Al igual que las dacitas, las andesitas están relacionadas con la mineralización de la región y mayormente afloran en las vecindades de los centros mineros; se supone que muchos de estos stocks fueron cuellos o chimeneas, por donde emergió el material volcánico, correspondiente a los niveles superiores, en gran parte erosionados del Grupo Calipuy. REYES (1980).

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, Cajabamba y alrededores, se encuentran evidencias de cuatro etapas de deformación que se iniciaron en el Cretácico tardío y que continúan durante el cenozoico, todos ellos correspondientes a los movimientos del Ciclo Andino, estas fases de deformación están evidenciadas por discordancias, pliegues y demás estructuras, materializadas en zona de deformación (fajas o provincias estructurales).

Regionalmente, todo parece indicar que los movimientos tectónicos, en algunos sectores han sido de mayor intensidad que en otros. Es así que las ondulaciones suaves de algunos niveles estratigráficos pasan hacer estructuras principales. REYES (1980).

3.3.1 PROVINCIAS DE PLIEGUES Y SOBRESCURRIMIENTOS

Esta provincia estructural se caracteriza por tener un amplio desarrollo dentro de la cuenca Jurásico-Cretácico, conteniendo pliegues alargados y algo estrechos, que varían en forma y tamaño según la naturaleza de los niveles estratigráficos, abarcan todo el cuadrángulo de Cajamarca y un 70% de los sectores occidentales de los cuadrángulo de San Marcos y Cajabamba.

Hacia el sector oriental, las zonas plegadas de la cuenca se transforman en grandes sobreescurrecimientos que siguen fajas plegadas y paralelas, prolongándose fuera del área por decenas de kilómetros. En este sector, los pliegues alcanzan hasta 70 y 80 Km. De longitud, con anchos promedios de 4-5 Km., notándose una buena competencia en las cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga, especialmente las de Chimú que, en la mayoría de los casos, representa los núcleos de los grandes anticlinales, (Algamarca, Yanahuanca, Suyupampa, Sanagorán, Sunchubamba, Magdalena, etc.). De igual forma, las areniscas cuarzosas de la Formación Farrat han jugado un papel importante en forma, tamaño y estilo de los pliegues, que en su mayoría son concéntricos en contraposición a las Formaciones Chicama, Santa, Carhuaz y del Albiano que en general se comportaron disarmónicamente con pliegues más pequeños y desordenados. Los

flancos de los pliegues que corresponden a las Formaciones Farrat y Chimú, al erosionarse sus charnelas, conforman largas filas de paredes escarpadas y cumbres agudas.

Los sobreescurrecimientos están ligados a efectos de despegue en los niveles inferiores de la formación Chicama, al parecer sin comprometer al basamento. A medida que se aleja de los límites de la cuenca Titoniano, los sobreescurrecimientos se van amortiguando y pasan a ser pliegues normales y sencillos. El buzamiento general de los sobreescurrecimientos oscila entre los 45° a 65° al SO, observable a lo largo del río Crisnejas, cuyo desplazamiento lateral es apreciable, pero de menor magnitud que su prolongación meridional. REYES (1980).

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio, donde se encuentran las vetas, afloran las siguientes formaciones:

3.4.1 FORMACIÓN SANTA (Ki-sa)

Aflora en la parte NE, del área y consta de una intercalación de lutitas grises y calizas margosas.

3.4.2 FORMACIÓN CARHUAZ (Ki-ca)

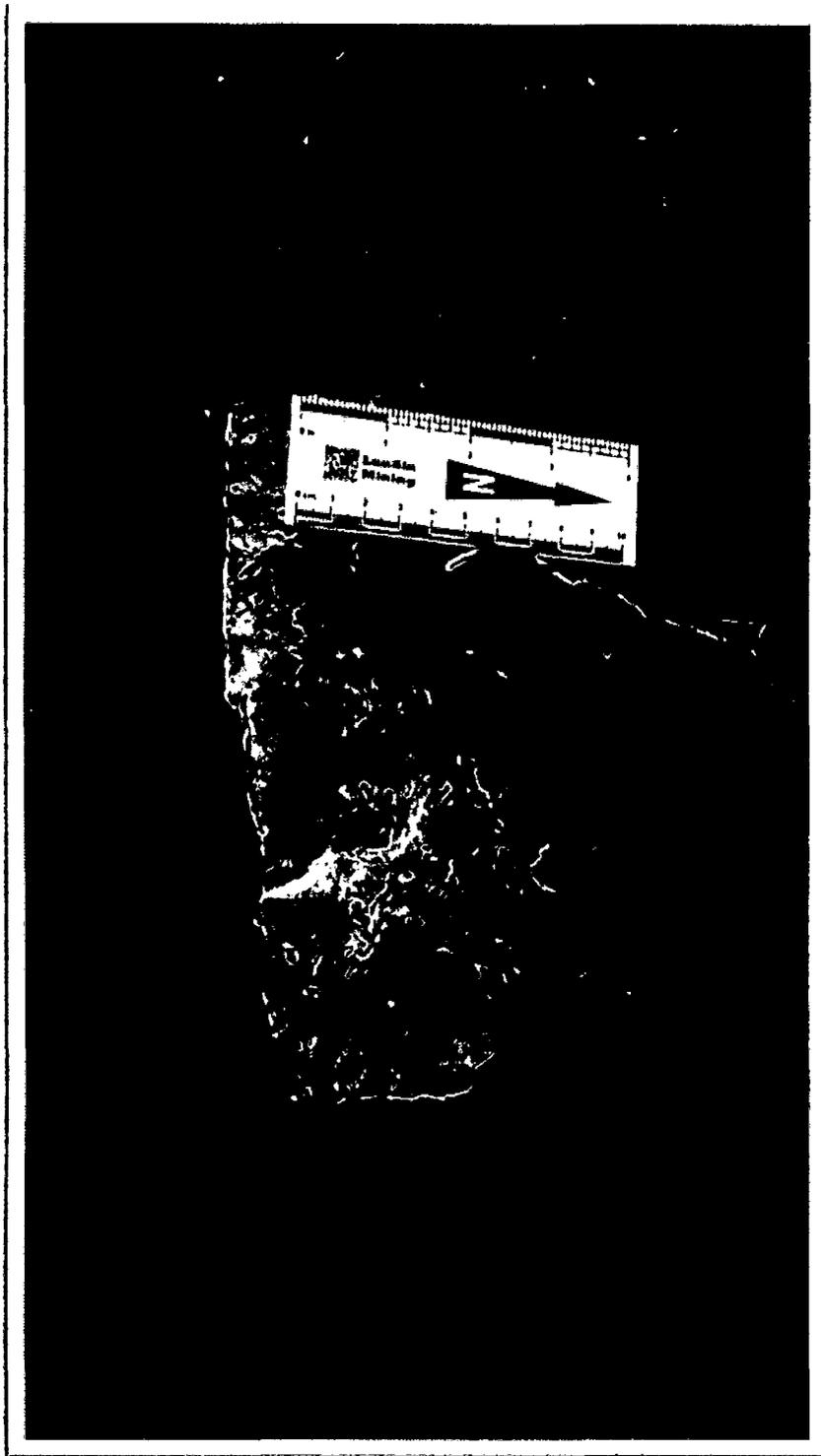
Aflora en la parte SW, del área y consta de una intercalación de lutitas grises y areniscas cuarzosas de grano medio.



**Foto 1: Intercalación de lutitas y areniscas (Fm-Carhuaz), vista al sur
(Ubicación: 9158500N, 804925E)**



**Foto 2: Lutitas grises (Fm-Carhuaz), afectadas por stockwork con óxidos de hierro
(Ubicación: 9158300N, 805210E).**



**Foto 3: Areniscas cuarzosas (Fm-Carhuaz), con presencia de boxwork
(Ubicación: 9158300N, 805210E).**

3.4.3 PÓRFIDO DACÍTICO

Roca de textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasas, feldespatos, máficos (hornblenda-biotita) y ojos de cuarzo, en matriz afanítica félsica. (Plagioclasas 50%, máficos 20%, feldespatos 15-20% y cuarzo 5-10%).



**Foto 4: Pórfido dacítico, observándose ojos de cuarzo
(Ubicación: 9158100N, 805400E).**

3.5 ALTERACIONES HIDROTERMALES

3.5.1 ALTERACIÓN CUARZO-SERICITA (FÍLICA)

Se presenta de manera selectiva a pervasiva, alterando a las plagioclasas y feldespatos del pórfido dacítico, cuyos ensambles son; cuarzo-sericita.



Foto 5: Alteración Fílica (cuarzo - sericita).

3.5.2 ALTERACIÓN ARGÍLICA

Se presenta de manera pervasiva y sobreimpuesta a la alteración cuarzo-sericita, cuyos ensambles son; sericita-caolinita.



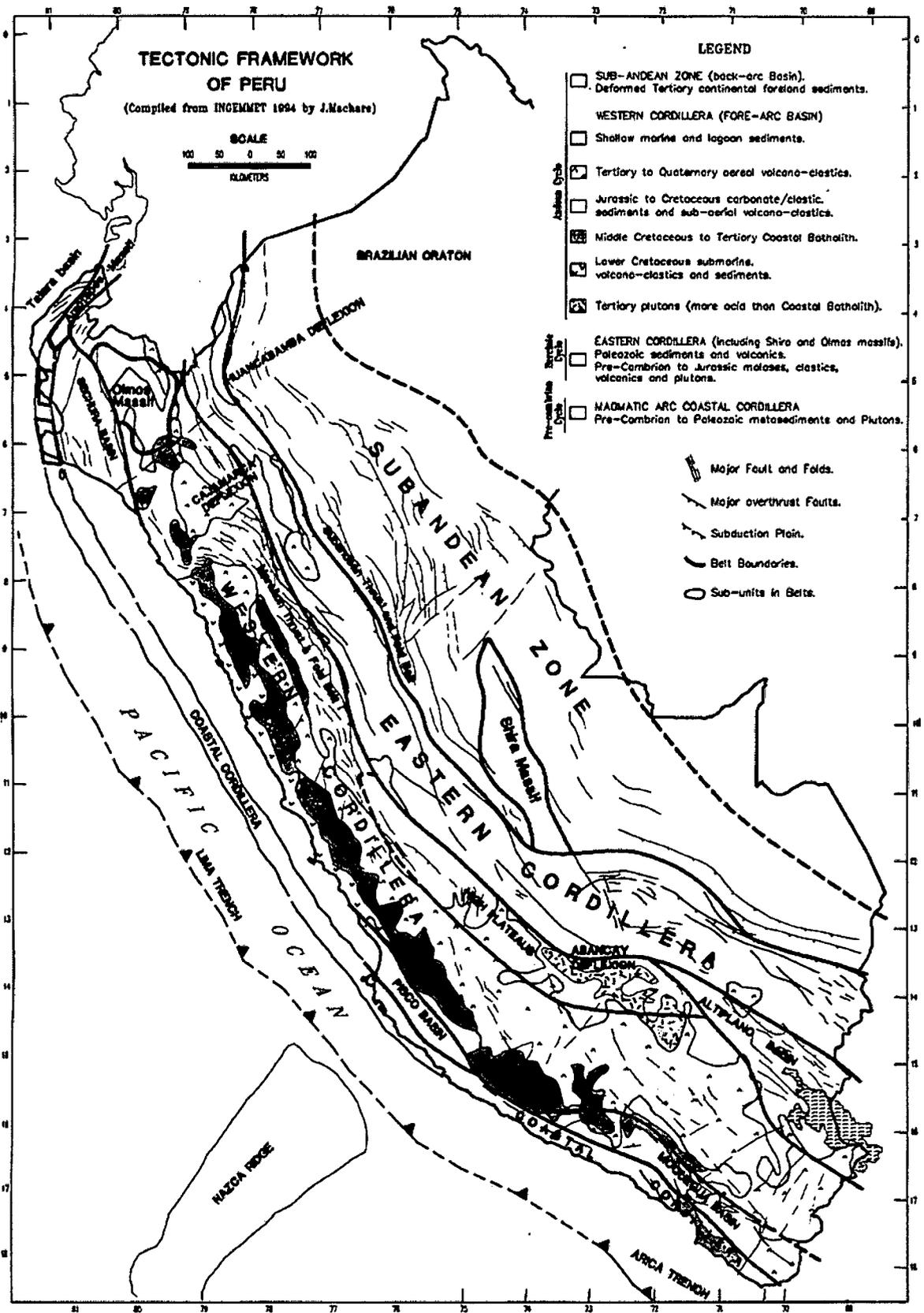
Foto 6: Alteración Argílica (sericita - caolinita).

3.6 CONTEXTO TECTÓNICO

Los Procesos magmáticos y tectónicos están íntimamente relacionados en el tiempo y en el espacio. La tectónica busca comprender los procesos de deformación a gran escala que conducen a la construcción de Orógenos, la tectónica aborda la arquitectura y cinemática de las grandes fallas y las causas impuestas por la tectónica global. El análisis cinemático es el estudio de los movimientos de las partículas de un cuerpo finalmente deformado.

La Cordillera de los Andes se ha formado como consecuencia de tres ciclos geodinámicos mayores:

1. **Ciclo geodinámico del Precámbrico**
2. **Ciclo geodinámico del Paleozoico**
3. **Ciclo geodinámico del Triásico a la fecha**, también conocido como **Ciclo Andino** (U. Petersen 1990). Este ciclo consta de 2 fases:
 - 3.1. **Fase Extensional** (Triásico superior a Cretácico): acá se deposita la secuencia sedimentaria clástica carbonatada en la depresión Peruana Oeste, en un régimen de subducción tipo Mariana (Mégard 1984).
 - 3.2. **Fase Compresional** (Cretácico superior a Holoceno): En el Cenomaniano temprano la subducción tipo Andina ocasiona la emergencia de la Cordillera de los Andes, caracterizado por episodios repetitivos de compresión, consecuente plegamiento - cabalgamientos en las rocas sedimentarias, intenso magmatismo, engrosamiento de la corteza y levantamiento en la región Cajamarca (Megard, Petersen, Benavides, Vidal 1999). Posteriormente la formación de cuencas tras arco.



La Cadena Andina se caracteriza por dos principales cambios de dirección: La deflexión de Huancabamba en el Norte y la de Arica en el Sur. En el Perú la Cadena Andina sufre dos cambios notables: los cuales pasan localmente de la dirección NW a la dirección EW, a estos cambios se le conoce como “Virgaciones” y están representadas por la deflexión de Cajamarca y la deflexión de Abancay. El Distrito minero de Cajamarca está ubicado entre 2700 m a 4400 dentro de la deflexión de Cajamarca y muy cerca de la deflexión de Huancabamba (Megard, 1984).

La emergencia de la Cordillera fue caracterizada por la reaparición de pulsos compresivos y la presencia a lo largo del margen continental de un arco magmático con actividad volcánica y plutónica intensa. Durante esta fase, una secuencia de episodios compresivos: Peruano (Campaniano: 84 – 79 Ma), Incaica I (59 – 55 Ma), Incaica II (43 – 42 Ma), Incaica III (30 – 27 Ma), Incaica IV (22 Ma), Quecha I (17 Ma), Quechua II (8 – 7 Ma), Quechua III (5 – 4 Ma), y Quechua IV (Pleistoceno temprano) formaron los 3 más importantes, consecutivos y cambiantes pliegues y cabalgamientos hacia el Este. Las rocas sedimentarias Cretácicas fueron deformadas durante el Cenozoico por dos episodios orogénicos conocidos como: la Fase Inca y Quechua (Mégard, 1984; Benavides, 1999). La Fase Inca es la más importante y afecta principalmente a los segmentos Norte y Central del Perú, produciendo en la zona axial y borde noreste de la Cordillera Occidental pliegues y sobre-escurrimientos. Los primeros pulsos orogénicos de la fase Inca ocurrieron durante el Paleoceno superior a Eoceno inferior sobre un margen reactivado del escudo Brasileiro (Macfarlane, 1999).

Las rocas ígneas en la región Cajamarca están relacionadas a tres principales episodios magmáticos que intruyen y sobreyacen al basamento Cretácico y metamórfico. El primero de estos eventos ocurre durante el Paleógeno (57 a 35 Ma) y resulta en la deposición de la secuencia volcánica Llama. También el emplazamiento de algunos stocks intrusivos (Noble et al., 1990).

La segunda fase magmática ocurre durante el Mioceno temprano a medio (aprox. 23.2 a 15.8 Ma). El inicio de este periodo magmático coincide con un número de importantes eventos tectónicos que incluyen una rotación en sentido horario de la placa de Nazca, incremento del ratio de convergencia, algunas fases de deformación y un levantamiento en el norte del Perú (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Noble et al., 1990).

