

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

**DETERMINACIÓN PETROGRÁFICA Y ALTERACIONES
HIDROTERMALES ASOCIADAS A LA MINERALIZACIÓN DE ORO Y
COBRE EN EL PROYECTO MIRADOR, TANTAHUATAY
CAJAMARCA-PERÚ**

Presentado por:

Bach. ZORAIDA ELIZABETH RAMÍREZ DE LA CRUZ

Asesor:

Ing. M.Cs. JOSÉ ALFREDO SIVERONI MORALES

Cajamarca - Perú

Agosto - 2015

DEDICATORIA

A mis queridos padres Dina y Elmo que con su gran esfuerzo y sus desvelos lograron darme la mejor educación y me motivaron en el logro de mis metas e ideales y por su apoyo incondicional en mis deseos de superación personal y profesional.

A mis hermanos Rosabel, Edgard, Maribel, Elmo y Christian por su comprensión y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar “**A DIOS**”, por haberme dado la vida y orientarme por la rama de la Geología.*

*Gracias a la Compañía de Minas Buenaventura, que me dio la oportunidad de desarrollarme en el área de exploraciones; y permitirme elaborar la presente tesis, así mismo hago extensivo el agradecimiento al **Ing. Juan Calizaya**, Jefe de Exploraciones de Compañía Minera Coimolache S.A, por brindarme las facilidades para la realización de este trabajo y al **Ing. Jorge Mantilla**, Geólogo Asistente por el apoyo y orientación en dicho trabajo.*

*De la misma manera agradezco a los docentes de la **EAPIG** de la Universidad Nacional de Cajamarca, y en especial al asesor de esta tesis, **Ing. José, Siveroni Morales**, quien con su orientación y revisión, fue posible la publicación de esta tesis.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<i>Pág.</i>
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	ix
RELACIÓN DE PLANOS.....	x
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	4
2.2.1. DEPÓSITOS EPITERMALES.....	4
2.2.2. PETROGRAFÍA.....	9
2.2.3. ALTERACIÓN HIDROTERMAL.....	10
2.2.4. ENSAMBLES DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL.....	15
2.2.5. ESPECTROSCOPÍA DE REFLECTANCIA APLICADA (TERRA SPEC).....	17
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	21
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	24
3.2. PROCEDIMIENTO.....	25
3.2.1. Etapa preliminar de Gabinete.....	25
3.2.2. Trabajo de Campo.....	25
3.2.3. Trabajo de Gabinete.....	26

3.3. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	26
3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS Y PROGRAMAS UTILIZADOS..	27
•Specmin.....	27
•Arc Gis.....	27
3.3.2. HERRAMIENTAS GRÁFICAS.....	27
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
4. 1.ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	30
4.1.1.Litología.....	30
4.1.2.Alteraciones Hidrotermales.	37
4.1.3.Geoquímica.....	40
4.2.RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
4.2.1. Determinación Petrográfica.....	43
4.2.2. Estudio de los ensambles de alteraciones hidrotermales.....	46
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	67
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1.CONCLUSIONES.....	68
5.2.RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
REFERENCIAS LINKOGRAFICAS.....	72
ANEXOS	73

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Minerales de diagnóstico de varios estados de pH.....	6
Cuadro 2. Rasgos mayores de absorción.....	20
Cuadro 3. Características de absorción de las arcillas.....	20
Cuadro 4. Determinación de los principales minerales de alteración.....	29
Cuadro 5. Descripción macroscópica de muestras del Proyecto Mirador.....	31
Cuadro 6. Rangos Geoquímicos de oro (Au) y cobre (Cu).....	40
Cuadro 7. Descripción porcentual de minerales.....	44
Cuadro 8. Clasificación macroscópica-microscópica de muestras.....	45
Cuadro 9. Minerales de alteración principales y secundarios.....	66
Cuadro 10. Ensamblajes por tipo de Alteraciones.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo de yacimientos Epitermales.....	4
Figura 2. Modelo Idealizado de mineralización en los sistemas hidrotermales. Alta versus baja Sulfuración.....	8
Figura 3. Esquema de Alta y Baja sulfuración.....	8
Figura 4. Ejemplos de Texturas Ígneas.....	10
Figura 5. Ambientes en los que se forman fluidos ácidos y alteración argílica avanzada	14
Figura 6. Espectro electromagnético para el Terra Spec.....	17
Figura 7. Terra Spec ensamblado	18
Figura 8. Componentes del espectro.....	19
Figura 9. Mapa de Ubicación de la Unidad Minera de Tantahuatay.....	19
Figura 10. Ficha de descripción Macroscópica-Microscópica.....	28

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Espectro de Sílice: Muestra MT14-175	47
Gráfico 2. Espectro de Alunita Potásica: Muestra MTV-196.....	51
Gráfico 3. Espectro de Alunita Potásica: Muestra MTV-234.....	51
Gráfico 4. Espectro de Pirofilita: Muestra MTV-322.....	54
Gráfico 5. Espectro de Dickita: Muestra MT14-488	57
Gráfico 6. Espectro de Kaolinita: Muestra MT14-193	60
Gráfico 7. Espectro de Illita: Muestra MT14-439.....	63

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Fotomicrografía de la Muestra M-47.....	32
Fotografía 2. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 183.....	32
Fotografía 3. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 190.....	33
Fotografía 4. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 191.....	33
Fotografía 5. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 192.....	34
Fotografía 6. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 193.....	34
Fotografía 7. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 198.....	35
Fotografía 8. Muestra MT14-175, Silice Vuggy	47
Fotografía 9. Muestra MTV-196, Alunita Potásica	50
Fotografía 10. Muestra: MTV-234, Alunita Sódica.	51
Fotografía 11. Muestra: Muestra: MTV-322, Pirofilita.....	54
Fotografía 12. Muestra: Muestra: MT14-488, Dickita.....	57
Fotografía 13. Muestra: MT14-193, Kaolinita.....	60
Fotografía 14. Muestra: Muestra: MT14-439, Illita.....	63

RELACIÓN DE PLANOS

	Pág.
Plano 1. Ubicación de las muestras petrográficas.....	36
Plano 2. Alteraciones Hidrotermales del Proyecto Mirador.....	38
Plano 3. Ubicación de Muestras para Análisis Terraspec.	39
Plano 4. Geoquímica de Oro- Proyecto Mirador.	41
Plano 5. Geoquímica de Cobre- Proyecto Mirador.	42
Plano 6. Isovalores de Au con muestras Silice-Opalo	48
Plano 7. Isovalores de Cu con muestras Silice-Opalo	49
Plano 8. Isovalores de Au con muestras Alunita	52
Plano 9. Isovalores de Cu con muestras Alunita	53
Plano 10. Isovalores de Au con muestras de Pirofilita.....	55
Plano 11. Isovalores de Cu con muestras de Pirofilita.....	56
Plano 12. Isovalores de Au con muestras de Dickita	58
Plano 13. Isovalores de Cu con muestras de Dickita.....	59
Plano 14. Isovalores de Au con muestras de Kaolinita.....	61
Plano 15. Isovalores de Cu con muestras de Kaolinita.....	62
Plano 16. Isovalores de Au con muestras de Illita.....	64
Plano 17. Isovalores de Cu con muestras de Illita.....	65

LISTA DE ABREVIACIONES

And:	Andesita
Bx:	Brecha
BxH:	Brecha Hidrotermal
BxFr:	Brecha Freática
Aln:	Alunita
AlnK:	Alunita Potásica
AlnNA:	Alunita Sódica
Prft:	Pirofillita
Dick:	Dickita
Si:	Silice
Kao:	Kaolinita
Illi:	Illita

RESUMEN

El proyecto Mirador está localizado en el distrito de Hualgayoc, Cajamarca – Perú y es un yacimiento epitermal de alta sulfuración el cual presenta una intensa alteración hidrotermal de sílice y argílico avanzado desarrollada en rocas volcánicas; es por esta intensidad de alteración que en las unidades litológicas no se diferencian sus características texturales y tampoco se reconocen sus minerales ya que estos fueron obliterados dificultando así reconocer el protolito.

Es por esto que en el presente trabajo de investigación se centró en la determinación de las características petrográficas y las alteraciones hidrotermales que han permitido la ocurrencia de mineralización de Oro y Cobre mediante estudios petrográficos y de las alteraciones hidrotermales.

Los resultados del análisis de los estudios petrográficos están dados principalmente por rocas Andesíticas de grano medio las mismas que son cortadas por brechas freáticas y canales de brechas hidrotermales, así mismo gracias a la utilización del equipo Terra Spec se determinó ensambles de sílice que son característicos de la alteración sílice masiva (SM), sílice granular (SG) y sílice vuggy (SV); alunita y pirofilita para la alteración argílica avanzada (ArgIAvd); kaolinita, dickita e illita para la alteración argílica (ArgI). Es así que la mineralización de oro está asociada generalmente a las brechas hidrotermales y en cuanto a las alteraciones hidrotermales está asociada principalmente a la sílice masiva, vuggy y granular así como con la alteración argílico avanzado (alunita), mas no están asociadas favorablemente con la mineralización de cobre.

Palabras Claves: Yacimiento epitermal, alta sulfuración, petrografía, alteración hidrotermal, mineralización.

ABSTRACT

El Mirador project is located in the district of Hualgayoc , Cajamarca - Peru and is a high sulphidation epithermal deposit and has an intense hydrothermal alteration of silica and advanced argillic developed in volcanic rocks ; It is this intensity of alteration in the lithological units textural characteristics do not differ nor its minerals are recognized as these were obliterated it difficult to recognize the protolith .

That is why in the present investigation focused on the determination of petrographic features and hydrothermal alterations that have allowed the occurrence of gold and copper mineralization by petrographic and hydrothermal alteration studies.

The analysis results of petrographic studies are mainly given by andesitic rocks of medium grain thereof being cut by groundwater gaps and channels of hydrothermal breccias, also thanks to the use of equipment Terra Spec assemblies silica that are characteristic of determined massive alteration silica (SM), granular silica (SG) and vuggy silica (SV); alunite and pyrophyllite for advanced argillic alteration (ArglAvd); kaolinite, dickite and illite for argillic alteration (Alg). Thus, the gold mineralization is generally associated with hydrothermal breccias and in terms of hydrothermal alteration is associated mainly to the massive, vuggy and granular silica as well as the advanced argillic alteration (alunite), but they are not associated favorably with copper mineralization.

Keywords: epithermal processes, high sulfidation, petrography, hydrothermal alteration, mineralization.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La presente tesis se elaboró en el Proyecto Mirador perteneciente a la Unidad de Producción de Tantahuatay, ubicado entre los Distritos de Hualgayoc y Chugur, Provincia de Hualgayoc (Cajamarca - Perú); a una altitud de 4000 msnm, es un depósito típico de un sistema ácido-sulfato (alta sulfuración) y en su evolución geológica es común la intensa alteración hidrotermal de sílice y argílico avanzado desarrollada en rocas volcánicas subaéreas.

Es por esa intensidad de alteración que se extiende en el Proyecto de Mirador por lo que en las unidades litológicas no se diferencian sus características texturales y tampoco se reconocen sus minerales, estos fueron obliterados y los minerales primarios fueron reemplazados. Así mismo se observa que el zonamiento de alteración es transicional y presenta sobreimposición de minerales de alteración que dificultan reconocer el protolito por lo que determinaremos las características petrográficas y las alteraciones hidrotermales que han permitido la ocurrencia de mineralización de Oro y Cobre mediante estudios petrográficos y de las alteraciones hidrotermales.

Por lo tanto se formuló el siguiente problema ¿Cuáles son las características petrográficas y los ensambles de alteración que están asociados a la ocurrencia de mineralización de oro y cobre en el Proyecto Mirador, Tantahuatay-Cajamarca?

Planteándose como hipótesis que Las características Petrográficas y alteraciones hidrotermales están asociadas a la mineralización de oro y cobre que constituyen el yacimiento de Mirador.

La investigación es descriptiva, No experimental-Transversal, Correlacional (IV Nivel) y Causal, la cual tiene como Objetivo general: Determinar las características petrográficas y los ensambles (minerales) de alteración asociados a la ocurrencia de mineralización de oro y cobre en el Proyecto de Mirador, y tiene como objetivos específicos: Caracterizar cada unidad litológica mediante estudios petrográficos, caracterizar las alteraciones hidrotermales por ensambles de minerales de alteración

mediante el equipo Terraspec y determinar la ocurrencia de los minerales de oro y cobre relacionada a las alteraciones hidrotermales.

Es por esto la importancia de la tesis ya que con el presente trabajo de investigación determinaremos las características Petrográficas, los ensambles y zonamiento de las alteraciones hidrotermales presentes, así como nos brindará alcances de la Paragénesis de la mineralización de Oro y Cobre en los prospectos mencionados; así mismo el entendimiento de los minerales de alteración relacionados a menas de oro-cobre nos permitirán encontrar vectores de ensambles mineralógicos y que nos ayudará en la búsqueda de nuevos descubrimientos.

Los alcances de la investigación constan de las características petrográficas y las alteraciones hidrotermales del yacimiento para lo cual se ha aplicado la cartografía, muestreo y la interpretación de estudios petrográficos y de lecturas terraspec.

En el capítulo II se detalla el marco teórico, bases teóricas y las definiciones generales del yacimiento. En el Capítulo III se detalla la ubicación y metodología de la investigación desarrollado en gabinete y campo, como técnicas de procesamiento de datos y descripción de programas utilizados; posteriormente en el Capítulo IV se desarrolla los resultados de la investigación y análisis de las características petrográficas y alteraciones hidrotermales del yacimiento. Por ultimo en el capítulo V se desarrollan conclusiones y recomendaciones finales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Tosdal (1996). *Geología y estudio estructural de los campos volcánicos en Tantahuatay asociados a mineralización de Cu-Au de alta sulfuración en el norte del Perú.* Donde estudiaron y mapearon un área de 12 km² del complejo volcánico de THY, así mismo analizaron 133 muestras para determinar principalmente sus ensamblajes, concluyendo en un modelo genético que consiste en un estado magmático inicial de vapor en el cual los ensamblajes de arcillas fueron formados por una fase acuosa que transportó los metales introducidos, considerando el ensamblaje cuarzo-alunita mas la silicificación como fases transitorias de la alteración a la mineralización.

Hoyt (1997). *Geología, Estructuras y alteración hidrotermal en los complejos volcánicos al Este de Tantahuatay.* Donde se estudia el vulcanismo de Tantahuatay que consiste en volúmenes de andesita piroclásticas y erupciones dacíticas que preceden y acompañan a erupciones de domos andesíticos de composición calcoalcalina y que la alteración hidrotermal está dada principalmente por los ensamblajes de alteración: cuarzo-caolín (argílico), cuarzo-alunita-pirofilita (argílico avanzado) y vuggy sílica. Así mismo se expone que el potencial mineral en el área incluye la oxidación poco profunda de oro en sílice vuggy y cuerpos de brecha hidrotermal.

Miranda (2003). *Informe Petrográfico de 24 muestras de Prospectos Tantahuatay y Conga.* Donde se realiza el estudio de un total de 24 muestras, 18 muestras de Tantahuatay y 06 del proyecto Conga mostrándose microfotografías de secciones delgadas a 100 aumentos y en Nícoles cruzados.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. DEPÓSITOS EPITERMALES

Son depósitos minerales en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales con temperaturas que varían desde menos de 100 °C hasta 320° C. Estos depósitos se encuentran principalmente en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes de continentes o arcos de islas. A estos yacimientos se asocia una mineralización principalmente de oro y plata con presencia mayor o menor de sulfuros de metales base en general cobre, plomo y zinc. La mineralización se da principalmente en vetas, vetillas o diseminaciones asociadas algunas veces a intensas zonas de brechamiento.

