

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE**  
**GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS**



**“CARACTERIZACIÓN PETROMINERALÓGICA Y GEOQUÍMICA DEL SKARN  
DE MARMOL DE QUIQUIJANA (PROVINCIA DE QUISPICANCHI – CUSCO)”**

Tesis presentada por el Bachiller:

**IVAN CACERES ANGULO**

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias de la  
Tierra, con mención en Exploración Geológica

Asesor:

**DR. LUIS HUMBERTO CHIRIF RIVERA**

**AREQUIPA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE**  
**GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS**

**“CARACTERIZACIÓN PETROMINERALÓGICA Y GEOQUÍMICA DEL SKARN  
DE MARMOL DE QUIQUIJANA (PROVINCIA DE QUISPICANCHI – CUSCO)”**

Tesis presentada por el Bachiller:

**IVÁN CÁCERES ANGULO**

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias de  
la Tierra, con mención en Exploración Geológica

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE: Mag. MADELEINE NATHALI GUILLEN GOMEZ  
PRIMER MIEMBRO: Mag. LEONARDO MIGUEL ZEVALLOS VALDIVIA  
SEGUNDO MIEMBRO: Dr. LUIS HUMBERTO CHIRIF RIVERA  
ASESOR DE TESIS: Dr. LUIS HUMBERTO CHIRIF RIVERA

AREQUIPA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA:**

Mi tesis la dedico a mis padres, Juan de Mata (Quien goza de la gloria del Señor) y Lina por dejarme la mejor herencia, mi educación y gracias a ellos lo que soy.

A mi esposa Laura y mi hijo Iván Emmanuel porque mis logros son sus logros y por su apoyo en mis horas de dedicación a este propósito.

A mis hermanos Edwin y Lina porque me motivaron en todo momento a seguir dando un paso más hacia adelante para lograr este grado académico.

A mis tías Luz, Clelia, Lupe y Yoni por su apoyo incondicional en algún momento en mi formación académica.

A todas las personas que hicieron posible esta tesis con su participación en algún momento de su desarrollo.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Este trabajo de tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron distintas personas; opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dándome ánimos, acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad. Este trabajo me ha permitido aprovechar la competencia y experiencia de muchas personas que deseo agradecer en este apartado.

En primer lugar, a Dios por guiar mi camino en todo momento y permitirme llegar a este momento.

Al Dr. Luis Humberto Chirif Rivera por su asesoría en la presente tesis.

A mis alumnos que me acompañaron en las salidas de campo.

A Arnold y al INGEMMET por su apoyo en la preparación de las secciones delgadas.

A la Escuela de Posgrado de la Facultad de Geología, Geofísica y Minas de la UNSA por darme la oportunidad de alcanzar este Grado Académico.

A mis docentes de la Maestría porque cada uno de ellos aportaron en mi formación Académica.

# RESUMEN

La zona de estudio se encuentra ubicada en el cerro Curi, al sur de la ciudad del Cusco, en el distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchi, Región Cusco – Perú.

Allí se formó un Skarn como consecuencia de la intrusión de un cuerpo intrusivo de composición granodiorita – diorita en rocas caliza originando un metasomatismo que dio como resultado la formación de depósitos de hierro, magnetita y mármol.

Las unidades estratigráficas que están involucradas en la formación del skarn corresponden al Grupo Copacabana que está compuesta por una litología de calizas, la formación Cay cay en su nivel volcánico de litología basalto espilítico y el cuerpo intrusivo que tiene una litología que varía de granodiorita a diorita, en la parte distal tenemos afloramientos de Areniscas, con intercalaciones de lutitas correspondientes a las formaciones Puquin, Quilque y Kayra, así como pizarras de la formación Ananea.

Las rocas caliza sufrieron un metamorfismo por lo que se formaron depósitos de mármol que en la actualidad son explotadas de manera artesanal por los pobladores del lugar. En el contacto entre la roca intrusiva y la caliza se formaron una vetas de hierro, pudiéndose encontrar mineralización de magnetita y hematita.

La caracterización petromineralógica y geoquímica se realizaron a muestras de rocas que afloran en el cerro Curi, habiéndose recolectado muestras representativas de cada unidad litológica las cuales fueron descritas macroscópicamente y microscópicamente utilizando el microscopio petrográfico de luz transmitida y luz reflejada. Dos muestras de la roca volcánica y una del intrusivo fueron analizados mediante los métodos Plasma Acoplado por Inducción ICP-MS para su caracterización geoquímica y Fluorescencia de rayos X.

La caracterización petromineralógica en las rocas clásticas como areniscas nos muestra una presencia de minerales de hematita, en las rocas calizas, también vemos presencia de mineralización de hierro en las fracturas, la presencia de pirolusita en el mármol, la presencia de hematita en las rocas intrusivas y bastante calicita en la roca volcánica. La presencia de estos minerales evidencia que la formación del skarn de Fe afectó a las rocas existentes en el lugar.

La asociación mineral del skarn de Fe presenta mineralización de diópsido, anfíbol, epidota y clorita en la roca diorita y granate grosularia en la roca intrusiva y volcánica. Evidenciándose así que presenta la asociación mineralógica característica de un skarn de Fe.

La caracterización geoquímica nos muestra que la roca volcánica corresponde a una composición traquita a traquiandesita, corresponde a un magma alcalinas y de un ambiente tectónico de subducción. La roca intrusiva la clasificaríamos como una monzonita y el magma es toleítico.

# ABSTRACT

The study area is located on the Curi hill, south of the city of Cusco, in the district of Quiquijana, Quispicanchi province, Cusco Region - Peru.

There a Skarn was formed as a consequence of the intrusion of an intrusive body of granodiorite - diorite composition in limestone rocks, originating a metasomatism that resulted in the formation of iron, magnetite and marble deposits.

The stratigraphic units that are involved in the formation of the skarn correspond to the Copacabana Group that is composed of a limestone lithology, the Cay cay formation in its volcanic level of spilitic basalt lithology and the intrusive body that has a lithology that varies from granodiorite to diorite. In the distal part we have sandstone outcrops, with intercalations of shales corresponding to the Puquín, Quilque and Kayra formations, as well as shales from the Ananea formation.

The limestone rocks underwent a metamorphism for which marble deposits were formed that are currently exploited in an artisanal way by the inhabitants of the place. In the contact between the intrusive rock and the limestone, an iron vein was formed, being able to find magnetite and hematite mineralization.

The petromineralogical and geochemical characterization were performed on rock samples that outcrop in the Curi hill, having collected representative samples of each lithological unit which were described macroscopically and microscopically using the petrographic microscope of transmitted light and reflected light. Two samples of the volcanic rock and one of the intrusive rock were analyzed using the ICP-MS Induction Coupled Plasma methods for their geochemical characterization and X-ray Fluorescence.

The petromineralogical characterization in clastic rocks such as sandstones shows us a presence of hematite minerals, in limestone rocks, we also see the presence of iron mineralization in fractures, the presence of pyrolusite in marble, the presence of hematite in intrusive rocks. and quite a bit of chalcite in the volcanic rock. The presence of these minerals shows that the formation of the Fe skarn affected the existing rocks at the site.

The Fe skarn mineral association presents mineralization of diopside, amphibole, epidote and chlorite in the diorite rock and grossular garnet in the intrusive and volcanic rock. Thus showing that it presents the characteristic mineralogical association of a Fe skarn.

The geochemical characterization shows us that the volcanic rock corresponds to a trachyte to trachyandesite composition, it corresponds to an alkaline magma and a subduction tectonic environment. We would classify the intrusive rock as a monzonite and the magma is toleitic.



# INDICE GENERAL

DEDICATORIA: .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vii
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE FIGURAS .....	xii
INDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xiii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. ....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.4. HIPÓTESIS .....	3
1.5. OBJETIVOS. ....	3
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	4
1.6.1. ALCANCES. ....	4
1.6.2. LIMITACIONES. ....	4
1.7. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN. ....	8
2.2 BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. DEFINICIÓN DE SKARN.....	10
2.2.2 SKARN DE HIERRO (Fe). ....	13
2.2.3 PETROLOGÍA. ....	13
2.2.4 PETROGRAFÍA .....	14
2.2.5 DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS .....	14
2.2.6 GEOQUÍMICA.....	21
2.2.7. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA GENERAL .....	21
2.2.8 DIAGRAMAS DEL QUIMISMO. ....	23
2.2.9 MÉTODO DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE ROCAS .....	25
2.3 ESTRATIGRAFÍA.....	27
2.3.1. FORMACIÓN ANANEA (SD-a).....	27

2.3.2.	GRUPO COPACABANA (Pi-c) .....	29
2.3.3.	FORMACIÓN CAY CAY (Jms-cc) .....	32
2.3.4.	FORMACIÓN PUQUIN (Ks-pu) .....	37
2.3.5.	FORMACIÓN QUILQUE (Pp-qu) .....	40
2.3.6.	FORMACION KAYRA (Peo- ky) .....	41
2.3.7.	INTRUSIVO: QUIQUIJANA (P/gd).....	42
2.3.8.	DEPÓSITO DE MARMOL.....	45
2.3.9.	DEPÓSITO DE MAGNETITA .....	48
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		56
3.1.	MÉTODODO DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN. ....	56
3.3.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	59
CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN PETROMINERALÓGICA Y GEOQUÍMICA.....		60
4.1.	CARACTERIZACIÓN PETROMINERALÓGICA.....	60
4.1.1	GRUPO COPACABANA. ....	60
4.1.2.	FORMACIÓN CAY CAY.....	61
4.1.3.	FORMACIÓN PUQUIN .....	67
4.1.4.	FORMACIÓN QUILQUE.....	69
4.1.5.	FORMACIÓN KAYRA.....	70
4.1.6.	DEPÓSITO DE MÁRMOL.....	71
4.1.7.	DEPÓSITO DE MAGNETITA .....	72
4.1.8.	CUERPO INTRUSIVO.....	73
4.2	CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA.....	77
4.2.1.	ANÁLISIS QUÍMICO.....	77
4.2.2.	DIAGRAMAS PARA CLASIFICAIÓN QUÍMICA DE ROCAS .....	84
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		92
CONCLUSIONES. ....		98
RECOMENDACIONES .....		99
BIBLIOGRAFÍA .....		100
ANEXOS .....		103

## INDICE DE TABLAS

Tabla 01: Clasificación geoquímica de elementos.....	23
Tabla 02. Tabla de resumen de muestras de rocas descritas bajo el microscopio petrográfico. .....	76
Tabla 03: Tabla de resultados de análisis geoquímico de elementos y roca total de las muestras 208 (Roca Intrusiva); 006 y 007 (Roca volcánica de la formación Cay cay). .	78
Tabla 04: Tabla de análisis geoquímico de los cuerpos intrusivos del Cuadrángulo de Cusco .....	79
Tabla 05. Composición de elementos mayores y traza de la corteza continental. ....	80
Tabla N° 06. Tabla comparativa entre los valores promedio de elementos traza de la corteza con los valores obtenidos en Quiquijana.....	81
Tabla 07: Tabla geoquímica de las muestras recolectadas en el cerro Curi de Quiquijana. .....	82
Tabla 08: Geoquímica de elementos mayores de las muestras del cerro Curi de Quiquijana .....	83
Tabla 09: Geoquímica de elementos traza de las muestras del cerro Curi de Quiquijana	83

# INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Zonación que sucede en la mayoría de los Skarn la cual copia la geometría del contacto del plutón y los flujos de fluidos. Los Skarn son zonados y la zona de endoskarn y exoskarn proximal poseen un alto contenido de granate. Las zonas distales más ricas en piroxeno y la zona más frontal, relacionada con mármoles puede estar dominada por piroxenoides o vesuvianita. ( <a href="https://www.medellin.unal.edu.co/">https://www.medellin.unal.edu.co/</a> ) .....	12
Figura 02: Muestra los espectros de los elementos químicos. ....	26
Figura 03. Perfil de las concentraciones de elementos de tierras normalizadas a la condrita CL (Valores normalizados según Sun y Mc Donough, 1989) para la granodiorita de Quiquijana. ....	43
Figura 04: Columna estratigráfica regional del Cusco (Fuente: Boletín A- 138 Cuadrángulo Geológico del Cusco) .....	52
Figura 05: Columna estratigráfica local de Quiquijana .....	53
Figura 06: Diagrama TAS de Cox y Willson para roca intrusiva en la que se clasifica la muestra 208. ....	85
Figura 07: Diagrama TAS de Le Maitre (1989) para rocas volcánicas en la que se muestra que los resultados para las muestras 007 y 008.....	86
Figura 08. Diagrama AFM mostrando los tipos de magma. ....	87
Figura 09: Diagrama Binario Zr Vs Ti en la que se determina la roca volcánica proviene de un magma basalto Calco alcalino.....	88
Figura 10: Diagrama de Pearce para determinar el ambiente tectónico.....	88
Figura 11: Diagrama para determinar la profundidad de la fuente. ....	89
Figura 12: Diagrama de circulación de fluidos hidrotermales. ....	90
Figura 13.: Modelo genético del Skarn de Fe de Quiquijana mostrando cortes estructurales .....	97

# INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 01: Una microfotografía de un skarn en que muestra la asociación de minerales característicos como granate (Gt), piroxeno (Px) y calcita. (Ca) .....	13
Fotografía 02: Textura secuencial o seriada (basalto; Tutor de Petrología). Polarizadores paralelos. ....	16
Fotografía 03: Textura vitrea (basalto; Tutor de Petrología). Las partes negras corresponden a vidrio. Polarizadores paralelos. ....	16
Fotografía 04: Textura clásica. (arenisca; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 3.5 mm, polarizadores cruzados.....	17
Fotografía 05: Textura blástica: A (mármol olivínico; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 6 mm, polarizadores cruzados. ....	18
B (anfíbolita; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 2 mm, polarizadores paralelos. En este caso, la textura está orientada (deformada).....	18
Fotografía 06: Textura deformada (esquisto plegado; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 3 mm, polarizadores paralelos.....	18
Fotografía 07: A) Matriz detrítica (arenisca grauvaca; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 5 mm, polarizadores cruzados. ....	20
B) Cemento carbonatado (caliza oolítica; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 3 mm, polarizadores paralelos. ....	20
Fotografía 08: Contacto entre el intrusivo y la formación Ananea en el cerro Curi – Quiquijana. Vista hacia el Norte. ....	28
Fotografía 09: Afloramiento de pizarras de la formación Ananea, mostrando la exfoliación y el grado de fracturamiento muy intenso. Vista hacia el sur. ....	29
Fotografía 10: Afloramiento de roca caliza de la formación Copacabana. Se muestra un escarpe de falla. Vista hacia el Noroeste.....	31
Fotografía 11: Plano de falla en el escarpe en las rocas caliza. ....	31
Fotografía 12: Afloramiento de caliza con presencia de nódulos de chert y calcita. ....	32

Fotografía 13: Vista panorámica mostrando los contactos de la formación Cay cay. En el piso de valle tenemos el poblado de Quiquijana y el rio Vilcanota. Vista mirando al Nor Oeste. .....	34
Fotografía 14: Afloramiento de la formación Cay cay, volcánico (Basalto espilita) en el piso de valle. Vista hacia el Este.....	34
Fotografía 15: Afloramiento de roca volcánica de la formación Cay cay. Vista mirando al Nor Este.....	35
Fotografía 16: Afloramiento del volcánico Cay cay mostrando los fenocristales de sanidina. .....	35
Fotografía 17: Afloramiento del volcánico Cay cay mostrando textura vesicular y amigdaloides bandeado reemplazados por óxidos de hierro. ....	36
Fotografía 18: Vista del afloramiento de roca volcánica de la formación Cay cay con bandeamiento formado por las vesículas y amígdalas de óxidos de hierro. ....	36
Fotografía 19: Vista mostrando los afloramientos de las formaciones Kayra, Quilque y Puquín en el poblado de Quiquijana. Vista mirando hacia el Norte.....	38
Fotografía 20: Vista mostrando el afloramiento de roca arenisca fina con intercalaciones de lutita y nódulos de calcita.....	39
Fotografía 21: Vista mostrando afloramiento de roca arenisca fina con intercalaciones de lutita y nódulos de calcita.....	39
Fotografía 22: Vista mostrando afloramiento de roca arenisca rojiza de la formación Quilque. .....	41
Fotografía 23. Vista mostrando el afloramiento del intrusivo en el cerro Curi. Vista hacia el Norte.....	44
Fotografía 24: Vista mostrando roca diorita-granodiorita en un corte de la trocha carrozable en el cerro Curi.....	44
Fotografía 25: Calicata en la cima del cerro Curi mostrando la litología granodiorita...45	
Fotografía 26: Vista del afloramiento M-2 tomada desde el afloramiento M-1. Vista tomada mirando al Nor Este.....	46
Fotografía 27: Afloramiento de mármol M-1 mostrando los bloques de mármol de más de 50 cm a 1 m de diámetro. ....	46

Fotografía 28. Vista del mármol con bandeamiento debido a la inclusión de óxidos de manganeso pirolusita.....	47
Fotografía 29. Vista mostrando las estriaciones en un plano de falla. ....	47
Fotografía 30. Vista mostrando un perforación diamantina para realizar voladura de la roca. ....	48
Fotografía 31. Vista del afloramiento Magt. 1 próximo al afloramiento de mármol M-1, nótese el imán pegado a la roca.....	49
Fotografía 32: Vista mostrando un afloramiento de magnetita, alterado a limonita. ....	49
Fotografía 33: Vista mostrando una muestra de magnetita con mineralización de oligisto. ....	50
Fotografía 34: Vista mostrando una calicata del afloramiento de magnetita Magt-2, en la cima del cerro Curi en el contacto de la caliza de la formación Copacabana y el intrusivo....	50
Fotografía 35: Vista mostrando un afloramiento de magnetita Magt-2. ....	51
Fotografía 36: Vista mostrando un bloque de magnetita con el imán pegado a la roca. ....	51
Fotografía 37: Secciones delgadas y sección pulida para la descripción petrográfica....	58
Fotografía 38: Calizas con inclusiones de nódulos de calcita (Ca) y sílice (Si). ....	60
Fotografía 39: Muestra de caliza de la formación Copacabana. ....	61
Fotografía 40: Fotomicrografia de la caliza de la formación Copacabana: A) vista en nicoles cruzados; B) vista en nicoles paralelos. (Muestra 016).....	61
Fotografía 41: Estrato de arenisca cuarzosa, hacia el techo cerca contacto con la formación Puquín.....	62
Fotografía 42: Muestra de arenisca cuarzosa en la formación Cay cay. ....	62
Fotografía 43: A) Clasto de Biotita secundaria e 1 mm de diámetro. B) Muestra de la arenisca subarcosa en sección delgada, vista en nicoles cruzados (Muestra 006) .....	63
Fotografía 44: Vista de las características del cuarzo de las areniscas.(Muestra 006)...	63
Fotografía 45: Muestra de mano de roca volcánica, basalto espilitico. ....	64
Fotografía 46: Vista al microscopio en Nicoles Cruzados de la roca volcánica mostrando cristales de sanidina (San) y granate (Gt). (Muestra 007).....	64

Fotografía 47: Vista al microscopio en Nicoles Cruzados mostrando estructura de microbrechamiento.(Muestra 010).....	65
Fotografía 48: Vista al microscopio en Nicoles Cruzados mostrando la textura amigdaloides. (Muestra 012).....	65
Fotografía 49: Vista de minerales de granate (GT) en sección delgada, A y C (Nicoles cruzados); B y D (Nicoles paralelos). (Muestra 012).....	66
Fotografía 50: Muestra de mano de rocas de la formación Cay cay mostrando una estructura denominada tren de amígdalas. ....	67
Fotografía 51: Vistas al microscopio en Nicoles Cruzados de las amígdalas. (A) amígdalas rellenas de feldespato, plagioclasas de grano fino. (B) amígdalas con núcleo de cuarzo. (Muestra 013).....	67
Fotografía 52: Muestra de mano de roca de la formación Puquín. ....	68
Fotografía 53: Vista al microscopio en Nicoles cruzados de la arenisca de la formación Puquín. (Muestra 001).....	68
Fotografía 54: En la foto se muestra el mineral de Calcita maclada con minerales de hematita. ....	69
Fotografía 55: Muestra de mano de la formación Quilque. ....	69
Fotografía 56: Vista microscópica de la arenisca de la Formación Quilque. (Muestra 002).....	70
Fotografía 57: Vista en Nicoles cruzados (A) mostrando clastos de piroxenos. (B) mostrando minerales de calcita. (Muestra 002). ....	70
Fotografía 58: Muestras de mano de la formación Kayra. ....	71
Fotografía 59: Vista al microscopio en Nicoles cruzados de la arenisca arcosa. (Muestra Ky-001).....	71
Fotografía 60: Muestras de mano del mármol (A) Bandeado (B) con pirolusita.....	71
Fotografía 61: Vista en Nicoles Cruzados de las muestras de mármol. (Muestra 204-A y 204-B).....	72
Fotografía 62: Muestra de mano de magnetita con fracturas con relleno de óxidos de hierro. ....	72



Fotografía 63: Vista al microscopio de la muestra de magnetita en sección pulida en Nícoles Cruzados. (Muestra 205).....	73
Fotografía 64: Muestras de mano de rocas del cuerpo intrusivo.....	73
Fotografía 65: Muestras del intrusivo Muestra 201 (A, B); Muestra 202 (C, D, E, F); Muestra 206 (G, H). Vista en secciones delgadas en nícoles cruzados.....	75
Fotografía 66 Muestra 208 del intrusivo .....	85

# CAPÍTULO I: GENERALIDADES

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación “Caracterización Petromineralógica y Geoquímica del Skarn de Mármol de Quiquijana (Provincia de Quispicanchi – Cusco”); se refiere al estudio petrográfico, mineralógico y geoquímico de las rocas que afloran en el cerro Curi que se encuentra ubicada en el distrito de Quiquijana de la provincia de Quispicanchi en el departamento de Cusco.

En el cerro Curi se presenta un metamorfismo de contacto en el que ha intruído un cuerpo intrusivo de composición que varía de granodiorita - diorita a las calizas del Grupo Copacabana originando un skarn de magnetita.

La magnetita se presenta en afloramientos en veta en la zona de contacto intrusivo-caliza, en vetas que tienen una potencia de 3 m. en promedio y como depósito importante de explotación tenemos al mármol, así mismo suprayaciendo a las calizas tenemos rocas volcánicas y siliciclásticas que sufrieron los efectos del metamorfismo.

El propósito de este estudio es describir macro y microscópicamente las características texturales y mineralógicas de las rocas que conforman este depósito de skarn para relacionar sus asociaciones minerales, así mismo realizar el análisis geoquímico de las rocas de la formación Cay cay y el intrusivo para clasificar químicamente el tipo de roca, el origen del magma y el emplazamiento que tuvo lugar.

En Quiquijana se ha evidenciado trazas de mineralización de cobre, algunas alteraciones hidrotermales que podrían indicar la presencia de mayor mineralización a profundidad; pero en esta oportunidad sólo nos limitamos a estudiarlo superficialmente.

Quiquijana además de tener un potencial para la explotación del mármol, la magnetita, también es importante como un recurso no metálico para material de construcción.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.**

En el cerro Curi del poblado de Quiquijana se desarrolló un metamorfismo de contacto entre el intrusivo que tiene una composición que varía de diorita a granodiorita y la caliza de la formación Copacabana, producto del cual se formó un depósito tipo skarn de hierro así como también depósitos de mármol que es la roca que se explota a pequeña escala y de forma artesanal.

Las referencias geológicas del lugar de estudio la encontramos en las publicaciones de los Boletines de los Cuadrángulos Geológicos publicados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET, las cuales tratan en forma muy general y a una escala regional.

Este estudio de caracterización petromineralógica y geoquímica pretende realizar un estudio a una escala más local que comprende principalmente la descripción macroscópica de las rocas que afloran en el cerro Curi, además realizar las descripciones microscópicas de secciones delgadas y pulidas utilizando el microscopio petrográfico de luz transmitida y luz reflejada para determinar la composición mineralógica de las rocas, sus relaciones texturales, determinar las asociaciones minerales que presentan las rocas.

El análisis geoquímico de las rocas para poder determinar con mayor precisión su clasificación química y su génesis haciendo uso de los diagramas quimiográficos.

Así, el presente trabajo de investigación se justifica porque permite la generación de información acerca de las características petromineralógicas y geoquímicas del skarn de hierro de Quiquijana. En tal sentido, con este estudio de investigación se contará con un material de información que esté disponible para los fines de investigación posterior exploratoria y de desarrollo de actividad industrial.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La caracterización petromineralógica y geoquímica es la descripción de la composición mineralógica, su composición química y sus relaciones texturales de las rocas tanto a escala macroscópica y microscópica con el propósito de clasificar las rocas, determinar sus asociaciones mineralógicas e interpretar su modo de ocurrencia.

Haciendo una revisión bibliográfica sobre estudios referentes a la caracterización petrológica y geoquímica de la zona de estudio, no encontramos publicaciones; pero sí

encontramos publicaciones de estudios a escala regional y de carácter general como son las publicaciones del INGEMMET en el Boletín N° 52 Geología de los Cuadrángulos de Cuzco y Livitaca a escala 1:100,000 por Salvador Mendivil y David Dávila publicado en el año 1994 y en el Boletín N° 138 serie A: Geología del Cuadrángulo de Cusco a escala 1:50,000 por V. Carlotto; J. Cárdenas y G. Carlier 2011. En la que describen en forma general algunas características petrológicas y mineralógicas del intrusivo del cerro Curi y las características litológicas de las formaciones estratigráficas que afloran en dicha zona.

En el cerro Curi del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchi en la región Cusco, se evidencian unos afloramientos de mármol, así también vetas puntuales de magnetita que se formaron producto de un metamorfismo de contacto entre un intrusivo de composición granodiorita -diorita y rocas carbonatadas dando como resultado un depósito tipo skarn de Fe.

La falta de información acerca de sus características petrográficas y geoquímicas a mayor detalle nos permite formular la siguiente interrogante:

¿Cómo influyó el metamorfismo en sus características petrográficas, mineralógicas y geoquímicas a las rocas que afloran en el cerro Curi?

## **1.4. HIPÓTESIS**

Las características petrográficas, mineralógicas y geoquímicas de las rocas que afloran en el cerro Curi muestran una influencia del metamorfismo de contacto que se evidencia en la asociación de facies característica de un skarn de hierro originado la formación de depósitos de mármol y magnetita principalmente.

## **1.5. OBJETIVOS.**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar las características petrográficas, mineralógicas, geoquímicas y paragenéticas del skarn de mármol de la localidad de Quiquijana, en la región de Cusco.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la clasificación mineralógica porcentual de las muestras presentadas en secciones delgadas.
- Determinar sus asociaciones minerales
- Realizar análisis geoquímico de muestras para clasificar químicamente la roca.
- Proponer un modelo genético para el skarn de Quiquijana

## **1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.6.1. ALCANCES.**

El presente trabajo de investigación nos permite hacer una caracterización petrológica, mineralógicas y geoquímicas de las rocas que forman el depósito tipo skarn de Fe y en base a estas características poder clasificarlas de manera más precisa y tener un conocimiento de su petrogénesis.

### **1.6.2. LIMITACIONES.**

En esta tesis se ha tomado como base de estudio muestras puntuales (19 muestras) de rocas que representan las características litológicas y texturales de las rocas que afloran en la zona de estudio.

Solamente se cuenta con un estudio geológico a escala regional de la zona de estudio en las publicaciones de los cuadrángulos geológicos de Mendivil y Carloto,

Los costos de preparación de secciones delgadas y secciones pulidas y análisis geoquímico es una limitante para realizar un muestreo más detallado de la zona de estudio.

## **1.7. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO**

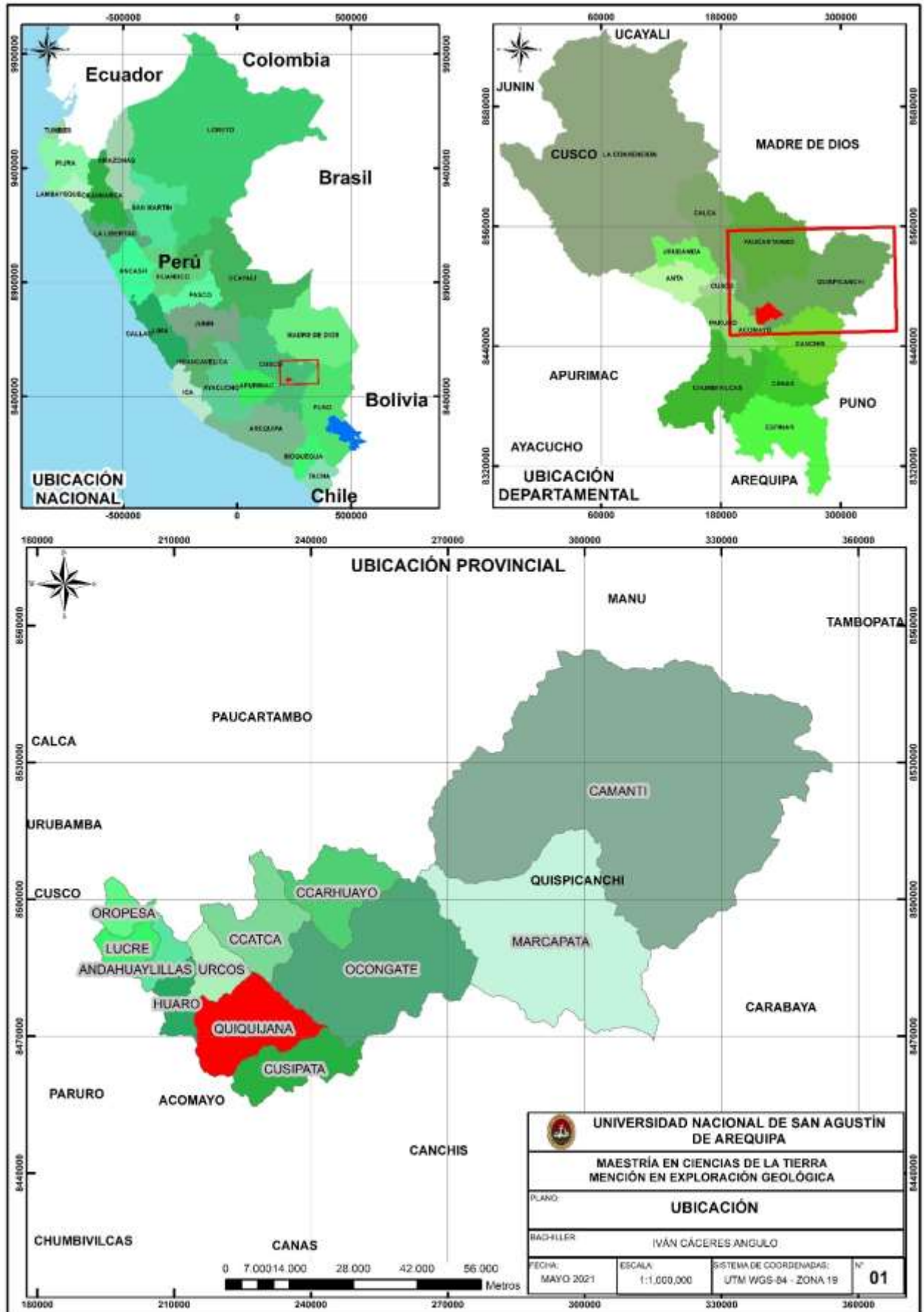
El área de estudio está ubicado en el cerro Curi del distrito de Quiquijna, provincia de Quispicanchi, Región Cusco.

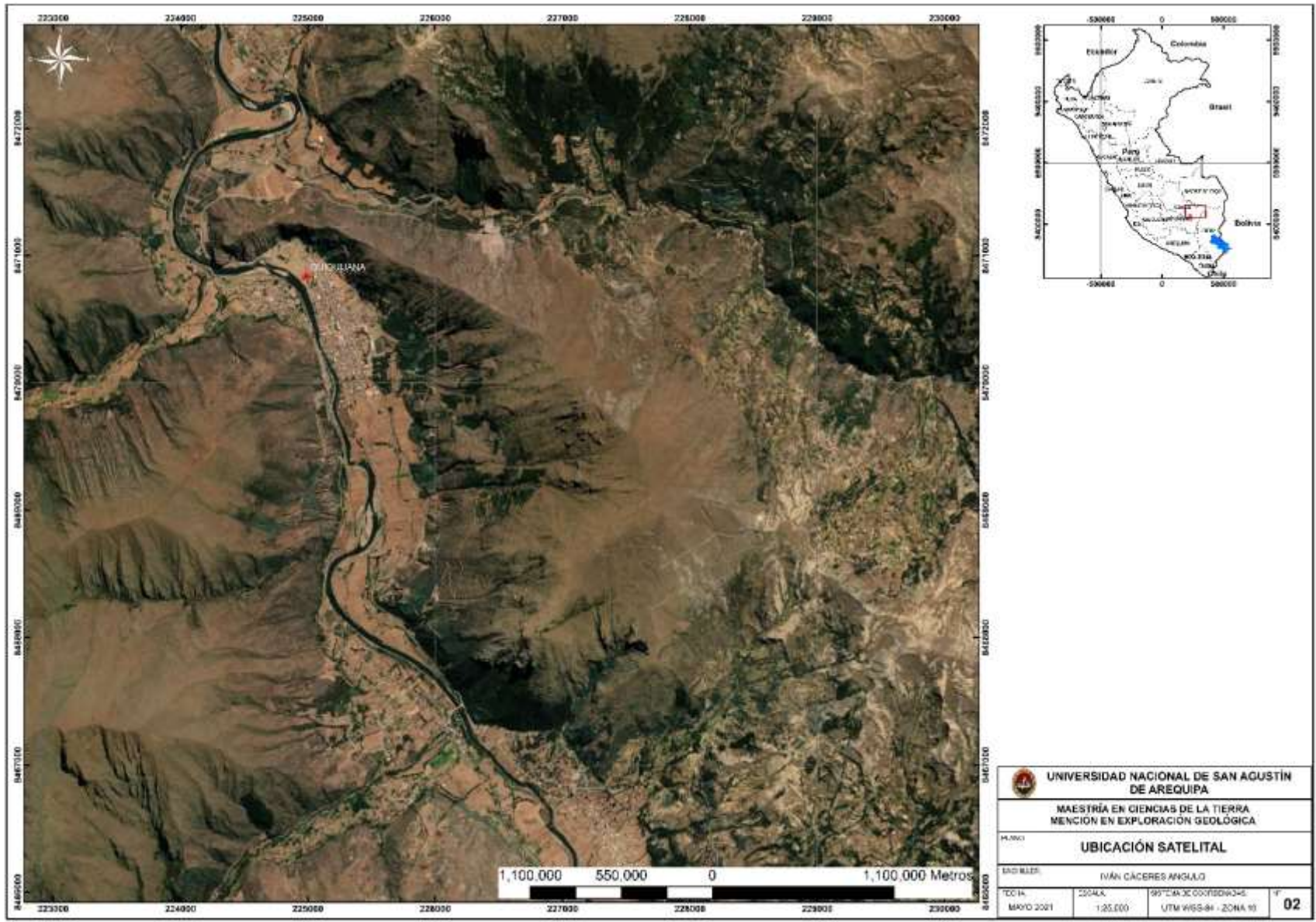
Las coordenadas UTM del área de estudio son

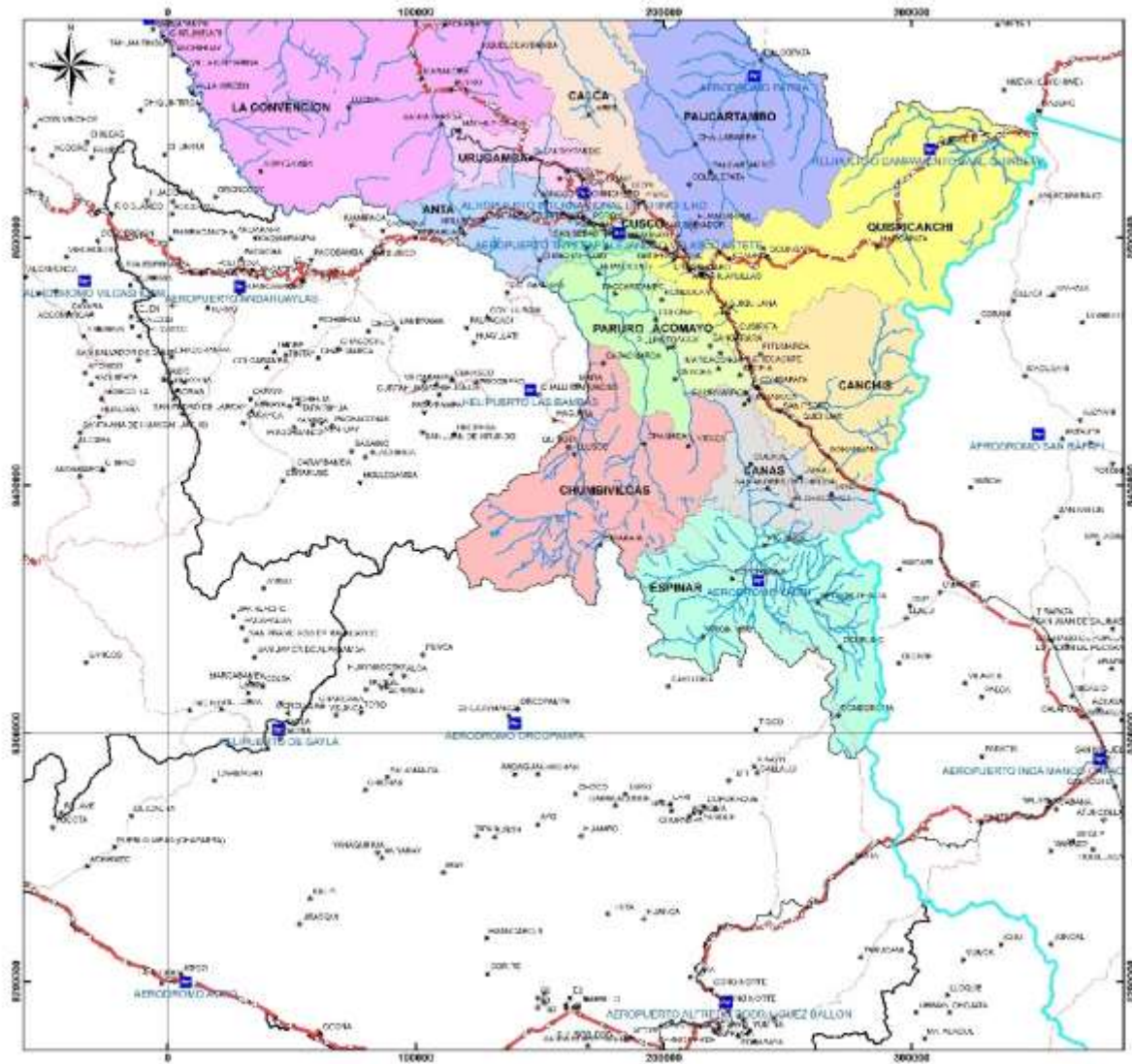
<b>ZONA HORARIA</b>	<b>LONGITUD ESTE</b>	<b>LATITUD SUR</b>
19 L	226632	8468325

A la localidad de Quiquijana se puede llegar desde la ciudad de Lima por vía aérea Lima- Cusco y de la ciudad de Cusco por vía terrestre por la panamericana sur (Cusco – Arequipa), a 80 Km de la ciudad Imperial de Cusco, en un tiempo estimado de una hora con treinta minutos en automóvil.