Basados en la geofísica y datos geológicos Kono et al., (1989) y James y Sackc (1999) concluyen que la mayoría del espesor cortical Miocénico en la Cordillera Occidental resultó de este intenso magmatismo. Este episodio magmático define el principal periodo de formación de los pórfidos Au-Cu y Cu-Au-Mo. La fase magmática final se identificó cerca de Cajamarca y ocurrió durante el Mioceno tardío (12.3 a 8.4 Ma) y fue caracterizado por una amplio vulcanismo que incorpora el complejo volcánico de Yanacocha, los volcánicos Regalado y Huambos.

PERIODO			LITHOLOGY OF THE CAJAMARCA REGION	FORMATION OF MINERAL DEPOSITS	ANDEAN OROGENIC EVENTS	CONVERGENCE RATES	DIRECTION OF CONVERGENCE			
Ma	TERTIARY	PLIOCENE				HIGH CONVERGENCE	E-NE DIRECTED COMPRESSION 			
		MIOCENE	V V IV V	YANACOCCHA HIGH-SULPHIDATION Au	QUECHUA II					
			V V V	EL GALENO Cu-Mo-Au	QUECHUA I					
			+ +	MICHIGUILLAY Cu-Au-Mo						
			+ STOCKS	MINAS CONGA Au-Cu	INCAIC IV					
		OLIGOCENE						INCAIC III	LOW CONVERGENCE	CLOCKWISE ROTATION OF THE NAZCA PLATE NE-E DIRECTED COMPRESSION 
			GABBROIC DYKES							
								INCAIC II	HIGH CONVERGENCE	CLOCKWISE ROTATION OF THE FARALLON PLATE
		EOCENE	X LAMA-CALPUY VOLCANIC SEQUENCE & X INTRUSIVE STOCKS X						LOW CONVERGENCE	N-NE DIRECTED COMPRESSION
		PALEOCENE						INCAIC I		
CRETACEOUS		CRETACEOUS SEDIMENTARY ROCKS			PERUVIAN					
2.5										
7.5										
55										
65										

Figura 8: Marco tectónico de los Andes Peruanos del norte y el distrito de Cajamarca. Turner (1997).

3.7 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método aplicado para desarrollar la presente tesis, es el método científico, ya que utilizaremos un conjunto de procedimientos lógicos, que sigue la investigación para descubrir las relaciones internas y externas de los procesos de la realidad natural.

3.8 ESTRUCTURA DEL MÉTODO CIENTÍFICO

Cuando se analiza un determinado fenómeno (minerales presentes en la zona de óxidos y zona de transición), se procede sistemáticamente, siguiendo una serie de etapas establecidas en sus pasos fundamentales. Esta secuencia constituye el denominado **método científico**, que se estructura de:

3.8.1 OBSERVACIÓN O EXPERIMENTACIÓN

La observación consiste en un examen crítico y cuidadoso de los fenómenos, notando y analizando los diferentes factores y circunstancias que parecen influenciarlos. Para el desarrollo de la presente tesis, nos enfocaremos en describir e identificar, las asociaciones minerales de cada zona (óxidos y transición).

Para conocer acertadamente las asociaciones mineralógicas de las vetas Baca y Recuperada, se ha realizado un estudio mineragráfico a 4 muestras (2 muestras de la zona de óxidos y 2 muestras de la zona de transición), cuyas herramientas son:

A) SECCIONES PULIDAS:

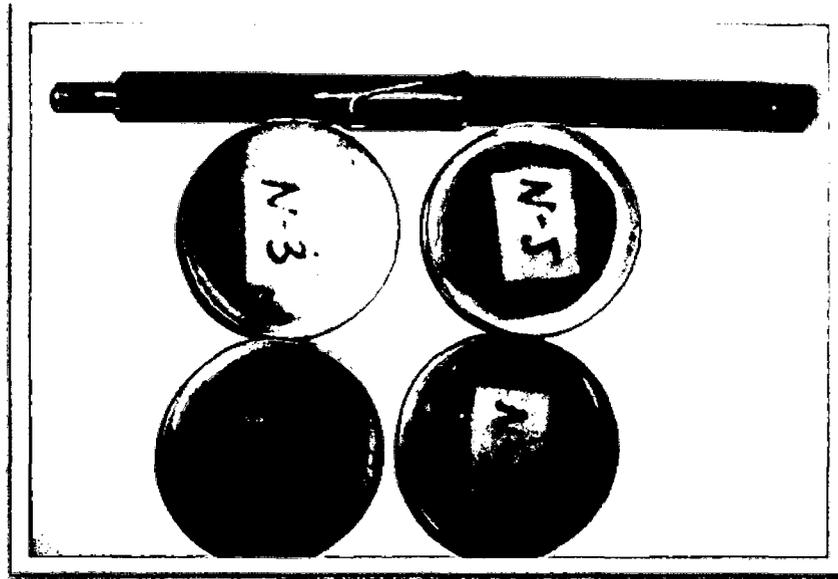


Foto 7: Secciones pulidas

A.1) PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE SECCIONES PULIDAS

1. Se obtiene la muestra del afloramiento que se desea realizar el estudio minerográfico, luego se marca con un círculo el área de interés de la muestra.
2. Luego se realiza el corte de la muestra, con una cortadora de disco adiamantado.
3. Posteriormente se desbasta una de las caras, utilizando polvo de carburo de silicio.
4. Sobre la cara pulida se pega la porta, utilizando epoxy y haciendo presión para que no queden burbujas.
5. Luego se los coloca sobre una plancha caliente unos minutos, una vez pegados los tacos ya estarán preparados para cortar.

6. Antes de cortar el taco marcaremos con un lapiz de diamante, el area de interes de la muestra.
7. Finalmente se realiza el corte del taco con la cortadora, sacando una lamina de 7mm de espesor.

B) MICROSCOPIO DE POLARIZACIÓN

Para definir, el microscopio petrográfico es necesario entender el mecanismo del microscópio de polarización. El microscopio de polarización es un tipo de microscópio compuesto el cual está formado por una combinación de lentes, y a través de ellos se logra obtener una imagen virtual, invertida y más grande, y si a éste se le añade dos polarizadores y una platina giratoria, entonces se estaría definiendo un microscopio petrográfico.

En el microscopio petrográfico, el primer polarizador se ubica antes de la muestra, para de esta forma estudiar los objetos con luz linealmente polarizada. La platina giratoria permite girar a la muestra y de esta forma la dirección de vibración de la luz linealmente polarizada incide en la muestra con diferentes orientaciones.

El polarizador superior (analizador) se ubica entre la muestra y el ocular permitiendo analizar si el mineral estudiado es capaz de hacer variar la dirección de la luz linealmente polarizada incidente.

El microscopio petrográfico utiliza luz polarizada (producida por un polarizador), a este tipo de luz se le denomina **luz polarizada plana** (PPL). Para determinadas propiedades se emplea un segundo polarizador llamado analizador, se representa como **luz polarizada cruzada** (XPL). Por ello, el microscopio petrográfico representa el método más usual para el estudio de los minerales constituyentes de las rocas. Esta técnica consiste en analizar los fenómenos que ocurren cuando la luz polarizada pasa a través de los minerales.

B.1) PARTES DEL MICROSCOPIO

Para un mejor reconocimiento de las partes del microscopio, se les divide en dos grupos. El primer grupo compuesto por el Sistema Mecánico, que se encuentra en contacto directo con el especialista y de fácil manipulación.

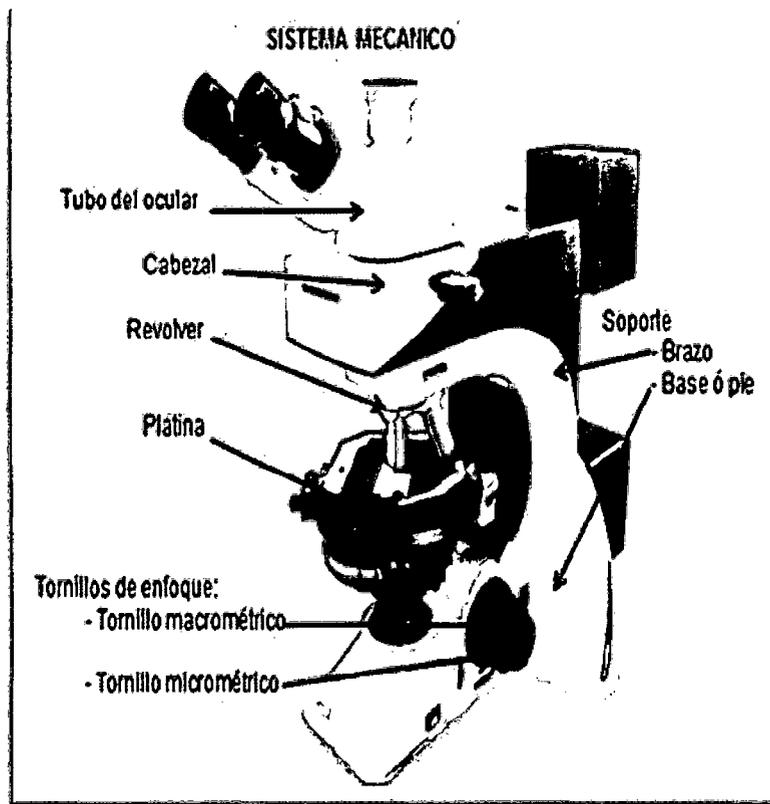


Figura 9: Microscopio de luz transmitida.

El segundo grupo es el Sistema Óptico, que es la parte más frágil del microscopio, por lo que el especialista debe tener cuidado al momento de su manipulación.

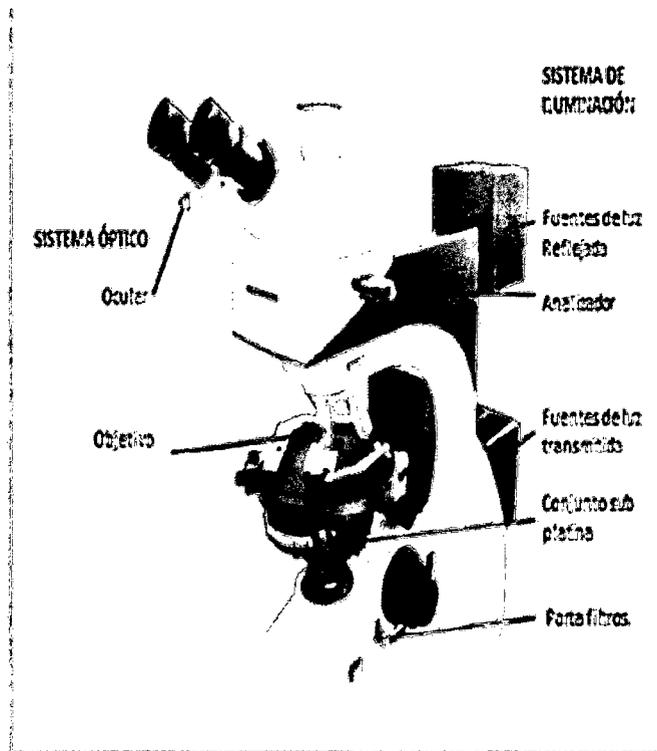


Figura 10: Microscopio de luz reflejada.

B.2) SISTEMA MECÁNICO

a) Soporte

Es la estructura que sirve como soporte físico del microscopio y tiene acoplados los demás elementos de este. Está compuesto por el brazo y la base.

- Brazo: están ubicados de forma perpendicular al pie y pueden tener una forma arqueada o de manera vertical, para así unirlos al pie.
- Base o Pie: es la parte que sostiene al microscopio.

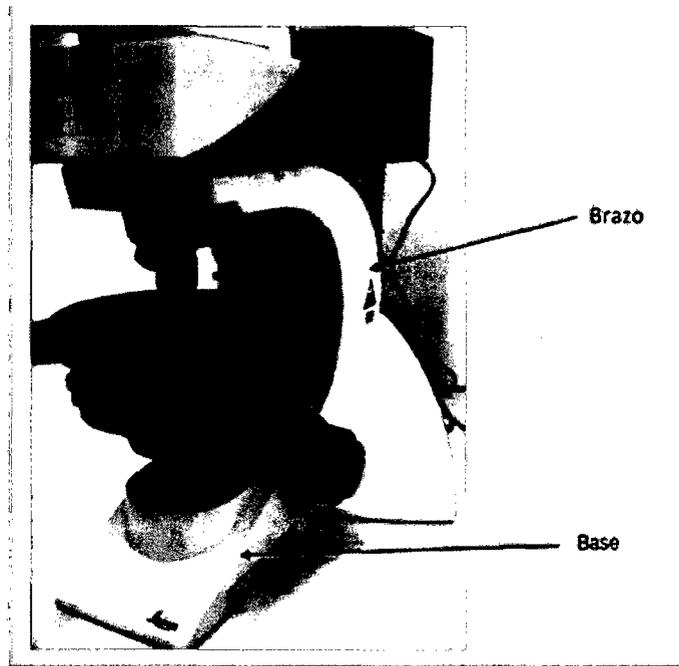


Figura 11: Soportes.

b) Tubo del ocular

Es la parte donde está ubicado el ocular, que tiene el revolver con los objetivos en la parte inferior y los oculares en la parte superior.

c) Revolver

Es la parte que sostiene el sistema de objetivos, y le permite girar para cambiar los objetivos.

d) Platina giratoria

Es la parte donde se coloca la muestra, la platina es giratoria en los microscopios de polarización, lo cual permite que los minerales sean estudiados en diferentes orientaciones respecto de sus direcciones privilegiadas de vibración.



Foto 8: Platina giratoria

e) Tornillos de enfoque o ajuste

- Tornillo macrométrico: tornillo que sirve para enfocar y desplazar de manera rápida las lentes.
- Tornillo micrométrico: tornillo que sirve para enfocar y realizar desplazamientos de las lentes de manera lenta.
- Tornillo para ajuste de la platina: es un tornillo mediante el cual se ajusta la altura de la platina.

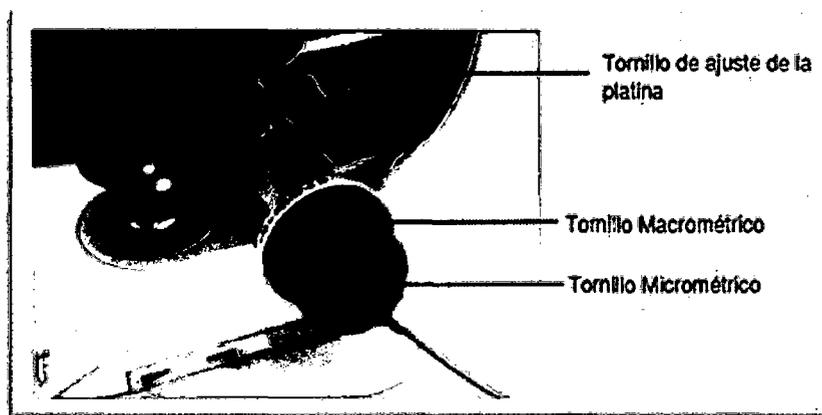


Figura 12: Tornillos de enfoque.

B.3) SISTEMA ÓPTICO

a) Oculares

El lente ocular es el que aumenta la imagen producida por el objetivo y genera la amplificación total es decir la amplificación del ocular por la del objetivo. El ocular se encuentra incrustado en un cilindro que encaja en la parte superior del tubo inclinado y permite moverlo para enfocar a medida del observador. Existen oculares de baja amplificación (3.5X a 6X), amplificación media (10X, 12X) y amplificación alta (16X). En la parte media del tubo, aproximadamente donde se forma la imagen del objetivo, se encuentran engastados dos hilos perpendiculares que sirven para dividir el campo visual en cuatro cuadrantes.

b) Objetivos

Los objetivos producen una imagen nítida y clara, la cual se convertirá luego en el objeto del lente ocular. Consta de un cilindro, cuya parte inferior se encuentra engastado el lente objetivo y en la parte superior presenta una rosca para sujetarlo al sistema revolver.

En la superficie del cilindro se encuentran gravadas sus características, las cuales se resumen en los siguientes conceptos: AI = Amplificación Inicial o amplificación del objetivo. Existen objetivos de baja amplificación (2X a 5X), amplificación media (10X, 20X), amplificación alta (40X, 45X) y muy alta (100X).

AA= Apertura Angular.- Es el ángulo entre los rayos más divergentes que llegan al lente objetivo desde el punto central de la muestra.

NA= Apertura numérica = $n \text{ Sen}\mu$, donde n es el índice de refracción del medio (aceite o aire) y, μ es igual a la mitad de la apertura numérica.