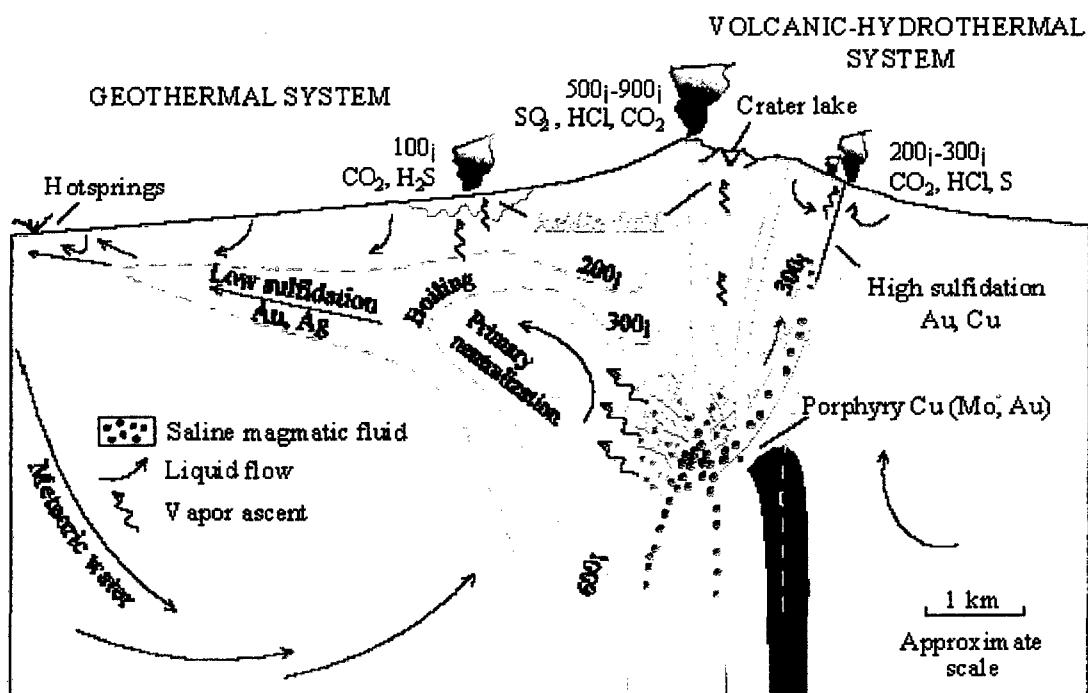


Figura 1: Modelo de yacimientos Epitermales. (Hedenquist, 1987)

Se conocen dos estilos de mineralización: 1).Alta sulfuración y 2).Baja sulfuración. El primero se encuentra relacionado con clásicos fenómenos volcánicos tipo aparato central o calderas; sistemas ricos en azufre que dan origen a facies de alteración tipo argílica avanzada, con otras facies que incluyen intensa silicificación y Propilitización. El segundo se encuentra relacionado con manifestaciones tipo campo geotérmico y

las facies de alteración presentes son principalmente de tipo potásica y clorítica. (Hedenquist, 1987)

2.2.1.1. Clasificación de los Depósitos Epitermales.

Hay una variedad de términos que han sido usados para clasificar a los depósitos epitermales. Esta variedad de términos ha causado confusión, por lo que se requiere una explicación acerca del origen de los diferentes términos utilizados. Lindgren, 1933 distinguió dos tipos de epitermales sobre la base de su asociación metálica, destacando la asociación alunita - oro a partir de los trabajos de Ransome (1909). Ashley (1982) definió el término enargita-Au según los dos minerales más característicos de este tipo. Giles y Nelson (1982) introdujeron el término "hot-spring" para denominar a este tipo de yacimientos, después de que se descubrió el depósito de McLaughlin, USA, por debajo del "sinter". Bonham (1986) propuso los términos de sulfuro alto y sulfuro bajo para referirse a la cantidad total de sulfuros en un depósito. Hayba et al. (1985) y Heald et al. (1987) proponen los términos ácido-sulfato y adularia-sericita en base a la mineralogía y a los tipos de alteración presentes en estos depósitos epitermales.

Por su parte Berger y Henley (1989) propusieron el término caolinita-alunita en sustitución de ácido-sulfato para destacar los minerales de alteración característicos en esta nomenclatura. La denominación de los términos de alta sulfuración y baja sulfuración fue propuesta por Hedenquist (1987) sobre la base del estado de oxidación-reducción del azufre en los fluidos de sistemas geotérmicos actuales.

El término de "alta sulfuración" se acuñó para denominar fluidos de carácter oxidado y ácido (azufre en estado de oxidación +6 ó +4, en forma de SO_4^{2-} o SO_2), típicos de fuentes termales ácidas o próximas a volcanes. El término "baja sulfuración" se utilizó para denominar fluidos reducidos de pH aproximadamente neutro, donde el azufre se presenta en su estado de oxidación -2, como sucede en sistemas geotérmicos distantes a la fuente de calor principal.

Las características claves que distinguen a un depósito epitermal son particularmente mineralógicas, con los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales. Los minerales de ganga característicos del estado de AS son: alto contenido de pirita, enargita, luzonita, digenita, calcosita, famatinita, novelita; y una alteración argílica

avanzada caracterizada por cuarzo, cuarzo residual (“vuggy”), alunita, pirofilita y caolinita/dickita. (Arribas, 1995; Sillitoe, 1999). Los minerales de ganga característicos del estado de BS son: cuarzo (incluyendo calcedonia), pirita, esfalerita, arsenopirita, pirrotita y loellingita; y una alteración argílica-sericítica caracterizada por cuarzo, adularia, illita y calcita.

Cuadro 1: Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes epitermales formadores de mineral.

PH ácido		PH neutro
Alunita, caolinita (dickita) pirofilita, sílice residual, cuarzo vuggy		Cuarzo -adularia± illita, calcita
Alta Sulfuración Pirita-enargita±luzonita, covelita-digenita, oropimente	Sulfuración Intermedia Tennantita, tetraedrita, hematita-pirita-magnetita, calcopirita, esfalerita-pirita pobre en Fe	Baja Sulfuración Arsenopirita – loellingita – pirrotita, esfalerita – pirita rica en Fe
Oxidado Alunita, hematita-magnetita		Reducido Magnetita – pirita – pirrotita, clorita - pirita

Fuente: Einaudi, 2003

2.2.1.2. Depósitos de Alta Sulfuración (High Sulfidation Deposits)

Llamados también tipo sulfato ácido, son depósitos epitermales cuya mineralización ocurrió a partir de fluidos hidrotermales calientes y ácidos, a profundidades de 1 a 2 Km; la temperatura de los fluidos varía de 100 °C a 320 °C y pueden alcanzar la superficie como fumarolas (Giggenbach, 1992; Hedenquist, 1995). Estos depósitos ocurren ampliamente en arcos de volcanismo activo ocasionado generalmente por placas tectónicas en subducción. Comúnmente se relacionan a volcanismo tipo tras arco (Back Arc) y se ubican en posición intermedia entre intrusiones subvolcánicas y la superficie; esta conclusión está basada en estudios geológicos (Sillitoe, 1983, 1989, 1991) y geoquímicos (Rye, 1993; Hedenquist et al., 1994). Pueden contener metales preciosos, Au - Ag; y metales base, Cu, Pb, Zn, Bi, etc.

La mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos. Los de “baja sulfuración” son reducidos y tienen pH cercano al neutro y los de “alta sulfuración” que son oxidados y ácidos, pH de 1 – 5, (Hedenquist, 1987). Los términos de alta y baja sulfuración se refieren al estado de oxidación del azufre.

En los de alta sulfuración el azufre se presenta como S^{4+} en forma de SO_2 (oxidado) y en los de baja sulfuración como S^{-2} en forma de H_2S (reducido). Los fluidos de alta sulfuración se derivan principalmente de una fuente magmática y depositan metales cerca de la superficie cuando el fluido se enfría o se diluye mezclándose con aguas meteóricas (Hedenquist, 1987).

Los metales preciosos en solución derivan directamente del magma o pueden ser lixiviados de las rocas volcánicas huéspedes a medida que los fluidos circulan a través de ellas.

En ambos tipos de depósitos (LS y HS) los fluidos circulan hacia la superficie a través de fracturas en las rocas y la mineralización a menudo se presenta en esos conductos (mineralización controlada estructuralmente), pero también pueden circular por niveles de rocas permeables y eventualmente mineralizar ciertos estratos. Los fluidos de baja sulfuración generalmente forman vetas de relleno con metales preciosos o series de vetas/vetillas más finas, denominadas “stockwork” o “sheeted-veins”. Los fluidos de alta sulfuración más calientes y ácidos penetran más en las rocas huéspedes originando cuerpos mineralizados vetiformes, pero también diseminación en las rocas. Los depósitos de oro de baja sulfuración pueden contener cantidades económicas de Ag y cantidades menores de Pb, Zn y Cu, mientras los de sistemas auríferos de alta sulfuración a menudo producen cantidades económicas de Cu y algo de Ag. Otros minerales asociados con los de baja sulfuración son el cuarzo (incluyendo calcedonia), carbonato, pirita, esfalerita y galena, mientras los de alta sulfuración contienen cuarzo, alunita, pirita y enargita.

El ambiente tectónico que se emplazan son en los marcos tensionales y transtensionales, comúnmente en arcos volcánico - plutónicos de márgenes continentales, arcos de islas y tras - arco. En zonas con emplazamiento magmático de alto nivel, donde los estratovolcanes y otros edificios volcánicos se construyen sobre plutones.

Los controles de mineralización se pueden dar en edificios volcánicos – anillos de caldera y fracturas radiales; conjuntos de fracturas en domos resurgentes y complejos de domos de flujo, chimeneas de brechas hidrotermales y diatremas. Fallas y brechas alrededor de centros intrusivos. Litologías permeables, en algunos casos con cubiertas menos permeables de rocas alteradas u otras cubiertas rocosas. (Figura 2).

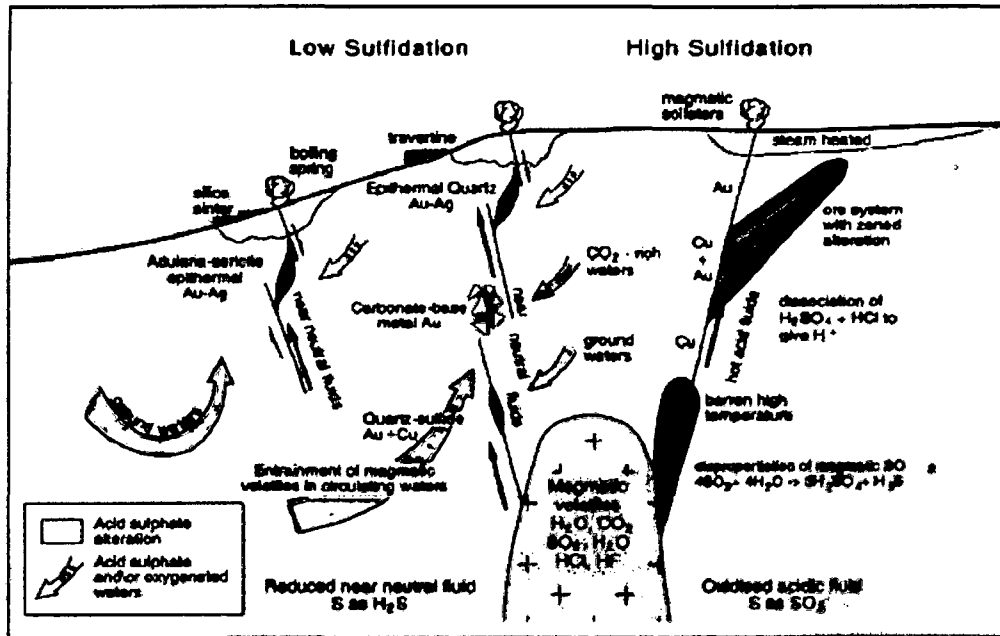


Figura 2: Modelo Idealizado de mineralización en los sistemas hidrotermales. Alta versus baja Sulfuración. (Corbett, 2005)

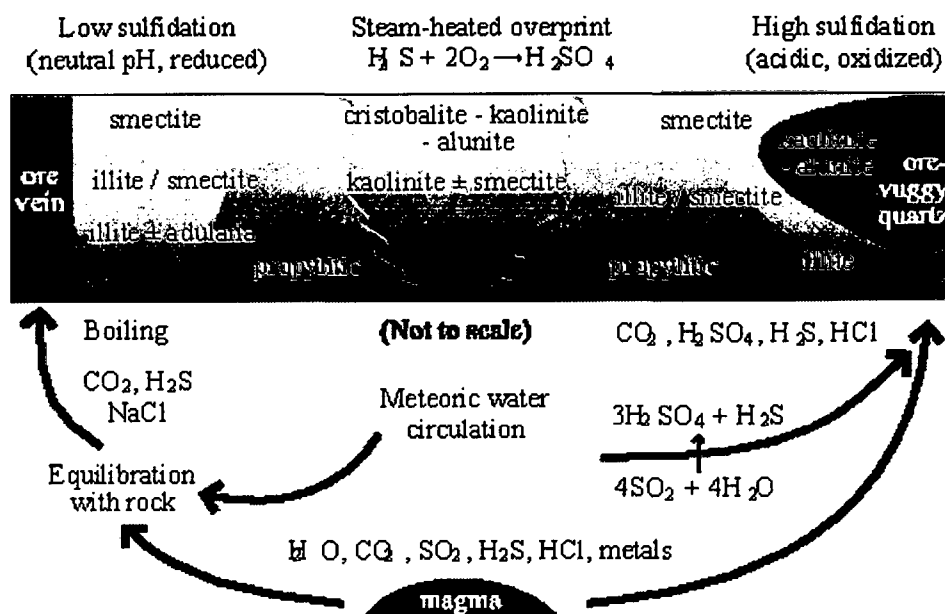


Figura 3: Esquema de Alta y Baja sulfuración. (Hedenquist, 1987)

2.2.2. PETROGRAFÍA

Es un campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, en un microscopio petrográfico, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existen entre ellos, lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma.

Un estudio petrográfico requiere, en primer lugar, del examen físico de la roca (descripción megascópica) que nos brinde información sobre el aspecto, textura, color, dureza, tamaño de grano o granularidad de la roca. Cuando los constituyentes son tan pequeños que no son apreciados a simple vista se dice que la roca presenta textura afanita o afanítica, y cuando los cristales sí pueden ser apreciables a simple vista o con lupa se le denomina fanerítica.

Después de las observaciones megascópicas se realiza una descripción microscópica. Una descripción microscópica consiste en determinar la composición mineralógica y los rasgos texturales, con lo que es posible obtener mucha información de donde se originó la roca; también se determina la forma y color de los cristales, tipo u origen de cada mineral (primarios o secundarios), la textura, la relación mutua entre los minerales y/o asociaciones minerales, así como la matriz o cementante en caso que esté presente. Cada tipo de roca tiene características microscópicas específicas muy importantes en una clasificación. Cabe señalar que ambos análisis en conjunto (megascópico y microscópico) brindan los parámetros necesarios para describir y clasificar acertadamente una roca.

La petrografía de rocas ígneas se apoya en su textura. Las texturas de las rocas ígneas dependen de las condiciones de su origen. Algunas están compuestas totalmente por cristales (holocristalinas), otras por vidrio (holohialinas), otras contienen vidrio y cristales (hipocristalinas o merocristalinas), y otras de cristales incipientes extremadamente pequeños (microlitos), cuando la mayoría de los minerales de una roca son aproximadamente equidimensionales o iguales la textura será granular. Toda esta gran variedad de rasgos texturales determinan el origen, por ejemplo: muchas de las rocas holocristalinas de grano medio a grueso son intrusivas

y muchas vítreas y afanitas son volcánicas. Las rocas piroclásticas –cenizas y tobas– pueden distinguirse porque presentan una textura, también llamada piroclástica, donde se distinguen vidrios, cristales y fragmentos de roca principalmente. (<http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/rocas/petrografia>)

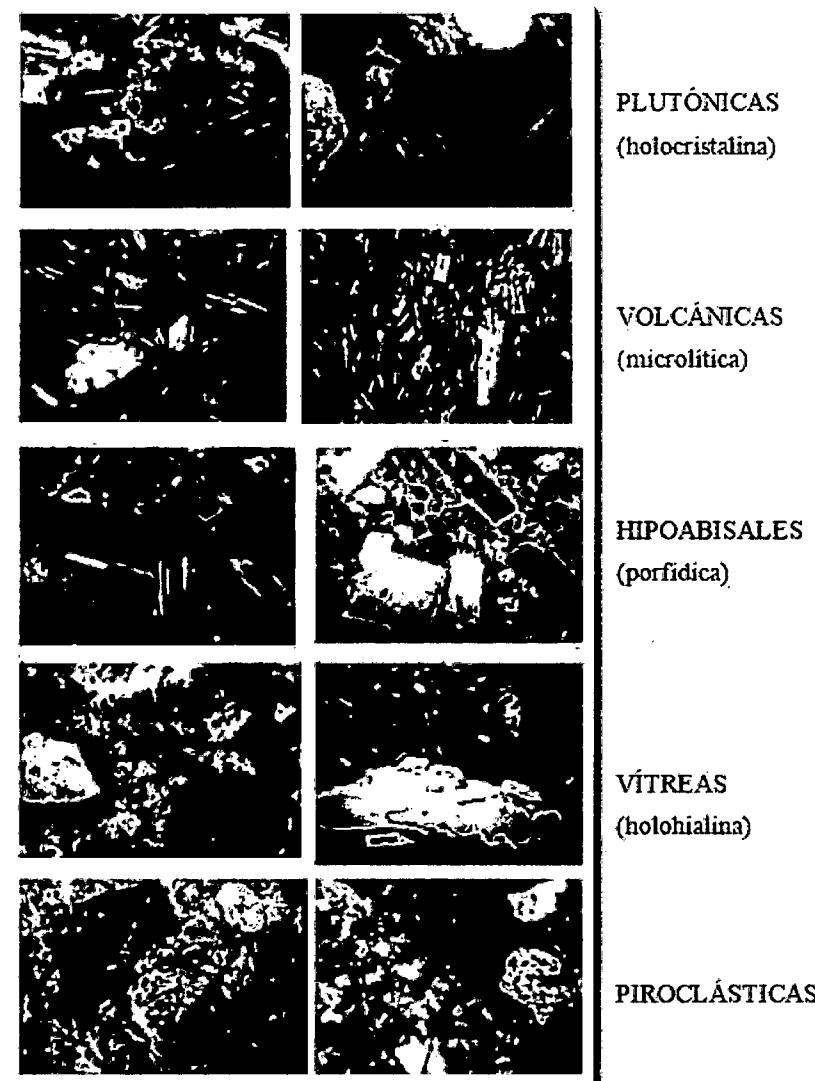


Figura 4: Ejemplos de Texturas Ígneas. Huang, 1968.