También se puede llegar por la ruta que conduce desde Arequipa, pasando por Juliaca, Sicuani – Quiquijana, en un tiempo estimado de nueve horas en automóvil.







**LEYENDA**

- Vía Internacional
- Vía Nacional
- Ferrocarril
- Aeropuerto

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA</b>			
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA MENCION EN EXPLORACIÓN GEOLÓGICA			
PRIMO: <b>ACCESIBILIDAD</b>			
AUTOR: IVÁN CÁCERES ANGLAD			
FECHA: MAYO 2021	ESCALA: 1:500.000	SISTEMA DE COORDENADAS: UTM WGS-84 - ZONA 18	<b>03</b>



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.

Los estudios geológicos referentes a la zona de estudios se encuentran publicados en los boletines geológicos del INGEMMET.

En el Boletín N° 52 de la serie A “Geología de los Cuadrángulos de Cuzco y Livitaca” de Salvador Mendivil y David Dávila publicado en el año 1994. Se presenta un cartografiado a escala de 1:100,000 en la que determinan que en el área de estudio afloran las formaciones Huaro, Pachatusan, Copacabana y un intrusivo granodiorítico. (Plano geológico a 1:100,000)

En el Boletín N° 138 de la serie A: “Geología del Cuadrángulo de Cusco” a escala 1:50,000 de Víctor Carlotto; José Cárdenas y Gabriel Carlier (2011). Gracias a un trabajo de mayor detalle (escala 1:50,000) se subdivide a la formación Huaro y se la denomina como formación Kayra, formación Puquín y formación Quillque. El grupo Mitu en su facies volcánica, que era denominada como la formación Pachatusan, en este boletín es denominada como formación Cay cai (Cay cay). Además se muestra un perfil de las concentraciones de elementos de tierras raras normalizadas a la condrita CL (Valores de normalización según Sun y McDonough 1989) en la que muestra que la clasificación geoquímica del intrusivo corresponde a una granodiorita y describe su textura y composición mineralógica. También se muestra una tabla de valores geoquímicos realizados por el método ICP.

No se ha encontrado otra publicación referente a la localidad de Quiquijana.

A nivel regional hay algunos trabajos de estudio:

En la Tesis “Petrología y geoquímica en el Skarn de Cu-Au de la Mina Tintaya, Cusco” publicada por Richard R. Rodríguez (2009). En dicho trabajo indica que Rocas compuesta por las Formaciones Soraya (compuesta de cuarcitas), Mara (lutitas) y Ferrobamba (calizas), todas de edad Cretácico Superior, se encuentran intruidas por el batolito de Abancay (Cretáceo Superior – Terciario Medio). Originando un yacimiento de reemplazamiento metasomático tipo skarn de cobre (oromolibdeno), alrededor de un complejo stock de composición monzodiorítica. El depósito consiste de bornita, calcopirita, calcocita hipógena, que ocurren a manera de venillas o en forma diseminada mayormente. El skarn se presenta de una manera particular, exoskarn muy bien desarrollado con mineralización muy definida, mientras que el

endoskarn se muestra casi estéril, y de muy poca potencia. El exoskarn presenta tres alteraciones prógradas principales y que determinan zonas de mineral: Granate, Piroxeno y Magnetita. Se sabe que estas alteraciones se presentan de diferente manera a lo largo del skarn, de manera pervasiva o combinándose entre ellas. La fase retrógrada está representada por clorita y epidota, que normalmente se dan en exoskarn y endoskarn.

En la Tesis de maestría “Caracterización geoquímica de los intrusivos de las superunidades de Yarabamba-Challaviento y de los volcánicos de los grupos Toquepala y Barroso y análisis correlacional con la mineralización en el sur del Perú” publicada por H. Rivera (2014), se hace uso de los diagramas quimiográficos en los que se representa de una manera práctica el quimismo de una roca o una serie de rocas que sirven no solamente para darnos una idea de la composición química de una roca determinada, sino también en la variación del quimismo y relacionarlo con el proceso de cristalización o evolución de las series, sobre todo por análisis geoquímicos de elementos mayores, menores, traza y tierras raras (REE) realizados en unidades litológicas.

Algunos artículos científicos publicados referentes a temas de caracterización petrológica, mineralógica y geoquímica como:

“Caracterización petrográfica y geoquímica y condiciones de deformación del plutón San Cristóbal, Sierra de Velasco, La Rioja, Argentina” publicada por L.I. Bellos, A.J. Toselli, J.N. Rossi, P. Grosse, J.D. de la Rosa, A. Castro (2010).

“Caracterización petrográfica y geoquímica del intrusivo de Guaquimay (Cundinamarca) Colombia” publicada por Canchon, D.M., Concha. P., A.E., Moreno M., J.M. (2014).

Ambas publicaciones nos muestran la metodología de estudio para la caracterización petromineralógica y geoquímica de rocas intrusivas y ellas obtienen como resultado de su estudio su composición mineralógica, química, su relación genética, la asociación paragenética, profundidad de emplazamiento y edad, haciendo uso de diagramas de clasificación de Streckeisen y La concentración de elementos mayores y algunos traza analizadas por el método de Fluorescencia de Rayos X, para realizar los diagramas de clasificación geoquímica y discriminación geotectónica.

El artículo “Estudio geoquímico y petrográfico integrado, de las areniscas pertenecientes a la Formación Cerro Pelado (Mioceno) Cuenca de Falcón, Venezuela:

implicación sobre proveniencias y procesos diagénéticos” publicado por Alexandra Mendoza, Grony Garban y José Gutiérrez (2015), se hace uso de diagramas ternarios tipo Dickinson et al. (1983): QFL, QmFLt, QpLvLs y LvLmLs. Estos diagramas se basan en las proporciones relativas de los Estudio geoquímico y petrográfico de areniscas principales componentes en las areniscas, para luego ser ubicadas en un tipo de proveniencia tectónica.

## 2.2 BASES TEÓRICAS.

### 2.2.1. DEFINICIÓN DE SKARN.

El término skarn refiere a una roca o zona metamorfizada alrededor de una **intrusión ígnea** que se caracteriza por consistir en una **roca carbonatada** con minerales producto de **metasomatismo**. El nombre viene del **idioma sueco** y en su sentido original refiere estrictamente a una asociación de **granate cálcico, piroxeno, anfíbol y epidota** que caracterizan depósitos minerales de **magnetita y calcopirita** en **Suecia**.

Las intrusiones asociadas al skarn son comúnmente de composición **diorítica** o **granítica**.

En general, se forman dos tipos de skarns (Exoskarns y endoskarns)

**Los exoskarns** son más comunes y se forman en el exterior de un cuerpo intrusivo que entra en contacto con una unidad de carbonato. Se forman cuando los fluidos sobrantes de la cristalización de la intrusión se expulsan de la masa en las etapas de disminución del emplazamiento. Cuando estos fluidos entran en contacto con rocas reactivas, generalmente carbonatos como piedra caliza o dolomita, los fluidos reaccionan con ellos, produciendo alteración (metasomatismo de infiltración).

**Los endoskarns** se forman dentro del cuerpo intrusivo donde se han producido fracturas, juntas de enfriamiento y stockworks, lo que resulta en un área permeable. El área permeable puede incorporar material de la capa de carbonato. Los fluidos hidrotermales magmáticos que fueron transportados o creados por la intrusión interactúan con el material de carbonato y forman el endoskarn. Los endoskarns se consideran raros. Tanto la composición como las texturas del protolito desempeñan un papel importante en la formación del skarn resultante.

**El skarn de reacción** se forma a partir del metamorfismo isoquímico que ocurre en unidades de litología sedimentaria finamente intercaladas que implica una

transferencia metasomática de componentes a pequeña escala (quizás centímetros) entre unidades adyacentes.

**Skarnoide** es una roca de silicato de calcio que es de grano fino y pobre en hierro. Se encuentra entre hornfels y skarn de grano grueso.

La mayoría de los depósitos grandes de skarn experimentan una transición del metamorfismo temprano que forma cuernos, skarns de reacción y skarnoides al metamorfismo tardío que forma skarns de grano relativamente más grueso que contienen mineral. La intrusión de magma desencadena el metamorfismo de contacto en la región donde están presentes rocas sedimentarias y, como resultado, forma hornfels. La recristalización y el cambio de fase de hornfels reflejan la composición del protolito. Después de la formación de hornfels, ocurre un proceso llamado metasomatismo que involucra fluidos hidrotermales asociados con magmáticos, metamórficos, marinos, meteoricos o incluso una mezcla de estos. Este proceso se llama metamorfismo isoquímico y puede dar como resultado la producción de una amplia gama de minerales de silicato de calcio que se forman en unidades de litología impura y a lo largo de los límites de los fluidos donde se produce el metasomatismo a pequeña escala (argilita y piedra caliza, y formación de bandas de hierro).

Los depósitos de skarn que se consideran económicamente importantes contienen metales valiosos, son el resultado del metasomatismo a gran escala donde la composición del fluido controla el skarn y su mineralogía de minerales. Son de grano relativamente más grueso y no reflejan la composición del protolito o las rocas circundantes.

Se forman tipos poco comunes de skarns en contacto con rocas sulfídicas o carbonosas, como lutitas negras, lutitas de grafito, formaciones de hierro en bandas y, ocasionalmente, sal o evaporitas. Aquí, los fluidos reaccionan menos a través del intercambio químico de iones, pero debido al potencial de oxidación redox de las rocas de la pared.

Un antideslizante es una roca de silicato de calcio que se forma por el metasomatismo directo de las rocas de silicato por un magma de carbonatita. Estas rocas se caracterizan por un ensamblaje a alta temperatura de clinopiroxeno diopsídico, olivina y wollastonita, y una aparente falta de calcita ígnea.

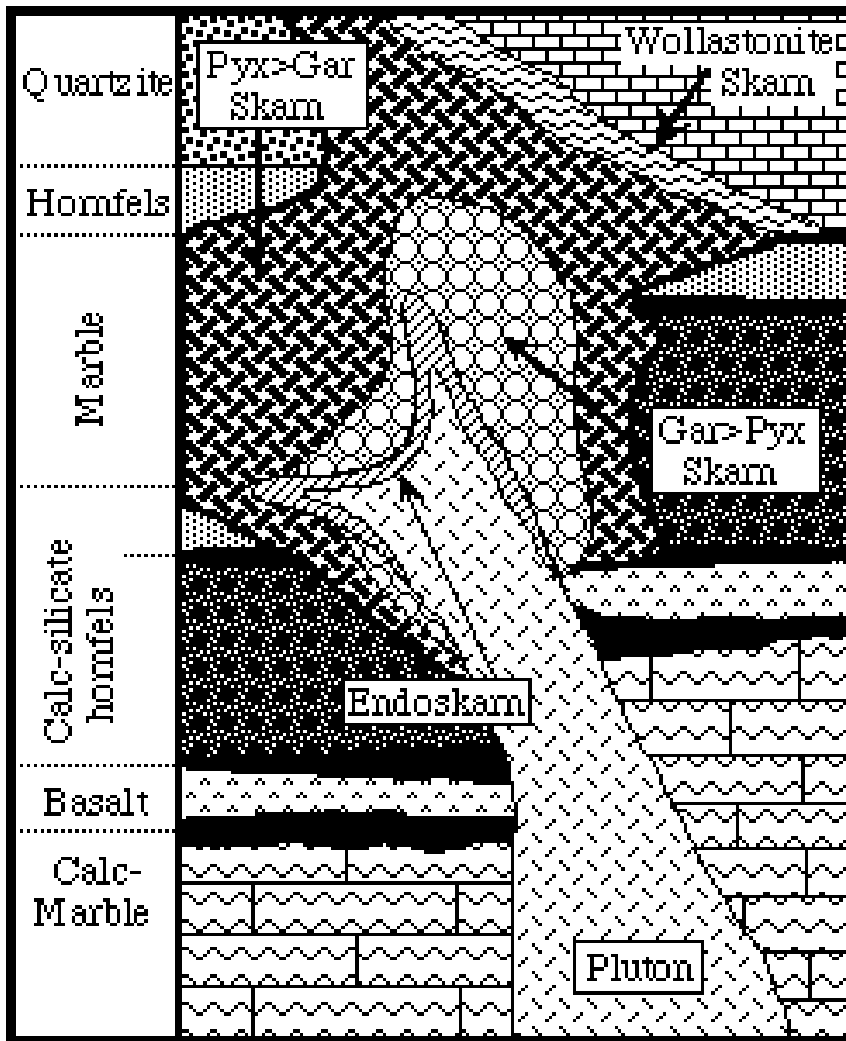


Figura 01: Zonación que sucede en la mayoría de los Skarn la cual copia la geometría del contacto del plutón y los flujos de fluidos. Los Skarn son zonados y la zona de endoskarn y exoskarn proximal poseen un alto contenido de granate. Las zonas distales más ricas en piroxeno y la zona más frontal, relacionada con mármoles puede estar dominada por piroxenoides o vesuvianita. (<https://www.medellin.unal.edu.co/>)

### 2.2.2 SKARN DE HIERRO (Fe).

Estos tipos de skarn son minados por contener altos valores de magnetita, principal mena de hierro, y en menor proporción cobre, cobalto y níquel además puede presentarse oro (Grigoryev et. al., 1990). Los skarn cálcicos ricos en hierro se localizan en arcos de islas y son asociados con plutones ricos en hierro que intrusionan a calizas y a rocas volcánicas, en estos skarn la mineralogía predominante es granate y piroxenos con menor presencia de epidota, ilbaita y actinolita. La alteración del intrusivo es común y suele ser extensa con presencia de albita, ortoclasa y escapolita en vetas. Los skarn magnésicos ricos en hierro están asociados a una diversidad de plutones y de ambientes tectónicos.



*Fotografía 01: Una microfotografía de un skarn en que muestra la asociación de minerales característicos como granate (Gt), piroxeno (Px) y calcita. (Ca)*

### 2.2.3 PETROLOGÍA.

La **petrología** (del griego *Πέτρος* [petros] 'piedra'; y *λόγος* [logos] 'estudio') o **litología** (del griego *λίθος* [litos] 'piedra') es la rama de la **geología** que se ocupa del estudio de las **rocas**, de sus propiedades físicas, químicas, mineralógicas, espaciales y cronológicas, de las asociaciones rocosas y de los procesos responsables de su formación. Es considerada una de las principales ramas de la geología. (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, *Vocabulario Científico y Técnico*)

## 2.2.4 PETROGRAFÍA

La **petrografía** (del griego Πέτρος, petros, piedra; y γραφος, grafos, descripción) es la rama de la **geología** que se ocupa del estudio e investigación de las **rocas**, en especial en cuanto respecta a su aspecto descriptivo, su composición **mineralógica** y su estructura, especialmente a escala microscópica. Puede considerarse complementaria o parte de la petrología, disciplina más amplia que extiende su interés al origen, distribución, estructura e historia de las rocas.

## 2.2.5 DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS

La **Petrología** estudia las rocas en su conjunto, sus características geométricas de campo, características petrográficas (componentes), composición química detallada de la misma y de los distintos minerales que la constituyen, condiciones fisico-químicas de formación y los procesos evolutivos durante su génesis.

Los **estudios petrográficos** abordan la descripción física en términos visuales de las rocas, mediante la microscopía de luz polarizada (esencialmente con luz transmitida, aunque también reflejada, y en algunos casos microscopía electrónica). Estos estudios ofrecen una valiosa información relativa a la *naturaleza de sus componentes (esencialmente minerales), sus abundancias, formas, tamaños y relaciones espaciales*, lo cual permite clasificar la roca y establecer ciertas condiciones cualitativas o semicuantitativas de formación, así como posibles procesos evolutivos.

Los componentes petrográficos son aquellos componentes de la roca que tienen entidad física, tales como granos minerales, asociaciones particulares de determinados minerales, otros fragmentos de rocas relacionados o no genéticamente con la roca que los engloba, componentes de la matriz y cemento, material amorfo o criptocristalino (vidrio volcánico, geles de sílice...), espacios vacíos (poros, vacuolas...), fracturas discretas o selladas, etc.

Algunos componentes petrográficos se presentan en todos los tipos de rocas, tales como los granos minerales o poros, que son muy abundantes en las rocas sedimentarias e ígneas volcánicas, pero son muy pequeños y escasos en rocas metamórficas e ígneas plutónicas; otros se presentan sólo en algunos tipos, como el vidrio volcánico en las rocas magmáticas volcánicas; otros se presentan en cualquiera de los tipos rocosos pero sólo ocasionalmente, como las fracturas.

### 2.2.5.1. RELACIONES ESPACIALES MUTUAS

Se distingue los siguientes conceptos:

#### a) **Textura**

Es el conjunto de relaciones espaciales intergranulares y de características morfológicas (tamaño y forma) de los componentes (esencialmente granos y/o agregados minerales) de la roca. Las denominaciones texturales y los criterios utilizados varían según el tipo de roca considerada.

Existen muchos tipos de relaciones espaciales y morfológicas entre los componentes de las rocas, esto es, de texturas. Sin embargo, se pueden establecer cinco tipos texturales básicos para todas las rocas naturales, siendo las diferentes texturas combinaciones de dos o más de estos cinco tipos que se describen a continuación.

#### b) **Textura secuencial (o seriada)**

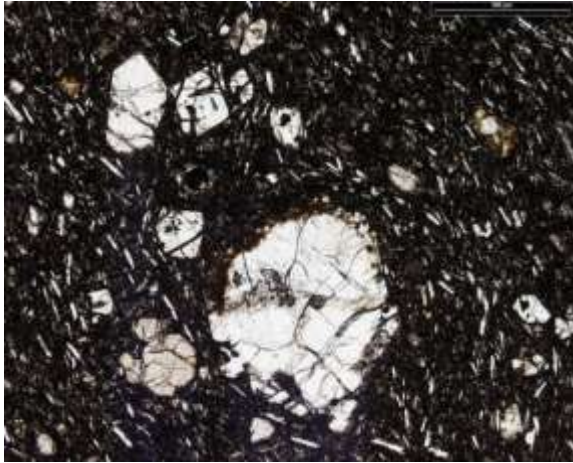
Constituida por **cristales** que han crecido a partir de una disolución líquida (i.e. magma o solución acuosa) o gaseosa (i.e. fluidos). Los cristales de los distintos minerales han crecido en distintos momentos y por lo tanto tendrán características morfológicas distintas. Este tipo de textura aplica a todos los tipos de rocas, aunque es típico de las rocas ígneas plutónicas y volcánicas y de algunas sedimentarias.

El orden de cristalización puede deducirse a partir de criterios morfológicos y de relaciones de inclusión. Así, en general, los cristales que presenten formas cristalinas (i.e. idiomorfos o hipidiomorfos) habrán cristalizados antes que los que no las presentan (i.e. xenomorfos), y los cristales incluidos en otros habrán crecido antes que los que los incluyen.

Sin embargo, estos criterios no son siempre unívocamente aplicables. Así, existen minerales que no son idiomorfos y han cristalizado antes que otros que pueden serlo y viceversa; también existen minerales incluidos en otros que han podido formarse después que los que los engloban. Estos casos aplican especialmente a los procesos de alteración, ya que estos transforman las características primarias de las rocas, incluyendo las texturas. Por ejemplo, cristales idiomorfos de yeso pueden formarse en una roca caliza alterada y sin embargo se han formado con posterioridad a los componentes primarios (e.g. granos de calcita), que además pueden estar corroídos y por lo tanto haber



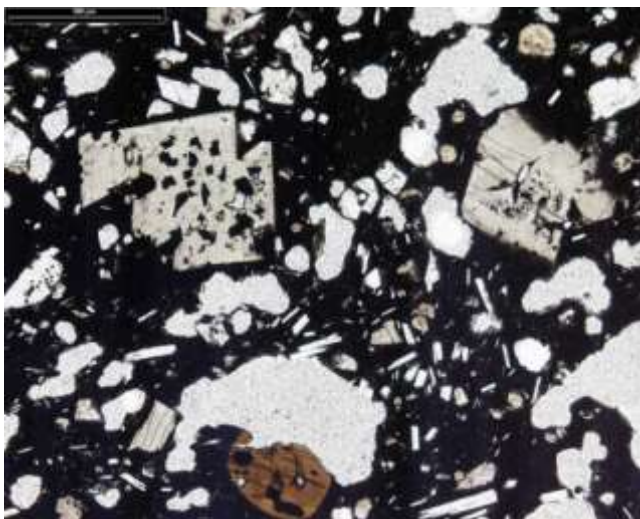
perdido su idiomorfismo en caso de haberlo poseído; o cristales de micas o arcillas pueden encontrarse en el interior de granos de feldespatos de un granito y sin embargo se han formado con posterioridad durante la alteración de los mismos.



*Fotografía 02: Textura secuencial o seriada (basalto; **Tutor de Petrología**). Polarizadores paralelos.*

#### **c) Textura vítrea**

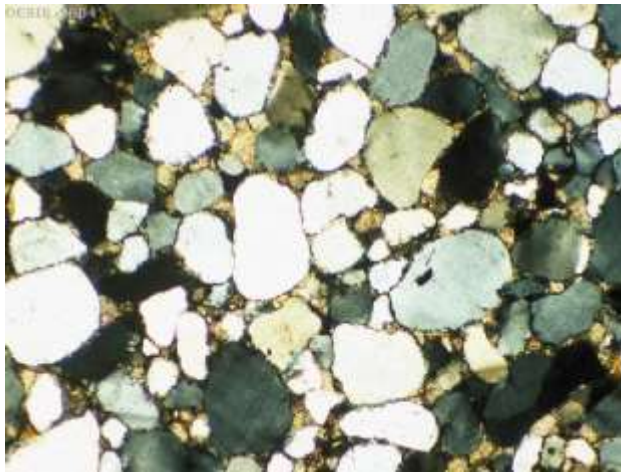
Constituida total o parcialmente por **vidrio** formado por solidificación rápida de un fundido magmático. Esta textura es típica de rocas ígneas volcánicas. El vidrio se observa como una sustancia amorfa que engloba a los posibles granos cristalinos existentes, y en donde pueden aparecer espacios vacíos denominados de forma global vacuolas (el término de poro se aplica específicamente a rocas sedimentarias).



*Fotografía 03: Textura vítrea (basalto; **Tutor de Petrología**). Las partes negras corresponden a vidrio. Polarizadores paralelos.*

#### d) Textura clástica

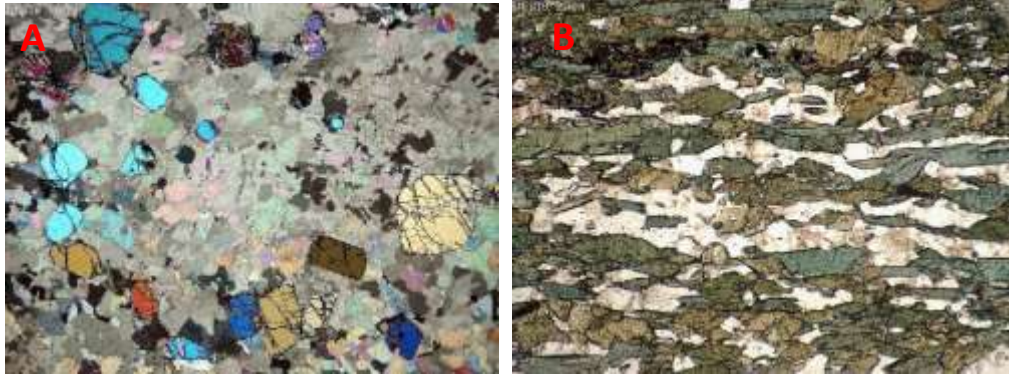
Formada por fragmentos de rocas y/o minerales englobados o no en un material fragmental más fino y/o precipitado y/o recristalizado. Esta textura aplica específicamente a rocas sedimentarias detríticas, aunque algunas rocas volcánicas también la presentan. Los fragmentos de rocas y minerales (de cualquier tipo) se denominan **clastos**; el material que los engloba se denomina matriz o cemento según este constituida por material detrítico de grano muy fino o por precipitados de cristalinidad variable respectivamente. Los conceptos de matriz y cemento se exponen más adelante ya que su aplicación a los distintos tipos de rocas es variable.



*Fotografía 04: Textura clástica. (arenisca; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 3.5 mm, polarizadores cruzados.*

#### e) Textura blástica

Constituida por cristales que se han formado en un medio sólido por transformaciones de minerales preexistentes. Este tipo de textura aplica específicamente a las rocas metamórficas. Las transformaciones sufridas incluyen esencialmente cambios en los tamaños y formas de los cristales y constituyentes primarios y la formación de nuevos minerales que antes no existían. Los granos minerales recristalizados o neoformados se denominan **blastos**.

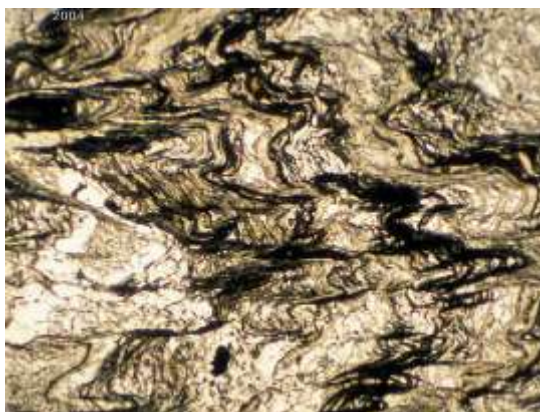


*Fotografía 05: Textura blástica: A (mármol olivínico; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 6 mm, polarizadores cruzados.*

*B (anfíbolita; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 2 mm, polarizadores paralelos. En este caso, la textura está orientada (deformada).*

#### **f) Textura deformada**

Los componentes de la roca, ya sean cristales, clastos, blastos, espacios vacíos, etc, están deformados. Esta textura aplica a cualquier tipo de roca, si bien es típica de la mayoría de las rocas metamórficas dado que los procesos naturales de deformación suelen estar acompañados de cambios texturales y mineralógicos importantes en las rocas afectadas. Las texturas deformadas se identifican fácilmente ya que los componentes adoptan orientaciones preferentes (*fábrica*), los minerales muestran evidencias de deformación tales como extinciones ondulantes, se desarrollan fracturas o microfisuras, etc. En general, una textura deformada se forma sobre otra preexistente, de la cual pueden o no quedar evidencias.



*Fotografía 06: Textura deformada (esquisto plegado; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 3 mm, polarizadores paralelos.*

### 2.2.5.2. PATRÓN TEXTURAL

Es el conjunto de características no composicionales que pueden ser utilizadas para distinguir un tipo de roca o grupo de rocas de las demás, con independencia de la composición mineralógica. En el concepto de patrón textural es más amplio que el de textura, incluyendo además la estructura y fábrica, según el tipo de roca considerada.

#### A) Estructura y microestructura

Distribución y orden espacial de los cristales o granos dentro de la roca a escala macroscópica y microscópica, respectivamente. Los tipos de estructuras más comunes son:

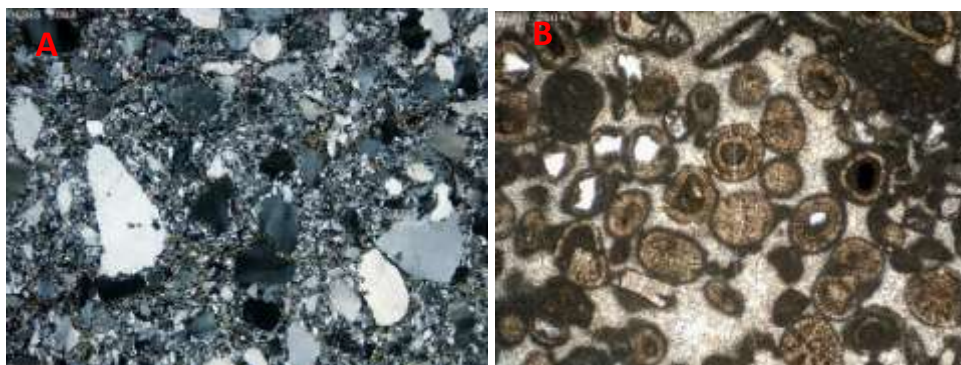
- **Homogénea o masiva.** No existe distribución preferencial de los componentes.
- **Bandeada.** Disposición preferencial de los componentes en bandas más o menos planares, curvadas o irregulares.
- **Nodulosa.** Disposición preferencial de los componentes en agregados esféricos o elipsoidales (nódulos).
- **Brechoide.** Producida por fracturación de la roca de manera irregular o con orientación preferencial de las fracturas.

#### B) Matriz y cemento

A menudo, en todos los tipos de rocas se observa una relación de tamaños claramente bimodal entre los componentes sólidos (minerales o fragmentos de rocas), esto es, unos presentan un tamaño de grano relativamente más grueso que otros. De forma general, la población de componentes finos se denomina **matriz**, si bien este concepto tiene diferentes connotaciones dependiendo de la roca a la que se aplique. En las rocas ígneas la matriz es la fracción fina, criptocristalina o vítrea en la que se encuentran los granos minerales de tamaño de grano mayor, y que normalmente ha cristalizado con posterioridad a estos últimos. En las rocas sedimentarias la matriz es la fracción fina (generalmente lodos arcillosos, carbonáticos...) que soporta los clastos, y cuya formación es contemporánea con la sedimentación de los mismos. En las rocas metamórficas la matriz es igualmente la fracción más fina, y su origen es metamórfico, anterior,

contemporáneo o posterior al de los blastos mayores. En las rocas deformadas, la matriz es la fracción fina que se origina por la trituración de granos anteriores, reduciéndose el tamaño de grano.

El concepto de **cemento** aplica específicamente a las rocas sedimentarias y a las rocas alteradas de cualquier tipo. Es el material formado generalmente con posterioridad al depósito de la roca, mediante procesos de precipitación a partir de disoluciones acuosas iónicas o coloidales que circulan e interaccionan con las rocas. En las rocas sedimentarias, estos cementos se forman generalmente durante procesos diagenéticos. Los cementos pueden o no tener un tamaño de grano mayor que el de los componentes de las rocas, siendo uno de los factores que producen una reducción en la porosidad de las rocas y, en general, un mayor grado de resistencia mecánica y de cohesión entre los componentes de las rocas.



*Fotografía 07: A) Matriz detrítica (arenisca grauvaca; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 5 mm, polarizadores cruzados.*

*B) Cemento carbonatado (caliza oolítica; Oxford Earth Sciences Image Store). Dimensión horizontal 3 mm, polarizadores paralelos.*

## 2.2.6 GEOQUÍMICA

Estudio de la distribución, proporción y asociación de los elementos químicos de la corteza terrestre y de las leyes que las condicionan.

## 2.2.7. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA GENERAL

Los elementos están comúnmente divididos en elementos mayores, menores y traza.

**a) ELEMENTOS MAYORES.** Son considerados ser los elementos estructurales de los minerales mayores, típicamente con concentraciones mayores de 1.0%.

Se les denominan elementos mayores porque están presentes en altas concentraciones y controlan en gran medida la cristalización de los minerales petrogenéticos en las rocas a partir de fundidos. Son los elementos químicos que predominan en cualquier análisis de rocas, estos son: Si, Al, Fe, Mn, Ca, Na, K, P, Ti y sus concentraciones están expresadas como óxidos en porcentaje de peso (%). Las determinaciones de los elementos mayores están hechas sólo para cationes y se asume que ellos están acompañados por una apreciable cantidad de oxígeno. Así la suma de los óxidos de los elementos mayores totalizará cerca del 100%. Los volátiles tales como el H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, S están normalmente incluidas en los análisis de los elementos mayores asimismo las pérdidas por ignición (ppi). El hierro puede ser determinado como FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pero algunas veces se le expresa como «hierro total» o como FeO total y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total para ello se realiza una conversión mediante un coeficiente 1,1113. Para que los datos de los elementos mayores se puedan graficar es necesario recalcular dichos datos sin tener en cuenta los fluidos y volátiles, es decir, hay que descontar los valores de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y pérdidas por ignición (ppi) mediante la fórmula:

$$\frac{\Sigma[\text{óxidos}] - [\text{volátiles}]}{[\text{óxidos}_i]} = \frac{100\%}{X_i\%}$$

**b) ELEMENTOS MENORES.** Son los elementos estructurales en importantes minerales menores y/o elementos que sustituye en un alto grado en los minerales mayores (con concentraciones típicamente en el rango de 0.1% a 1.0%).

Comúnmente se presentan en concentraciones de 0.1% a 1.0% peso y sustituyen a algunos elementos en los minerales principales, por ejemplo, el Mn sustituye al Fe o al Mg en los minerales máficos. Si están en concentraciones suficientemente altas pueden llegar a formar minerales independientes, que se denominan petrológicamente como minerales accesorios. Otros ejemplos, si hay suficiente Zr se forma zircón o si hay suficiente P se forma apatito y Ti puede formar rutilo o titanita o si hubiera suficiente óxidos de Ti y Fe se puede formar ilmenita.