Largo del tubo vertical (distancia entre la parte inferior del tambor objetivo y la superior del ocular).

Distancia libre de trabajo (DLT). Distancia entre la parte más baja del objetivo (Que en muchos casos es un anillo protector de metal) y la parte más alta del objeto. Profundidad de enfoque (PE).

Distancia entre el límite superior e inferior enfocado. Es una función inversa de la apertura numérica. A mayor apertura numérica, menor profundidad de enfoque.

c) Sistema de iluminación

Fuente de luz y portafiltros

En la base los microscopios de polarización de luz transmitida tienen la fuente luminosa, donde además se ubican el vidrio mate, un espejo o prisma para desviar los rayos hacia arriba verticalmente, el diafragma de campo luminoso y el filtro azul. La fuente luminosa emite luz blanca y su intensidad puede ser regulada. El vidrio mate permite que pase la luz sin dejar pasar la imagen del filamento de la lámpara; la luz sale de toda la superficie del vidrio en forma homogénea, como luz natural, es decir que sus rayos componentes no están polarizados.

El prisma o espejo de la base en algunos modelos de microscopio es ligeramente móvil de tal manera que se pueda regular el direccionamiento del haz haciéndolo coincidir lo mejor posible con el eje del microscopio.

El diafragma de campo luminoso restringe la cantidad de luz que va a pasar y permite así centrar el haz con el eje del microscopio. El filtro azul, último componente de la base, da al haz de luz blanca una apariencia de luz de día.

Conjunto subplatina

El conjunto subplatina está conformado por el condensador de bajo poder, el polarizador, el diafragma de apertura y el condensador de alto poder. Los condensadores son lentes convergentes que acercan a los rayos para que la cantidad de luz se conserve sin iluminar sus paredes internas.

El condensador de bajo poder genera luz ortoscópica y el de alto poder, en conjunción con un objetivo de alto poder, genera luz conoscópica; es decir, rayos que viajan convergentemente hacia un punto formando así un cono de luz. El diafragma de apertura impide el paso de los rayos externos del haz permitiendo aislar detalles pequeños de la muestra sin cambiar de objetivo.

Analizador

Es un polarizador cuya dirección de polarización es perpendicular a la del primer polarizador. Sirve para determinar una serie de propiedades, principalmente analiza si el mineral estudiado origina algún cambio en la dirección de vibración de la luz linealmente polarizada incidente.

3.8.2 ORGANIZACIÓN

Se refiere al análisis de los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos, compararlos entre ellos y con los resultados de observaciones anteriores, llegando a leyes que se expresan mediante fórmulas o en palabras.

Una vez obtenidos los resultados de los estudios mineragráficos, se conocerá acertadamente las asociaciones mineralógicas, lo que nos va a poder permitir generar el zonamiento, la paragénesis y el modelo geológico de las vetas Baca y Recuperada.

3.8.3 HIPÓTESIS Y TEORÍA

En este paso se propone explicaciones tentativas o hipótesis, que deben ser probadas mediante experimentos, luego de obtener los resultados de los estudios mineragráficos se procederá a contratar la hipótesis. Si la experimentación repetida no las contradice pasan a ser teorías, esto quiere decir que el zonamiento propuesto de las vetas Baca y Recuperada, será similar a la hipótesis.

3.8.4 VERIFICACIÓN Y PREDICCIÓN

El resultado final es la predicción de algunos fenómenos no observados todavía o la verificación de las relaciones entre varios procesos, con las asociaciones mineralógicas que nos brindara el estudio mineragráfico, verificaremos las hipótesis propuestas. Además de brindarnos nueva información, que nos servirá para futuras investigaciones.

3.9 MATERIALES

- Recursos de Gabinete:
 - Computadora personal.
 - Escritorio
 - Impresora.
 - Papel bond.
 - Secciones pulidas
 - Análisis mineragráfico.

- Recursos de Campo:
 - Brújula tipo Brunton.
 - Bolsas de muestreo.
 - Cincel y comba.
 - Cámara Fotográfica
 - Equipo de protección personal.
 - Ácido Clorhídrico 10 % (HCl)
 - GPS marca Garmin tipo navegadorio.
 - Lupas (10x-20x).
 - Lápiz de colores.
 - Marcador.
 - Protactor (1:2 500).
 - Plano topográfico 1: 2 500 (DATUM WGS-84)
 - Picota de mango largo.
 - Rayador con punta de diamante.

3.9.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

3.9.1.1 MUESTRA N-3

Zona de óxidos se ubica a 100m (horizontal) desde el inicio de la labor, la muestra obtenida pertenece a la veta denominada Baca nombre que se le ha dado para realizar dicho estudio, consta de Oxfe (goet>jar>hem), tiene un espesor de 25 cm, N305-80NE. siendo la roca caja la dacita porfirítica con alteración qz-ser.

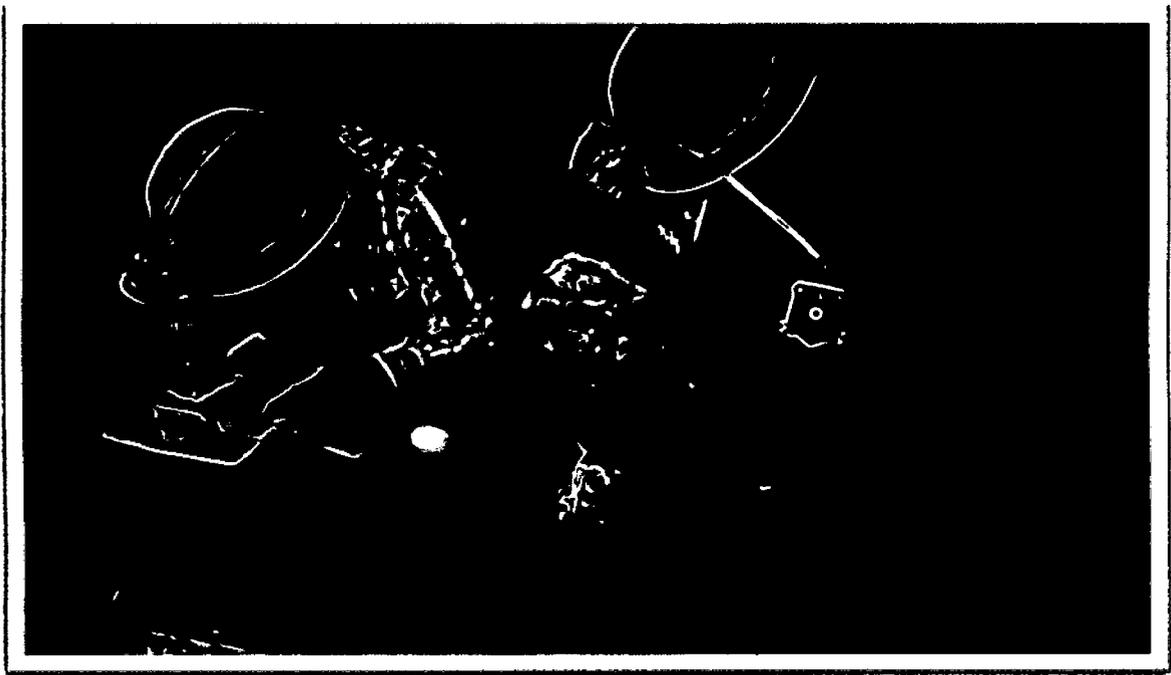


Foto 9: Recolección muestra N-3, zona de óxidos.

3.9.1.2 MUESTRA N-4

Veta Baca zona de transición, la muestra se ha obtenido al pasar un pique de 300m, consta de Cc-Py y Apy en trazas, tiene un espesor de 90cm, N100-75NE, siendo la roca caja dacita porfirítica con alteración qz-ser.

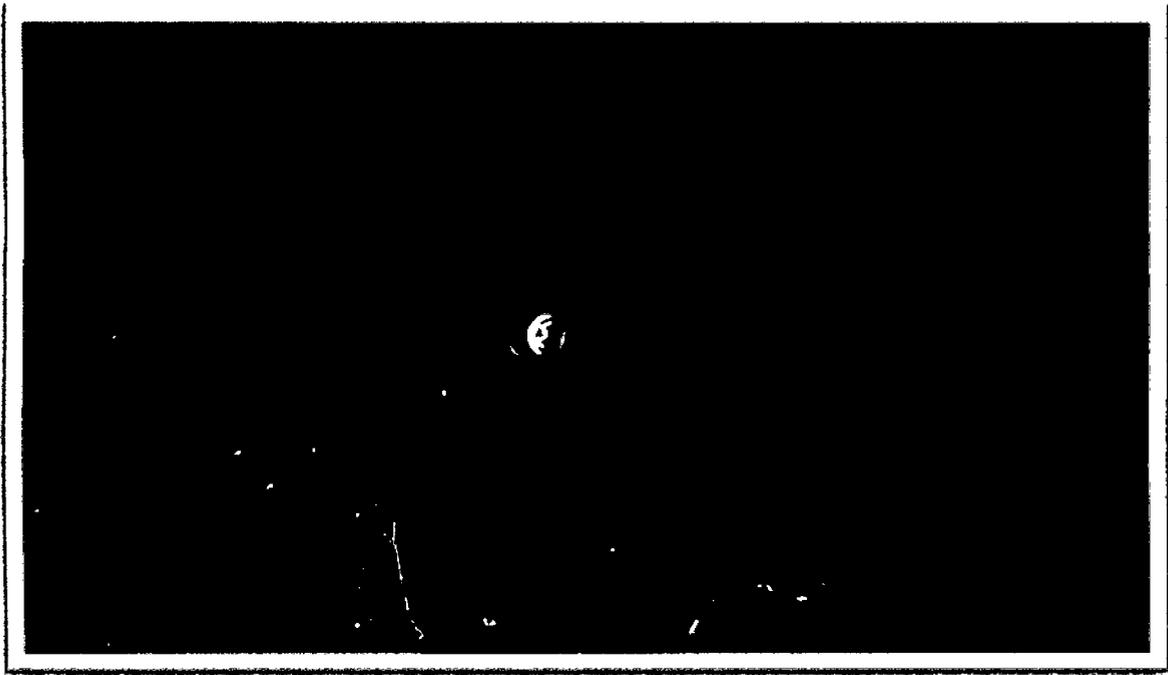


Foto 10: Personal de apoyo indicando el lugar donde se obtuvo la muestra N-4, zona de transición.

3.9.1.3 MUESTRA N-5

Veta Recuperada, zona de transición, esta muestra sea obtenido a 200m del pique, consta de Py-Cc, tiene un espesor de 30cm, N90-70S.



Foto 11: Personal de apoyo indicando el lugar donde se obtuvo la muestra N-5, zona de transición.

3.9.1.4 MUESTRA N-6

Veta Recuperada, zona de óxidos, muestra obtenida a 50m en horizontal del inicio de la labor, consta de Gt>Hm<Jar, tiene un espesor de 20cm, N155 y 20SW.

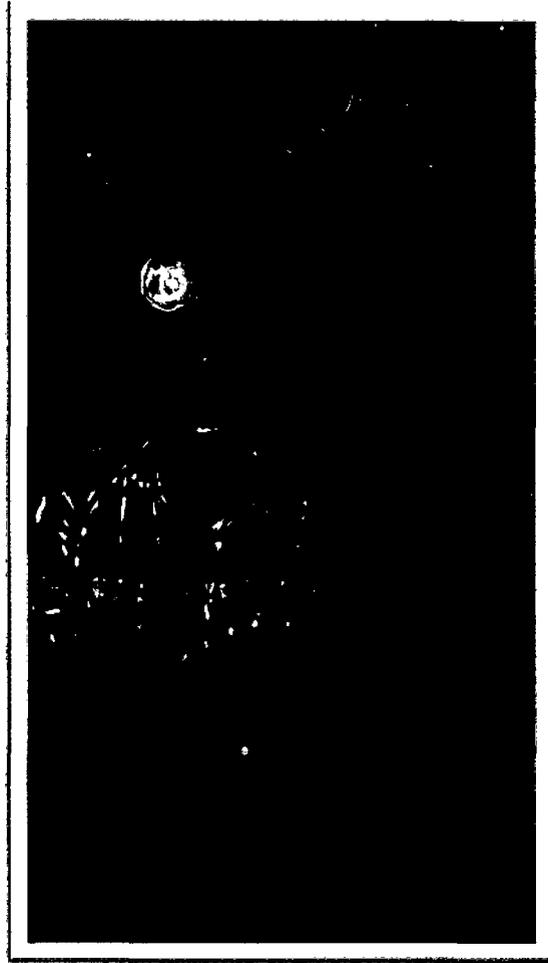


Foto 12: Tesista indicando la veta Recuperada, lugar donde se obtuvo la muestra N-6, zona de óxidos.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN MINERAGRÁFICA DE LAS MUESTRAS

4.1.1 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA MUESTRA N-3

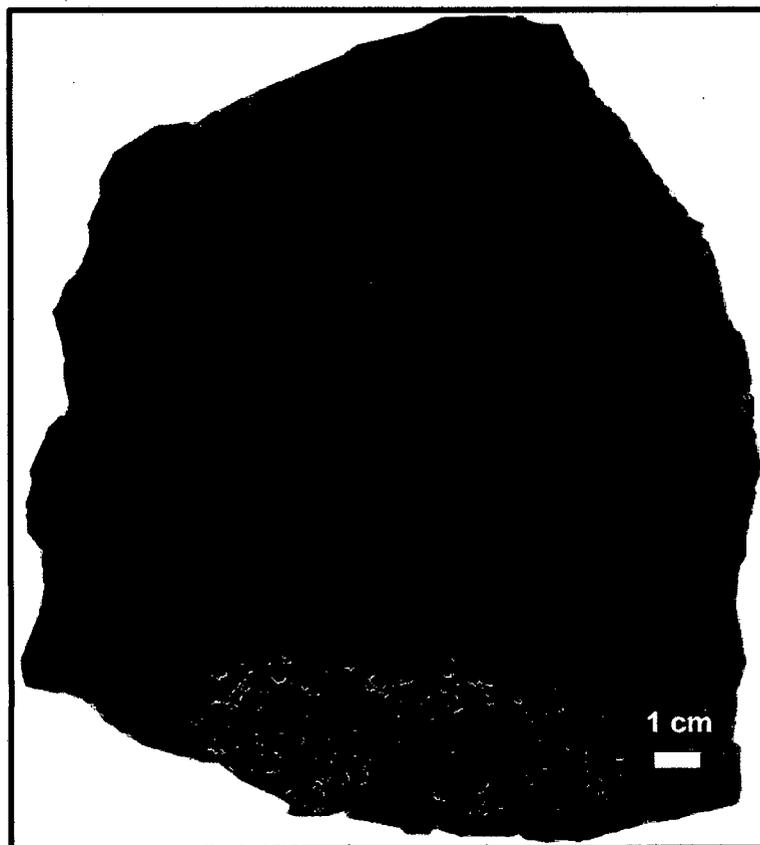


Figura 13: Muestra N-3 (Veta Baca)

Zona de óxidos. Roca caja (o caballo) de probable composición andesítica-dacítica (solo se observan escasos ojos de cuarzo) de textura porfirítica con moldes de fenocristales tabulares de feldespatos de hasta 3 mm, presenta alteración hidrotermal de cuarzo, sericita, arcillas (pega a la lengua: caolinita?) y pirita. La pirita es fina (de hasta 1 mm), cúbica y con macla polisintética. La oxidación consta de moldes de sulfuros (en su mayoría cúbicos) reemplazados por limonitas (principalmente goethita) > jarosita > hematita e impregnaciones de ellos en las arcillas y sericita. La zona con mayor oxidación está asociada a silicificación, en la zona sin oxidación predominan las arcillas y se puede observar pirita fresca. Además rellenando porosidades (incluyendo microfracturas) ocurren minerales oxidados de cobre de color verde.

4.1.1.1 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

4.1.1.2 Mineralogía y porcentaje aproximado:

<u>Minerales</u>	<u>%</u>	<u>Alteración y/o relleno</u>
Pirita	5	Goethita
Gangas	95	Limonitas
		Óxidos de cobre

Pirita: Cristales subhedrales de hábito cúbico de hasta 1.00 mm de longitud. Ocurre rellenando porosidades (incluye microfracturas) de las gangas. Es reemplazada totalmente por goethita y limonitas, dichos minerales también rellenan sus porosidades.

Goethita: De hábito botroidal y reflejos internos rojos, presentando mayor reflectividad que las otras limonitas. Ocurre alterando totalmente a pirita, junto a otras limonitas, resultando moldes cúbicos.