2.2.3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Es Término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a cambios fisicoquímicos y termodinámicos de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal se manifiesta mediante crecimiento, disolución y/o precipitación de minerales y reacciones de intercambio iónico entre la roca caja y el fluido caliente que circuló por la misma. Asimismo, produce cambios en las propiedades de las

rocas, alterando su densidad, porosidad, permeabilidad, susceptibilidad magnética y resistividad. Simultáneamente con esos cambios físicos pueden ocurrir eventos geológicos, fallas y diaclasas, influyendo en el proceso de alteración; pues la presencia de estas estructuras favorece la circulación de fluidos hidrotermales.

Factores que Controlan las Alteraciones Hidrotermales en las Rocas

- **Temperatura:** Mientras más caliente el fluido hidrotermal mayor será el efecto sobre la mineralogía original.
- **Composición del Fluido:** Sobre todo el grado de acidez o alcalinidad (pH), el estado de óxido reducción (redox), la fugacidad del oxígeno; mientras más ácido el fluido mayor será la lixiviación de minerales originales.
- **Permeabilidad de la Roca:** Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo los fluidos pueden producir fracturamiento hidráulico en las rocas, o permeabilidad secundaria. Otro factor que genera permeabilidad secundaria son los procesos tectónicos.
- **Duración de la Interacción Agua / Roca:** Mientras mayor volumen de agua caliente circule por las rocas y por mayor tiempo las modificaciones mineralógicas serán más completas.
- **Composición de la Roca:** Los minerales que componen las rocas tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, sin embargo en alteraciones intensas la mineralogía resultante es independiente del tipo de roca original.
- **Presión:** Controla procesos como la profundidad de ebullición del fluido, fracturamiento hidráulico y generación de brechas freáticas e hidrotermales. (Corbett, G.J. y Leach, T.M. 1998).

2.2.3.1. Alteraciones Hidrotermales en Depósitos de Alta Sulfuración

a. Alteración Silíceea

Alteración que se presenta generalmente en la primera etapa de la formación de un sistema de alta sulfuración. Se caracteriza por la interacción de fluidos hidrotermales

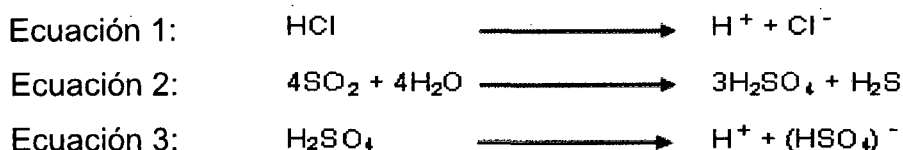
ácidos, pH 1 -2, con la roca caja, obteniendo como resultado sílice oquerosa o vuggy debido a la lixiviación de los componentes primarios de las rocas (Feldespatos, fenocristales). La textura “vuggy o cavernosa” que se obtiene finalmente se debe a que la sílice es estable bajo condiciones ácidas. Sílice “vuggy” encontramos en la parte central de estos sistemas y por lo general alberga la mayor parte de mineralización económica. En algunos depósitos la zona de sílice “vuggy” no se manifiesta claramente y la mineralización de oro está asociada con minerales como dickita (depósitos Arena y Virgen – Perú) o pirofilita (White et al., 1995).

b. Alteración Argílica Avanzada.

Se forma alrededor de la alteración sílica, manifiesta ensambles de alunita (K, Ca) / natroalunita + pirofilita + dickita + kaolinita + zunyita + diáspora. El pH en que se forman varía de 1 - 3.5; esta alteración puede ser coetánea con la mineralización (Deyell et al., 2005). Los fluidos ácidos que causan alteración argílica avanzada son de 03 tipos (Figura N° 02); hipógenos, steam heated y supérgenos (Sillitoe, 1993).

❖ Hipógeno

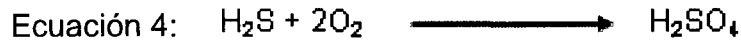
Los ambientes volcánicos contienen especies hipógenas de carácter ácido, siendo en orden descendente HCl, SO₂ y HF (Hedenquist, 1995). La disociación del HCl y H₂SO₄ (Ecuaciones 1 y 3 respectivamente) ocurren a <300 – 350 °C, previamente a estas reacciones ocurre la absorción, por parte del agua subterránea, de vapores magmáticos de alta temperatura, <400 ° C, conteniendo SO₂, obteniendo los compuestos de la ecuación 2.



El contenido de HCl y H₂SO₄ en el agua manifiesta pH cercano a 1, suficientemente ácido para lixiviar la mayoría de componentes de la roca incluyendo aluminio, dejando como resultado sílice “vuggy”.

❖ “Steam Heated”

En los depósitos de alta y baja sulfuración está presente el H₂S que al contacto con el oxígeno atmosférico origina ácido sulfúrico (Ecuación 4).



Esta reacción se produce en la zona vadosa a temperaturas de 100 – 120 °C. Si se produjera erosión sin – hidrotermal el nivel freático del agua subterránea descendería ocasionando sobreimposición de la alteración argílica avanzada en profundidad.

El pH del agua ácida originada mediante este proceso es típicamente de 2 – 3, la causa de esto es la disminución del contenido de HCl en la solución. Esta acidez es suficiente para disolver vidrio volcánico y algunos otros minerales, sin embargo no afecta al aluminio el cual es prácticamente insoluble a pH > 2, por tanto dicho elemento formará aluminosilicatos como kaolinita, pirofilita y alunita; mientras que el silicio obtenido de la disolución del vidrio volcánico origina silicificación en las rocas previamente lixiviadas. La baja presión y temperatura en la que se genera agua ácida mediante steam heated no permite el transporte de NaCl o metales, excepto algunas especies volátiles como Hg y As. Por lo tanto los ensambles originados mediante este proceso no manifiestan anomalías, excepto cuando existe sobreimposición en una zona mineralizada.

❖ Supérgeno

Las aguas ácidas obtenidas en este proceso se deben a la oxidación de sulfuros (Ecuación 5).



La oxidación supérgena se produce en condiciones similares al steam heated, en la zona vadosa y dependen del nivel freático.

La temperatura característica es de 30 – 40 °C formando minerales secundarios como kaolinita, alunita y jarosita. El proceso en mención es post hidrotermal, tiene mucha importancia en la geología económica de los depósitos de alta sulfuración, pues al oxidarse los sulfuros hacen posible el proceso de lixiviación.

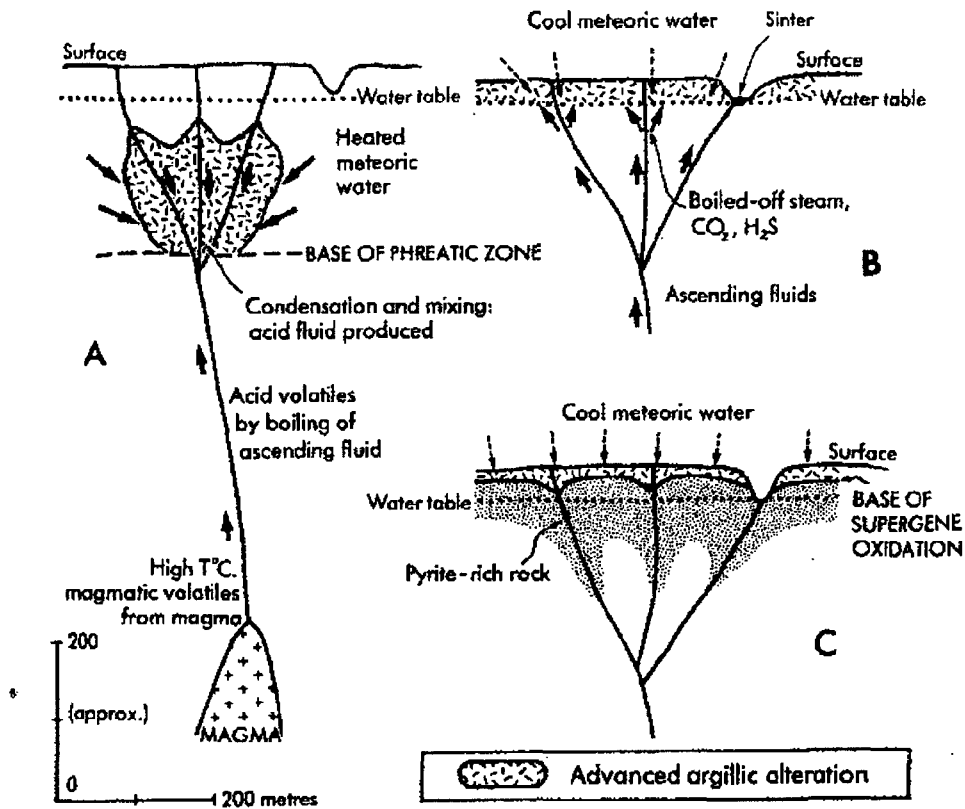


Figura 5. Ambientes en los que se forman fluidos ácidos y alteración argílica avanzada A, hipógeno; B, steam heated y C, supérgeno (Sillitoe, 1993)

c. Alteración Argílica.

Se manifiesta a continuación de la alteración argílica avanzada, varía en dos rangos de pH de acuerdo a los ensambles que presente. Si se presentan los del grupo de la candita (Kaolinita, dickita, halloysita), el pH varía de 4 – 5; mientras que si están los del grupo de la illita (Illita, esmectita, illita + esmectita, montmorillonita), el pH varía de 4,5 – 6.

d. Alteración Propilítica.

Se forma en la parte distal del sistema debido a que las soluciones ácidas que originaron la alteración sílica van neutralizándose al interactuar con la roca caja, por tal razón el pH en que se forman los ensambles de alteración propilítica, clorita + epidota + carbonatos; varía de 5.5 – 6.5.

Es importante distinguir los términos alteración sílicea y silicificación, pues el primero se produce por lixiviación ácida como se mencionó anteriormente mientras que el segundo es ocasionado por la introducción de sílice en las rocas; ambos procesos se manifiestan en los depósitos HS. En la mayoría de los depósitos HS la principal etapa de mineralización de oro ocurre durante la parcial o total silicificación de la alteración sílicea.

2.2.4. ENSAMBLES DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Son un grupo de minerales que se han formado contemporáneamente bajo condiciones de equilibrio termodinámico, son geoquímicamente significantes por que pueden ser usados para determinar condiciones de formación. Se diferencian de las asociaciones de minerales de alteración por que éstas se formaron en diferentes eventos, con variedad de condiciones termodinámicas. Entre los principales ensambles de minerales de alteración en los sistemas de alta sulfuración:

a. Alunita - $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$

Fluidos con pH de 1 - 3.5 forman alunita en un amplio rango de temperaturas (**Stoffregen, 1987**). Se presenta a temperaturas de >350 – 400 °C y corindón a >400 - 450 °C. Se han reconocido cuatro ambientes de formación (**Rye, 1993**) en base a datos isotópicos de S y O. Las condiciones de formación de alunita pueden inferirse por la cristalinidad, marco geológico y paragénesis mineralógica.

- **Alunita Tipo Steam Heated**

Se desarrolla en ambientes superficiales debido a la oxidación del H₂S, el cual deriva de un sistema hidrotermal en ebullición (Posiblemente la primera ebullición). Es usualmente de grano fino, en cristales pseudo cúbicos y puede encontrarse hasta profundidades de 1 a 1.5 Km.

- **Alunita Supérgena**

Se desarrolla a partir del ácido sulfúrico originado mediante la oxidación de sulfuros. Exhibe hábito pseudo acicular, pobremente cristalino, generalmente se asocia a otros minerales supérgenos como hematita y jarosita; puede encontrarse a profundidades variables.

- **Alunita Magmática**

Se deriva de fluidos magmáticos, forma cristales euhedrales a subhedrales, rellena fracturas, se encuentra en brechas hidrotermales como matriz y / o cemento; se relaciona con la mineralización.

- **Alunita de Veta / Brecha Magmática**

Se deriva de fluidos ricos en volátiles los cuales ascienden desde una masa fundida en cristalización y se presenta en vetas y brechas; en este ambiente se pueden formar cristales prismáticos radiales.

b. Pirofilita – $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$

Se origina en las partes profundas de los sistemas de alta sulfuración o en las transiciones de éstos hacia pórfidos a temperaturas de 200 – 250 °C, en un rango de pH de 2.5 – 4, coexiste con alunita a pH de 3.5.

c. Sílice – SiO_2

Mineral estable en fluidos de pH < 1 (**Stoffregen, 1987**). Sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en la parte superficial de un sistema hidrotermal, típicamente a temperaturas <100 °C. El cuarzo está presente a temperaturas >100 °C pero se puede formar sílice amorfa de un fluido a 200 °C si éste se enfría rápidamente. Calcedonia generalmente se forma en el rango 100 - 200 °C.

d. Alunita – Dickita

Ensamble que se presenta en rangos de pH de 3.0 – 3.5 y temperaturas de 200 – 250 °C (**Stoffregen, 1987**). Es característico en la zona de alteración argílica avanzada o lithocap.

e. Kaolinita – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

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

f. Dickita – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

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

g. Illita – $KAl_4(Si_7-6.5Al_1-1.5O_{20}(OH))_4$

En fluidos con pH de 4 - 6 dominan minerales del grupo de la illita, coexisten con kaolinita y dickita en pH de 4 – 5 (Stoffregen, 1987). A baja temperatura se presenta esmectita, 100 – 150 °C; illita + esmectita, 100 – 200 °C; illita, 200 - 250 °C; y muscovita, >250 °C.

2.2.5. ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA APLICADA (TERRA SPEC)

a. Definición. Técnica que utiliza energía de las regiones del espectro electromagnético; luz visible (VIS, 400 – 700 nm), cercana al infrarrojo (NIR, 700 – 1,300 nm) e infrarroja de ondas cortas (SWIR, 1,300 – 2,500 nm); con el objetivo de analizar los minerales (Hunt, 1977, 1979 & Goetz et al., 1982), (Figura 6).

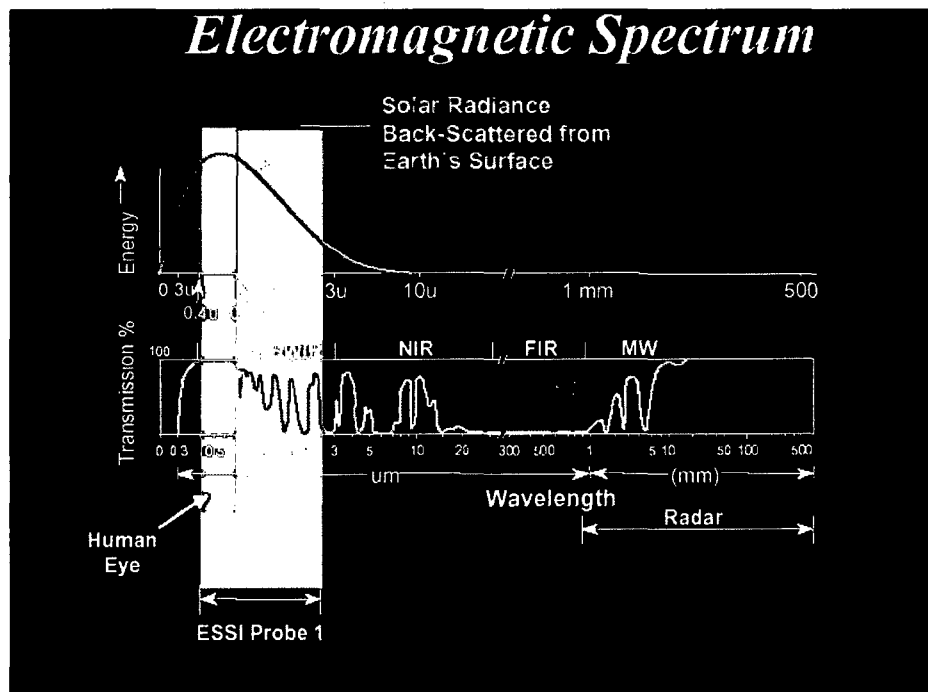


Figura 6. Espectro electromagnético para el Terra Spec (400 – 2,500 nm). Hunt, 1977, 1979 & Goetz et al., 1982.

El Terra Spec (Figura 7) es el equipo que utiliza la ciencia y técnicas de la espectroscopía de reflectancia aplicada, la cual está basada en las propiedades espectrales de los minerales, pues las moléculas absorben energía en los enlaces para luego reflejarla con características peculiares.