**c) ELEMENTOS TRAZA.** Son aquellos con muy bajas concentraciones sustituyen dentro de los constituyentes mayores en menor grado (típicamente < 0.1%) y como constituyentes mayores en la fase traza.

Los elementos trazas están definidos como aquellos elementos que están presentes en proporciones menores 0.1% (1000 ppm). Los elementos traza, están demasiados diluidos como para formar fases separadas, ellos actúan estrictamente sustituyendo a elementos mayores y menores en las estructuras minerales. La concentración y distribución de los elementos traza pueden ser utilizados para estudiar la evolución de los magmas, actuando como trazadores para establecer el origen de los magmas y para discriminar procesos magmáticos. Algunos elementos se comportan como elemento mayor en un grupo de rocas y como elemento traza en otro grupo de rocas. Un ejemplo es el elemento K, el cual es un elemento mayor constituyente de las riolitas alcanzando más del 4% de la roca y formando una parte de la estructura esencial de minerales tales como ortosa y biotita, En algunos basaltos, sin embargo, las concentraciones de K son muy baja y no hay fases relacionadas al K, en este caso, el K se comporta como un elemento traza.

Tabla 01: Clasificación geoquímica de elementos.

<b>Elementos mayores: &gt; 1%</b>	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO MgO CaO Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> O
<b>Elementos menores: 0.1 - 1%</b> (Usualmente se incluyen con los elementos mayores)	TiO <sub>2</sub> MnO P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> CO <sub>2</sub>
<b>Elementos traza: &lt;0.1%</b> Se expresan en ppm (1% = 10,000 ppm)	Rb, Nb, Li, Be, La, Ce, Th, U, etc.
<b>Relaciones isotópicas</b>	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr <sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd <sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb <sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb δ <sup>18</sup> O, etc.

*Clasificación geoquímica general*

## 2.2.8 DIAGRAMAS DEL QUIMISMO.

Los diagramas en los que se representan de un modo gráfico el quimismo de una roca determinada o de una serie de rocas, sirven no solo para dar una idea de los constituyentes químicos y su variación con el proceso de cristalización o evolución de las series.

### A) DIAGRAMAS PARA CLASIFICAR ROCAS:

**Diagrama TAS:** para clasificar las rocas ígneas tanto volcánicas y plutónicas en base de los álcalis y la sílice.

**Diagrama de saturación de alúmina:** para clasificar a las rocas en metaluminosas, peraluminosas y peralcalinas.

**Diagramas Harker:** para determinar las correlaciones entre los óxidos y elementos.



**Diagrama R1:R2:** para clasificar las rocas plutónicas.

**Diagrama de Irvine-Baragar:**  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  para clasificar rocas alcalinas y subalcalinas.

**Diagrama de Ringwood:**  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  para clasificar rocas alcalinas de alto, medio, bajo potasio.

### **Diagramas para los procesos de cristalización**

**Diagramas de tierras raras normalizadas:** para conocer proceso de cristalización.

**Diagramas de Proporciones de tierras raras y variantes:** para relacionar las tierras raras.

**Diagramas Spider multielementales:** para determinar el comportamiento de dichos elementos y encontrar anomalías.

### **Diagramas de elementos de transición normalizados**

**Diagramas de dispersión primaria:** de los elementos económicos.

## **B) DIAGRAMAS PARA AMBIENTES GEOTECTÓNICOS**

**Diagramas de Shand:** saturación de alúmina Diagramas de Whalen:  
 $\text{Ga}/\text{Al}$  vs  $\text{Y}$

**Diagramas de Pearce:**  $(\text{Y}+\text{Nb})$  vs  $\text{Rb}$

**Diagramas de Pearce:**  $(\text{Y}+\text{Nb})$  vs  $\text{Nb}$

**Diagramas de Pearce:**  $\text{Y}$  vs  $\text{Nb}$  Diagramas  $(\text{Yb}+\text{Ta})$  vs  $\text{Rb}$

## **C) DIAGRAMAS PARA ENCONTRAR PROFUNDIDAD.**

Diagrama  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Ce}/\text{Y}$

Diagrama  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  vs  $\text{Ce}/\text{Y}$

## **D) DIAGRAMAS PARA DETERMINAR FLUIDOS HIDROTERMALES**

Diagramas U vs Th

Diagramas SiO<sub>2</sub> vs FeO

Diagramas (Ca+Na+K) vs Eu/Eu\*

Diagramas Eu/Eu\* vs FeO total

### **2.2.9 MÉTODO DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE ROCAS**

#### **A) MÉTODO ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON FUENTE DE PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS)**

La Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) se ha convertido en una de las técnicas analíticas más populares en el análisis elemental. La tecnología de ICP-MS fue introducida por Houk et al., 1980 mediante el acoplamiento de una fuente de plasma, a presión normal con un espectrómetro de masas basado en un cuadrupolo. Desde entonces, la técnica del ICP-MS ha evolucionado en el análisis multielemental e isotópico. gracias los avances tecnológicos que han tenido lugar en los campos como la electrónica, la ciencia de los materiales, la informática y la tecnología para la generación de alto vacío.

El ICP-MS presenta muchas ventajas debido a su alta productividad, elevada sensibilidad, precisión y exactitud en los resultados analíticos (Yang, 2019). Cumple, por tanto, con los requisitos necesarios para el análisis isotópico y de trazas en tareas de control o de seguimiento que habitualmente se aplican en multitud de campos.

En el campo Geológico el ICP-MS es una técnica esencial para realizar estudios sobre la distribución superficial de elementos naturales o antrópicos, así como la determinación relaciones isotópicas, la caracterización de rocas, minerales y sedimentos

## B) ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra.

### Aplicaciones

La FRX tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas (filtros, metales, rocas, muestras en polvo, tejidos, etc.) y líquidas porque permite hacerlos sin preparación de la muestra. El único requisito es que ésta tenga un tamaño inferior al del portamuestras. Están excluidos el H, Li,  $^{61}\text{Pm}$ ,  $^{43}\text{Tc}$ ,  $^{84}\text{Po}$ ,  $^{85}\text{At}$ , los gases nobles (excepto el argón) y los actínidos del  $^{89}\text{Ac}$  al  $^{103}\text{Lr}$  (excepto  $^{90}\text{Th}$  y  $^{92}\text{U}$ ). Como complemento a las determinaciones cualitativas se dispone del programa informático IQ+ para realizar análisis semicuantitativos en todo tipo de muestras. Este software corrige las interferencias espectrales más habituales y los efectos matriz para parámetros fundamentales.

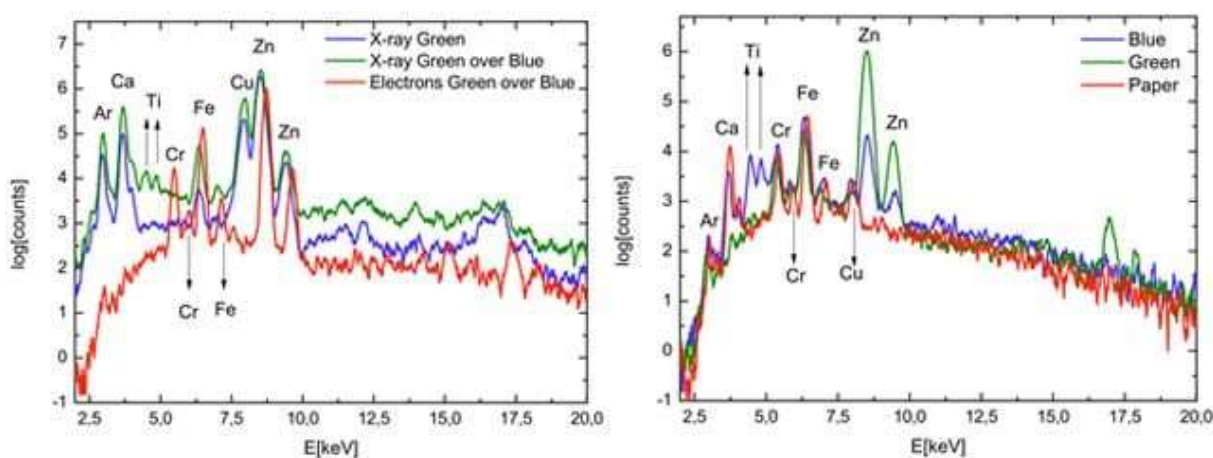


Figura 02: Muestra los espectros de los elementos químicos.

## 2.3 ESTRATIGRAFÍA.

En la localidad de Quiquijana, en el cerro Curi afloran rocas sedimentarias cuyas características fueron descritas en las publicaciones de Mendivil y Dávila (1994) “Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca” INGEMMET y Carlotto et al. (2011). “Geología del cuadrángulo de Cusco”. INGEMMET.

A continuación las principales características estratigráficas de las formaciones aflorantes en el cerro Curi.

### 2.3.1. FORMACIÓN ANANEA (SD-a)

**Definición y relaciones estratigráficas.** Mendivil y Dávila (1994) definen “Unas pizarras en el cuadrante I y las denominan Formación Urcos”, que se extiende al cuadrángulo de Calca donde Carlotto et al. (1996) la llaman “Formación Paucartambo, aunque esta última incluye la Formación Ccatca”. (p. 54)

Carlotto et al. (2011) la denomina “Formación Ananea para estandarizar las unidades Siluro-Devónicas del sur del Perú”. (p.16). La base de esta unidad no se observa en el cuadrángulo de Cusco, está fallada, aunque en el cuadrángulo vecino de Calca sobreyace en discordancia a la Formación Sandia del Ordovícico superior y a la Formación San Gabán del Ordovícico terminal Silúrico inferior (Laubacher, 1978; Carlotto et al., 1996).

**Litología y ambiente sedimentario.** Carlotto et al. (2011). Caracteriza a esta formación como:

“Una unidad bastante uniforme en casi todos los afloramientos; está compuesta por pizarras y esquistos pizarrosos grises a negros, sin estratificación visible, salvo cuando están intercalados con bancos pequeños de cuarcitas de 5 a 20 cm de espesor. Estas rocas indican un medio marino sílico-clástico somero distal. Su espesor aproximado es de 1500 m, y esto puede deberse a que las secuencias se encuentren repetidas por la tectónica. Las rocas se hallan fuertemente deformadas y con esquistosidades que indican al menos dos etapas de deformación. La esquistosidad S1 tiene dirección NO-SE y la esquistosidad S2 dirección NE-SO, muy similar a las que presentan las series meso-cenozoicas.” (p.16).

**Edad.** En la publicación de Mendivil y Dávila (1994), indica “En las cercanías de Hualla-Hualla situada a 2.5 km de Quiquijana en el cuadrante I, encontraron *Tentaculitis* sp. y el tórax y pigidium de un trilobite deformado que corresponde al género *Phacops*, los cuales dan un rango de edad Siluro-Devónico sin más precisión. En consecuencia, por correlaciones y por estar bajo el Devónico terminal, la Formación Ananea sería del Siluro-Devónico medio superior.” (p.23)



*Fotografía 08: Contacto entre el intrusivo y la formación Ananea en el cerro Curi – Quiquijana. Vista hacia el Norte.*



*Fotografía 09: Afloramiento de pizarras de la formación Ananea, mostrando la exfoliación y el grado de fracturamiento muy intenso. Vista hacia el sur.*

### **2.3.2. GRUPO COPACABANA (Pi-c)**

Pérmico inferior (Newell et al., 1953).

**Definición y relaciones estratigráficas.** En su publicación, Carlotto et al. (2011) indica que “Aflora ampliamente en el núcleo del anticlinal de Vilcanota que constituye el límite entre la Cordillera Oriental y el Altiplano (cuadrantes I y IV). Igualmente, se presenta en zonas de escamas de fallas. No se observan las relaciones de contacto con rocas más antiguas, pero si la discordancia erosional con la unidad suprayacente que es la Formación Ene o la Formación Pisac del Grupo Mitu.” (p.17)

**Litología y ambiente sedimentario.** Carlotto et al. (2011) indica que:

“El grupo está compuesto principalmente por calizas y lutitas marinas. Las calizas son de grano fino, oolíticas o nodulosas, de color gris blanquecino a negro. Estas rocas se caracterizan por presentar fósiles silicificados de fusulinas, braquiópodos, corales, etc. Las lutitas son negras, conteniendo restos de plantas. Sin embargo, hacia el techo, se puede presentar intercalaciones de lutitas rojas, areniscas blancas y capas de calizas. En el anticlinal de Vilcanota se le estima un espesor que varía entre 300 a más de 700 metros y en la zona de escamas solo

alcanza unos 100 m. Las calizas se han depositado en una plataforma interna de rampa carbonatada, afectada por las transgresiones y regresiones durante el Pérmico inferior. En cambio, los depósitos detríticos parecen corresponder a medios litorales y lagoons” (p. 17)

**“Edad.** Para Carlotto et al. (2011), según (Newell et al., 1953; Doubinger y Marocco, 1981) hace referencia que:

“En el sur y centro del Perú, se asigna al Grupo Copacabana una edad comprendida entre el Wolfcampiano inferior (Sakmariano) y el Leonardiano inferior (Artinskiano), es decir Pérmico inferior a medio. Doubinger y Marocco (1981), mediante estudios palinológicos, confirman la edad Leonardiana inferior para la parte superior del Grupo Copacabana en la zona de Ampay (Cuadrángulo de Pacaypata, 29-p). Sin embargo, entre San Salvador, Pillahuara (Cuadrángulo de Calca, 27-r) y Pantipata, solo se ha encontrado la biozona de *Triticites opimus*, y *Triticites pillahuarensis*, *Triticites patulus*, *Triticites titicacaensis*, *Pseudofusulina rasuvilcensis*, etc. (Newell et al., 1953). Esto indica la fuerte erosión a la que estuvo sometida la región después del depósito del Grupo Copacabana y antes de los depósitos de la Formación Pisac (Triásico superior).” (p. 17)



*Fotografía 10: Afloramiento de roca caliza de la formación Copacabana. Se muestra un escarpe de falla. Vista hacia el Noroeste.*



*Fotografía 11: Plano de falla en el escarpe en las rocas caliza.*





*Fotografía 12: Afloramiento de caliza con presencia de nódulos de chert y calcita.*

### **2.3.3. FORMACIÓN CAY CAY (Jms-cc)**

Jurásico medio-superior (Carlotto et al., 1997a)

**Definición y relaciones estratigráficas.** Carlotto et al (2011) menciona:

“Los análisis estratigráficos de la región de Cusco y su comparación con Bolivia han permitido establecer la presencia en la región de Cusco y Sicuani particularmente en el cuadrángulo de Cusco de una importante secuencia sedimentaria fluvio-eólica de posible edad Triásica-Jurásica, denominada Formación Cay cay. Esta secuencia compuesta principalmente por areniscas ha sido cartografiada anteriormente como Grupo Mitu (Triásico superior-Jurásico inferior) o como Formación Huancané (Neocomiano). En la carretera que parte de Chuquicahuana a Acomayo, en el límite con el cuadrángulo de Ocongate (28-t), la Formación Cay cay recubre en discordancia de erosión al Grupo Copacabana (Pérmico inferior). En Cay cay aflora por efecto de un cabalgamiento, en cuya base se presentan **niveles volcánicos**. Esta unidad se halla sobreyacida en leve discordancia angular por la Formación Huancané (Cuadrante I) o en discordancia de erosión por la Formación Maras del Cretácico (Cuadrante II), aunque en este caso hay un nivel de despegue. Los afloramientos

están alineados a lo largo de franjas con dirección NO-SE que corresponden a accidentes antiguos que se localizan en el límite Altiplano-Cordillera Oriental, particularmente las fallas Urcos y Vilcanota”. (p. 23).

**Litología y ambiente de sedimentación.** La descripción litológica también es descrita por Carlotto et al (2011), así:

“Esta unidad está compuesta principalmente por areniscas cuarzosas rojas, rosadas y blancas, muy parecidas a la Formación Huancané del Neocomiano. Se presenta en bancos gruesos masivos, intercalados o no con limolitas rojas y escasos lentes calcáreos. Algunos niveles muestran numerosas estratificaciones cruzadas, métricas a plurimétricas; además de granos de cuarzo modelados en facetas o con superficies mates, lo que indica un origen eólico. Sin embargo, la mayor parte de facies arenosas y también conglomerádicas son de origen fluvial. Los niveles conglomerádicos contienen elementos redondeados o angulosos de cuarzo y limolitas. Además, **en la unidad se aprecia intercalaciones volcánicas de basaltos espilíticos** que pueden alcanzar espesores importantes, como en el cerro Machuquempor (UTM: 226700E-8460000N), y que se prolongan hacia Buenavista en Quiquijana.”. (p. 23).

**Edad.** Siguiendo al mismo autor Carlotto et al (2011), describe:

“Esta unidad sobreyace en discordancia al Grupo Copacabana (Pérmico inferior). En el cuadrángulo de Sicuani sobreyace a un equivalente volcánico de la Formación Pachatusan (Jurásico inferior). Igualmente se halla debajo de la Formación Huancané (Neocomiano) o de las formaciones Huambutío (Cusco) atribuidas al límite Jurásico-Cretácico. Esta posición estratigráfica y las correlaciones, principalmente con el cuadrángulo vecino de Sicuani (29-t) y con Bolivia (Oller y Sempere, 1990; Sempere, 1995), permiten proponer una edad Jurásica media-superior para la Formación Cay cay.” (p. 23).



*Fotografía 13: Vista panorámica mostrando los contactos de la formación Cay cay. En el piso de valle tenemos el poblado de Quiquijana y el rio Vilcanota. Vista mirando al Nor Oeste.*



*Fotografía 14: Afloramiento de la formación Cay cay, volcánico (Basalto espilita) en el piso de valle. Vista hacia el Este.*



*Fotografía 15: Afloramiento de roca volcánica de la formación Cay cay. Vista mirando al Nor Este.*



*Fotografía 16: Afloramiento del volcánico Cay cay mostrando los fenocristales de sanidina.*



*Fotografía 17: Afloramiento del volcánico Cay cay mostrando textura vesicular y amigdaloides bandeado reemplazados por óxidos de hierro.*



*Fotografía 18: Vista del afloramiento de roca volcánica de la formación Cay cay con bandeamiento formado por las vesículas y amígdalas de óxidos de hierro.*

#### 2.3.4. FORMACIÓN PUQUÍN (Ks-pu)

Coniaciano- Maestrichtiano (Carlotto, 1992; Carlotto et al., 1992)

**Definición y relaciones estratigráficas. Continuando con las citas del mismo autor Carlotto et al (2011). En su publicación indica que:**

“La Formación Puquín (Carlotto, 1992; Carlotto et al., 1992) sobreyace a la Formación Ayabacas, pero en general, el contacto corresponde a un nivel de despegue. La Formación Puquín, al igual que la Formación Vilquechico, de la región de Puno está dividida en tres miembros llamados M1, M2 y M3 y aflora ampliamente en el núcleo del anticlinal de Puquín, en el anticlinal de Saylla, al norte de Saylla, entre Rondocan y San Juan de Quihuare y al norte de Accha”. (p. 32).

#### **Litología y ambiente de sedimentación.**

Continuamos la descripción haciendo referencia a Carlotto et. al (2011), que describe:

“**El Miembro M1** (30m) del sector de Puquín está constituido por lutitas rojas, yesos laminados, nodulosos o en mallas y por brechas con elementos pelíticos, que indican un medio de *sabkha* continental. Hacia la parte superior se observan dolomitas laminadas, intercaladas con yesos de medio intertidal.

**El Miembro M2** (180 m) aflora ampliamente en el anticlinal de Puquín. Está compuesto por dos secuencias de orden inferior: AM2 (100 a 150 m) y BM2 (30 a 60 m), que son transgresivas a la base (marinas poco profundas y confinadas) y regresivas al techo (lacustre). Las secuencias basales están compuestas por calizas, margas, lutitas negras ricas en materia orgánica y pirita, mientras que la parte media y superior por lutitas verdes y rojas asociadas a yesos laminares, nodulosas y en mallas.

**El Miembro M3** (>170 m) aflora en el anticlinal de Puquín, donde sobreyace al Miembro M2, sin embargo, en este mismo sector el techo se halla parcialmente erosionado. Este miembro es esencialmente arenoso y globalmente más detrítico que los precedentes; comienza con bancos arenosos fluviales, seguidos por intercalaciones de lutitas, margas y calizas lacustres e intertidales, en tanto que la parte media y superior grano-estrato creciente está representado por areniscas feldespáticas de color rojo y de origen fluvial, de procedencia sur”. (p.32)

**Edad. Según Carlotto et. al (2011), describe:**

“El Miembro M1 no ha reportado fósiles pero por comparaciones regionales se le asigna una edad Coniaciana- Santoniana. Las secuencias basales de AM2 y BM2 del Miembro M2 son asignadas al Santoniano y Campaniano medio respectivamente a partir de correlaciones regionales. En Puquín, la parte lacustre de BM2 contiene *Platychara perlata* y *Feistiella ovalis* (Carlotto et al., 1992; Jaillard et al., 1994), que indican una edad Campaniana media-Maestrichtiana. En la misma sección de Puquín, en el Miembro M3 la presencia de carofitas *Feistiella gildemeisteri* y *Platychara grambastii* (Carlotto et al, 1992; Jaillard et al, 1994) indicaría el Maestrichtiano. En resumen, la edad de esta unidad sería del Senoniano- Coniaciano? al Maestrichtiano Estos tres miembros pueden ser correlacionados con los miembros inferior, medio y superior de la Formación Vilquechico del Altiplano, tal como fueron definidos por Jaillard et al., 1991”.(p. 32)



*Fotografía 19: Vista mostrando los afloramientos de las formaciones Kayra, Quilque y Puquín en el poblado de Quiquijana. Vista mirando hacia el Norte.*



*Fotografía 20: Vista mostrando el afloramiento de roca arenisca fina con intercalaciones de lutita y nódulos de calcita.*



*Fotografía 21: Vista mostrando afloramiento de roca arenisca fina con intercalaciones de lutita y nódulos de calcita.*



### 2.3.5. FORMACIÓN QUILQUE (Pp-qu)

**Paleoceno inferior** (Gregory, 1916; Carlotto, 1992).

**Definición y relaciones estratigráficas. En la publicación de Carlotto et.al (2011).**

**Indica así:**

“Definida por Gregory (1916), quien le atribuyó una edad pérmica. Carlotto (1992) hace un estudio sedimentológico y estratigráfico determinando la edad paleocena. Estas capas rojas reposan en discordancia erosional sobre la Formación Puquín. La Formación Quilque aflora al oeste de la ciudad de Cusco en los flancos del anticlinal de Puquín, y en los flancos de los anticlinales de Saylla, Occopata y Sondor. Igualmente lo hace de manera amplia al norte de Accha, entre San Juan de Quihuare y Rondocan, en Acomayo y en la zona de la laguna de Pomacanchi en el extremo sureste del cuadrante II.

**Litología y ambiente de sedimentación.** Es un conjunto de más de 150 m de grano-estrato creciente de lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados, estos últimos formados por la erosión de costras calcáreas y calizas. Los bancos arenoconglomerádicos son canalizados y presentan laminaciones oblicuas curvas. La evolución vertical indica que las facies pelíticas lacustres y de llanura de inundación con paleosuelos, pasan gradualmente a las facies arenoconglomerádicas de un sistema fluvial débilmente entrelazado de procedencia suroeste. En efecto, hacia Accha y particularmente en Ccochirihuay se puede apreciar conglomerados gruesos que indican la proximidad a las zonas de aporte.

**Edad.** Al suroeste de Puquín y en el límite con el cuadrángulo de Tambobamba (UTM: 175200E-8502700N), la presencia de carofitas, de la especie *Nitellopsis supraplana* (Carlotto et al., 1992; Jaillard et al., 1994), indicaría una edad Paleocena inferior. La discordancia de base de la Formación Quilque sobre la Formación Puquín, pone en evidencia la existencia de eventos tectónicos en el límite Maestrichtiano-Paleoceno.

La Formación Quilque puede ser correlacionable con la Formación Santa Lucía (Paleoceno) de Bolivia (Sempere et al., 1997)”. (p.35).



*Fotografía 22: Vista mostrando afloramiento de roca arenisca rojiza de la formación Quilque.*

### **2.3.6. FORMACION KAYRA (Peo- ky) Eoceno inferior** (Córdova, 1986; Carlotto, 1998)

Para la descripción de esta formación nos referimos a Carlotto et al (2011) y describe:

**“Definición y relaciones estratigráficas.** La Formación Kayra (Córdova, 1986) aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco, donde forma parte del sinclinal de Anahuarqui y anticlinal de Puquín, al oeste. Igualmente lo hace en el sinclinal de Ancaschaca, en Yaurisque-Paruro, en el sinclinal de San Lorenzo y en el sector de Cusibamba-Sanka.

**Litología y ambiente de sedimentación.** Está esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas. Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial altamente entrelazado. Hacia el sur las facies se hacen más gruesas y aparecen los conglomerados. La formación acaba con facies areno-pelíticas de llanura de inundación y canales divagantes. Las paleocorrientes indican que los aportes proceden del sur y suroeste. El espesor de esta unidad varía entre 2000 y 3000 m.

**Edad.** Estudios anteriores habían considerado a las Capas Rojas del Grupo San Jerónimo como de edad cretácica superior-terciaria (Marocco, 1978; Córdova, 1986). Estudios recientes (Carlotto et al., 1995a; Carlotto, 1998, 2002, 2006a) han mostrado que el Grupo San Jerónimo reposa sobre secuencias datadas paleontológicamente como del Paleoceno-Eoceno inferior? (Formación Chilca). Nuevas edades trazas de fisión FT en apatitos de la base de la Formación Kayra indican una edad de  $52.6 \pm 8.7$  Ma (Eoceno basal) hasta 43 a 42 Ma. En consecuencia, la edad de la Formación Kayra es eocena inferior” (p. 38).

### **2.3.7. INTRUSIVO: QUIQUIJANA (P/gd)**

**Para la descripción del intrusivo de Quiquijana hacemos referencia a Carlotto et. al (2011) en la que describe:**

**“Definición y relaciones de contacto.** En el cerro Curi, al sureste del poblado de Quiquijana, en el cuadrante II, existe un cuerpo de 3 km<sup>2</sup> que corta a las calizas Copacabana, desarrollando pequeños skarns de magnetita. Este cuerpo parece prolongarse más al sur hasta Buenavista, donde está controlado por la falla Urcos.

**Litología.** Se trata de granodioritas de textura granular de grano fino con tendencia porfirítica definida por fenocristales de plagioclasa. Son leucócratas y presentan plagioclasas, ortosa, cuarzo, hornblenda verde, óxidos de FeTi (magnetita o ilmenita?), epídota (alanita?), titanita y apatito. La plagioclasa aparece en dos etapas: en la primera de gran tamaño, euhedrales y zonados; la segunda etapa como cristales euhedrales o anhedrales y de tamaño similar al del cuarzo, ortosa y hornblenda. En las muestras estudiadas, la plagioclasa y la ortosa se encuentran respectivamente bastante sericitizadas y argilizadas.

**Geoquímica.** Se realizó solamente un análisis químico sobre este intrusivo (Tabla 4). Esta única muestra no permite conclusiones definitivas, sin embargo, se debe mencionar la similitud de la composición de la roca de Quiquijana con la de la granodiorita de Antarane, localizada a unos kilómetros al oeste de Cabanillas, en el cuadrángulo de Puno, 32-v (Clark et al., 1990a). Ambos intrusivos tienen ratio A/CNK ( $Al_2O_3 / (CaO+Na_2O+K_2O)$  molar 0.90-0.98) y similares perfiles de tierras raras normalizadas a la condrita CI (Fig. 20). Sin

embargo, los perfiles de las tierras raras muestran también una gran similitud con las andesitas calco alcalinas del arco occidental del sur del Perú (Fig. 20).

**Edad.** La granodiorita de Quiquijana intruye rocas del Paleozoico superior. Teniendo en cuenta la actividad magmática reconocida regionalmente, su edad podría ser pérmica (Clark et al., 1990a), triásica (Kontak, 1985; Clark et al.

1990b) o cenozoica (Dostal et al., 1977). En ausencia de datos radiométricos y como los datos químicos no permiten una discriminación, en este trabajo se considera a la granodiorita de Quiquijana como cenozoica, sin otra prueba” (p.57).

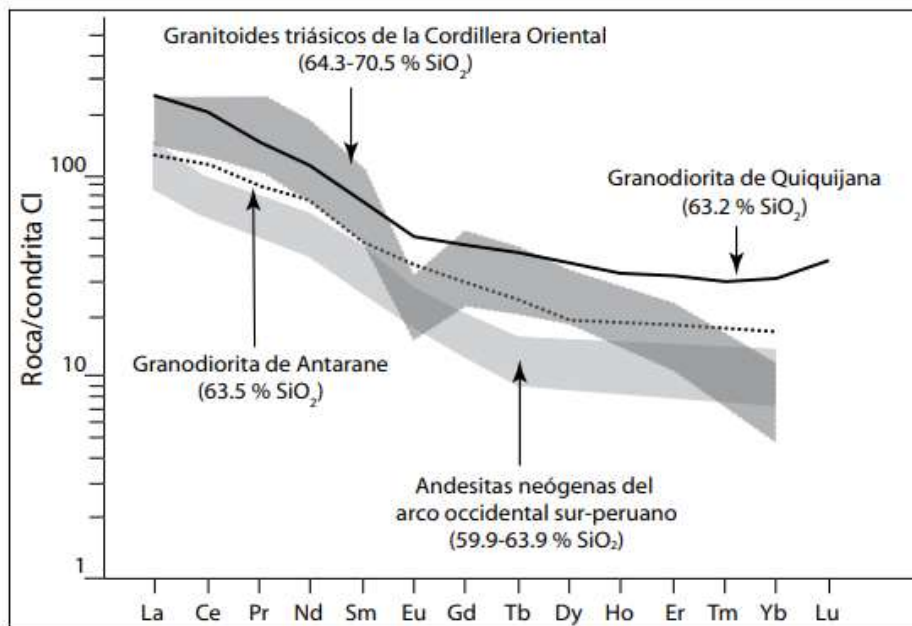


Figura 03. Perfil de las concentraciones de elementos de tierras normalizadas a la condrita CL (Valores normalizados según Sun y Mc Donough, 1989) para la granodiorita de Quiquijana.

Fuente: Boletín Cuadrángulo Geológico de Cusco V. Carlotto, J Cárdenas, G Carlier)



*Fotografía 23. Vista mostrando el afloramiento del intrusivo en el cerro Curi. Vista hacia el Norte.*



*Fotografía 24: Vista mostrando roca diorita-granodiorita en un corte de la trocha carrozable en el cerro Curi.*



*Fotografía 25: Calicata en la cima del cerro Curi mostrando la litología granodiorita.*

#### **2.3.8. DEPÓSITO DE MARMOL.**

En el cerro Curi de la localidad de Quiquijana afloran depósitos de mármol producto del metamorfismo que causó la intrusión de la granodiorita en las rocas caliza de la formación Copacabana. En la actualidad estos depósitos están siendo explotados de forma artesanal aprovechando el fracturamiento de la roca y también realizando voladura cuando son bloques grandes.



*Fotografía 26: Vista del afloramiento M-2 tomada desde el afloramiento M-1. Vista tomada mirando al Nor Este.*



*Fotografía 27.: Afloramiento de mármol M-1 mostrando los bloques de mármol de más de 50 cm a 1 m de diámetro.*



*Fotografía 28. Vista del mármol con bandeamiento debido a la inclusión de óxidos de manganeso pirolusita.*



*Fotografía 29. Vista mostrando las estriaciones en un plano de falla.*





*Fotografía 30. Vista mostrando un perforación diamantina para realizar voladura de la roca.*

### **2.3.9. DEPÓSITO DE MAGNETITA**

En el cerro Curi también podemos encontrar afloramientos puntuales de magnetita, en el contacto entre la formación Copacabana y el Intrusivo granodiorítico. Se han encontrado dos afloramientos, una de ellas a unos metros del depósito de mármol M-1 y la otra en la cima del cerro Curi en el contacto de la caliza de la formación Copacabana y el intrusivo granodiorítico.