Limonitas: En su mayoría de reflejos internos anaranjados, presentando menor reflectividad que goethita. Ocurre alterando totalmente a pirita, junto a goethita, resultando moldes cúbicos, y también como impregnaciones en las gangas.

Óxidos de cobre: De reflejos internos verdes. Ocurre relleno por porosidades (incluye microfracturas) de las gangas.

Gangas: Corresponde a la parte no metálica (cuarzo y arcillas).

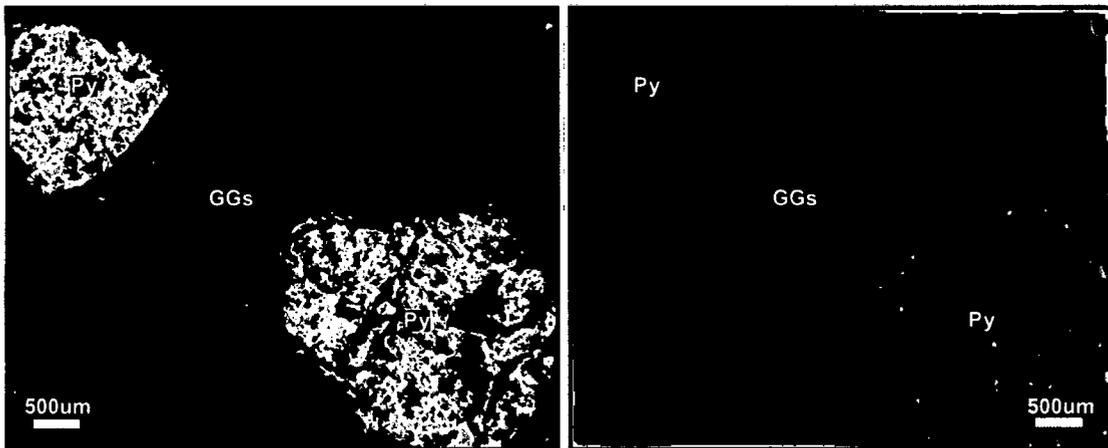
4.1.1.3 Secuencia de formación probable o paragénesis:

1	Pirita
2	Goethita-Limonitas
3	Óxidos de cobre

4.1.1.4 Textura:

De reemplazamiento por alteración y de relleno.

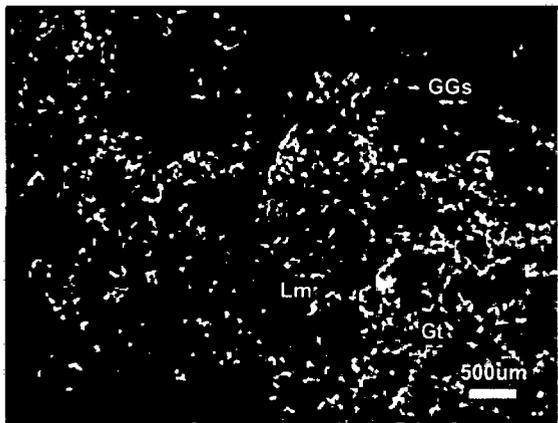
4.1.1.5 MICROFOTOGRAFÍAS



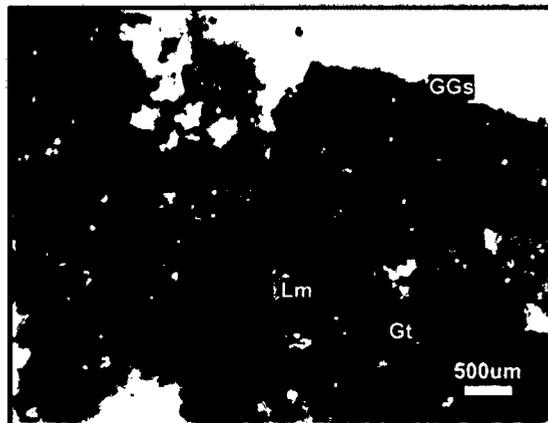
Cristales subhedrales de pirita diseminados en las gangas.
Luz reflejada, nicoles

Misma vista de la imagen de la izquierda.
Luz reflejada, nicoles cruzados.
Longitud de la foto 1.88 mm.

Figura 14: Cristales subhedrales de pirita diseminados en las gangas.

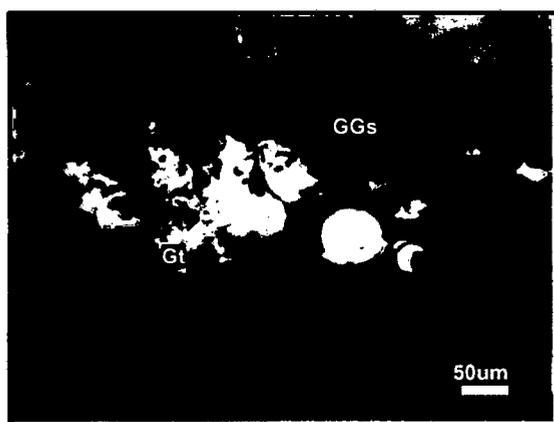


Moldes de sulfuros reemplazados por goethita-limonitas. Luz reflejada, nicoles paralelos. Longitud de la foto 1.88 mm.

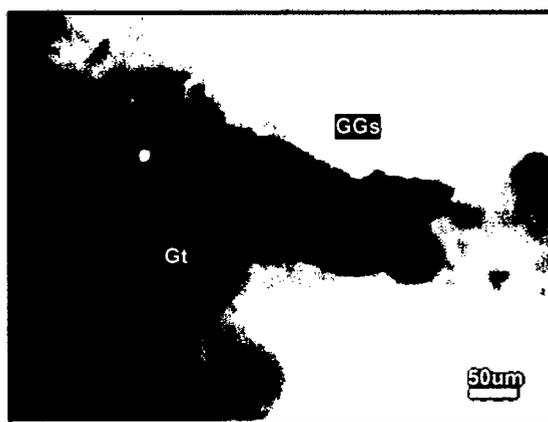


Misma vista de la imagen de la izquierda. Luz reflejada, nicoles cruzados. Longitud de la foto 1.88 mm.

Figura 15: Moldes de sulfuros reemplazados por goethita-limonitas.

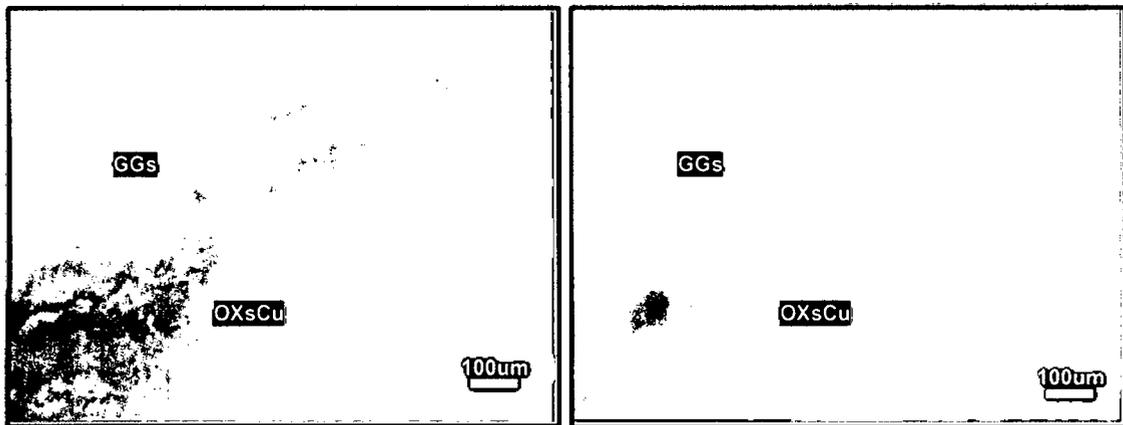


Goethita botroidal. Luz reflejada, nicoles paralelos. Longitud de la foto 0.19 mm.



Misma vista de la imagen de la izquierda. Luz reflejada, nicoles cruzados. Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 16 : Goethita botroidal.



Microfractura rellena por óxidos de cobre.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.38 mm.

Misma vista de la imagen de la izquierda.
Luz reflejada, nicoles cruzados.
Longitud de la foto 0.38 mm.

Figura 17 : Microfractura rellena por óxidos de cobre.

4.1.2 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA MUESTRA N-4

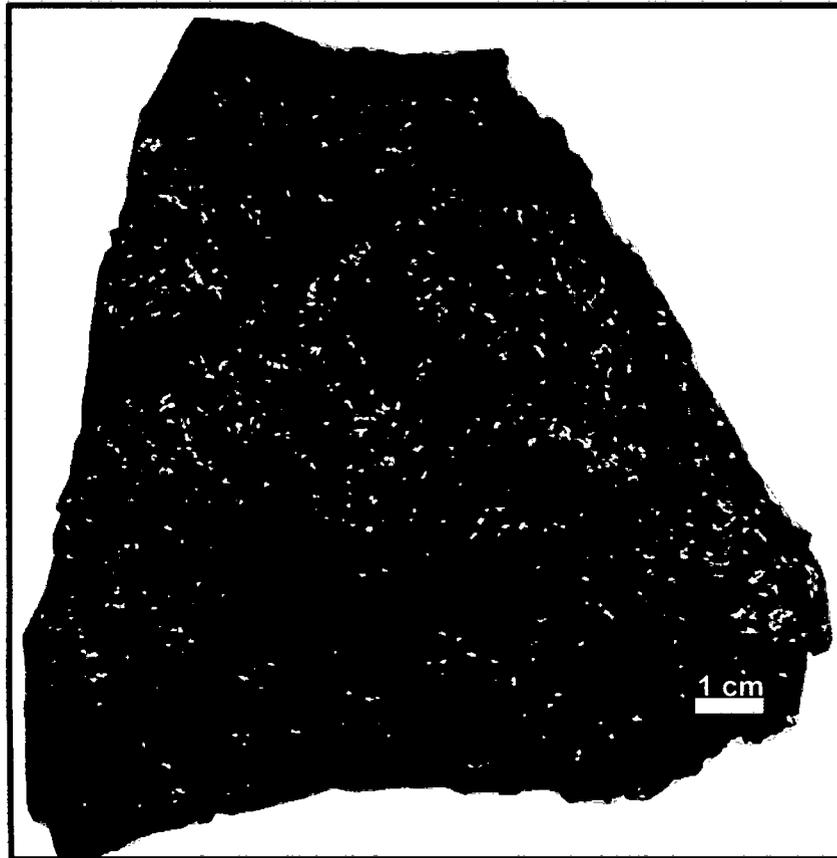


Figura 18: Muestra N-4 (Veta Baca)

Zona de transición. Estructura mineralizada masiva de pirita cúbica gruesa (de hasta 5 mm), formando micro-geodas rellenas por calcopirita casi totalmente reemplazadas por calcosina. Los sulfuros presentan impregnaciones de soluciones de cobre de color verde.

4.1.2.1 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

4.1.2.2 Mineralogía y porcentaje aproximado:

<u>Minerales</u>	<u>%</u>	<u>Alteración</u>
Pirita	82	Digenita
Calcopirita	15	
Cobre gris 1	2	
Enargita	1	

Pirita: cristales subhedrales a euhedrales de hábito cúbico de varios milímetros de longitud. Calcopirita ocurre rellenando alguna de sus porosidades internas.

Calcopirita: cristales anhedrales de formas irregulares de varios milímetros de longitud. Ocurre rellenando porosidades (microgeodas) entre los cristales gruesos de pirita. Ocurre asociada a enargita. Es reemplazada moderada a totalmente por digenita desde sus bordes y en microfracturas.

Cobre gris 1: cristales anhedrales de formas irregulares de tamaños menores de 2.0 mm de longitud, de color blanco grisáceo y moderada reflectividad, de dureza alta (bastante resistencia al pulido, pero menos que la pirita), no se observa anisotropía marcada (isótropo?). Ocurre rellenando porosidades (microgeodas) entre los cristales gruesos de pirita. Enargita ocurre rellenando alguna de sus porosidades.

Enargita: cristales anhedrales de formas irregulares de tamaños menores de 0.20 mm. Ocurre asociada a calcopirita. Es reemplazada moderada a casi totalmente por digenita.

Digenita: alterando moderada a fuertemente a calcopirita y a enargita; a partir de sus bordes y a través de microfracturas.

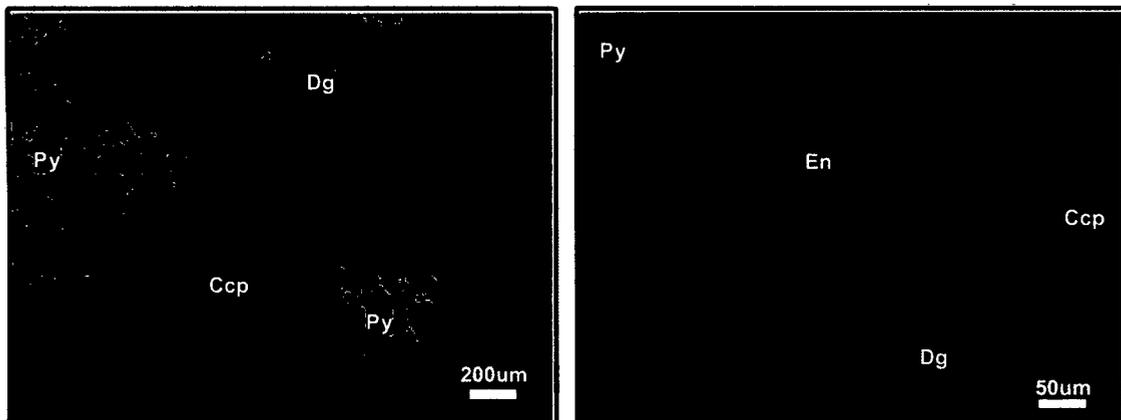
4.1.2.3 Secuencia de formación probable o paragénesis:

1	Pirita
2	Cobre gris 1
3	Calcopirita
4	Enargita
5	Digenita

4.1.2.4 Textura

De reemplazamiento por alteración y de relleno.

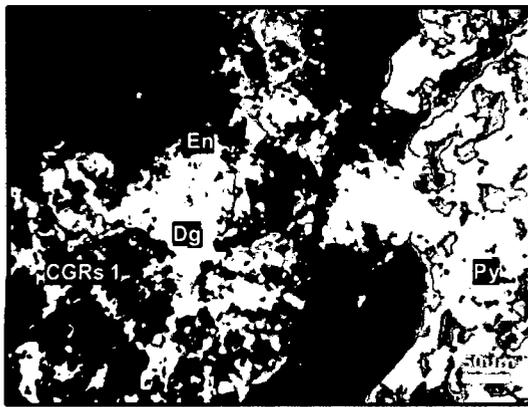
4.1.2.5 MICROFOTOGRAFÍAS



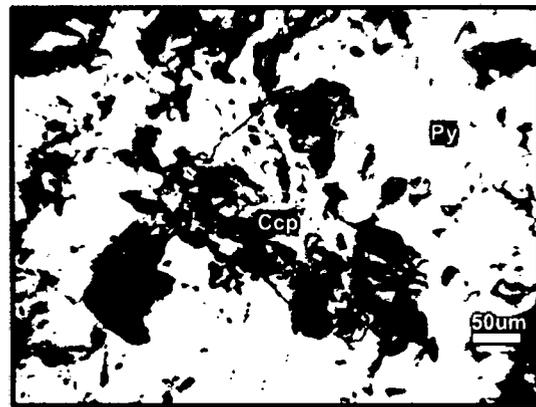
Calcopirita relleno espacios entre pirita cúbica. A su vez la calcopirita es alterada a digenita.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.75 mm.

Enargita asociada a calcopirita, ambos reemplazados por digenita.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 19: Calcopirita entre pirita cúbica, enargita asociada a calcopirita ambos reemplazados por digenita.



Porosidad entre cristal de pirita y cobre gris 1 rellena por enargita. A su vez la enargita es reemplazada por digenita.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.



Calcopirita relleno una microporosidad interna de pirita.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 20: Pirita y cobre gris 1 rellena por enargita. Calcopirita relleno microporosidad de pirita.