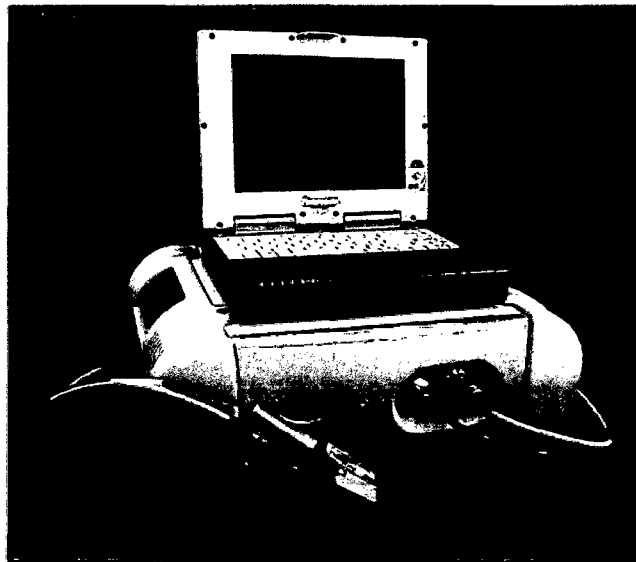


Figura 7: Terra Spec ensamblado (Hauff, 2005)

b. Mecanismos de Absorción.

Las características de reflectancia de los minerales son el resultado de las diferentes propiedades físicas y químicas que poseen. Las transiciones entre los niveles de energía y las diferencias en la composición se manifiestan por las características de absorción en longitudes de ondas predeterminadas, cabe mencionar que es necesario tener de 5 % a más en volumen el mineral que se desea analizar.

c. Procesos de Vibración

Los rasgos de absorción de la región SWIR son una función de la composición del mineral, pues absorben energía dentro de la red cristalina. Los movimientos vibratorios entre los componentes (átomos, moléculas) dentro de la red cristalina son llamados modos normales o fundamentales. El número, forma o tipo de estas vibraciones se determinan por los átomos presentes, su geometría espacial y la magnitud de las fuerzas que los unen.

Cuando un modo fundamental es excitado por dos o más cuantos de energía ocurre un sobretodo (Overtone). Los modos fundamentales ocurren en las longitudes de onda infrarroja mediana y lejana; mientras que los sobretonos y combinaciones ocurren en las regiones SWIR y NIR.

d. Rasgos Espectrales

Los gráficos de los espectros de reflectancia se manifiestan en pares ordenados XY (longitudes de onda, en nanómetros o micrómetros, versus porcentaje de reflectancia). La reflectancia del espectro consiste en una curva de Hull continua, las bandas de absorción tienen frecuencias o posiciones características de longitud y amplitud de ondas (cuadros 2 y 3); éstas son mostradas convencionalmente como puntos de inflexión mínimos que están controlados por la intensidad de las vibraciones de energía característicos de cada mineral (Figura 8).

Las propiedades de reflectancia que influyen en los rasgos de absorción y la curva son tamaño de partícula, grado de orientación de la muestra, presencia de agua en superficie y entre capas, fases asociadas a sustancias orgánicas e inorgánicas (Fe), grado de orden estructural, colección del dato.

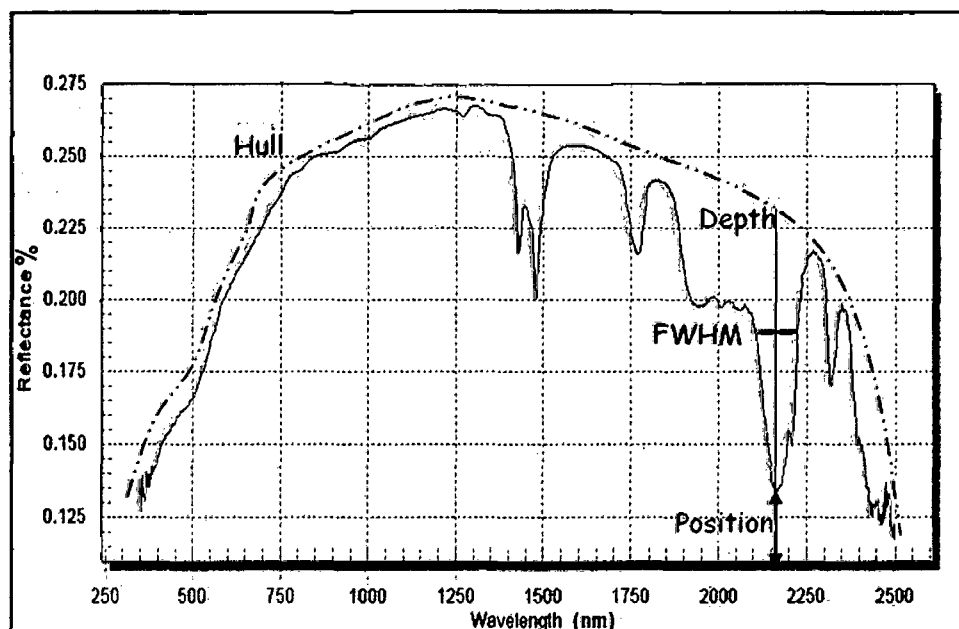


Figura 8: Componentes del espectro (Hauff, 1996)

Cuadro 2. Rasgos mayores de absorción

Posición	Molécula	Grupo Mineral
1.4 µm	(OH) - y Agua	Arcillas, hidróxidos, sulfatos, zeolitas
1.56 µm	NH ₄	Especies de amoniaco
1.8 µm	(OH) -	Sulfatos
1.9 µm	Agua molecular	Esmectita
2.02 – 2.12 µm	NH ₄	Especies de amoniaco
2.2 µm	Al - (OH)	Arcillas, anfibolitas,
2.35 µm	(CO ₃) ₂ -	Carbonatos

Fuente: (Hauff, 1996)

Cuadro 3. Características de absorción de las arcillas

Posición	Molécula	Mineral
1.4 µm	(OH) - y Agua	Esmectita, halloysita, kaolinita, dickita, illita, illita / esmectita y clorita
1.9 µm	Agua	Esmectita, halloysita, illita, illita / esmectita y clorita
2.2 µm	Al - (OH)	Montmorillonita, halloysita, kaolinita, dickita, illita, illita / esmectita y beidellita
2.29 µm	Fe (OH)	Nontronita
2.31 µm	Mg (OH)	Hectorita, saponita, sepiolita
2.31 – 2.33 µm	Mg (OH) > Fe (OH)	Clorita de Mg
2.34 µm	Mg (OH)	Palygorskita
2.34 – 2.37 µm	Fe (OH) > Mg (OH)	Clorita de Fe

Fuente: (Hauff, 1996)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Características petrográficas. Características geológicas que estudian la composición de las rocas, de una manera descriptiva. Se divide en Petrografía Macroscópica (estudio a la simple vista del ojo) y Petrografía microscópica (estudio haciendo uso del microscopio). (Dávila, 2011).

Alteraciones hidrotermales. Proceso de metamorfismo, mediante el cual los minerales de las rocas se alteran por acción de las soluciones hidrotermales a alta temperatura. Las alteraciones hidrotermales son indicadores de la presencia de yacimientos minerales de origen hidrotermal. (Dávila, 2011).

Geoquímica. Es la ciencia que estudia la distribución de los elementos químicos en la tierra y las reglas que gobiernan dicha distribución. Las sustancias minerales se disuelven o disgregan en elementos o partículas iónicas por acción de los solventes (agua, ácidos, etc.) siendo transportados grandes distancias y posteriormente depositados en la superficie continental, fondos de los valles, lagos, etc. (Dávila, 2011).

Litogeoquímica. Técnica de exploración geoquímica utilizando el muestreo de rocas. (Dávila, 2011).

Mineragrafía. Estudio de los minerales opacos por medio del microscopio utilizando la luz reflejada. (Dávila, 2011).

Mineralización Diseminada. Forma de depósitos diseminados en los cuales el oro se halla finamente diseminado y generalmente invisible, dado que el tamaño de los granos es menor de 1 micra. El rango de los subtipos es considerable, entre los cuatro más importantes son: 1. Carlin-tipo, 2. Stockwork de oro y plata en rocas ígneas, 3. Diseminados de oro y plata en flujos volcánicos, y 4. Depósitos diseminados en rocas tufáceas. (Dávila, 2011).

Ensamble (Ensamblaje). Modo de empaquetamiento de los elementos constituyentes (minerales, granos, etc.) de una roca. Se puede considerar como sinónimo de textura y fábrica. (Dávila, 2011).

Espectro electromagnético. Comportamiento de las ondas de acuerdo a su longitud de onda y frecuencia. Se debe tener en cuenta que la velocidad de las ondas electromagnéticas es de 300,000 km/seg, por lo que el producto de la longitud de onda por su frecuencia debe ser igual a esta velocidad. Las ondas electromagnéticas son: rayos gamma, rayos X, rayos ultravioletas, campo visible, rayos infrarrojos y microondas. Los materiales de la superficie terrestre emiten, reflejan, refractan y absorben los rayos del espectro de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas, por lo que la ciencia de la percepción remota ha inventado sensores en cada una de las bandas del espectro electromagnético para registrar estas propiedades. (Dávila, 2011).

Unidad Litológica. Es un afloramiento rocoso de características similares en cuanto a su estructura y a su composición mineralógica o química. Ejm. La formación Condorsinga del Jurásico inferior se considera como una unidad litológica, del mismo modo la formación Aramachay del Jurásico inferior y la formación Chambará del Triásico superior. Las tres formaciones mencionadas separadamente conforman cada una una unidad litológica y las tres juntas forman el grupo Pucará que también es una unidad litológica. Las principales unidades del Batolito Costanero en su parte central, de las más antiguas a las más recientes son: unidad Paccho, unidad Jecuan, unidad Santa Rosa, unidad Humaya, unidad La Mina, unidad Puscao, unidad San Jerónimo, unidad Sayán y unidad Cañas. (Dávila, 2011).

Yacimiento Mineral. El yacimiento mineral es un sector de la corteza terrestre en el que, a raíz de uno y otros procesos geológicos, se produjo la acumulación de una sustancia mineral, que puede utilizarse industrialmente, dado su calidad, cantidad y sus condiciones de yacimiento, para su explotación comercial. (Dávila, 2011). 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

(hipotermiales) se han formado cerca a la roca ígnea y los de baja temperatura (epitermales) alejados de la masa ígnea.

Zoneamiento (Zonalidad). El zoneamiento 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 algunos casos el zoneamiento se da en colores vistosos, ejm. el zoneamiento prismático de la turmalina (Dávila, 2011).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El Proyecto Mirador se encuentra en la Unidad Minera Tantahuatay, la cual se ubica en los distritos de Hualgayoc, Chugur y Catilluc, provincias de Bambamarca y San Miguel, Región Cajamarca, a una altitud promedio de 4000 msnm. Es accesible desde Cajamarca por carretera asfaltada/afirmada de 85 km para un tiempo promedio de dos horas. La concesión minera de Cía. Minera Coimolache S. A., está conformado por 21,445 ha en 27 concesiones.

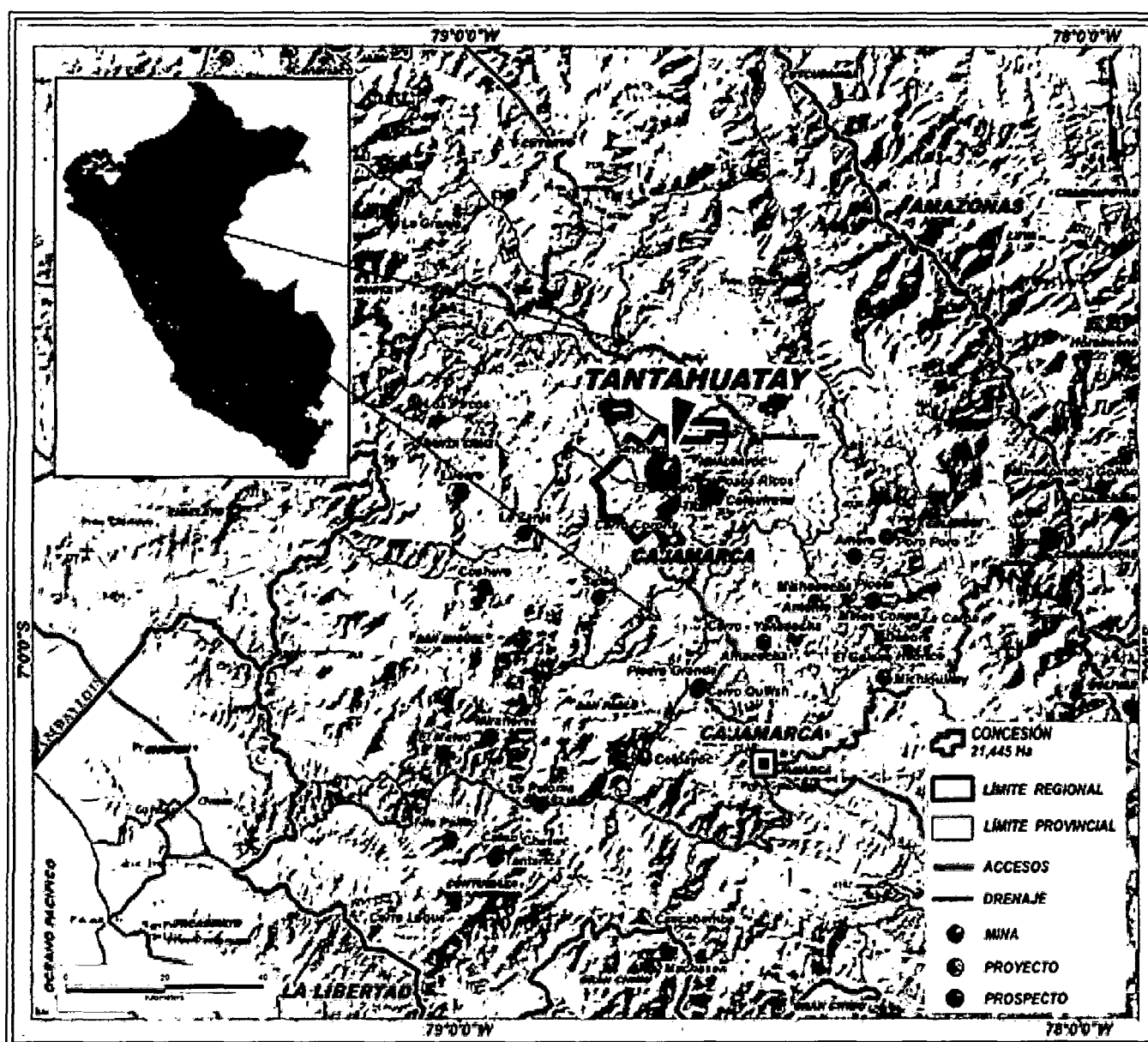


Figura 9: Mapa de Ubicación de la Unidad Minera de Tantahuatay. Fuente: J.Calizaya, 2014

La presente investigación se realizó entre los meses de enero a agosto del 2015. El proyecto Mirador está conformado principalmente por dos zonas Mirador Norte y Mirador Sur.

3.2. PROCEDIMIENTO

La metodología se aplica básicamente a la investigación misma. Estos incluyen la compilación de información bibliográfica, tecnología disponible, aspectos económicos, así como la situación, localización y tiempo en el área de estudios, todos los cuales influyen en la calidad de la investigación.

3.2.1. Etapa preliminar de Gabinete

Primera etapa donde se recolectaron estudios anteriores de Tantahuatay y alrededores así como planos geológicos (litológico y de alteraciones hidrotermales). Se preparó la información existente para su análisis y así complementar con lo realizado en la investigación.

3.2.2. Trabajo de Campo

El trabajo de campo consiste en realizar el reconocimiento y mapeo geológico del área que abarca el proyecto Mirador a escala 1/10000, recolectando información de litología, alteraciones, estructuras y mineralización, utilizando una ortofoto como base y con hojas transparentes para registrar en ellas la información de mapeo, así mismo se han recolectado muestras de mano para análisis petrográfico y para análisis Terraspec.

3.2.2.1. Toma de muestras y preparación para Análisis Petrográficos.

Para el presente estudio se tomaron 07 muestras para Análisis Petrográficos de afloramientos de roca, estas muestras fueron embolsadas, etiquetadas y enviadas al laboratorio BISA para su ensayo por el método EP; DRX_IC (Difracción de Rayos X)

3.2.2.2. Toma de muestras y preparación para Análisis Terra Spec.

Se tomaron 243 muestras de roca para Análisis Terra Spec siendo embolsadas y etiquetadas para luego ser secadas a temperatura ambiente (o al horno para un

secado más inmediato), una vez teniendo las muestras completamente secas se proceden a hacerles sus lecturas respectivas usando el equipo Terra Spec.

3.2.3. Trabajo de Gabinete

Se trabajaron los planos geológicos y se realizó la interpretación y análisis de los resultados de laboratorio de los estudios petrográficos así como la interpretación de las lecturas Terraspec de las diferentes muestras tomadas en campo, lo cual nos ayudan a tener una mejor interpretación del proyecto, realizado todos estos pasos se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones.

3.3. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Para el procesamiento de datos se utilizó data de los estudios petrográficos y los análisis de lecturas terraspec, se empleó los resultados petrográficos de 07 muestras y un estimado de 243 datos de interpretaciones de lecturas Terraspec para determinar los ensambles y minerales típicos de cada alteración.