*Fotografía 31. Vista del afloramiento Magt. 1 próximo al afloramiento de mármol M-1, nótese el imán pegado a la roca.*



*Fotografía 32: Vista mostrando un afloramiento de magnetita, alterado a limonita.*



*Fotografía 33: Vista mostrando una muestra de magnetita con mineralización de oligisto.*



*Fotografía 34: Vista mostrando una calicata del afloramiento de magnetita Magt-2, en la cima del cerro Curi en el contacto de la caliza de la formación Copacabana y el intrusivo.*



*Fotografía 35: Vista mostrando un afloramiento de magnetita Magt-2.*



*Fotografía 36: Vista mostrando un bloque de magnetita con el imán pegado a la roca.*

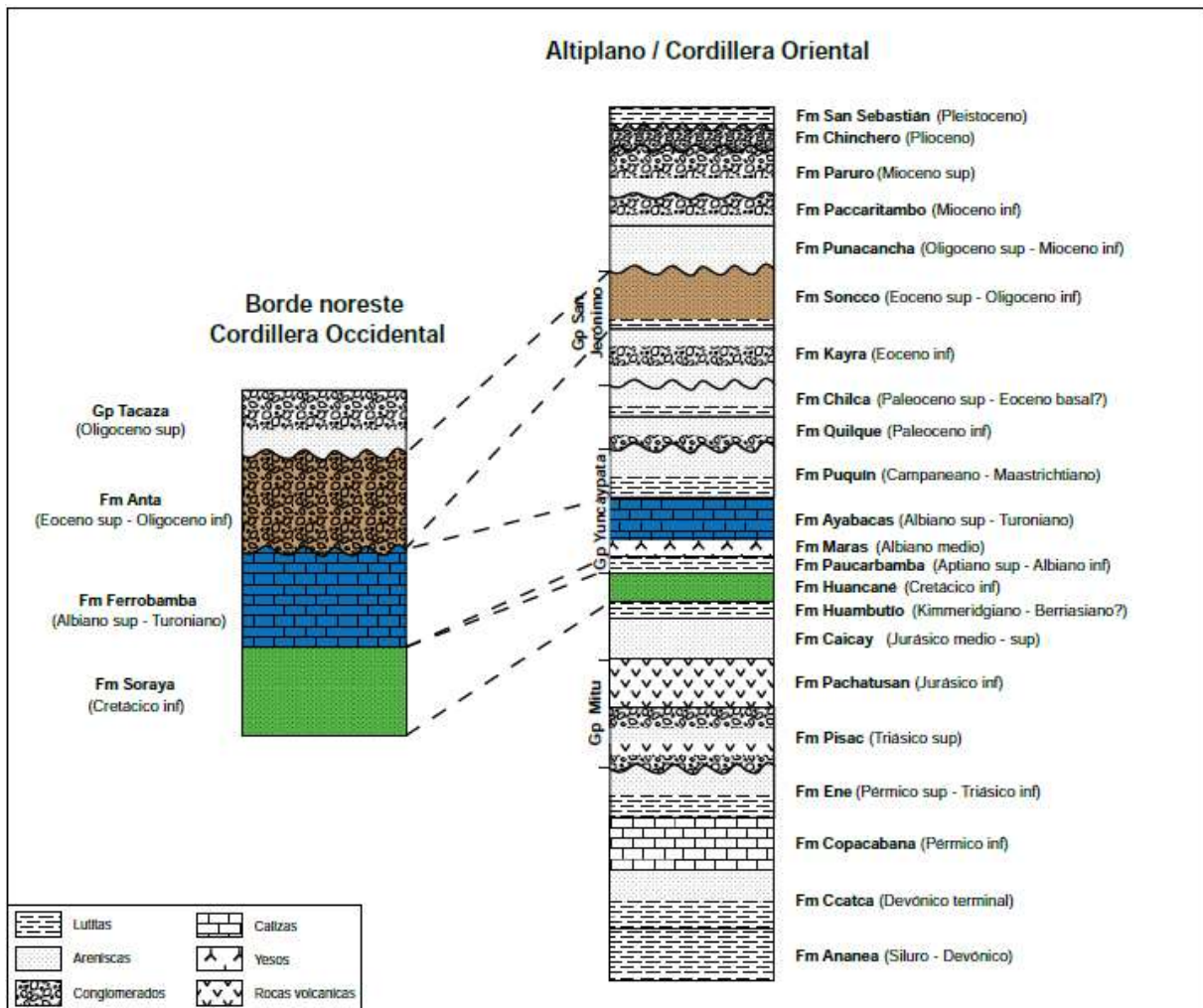


Figura 04: Columna estratigráfica regional del Cusco (Fuente: Boletín A- 138 Cuadrángulo Geológico del Cusco)

# Columna estratigráfica local de Quiquijana

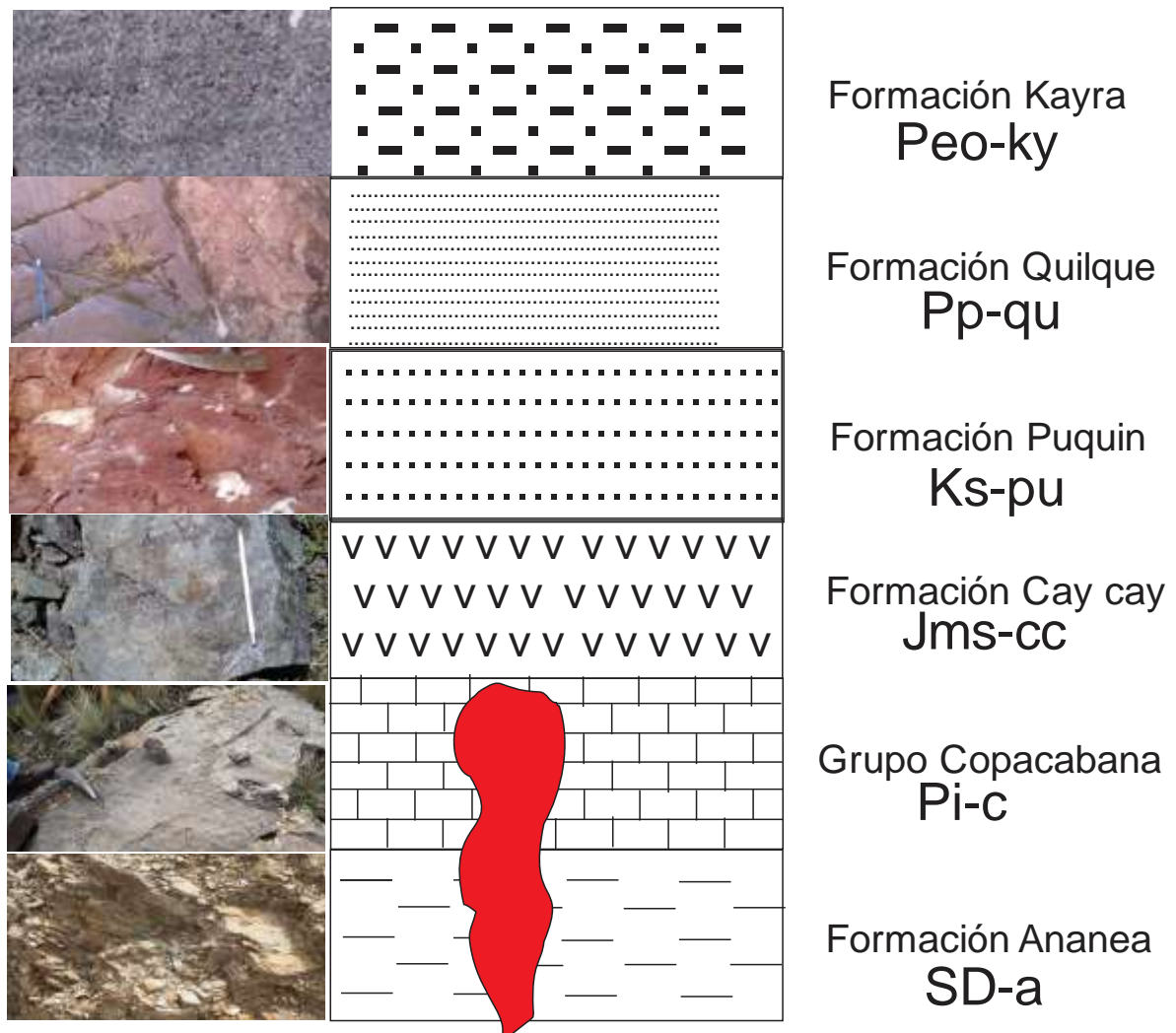
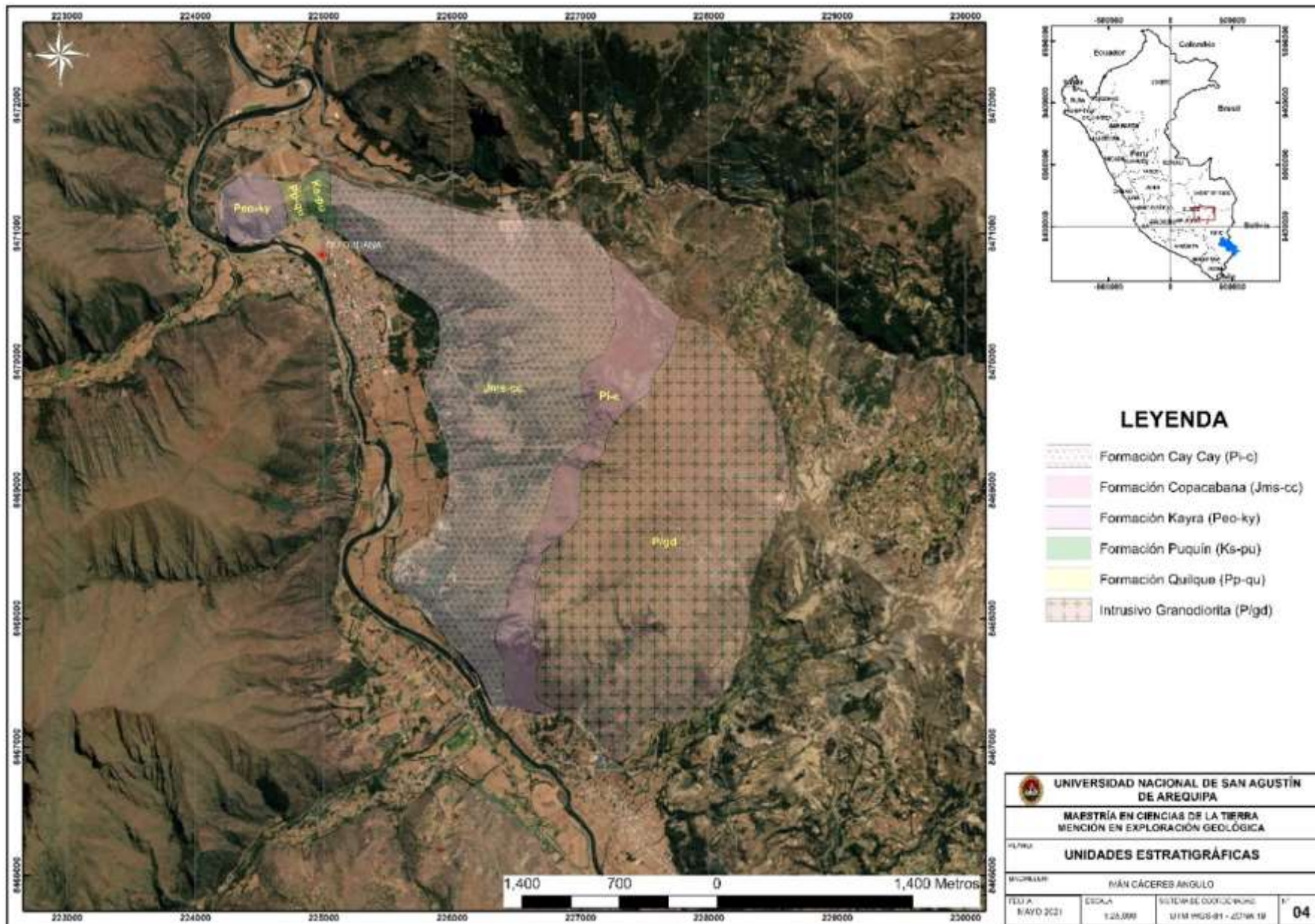
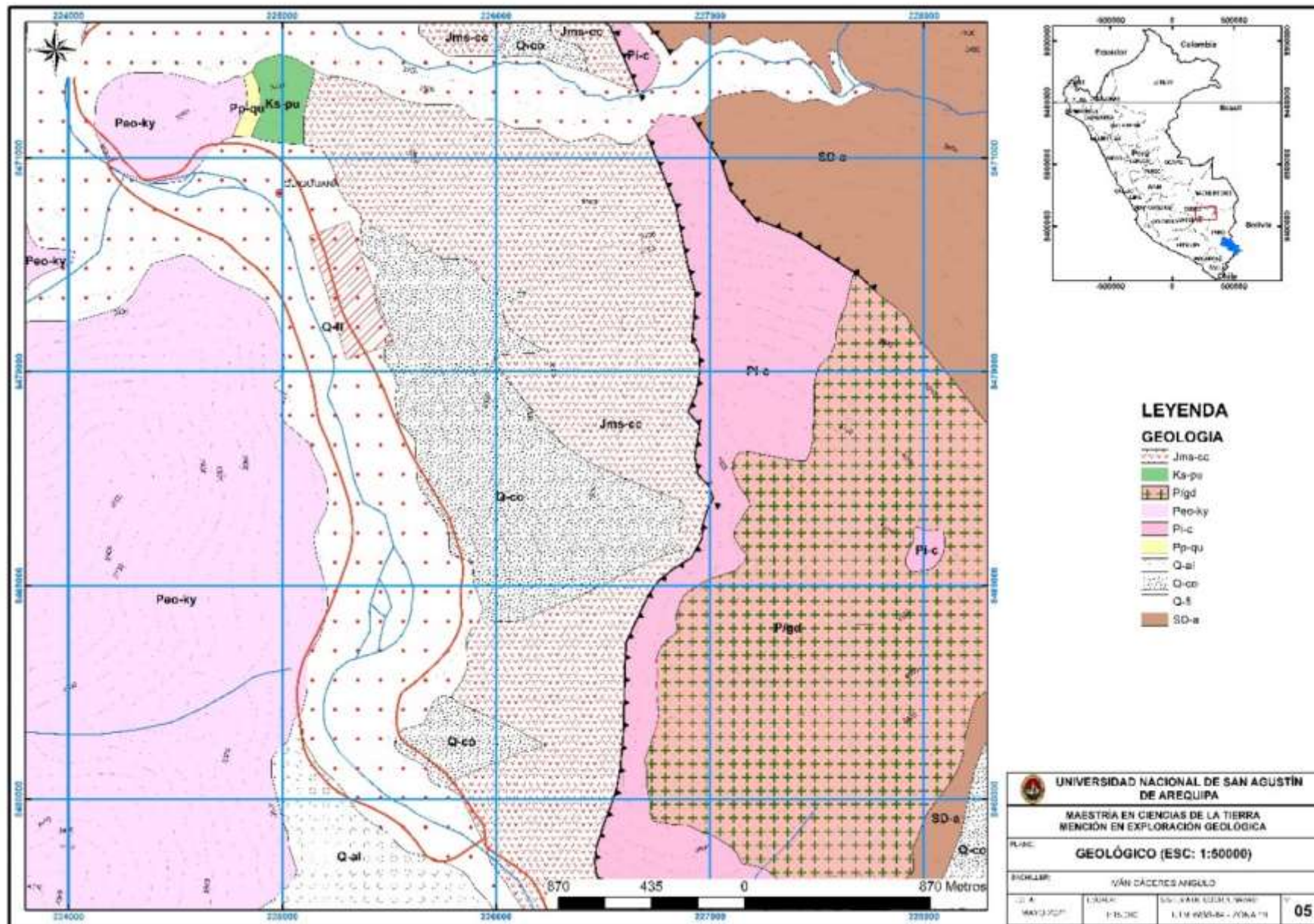


Figura 05: Columna estratigráfica local de Quiquijana







## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. MÉTODODO DE INVESTIGACIÓN.

Para el desarrollo de la presente tesis se planteó una metodología de investigación de tipo Descriptivo - Experimental e Inductivo – Deductivo.

Como parte de la **metodología descriptiva**, se realizó una recopilación y síntesis de la información geológica generada hasta el momento en la zona de estudio, abarcando estudio petrológico, petrográficos, geoquímicos. En esta etapa se procedió a preparar los mapas preliminares, definiciones de accesos, diseños de muestreo y modo de trabajo en el campo.

Como parte de la **metodología experimental**, se procedió a la obtención de datos a través de la descripción y cálculo porcentual de los minerales, descripción realizada utilizando el microscopio petrográfico de luz transmitida y luz reflejada, así también a través de los resultados de análisis geoquímico. a fin de determinar sus características petromineralógicos y geoquímicos de las rocas.

Como parte de la **metodología inductivo y deductivo**, a través de los resultados y teorías, premisas se arribaron a los resultados tanto de clasificación de las rocas, la petrogénesis y su asociación paragenética.

### 3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

En la presente tesis se ha diseñado un plan de trabajo con la finalidad de alcanzar y cumplir con nuestros objetivos planteados, siendo así que se diseñó tres etapas:

#### **I. Etapa de revisión bibliográfica y preparación de mapa base.**

En esta etapa se realizó la revisión de información bibliográfica, dentro de ellos podemos mencionar a los cuadrángulos geológicos publicados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) que nos permitieron tener una visión del contexto geológico regional y alguna información litológica y geoquímica del intrusivo de Quiquijana. Así también se revisó algunos trabajos de tesis doctorales y de maestría de estudios petrográficos y geoquímicos de rocas , intrusivas, metamórficas y sedimentarias, las mismas que fueron realizados en Colombia y Argentina,

publicaciones de artículos científicos relacionados a temas de estudios de petrografía, mineralogía y geoquímica a fin de tener una idea clara de la metodología de estudio.

Estudios relacionados a los depósitos minerales tipo Skarn los cuales nos dieron una visión de sus relaciones mineralógicas y texturales, modo de ocurrencia y modelos paragenéticos.

Esta etapa sirvió para sentar las bases teóricas de definiciones y conceptos y a partir de las cuales iniciamos nuestra investigación .

## **II Etapa de campo.**

En esta etapa se realizaron tres salidas de campo al cerro Curi, con la finalidad de realizar un reconocimiento de la zona, cartografiado, toma de fotografías y recolección de muestras.

Las muestras de roca se recolectaron en diferentes unidades estratigráficas y en diferentes variaciones de litología, con el criterio de que la muestra sea representativa.

Se recolectaron tres muestras como mínimo de cada unidad estratigráfica y/o litológica, las muestras se sacaron de los afloramientos, para ello utilizamos la comba para poder romper y la picota, muestras de tamaño aproximado de 10 a 15 cm. de diámetro. Muestras frescas.

En la primera salida de campo se hizo el reconocimiento de los depósitos de mármol y magnetita. En una segunda salida de campo se hizo un reconocimiento de las unidades estratigráficas que afloran en el lugar y el muestreo de las rocas en cada una de ellas. En la tercera salida de campo se hizo un reconocimiento de las rocas volcánicas de la formación Cay cay.

De las muestras recolectadas se seleccionaron una o dos muestras para realizar el corte utilizando para ello el petrotomo, se cortaron galletas de roca de 5 a 1 cm de espesor. Se enviaron a los laboratorios del INGEMMET para la preparación de secciones delgadas (16 muestras) y para análisis geoquímico muestras de las rocas intrusivas (1) y volcánicas (2).

## **III Etapa de gabinete y redacción de tesis.**

En el laboratorio de microscopía de la Escuela profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco UNSAAC, se

realizó la descripción microscópica de las muestras de secciones delgadas y una sección pulida, utilizando para ello el microscopio petrográfico de luz transmitida para las secciones delgadas y de luz reflejada para la sección pulida. Las características microscópicas se tomaron nota en los formatos diseñados para la descripción de rocas y secciones delgadas (**Anexo** ) y la toma de microfotografías con una cámara incorporada en el microscopio y el procesamiento de imágenes con el programa LAZ ES de Leica, versión 4.

En la descripción de las secciones delgadas se consideró las características texturales las cuales nos indican el tipo de roca, clástica, ígnea o metamórfica. Las relaciones texturales como tamaño de granos minerales, microtexturas, microestructuras que nos indican su historia de formación (génesis) y la descripción mineralógica a través del reconocimiento de sus propiedades ópticas y un cálculo porcentual que nos permita clasificar las rocas haciendo uso del diagrama de Steckeisen.

Los resultados químicos del análisis geoquímico nos sirvió para realizar la clasificación química de las rocas, la determinación del ambiente tectónico y la profundidad haciendo uso de los diagramas quimiográficos.



*Fotografía 37: Secciones delgadas y sección pulida para la descripción petrográfica.*

### 3.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

- Durante la etapa de campo se utilizó los siguientes instrumentos de campo

Martillo de geólogo

GPS

Cámara fotográfica

Bolsas de muestreo

Comba de 3 Kg.



- En la etapa de gabinete y procesamiento de datos:

Petrótomo

Microscopio petrográfico y cámara fotográfica.

Equipo de fluorescencia de Rayos X de marca Olympus serie Vanta



- Etapa de digitalización

Se utilizó una laptop maraca hp.

Software de procesamiento de imágenes Las Ez de Leica.



# CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN PETROMINERALÓGICA Y GEOQUÍMICA

## 4.1. CARACTERIZACIÓN PETROMINERALÓGICA.

La caracterización petromineralógica consiste en la descripción textural y mineralógica de las rocas con la finalidad de determinar su ambiente de formación, su historia de cristalización, el tipo de roca y el nombre de la roca.

Las muestras que se caracterizan representan a cada una de las formaciones que afloran en el cerro Curi, para ello se elaboraron los formatos de descripción que se muestran en el (Anexo I).

### 4.1.1 GRUPO COPACABANA.

En el afloramiento de las calizas, se pueden observar nódulos de calcita y sílice alineada en dirección del contacto con la roca volcánica de la formación Cay cay.



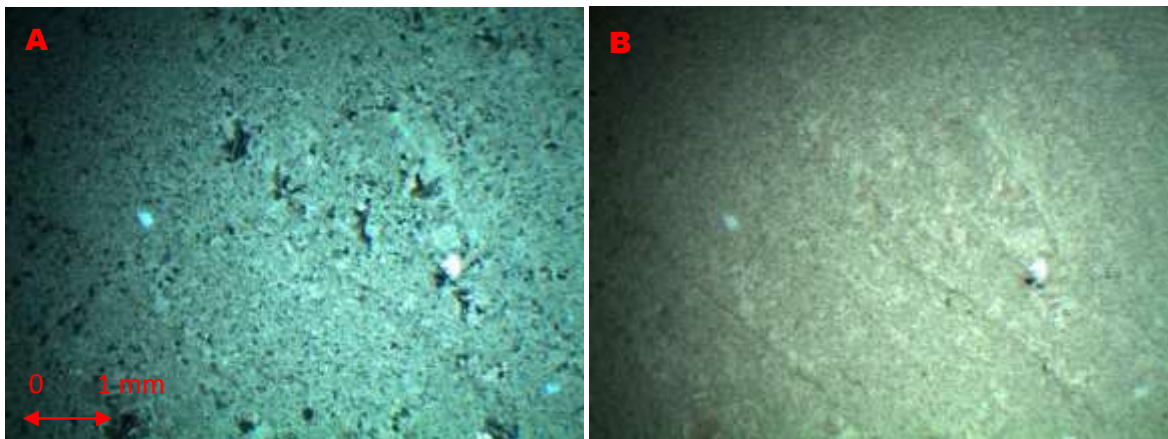
*Fotografía 38: Calizas con inclusiones de nódulos de calcita (Ca) y sílice (Si).*

Las muestras macroscópicas son calizas de color gris claro de grano muy fino con presencia de vetillas de calcita y éstas han sufrido oxidación (limonita), presentando bandeamiento de color anaranjado.



*Fotografía 39: Muestra de caliza de la formación Copacabana.*

Microscópicamente (Muestra 016) presenta cristales de calcita bastante fino con microfracturamiento paralelo, algunos cristales de cuarzo y cristales de calcita de grano grueso. No se ha observado la presencia de algún aloquímico y su clasificación según Folk, correspondería a una caliza micrítica.



*Fotografía 40: Fotomicrografía de la caliza de la formación Copacabana: A) vista en nicoles cruzados; B) vista en nicoles paralelos. (Muestra 016)*

#### **4.1.2. FORMACIÓN CAY CAY.**

En la formación Cay cay hacia el techo, en contacto con la formación Puquín encontramos un afloramiento de estrato de arenisca de unos dos metros de potencia.



*Fotografía 41: Estrato de arenisca cuarzosa, hacia el techo cerca contacto con la formación Puquín.*

En la muestra de mano de la arenisca se observa principalmente una composición de cuarzo, con clastos de tamaños que varían entre 0.5 a 2 mm de diámetro, presenta fracturamiento las cuales se encuentran rellenas por óxidos de hierro alterados a limonita.

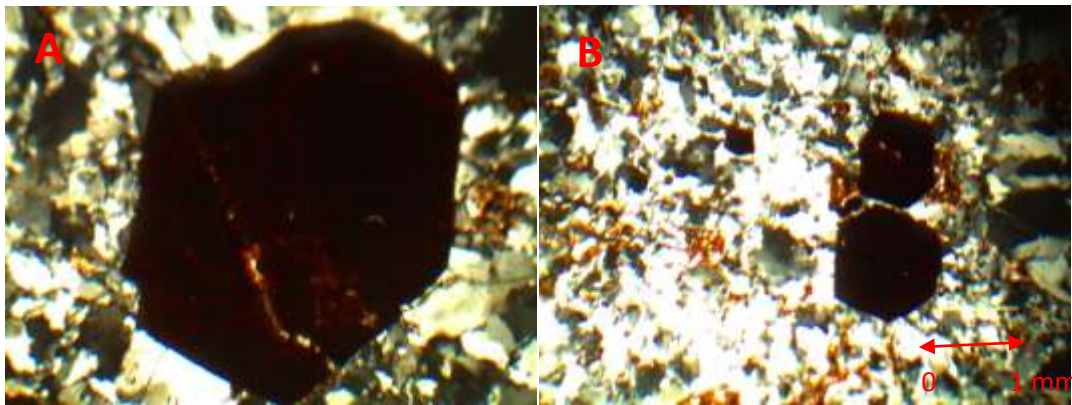


*Fotografía 42: Muestra de arenisca cuarzosa en la formación Cay cay.*

La muestra de la sección delgada (Muestra 006) de la arenisca presenta como característica general una estimación porcentual mineralógica variada en diferentes

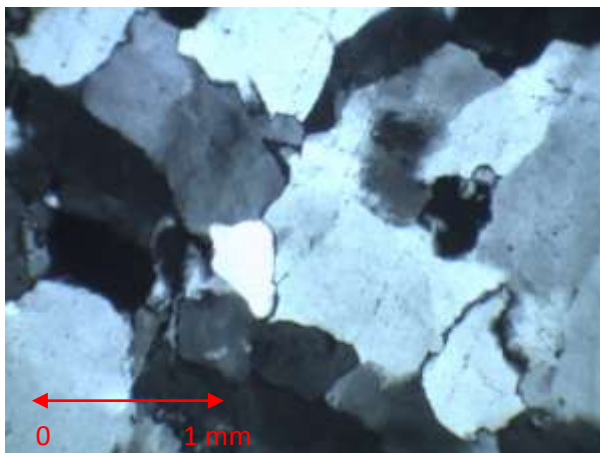
puntos de la lámina transparente, pero en promedio estimamos que presenta cuarzo en 80%, feldespatos 15%, hematita 3% y biotita 2%. De acuerdo a la clasificación de Folk para la clasificación de arenitas correspondería a una arenisca subarcosa,

Los clastos tienen una granulometría de tamaño heterogéneo que varía de 0.1 mm a 0.5mm de diámetro (Clastos gruesos), sub angulosos con clastos de biotita secundaria de tamaño de 1 mm. y la formación de cemento ferruginoso entre las porosidades y algunas microfracturas.



*Fotografía 43: A) Clasto de Biotita secundaria e 1 mm de diámetro. B) Muestra de la arenisca subarcosa en sección delgada, vista en nicoles cruzados (Muestra 006)*

Los cuarzoes presentan una forma sub redondeada a sub angulosa con extinción ondulada y recta que nos indicaría una posible procedencia de rocas intrusivas, presenta algunas inclusiones de óxidos y micrografcturas.



*Fotografía 44: Vista de las características del cuarzo de las areniscas.(Muestra 006)*



Luego encontramos niveles de estratos de rocas volcánicas basaltos espilíticos infrayaciendo al estrato de arenisca cuarzosa, macroscópicamente presentan fenocristales de sanidina y una matriz muy fina de color gris violeta.



*Fotografía 45: Muestra de mano de roca volcánica, basalto espilítico.*

Microscópicamente (Muestra 007)) observamos fenocristales de sanidina de más de 5 mm de longitud en una matriz también de plagioclasa y sanidina que tienen un hábito tabular y prismático entrecruzados de 0.3 a 0.8 mm. También observamos minerales de granates en las que han sido reemplazadas parcialmente por minerales de feldespatos, calcitas y óxidos de hierro.



*Fotografía 46: Vista al microscopio en Nícoles Cruzados de la roca volcánica mostrando cristales de sanidina (San) y granate (Gt). (Muestra 007).*

En la muestra (010) podemos observar estructuras de microbrechamiento, rellenas por óxido de hierro y cuarzo microcristalino.



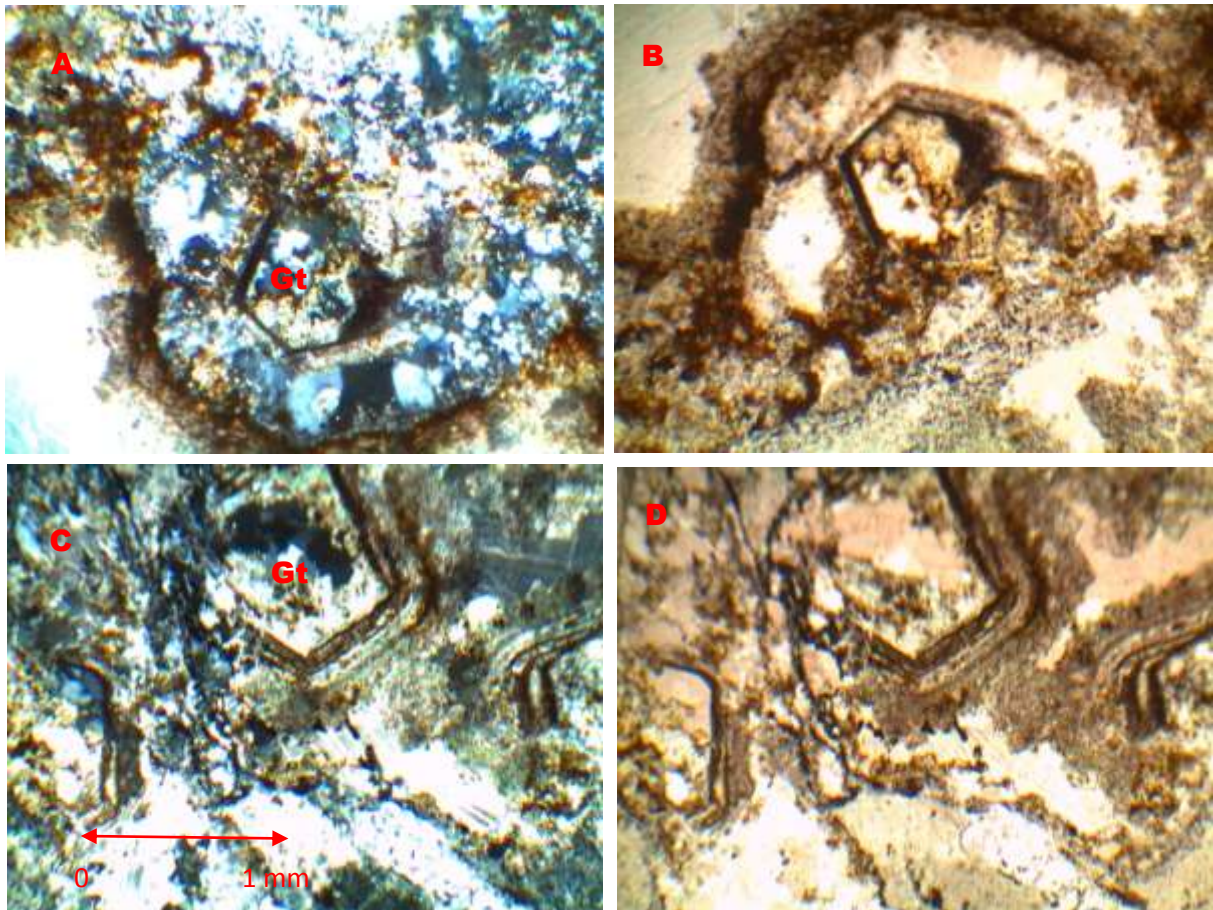
*Fotografía 47: Vista al microscopio en Nicoles Cruzados mostrando estructura de microbrechamiento.(Muestra 010).*

En la muestra (012) podemos observar algunas texturas vesiculares y amigdaloides que han sido rellenadas por cuarzo microcristalino y calcita, en las vesículas podemos observar texturas de reacción coronaria y concéntrica en forma de capas de óxidos y entre las capas recristalización de cuarzo.



*Fotografía 48: Vista al microscopio en Nicoles Cruzados mostrando la textura amigdaloides. (Muestra 012)*

Así mismo observamos minerales de granate grosularia que fueron reemplazados parcialmente por cuarzo y óxidos de hierro, estos cristales de granate presentan una forma poligonal. (Muestra 012).



*Fotografía 49: Vista de minerales de granate (GT) en sección delgada, A y C (Nicoles cruzados); B y D (Nicoles paralelos). (Muestra 012).*

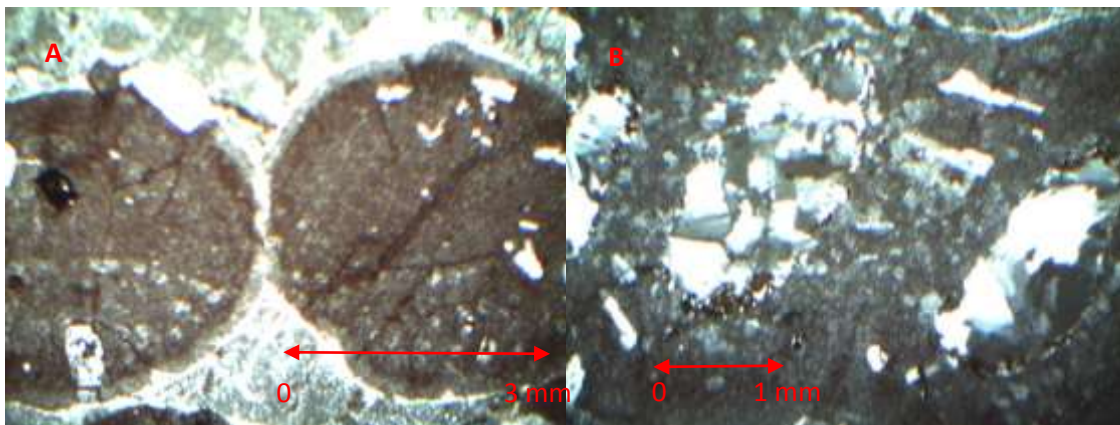
Llama la atención en las muestras de mano una estructura que podemos denominarla como tren de amígdalas en forma paralela y bandeada.



*Fotografía 50: Muestra de mano de rocas de la formación Cay cay mostrando una estructura denominada tren de amígdalas.*

Microscópicamente estas amígdalas están rellenas por granos finos de feldespatos que han sido alterados a sericita, calcita y óxido y otras amígdalas que han sido recristalizadas en su interior por cuarzo. (Muestra 013).

La matriz presenta granos muy finos microcristalinos de cuarzo, y plagioclasas y feldespatos alterados a sericita y calcita.



*Fotografía 51: Vistas al microscopio en Nicoles Cruzados de las amígdalas. (A) amígdalas rellenas de feldespato, plagioclasas de grano fino. (B) amígdalas con núcleo de cuarzo. (Muestra 013)*

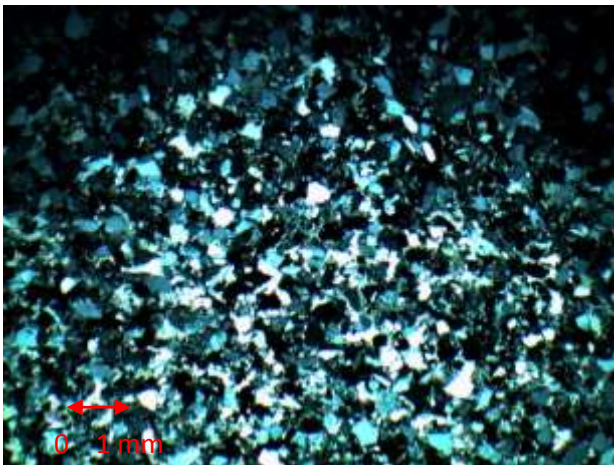
#### **4.1.3. FORMACIÓN PUQUÍN**

La muestra de mano de la formación Puquín, litológicamente es una arenisca de color marrón rojizo de grano fino.

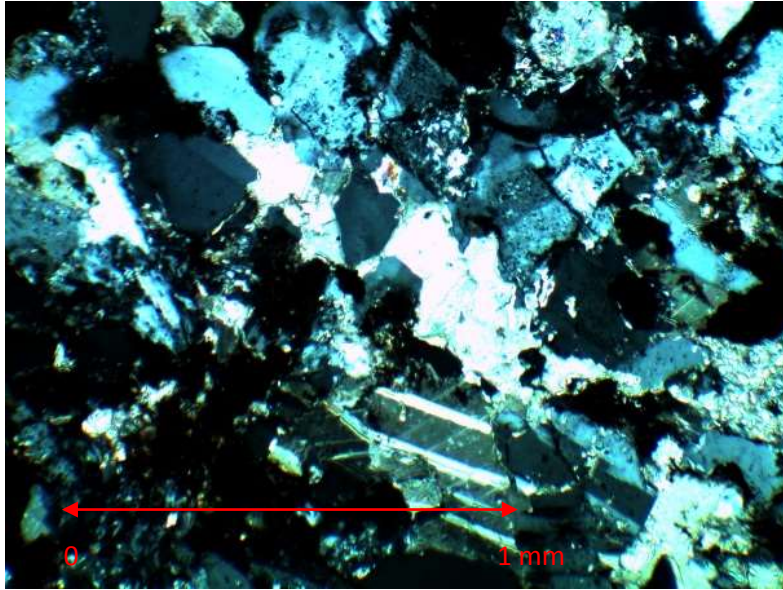


*Fotografía 52: Muestra de mano de roca de la formación Puquín.*

Microscópicamente es una arenisca que contiene cuarzo en un 45%, feldespatos 40% y minerales óxidos un 15%, según la clasificación de Folk para las arenitas correspondería a una arenisca feldespática. Los clastos tienen una granulometría que varía de 0.125 a 0.25 (grano fino), mal clasificados, sub angulosos, presenta un cemento de calcita y minerales de hematita. Dichos minerales probablemente se hayan formado por la influencia del skarn.