4.1.3 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA MUESTRA N-5

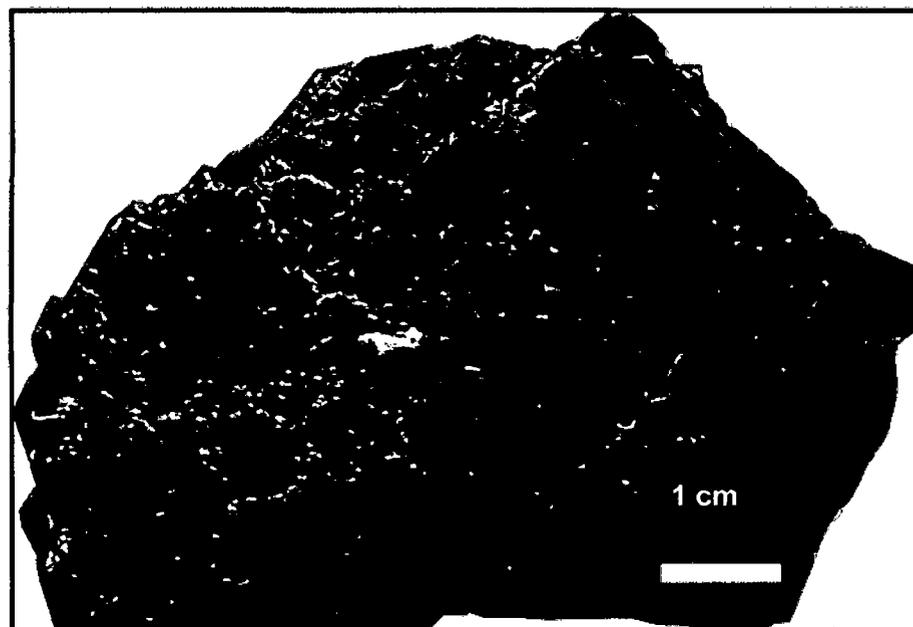


Figura 21: Muestra N-5 (Veta Recuperada)

Zona de transición. Estructura mineralizada masiva de pirita cúbica gruesa (de hasta 5 mm), formando microgeodas rellenas por calcopirita casi totalmente reemplazadas por calcosina. Los sulfuros presentan impregnaciones de soluciones de cobre de color verde, y algunas cavidades ocurren rellenos por sulfatos blanquecinos.

4.1.3.1 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

4.1.3.2 Mineralogía y porcentaje aproximado:

<u>Minerales</u>	<u>%</u>	<u>Alteración</u>
Pirita	81	Covelita
Calcopirita	15	Digenita
Cobre gris 2	3	Enargita
Arsenopirita	Trazas	Óxidos de cobre
Esfalerita	Trazas	
Cobre gris	Trazas	
Gangas	0.5	

Pirita: Cristales subhedrales a euhedrales de hábito cúbico de varios milímetros de longitud. Calcopirita, esfalerita y cobres grises ocurren relleno de sus porosidades internas. Covelita ocurre relleno de sus microfracturas entrecruzadas.

Calcopirita: Cristales anhedrales de formas irregulares de varios milímetros de longitud. Ocurre relleno de porosidades (microgeodas) entre los cristales gruesos de pirita. Es reemplazada moderada a totalmente por digenita desde sus bordes y en microfracturas

Arsenopirita.- Cristales subhedrales a anhedrales de hábito prismático de sección rómbica de tamaños menores de 0.02 mm de longitud. Ocurren embutidos en YYY.

Esfalerita: Cristales anhedrales de tamaños menores de 0.03 mm de longitud. Ocurren relleno de porosidades internas de pirita, y es parcialmente reemplazada por cobres grises.

Cobre gris: Cristales anhedrales de tamaños menores de 0.01 mm de longitud. Ocurren relleno de porosidades internas de pirita, y parcialmente reemplazando a esfalerita.

Cobre gris 2: Cristales anhedrales de formas irregulares de tamaños menores de 2.0 mm de longitud, de color blanco grisáceo y moderada reflectividad, de dureza alta (bastante resistencia al pulido, pero menos que la pirita), no se observa anisotropía marcada (isótropo?). Ocurre relleno de porosidades (microgeodas) entre los cristales gruesos de pirita y diminutos de Arsenopirita, a esta última llega a embutirla.

Covelita: Ocurre relleno de microfracturas entrecruzadas de pirita.

Digenita: Alterando moderada a fuertemente a calcopirita; a partir de sus bordes y a través de microfracturas. Es parcialmente alterada a enargita a partir de sus bordes.

Enargita Cristales anhedrales de formas irregulares de tamaños menores de 0.20 mm. Ocurre alterando moderadamente a digenita; a partir de sus bordes.

Óxidos de cobre: De reflejos internos verdes. Ocurre rellenando porosidades (incluye microfracturas) e impregnadas en las gangas.

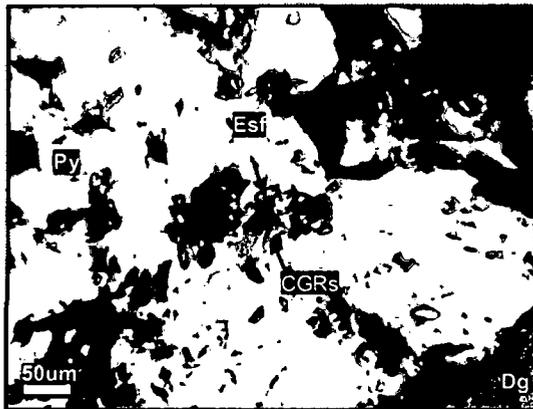
4.1.3.3 Secuencia de formación probable o paragénesis:

1	Arsenopirita
2	Pirita
3	Cobre gris 2
4	Esfalerita
5	Calcopirita
6	Cobres grises
7	Covelita-Digenita
8	Enargita
9	Óxidos de cobre

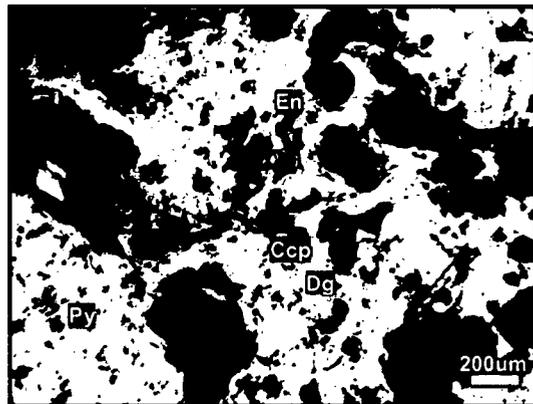
4.1.3.4 Textura

De reemplazamiento por alteración y de relleno.

4.1.3.5 MICROFOTOGRAFÍAS

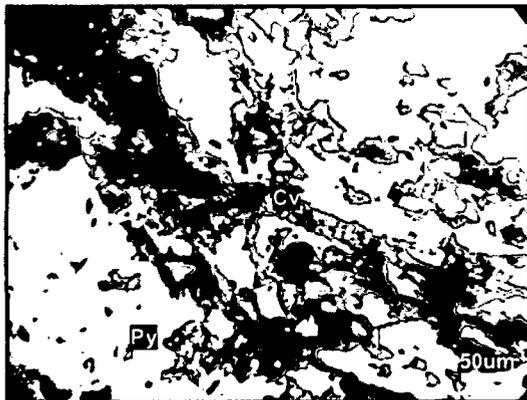


Esfalerita reemplazada parcialmente por cobre gris, rellena porosidades de pirita.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.

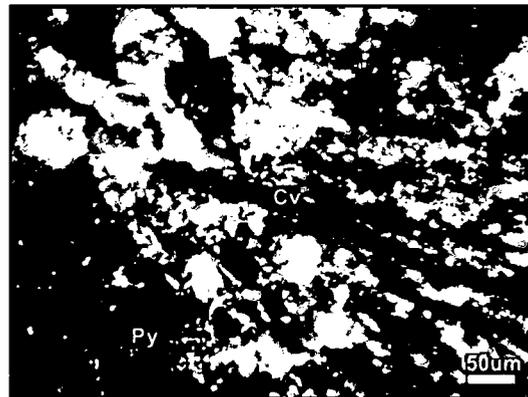


Calcopirita reemplazada por digenita y a su vez es reemplazada por enargita.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.75 mm.

Figura 22: Esfalerita reemplazada por cobre gris. Calcopirita reemplazada por digenita y a su vez reemplazada por enargita.

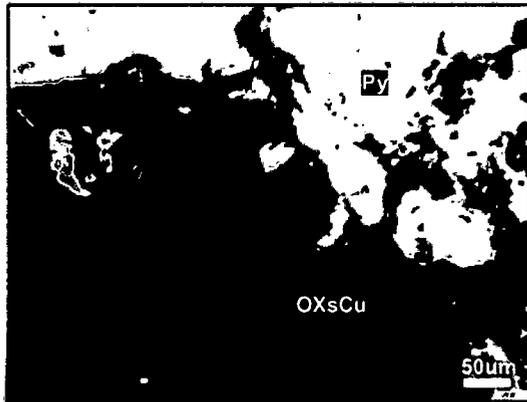


Venilla de covelita cortando a pirita.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.

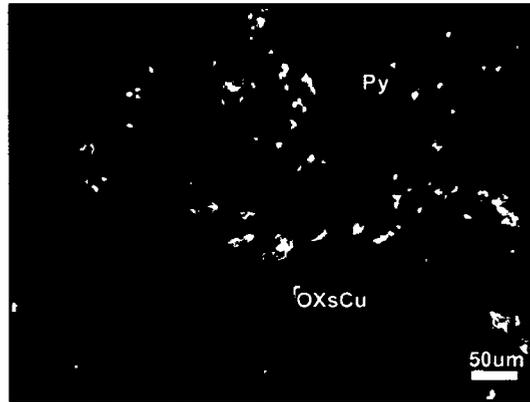


Misma vista de la imagen de la izquierda.
Luz reflejada, nicoles cruzados.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 23: Venilla de covelita cortando pirita.

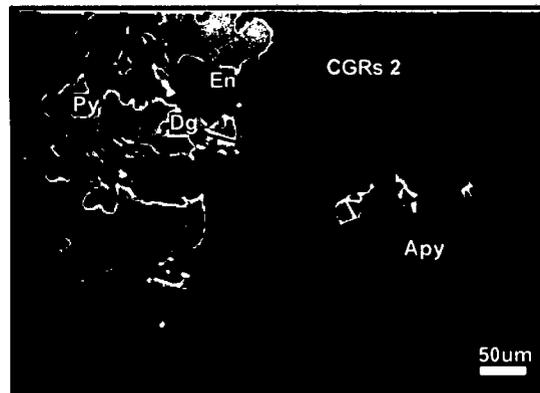


Óxidos de cobre rellenando porosidades.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.



Misma vista de la imagen de la izquierda.
Luz reflejada, nicoles cruzados.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 24: Óxidos de cobre rellenando porosidades.



Inclusiones subhedrales (sección rómbica) de Arsenopirita embutidos por cobre gris 2.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 25: Inclusiones subhedrales de arsenopirita embutidos por cobre gris 2.

4.1.4 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA MUESTRA N-6

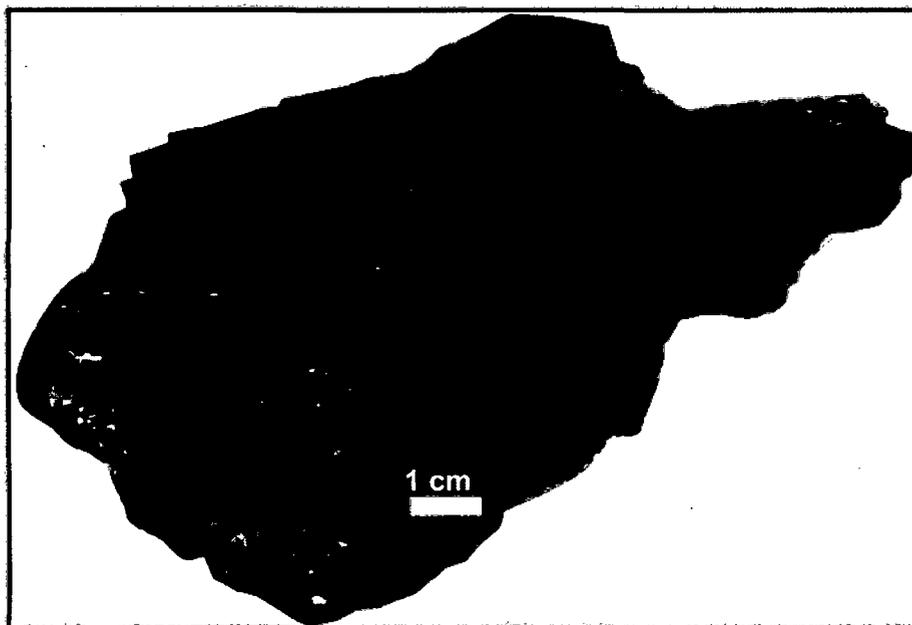


Figura 26: Muestra N-6 (Veta Recuperada)

Zona de óxidos. Consta de goethita>hematita>jarosita, tiene un espesor de 0.20 metros, la roca caja es una dacita con textura porfirítica y presenta alteración cuarzo-sericita con superposición de arcillas (caolinita-montmorillonita). Zona de óxidos. Roca caja (o caballo) de probable composición andesítica-dacítica (solo se observan escasos ojos de cuarzo) de textura porfirítica con moldes de fenocristales tabulares de feldespatos de hasta 3 mm, presenta alteración hidrotermal de cuarzo, sericita, arcillas (pega a la lengua: caolinita?) y pirita. La pirita es fina (de hasta 1 mm), cúbica y con macla polisintética. La oxidación consta de moldes de sulfuros (en su mayoría cúbicos) reemplazados por limonitas (principalmente goethita) > jarosita > hematita e impregnaciones de ellos en las arcillas y sericita. La zona con mayor oxidación está asociada a silicificación, en la zona sin oxidación predominan las arcillas y se puede observar pirita fresca. Además relleno de porosidades (incluyendo microfracturas) ocurren minerales oxidados de cobre de color verde.

4.1.4.1 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

4.1.4.2 Mineralogía y porcentaje aproximado:

<u>Minerales</u>	<u>%</u>	<u>Alteración y/o relleno</u>	<u>%</u>
Pirita	0.5	Goethita	5
Calcopirita	Trazas	Digenita	Trazas
Gangas	94	Óxidos de cobre	0.5

Pirita: Cristales anhedrales remanentes de hasta 0.01 mm de longitud. Ocurre rellenando porosidades (incluye microfracturas) de las gangas. Es reemplazada totalmente por goethita, dichos minerales también rellenan sus porosidades

Calcopirita: Cristales anhedrales remanentes de hasta 0.01 mm de longitud. Ocurre rellenando porosidades de las gangas. Es reemplazada totalmente por goethita, dichos minerales también rellenan sus porosidades. Es reemplazada moderadamente por digenita desde sus bordes.

Digenita: Alterando moderadamente a calcopirita; a partir de sus bordes.

Goethita: De hábito botroidal y reflejos internos rojos. Ocurre alterando totalmente a pirita, resultando moldes cúbicos.

Óxidos de cobre: De reflejos internos verdes. Ocurre rellenando porosidades (incluye microfracturas) y como impregnaciones de las gangas.

Gangas: Corresponde a la parte no metálica (cuarzo y arcillas).

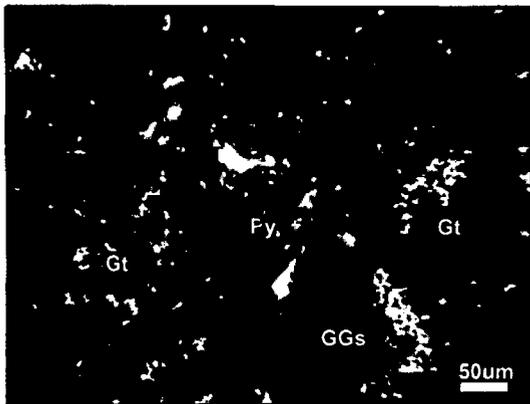
4.1.4.3 Secuencia de formación probable o paragénesis:

1	Pirita
2	Calcopirita
3	Digenita
4	Goethita
5	Óxidos de cobre

4.1.4.4 Textura

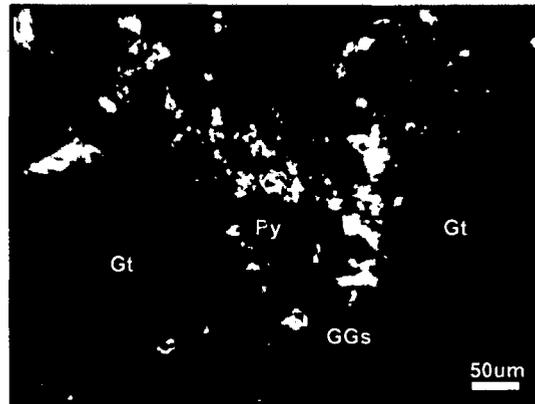
De reemplazamiento por alteración y de relleno.