Los datos de estudios petrográficos serán analizados en cuadros en el programa Excel y los datos de lecturas de terraspec serán analizadas en el software Specmin para obtener la interpretación de las espectros característicos correspondientes a los minerales de alteración. Para el ploteo de planos geológicos, y ploteo de las muestras tomadas en campo se utiliza el programa Arc GIS 10.1

El tipo de Análisis aplicado es el Descriptivo e inferencial ya que se a partir de los estudios petrográficos se determinaran las características petrográficas del proyecto y con las interpretaciones de las lecturas Terraspec y comparación con isovalores de oro y cobre se determinaran las asociaciones de los minerales de alteración a las zonas con altos valores de oro y cobre.

De los resultados obtenidos y la correlación de variables litología, alteraciones y mineralización, se determinaran las características petrográficas y los minerales de alteración que estén asociadas a la mineralización de oro y cobre del yacimiento.

Los resultados de las características petrográficas serán presentados en cuadros y representados en los planos de litología, alteración y los ensambles de alteración serán presentados en los planos de isovalores de oro y de cobre para visualizar y analizar su asociación con la mineralización.

3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS Y PROGRAMAS UTILIZADOS

Los equipos e implementos que se usaron en el presente trabajo de investigación fueron: Ortofotos a escala 10K, GPS, Picota, Lupas (10X, 20X), lápiz de dureza, libreta de campo, tablero de mapeo, portaminas, pinturas codificadas, bolsas de muestreo, etiquetas para marcado de muestras.

Los equipos utilizados para el procesamiento y digitalización de datos de campo y laboratorio fueron: el computador utilizando diversos software de uso interno y comercial. A continuación se describe los principales programas utilizados.

- **Specmin**

Este software se utilizó para la interpretación de las lecturas que fueron realizadas con el equipo Terra Spec a las muestras tomadas en campo.

- **Arc Gis 10.1**

Este software se utilizó para todas la tareas basada en mapas como cartografía, y ploteo. Permitiendo definir planos como: litológico y de alteraciones hidrotermales con la ubicación de las diferentes muestras tomadas en campo.

3.3.2. HERRAMIENTAS GRÁFICAS

En cuanto a las herramientas gráficas que vamos a utilizar lo constituyen los cuadros y las fichas elaboradas para registrar los datos de las diferentes características petrográficas y los minerales de alteración obtenidos de los análisis e interpretaciones realizadas adaptadas para la zona de estudio.

Ficha de descripción Macroscópica y Microscópica de Muestras: Se aplicaran en la descripción de los tipos de rocas que afloran en la zona de estudio, y servirá para nombrar la roca según sus características petrográficas, texturales y composición. (Figura 9)

Cuadro 4. Determinación de los principales minerales de alteración.

CODIGO	ESTE	NORTE	COTA	MIN 1	Longitud Onda	Intensidad MIN 1	MIN 2	Longitud Onda	Intensidad MIN 2	MIN 3
MNJ-21	755941	9255472	4008	aln	1489	2	opl	882	1	
MNZ-05	755537	9255561	3881	aln			prft			
MNZ-06	755559	9255532	3876	aln			dck			
MNZ-12	755682	9255511	3917	aln						
MSJ-08	755838	9254721	3892	aln	1479	2				
MSJ-12	756536	9254821	3986	aln	1485	2				
MSJ-13	756558	9254868	3965	aln	1481	2				
MSJ-15	756819	9254845	4018	aln	1480	2	goe	911	1	
MSJ-16	757163	9254961	3961	aln	1486	2				
MSJ-18	756685	9254610	0	aln	1478	2				
MSJ-19	756814	9254567	0	aln	1478	2	prft	1394	2	
MT14-03	755362.76	9255069.88	0	aln	1490	2	goe	914		si
MT14-04	755382.48	9255084.98	0	aln	1480		goe	906		si
MT14-136	756105.52	9254720.87	4000	aln	1489	3				
MT14-137	756107.52	9254724.86	4000	aln	1481	2				
MT14-14	755487.87	9254990.43	0	aln	1482		si			goe
MT14-140	756105.34	9254825.38	4000	aln	1479	2				
MT14-141 (1)	756109.16	9254838.52	4000	aln	1487	2	goe	487	1	
MT14-143	756071.31	9254909.24	4000	aln	1478	2				
MT14-144	756068.31	9254916.22	4000	aln	1480	2	prft	1394	1	
MT14-145	756008.41	9254948.96	4000	aln	1480	2	prft	1394	2	goe
MT14-154	755817.8	9255048.67	4000	aln	1479	3				
MT14-156	755802.82	9255067.63	4000	aln	1480	3				
MT14-168	755727.14	9255266.52	4000	aln	1480	3				
MT14-169	755726.14	9255268.52	4000	aln	1480	3				
MT14-176	755636.43	9255132.79	4000	aln	1481	3				
MT14-21	755672.38	9254791.49	0	aln	1481		goe			
MT14-22	755727.86	9254723.35	0	aln	1480		goe			
MT14-220	756835.58	9254836.3	3989.64	aln	1479	2				
MT14-267	756770.68	9254991.61	3974.15	aln	1478	2	goe			
MT14-268	756768.16	9254996.98	3972.49	aln	1479	2				
MT14-269	756767.18	9254999.23	3970.54	aln	1478	2				
MT14-270	756766.18	9255001.61	3969.81	aln	1478	2				
MT14-273	756759.33	9255019.85	3962	aln	1478	2				
MT14-274	756815.28	9254719.99	3983.05	aln	1478	2				

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4. 1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.1.1. Litología.

Mediante el cartografiado geológico a escala 1/1000 se han reconocido varios dominios litológicos: fases piroclásticas de tobas de cristales y flujos de lava andesítica gris oscuro de grano fino a medio emplazados al piso del depósito (mayor a 13 Ma).

Como parte de esta estratigrafía volcánica se tiene lentes de tobas finas estratificadas acrecionados en los bordes de las estructuras sub volcánicas.

Estas estructuras subvolcánicas están relacionados a estructuras de brechas freáticas y brechas hidrotermales asociados a mineralización que cortan las secuencias volcánicas con alteración hidrotermal ácido sulfato (pre mineralización), datados en alunita hidrotermal entre 13.30Ma y 11.01Ma (Tosdal 1996). Las estructuras más relevantes corresponden a brechas hidrotermales con presencia de óxidos de goetitas (1 a 10%), jarositas (5%) y abundante alunita en la matriz (10 a 40%).

Para el presente trabajo de investigación y la determinación de las unidades litológicas características de la zona en estudio se analizaron 07 muestras, las cuales se describieron en forma macroscópica (Cuadro 5) y en forma microscópica se analizaron los resultados obtenidos de laboratorio.

Cuadro 5: Descripción macroscópica de muestras del Proyecto Mirador.

CODIGO DE MUESTRA	LOCALIDAD	ESTE	NORTE	COTA	COLOR	TEXTURA	TAMAÑO GRANO	DESCRIPCION
M-47	Mirador Sur	756812	9254789	4001	Gris oscuro	Porfiritica	Medio	Andesita Porfiritica de color Gris oscuro de grano fino a medio. Feld: 40% magnetita: diss 10% mtz fina, ferromagnesianos: alt chl 1%.
BWSDPM-183	Mirador Sur	755782	9254817	3901	Pardo			And? fuertemente oxidada principalmente limonita
BWSDPM-190	Mirador Sur	756618	9254667	3990	Pardo	Porfiritica	Medio	Andesita
BWSDPM-191	Mirador Sur	756996	9254858	3999	Pardo	Porfiritica	Medio	Andesita
BWSDPM-192	Mirador Sur	756685	9254609	3992	Pardo			Bx de clastos de silice gris hasta 0.5 cm, matriz arenosa con oxidos de fierro
BWSDPM-193	Mirador Norte	755987	9255293	4002	Pardo			Brecha Freatica
BWSDPM-198	Mirador Norte	755596	9255861	3910	Gris oscuro	Porfiritica	Medio	Andesita de grano medio

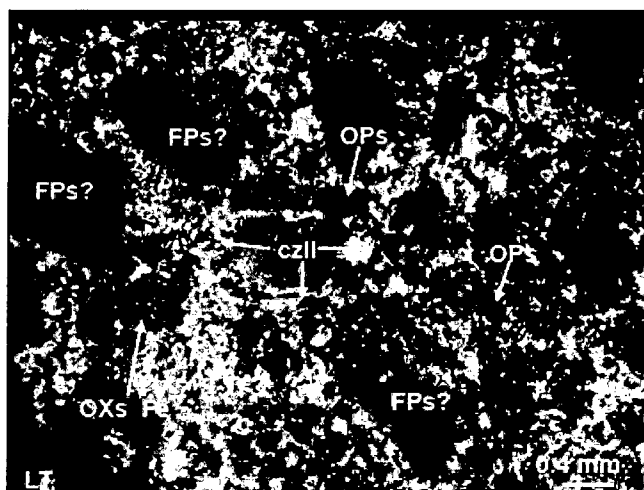
Los resultados de laboratorio obtenidos se muestran en resumen para cada muestra a continuación:

Muestra M-47: Roca volcánica en la que se observan fenocristales de plagioclasas, cuarzo I, anfíboles, piroxenos y minerales opacos; en matriz de plagioclasas II, feldespato potásico secundario, arcillas, cloritas, sericita, vidrio y minerales opacos. También presentan cristales de cuarzo II y carbonatos que rellanan espacios vacíos.



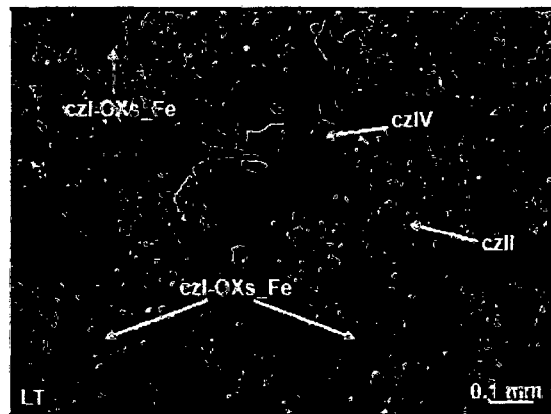
Fotografía 1. Fotomicrografía de la Muestra M-47

Muestra BWS DPM 183: Se trata de una roca de textura Porfirítica, presenta moldes de fenocristales que son reemplazados por cuarzo I y algunos por minerales opacos con óxidos de hierro; se observan cavidades con formas de fenocristales tabulares. La matriz está completamente reemplazada por pequeños cristales anhedrales de cuarzo II con minerales opacos y óxidos de hierro, también se encuentran escasos cristales de alunita y zircón en sus intersticios.



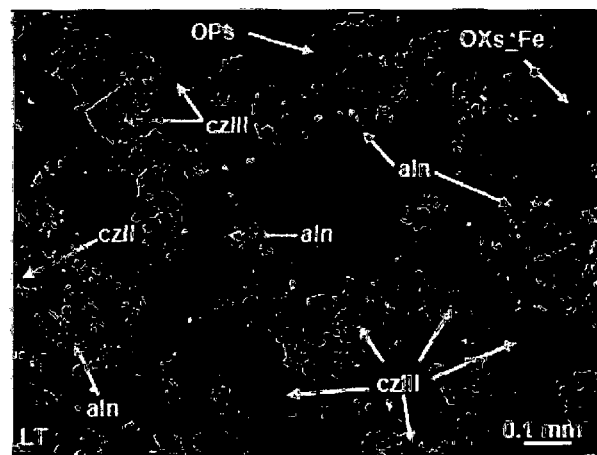
Fotografía 2. Fotomicrografía de la Muestra BWS DPM 183

Muestra BWS DPM 190: Roca de textura porfirítica silicificada y alunitizada. Presenta moldes de fenocristales tabulares totalmente alterados por pequeños cristales de cuarzo I y otros por alunita con arcillas; también moldes alterados completamente por cuarzo I con alunita en sus intersticios; en algunos casos con impregnaciones de óxidos de hierro. En una matriz reemplazada por pequeños cristales de cuarzo III con alunita, minerales opacos, pirofilita, rutilo y arcillas en sus intersticios. Se observan finas venillas rellenas por cuarzo III y otras por óxidos de hierro. Con cavidades rellenas por cuarzo IV.



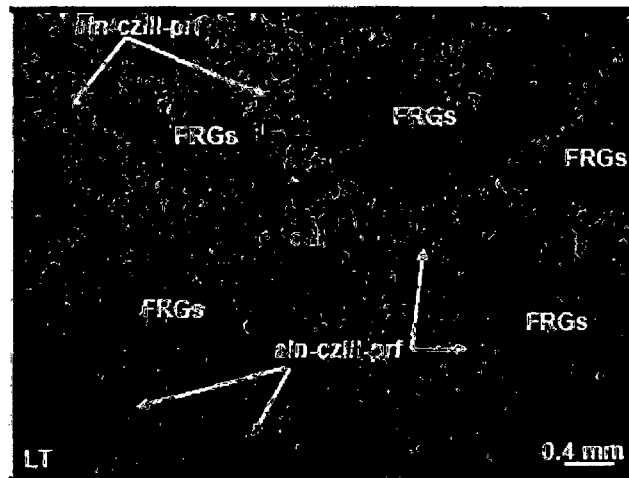
Fotografía 3. Fotomicrografía de la Muestra BWS DPM 190

Muestra BWS DPM 191: Roca porfirítica silicificada y alunitizada. Presenta cristales de cuarzo I y moldes de fenocristales tabulares completamente alterados por alunita, cuarzo II, óxidos de hierro y arcillas. En una matriz reemplazada por cuarzo III con alunita, minerales opacos, pirofilita, arcillas y óxidos de hierro en sus intersticios.



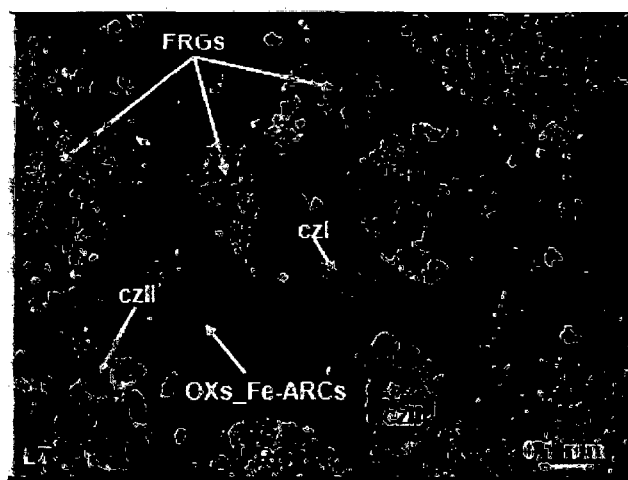
Fotografía 4. Fotomicrografía de la Muestra BWS DPM 191

Muestra BWSDPM 192: Roca con textura brechoide. Presenta fragmentos de rocas silicificadas; también fragmentos de cristales de cuarzo I y moldes de cristales reemplazados por cuarzo II; la matriz presenta cristales tabulares de alunita con pequeños cristales de cuarzo III y pirofilita en sus intersticios, con contactos suturados entre sí. Con impregnaciones de óxidos de hierro en algunos sectores.



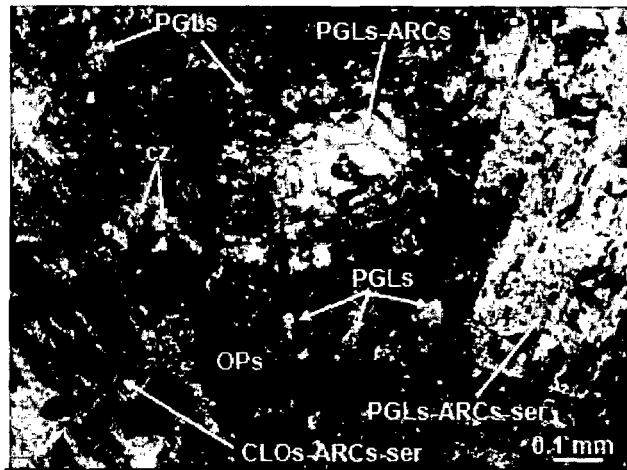
Fotografía 5. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 192

Muestra BWSDPM 193: Roca con textura brechoide. Presenta fragmentos de rocas silicificadas; también fragmentos de cristales de cuarzo I, cristales tabulares de baritina y moldes de cristales tabulares reemplazados por cuarzo II con arcillas y óxidos de hierro. En una matriz de óxidos de hierro y arcillas.



Fotografía 6. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 193

Muestra BWSDPM 198: Roca volcánica con textura porfírica. Presenta fenocristales de plagioclasas, feldespatos potásicos y minerales opacos; también moldes de fenocristales tabulares completamente alterados por cloritas, arcillas y sericita. En una matriz con pequeños cristales de plagioclasas y feldespatos potásicos con minerales opacos, arcillas y sericita intersticiales; en algunos sectores es alterada por cuarzo, cloritas y arcillas; con impregnaciones de óxidos de hierro.