*Fotografía 53: Vista al microscopio en Nícoles cruzados de la arenisca de la formación Puquín. (Muestra 001)*



*Fotografía 54: En la foto se muestra el mineral de Calcita maclada con minerales de hematita.*

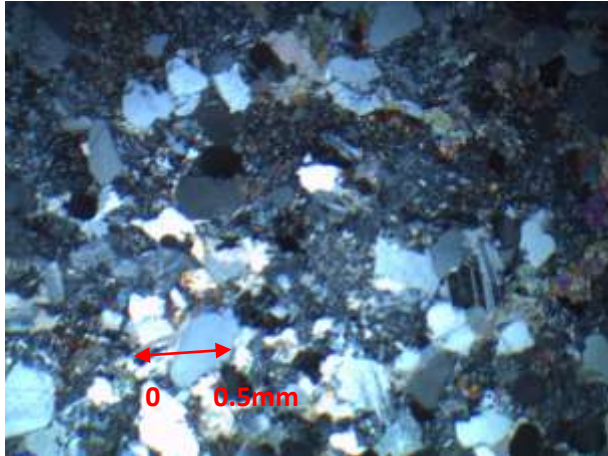
#### **4.1.4. FORMACIÓN QUILQUE.**

La muestra de mano de la formación Quilque litológicamente es una arenisca feldespática color gris claro.



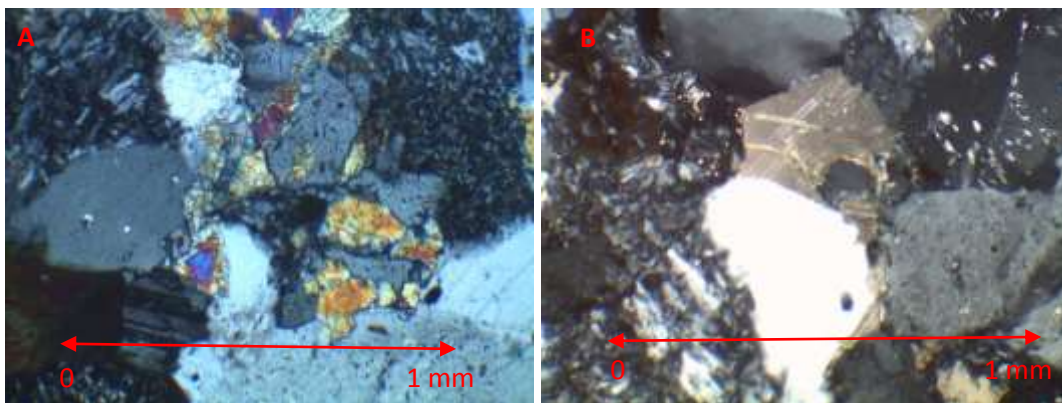
*Fotografía 55: Muestra de mano de la formación Quilque.*

Microscópicamente (Muestra 002) presenta clastos de una granulometría que varía de 0.5 a 0.05 mm, mal clasificados, sub angulosos, la estimación porcentual es de cuarzo 30%, feldespatos 35%, óxidos 20% fragmentos de roca 5%, lo que correspondería clasificarlo como una arenisca feldespática.



*Fotografía 56: Vista microscópica de la arenisca de la Formación Quilque. (Muestra 002)*

Presenta también minerales máficos como epidota, hornblenda y minerales metálicos como la hematita, también observamos presencia de calcita.



*Fotografía 57: Vista en Nicoles cruzados (A) mostrando clastos de piroxenos. (B) mostrando minerales de calcita. (Muestra 002).*

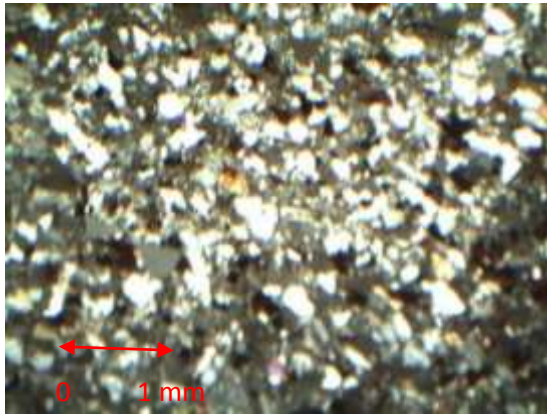
#### **4.1.5. FORMACIÓN KAYRA.**

La muestra de mano de la formación Kayra presenta una textura clástica de granos medios, de color gris claro.



*Fotografía 58: Muestras de mano de la formación Kayra.*

Microscópicamente se observa que los granos varían de 0.1 a 0.3 mm. Es decir son de grano medio a fino, presenta clastos sub redondeados y sub angulosos, mineralógicamente presenta feldespatos 35%, cuarzo 35% fragmentos de roca. 5% y minerales máficos 10% y hematita 15% , clasificándola como arenisca arcosa.



*Fotografía 59: Vista al microscopio en Nícoles cruzados de la arenisca arcosa. (Muestra Ky-001)*

#### **4.1.6. DEPÓSITO DE MÁRMOL**

Las muestras macroscópicas de mármol presentan un bandeamiento debido a la presencia de óxidos así como pirolusita.

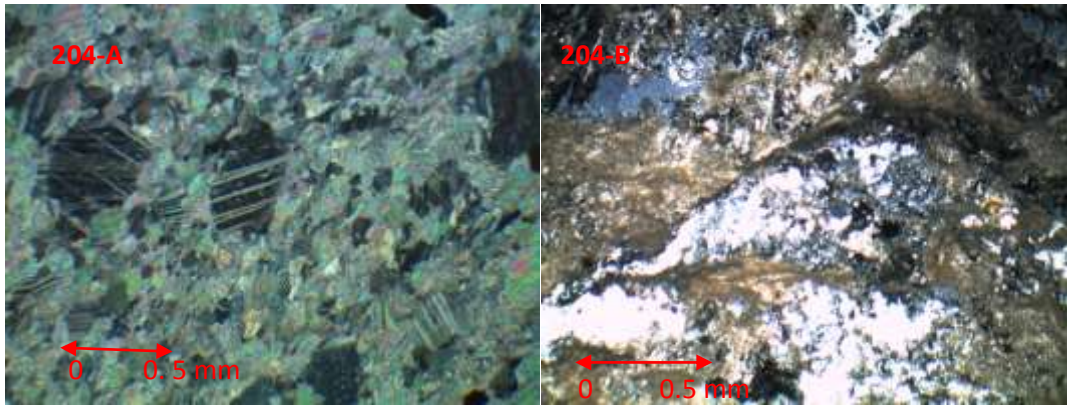


*Fotografía 60: Muestras de mano del mármol (A) Bandeado (B) con pirolusita.*

Microscópicamente la muestra (204-A), presenta cristales granoblásticos de calcita maclados de 0.1 mm de diámetro aproximado y algunos cristales de hematita.

En la muestra (204 –B), presenta granoblastos de calcita más finos y se observa un microbrechamiento y en esas fracturas fueron rellenadas de pirolusita las cuales presentan alteración (oxidación) y manchando los minerales de calcita.





*Fotografía 61: Vista en Nícoles Cruzados de las muestras de mármol. (Muestra 204-A y 204-B).*

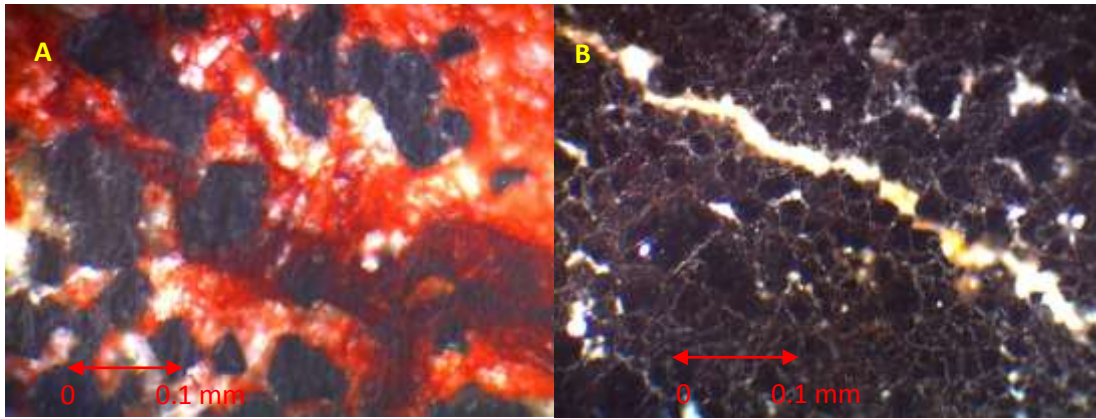
#### **4.1.7. DEPÓSITO DE MAGNETITA**

La muestra de mano de la magnetita es de color gris oscuro con algunas tonalidades de color naranja debido a que presenta una alteración a limonita y venillas de calcita.



*Fotografía 62: Muestra de mano de magnetita con fracturas con relleno de óxidos de hierro.*

Microscópicamente presenta cristales euedrales de hematita de color negro y venillas de calcita de color blanco, también se observa microfracturas rellenas por calcita (A). Estos minerales de calcita fueron teñidos a color rojo por la oxidación (B).



*Fotografía 63: Vista al microscopio de la muestra de magnetita en sección pulida en Nicoles Cruzados. (Muestra 205)*

#### **4.1.8. CUERPO INTRUSIVO.**

Las muestras de mano del intrusivo presentan coloraciones de color gris a gris-verdosa, de grano fino a grano grueso muestras (201, 202 y 206).

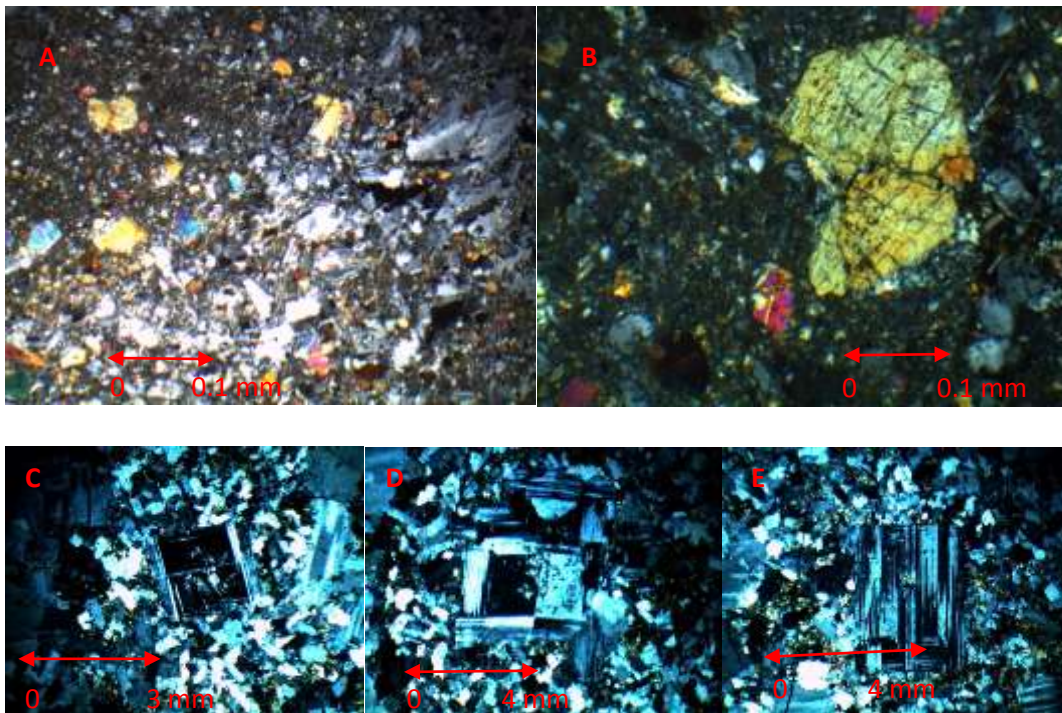


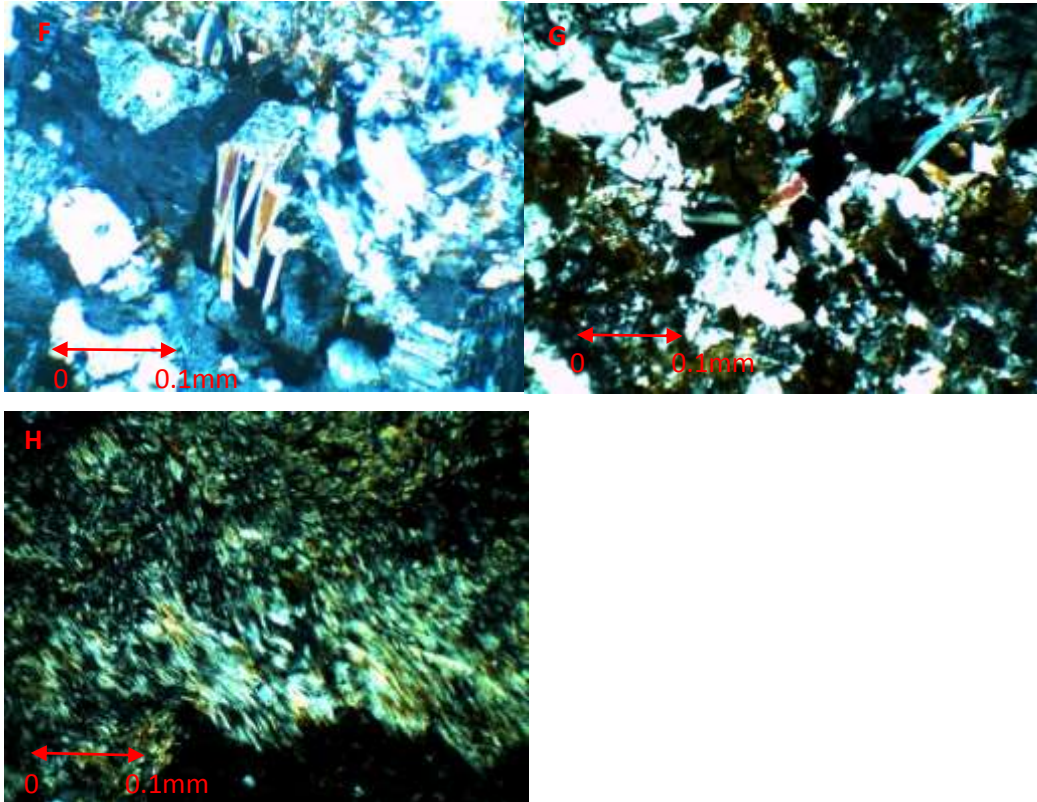
*Fotografía 64: Muestras de mano de rocas del cuerpo intrusivo.*

Microscópicamente la muestra 201 (A y B) tiene una composición mineralógica de plagioclasa en un 55%, piroxenos y hornblendas 40% y cuarzo en un 05%. En la clasificación de Streckeisen corresponde a una roca diorita. La plagioclasa se encuentra principalmente en la matriz y algunos como fenocristales, al igual que los piroxenos (diópsido) se encuentran como fenocristales y en la matriz; las hornblendas principalmente se encuentran en la matriz.

La muestra 202 (C,D,E y F) está compuesta mineralógicamente de Cuarzo 20%, plagioclasas en 45% y feldespato en 15% hematita en un 5%, máficos 15%, lo que correspondería a una roca granodiorita. También podemos observar algunos fenocristales de plagioclasas con maclas en ajedrez, polisintéticas y una matriz de plagioclasa y de cuarzo, minerales de óxido de hierro y alguna alteración a clorita.













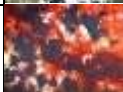




En la muestra 206 (G y H) presenta una composición mineralógica de cuarzo 5%, plagioclasa 30%, feldespato 20%, hornblenda 10%, piroxeno 10%, biotita 3%, Clorita 5%, esfena 2% y hematita 15%. Por lo que corresponde a una roca cuarzo-monzonita. Se observa una fuerte alteración a clorita y minerales de óxidos de hierro.





*Fotografía 65: Muestras del intrusivo Muestra 201 (A, B); Muestra 202 (C, D, E, F); Muestra 206 (G, H). Vista en secciones delgadas en nicoles cruzados*

*Tabla 02. Tabla de resumen de muestras de rocas descritas bajo el microscopio petrográfico.*

Unidad estratigráfica	Código		observaciones
Grupo Copacabana	0016		Calcita micrítica
Formación Cay cay	006		Arenisca sub arcosa.
	007-A		Basalto espilitico con textura entrecruzada
	010		Basalto mostrando estructura de microbrecha,
	012		Basalto mostrando textura vesicular y amigdaloida.
	013		Basalto mostrando estructura tren de amígdalas.
Formación Puquín	001		Arenisca feldespática de grano fino.
	003		Arenisca feldespática con clastos de calcita y óxidos.
	004		Arenisca feldespática con porosidades y clastos de minerales máficos.
Formación Quilque	002		Arenisca feldespática con presencia de clastos máficos.
Formación Kayra	Ky-01		Arenisca feldespática
Depósitos de mármol	204-A		Mármol policristalino
	204-B		Mármol con pirolusita
Depósito de magnetita	205		Magnetita
Cuerpo intrusivo	201		Diorita
	202		Granodiorita
	206		Cuarzo – monzonita

## **4.2 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA**

### **4.2.1. ANÁLISIS QUÍMICO**

#### **A) ANÁLISIS QUÍMICO POR EL MÉTODO PLASMA ACOPLADO POR INDUCCIÓN (ICP)**

Las rocas muestreadas de la formación Cay cay (Muestra 007 y 008) y del intrusivo (Muestra 208) fueron enviadas al Instituto Geológico Minero Metalúrgico INGEMMET en la ciudad de Lima para realizar el análisis geoquímico por roca total y contenido de elementos. A partir de los datos obtenidos se realizaron el ploteo de los datos en los diagramas composicionales y su interpretación, y el de determinar el ambiente tectónico en el que se formaron estas intrusiones mediante el diagrama Zr/Ti.

Para tal fin presentamos la siguiente tabla de resultados de los análisis químicos:

Tabla 03: Tabla de resultados de análisis geoquímico de elementos y roca total de las muestras 208 (Roca Intrusiva); 006 y 007 (Roca volcánica de la formación Cay cay).

ELEMENTOS												
Nº	CÓDIGO	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %
C1	008	<0.5	8.61	42	703	<10	1.62	<1	46	28	<2	8.00
C2	007	<0.5	7.47	10	51	<10	1.78	<1	5	34	<2	2.52
C3	208	<0.5	5.49	13	139	<10	1.87	<1	16	12	<2	8.62
L.D.M.:		0.5	0.01	5	5	10	0.01	1	1	1	2	0.01

Nº	CÓDIGO	K %	La ppm	Li ppm	Mg %	Mn %	Mo ppm	Na %	Ni ppm	P %	Pb ppm	Sb ppm
C1	008	1.90	19	157	2.79	0.18	7	3.85	16	0.15	<5	<2
C2	007	0.69	12	11	0.39	0.02	5	5.37	9	0.06	<5	<2
C3	208	3.26	18	10	1.88	0.09	5	2.70	13	0.02	<5	<2
L.D.M.:		0.01	2	2	0.01	0.01	2	0.01	5	0.01	5	2

Nº	CÓDIGO	Sc ppm	Si %	Rb ppm	Sr ppm	Ti %	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
C1	008	28	24.03	30	251	0.67	205	<5	28	298	158
C2	007	5	31.96	23	22	0.23	53	<5	22	10	274
C3	208	6	28.80	90	20	0.09	25	<5	13	162	190
L.D.M.:		5.00	0.01	2	2	0.01	10	5	5	1	5

ROCA TOTAL												
Nº	CÓDIGO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O %	MgO %	MnO %	Na <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	LOI* %
C1	008	16.27	2.26	11.44	2.29	4.63	0.23	5.19	0.35	51.41	1.12	<b>3.1</b>
C2	007	14.11	2.49	3.60	0.84	0.65	0.02	7.23	0.14	68.37	0.38	<b>2.3</b>
C3	208	10.37	2.62	12.33	3.92	3.11	0.12	3.64	0.04	61.62	0.15	<b>0.8</b>
L.D.M.:		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01

Nº	CÓDIGO	Ba ppm	Co ppm	Cr ppm	Ni ppm	Sr ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
C1	008	703	46	28	16	251	28	298	158
C2	007	51	5	34	9	22	22	10	274
C3	208	139	16	12	13	20	13	162	190
L.D.M.:		5	1	1	5	10	5	1	5

En la tabla 03 tenemos los resultados obtenidos de análisis geoquímico realizado por el método de Plasma Acoplado por Inducción (ICP). Nos muestran los elementos mayores (> 1%), menores (0.1 – 1%) y elementos traza (ppm).

Los resultados de los elementos químicos muestran los elementos mayores como el silicio, aluminio y hierro con valores altos en porcentaje; los demás elementos presentan valores más bajos.

Los resultados de los elementos de Roca Total, el SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son los tres compuestos con mayor porcentaje habiendo una relación con la anterior tabla.

*Tabla 04: Tabla de análisis geoquímico de los cuerpos intrusivos del Cuadrángulo de Cusco*

**Cuerpos: Accha, Araipalpa, Paltapata, Quiquijana**

Roca (wt%)	Ac13	Pa1	Ac1	Ac2	28-1
SiO <sub>2</sub>	60.21	60.85	58.03	50.21	63.16
TiO <sub>2</sub>	0.6	0.83	0.69	1.04	0.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.78	17.85	18.32	17.36	15.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.55	5.53	6.8	9.51	6.22
MnO	0.06	0.07	0.22	0.15	0.08
MgO	1.87	0.75	1.77	4.26	0.9
CaO	5.27	2.97	6.49	10.08	1.9
Na <sub>2</sub> O	4.3	7.2	4.12	3.62	5.27
K <sub>2</sub> O	4.04	3	2.62	1.79	4.49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.39	0.24	0.46	0.6	0.27
LOI	1.1	0.91	0.72	1	0.7
<b>Total</b>	<b>99.17</b>	<b>100.04</b>	<b>100.24</b>	<b>99.62</b>	<b>98.94</b>

Co (ppm)	<5	7	12	14	1
Cr	10	3.57	5	29	2
Ni	7	2.97	<5	20	2
V	103	39	94	213	11
Sc	10	-	10	23	15
Zr	177	112	190	127	342
Nb	11	5.76	11	9	26
Ta	-	-	-	-	1.91
U	-	-	-	-	3.3
Th	7	4.03	<5	<5	13
Cs	-	0.17	-	-	0.8
Ba	1217	1374	1186	825	589
Sr	868	396	1055	1008	148
Pb	-	6.87	-	-	3
Rb	62	37	72	51	160
La	19.05	25.94	26.98	24.25	58.36
Ce	31.42	65.59	55.39	48.65	125.6
Pr	-	7.68	-	-	14.04
Nd	20.76	32.62	26.72	25.38	52.94
Sm	5.72	6.97	5.86	5.75	11.32
Eu	1.71	2.89	1.72	1.73	2.83
Gd	6.21	5.85	5.25	5.17	9.28
Tb	-	0.93	-	-	1.53
Dy	7.25	5.55	4.46	4.33	9.43
Ho	-	1.24	-	-	1.89
Er	5.15	2.99	2.49	2.3	5.33
Tm	-	0.48	-	-	0.76
Yb	6.44	3.19	2.65	2.27	5.32
Lu	1.26	0.5	0.47	0.39	0.96
Y	52	32	27	25	60

Fuente: Boletín del Cuadrángulo Geológico del Cusco (Carlotto 2011)

En esta tabla encontramos los resultados de análisis geoquímico de algunos cuerpos intrusivos de la región de Cusco, entre ellos el intrusivo de Quiquijana que tiene el código 28-1 Columna de la derecha.



Tabla 05. Composición de elementos mayores y traza de la corteza continental.

	<i>Lower</i>	<i>Middle</i>	<i>Upper<sup>a</sup></i>	<i>Total</i>
<i>Major Elements</i>				
SiO <sub>2</sub> , wt. %	52.3	60.6	66.0	59.1
TiO <sub>2</sub> , wt. %	0.8	0.7	0.5	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , wt. %	16.6	15.5	15.2	15.8
FeO <sub>T</sub> , wt. %	8.4	6.4	4.5	6.6
MnO, wt. %	0.1	0.10	0.08	0.11
MgO, wt. %	7.1	3.4	2.2	4.4
CaO, wt. %	9.4	5.1	4.2	6.4
Na <sub>2</sub> O, wt. %	2.6	3.2	3.9	3.2
K <sub>2</sub> O, wt. %	0.6	2.01	3.40	1.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , wt. %	0.1	0.1	0.4	0.2
Mg #, mol	60	48	47	54
<i>Trace Elements</i>				
Li, ppm	6	7	20	11
Sc, ppm	31	22	11	22
V, ppm	196	118	60	131
Cr, ppm	215	83	35	119
Co, ppm	38	25	10	25
Ni, ppm	88	33	20	51
Cu, ppm	26	20	25	24
Zn, ppm	78	70	71	73
Ga, ppm	13	17	17	16
Rb, ppm	11	62	112	58
Sr, ppm	348	281	350	325
Y, ppm	16	22	22	20
Zr, ppm	68	125	190	123
Nb, ppm	5	8	25	12
Cs, ppm	0.3	2.4	5.6	2.6
Ba, ppm	259	402	550	390
La, ppm	8	17	30	18
Ce, ppm	20	45	64	42
Pr, ppm	2.6	5.8	7.1	5.0
Nd, ppm	11	24	26	20
Sm, ppm	2.8	4.4	4.5	3.9
Eu, ppm	1.1	1.5	0.9	1.2
Gd, ppm	3.1	4.0	3.8	3.6
Tb, ppm	0.48	0.58	0.64	0.56
Dy, ppm	3.1	3.8	3.5	3.5
Ho, ppm	0.68	0.82	0.80	0.76
Er, ppm	1.9	2.3	2.3	2.2
Yb, ppm	1.5	2.3	2.2	2.0
Lu, ppm	0.25	0.41	0.32	0.33
Hf, ppm	1.9	4.0	5.8	3.7
Ta, ppm	0.6	0.6	2.2	1.1
Pb, ppm	4.2	15.3	20	12.6
Th, ppm	1.2	6.1	10.7	5.6
U, ppm	0.2	1.6	2.8	1.42

Fuente: Taylor y Mc Lennan (1985)

Tabla en el que se muestran los valores promedio de la composición de elementos mayores y elementos traza de la corteza continental.

*Tabla N° 06. Tabla comparativa entre los valores promedio de elementos traza de la corteza con los valores obtenidos en Quiquijana*

Elemento		Bajo	Medio	Superior	Total	Quiquijana	Litología
V	ppm	196	118	60	131	3120	Arenisca cuarzosa
Ni	ppm	88	33	20	51	41	Mármol
Cu	ppm	26	20	25	24	107	Caliza
Zn	ppm	78	70	71	73	2525	Mármol
Rb	ppm	11	62	112	58	285	Magnetita
Sr	ppm	384	281	350	325	1020	Caliza
Y	ppm	16	22	22	20	37	Traquibasalto
Zr	ppm	68	125	190	123	353	Traquibasalto
Nb	ppm	5	8	25	12	49	Monzonita
Pb	ppm	4.2	15.3	20	12.6	365	Magnetita
Th	ppm	1.2	6.1	10.7	5.6	32	Mármol
U	ppm	0.2	1.6	2.8	1.42	49	Magnetita
P	ppm					3750	Monzonita
Mn	ppm					3450	Mármol
S	ppm					9730	Arenisca cuarzosa
As	ppm					105	Mármol
Cu	ppm					107	Caliza
Cr	ppm					67	Arenisca Pq
Hg	ppm					17	Mármol
Mo	ppm					9	Mármol
Bi	ppm					454	Magnetita

En esta tabla comparativa de los elementos traza promedio que hay en la corteza continental y los elementos traza que hay en Quiquijana, nos muestra que tenemos elementos traza en promedio mayor a la de la corteza continental, siendo muy interesante como indicador de una posible zona de anomalía geoquímica.

El V, Zn, Sr, Zr, S y el Mg presentan elementos traza con valores muy altos en comparación con el cuadro de promedio de elementos de la corteza continental.

## **B) ANÁLISIS QUÍMICO POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

También se realizaron pruebas de análisis químico para las demás muestras en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Nacional San

Antonio Abad del Cusco, con un equipo de Fluorescencia de Rayos X portátil (FRX) de marca Olympus serie Vanta habiéndose determinado la presencia de elementos mayores y traza como se muestra en los cuadros.

Tabla 07: Tabla geoquímica de las muestras recolectadas en el cerro Curi de Quiquijana.

MUESTRA																
	Gd	Traqba	Traqba	Gd	Ar	Gd	Gd	MI	MI	Caliza	Ar	Mag	Are	Are	Are	Are
ELE	201	O13	O07-A	202	OO3	206	210	204-B	204-A	O16	OO2	205	OO1	OO4	O10	OO6
LE	49.03%	49.35%	50.73%	52.53%	50.79%	49.94%	51.57%	51.19%	58.30%	58.81%	54.72%	16.56%	54.61%	52.57%	50.01%	51.27%
Si	26.07%	33.07%	26.81%	31.47%	29.66%	27.57%	37.30%	16.44%	4230	2.67%	30.78%	10.46%	29.17%	25.53%	33.68%	36.45%
Al	7.45%	8.96%	10.04%	8.82%	9.49%	6.24%	1.70%	4.87%	1050	4710	6.28%	3.45%	5.54%	6.25%	7.81%	6940
Ca	7.43%		2.91%	3.41%	1.51%	8.01%	6.82%	21.92%	40.43%	37.43%	5.91%	5910	6.85%	9.37%		6.56%
Fe	5.22%	1.10%	6.54%	1.80%	3.89%	4.47%	1.48%	3.41%	406	967	1.47%	59.78%	2.25%	2.80%	1.09%	1.93%
Mg	2.92%		1.48%	1.48%	3.09%	3.17%		1.09%	5100		4300	7.00%	8400	1.35%		
Ti	1.17%	3920	9260	1670	5310	1460	1200	2830	620	870	1730		3490	2980	3000	1.56%
P	3750	400	1800		1330	200		660	150	190	410	399	400	630	291	
Mn	1410	45	1190	2300	526	2950	610	3450	222	811	414	470	475	813	124	1740
S	562	714	699	564	675	580	442	615	214	243	585	1191	509	8950	834	9730
Sr	540	27	361	68	631	32	51	282	538	1020	878		294	951	26	534
Zr	319	353	134	155	197	173	82	245	13	42	85		130	193	306	196
Zn	297	9	145	76	115	473	6	2525	51	8	42	149	48	54	22	12
V	108	53	103	35	97		48	64	43	70	57		61	69	77	3120
Nb	49	31	13	22	12	15	6	24			4		8	6	22	6
As	47	11	14	4	9	9	6	105		5	5		5	12	10	10
Y	30	37	25	34	18	27	10	17		10	7		11	19	36	11
Th	22	11		15	23			32			14			14	15	18
Cu	21	11		9	15	23		39	12	107	16		16	29	16	13
U	9	10					6	20				49			8	
Rb	5	164	56		38	3	36	6	10	8	4	285	28	39	162	
K		6.94%	1140	6620		8730				1837		1.82%	1890	6600	6.92%	
Ni		17			29	24		41						22		
Pb			15	12	13		6	27	46	7	13	365	8	18	12	6
Cr					57								67			
Hg						8		17						8		
Mo								9								
Bi												454				

En la tabla se muestra los resultados de geoquímica obtenido con el equipo portátil de fluorescencia de rayos equis de las rocas que se han muestreado en el cerro Curi. Gd=Granodiorita; Traqba=Traquibasalto; Ar=Arenisca; MI=Marmol; Mag=Magnetita y Caliza.

Tabla 08: Geoquímica de elementos mayores de las muestras del cerro Curi de Quiquijana

Los elementos raros (LE) se concentran en el mármol y caliza con los valores más altos, la sílice en las areniscas, el óxido de aluminio presenta el valor más alto en el traquibasalto y arenisca; el óxido de calcio en el mármol y la caliza, el óxido de hierro en

ELE	201	O13	O07-A	202	OO3	206	210	204-B	204-A	O16	OO2	205	OO1	OO4	O10	OO6
	Gd	Traqba	Traqba	Gd	Ar	Gd	Gd	MI	MI	Caliza	Ar	Mag	Are	Are	Traqba	Are
LE	49.03%	49.35%	50.73%	52.53%	50.79%	49.94%	51.57%	51.19%	58.30%	58.81%	54.72%	16.56%	54.61%	52.57%	50.01%	51.27%
SiO <sub>2</sub>	26.07%	33.07%	26.81%	31.47%	29.66%	27.57%	37.30%	16.44%		2.67%	30.78%	10.46%	29.17%	25.53%	33.68%	36.45%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.45%	8.96%	10.04%	8.82%	9.49%	6.24%	1.70%	4.87%			6.28%	3.45%	5.54%	6.25%	7.81%	
CaO	7.43%		2.91%	3.41%	1.51%	8.01%	6.82%	21.92%	40.43%	37.43%	5.91%		6.85%	9.37%		6.56%
FeO	5.22%	1.10%	6.54%	1.80%	3.89%	4.47%	1.48%	3.41%			1.47%	59.78%	2.25%	2.80%	1.09%	1.93%
MgO	2.92%		1.48%	1.48%	3.09%	3.17%		1.09%				7.00%		1.35%		
TiO <sub>2</sub>	1.17%															1.56%
K <sub>2</sub> O		6.94%										1.82%				6.92%

la magnetita, el óxido de titanio en la arenisca cuarzosa y la diorita, el óxido de potasio en el traquibasalto.

Tabla 09: Geoquímica de elementos traza de las muestras del cerro Curi de Quiquijana

ELE	201	O13	O07-A	202	OO3	206	210	204-B	204-A	O16	OO2	205	OO1	OO4	O10	OO6
	Gd	Traqba	Traqba	Gd	Ar	Gd	Gd	MI	MI	Caliza	Ar	Mag	Are	Are	Traqba	Are
Si									4230							
Al									1050	4710						6940
Ca												5910				
Fe									406	967						
Mg									5100		4300		8400			
Ti		3920	9260	1670	5310	1460	1200	2830	620	870	1730		3490	2980	3000	
P	3750	400	1800		1330	200		660	150	190	410	399	400	630	291	
Mn	1410	45	1190	2300	526	2950	610	3450	222	811	414	470	475	813	124	1740
S	562	714	699	564	675	580	442	615	214	243	585	1191	509	8950	834	9730
Sr	540	27	361	68	631	32	51	282	538	1020	878		294	951	26	534
Zr	319	353	134	155	197	173	82	245	13	42	85		130	193	306	196
Zn	297	9	145	76	115	473	6	2525	51	8	42	149	48	54	22	12
V	108	53	103	35	97		48	64	43	70	57		61	69	77	3120
Nb	49	31	13	22	12	15	6	24			4		8	6	22	6
As	47	11	14	4	9	9	6	105		5	5		5	12	10	10

Y	30	37	25	34	18	27	10	17		10	7		11	19	36	11
Th	22	11		15	23			32			14			14	15	18
Cu	21	11		9	15	23		39	12	107	16		16	29	16	13
U	9	10					6	20				49			8	
Rb	5	164	56		38	3	36	6	10	8	4	285	28	39	162	
K			1140	6620		8730				1837			1890	6600		
Ni		17			29	24		41						22		
Pb			15	12	13		6	27	46	7	13	365	8	18	12	6
Cr					57								67			
Hg						8		17						8		
Mo								9								
Bi												454				

Los elementos traza que presentan las diferentes muestras que se han recolectado tienen valores altos en comparación con los valores promedio mostrados en la tabla de Composición de elementos mayores y traza de la corteza continental de Taylor y McLennan (1985).

La muestra 204-B de mármol que presenta pirolusita, presenta la mayor cantidad de elementos traza manganeso (Mn), Zn, As, Th, Ni, Hg y Mo.

La muestra 205 de la magnetita, presenta Bi, Pb, Rb, U.

En las muestras de las areniscas 04, y 06 de la formación Puquín y arenisca cuarzosa en el contacto entre el Puquín y Cay cay, presentan valores altos de S.

El Vanadio(V), está mejor representado en la arenisca cuarzosa.

El Cu se presenta en mayor cantidad 107 ppm en la muestra 016 que corresponde a una caliza.