4.1.4.5 MICROFOTOGRAFÍAS



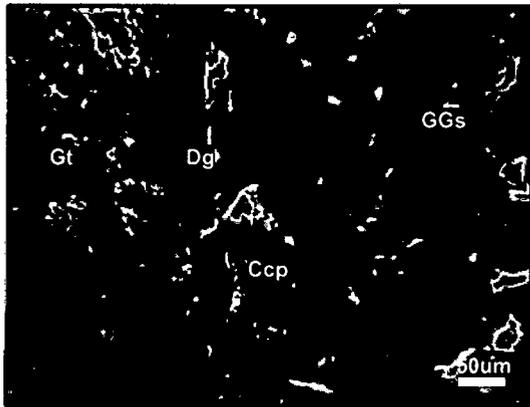
Cristales remanentes de pirita diseminados en las gangas. Moldes de sulfuros subhedrales (cúbicos) reemplazados por goethita.

Luz reflejada, nicols paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.

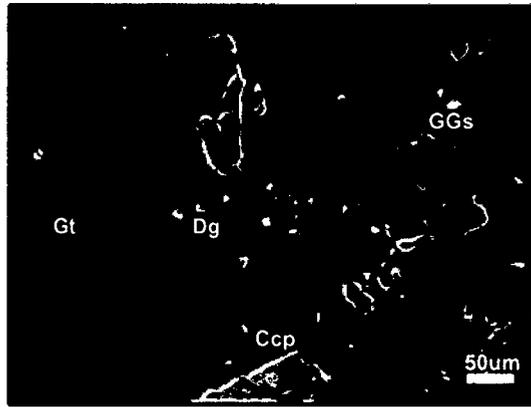


Misma vista de la imagen de la izquierda.
Luz reflejada, nicols cruzados.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 27: Cristales de pirita diseminados en gangas.

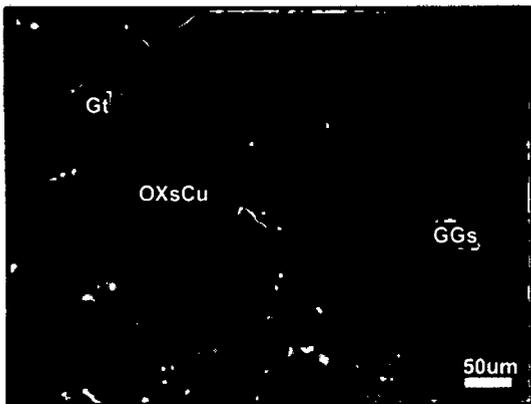


Cristal remanente de calcopirita reemplazado por digenita diseminado en las gangas.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.

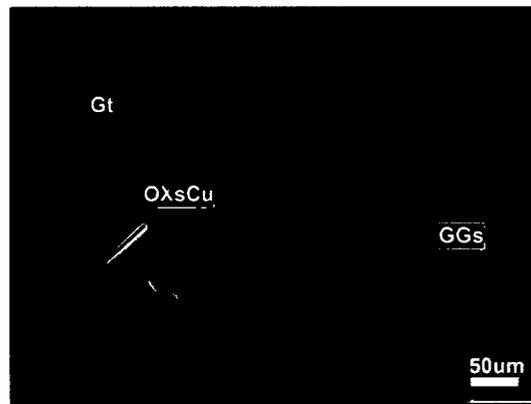


Misma vista de la imagen de la izquierda.
Luz reflejada, nicoles cruzados.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 28: Calcopirita reemplazada por digenita diseminada en gangas.



Óxidos de cobre impregnados en las gangas y en los bordes de los moldes de sulfuros.
Luz reflejada, nicoles paralelos.
Longitud de la foto 0.19 mm.



Misma vista de la imagen de la izquierda.
Luz reflejada, nicoles cruzados.
Longitud de la foto 0.19 mm.

Figura 29: Óxidos de cobre impregnados en las gangas y en los bordes de los moldes de sulfuros.

4.2 ZONAMIENTO DE LAS VETAS BACA Y RECUPERADA

4.2.1 VETA BACA:

Este zonamiento se propone, de acuerdo a los minerales identificados y descritos, a través del estudio minerográfico; El zonamiento propuesto para la veta Baca consta de las siguientes zonas: óxidos, transicional e hipógena.

Tabla 3. Zonamiento Veta Baca.

Zona de mineralización	Asociaciones mineralógicas
ÓXIDOS	Óxidos de Cu, goethita, limonita.
TRANSICIONAL	>Digenita, pirita, calcopirita, enargita.
HIPÓGENA	Pirita, calcopirita, enargita, cobre gris 1.

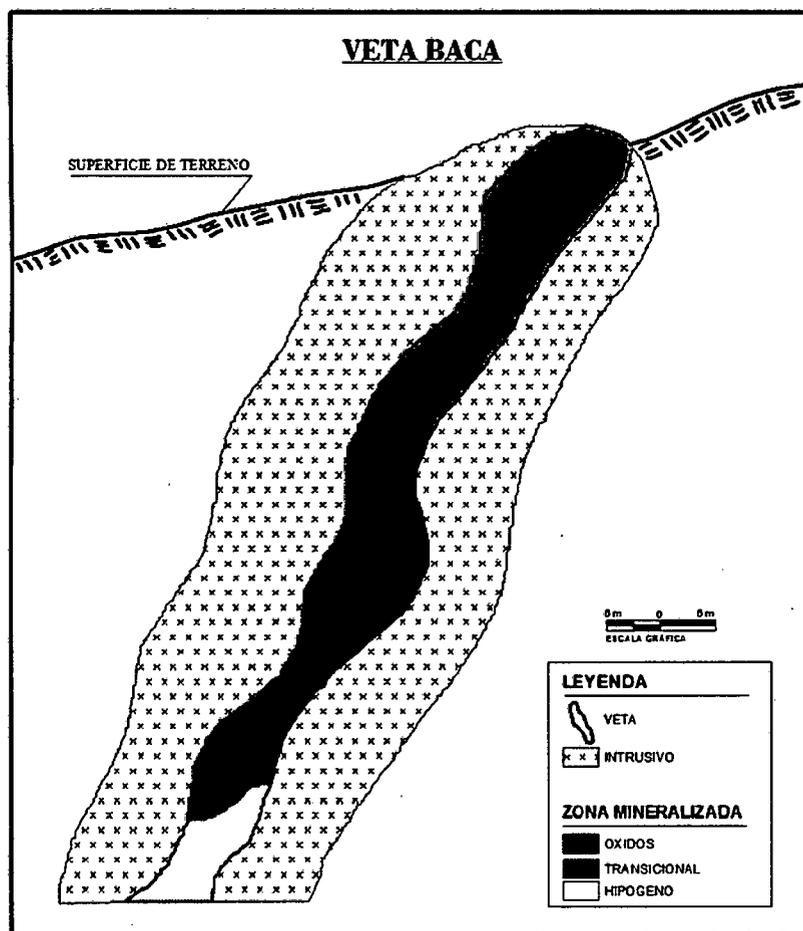


Figura 30: Zonamiento Veta Baca.

4.2.2 VETA RECUPERADA:

Este zonamiento se propone, de acuerdo a los minerales identificados y descritos, a través del estudio minerográfico; El zonamiento propuesto para la veta Recuperada consta de las siguientes zonas: óxidos, transicional e hipógena.

Tabla 4. Zonamiento Veta Recuperada.

Zona de mineralización	Asociaciones mineralógicas
ÓXIDOS	Óxidos Cu, goethita.
TRANSICIONAL	>Digenita-covelita, pirita, calcopirita, enargita.
HIPÓGENA	Pirita, calcopirita, esfalerita, enargita, cobre gris, arsenopirita, cobre gris 2.

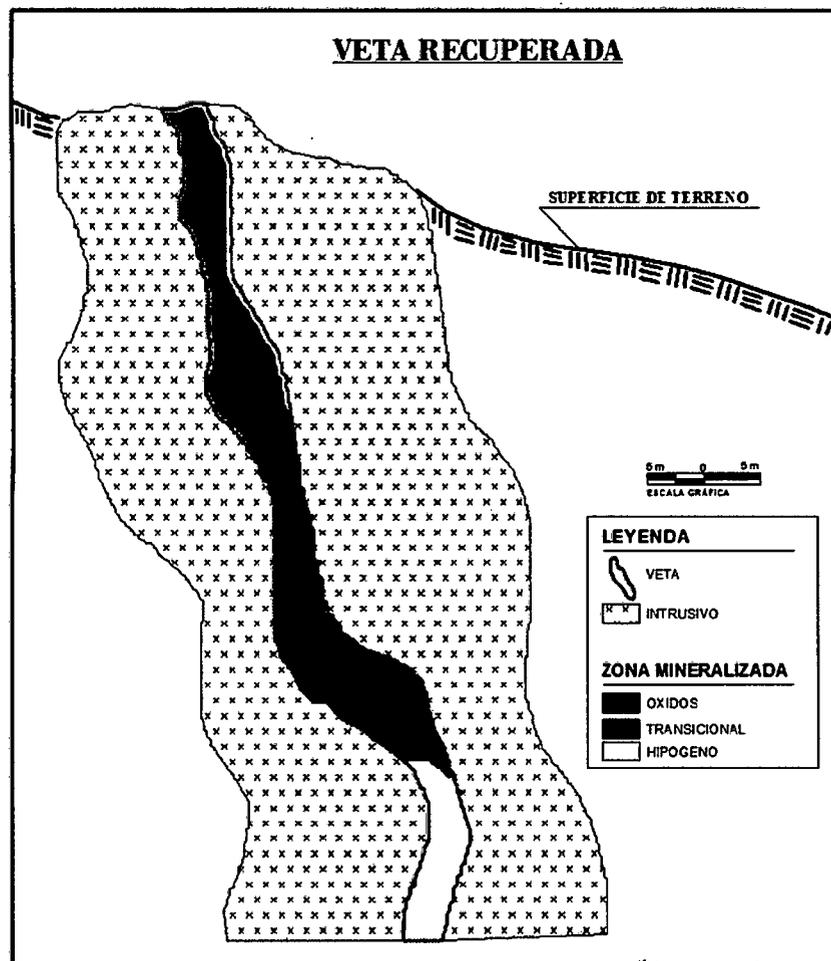


Figura 31: Zonamiento Veta Recuperada.

4.3 SECUENCIA PARAGENÉTICA DE LAS VETAS BACA Y RECUPERADA

4.3.1 SECUENCIA PARAGENÉTICA VETA BACA:

La secuencia paragenética de la veta Baca, consta de minerales tempranos y tardíos que se describen en el siguiente gráfico:

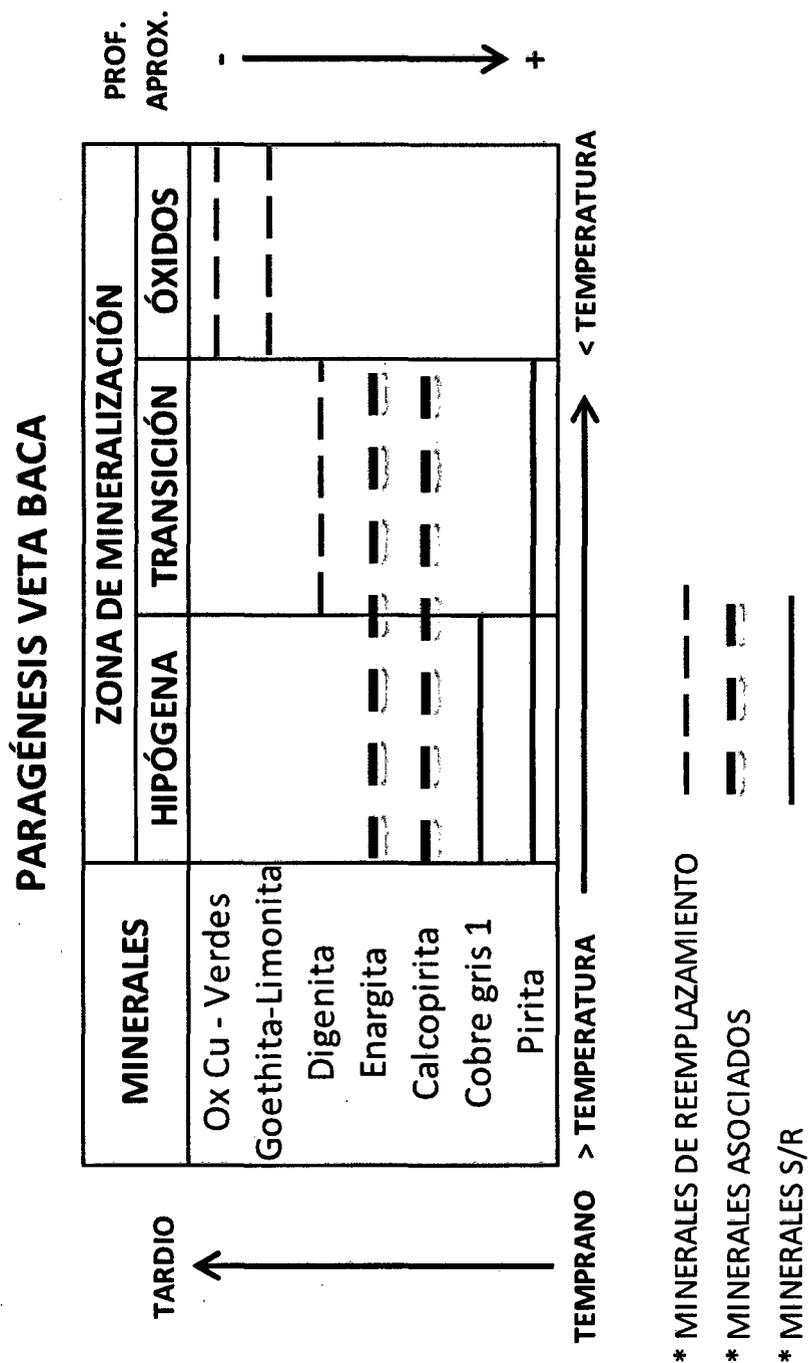


Figura 32: Paragénesis Veta Baca.

4.3.2 SECUENCIA PARAGENÉTICA VETA RECUPERADA:

La secuencia paragenética de la veta Recuperada, consta de minerales tempranos y tardíos que se describen en el siguiente gráfico:

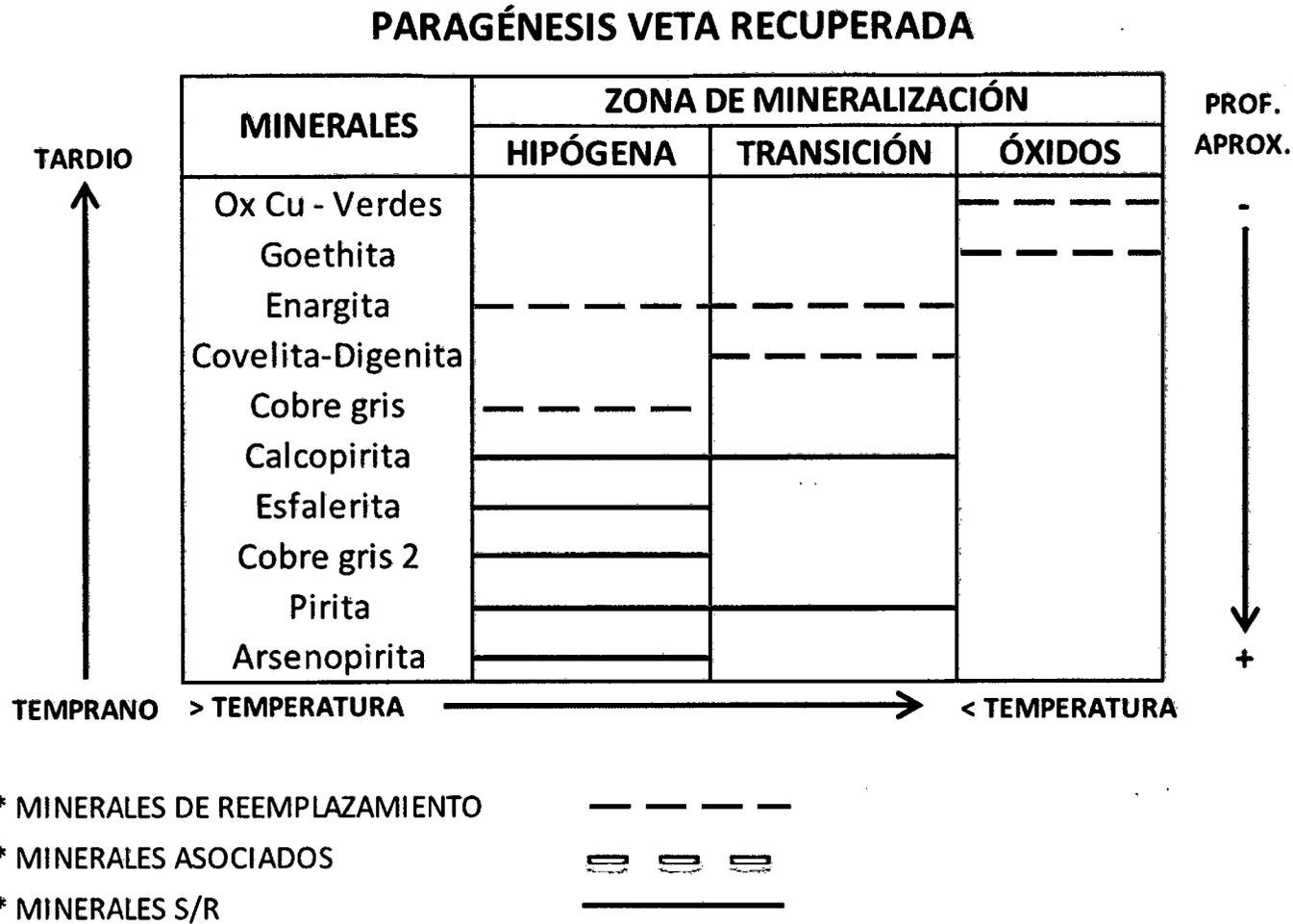


Figura 33: Paragénesis Veta Recuperada.