Fotografía 7. Fotomicrografía de la Muestra BWSDPM 198

4.1.2. Alteraciones Hidrotermales.

El área de alteración hidrotermal abarca una extensión de 280 m x 680m aproximadamente para Mirador Norte y de 300 m x 750m aproximadamente para Mirador Sur controlado por fallas preminerales de N 120° y N 55°, observando estructuras de sílice granular, vuggy con halos de argílico avanzado relacionado al trend de fracturamiento N120° y que está representada por alunita diseminada y en fracturas, presentan tramos intermedio de alteración argílica. Plano N°2.

Para el estudio de los ensambles de alteración del yacimiento se recopiló toda la información existente obtenida del cartografiado por tipo de alteraciones de campañas anteriores y del actual mapeo complementario que se realizó en el proyecto con muestreos de rocas representativas para los análisis espectrales SWIR utilizando el Analizador TerraSpec. Se analizaron una data de 243 muestras representativas distribuidas dentro de área de alteración hidrotermal colectadas durante la campaña de cartografiado geológico, como se observa en el plano N°4.

4.1.3. Geoquímica.

La información geoquímica de la zona en investigación está dada por los resultados de las campañas de muestreo que se han dado en las diferentes etapas de exploración hasta la fecha. Es así que tenemos los muestreos geoquímicos de rocas obtenidos a través de trincheras, canales, rock chip de manera sistemática cada 5 m y a malla 100 x 100 m respectivamente, lo cual incluye 8,483 muestras de superficie a la fecha, la misma que ha sido revisada y validada con el software AcQuire. Los métodos utilizados para el análisis químico fueron Au más ICP.

Es así que para determinar las asociaciones de los minerales de alteración con la mineralización de oro y cobre se ha representado dichas muestras junto con los isovalores de estos elementos obtenidos a partir de la geoquímica del muestreo superficial a través del software SURFER.

Los rangos utilizados para el Oro y el cobre se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 6: Rangos Geoquímicos de oro (Au) y cobre (Cu).

	Au_ppm	Cu_ppm	
	>1.00	>2000	Ley muy alta
	0.500 - 1.00	1000 - 2000	Ley alta
	0.301 - 0.500	750 - 1000	Ley media
	0.201 - 0.300	500 - 750	Ley baja
	0.101 - 0.200	200 - 500	Ley muy baja
	< 0.100	<200	Esteril

4.2. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.2.1. Determinación Petrográfica.

La petrografía, se llevó a cabo en siete secciones delgadas pulidas de roca de superficie. Las muestras estudiadas pertenecen a rocas volcánicas (5 muestras) de composición andesítica y a brechas (2 muestras) una del tipo freática (BWSDPM-193) y la otra del tipo de brecha hidrotermal (BWSDPM-192). De esta manera se determinó que:

- ✓ Las unidades litológicas que predominan son rocas volcánicas caracterizadas principalmente por Andesita de textura Porfirítica de grano medio, que son de origen lávico.

- ✓ Así mismo se tiene Brechas freáticas que se encuentran cortando a los flujos lávicos de Andesita, las mismas que a su vez son cortadas por pequeños canales de Brechas hidrotermales, las mismas que están relacionadas con la mineralización de oro.














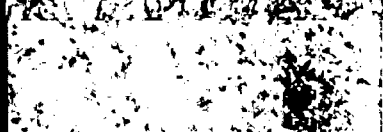
Así también gracias a estos estudios petrográficos tenemos la composición porcentual de los minerales que componen cada una de las muestras analizadas, lo cual nos permitió determinar la clasificación del tipo de roca (Cuadro 7).

Gracias a estos resultados se comprobó que la descripción en forma macroscópica fue acertada en comparación con los resultados microscópicos obtenidos (Cuadro 8).

Cuadro 7. Descripción porcentual de minerales.

CODIGO DE MUESTRA	Plag %	Feldp K%	Cuarzo %	Anf %	Aln %	Prft%	Minerales opcs %	Chl %	Ser %	Apatito %	Rutilo %	Zr %	ARCs %	OxFe %
M-47	54	4	11	1			4	3	1	Trazas			3	1
BWSDPM-183			65		Trazas		15					Trazas	8	12
BWSDPM-190			62		28	Trazas	1				Trazas		2	2
BWSDPM-191			4		25	Trazas	1				Trazas		3	5
BWSDPM-192			3				Trazas							2
BWSDPM-193			2				Trazas							2
BWSDPM-198	56	6	15				4	10	1				7	1

Cuadro 8. Clasificación macroscópica-microscópica de muestras.

No	CÓDIGO	CLASIFICACIÓN MICROSCÓPICA-RESULTADO ANALISIS	IMAGEN MICROSCÓPICA	FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA (CAMPO)	CLASIFICACIÓN MACROSCÓPICA
1	M-47	Pórfido Andesítico			Andesita_Porfirítica_Media
2	BWSDPM-183	Roca porfirítica muy alterada por cuarzo y óxidos de hierro			And? , fuertemente oxidada.
3	BWSDPM-190	Roca porfirítica alterada por cuarzo y alunita			Andesita
4	BWSDPM-191	Roca porfirítica alterada por cuarzo, alunita y óxidos de hierro			Andesita
5	BWSDPM-192	Brecha de fragmentos de rocas silicificadas en matriz de alunita			Bx de clastos de sílice gris , mtr oxs fe
6	BWSDPM-193	Brecha de fragm. de rocas silicificadas en matriz de óxidos de hierro			BxFr
7	BWSDPM-198	Posible andesita porfirítica			Andesita_Porfirítica_Media

4.2.2. Estudio de los ensambles de alteraciones hidrotermales.

Como resultado de la investigación hemos obtenido los ensambles de alteración característicos que forman el proyecto Mirador. Así mismo se ha determinado la relación entre ensambles de alteración y mineralización de Au y Cu.

Es así que con el uso del equipo Terra Spec y los modelos de espectros característicos se ha diferenciado de acuerdo a los espectros obtenidos los siguientes ensambles de alteración:

a. Sílice. SiO₂

La distribución de la sílice hidrotermal en el proyecto Mirador se presenta en 3 facies:

- **Sílice masiva-SM**, de tonalidades grisáceas en venillas, bandas asociado a fracturas (*feeders*) irregulares y generalmente como clastos de brechas hidrotermales, sus leyes están relacionados a la concentración de óxidos, varían desde 0.5 ppm Au a 1.0 ppm Au (Plano 7) y 200 ppm Cu a 500 ppm Cu en promedio distribuidos principalmente en la parte suroeste de Mirador Norte. (Plano 8).
- **Sílice vuggy-SV**, de tonalidades gris blanquecinas, se tiene dos facies: **SV1** hidrotermal relacionado a facies de sílice granular distribuidos principalmente en las partes centrales del Proyecto (Fotografía 8), asociados a estructuras tectónicas, registra leyes de 0.1 ppm Au a 0.5 ppm Au. **SV2** de textura oquerosa producto de la lixiviación de las arcillas con óxidos en oquedades, se distribuye principalmente en el borde del proyecto, relacionado a rocas de textura moteada (lixiviación de las arcillas), registran leyes de 1.0 ppm Au a 3.0 ppm Au en promedio.
- **Sílice granular-SG**, de tonalidades gris blanquecinas, beige con características friables y que registran leyes de 0.20 ppm Au a 0.40 ppm Au.

El rasgo espectral característico para la sílice es profundo en el pico 1922 nm (Gráfico 1).



Fotografía 8. Muestra MT14-175, Silice Vuggy

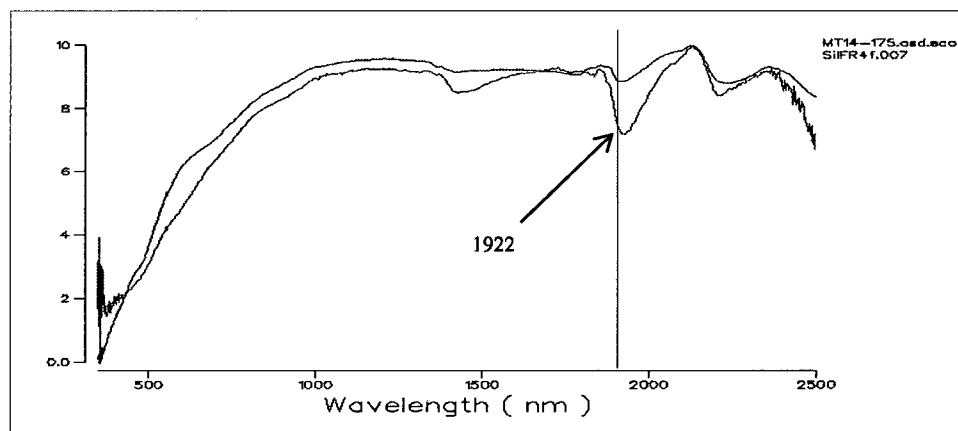


Gráfico 1. Espectro de Sílice: Muestra MT14-175 _ SiIFR4f.007.

b. Alunita (Aln). $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$

Por su composición química se han reconocido dos tipos de alunita: Potásica de mayor desarrollo distribuido en todo el *litocap* y Sódica de manera subordinada emplazados en los bordes y partes bajas de Mirador. Asociada a medias a bajas leyes de Au (de 0.2 a 0.5 ppm Au), (ver Plano 9); y a leyes bajas de Cu (de 200 a 500 ppm de Cu), (ver Plano 10).

Por su textura se han diferenciado 2 tipos de alunita: **Aln1**, de grano fino asociado a la sílice granular y en rocas porfíricas reemplazando feldespatos. **Aln2**, se manifiesta en venillas y vetillas rellenando fracturas, cortan a las diferentes facies de alteraciones argílica avanzado.

Los rasgos espectrales para las alunitas de Mirador se han caracterizado de la siguiente manera:

Alunita potásica pico 1481 entre los rangos de 1478 a 1482 nm. (Fotografía 9 y Gráfico 2).

Alunita sódica pico 1494 entre los rangos de 1487 a 1494 nm. (Fotografía 10 y Gráfico 3).



Fotografía 9. Muestra MTV-196, Alunita Potásica

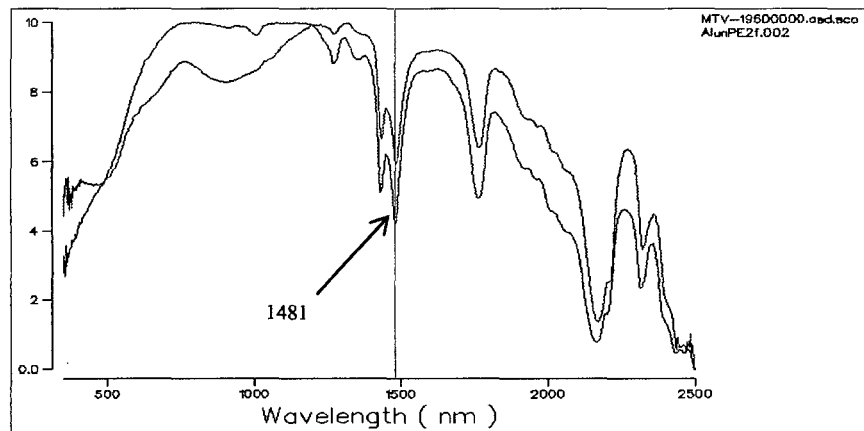


Gráfico 2: Espectro de Alunita Potásica: Muestra MTV-196 _ AlunPE2f.002



Fotografía 10. Muestra: MTV-234, Alunita Sódica

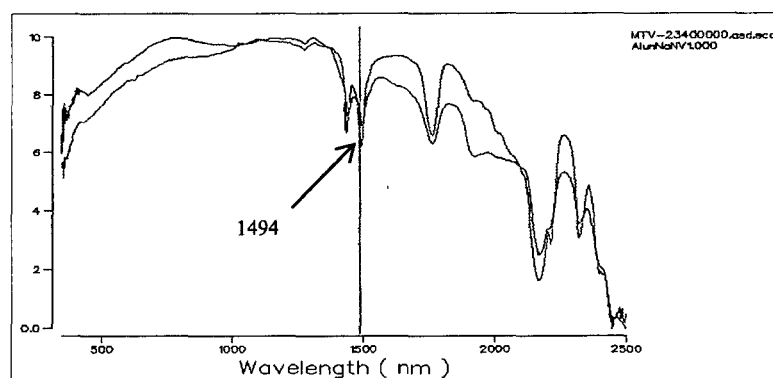
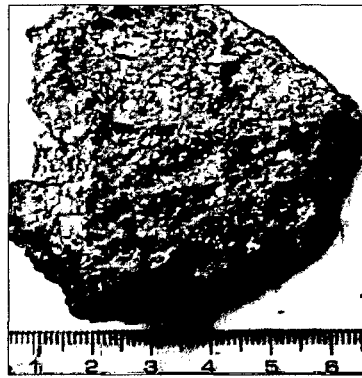


Gráfico 3. Espectro de Alunita Potásica: Muestra MTV-234 _ AlunNaNV1.000

c. Pirofilita - $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4$

Es el tercer mineral de alteración en orden de abundancia en todo el *litocap*, se ubica principalmente en la textura moteada, de manera subordinada en MIR en texturas porfiríticas (Fotografía 11). Asociada a medias a bajas leyes de Au de 0.1 a 0.2 ppm (Ver Plano 11) y a leyes bajas de Cu de 200 a 500 ppm (Ver Plano 12).

Los rasgos espectrales son muy agudos y profundos, el pico es 1394 nm, de manera aleatoria se da en los picos 1395 y 1396 nm (Gráfico 4).



Fotografía 11. Muestra: MTV-322, Pirofilita

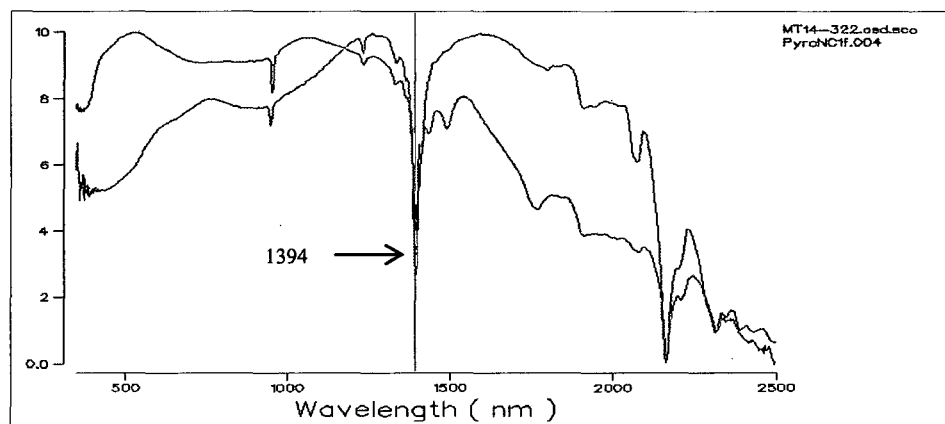


Gráfico 4. Espectro de Pirofilita: Muestra MTV-322 _ PyroNC1f.004

d. Dickita - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

La ocurrencia de la Dickita en el proyecto se encuentra distribuido en los bordes del *litocap* de manera transicional a la alteración argílica (Fotografía 12). Asociada a muy bajas leyes de Au de 0.1 ppm en promedio (Ver Plano 13) e igualmente a leyes muy bajas de Cu de 200 ppm en promedio (Ver Plano 14).

Los rasgos espectrales son doble agudos, picos 1382 y 1415 nm. (Gráfico 5)



Fotografía 12. Muestra: MT14-488, Dickita

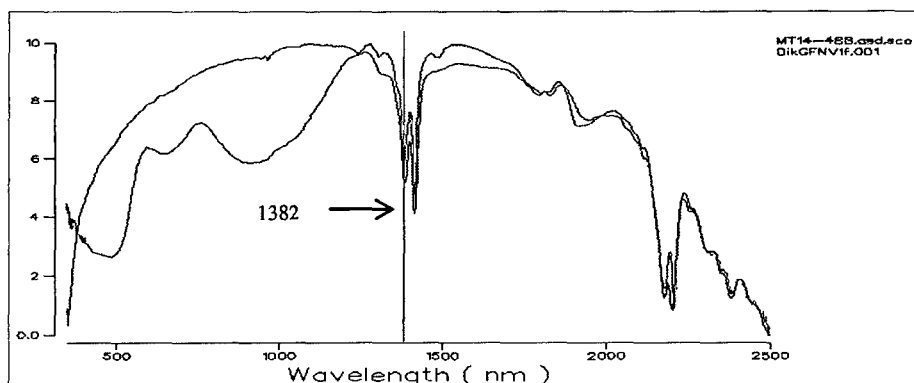
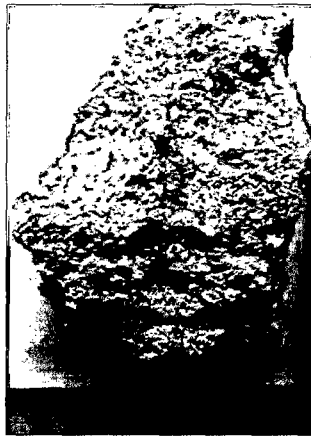


Gráfico 5. Espectro de Dickita: Muestra MT14-488 _ DikGFNV1f.001

e. Kaolinita - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

La ocurrencia de la Kaolinita se correlaciona con la Dickita emplazándose en los bordes del *litocap* (Fotografía 13). Asociada a bajas leyes de Au de 0.1 a 0.2 ppm (Ver Plano 15) y a leyes muy bajas de Cu de 200 ppm en promedio (Ver Plano 16).