#### 4.2.2. DIAGRAMAS PARA CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE ROCAS

**A) Diagrama TAS, AFM y Zr Vs Ti: para clasificar las rocas ígneas tanto volcánicas y plutónicas en base de los álcalis y la sílice.**

Los resultados del análisis químico de las muestras volcánicas (007 y 008) y del intrusivo (208) se plotearon en los diagramas TAS y AFM y Zr Vs Ti con la finalidad de clasificarlos.

MUESTRA	DATOS			
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total Alkalis
208	61.62	3.64	3.92	7.56



Fotografía 66 Muestra 208 del intrusivo

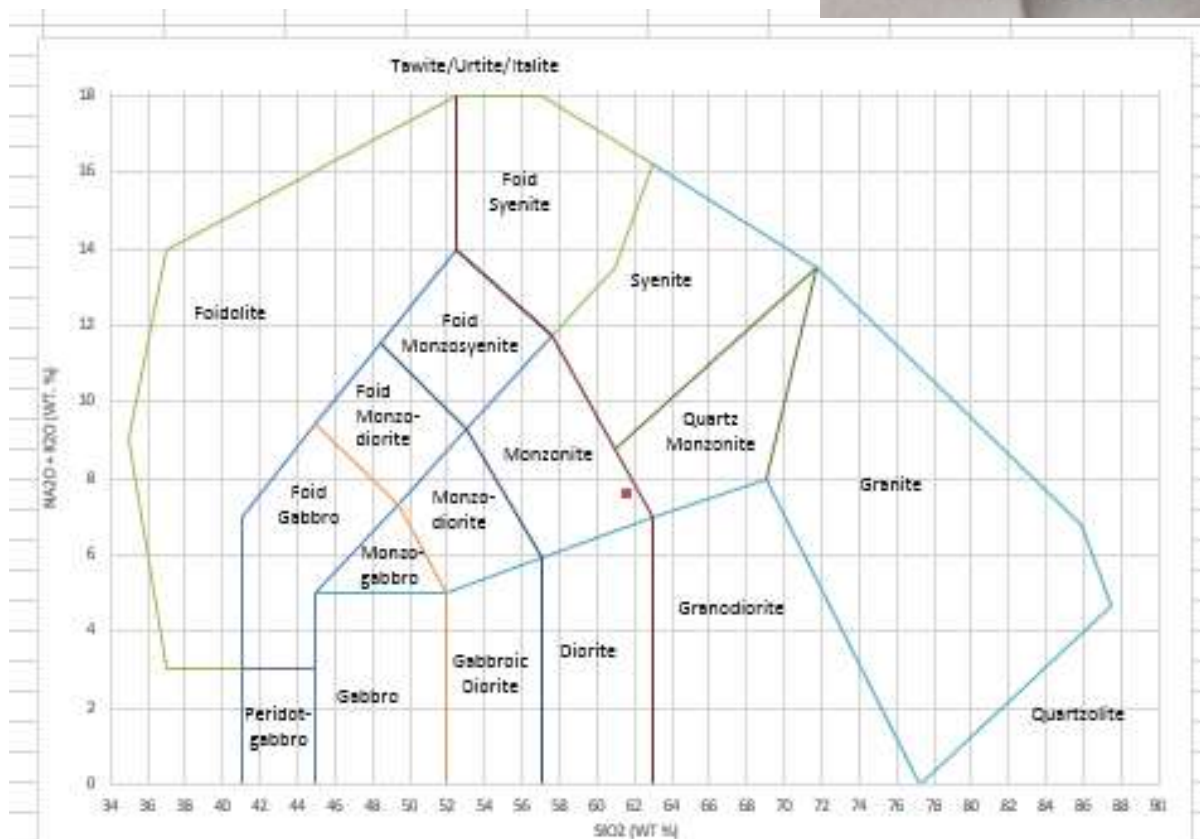


Figura 06: Diagrama TAS de Cox y Willson para roca intrusiva en la que se clasifica la muestra 208.

La relación de álcalis versus sílice de la muestra intrusiva 208, nos muestra como resultado una cuarzo monzonita, las muestras 201, 202 y 206 corresponden a rocas de intrusivo que vistas al microscopio en secciones delgadas presentan principalmente plagioclasas, feldespatos con poca presencia de cuarzo, como minerales accesorios máficos (biotitas, hornblenda y piroxenos, cloritas y óxidos).

Habiendo realizado el cálculo porcentual de la composición mineralógica en diferentes campos de las sección delgadas podríamos indicar que la clasificación tiene una variando de granodiorita a cuarzo-monzonita.

MUESTRA	DATOS			
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total Alkalis
007	68.37	7.23	0.84	8.07
008	51.41	5.19	2.29	7.48

Fotografía 67: Muestras 007 y 008 del volcánico Cay cay

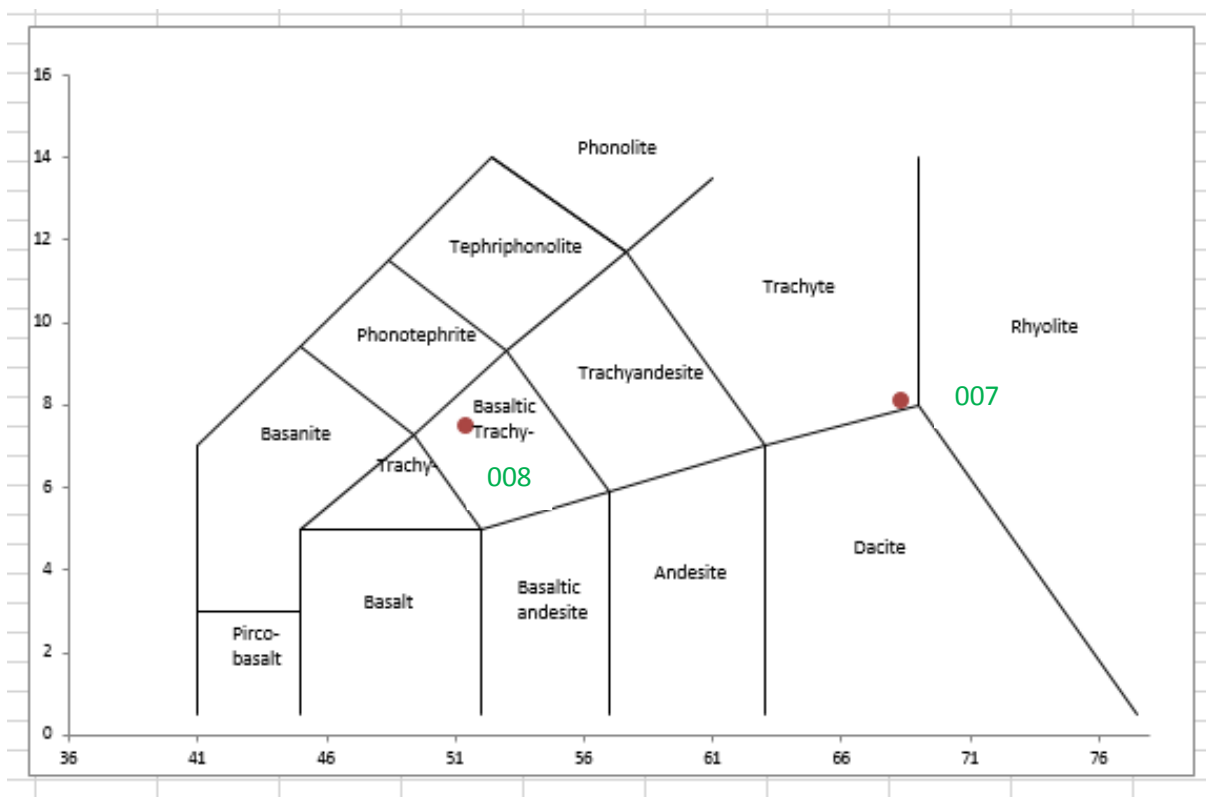


Figura 07: Diagrama TAS de Le Maitre (1989) para rocas volcánicas en la que se muestra que los resultados para las muestras 007 y 008.

Estas muestras microscópicamente presentan fenocristales de Plagioclasa sódica (Albita), en una matriz de microlitos de plagioclasa también presentan cuarzo microcristalino (sílice). La muestra 007 nos da como resultado que es un traquibasalto y la muestra 008 una traquita.

Viendo los valores de álcalis no hay mucha diferencia, en lo que sí varía es el los valores de sílice y es debido a que el cuarzo se presenta en cantidades variables en una y otra muestra por lo que el resultado de los valores de la sílice presenta esas diferentes valores.

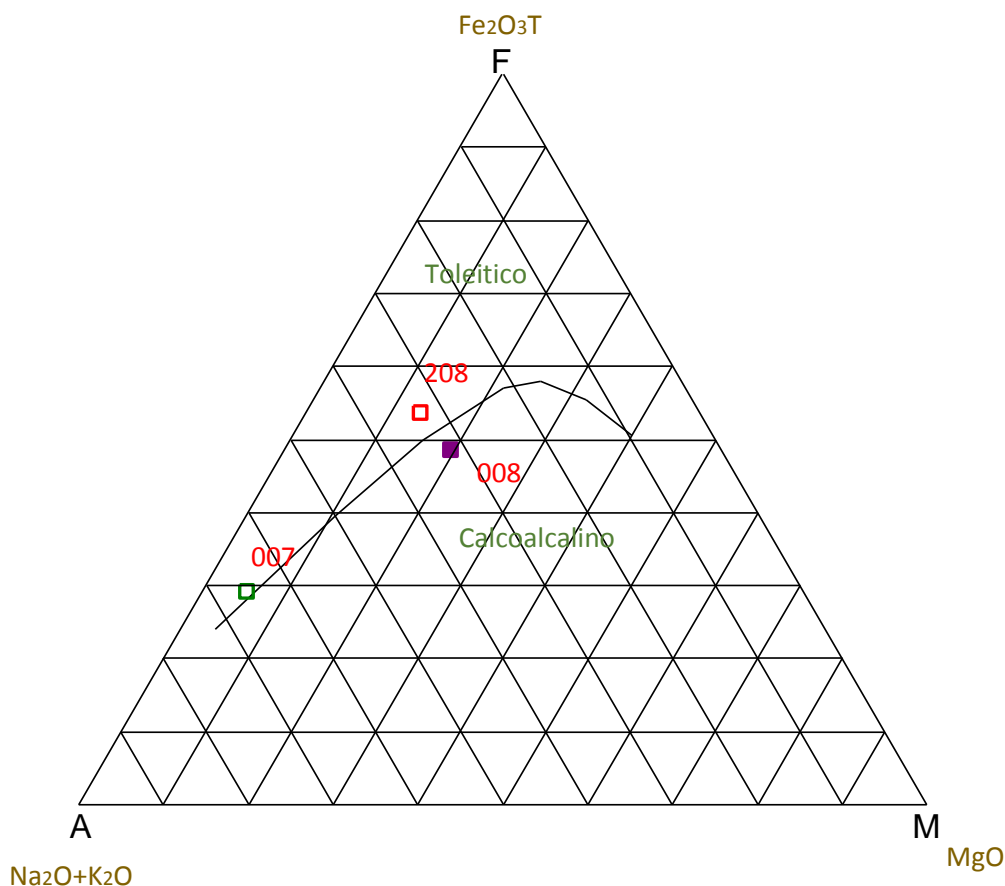


Figura 08. Diagrama AFM mostrando los tipos de magma.

Las muestras 208 (Intrusivo); 007 y 008 (volcánico Cay cay) se encuentran cerca de la línea que divide los campos de los magmas Calcoalcalino y toleítico.

Por encontrarnos en una zona de subducción donde los márgmas son calcoalcalinos, la muestra 008 estaría evidenciando el origen del magma; mientras que la muestra 208 nos indica que es toleítico lo que nos sugiere que con varias muestras podríamos determinar con mayor exactitud el origen del magma



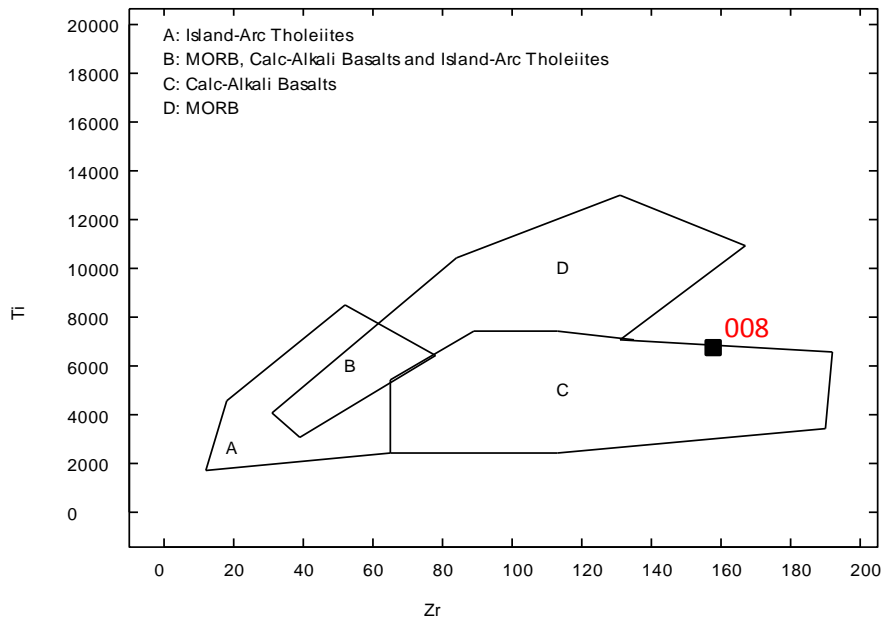
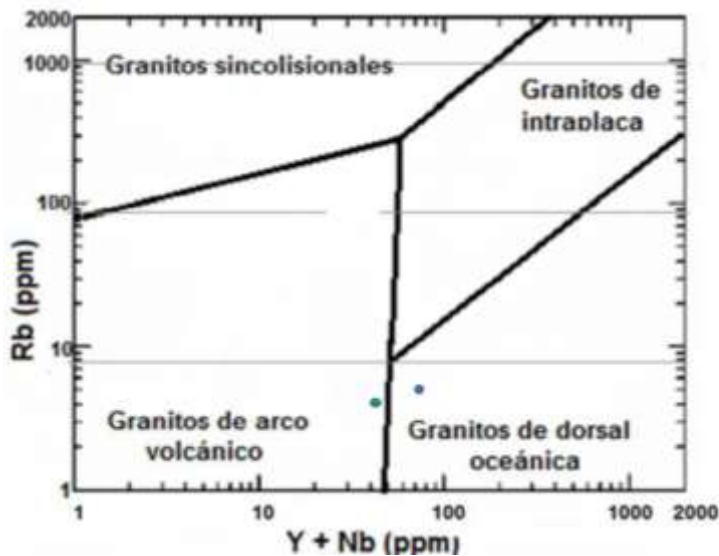


Figura 09: Diagrama Binario Zr Vs Ti en la que se determina la roca volcánica proviene de un magma basalto Calco alcalino.

**B) DIARAMA PARA DETERMINAR EL AMBIENTE TECTÓNICO.**

Para determinar el ambiente tectónico se utilizó los valores de resultados de análisis químico por el método de Difracción de rayos X de las muestras del intrusivo 201 y 206.



Muestra	Y	Nb	Rb	Y+Nb
201	30	49	5	79
206	27	15	3	42

Figura 10: Diagrama de Pearce para determinar el ambiente tectónico.

La muestra 201 es una roca de origen tectónico que proviene de granitos de dorsal oceánica y la muestra 206 proviene de granitos volcánicos. La diferencia se debe

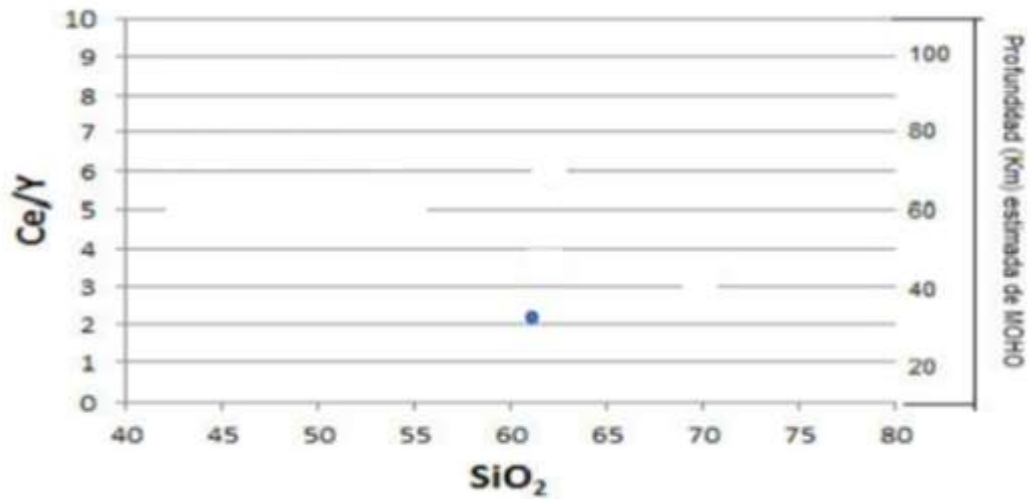
a la variación de los valores de elementos en una y otra muestra, pero ambos provienen de ambientes tectónicos relacionados a actividad volcánica.

**C) DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD**

Para determinar la profundidad se consideró los datos de la muestra 28-1 publicada en el Cuadrángulo Geológico.

Profundidad de la fuente

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Ce	Y	Ce/Y
28-1	63.16	125.6	60	2.09



*Figura 11: Diagrama para determinar la profundidad de la fuente.*

La profundidad de la fuente del intrusivo de Quiquijana es de 30 Km de profundidad.

#### D) DIAGRAMA PARA DETERMINAR LOS FLUIDOS HIDROTERMALES.

Para determinar los fluidos hidrotermales se utilizó los datos de la muestra 28-1 publicada en el Cuadrángulo Geológico.

Valores de U vs Th

Muestra	U	Th
28-1	3.3	13

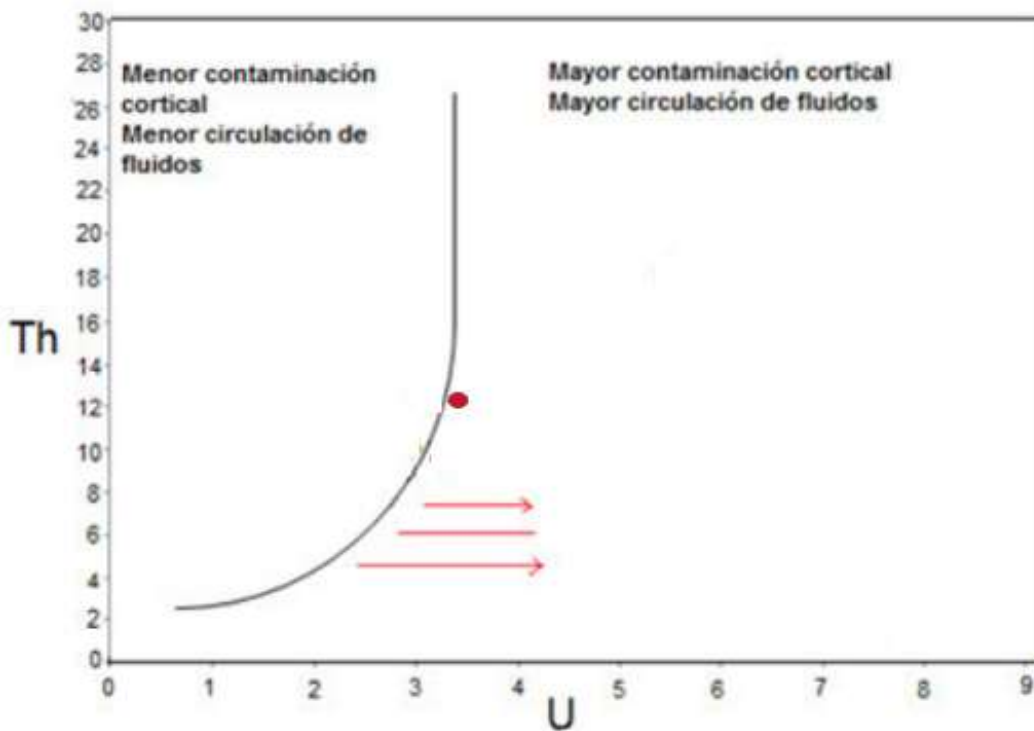
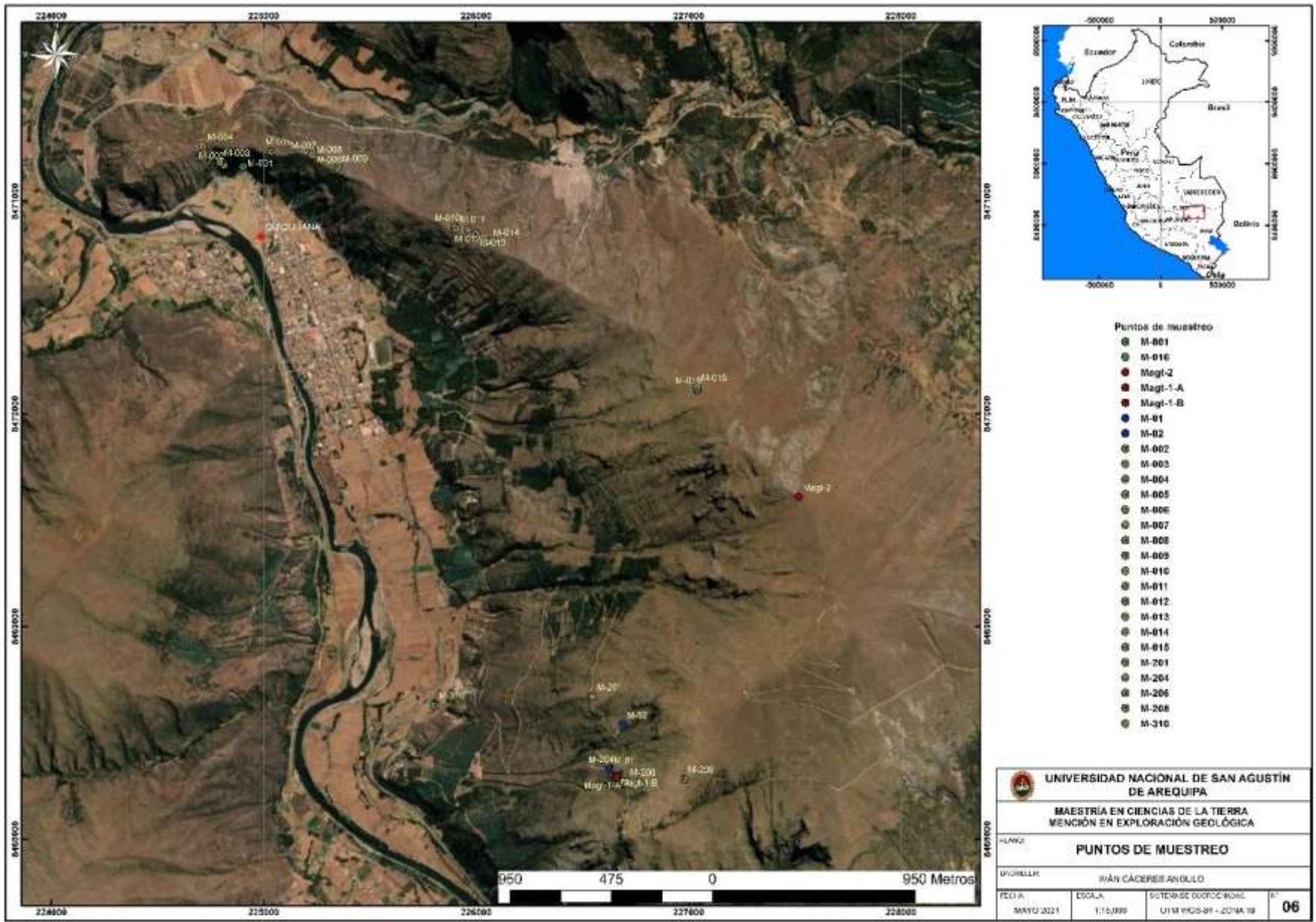


Figura 12: Diagrama de circulación de fluidos hidrotermales.

El punto está en el campo de mayor circulación cortical y mayor circulación de fluidos.

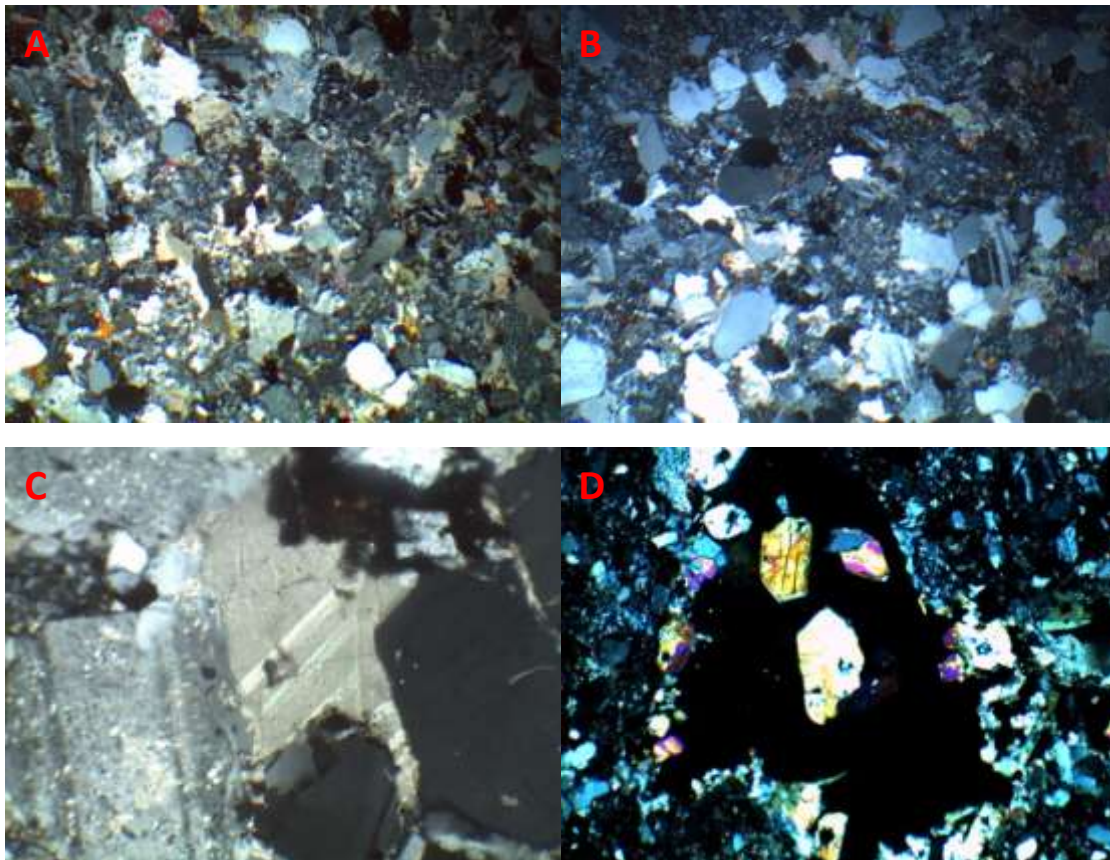


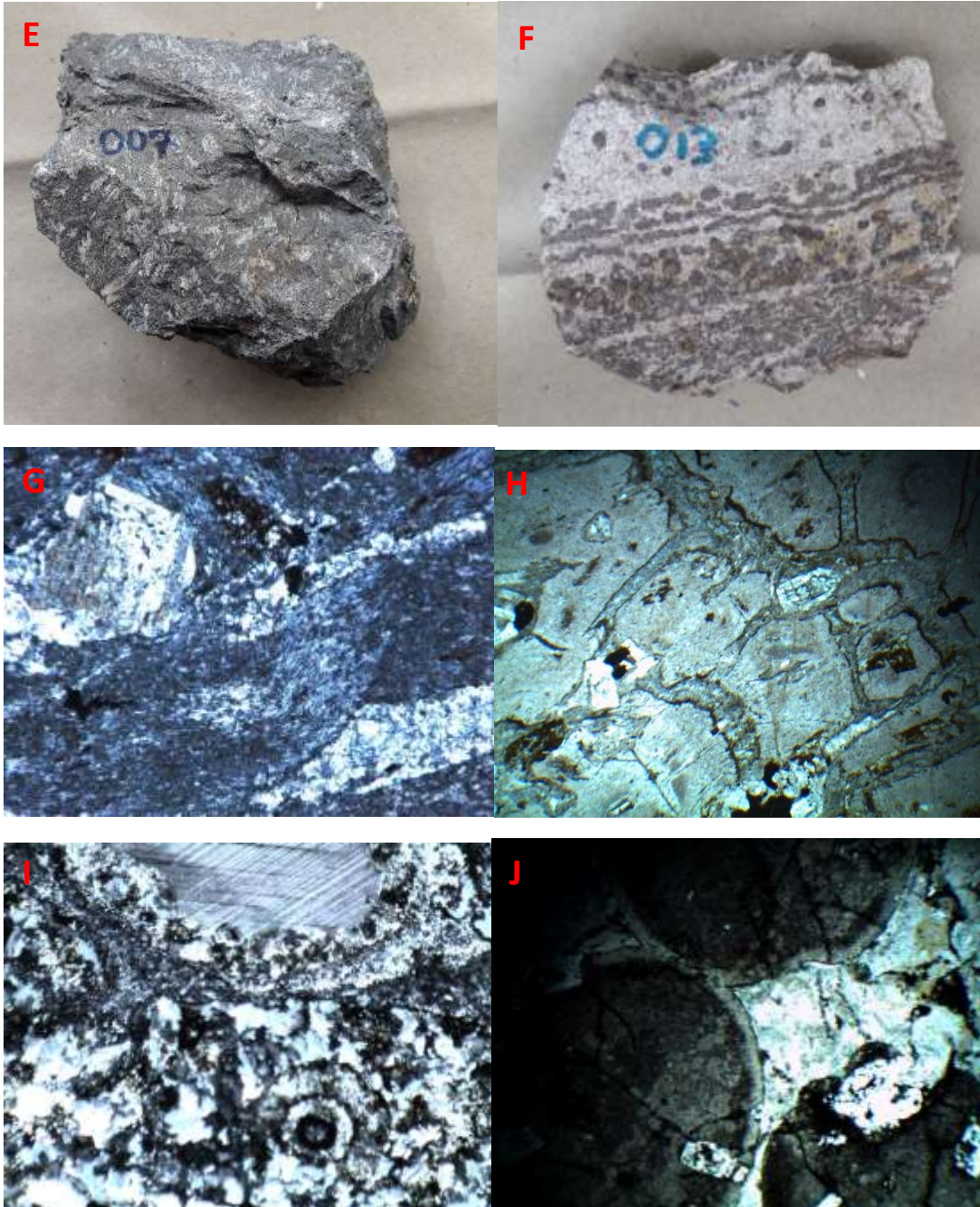
## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La investigación tuvo como objetivo determinar las características petrográficas, mineralógicas, geoquímicas y paragenéticas del skarn de Fe de Quiquijana.

En la presente investigación nuestro primer objetivo fue la de realizar la clasificación mineralógica porcentual de las muestras que afloran en el cerro Curi. Los resultados muestran para la formación Puquín, cuarzo 20%, feldespatos 45%, calcita 15%, hematita 20%; las muestras para la formación Quilque, cuarzo 30%, feldespatos 35%, máficos 20% fragmentos de roca 5%, hematita 5%; para la formación Kayra los resultados nos muestran valores para feldespatos 35%, cuarzo 35% fragmento de roca 5%, minerales máficos 10% y hematita 15%. Las rocas volcánicas de la formación Cay cay (E, F) presentan una textura pórfido afanítica con fenocristales de plagioclasa sódica Albita y matriz de plagioclasa con cuarzo microcristalino. El tamaño de los granos varían mostrando fenocristales de hasta 5 mm y otras más finas, también se evidenciaron minerales de granate. En las calizas del Grupo Copacabana las características de la roca es el color gris claro evidenciando el metamorfismo aunque no muy intenso que forme mármol, presentando texturalmente granos de calcita finos y algunos cristales gruesos y cuarzo, no se evidencia presencia de aloquímicos. La descripción microscópica de las muestras del intrusivo nos dan como resultado plagioclasa 60%, feldespato 20%, minerales máficos 15% y hematita 5% dando como resultado al plotear en un diagrama ternario como diorita. Mineralógicamente está compuesta por fenocristales de plagioclasa, piroxenos (diópsido), bastante alteración a clorita, minerales de óxido hematita y algunos minerales de granate. El mármol presenta una textura granoblástica de calcita maclada con doble sistema de clivaje y también alteraciones de mineral de manganeso (pirolusita). Los resultados reflejan que las areniscas de estas formaciones las podemos clasificar como areniscas feldespáticas. Además presentan minerales máficos como hornblenda, piroxenos (A, B y D) lo que nos indicaría que estas rocas sedimentarias provienen de rocas intrusivas y volcánicas y que por la conservación de estos minerales sugiere que el transporte de sedimentos ha tenido un recorrido corto. El tamaño de los clastos de las areniscas presentan una heterogeneidad desde valores muy finos hasta gruesos y muy gruesos, sub angulosos lo que nos indica una arenisca inmadura. La presencia de calcita (C) nos sugiere que tuvieron influencia de las calizas de la formación Copacabana y también tenemos la presencia de minerales metálicos como son la hematita, magnetita (A) cristalizados y rellenando las microfracturas y porosidades. En las rocas del volcánico Cay cay se ha evidenciado que los fluidos del intrusivo afectaron a estas

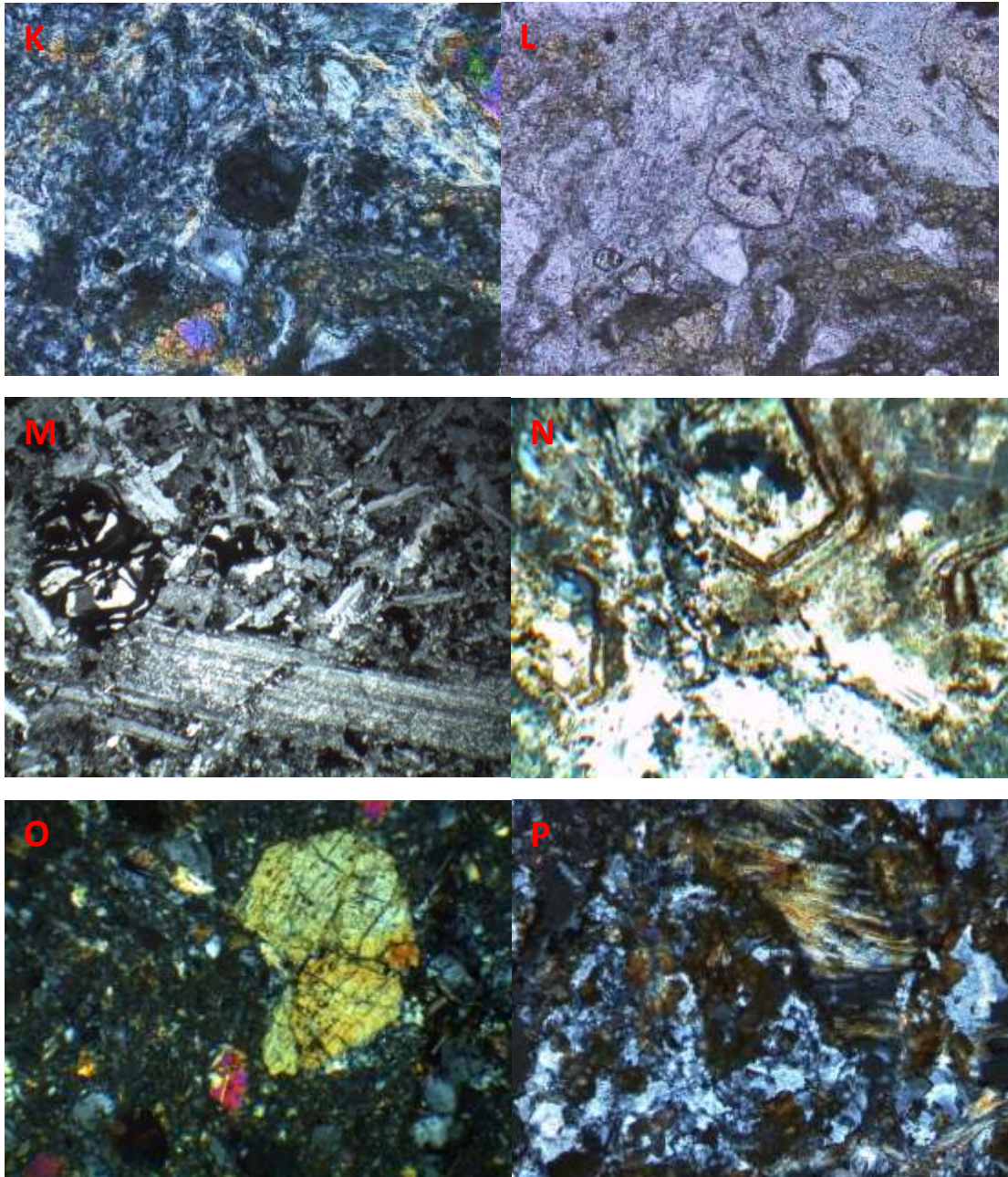
rocas produciendo en ellas estructuras de flujo (G, H) y texturas vesiculares y amigdaloides (I) o tren de amígdalas en forma de bandas (J). El granate solamente es visible al microscopio, estos granates fueron en algunos reemplazados por óxidos (M), sílice y calcita (N). Las calizas de la formación Copacabana no presentan aloquímicos y está formada principalmente de micrita, por lo tanto lo clasificamos como una caliza micrita (Folk) o mudstone (Dumhan). En la roca intrusiva diorita, podemos observar la presencia de minerales de piroxenos (diópsido), clorita y granate (K,L,O,P). Frente a los resultados podemos corroborar con la hipótesis planteada de que presentan las características de un Skarn de Fe. Analizando estos resultados podemos indicar que la formación del Skarn de Fe, afectó a las rocas evidenciándose en las areniscas por la presencia de hematita, en las calizas también encontramos mineralización de hierro en las fracturas, la presencia de pirolusita en el mármol y también la presencia de hematita en las rocas intrusivas así como también la presencia de calcita en las rocas de la formación Cay cay.