4.4 MODELO GEOLÓGICO HIPOTÉTICO DE LA FORMACIÓN DE LAS VETAS BACA Y RECUPERADA

ETAPA I. FASE COMPRESIONAL INCA (EOCENO MEDIO).

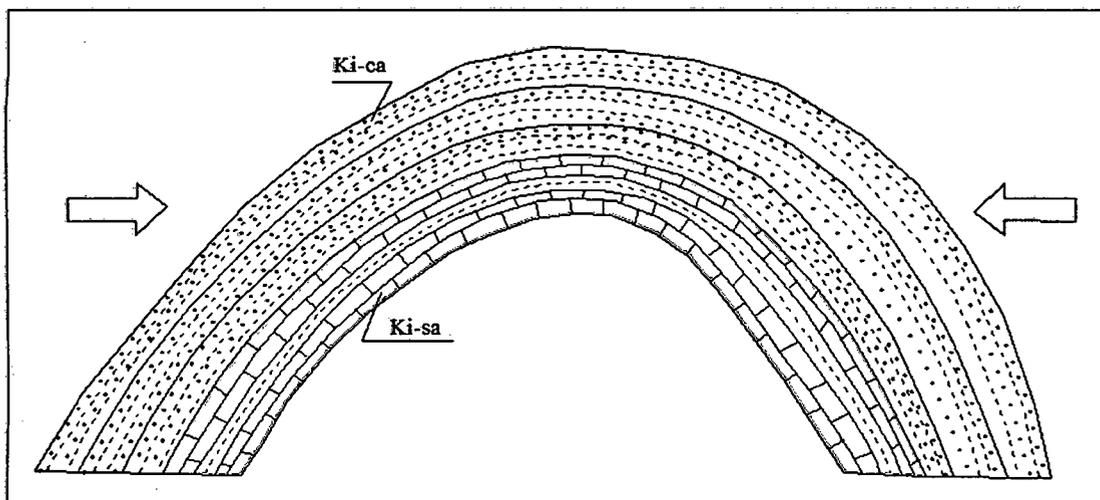


FIGURA 34: Se inicia por los esfuerzos compresivos, generados en la fase compresional Inca.

ETAPA II. (FASE COMPRESIONAL INCA) RÉGIMEN DÚCTIL A FRÁGIL, FORMACIÓN DE FALLAS INVERSAS.

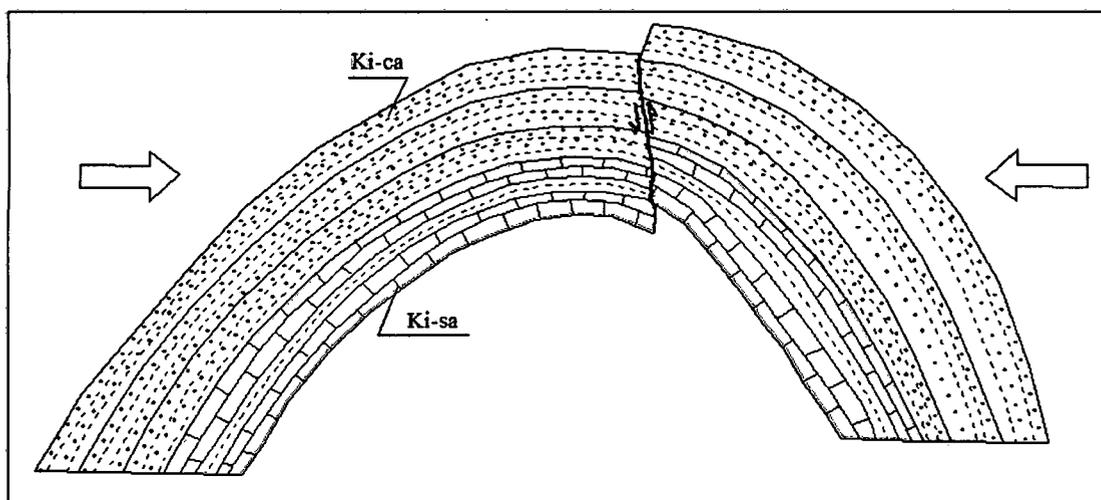


FIGURA 35: Los esfuerzos compresivos permitieron pasar de un régimen dúctil a un régimen frágil, formando fallas inversas.

ETAPA III. EMPLAZAMIENTO DE INTRUSIVOS (PORFIDO DACÍTICO).

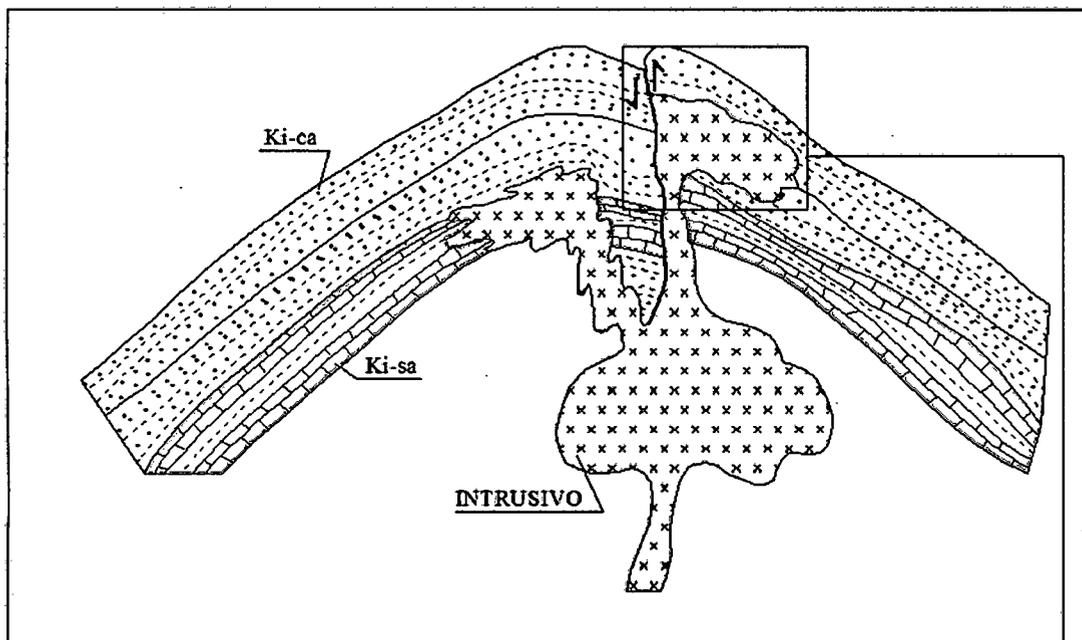


Figura 36: Estas fallas inversas, son zonas de debilidad favorables para el emplazamiento de intrusivos.

ETAPA IV. EVENTO DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL, ALTERACIÓN FILICA (Cuarzo-Sericita).

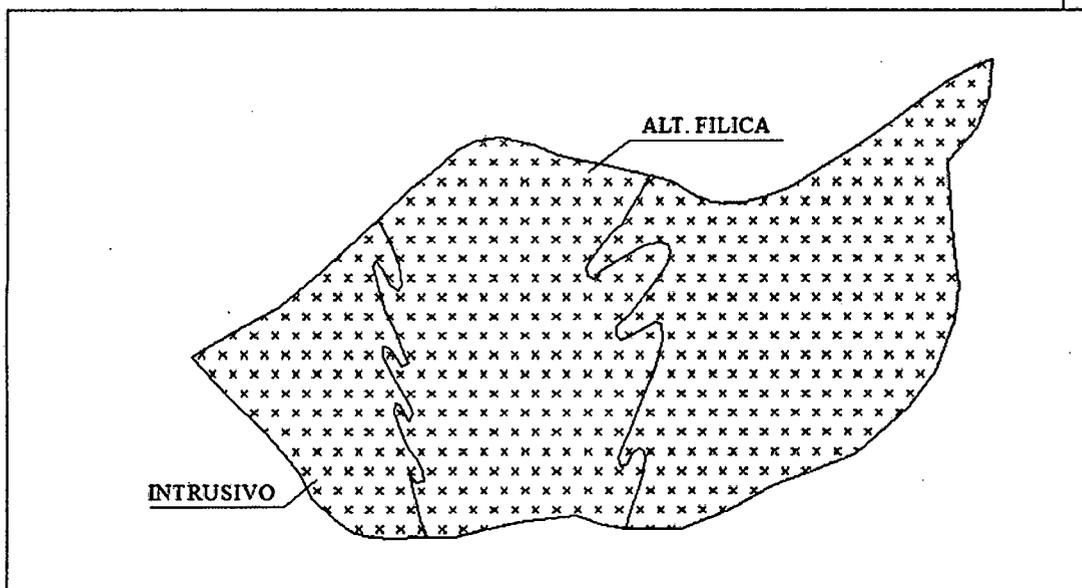


Figura 37: La alteración filica, se superpone a las alteraciones tardías del intrusivo (Potásica y Propilítica).

ETAPA V. EMPLAZAMIENTO DE LAS VETAS BACA Y RECUPERADA.

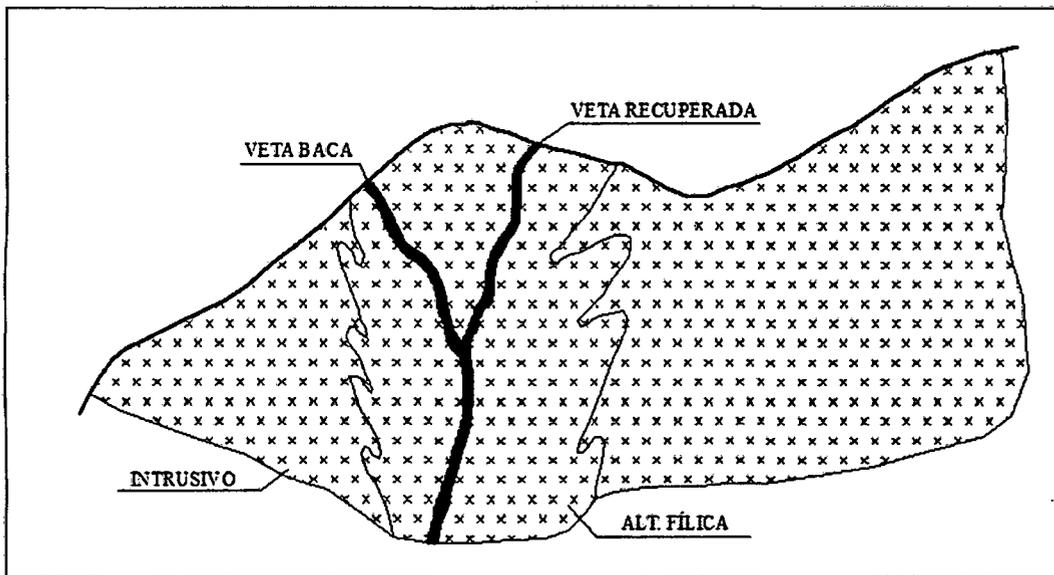


Figura 38: Posteriormente se produce el emplazamiento de las vetas.

ETAPA VI. CIRCULACIÓN DESCENDENTE DE SOLUCIONES SUPÉRGENAS.

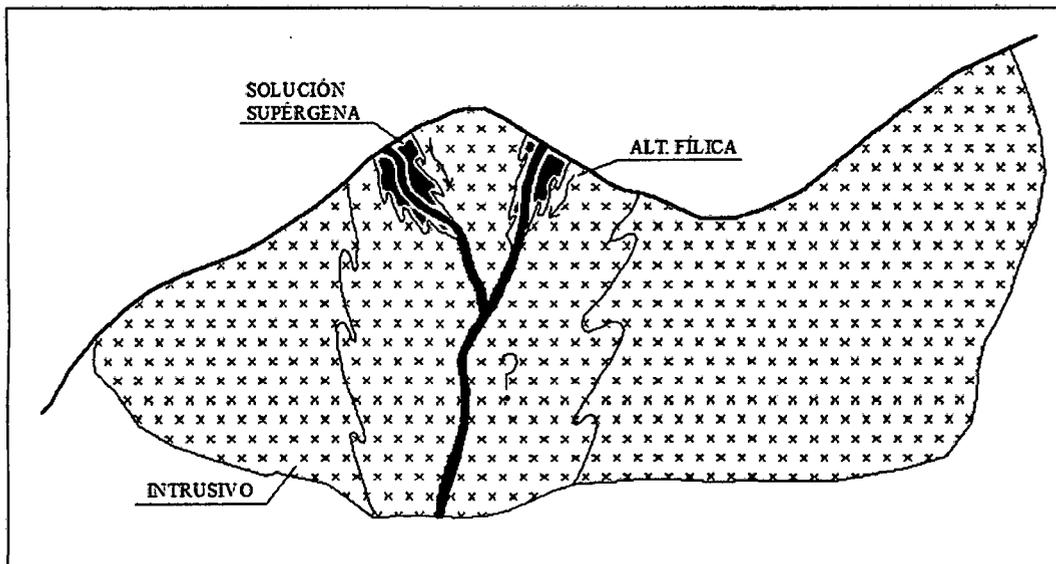


Figura 39: Estas vetas son afectadas por la circulación descendente de soluciones supérgenas.

ETAPA VII ZONAMIENTO DE LAS VETAS BACA Y RECUPIRADA.

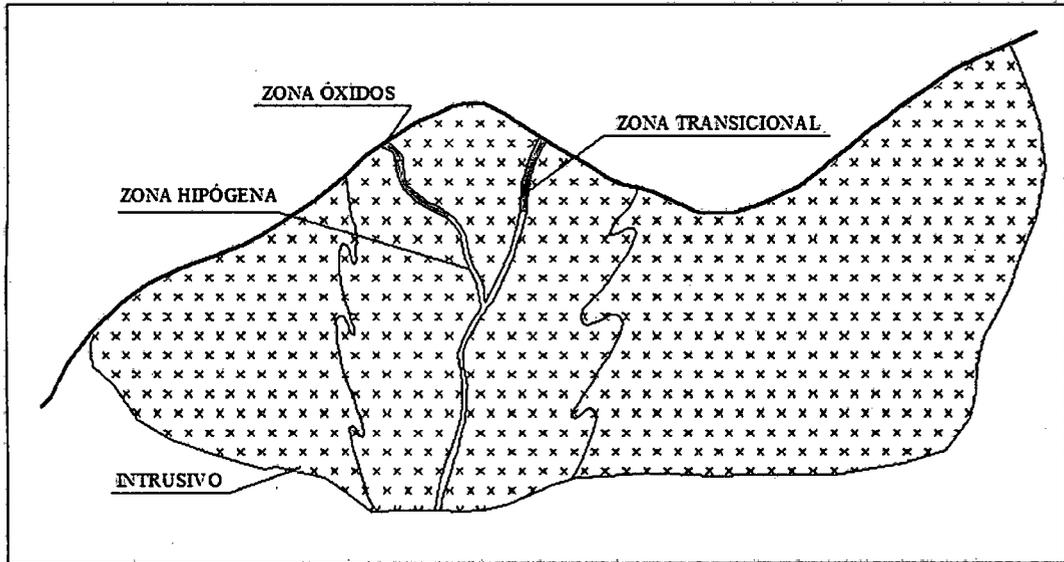


Figura 40: Generándose el zonamiento establecido.