Los rasgos espectrales diagnósticos de la caolinita son muy similares a las de la dickita, los dos dobletes son los rasgos más diagnósticos, el pico ocurre entre 1396 y 1415 nm. Estas difieren únicamente en la forma de los rasgos alrededor de 1400 nm. (Gráfico 6)



Fotografía 13. Muestra: MT14-193, Kaolinita

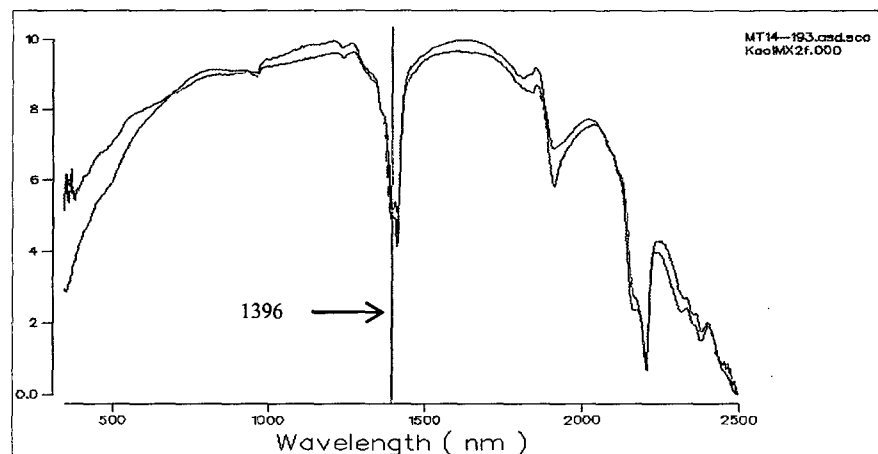


Gráfico 6. Espectro de Kaolinita: Muestra MT14-193 _ KaoIMXf.000

f. Illita – $KAl_4(Si_7Al_1.5O_{20})(OH)_4$

La ocurrencia de la illita espacialmente correlaciona con la dickita y kaolinita, se emplazan en los bordes de los cuerpos sub volcánicos intraminerales, lo cual estaría evidenciando una sobre imposición en el sistema (Fotografía 14). Asociada a muy bajas leyes de Au de 0.1 ppm en promedio (Ver Plano 17) así también a leyes muy bajas de Cu de 200 ppm en promedio (Ver Plano 16). El rasgo espectral varía en su agudeza, el rasgo de absorción se encuentra en el pico 1409 (Gráfico 7)



Fotografía 14. Muestra: MT14-439, Illita

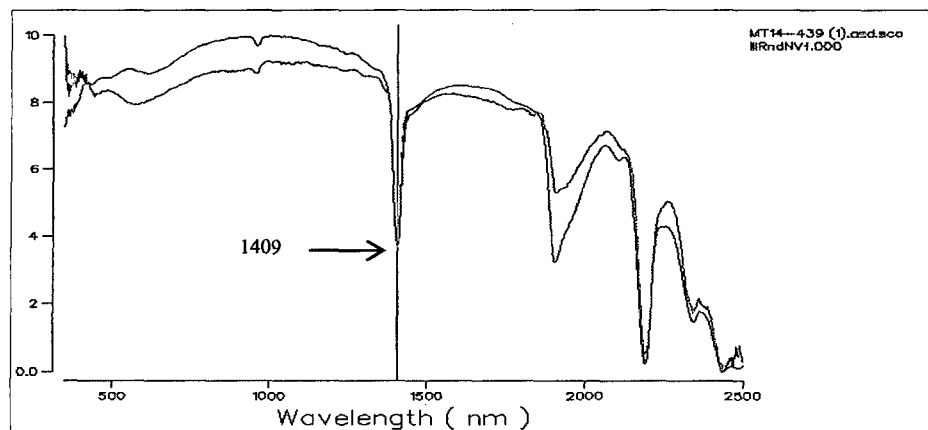


Gráfico 7. Espectro de Illita: Muestra MT14-439_ IIIRndNVf.000

Es así que de esta forma se ha determinado los principales minerales de alteración, así como sus minerales secundarios y accesorios del proyecto Mirador (Cuadro 9). Así mismo gracias a estos minerales y a los minerales indicadores que se han utilizado del diagrama de Corbett & Leach (1998) se han determinado los tipos de alteraciones en el campo hidrotermal del proyecto Mirador, clasificaciones que se vienen utilizando para ambientes HS como se aprecia en el cuadro 10.

Cuadro 9. Minerales de alteración principales y secundarios.

ZONA	MINALT_PRINCIPAL	MINALT_SECUNDARIOS	MINALT_ACCESORIOS
MIRADOR	Alunita-Sílice-Kaolinita-Pirofilita	Illita-Dickita-Gohetita-Montmorillonita-Opalo	Hlo-Clos-Dsp-Mus-Esm-Cal-smt-zun-Esc

Cuadro 10. Ensamblajes por tipo de Alteraciones.

Tipo de alteración		Ensamble de MNLs SWIR
Silicificación	Sílice masiva (SM)	Sílice, ópalo
	Sílice vuggy (SV) lixv	Sílice vuggy, sílice oquerosa
	Sílice granular (SG)	Sílice granular friable
Argílico Avanzado	Argl. Avd-Aln (AA-Aln)	Sil-Aln Síl-Aln-Prft
	Argl. Avd-Prf (AA-P)	Sil-Prf-Aln
Argílico	Argl (Kao)	Kao-Dick
	Argl (Illl)	Illl-mont, esm

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las características petrográficas y las alteraciones hidrotermales están asociadas a la mineralización de oro y cobre. En base a este planteamiento inicial se comprobó que mediante estudios petrográficos se determinó las características petrográficas y que las alteraciones hidrotermales típicas de un sistema de alta sulfuración están asociadas a la mineralización de Au principalmente más no favorablemente con la mineralización de cobre.

La mineralización de oro está relacionada a las brechas hidrotermales con alteración sílica principalmente y con disseminación de óxidos (goetita, jarosita).

Según la interpretación de los análisis terraspec se comprobó la asociación de los valores de oro a la alteración de Silice principalmente (0.3 a 0.5 ppm) y a menores valores de oro (0.2-0.3ppm) asociados con los minerales de la alteración Argilico Avanzada (alunita, pirofilita).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las características petrográficas analizadas indican que son rocas de composición andesítica de textura Porfírica de grano fino a medio (feldespatos de 1 a 3mm) cortados por brechas freáticas e hidrotermales.
- La distribución en el terreno de los minerales de alteración está dada por un zoneamiento lateral desde centros de silicificación de control estructural (fracturas) representado por sus diferentes facies de sílice masiva, vuggy, granular con halos de alteraciones argílico avanzado (alunita, pirofilita), argílico (kaolinita, illita) y propilítico. En algunas zonas la alteración argílica está en contacto directo con la sílice granular.
- La mineralización de oro está asociada generalmente a las brechas hidrotermales y en cuanto a las alteraciones hidrotermales está asociada principalmente a la sílice gris, vuggy y granular con presencia de óxidos de hierro (goetita, hematita) con valores promedios de 0.2 a 0.5 ppm de oro, con menores valores con la alteración argílico avanzado (alunita) con 0.25 ppm de oro en promedio, mas no está asociados favorablemente con la mineralización de cobre.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar una campaña de muestreo de roca para análisis petrográfico sistemático en cada unidad presente para así afinar la interpretación y determinación de las unidades litológicas.
- Realizar una campaña de muestreo de roca para análisis de Terra Spec en malla 100x100 para una mejor interpretación y zoneamiento con la geoquímica.
- Completar y afinar el mapeo de alteraciones hidrotermales a escala 1: 1000 con las interpretaciones de las muestras analizadas de Terra Spec.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, Perú. P. 263-638.

Espinoza, W. 2005. Estudio De Los Ensamblajes De Alteración Y Su Zonamiento En Depósitos De Alta Sulfuración Utilizando El TerraSpec Aplicado En Los Depósitos “Quecher y Maqui Maqui”; Distrito Yanacocha – Perú”. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo, Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca. p. 4-5.

Gustafson, LB; Vidal, CE; Pinto, R., and Noble, DC. 2004. Porfirio-epitermal de transición, región Cajamarca, norte del Perú: Publicación Especial 11 SEG, p. 279-299.

Hedenquist J. W. (1987). Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin. In Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference (M.K. Horn. ed.). August, 1986, Singapore. Am. Assoc. Petroleum Geol., Tulsa, Oklahoma. p 513 – 524.

Hedenquist J. W; Matsuhisa Y; Izawa E., White N. C; Giggenbach W. F. & Aoki M. 1994. Geology and geochemistry of high – sulfidation Cu – Au mineralization in the Nansatsu district, Japan. Economic Geology 89. p. 1 – 30.

Hoyt, J. (1997), “Geología, Estructuras y alteración hidrotermal en los complejos volcánicos al Este de Tantahuatay”, 34 p.

Hunt G. R. 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near – infrared. Geophysics 42. p. 501 – 513.

Miranda, C. 2003. Informe Petrográfico de 24 muestras de Tantahuatay y Conga. 43 p.

Sillitoe R. H. 1993. Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. and Duke, J.M., eds. Geological Association of Canada Special Paper 40. p. 403 – 417.

Tosdal, RM. 1996. Geología y estructuras del campo volcánico Tantauhatay asociados a ambientes de alta sulfuración, mineralización de Cu-Au, al norte de Perú: Buenaventura S.A. 54P

Tosdal, R. M. 1996. Geología y estudio estructural de los campos volcánicos en Tantauhatay asociados a mineralización de Cu-Au de alta sulfuración en el norte del Perú, 59 p.

REFERENCIAS LINKOGRAFICAS

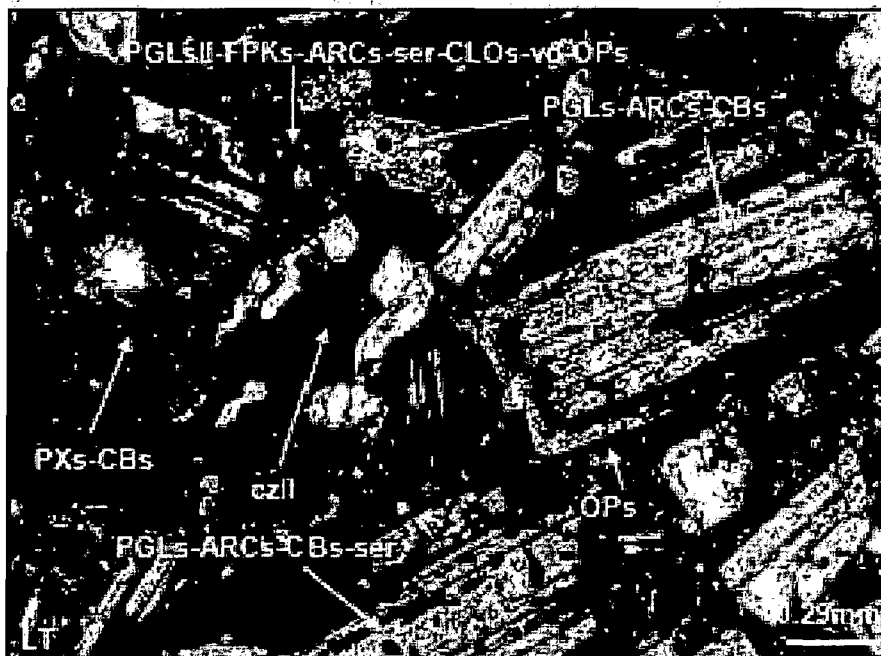
- Corbett, G.J. y Leach, T.M. 1998. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. 237 pp (En línea). Consultado el 26 abr. 2015. Disponible en <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACION.pdf>.
- Huang, W. T. 1968. Petrología” (En línea). Consultado el 26/ de abril. 2015. Disponible en: <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/rocas/petrografia>.

ANEXOS

ANEXO A. Estudio Petrográfico: Muestra M-47

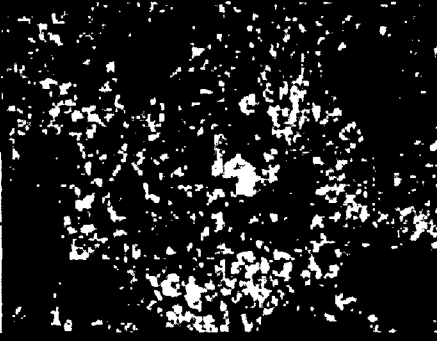


Fotomicrografía 16.- Fenocristales de plagioclasas alterados por arcillas y sericita (PGLs-ARCs-ser), piroxenos alterados por cloritas y óxidos de hierro (PXs-CLOs-OXs-Fe), cuarzo II y carbonatos rellenanando espacios vacios (czil-CBs); en matriz constituida por plagioclasas II, arcillas, sericita, cloritas, vidrio y minerales opacos (PGLsII-FPKs-ARCs-ser-CLOs-vid-OPs). LT: Luz transmitida.

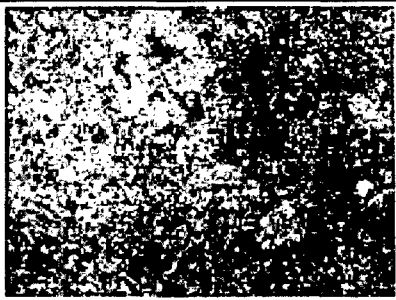


Fotomicrografía 17.- Fenocristales de plagioclasas alterados por arcillas y carbonatos (PGLs-ARCs-CBs), piroxenos alterados por carbonatos (PXs-CBs), cuarzo II rellenanando espacios vacios (czil); matriz constituida por plagioclasas II, arcillas, sericita, cloritas, vidrio y minerales opacos (PGLsII-FPKs-ARCs-ser-CLOs-vid-OPs). LT: Luz transmitida.

ANEXO B. Estudio Petrográfico: Muestra BWS DPM 183

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	BWS DPM 183		
CLASIFICACIÓN ROCA	Roca porfírica muy alterada por cuarzo y óxidos de hierro		
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca de textura porfírica. Presenta moldes de fenocristales reemplazados por cuarzo I y algunos por minerales opacos con óxidos de hierro; con una matriz reemplazada por cuarzo II con minerales opacos y óxidos de hierro, con escasos cristales de alunita y zircón en sus intersticios. Presentan cavidades con formas tabulares como moldes de cristales.</p>			
MINERALOGIA			
Mineral (%)	Tamaño (mm)	Características y Ocurrencias	Alteración
Cuarzo I (13%)	< 0.3	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Ocurren reemplazando moldes de fenocristales, algunos tabulares, con bordes subredondeados y subangulosos, en ocasiones junto con minerales opacos, con contactos suturados entre sí.	No aplica
Cuarzo II (52%)	< 0.2	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Con bordes subredondeados y subangulosos. Se presentan reemplazando a la matriz junto con minerales opacos, y óxidos de hierro, con escasos cristales de alunita, zircón y arcillas en sus intersticios.	No aplica
Alunita (Trazas)	< 0.1	Cristales: Subhedrales Formas: Tabulares Descripción: Ocurren como escasos cristales en los intersticios del cuarzo II y los minerales opacos presentes en la matriz.	Óxidos de hierro

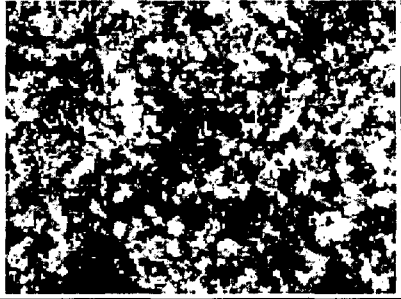
ANEXO C. Estudio Petrográfico: Muestra BWS DPM 190

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	BWS DPM 190		
CLASIFICACIÓN ROCA	Roca porfírica alterada completamente por cuarzo y alunita		
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca de textura porfírica silicificada y alunitizada. Presenta moldes de fenocristales tabulares totalmente alterados por pequeños cristales de cuarzo I y otros por alunita con arcillas; también moldes alterados completamente por cuarzo I con alunita en sus intersticios; en algunos casos con impregnaciones de óxidos de hierro. En una matriz reemplazada por pequeños cristales de cuarzo III con alunita, minerales opacos, pirofilita, rutilo y arcillas en sus intersticios. Se observan finas venillas rellenas por cuarzo III y otras por óxidos de hierro. Con cavidades rellenas por cuarzo IV.</p>			
MINERALOGIA			
Mineral (%)	Tamaño (mm)	Características y Ocurrencias	Alteración
Cuarzo I (24%)	< 0.15	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Se presentan reemplazando moldes de fenocristales tabulares, con bordes subredondeados y contactos suturados entre sí; en ocasiones con alunita y arcillas en sus intersticios. En ocasiones con impregnaciones de óxidos de hierro.	No aplica
Cuarzo II (38%)	< 0.08	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Se encuentran reemplazando a la matriz, con bordes subredondeados y contactos suturados entre sí; presentan alunita, minerales opacos, pirofilita, rutilo y arcillas en sus intersticios.	No aplica
Cuarzo III (Trazas)	< 0.05	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Se observan relleno de finas venillas con espesores menores a 0.1 mm; con contactos suturados entre sí; en algunos sectores junto con óxidos de hierro.	No aplica