Con el objetivo fue determinar sus asociaciones minerales, los resultados nos muestran la presencia de minerales de diópsido (O), anfíbol, epidota, clorita (P), en la diorita y la presencia de granate grosularia en las rocas intrusiva y volcánica (K,L,M,N). Esto quiere decir que el intrusivo juntamente con la roca caliza generaron un depósito de Skarn de Fe. Estos resultados son corroborados con nuestra hipótesis. Que indican que las características petromineralógicas tiene las características de un Skarn de Fe. Estos resultados son respaldados

por Steinmüller (1999) que indica que las características de alteración son diópsido-edenbergita + grosularia-antracita + epidota. Anfíbol +-clorita.



Con la finalidad de realizar el análisis geoquímico para la clasificación química de las rocas intrusiva y volcánica los resultados de los valores de los óxidos de Sílice, Sodio y Potasio para la roca intrusiva (208) son: SiO<sub>2</sub> 61.62%, Na<sub>2</sub>O 3.64 y K<sub>2</sub>O 3.92, para las rocas volcánicas (007) SiO<sub>2</sub> 68.37%, Na<sub>2</sub>O 7.23 y K<sub>2</sub>O 0.84 y (008) SiO<sub>2</sub> 51.41%, Na<sub>2</sub>O 5.19 y K<sub>2</sub>O 2.29. Estos valores fueron ploteados en el diagrama TAS para rocas volcánicas y nos dan como resultado que varía de traquita a traquiandesita, esto principalmente por la variación de la sílice

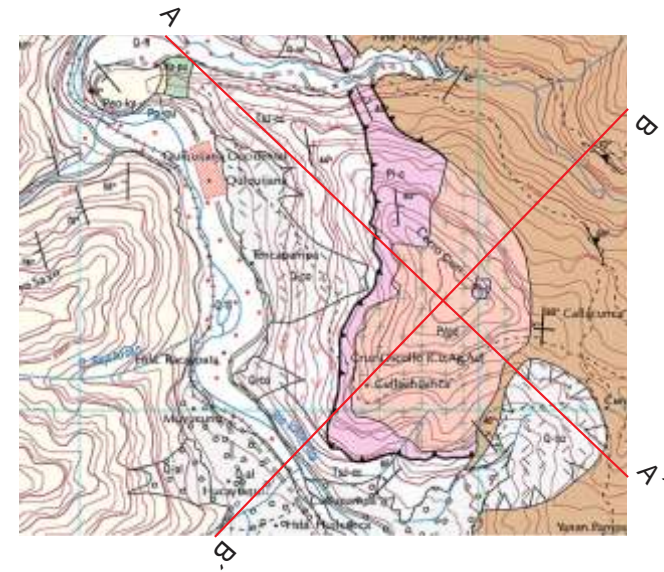
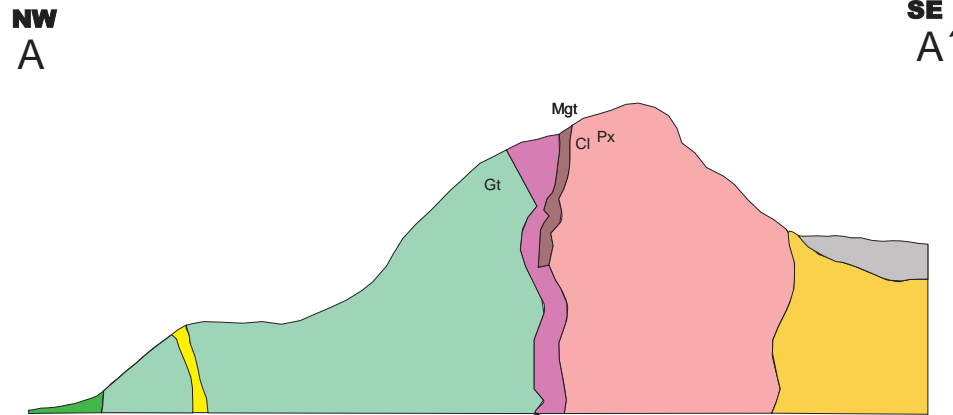


que se encuentra en mayor o menor concentración en una u otra muestra. La roca intrusiva clasificada en el diagrama TAS nos resulta una monzonita. En el diagrama AFM para determinar el origen de los magmas, nos indica que las rocas volcánicas son magmas alcalinas y en cambio el intrusivo tendría un origen más toleítico. Por el contexto geológico se puede afirmar que estos magmas son de naturaleza calcoalcalina y los puntos ploteados, a pesar de no coincidir exactamente en los campos calcoalcalino de los diagramas, indican la tendencia de lo que sería la nube de puntos de un universo mayor de muestras. sin embargo por la posición tectónica en que se encuentran estos magmas que es la zona de subducción podríamos asumir que estos magmas son mas bien de origen calco alcalino. El diagrama binario Ti Zr, también nos confirma que el magma es calco alcalino. Los resultados del análisis químico realizado con la fluorescencia de rayos x portátil FRX nos muestran valores de elementos mayores y elementos traza pudiendo evidenciar que la muestra de mármol y magnetita son las que contienen gran número de elementos traza que comparando con el cuadro de valores promedios de elementos traza de la corteza, los valores que presenta en Quiquijana muestran valores altos como indicador de anomalía por la alta concentración. Carlotto et al (2011) clasifica el cuerpo intrusivo como granodiorita, sin embargo los resultados que obtuvimos tanto en la descripción de sección delgada (diorita) y en el diagrama TAS (Monzonita). Esto es posible porque un cuerpo intrusivo no tiene una composición homogénea en el afloramiento.

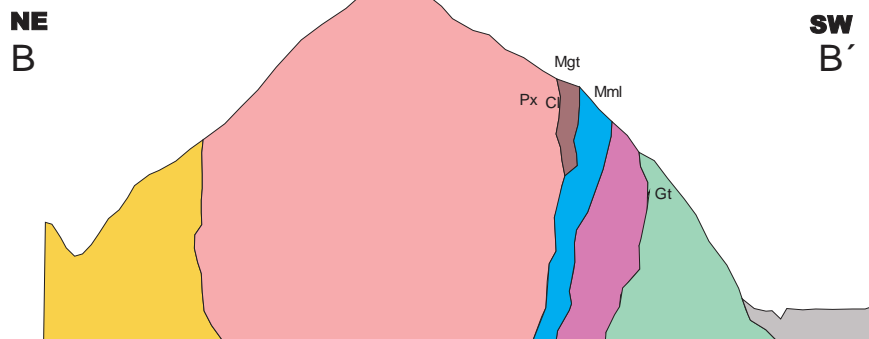
Con el objetivo proponer un modelo genético para los afloramientos de las rocas del cerro Curi, el cartografiado y muestreo de rocas nos muestra que la roca intrusiva intruye a las calizas de la formación Copacabana formando un metamorfismo de contacto, producto del cual en la zona de contacto la mineralización de magnetita a partir de la roca intrusiva y la formación de mármol a partir de la caliza, formando de esta manera el skarn que se formó en Quiquijana. En la sección A-A' con dirección NW-SE nos muestra que la zona de granate se encuentra en las rocas de la formación Cay cay proximal al contacto con la caliza del grupo Copacabana y en las roca intrusiva, la zona de piroxenos la encontramos en el intrusivo así como la zona de clorita. La presencia de mármol lo encontramos en la sección B-B' en contacto con el intrusivo y también la magnetita. El hierro formó diques de magnetita en el contacto entre la caliza y el intrusivo, de una potencia de unos 4 a 6 metros. Con todas estas características petro mineralógicas podemos respaldar nuestra hipótesis planteada de que tiene las características de un skarn de Fe. Estos resultados son respaldados por Steinmüller (1999) quien indica que la paragénesis de los skarn de Fe es la siguiente: magnetita +- calcopirita +- pirita de cobalto +- pirita pirrotita

MODELO GENÉTICO DEL SKARN DE QUIQUIJANA

CORTE ESTRUCTURAL A-A'



CORTE ESTRUCTURAL B-B'



LEYENDA	
	Formación Ananea
	Intrusivo gd
	Grupo copacabana
	Dique de magnetita
	Mármol
	Formación Cay cay
	Depósito coluvial
	Dique de cuarcita
	Formación Puquín
<b>Granito (Gt)</b>	<b>Pirreno (Px)</b>
<b>Clorita (Cl)</b>	<b>Magnetita (Mgt)</b>
<b>Mármol (Mml)</b>	

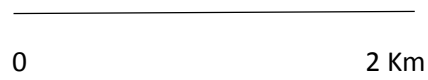


Figura 13.: Modelo genético del Skarn de Fe de Quiquijana mostrando cortes estructurales

## CONCLUSIONES.

- El skarn de Quiquijana está formada por el intrusivo de composición diorita-monzonita que intruye a rocas caliza del Grupo Copacabana, ésta formó como mineral la magnetita por consiguiente formando un skarn de Fe.
- Las unidades estratigráficas que se encuentran en el cerro Curi en orden de antigüedad son las pizarras de la formación Ananea, las calizas micríticas del Grupo Copacabana, el volcánico (traquitas –traquibasaltos) Cay cay, Areniscas feldespáticas de la formación Puquín, Quilque y Kayra respectivamente.
- Las asociaciones minerales que presenta la roca monzonita – diorita está formada por plagioclasa-feldespatos-clorita-piroxeno-óxidos de hierro; y en la formación Cay cay presenta una asociación de minerales de granate-sanidina; cuarzo-calcita-plagioclasa-óxidos de hierro.
- De los resultados del análisis geoquímico realizadas a las muestras de rocas de la formación Cay cay y del cuerpo intrusivo se realizaron la clasificación química utilizando los diagramas TAS para tanto para rocas volcánicas e intrusivas, habiendo clasificado a la roca volcánica como Traquita –traquibasalto y para la roca intrusiva como monzonita.
- El modelo genético nos muestra que el intrusivo diorita-monzonita intruyó a la caliza del grupo Copacabana formando un skarn de hierro (magnetita) y mármol, presentando las zonas de aureolas piroxeno (proximal) y clorita (distal) en el cuerpo intrusivo y granate en la formación Cay cay.

## RECOMENDACIONES

- Dentro de un trabajo de tesis como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto se recomienda que tengan interés en este tipo de estudios de caracterización de los cuerpos intrusivos ya que estos son una fuente de mineralización de importancia económica.
- Continuar con un muestreo sistemático de las rocas en el intrusivo para determinar su diferenciación magmática y poder hacer un mapa de litología del cuerpo intrusivo.
- Realizar un muestreo más detallado en la formación Cay Cay con la finalidad de determinar las sub unidades y niveles estratigráficos.
- Realizar un muestreo de las alteraciones hidrotermales y su análisis geoquímico con la finalidad de determinar posibles anomalías geoquímicas.

# BIBLIOGRAFÍA

- Bellos, A.J. Toselli, J.N. Rossi, P. Grosse<sup>2</sup> J.D. de la Rosa, A. Castro (2010) *Caracterización petrográfica y geoquímica y condiciones de deformación del plutón San Cristóbal, Sierra de Velasco, La Rioja, Argentina* L.I. ISSN: 0367-0449.
- Canchon D; Concha A; Moreno J. (2014) *Caracterización petrográfica y geoquímica del intrusivo de Guaquimay (Cundinamarca) Colombia* Vol.39. Bogotá, Colombia. pp. 23-36.
- Carlotto V. Cárdenas J. y Carlier G. (2011) *Boletín N° 138 serie A Geología del Cuadrángulo de Cusco a escala 1:50000*. INGEMMET.
- Dunham, R.J., (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. American Association of Petroleum Geologist, Memoir 1: 108-121.
- Europe (Ed. By G. Muller and G.M. Friedman) (1968) *Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe*, pp. 8 97. Springer – Verlag, Berlin.
- Flügel, E. (2004). *Microfacies of Carbonate Rocks. Análisis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag, 976 p., Berlin-Heidelberg.
- Flügel, E. (1982) *Microfacies Analysis of Limestones*, 633. Springer-Verlag, Berlin.
- Flügel, E., Franz, H. E. & Ott, W. F. (1968) *Review electron microscope studies of limestones. In: Developments in Carbonate Sedimentology in Cen.*
- Folk, R.L., (1962). *Spectral subdivision of limestones types, en Ham, W.E., (Ed.), Classification of carbonate rocks*. En: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, p. 62-84.
- Howel H, Turner F (1968) *Petrografía Introducción al Estudio de las Rocas en Secciones Delgadas* University of California, Berkeley.
- Jiménez de C., (1994): *Geoquímica de carbonatos relacionados con etapas de emersión*. Tesis de Grado de Doctor. Universidad de Granada., p. 4.
- Katherine E. (2012) *Caracterización petrográfica, geoquímica y geocronológica en rocas ígneas intrusivas de la cuenca Cauca-Patía (CCP)*, departamento del Cauca, Colombia ,Trabajo de grado de Magíster en Ciencias de la Tierra Medellín Universidad EAFIT Maestría en Ciencias de la Tierra.
- Lajoinite M.( 2014). *Gelogia y geoquímica del Skarn de San Miguel, sistema de tandilia*, Provincia de Buenos Aires Tesis de doctorado Universidad Nacional de la Plata.

- Mackenzie W. S y Guilford C. (1992). *Atlas de petrografía Minerales formadores en lámina delgada*. Barcelona. Masson.
- Mendivil S. Dávila D. (1994) *Boletín N° 52 Geología de los Cuadrángulos de Cuzco y Livitaca a escala 1:100000*. INGEMMET.
- Mendoza A, Garban G y Gutiérrez J (2009) *Estudio geoquímico y petrográfico integrado, de las areniscas pertenecientes a la Formación Cerro Pelado (Mioceno) Cuenca de Falcón, Venezuela: implicación sobre proveniencias y procesos diagénéticos*. UCV. Instituto de Ciencias de la Tierra. Caracas. Venezuela.
- Pons J, Franchini M, Impiccini A (2009) *Los skarns de Fe de Vegas Peladas: características geológicas, mineralógicas y distribución de las paragénesis minerales*.
- Rivera H; Chira J; Espejo J; (2016) *Caracterización litogeoquímica de los volcánicos de las formaciones la Bocana y San Lorenzo en departamento de Piura*.
- Rivera M (2014) *Caracterización geoquímica de los intrusivos de las superunidades de Yarabamba-Challaviento y de los volcánicos de los grupos Toquepala y Barroso y análisis correlacional con la mineralización en el sur del Perú*. TESIS Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con mención Minas y Recursos Energéticos. Lima – Perú
- Rodríguez R. (2009). *Petrología y geoquímica en el Skarn de Cu-Au de la Mina Tintaya, Cusco*” Tesis de Pre-grado.
- Rollinson, H., (1993) – Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex:Longman Scientific & Technical. 352 p. Longman Geochemistry Series.
- Rosas, S., Fontboté, L., Tankard, A., (2007). *Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucará Basin, central Peru*. Journal of South American Earth Sciences, v. 24, 1-24 p.
- Steinmuller K. (1999) *Depósitos metálicos en el Perú*. INGEMMET
- Tornos F. (2015) “ *Los skarns y mineralizaciones asociadas del Sistema Central Español : modelo de caracterización petrologica, geoquímica y metalogénica*. Madrid.
- Tucker M (2001) *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks*.
- Tumialan P. (2003) *Compendio de yacimientos minerales del Perú*. INGEMMET.
- Tumialan P. (2014). *Metalogenia de los yacimientos polimetálicos en el Perú*. Minería Publicación oficial del instituto de ingenieros del Perú.

- Vallejo D, Salazar A y Toro L Toro (2011) *Petrografía y geoquímica de las rocas intrusivas aflorantes entre los municipios de Mistrató y Belén de Umbría (departamento de Risaralda, cordillera occidental colombiana).*
- Vásquez E. (2017) “*Caracterización litogeoquímica y su relación con la mineralización de las unidades intrusivas del segmento Jaen – San Ignacio de la cordillera occidental zona norte (región de Cajamarca)*” Tesis presentada por: para optar el título profesional de: Ingeniero Geólogo Puno – Perú.
- Vicente, J.-C., (1981). *Elementos de la Estratigrafía Mesozoica Sur-peruana. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico: Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur.* Vol. 1; p. 319-351.
- Vicente, J.-C., Beaudoin B., Chavez, A. & León, I., (1982). - *La cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico inferior.* Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, Actas, I; p. 121-153.

## **ANEXOS**



## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 001 SD**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 224904**

**N: 8471163**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de la formación Puquin, con una litología que consiste en arenisca de grano fino con nódulos de calcita y yeso.

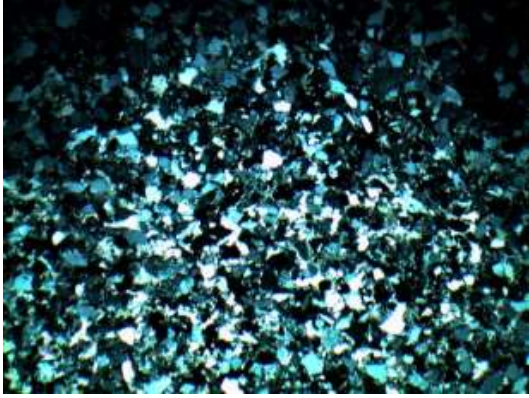


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

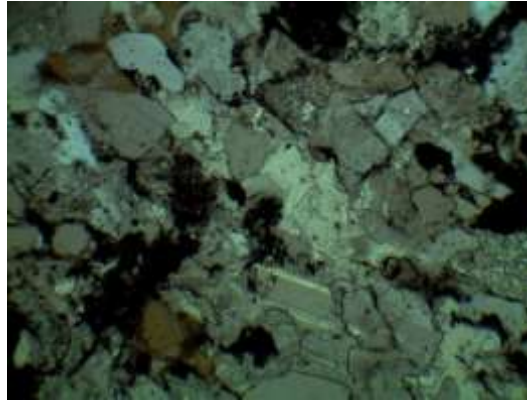
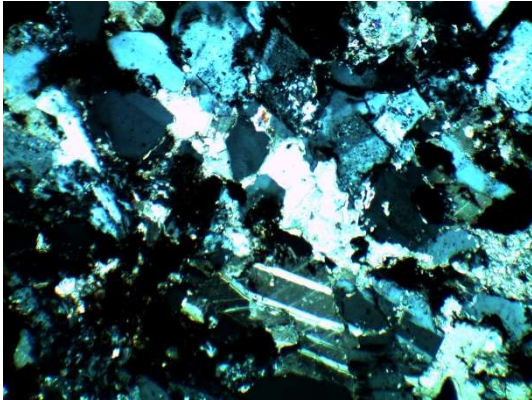


Arenisca de grano fino de color marrón rojizo.

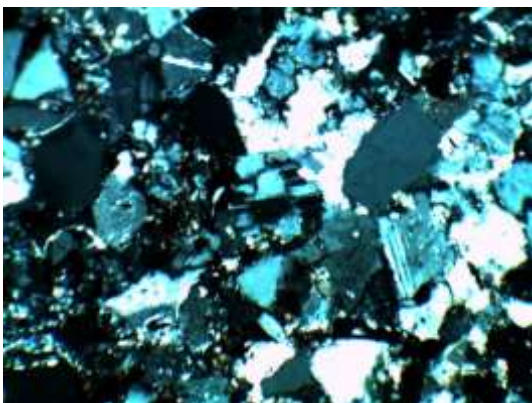
### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Arenisca feldespática de grano fino con clastos que varían de 0.125 a 0.25 mm de diámetro , mal clasificados con clastos sub angulosos con una estimación porcentual de cuarzo 20%, feldespatos 45% calcita 15% y hematita 20%.



Mineral de calcita maclada y minerales metálicos de hematita.



Mineral de plagioclasa con macla de ajedrez.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 002**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 224716**

**N: 8471259**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

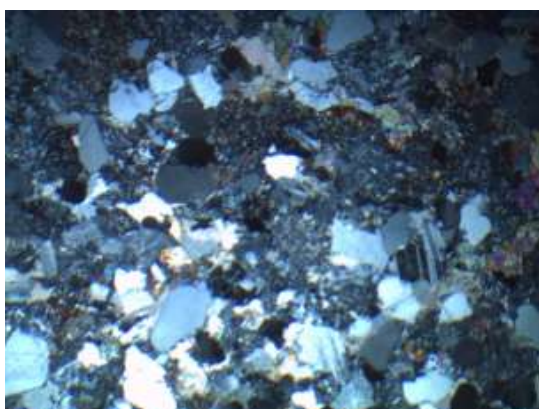
Afloramiento de arenisca de la formación Quilque



### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

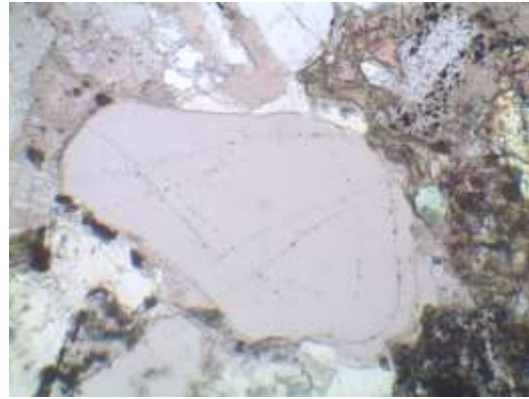
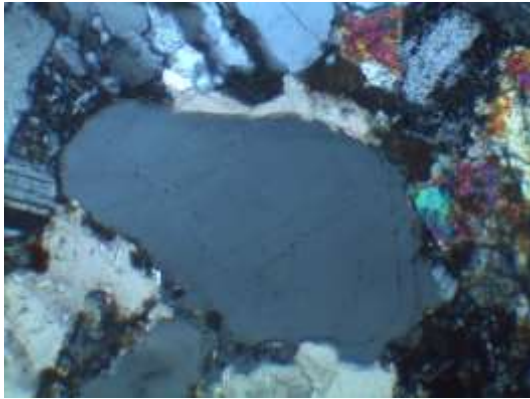


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**

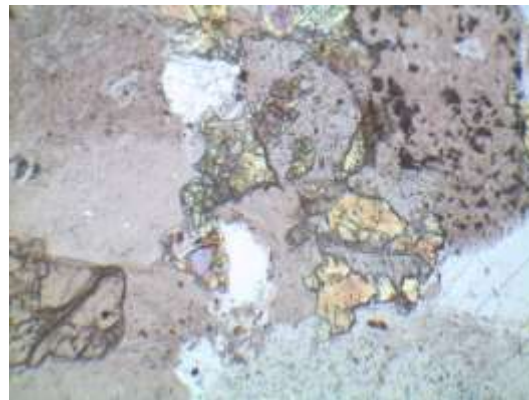
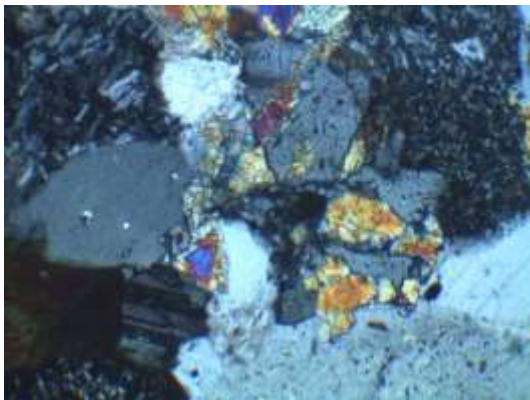


Arenisca feldespática con clastos que varían de 0.5 mm a 0.05 mm como matriz, de tamaño heterogéneo, sub anguloso. La estimación porcentual de cuarzo 30%, feldespatos 35%, máficos 20% fragmentos de roca 5% ,

hematita 5%. Con presencia de minerales accesorios de epidota 2%, Calcita 3%



Clasto de cuarzo, sub redondeado, alrededor plagioclasas, feldespatos, calcita y máficos.



Mostrando los minerales máficos como las hornblendas y epidota.



Mostrando el mineral de calcita, y alrededor feldespatos con alteración a sericita y hematita.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 003**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 225037**

**N: 8471234**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

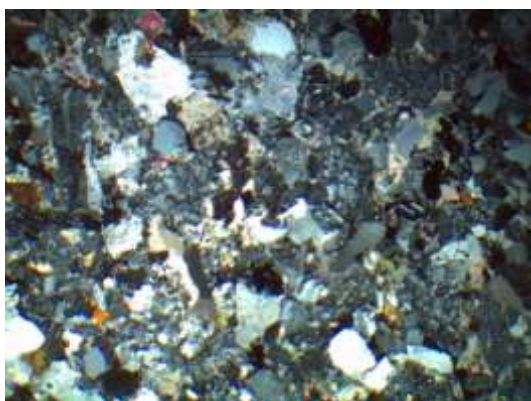
Afloramiento de la formación Puquin en el contacto con la formación Quilque



### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

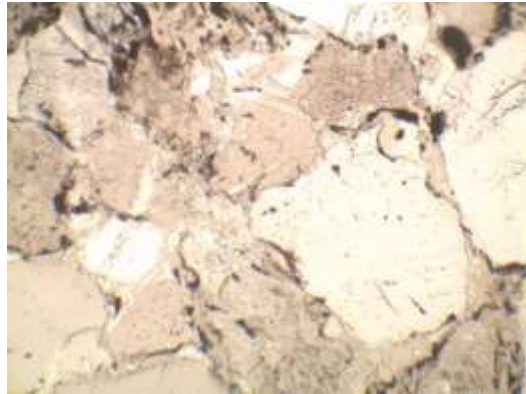
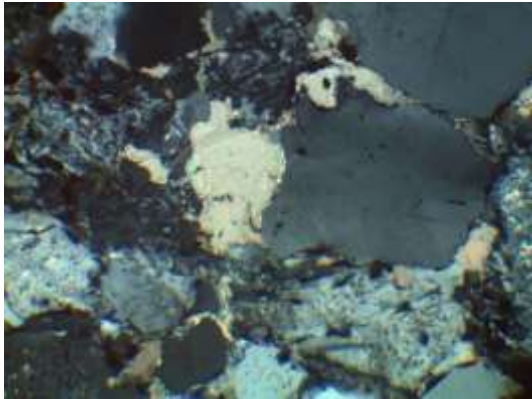


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**

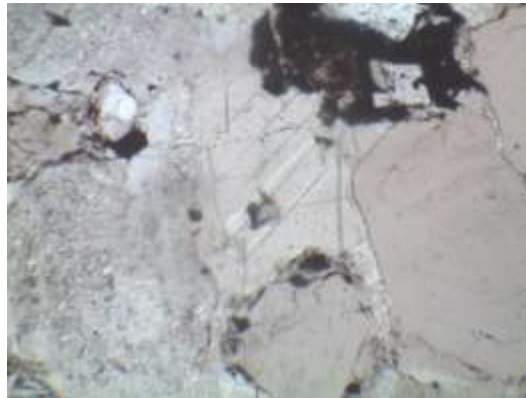
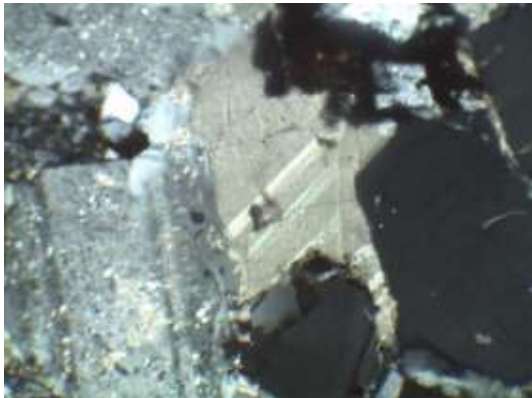


Arenisca feldespática de media a fina con clastos de cuarzo y feldespato que varía entre 0.5 mm y 0.3 mm sub angulosos con una estimación porcentual

de cuarzo 35% feldespatos 45% calcita en 10% fragmentos de roca 5 % y hematita 5%.



Vista mostrando clastos de cuarzo con feldespatos tanto en NX y NP



Vista mostrando minerales de calcita con doble sistema de clivaje y macla rodeado por plagioclasa con alteraciones a sericita y óxidos de hierro en la parte superior derecha de la fotografía.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA:** 004

**LOCALIDAD:** Quiquijana

**COORDENADAS UTM:** E 224716

**N:** 8471259

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de arenisca de la formación Puquin en el contacto entre los afloramientos de la formación quilque



### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**



### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Arenisca de grano fino con clastos que varían de 0.15 a 0.2 mm subredondeados, los feldespatos alterados a sericita y presencia de calcita cementando entre los granos de cuarzo y feldespato.

Además la roca presenta espacios vacíos o porosidades que varían entre 1 a 2 mm de diámetro dentro de los cuales hay cristales de piroxenos.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 006**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 225229**

**N: 8471236**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de arenisca cuarzosa en el contacto de la formación Puquin con el volcánico Cay cay

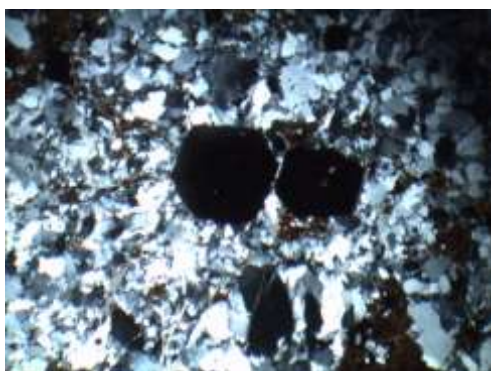


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**



Muestra de arenisca cuarzosa con granos gruesos de entre 0.5 mm a 2 mm

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**

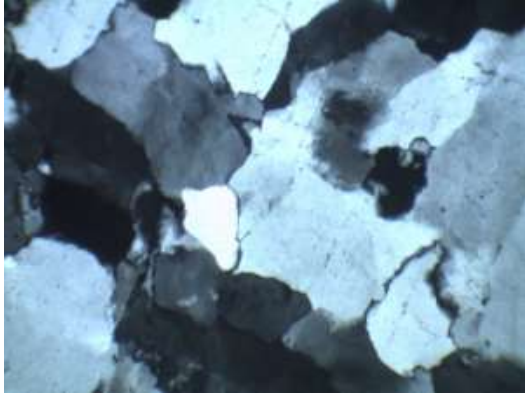


La muestra presenta microfracturas rellenas de óxido y alteración a calcita.

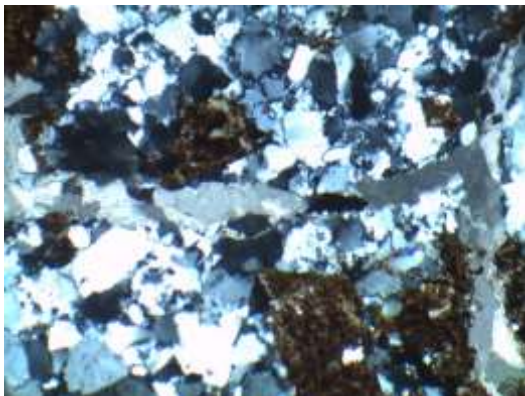


Es una arenisca cuarzosa que presenta venillas de cuarzo policristalino de 0.5 mm a 0.25 mm de diámetro y una matriz de clastos menores a 0.01mm.

La estimación porcentual de cuarzo es de 75%, feldespato 20% y hematita un 5%.



Fotografía mostrando los minerales de cuarzo con extinción ondulada y recta, sub angulosos.



Fotografía mostrando una vetilla de cuarzo y óxidos de hierro.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA:** 007

**LOCALIDAD:** Quiquijana

**COORDENADAS UTM:** E: 225232

**N: 8471219**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de roca volcánica de la formación Cay cay, se aprecia los fenocristales de plagioclasa

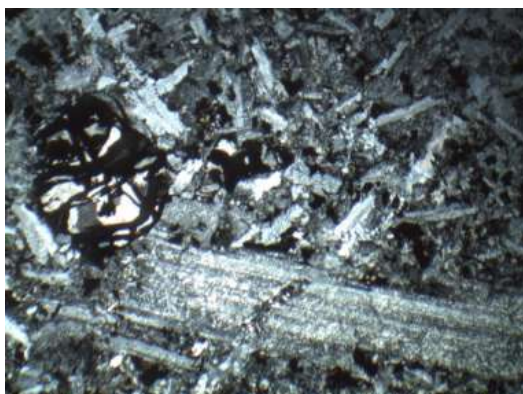


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

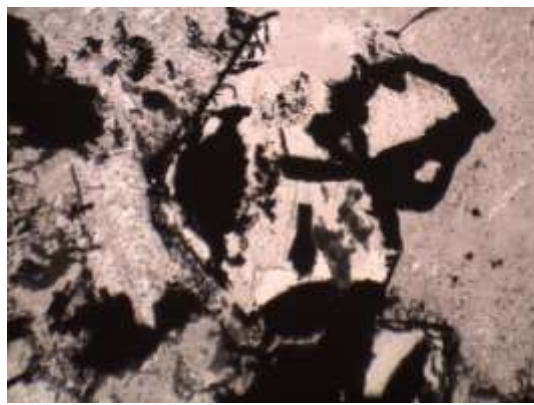
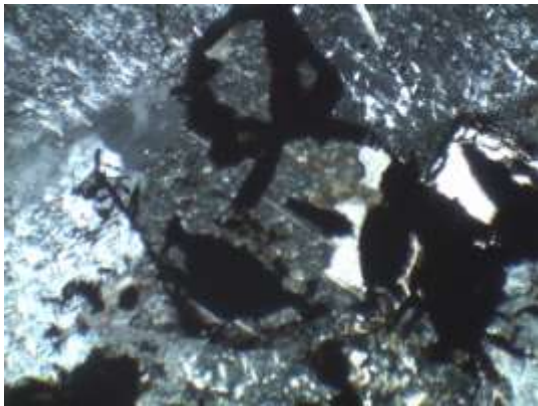


Muestra de roca volcánica de color gris, de acuerdo al resultado geoquímico varían de traquita a traquibasalto de textura pórfido afanítica con fenocristales de plagioclasa .