4.5 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los resultados obtenidos de la investigación fueron:

- Se realizó el cartografiado litológico del área, que consta del pórfido dacítico en la parte central, intercalación de lutitas y areniscas (Fm-ca) en la parte SW y la intercalación de lutitas y calizas (Fm-sa) en la parte NE. También se ha cartografiado las alteraciones hidrotermales, presentes en el área de estudio; alteración filica (cuarzo-sericita) y alteración argílica (sericita-caolinita).
- Se han identificado las asociaciones mineralógicas de las vetas Baca y Recuperada, a través del estudio Minerográfico; dichas asociaciones son: veta Baca (óxidos de cobre, goethita, limonita, digenita, pirita, calcopirita, cobre gris 1, enargita) y veta Recuperada (óxidos de cobre, goethita, digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita, esfalerita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita).
- Se elaboró el zonamiento de la veta Baca, que consta de : zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita, limonita), zona transicional (digenita, pirita, calcopirita, enargita) y la zona hipógena(pirita, calcopirita, cobre gris 1, enargita).Veta Recuperada cuyo zoneamiento es: zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita), zona transicional (digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita) y la zona hipógena (pirita, calcopirita, esfalerita, enargita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita).
- Se realizó la secuencia paragenética de las vetas Baca y Recuperada, clasificándolos en minerales tempranos y tardíos. De acuerdo al evento de mineralización.
- Se propone un modelo geológico hipotético, de las vetas Baca y Recuperada; El área de estudio fue afectada por esfuerzos compresivos (eoceno medio), generando fallas inversas , que son zonas de debilidad favorables para el emplazamiento del pórfido dacítico (mioceno inferior-medio), se sobreimpone la alteración filica (cuarzo-sericita) a las alteraciones tardimagmáticas (potásica y propilítica), se produce el emplazamiento de las vetas Baca y

Recuperada, posteriormente se ven afectadas por la circulación descendente de soluciones supérgenas, generando el zonamiento mineralógico establecido.

4.6 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El análisis minerográfico, identifico las asociaciones mineralógicas, de las vetas Baca y Recuperada, proponiéndose el zonamiento vertical respectivo, las cuales consta de la zona de óxidos (óxidos de cobre, goethita, limonita), zona de transición (digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita) y la zona hipógena (pirita, calcopirita, esfalerita, enargita, cobre gris, cobre gris 1, cobre gris 2, arsenopirita).

4.7 INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se determinó que el zonamiento de la mineralización de las vetas Baca y Recuperada, presenta características semejantes al zonamiento de la mineralización en los yacimientos tipo pórfido; cuyas equivalencias de mineralización en los yacimientos tipo pórfido, serían las siguientes;

- Zona de lixiviación: Zona de oxidación
- Zona mixta: Zona de transición
- Zona primaria: Zona hipógena

Por el tipo de intrusivo de la roca caja (pórfido dacítico), el tipo de alteración hidrotermal (cuarzo-sericita) y por el zonamiento mineralógico determinado, las vetas Baca y Recuperada, se tratarían de Sheeted Veins, que son vetas paralelas que se encuentran en los bordes de los yacimientos tipo pórfido.

De acuerdo a la secuencia paragenética, se pudo definir 5 eventos de mineralización en las vetas:

- Evento I: Arsenopirita
- Evento II: Pirita
- Evento III: Esfalerita
- Evento IV: Cobre gris (cobre gris 1, cobre gris 2)
- Evento V: Calcopirita, Enargita

La enargita y los cobres grises, son minerales asociados a yacimientos epitermales de alta sulfuración, por lo cual se deduce que el área de estudio presenta características de un yacimiento tipo pórfido, sobreimpuesto por un evento hidrotermal de alta sulfuración.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Mediante el cartografiado geológico se determinó que en el área de estudio, donde se emplazaron las vetas, afloran las formaciones Santa, Carhuaz y el pórfido dacítico. Además se identificó las alteraciones filica (cuarzo-sericita) y argílica (sericita-caolinita).
- Las asociaciones mineralógicas de las vetas son; veta Baca: óxidos de cobre, goethita, limonita, digenita, pirita, calcopirita, cobre gris 1, enargita; Veta Recuperada: óxidos de cobre, goethita, digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita, esfalerita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita.
- Se definió el zonamiento de las vetas Baca y Recuperada, que están constituidas por la zona de óxidos, zona de transición y la zona hipógena.
- Se determinó la secuencia paragenética de las vetas Baca y Recuperada, en minerales tempranos y tardíos, los cuales están constituidos por 5 eventos de mineralización.
- El modelo geológico hipotético definido, se inicia por los esfuerzos compresivos (eoceno medio), generando fallas inversas, que son zonas de debilidad favorables para el emplazamiento del pórfido dacítico (mioceno inferior-medio), se superpone la alteración filica (cuarzo-sericita) a las alteraciones tardímagmáticas (potásica y propilítica), se produce el emplazamiento de las vetas Baca y Recuperada, posteriormente se ven afectadas por la circulación descendente de soluciones supérgenas, generando las zonas de oxidación, transición e hipógena.

5.2 RECOMENDACIONES

- Determinar el tipo de cobre gris (cobre gris 1 y cobre gris 2), presente en la zona hipógena de cada veta.
- Realizar un muestreo geoquímico, en las áreas aledañas con especial énfasis en los óxidos de cobre verdes, ya que nos podrían brindar información de las cercanías de un posible yacimiento tipo pórfido.
- Con la información de esta área y de las áreas continuas (Shahuindo-epitermal de alta sulfuración), se recomienda una nueva interpretación de la zona, ya que por las características geológicas encontradas en el área, estaríamos frente a un yacimiento del tipo pórfido.
- A través de perforaciones diamantinas, definir mejor el espesor en la zona de transición, ya que por la mineralogía encontrada (digenita, covelita), se cuenta con gran potencial para aumentar las reservas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Dávila J. (2011)**, Diccionario Geológico.
- **Díaz Mario. (2015)**, Estudio mineragráfico de 4 muestras.
- **García Ramos Augusto. (2007)**, Evaluación ambiental y socio-económica de la zona de Algamarca.
- **Jacay J. Arias, Guadalupe E., Sánchez J (2003)**, Estilo estructural de los yacimientos minerales en la franja Huamachuco-Cajabamba: Andes Norperuanos, p 8.
- **Maksaev Víctor. (2001)**. Procesos mineralizadores, p 4-5, 9-10.
- **Machare José. (1994)**, Configuración tectónica del Perú.
- **Robles Marquina María. (2009)**, Control estructural y potencial exploratorio del distrito Minero Conga, Cajamarca-Perú, p 69-72.
- **Rivera Mantilla Hugo .Ingemmet (1995)**, Geología del Perú, Lima-Perú, p 64.
- **Reyes Rivera Luis. Ingemmet (1980)**, Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, Boletín N° 31, Lima-Perú, p 27-31,45-47 ,49-52.
- **Sánchez Rodas Ramón. (2012)**, Determinación de los vectores de mineralización y zonamiento de alteraciones hidrotermales del proyecto Shahuindo-Perú, p 48.
- **Turner D. (1997)**, Marco tectónico de los Andes Peruanos del norte y del distrito de Cajamarca.
- **Titley and Marozas (1993)**, Processes and products of supergene copper enrichment, p 160-164.

LINCOGRAFIA

- [Citado el 15 de agosto del 2014] disponible en :
pendientedemigracion.ucm.es/info/petrosed/doc/tecnicas_petrograficas.pdf
- [Citado el 10 de enero del 2014] disponible en: monografias.com/trabajos21/metodo-cientifico/metodo_cientifico.shtml#ixzz33sKeHHxf
- [Citado el 24 de marzo del 2015] disponible en:
laboratorio.ingemmet.gob.pe:8980/c/document_library/get_file?

ANEXOS

**FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO DE LA ELABORACION DE SECCIONES
PULIDAS Y DELGADAS.**



Foto 13: Preparación de las rocas que se van a cortar, se marcan las siglas de campo y elegimos el plano de corte.

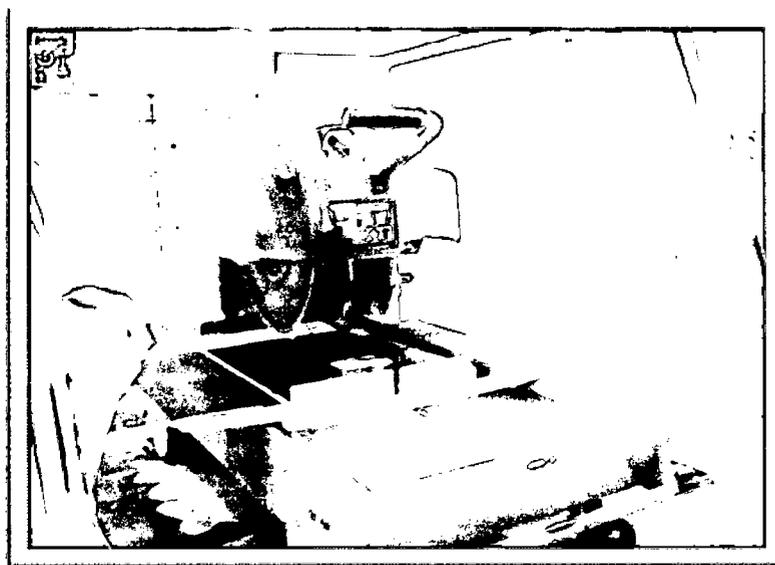


Foto 14: Para cortar las rocas utilizamos, una cortadora de disco adiamantado y refrigerado por agua.

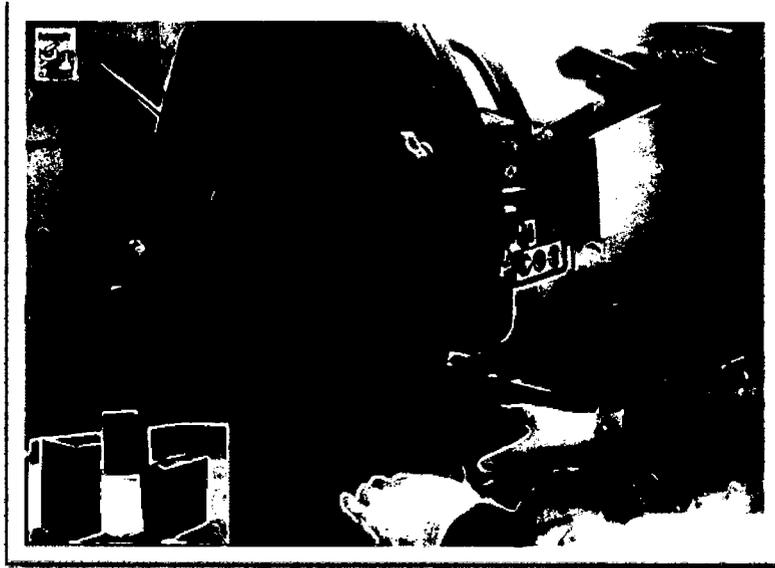


Foto 15: Cortamos las rocas en prismas rectangulares (tacos), de dimensión aproximada; 4x3x1 cm.



Foto 16: El taco se debe desbastar por una de las caras, utilizando polvo de carburo de silíceo de diferente textura de grano.



Foto 17: Sobre la cara pulida del taco se pega la porta, utilizando epoxy y haciendo presión para que no queden burbujas.

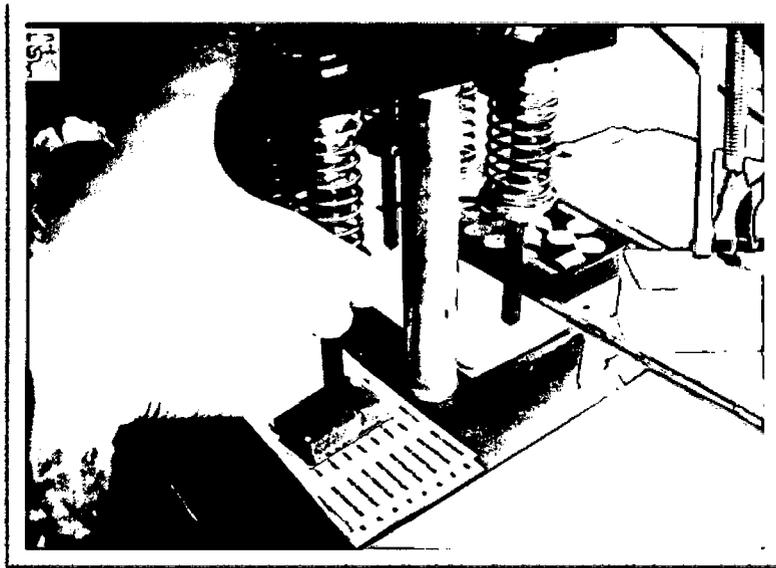


Foto 18: Para conseguir un mejor resultado, podemos utilizar las prensa durante unos minutos.

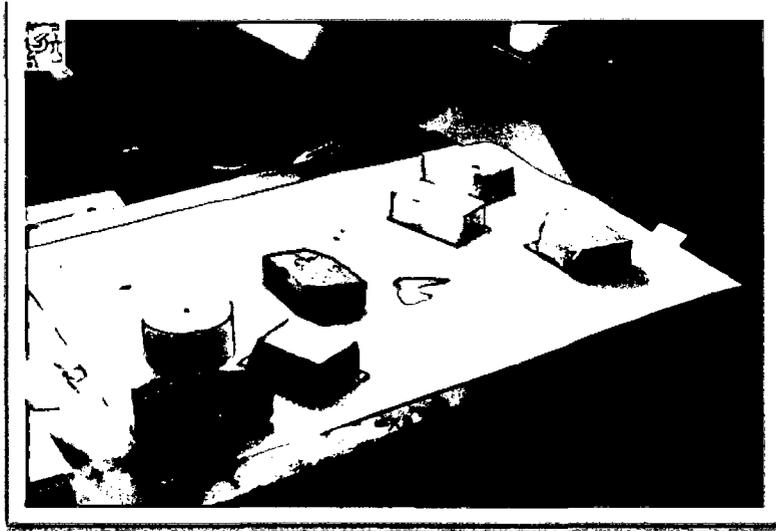


Foto 19: Dejaremos los tacos sobre la plancha caliente unos minutos, una vez pegados los tacos ya estaran preparados para cortar.



Foto 20: Antes de cortar el taco marcaremos, con un lapiz de diamante y sobre el porta de cristal, las siglas y orientacion del taco.



Foto 21: Realizamos un primer corte del taco con la cortadora, sacando una lámina de 1mm de espesor.

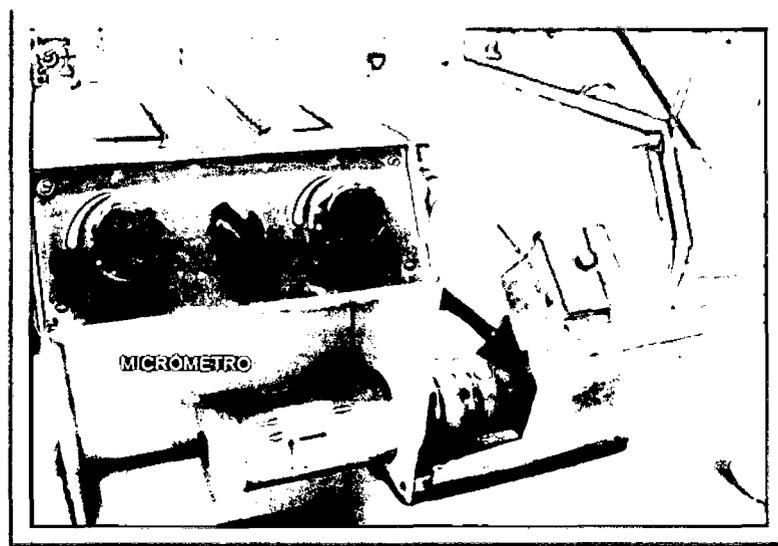


Foto 22: La lámina de 1mm de espesor se montará en el portamuestras y posteriormente con la rectificadora, haremos un segundo corte para reducir la lámina a 300 μm .



Foto 23: Realizaremos el corte en la rectificadora y despues pasaremos a la desbastadora.



Foto 24: En la desbastadora, las láminas se someten a una abrasion programada (dependiendo del grosor de la lámina , dureza de la roca) y se reducen a 30 um.



Foto 25: Controlaremos el espesor de la lámina, a través de los colores de interferencia de los minerales observados bajo el microscopio.



Foto 26: Por último, las láminas se pueden pasar por la pulidora, utilizando abrasivos muy finos (óxido de aluminio, óxido de cerio) de tamaño de partícula 0.005 μm .