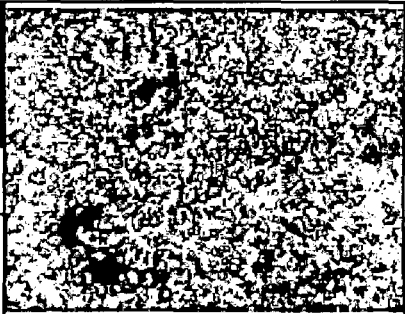
Documento elaborado por BISA

Laboratorio - Natalio Sánchez 220 Oficina 301, Lima 11 - Perú T.(511)6266200 Anexo 390/ 275 /389


ANEXO D. Estudio Petrográfico: Muestra BWS DPM 191

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	BWS DPM 191		
CLASIFICACIÓN ROCA	Roca porfírica alterada por cuarzo, alunita y óxidos de hierro		
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca porfírica silicificada y alunitizada. Presenta cristales de cuarzo I y moldes de fenocristales tabulares completamente alterados por alunita, cuarzo II, óxidos de hierro y arcillas. En una matriz reemplazada por cuarzo III con alunita, minerales opacos, pirofilita, arcillas y óxidos de hierro en sus intersticios.</p>			
MINERALOGIA			
Mineral (%)	Tamaño (mm)	Características y Ocurrencias	Alteración
Cuarzo I (Trazas)	< 0.2	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Se presentan con bordes subredondeados y ligeramente corroídos.	No aplica
Cuarzo II (4%)	< 0.05	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Se presentan como pequeños cristales en intersticios de la alunita alterando completamente a moldes de fenocristales tabulares. Con impregnaciones de óxidos de hierro.	No aplica
Cuarzo III (61%)	< 0.35	Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Se encuentran con bordes subredondeados y contactos suturados entre sí. Ocurren reemplazando a la matriz; con alunita, minerales opacos, pirofilita, arcillas, rutilo y óxidos de hierro en sus intersticios.	No aplica
Alunita (25%)	< 0.15	Cristales: Anhedrales y subhedrales Formas: Irregulares y tabulares Descripción: Se observan alterando completamente a moldes de fenocristales tabulares; con cuarzo II, arcillas y óxidos de hierro en sus intersticios. También en intersticios del cuarzo III que reemplaza a la matriz.	Óxidos de hierro

ANEXO E. Estudio Petrográfico: Muestra BWS DPM 192

ESTUDIO PETROGRÁFICO (BRECHAS O TOBAS)		
CODIGO MUESTRA	BWS DPM 192	
CLASIFICACIÓN ROCA	Brecha de fragmentos de rocas silicificadas en matriz de alunita	
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca con textura brechoide. Presenta fragmentos de rocas silicificadas; también fragmentos de cristales de cuarzo I y moldes de cristales reemplazados por cuarzo II; la matriz presenta cristales tabulares de alunita con pequeños cristales de cuarzo III y pirofilita en sus intersticios, con contactos suturados entre sí. Con impregnaciones de óxidos de hierro en algunos sectores.</p>		
FRAGMENTOS		
<p>Fragmentos de rocas silicificadas (70%) con bordes subredondeados y tamaños menores a 9 mm. Se encuentran totalmente silicificadas. Presentan moldes de fenocristales tabulares alterados completamente por alunita, cuarzo y arcillas, algunos solo reemplazados por cuarzo; en una matriz reemplazada por pequeños cristales de cuarzo con tamaños hasta de 0.07 mm, con bordes subredondeados y contactos suturados entre sí, presentan escasos minerales opacos, alunita, pirofilita, arcillas y óxidos de hierro en sus intersticios. También algunos fragmentos que solo presentan cristales anhedral de cuarzo con contactos suturados entre si y tamaños menores a 0.15 mm; con escasas arcillas, pirofilita y alunita en sus intersticios. Algunos fragmentos presentan ligeras impregnaciones de óxidos de hierro.</p>		
<p>Fragmentos de cristales de cuarzo I (Trazas) se encuentran con bordes subredondeados y ligeramente corroídos, con tamaños menores a 0.4 mm.</p>		
TOTAL FRAGMENTOS (70%)		
MATRIZ		
<p>Presenta cristales tabulares e irregulares de alunita (23%) con tamaños hasta de 0.2 mm; pequeños cristales anhedral de cuarzo III (1%) con tamaños menores a 0.1 mm; y cristales anhedral de pirofilita (<1%) con tamaños menores a 0.05 mm. Se encuentran con contactos suturados entre sí. En algunos sectores con impregnaciones de óxidos de hierro.</p>		
TOTAL MATRIZ (25%)		

ANEXO F. Estudio Petrográfico: Muestra BWS DPM 198

ESTUDIO PETROGRÁFICO			
CODIGO MUESTRA	BWS DPM 198		
CLASIFICACIÓN ROCA	Andesita porfirítica		
<p>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Roca volcánica con textura porfirítica. Presenta fenocristales de plagioclasas, feldespatos potásicos y minerales opacos; también moldes de fenocristales tabulares completamente alterados por cloritas, arcillas y sericita. En una matriz con pequeños cristales de plagioclasas y feldespatos potásicos con minerales opacos, arcillas y sericita intersticiales; en algunos sectores es alterada por cuarzo, cloritas y arcillas; con impregnaciones de óxidos de hierro.</p>			
MINERALOGÍA			
Mineral (%)	Tamaño (mm)	Características y Ocurrencias	Alteración
Plagioclasas (56%)	< 2.25	<p>Cristales: Subhedrales Formas: Tabulares Descripción: Se presentan como fenocristales con bordes subredondeados y subangulosos, fracturados, con macla polisintética y zonación; con inclusiones de minerales opacos; algunos completamente alterados por cloritas, arcillas y sericita. En ocasiones como agregados. También pequeños cristales tabulares presentes en la matriz alterados por arcillas, con tamaños menores a 0.08 mm.</p>	Arcillas, sericita y cloritas
Feldespatos potásicos (6%)	< 1.75	<p>Cristales: Subhedrales Formas: Tabulares Descripción: Se encuentran como fenocristales alterados fuertemente por arcillas; con bordes subredondeados y subangulosos; presentan macla de Carlsbad e inclusiones de minerales opacos. Con pequeños cristales anhedrales presentes en la matriz con tamaños menores a 0.1 mm, alterados por arcillas.</p>	Arcillas
Cuarzo (15%)	< 0.1	<p>Cristales: Anhedrales Formas: Irregulares Descripción: Ocurren alterando parcialmente a la matriz en algunos sectores, junto con arcillas y cloritas. Se observan con borde subredondeados; en ocasiones con contactos suturados y minerales opacos intersticiales.</p>	No aplica

ANEXO G. Cuadro de Ensamblajes de alteración y características de los depósitos tipo Pórfido, Mesotermal y Epitermal determinados con el Terra Spec. Corbett & Leach, 1998.

		INCREASING pH →						
INCREASING TEMPERATURE ↓	Op, Cr, Tri Silica	Al, Op, Cr, Tri	Al, Hal, Silica	Hal, Silica	Hal, Sm, Silica	Sm, Silica	Ch-Sm/Ch, Silica, Ch	Ch-Sm/Ch, Silica, Zeo, Ct/Do
		Al, K, Silica	K, Silica	K, Sm, Silica, +/- Sid				
Q	Al, Q	Al, K, Q	K, Q	K, Sm, Q, +/- Sid	Sm, Ch, Q/Chd	Ch/Ch-Sm, Sm, Q/Chd, Ch	Ch/Ch-Sm, Q/Chd, Zeo, Ct/Do	Stb, Heu, Mor, Chab, Nat Zeolites Wai, Lau
		Al, K, Dik, Q, +/- Dp	K, Dik, Q, +/- Dp	K, Dik, I/I - Sm, Q, +/- Sid	I-Sm, Q/Chd, Ch	Ch, Ch, I - Sm, Q/Chd	Ch, Q/Chd, Act/Ep, Cpx	
		Al, Dik, Q, +/- Dp	Dik, Q, +/- Dp	Dik, I, Q, +/- Sid	I, Q, Ch	Ch, F, Ad/An, Q, Ch		
		Al, Dik, Pyr, Q, +/- Dp	Dik, Pyr, Q, +/- Dp	Dik, Pyr, Ser, Q	Ser, Q, Ch	Ser, Fsp, Q, Ch		
		Al, Pyr, Q, +/- Dp	Pyr, Q, +/- Dp	Pyr, Ser, Q				
		+/- And, Al, Q	+/- And, Pyr, Al, Q, +/- Dp	+/- And, Pyr, Mica	+/- And, Ser/ Mica, Q	Ser/ Mica, Q	Ch, Ser, Fsp, Q	
	+/- And, Q	Q, +/- Dp, +/- Zu				Q, Ch, Fsp, Ser/Mica		
	+/- And, +/- Cor, Q	+/- And, Pyr, Mica, +/- Cor, Q	+/- And, +/- Cor, Mica, Q	Mica, Q	Mica, Q	Fsp, Q, Mica		
	+/- Cor, Q							
	Silica Group	Alunite Group	Al - K Group	Kaolin Group	I - K Group	Illite Group	Chlorite Group	Calc - Silicate Group

COMMON MINERALS - ABBREVIATIONS:

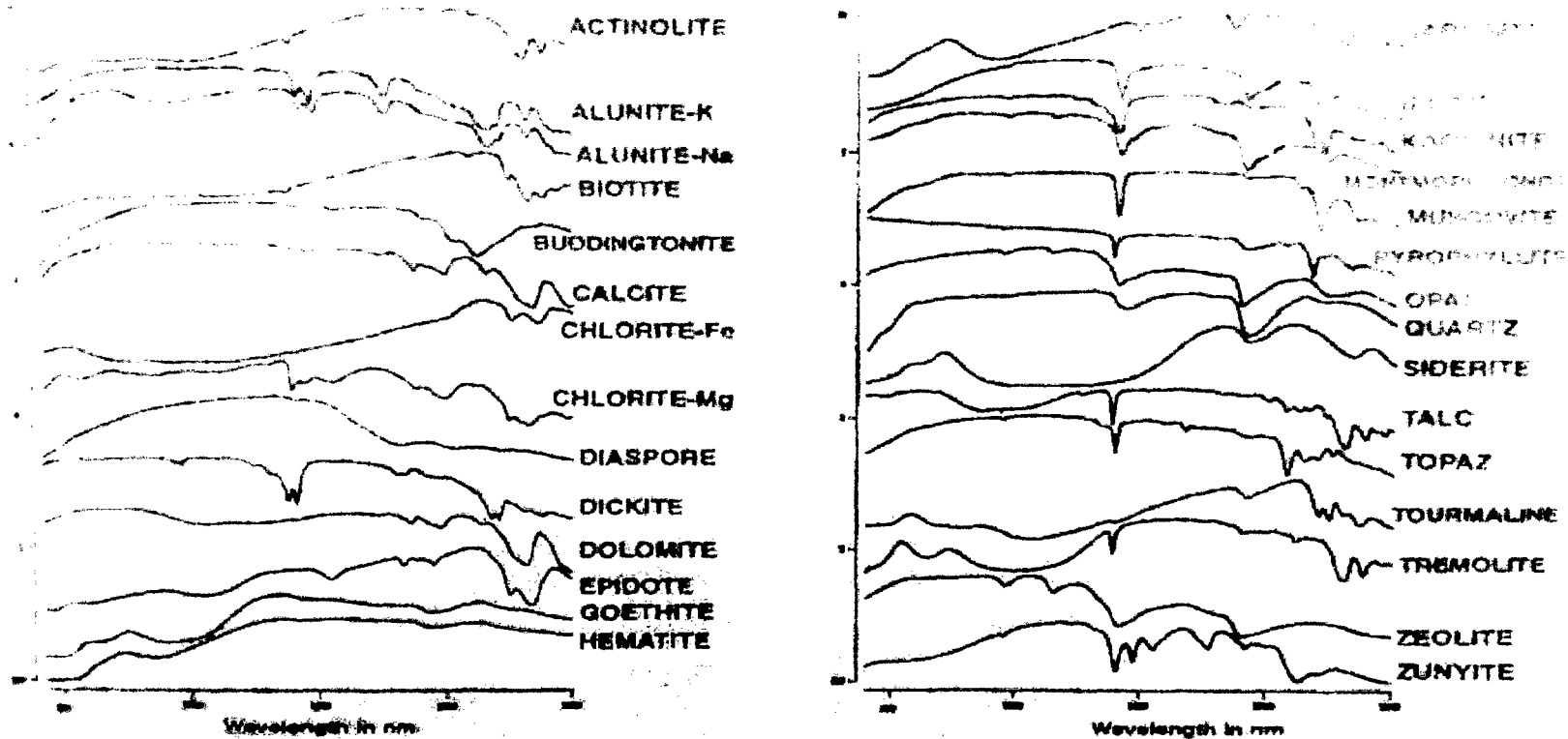
Ab - *albite*; Act - *actinolite*; Ad - *adularia*; Al - *alunite*; And - *andalusite*; Ch - *carbonate* (Ca, Mg, Mn, Fe)
 Ch - *chlorite*; Chab - *chabazite*; Chd - *chalcedony*; Ch-Sm - *chlorite/smectite*; Cor - *corundum*;
 Cpx - *clinopyroxene*; Cr - *crystalite*; Ct - *calcite*; Do - *dolomite*; Dik - *dickite*; Dp - *diaspore*; Ep - *epidote*;
 Fsp - *feldspar*; Ga - *garnet*; Hal - *halloysite*; Heu - *heulandite*; I - *illite*; I-Sm - *illite/smectite*; K - *kaolinite*;
 Lau - *laumontite*; Mt - *magnetite*; Mor - *mordenite*; Nat - *natrolite*; Op - *opaline silica*; Pyr - *pyrophyllite*;
 Q - *quartz*; Ser - *sericite*; Sid - *siderite*; Sm - *smectite*; Stb - *stilbite*; To - *topaz*; Tr - *tremolite*; Tri - *tridymite*;
 Ves - *vesuvianite*; Wai - *wairakite*; Wo - *wollastonite*; Zeo - *zeolite*; Zu - *zuyite*

*minerals in italics are inferred inactive.

Adularia may carry ammonia = buddingtonite; quartz usually carries water; corundum, andalusite may have water

	Potassic Zone		Propylitic Zone		Outer / Sub Propylitic
	Skarn		Argillic		Advanced Argillic
	Phyllic				

COMMON HYDROTHERMAL ALTERATION MINERALS



Spectral International, Inc., P.O. Box 1027, Arvada CO 80001 USA
Tel. 303 409 2969 Fax 303 409 8365 email: pusa@rmlinet
www.spectralinc.com



ANEXO I. Longitudes de Ondas de los minerales de alteración determinados con el Terraspec. Hunt, 2005. Spectral Internacional Inc.

MINERALES COMUNES - RASGOS DIAGNÓSTICOS

	1.4u H ₂ O +OH	2.2u AL-OH	2.3u Fe-OH, Mg-OH, CO ₃
D O B L E S	Alunite 1.420 +/- Alunite 1.497		Amphiboles 2.291-2.302 2.312-2.319 Azurite 2.240-2.251 Bi Phlogo 2.222-2.235 Hydrocarbons 2.242-2.253 2.349-2.351 Malachite 2.266 2.253-2.255 Talc 2.283-2.294 2.308-2.314
	Dickite 1.380 +/- Kaolinite 1.392 +/- Zonyite 1.557 +/- Gypsum 1.43 +/- Jarosite 1.468 +/- Pyroxenes 0.914-1.053	Alunite 2.162 +/- Dickite 2.176 +/- Kaolinite 2.164	
	Al-Micas 1.410 +/- Illite 1.410 +/- Pyrophyllite 1.392 +/- Sericite 1.452 +/- Talc 1.390-398 Topaz 1.405-408	Al-Micas 2.194-2.220 Illite 2.190-2.220 Pyrophyllite 2.166-2.088 Topaz 2.086-2.088	Jarosite 2.297-2.271 Tourmaline 2.251-2.255
	Illite/smectite 1.406-1.412 nd Quartz 1.443-1.447 Silica 1.420-1.426 Smectite 1.410-1.416	Diaspore 2.176-2.22 Illite/Smectite 2.188-2.192 Monmorillonite 2.208-2.214 Silica 2.236-2.250	Carbonates 2.319-2.364 Chlorites 2.242-2.262 2.314-2.368 Epidote 2.338-2.346 Nontronite 2.284-2.294 Serpentines 2.314-2.336 Silica 2.24-2.252
	Gothite 0.766, 0.920 +/- Hematite 0.745, 0.892 +/- Jarosite 0.700, 0.894 +/-		
P U N T A D O			
A N C H O			
V I S			