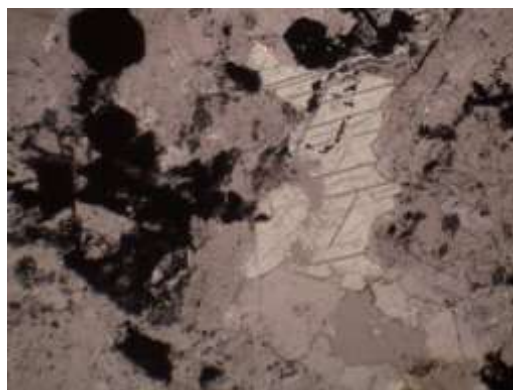
### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Roca volcánica de la formación Caycay mostrando listones de plagioclasa fenocristales de más de 5 mm en una matriz de listones de plagioclasa entrecruzadas de 0.3 a 0.8 mm y hematita cristalizada siendo reemplazado por calcita y feldespatos alterados a sericita.



Fotografía mostrando la hematita incluyendo mineralización de calcita.



Fotografía mostrando la calcita con doble sistema de clivaje y la hematita cristalizada



Fotografía mostrando la alteración a sericita de la plagioclasa y óxidos de hierro.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 010**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 225900**

**N: 8470879**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de roca volcánica de la formación Cay cay, las plagioclasas son de grano mas fino.

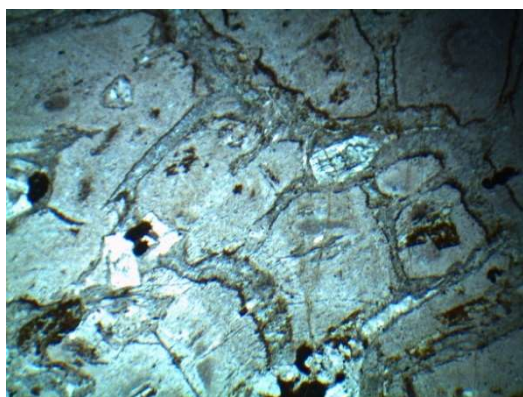
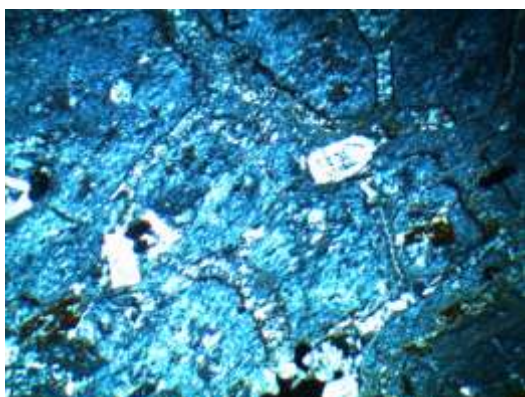


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

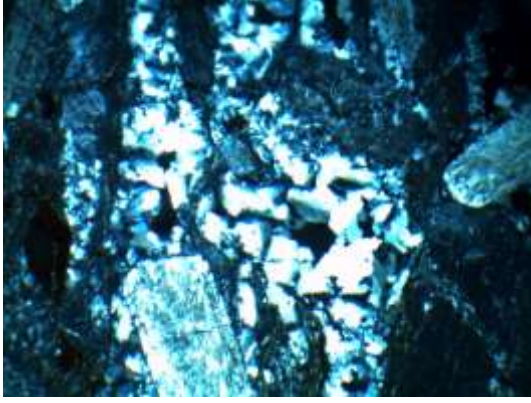


Roca volcánica de la formación Cay cay de textura pórfido afanítica de fenocristales de plagioclasa alterados a limonita por la presencia de óxidos de hierro

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Roca volcánica de la formación Caycay que presenta una estructura de microbrecha rellenas por óxido con cuarzo microcristalino.



Fotografía mostrando el cuarzo microcristalino y fenocristales de plagioclasa alterados a sericita y arcilla

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 012**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 225961**

**N: 8470867**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de roca de la formación Cay cay con fenocristales de plagioclasa.



### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

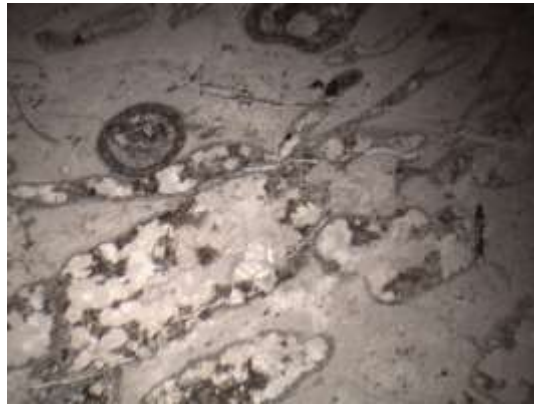


Roca volcánica traquibasalto con textura pórfido afanítica con fenocristales de plagioclasa

## DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO



Volcánico con brechamiento, en las fracturas se muestra alteración a calcita y en otras cuarzo microcristalino. Presencia de amígdalas rellenas de calcita en el centro y recubiertas por capas de óxido.

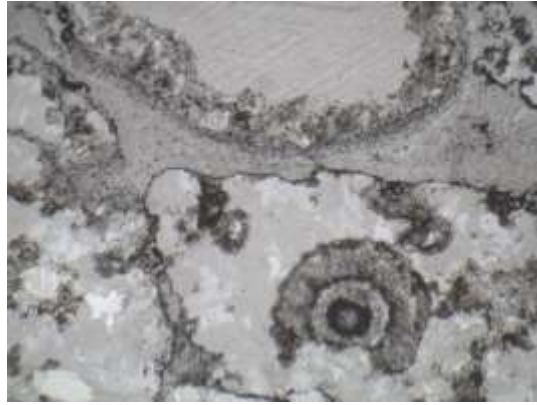
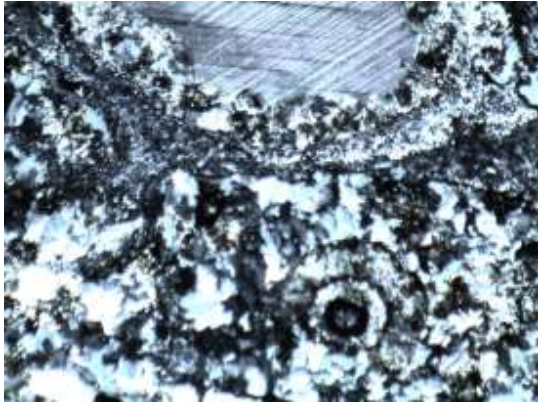


Presencia de microbrechamiento y microfracturas con alteración a calcita, presencia de textura vesicular y amigdaloides rellenas por calcita y cuarzo microcristalino.

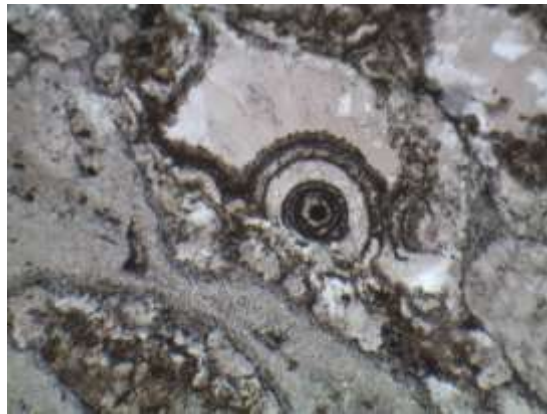
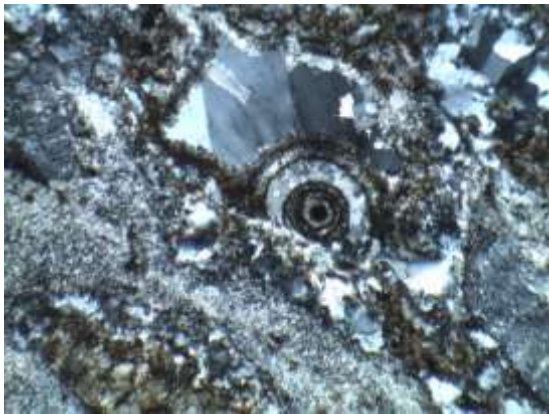


Textura amigdaloides rellenas de calcita rodeadas de capas de óxidos.





En la parte superior se muestra una calcita con textura coronítica y en la parte inferior una amígdala concéntrica rellena por calcita y alterada a óxidos que dan las bandas concéntricas. Rodeados por granos de cuarzo.



En la parte superior se observa cuarzo policristalino con textura coronítica calcita microcristalina y óxido y en la parte inferior una amígdala concéntrica rellena por cuarzo microcristalino y óxido en capas circulares concéntricas.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 013**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 226000**

**N: 8470848**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de roca de la Formación Cay cay en la que se muestra bandeamiento de amígdalas y de color marrón rojizo.

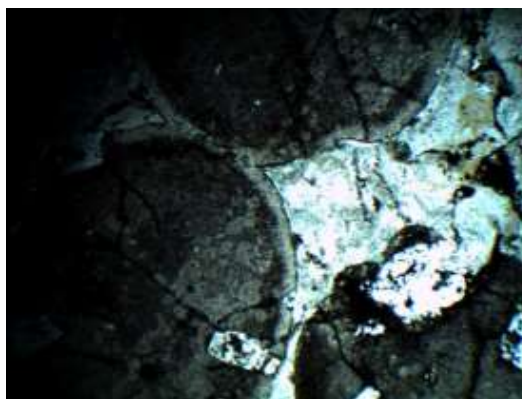


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

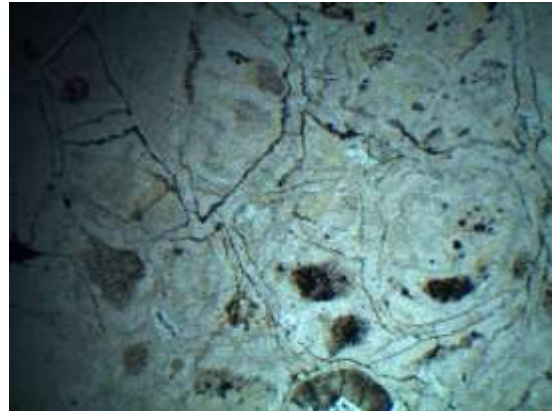
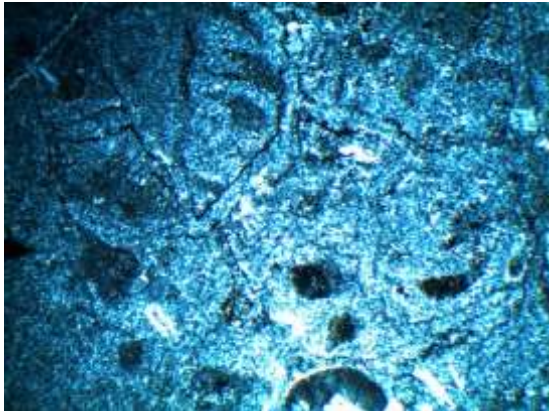


Roca volcánica con presencia de amígdalas alineadas y paralelas siguiendo una estructura de flujo.

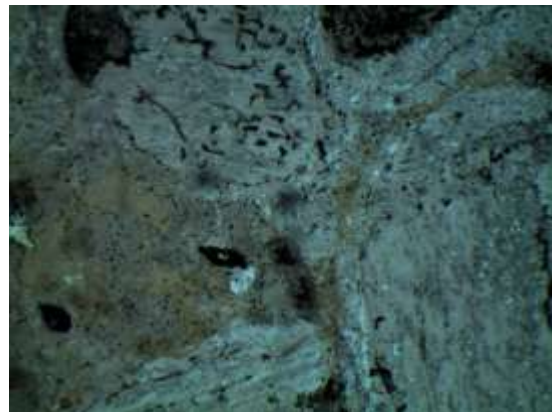
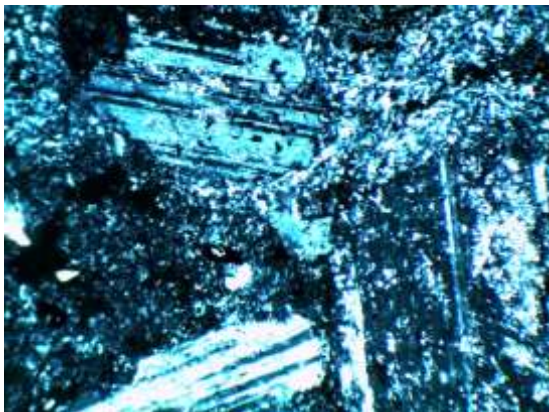
### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Se muestra una estructura de microbrechamiento y entre las fracturas alteración a óxidos. Y amígdalas rellenas por cuarzo microcristalino y feldespatos manchados por óxidos.



Granos finos de feldespatos y plagioclasas entre las estructuras de microbrechas formando coronas



Cristales de plagioclasa alterados a sericita y óxidos.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 016**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 227042**

**N: 8470113**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de calizas de la formación Copacabana con nódulos de calcita y sílice alineada en el contacto de la roca volcánica de la formación Caycay .

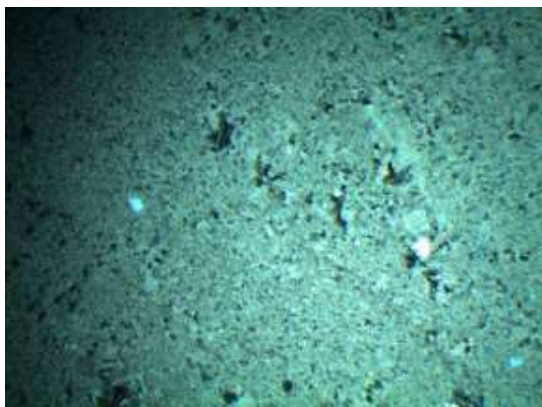


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**



Muestra de caliza de color gris claro de grano fino con microfracturas rellenas por calcita y alteradas a limonita.

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Se muestra la caliza de grano fino con microfracturamiento paralelo y algunos cristales de cuarzo y algunos granos de calcita de grano grueso, en esta muestra no se observa presencia de algún aloquímico por lo que se estaría clasificando como una caliza micrítica.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA: 201**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 226548**

**N:8468672**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de roca granodiorita fuertemente fracturada



### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

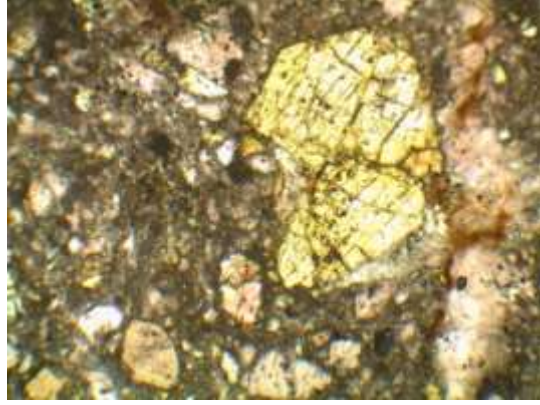
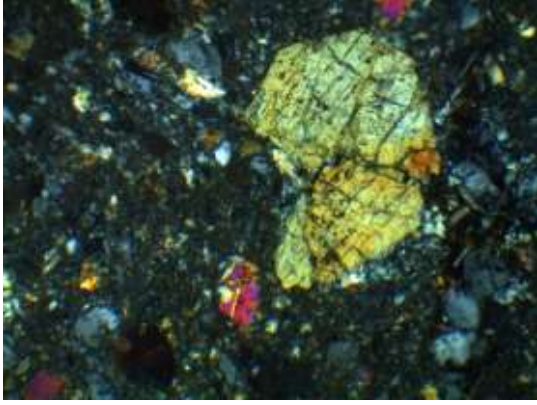


Muestra de granodiorita de grano fino de un color gris verdoso.

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Diorita, con presencia de plagioclasa en un 50%, feldespato, máficos, piroxenos y hornblendas



Mostrando un piroxeno Diopsido como fenocristal, presenta forma pseudo-hexagonal con doble sistema de clivaje con ángulos de  $87^\circ$  para el ángulo menor y  $93^\circ$  para el ángulo mayor.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA 202**

**LOCALIDAD: Quiquijana**

**COORDENADAS UTM: E: 226569**

**N: 8468617**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento del intrusivo de granodiorita en corte de carretera.



### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**



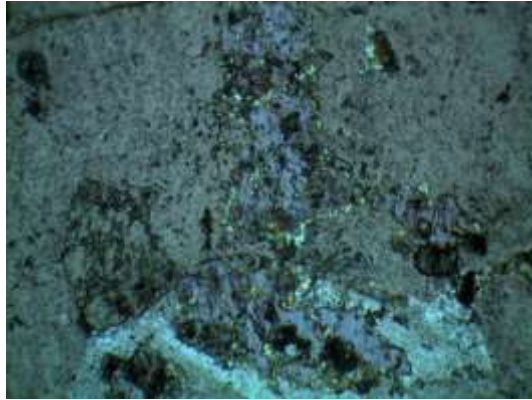
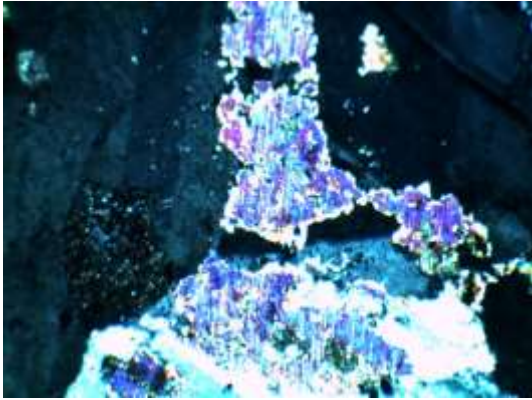
Muestra de granodiorita de color gris verdoso con fenocristales de plagioclasa

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**

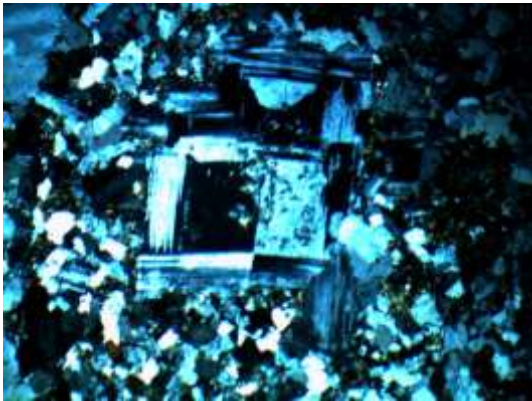


Granodiorita, con fenocristales de plagioclasa que varían de 1 a 4 mm en una matriz de 0.1 mm promedio con presencia de Cuarzo 20%, hematita en un 5%, máficos 15% y plagioclasas en 45% y feldespato en 15%

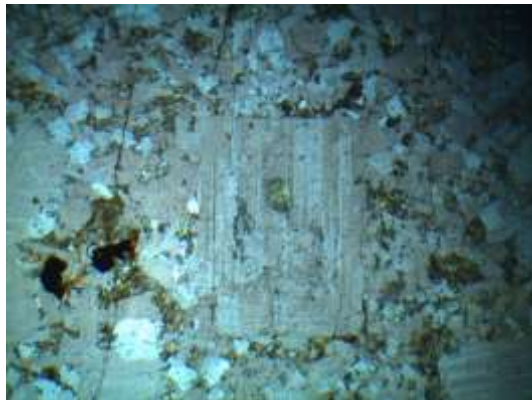
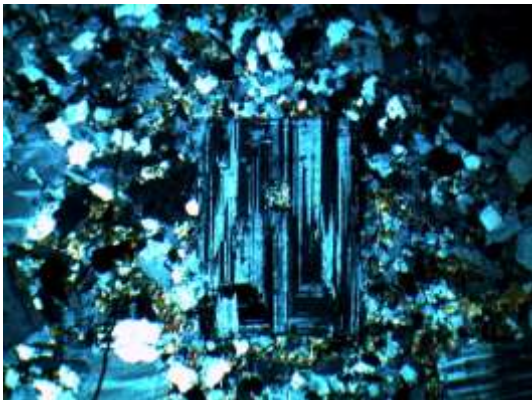




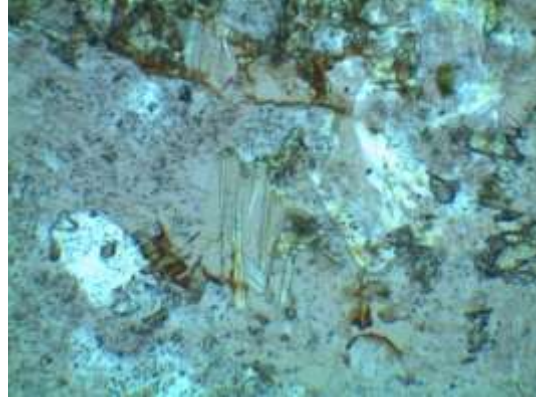
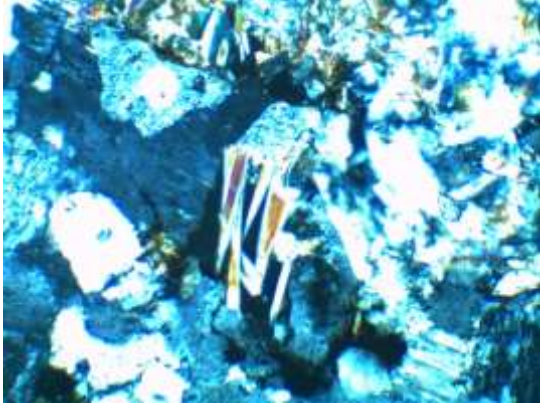
Se muestra un fenocristal de piroxeno, augita



Se muestra un fenocristal de plagioclasa en ajedrez en una matriz de feldespatos y hematita.



Se muestra un fenocristal de plagioclasa con macla periclina de hábito tabular en una matriz de feldespato, hematita y pequeños minerales máficos.



Se muestra cloritas

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA:** 204-A

**LOCALIDAD:** Quiquijana

**COORDENADAS UTM:** E: 226629

**N:** 8468332

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de mármol bandeado debido a la presencia de óxidos.

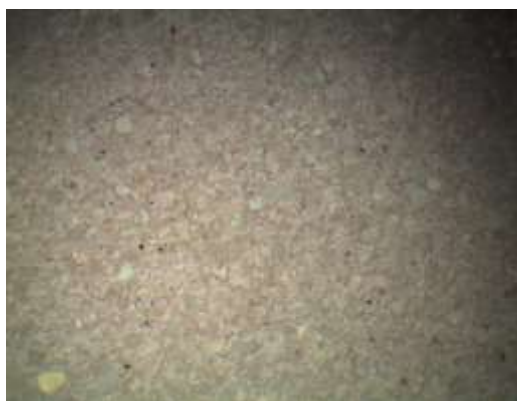


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

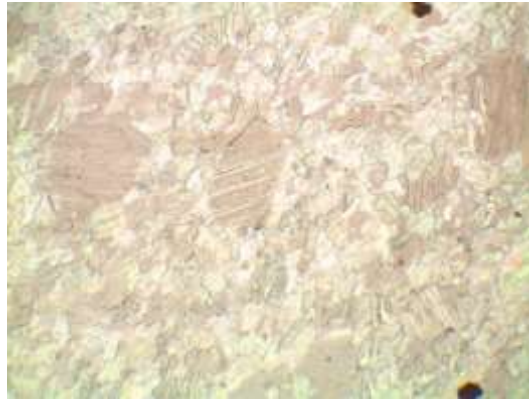
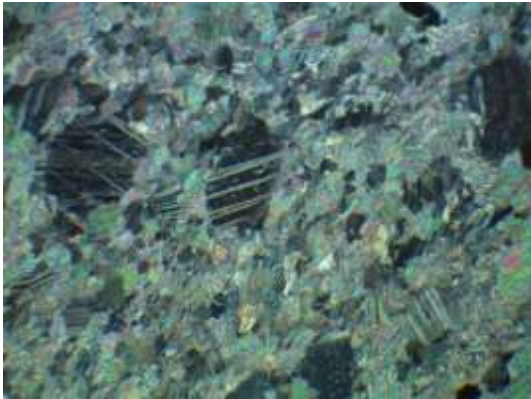


Muestra de mármol de grano fino de color blanco con algunas impurezas de óxidos de hierro.

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Mármol con cristales de calcita de 0.1 mm de diámetro aproximado.



Vista ampliada mostrando la calcita con doble sistema de clivaje y en el lado derecho superior e inferior se muestra granos de hematita.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA:** 204-B

**LOCALIDAD:** Quiquijana

**COORDENADAS UTM:** E: 226690

**N: 8468540**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de mármol con mineralización de pirolusita, está fuertemente fracturado.

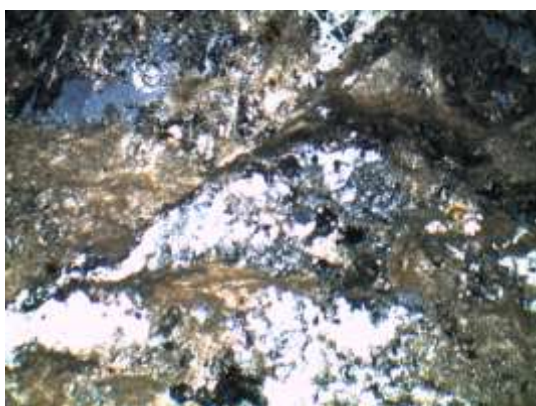


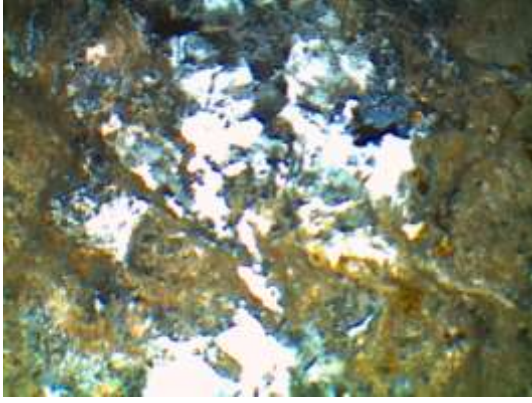
### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**



Mármol con mineralización de pirolusita de hábito arborescente

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**





Se observa una estructura de microbrechamiento del mármol de grano fino y una alteración de la pirolusita relleno las microfracturas,

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA 205**

**LOCALIDAD**

**COORDENADAS UTM: E: 226659**

**N: 8468295**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento de magnetita y hematita en su variedad oligisto alterada a limonita. Estos afloramientos se encuentran localizados entre el contacto de la caliza y el cuerpo intrusivo de granodiorita

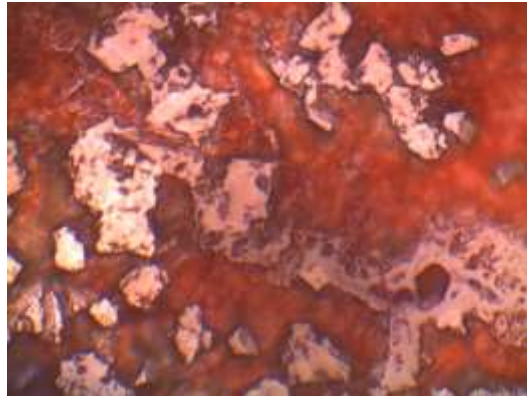
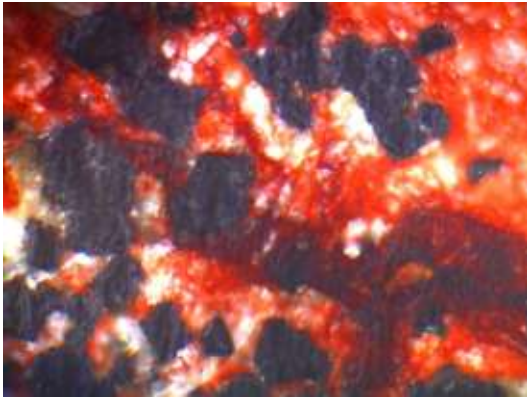


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

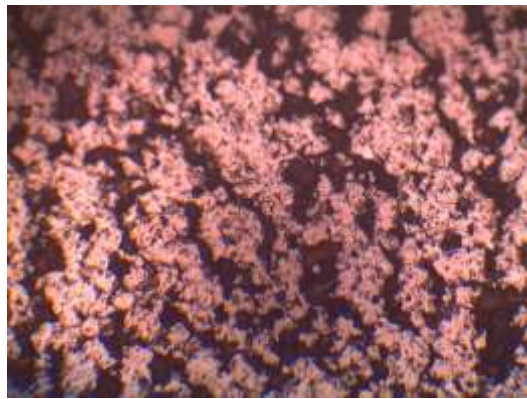
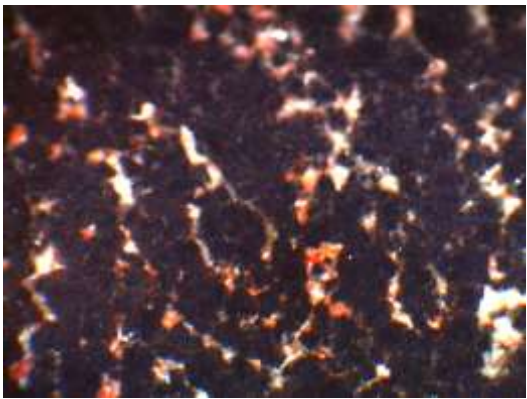


Muestra de magnetita de color gris oscuro con algunas tonalidades de color naranja debido a la alteración a limonita con venillas de cuarzo oxidada

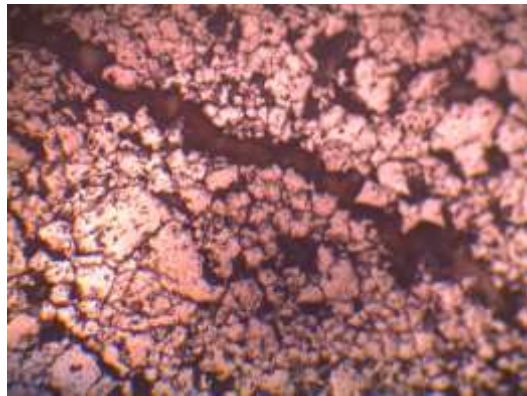
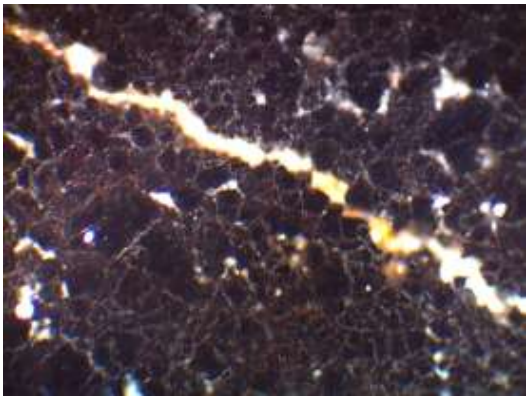
## DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO



Microfotografía de la sección pulida de la magnetita en la que se ven los cristales de magnetita euedrales de color negro y la calcita de color blanco teñido a color rojo por la oxidación.

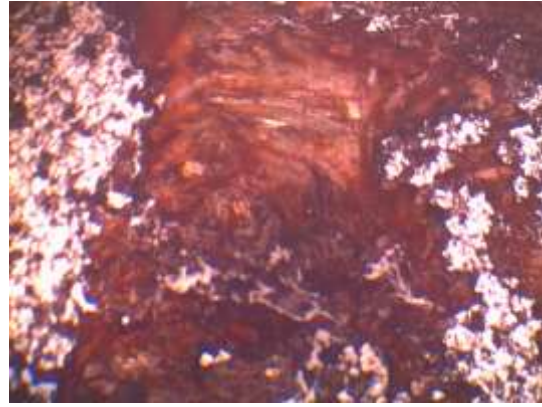
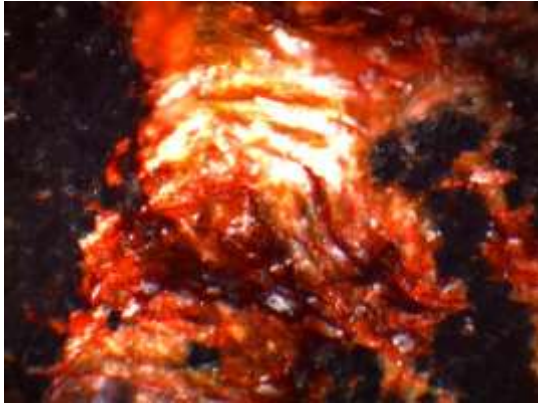


Mosaico de cristales de magnetita euedrales



Vetilla de calcita en la magnetita





Vista ampliada de las vetillas de calcita manchadas a color rojo naranja debido a la oxidación y alteración a limonita.

## FICHA DE DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

**CÓDIGO DE LA MUESTRA 206**

**LOCALIDAD**

**COORDENADAS UTM: E: 226705**

**N: 8468270**

### **DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO**

Afloramiento del intrusivo de diorita fuertemente fracturado

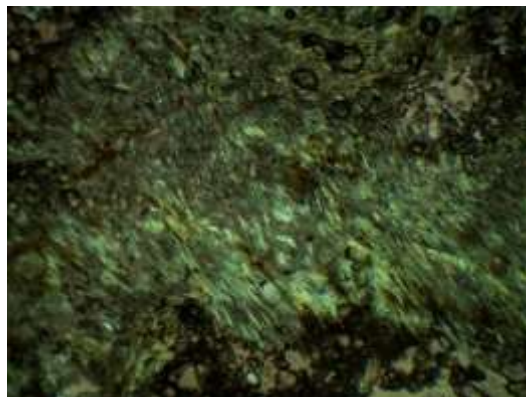
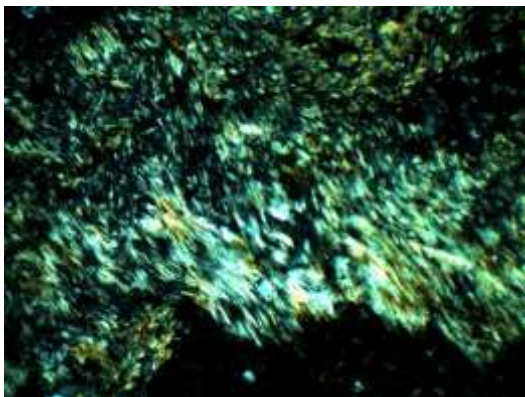


### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE MANO**

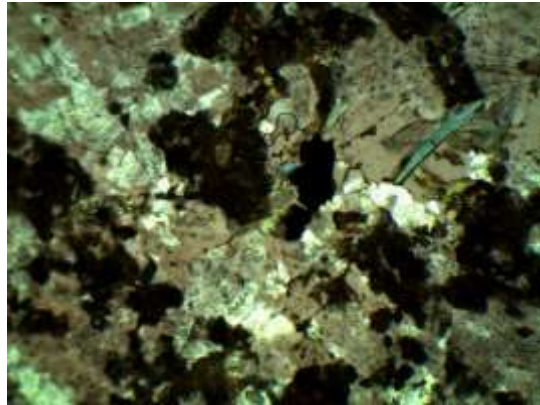
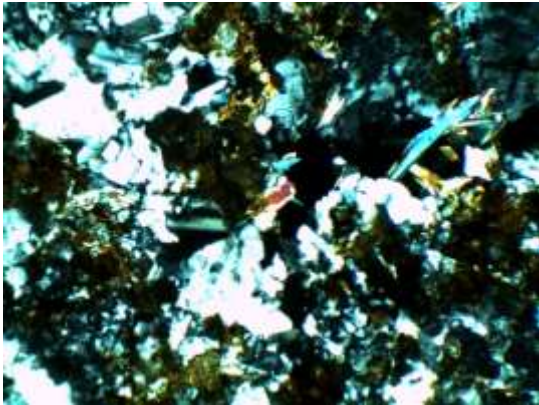


Muestra de mano de roca diorita de grano fino de color gris con manchas de óxido

### **DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS AL MICROSCOPIO**



Se muestra la cloritización de las biotitas y hornblendas



La composición mineralógica es cuarzo 5%, plagioclasa 30%, feldespato 20%, hornblenda 10%, piroxeno 10%, biotita 3%, Clorita 5%, esfena 2% y hematita 15%. Corresponde a una roca cuarzo- monzonita.