



TÍTULO

**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE UNIDADES
LITOLÓGICAS Y ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL PROYECTO
MASA VERDE**

AUTOR

Diego Andrés Bravo Jiménez

	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2024
Tutor	Dr. D. Teodosio Donaire Romero
Co-tutor	Dr. D Manuel Toscano Macías
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía , Universidad de Huelva
Curso	<i>Máster Universitario en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales (2021/22)</i>
©	Diego Andrés Bravo Jiménez
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2022



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



**Universidad
de Huelva**

un
i **Universidad**
Internacional
de Andalucía
A

Caracterización petrográfica y geoquímica de unidades litológicas y alteración hidrotermal en el proyecto Masa Valverde

***Máster en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos
Minerales***

Autor: Diego Andrés Bravo Jiménez

Tutor: Dr. Teodosio Donaire Romero

Co-tutor: Dr. Manuel Toscano Macías

2022

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos:

Principalmente a mis padres, mi pareja y mi familia que siempre me han brindado la fuerza, sabiduría y apoyo para creer en mis capacidades y poder cumplir con mis objetivos.

A los docentes, que tuve la oportunidad de conocer durante el máster por compartir su pasión y conocimientos de los temas abordados, y en especial a mis tutores Teodosio Donaire y Manuel Toscano, por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A la empresa Atalaya Mining en especial al proyecto Masa Valverde, por brindarme la oportunidad y la confianza de realizar este trabajo, y al mismo tiempo le deseo el mejor de los éxitos en el futuro venidero.

RESUMEN

El presente trabajo se orienta al estudio petrográfico y geoquímico de la litología y alteración presente en un sondeo representativo (CA14) del sector de Campanario del proyecto Masa Valverde. Dicho estudio se lo realizó para un total de 13 láminas delgadas y el análisis químico de 11 muestras. Se han diferenciado tres facies principales: coherentes, vulcanoclásticas y sedimentarias. Las facies coherentes y vulcanoclásticas, aunque químicamente comparten una composición riodacítica similar, se diferencian por sus características petrográficas. Las facies coherentes se distinguen por su textura afanítica y algunas con fracturación perlítica, mientras que las vulcanoclásticas, se diferencian por la presencia de fragmentos de cuarzo y plagioclasa. Por otra parte, las facies sedimentarias son de tamaño de grano muy fino (pizarras) y se hallan comúnmente muy alteradas. En las pizarras negras se diferencia mayor cantidad de materia carbonosa, las pizarras moradas con un contenido significativo de óxidos y las pizarras verdes con mayor porcentaje de clorita. Todas estas rocas presentan principalmente una alteración sericítica que aumenta su intensidad cerca de las zonas de cizalla.

ABSTRACT

The present research concerns about the petrographic and geochemical study of the lithology and alteration present in a representative survey (CA14) of the Campanario sector of the Masa Valverde project. The research was carried out for a total of 13 thin sections and the chemical analysis of 11 samples. Three main facies have been differentiated: coherent, volcanoclastic and sedimentary. Although chemically they share a similar rhyodacitic composition, the coherent and volcanoclastic facies are differentiated by their petrographic characteristics. The coherent facies are distinguished by their aphanitic texture, and some with perlitic fracturing, while the volcanoclastic ones are distinguished by the presence of quartz and plagioclase fragments. On the other hand, the sedimentary facies are of very fine grain size (shales) and are commonly highly altered. In the black shales there is a greater quantity of carbonaceous matter, the purple shales include a significant presence of oxides and the green shales with a higher percentage of chlorite. All these rocks present mainly a sericitic alteration that increases its intensity near the shear zones.

TABLA DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 UBICACIÓN	3
1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO	4
1.4.1 Macizo Ibérico.....	4
1.4.2 Zona Sudportuguesa.....	5
1.4.3 Faja Pirítica Ibérica.....	6
2. CAPÍTULO II	8
METODOLOGÍA	8
2.1 TRABAJO DE CAMPO	9
2.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO	9
2.2.1 Estudio óptico de láminas delgadas.....	9
2.2.2 Geoquímica de roca total.....	9
3. CAPÍTULO III	10
RESULTADOS	10
3.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA GENERAL DEL SONDEO CA14	11
3.2 PETROGRAFÍA	12
3.2.1 Facies Coherentes.....	13
3.2.2 Facies Vulcanoclásticas.....	14
3.2.3 Facies Sedimentarias.....	14
3.3 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL	16
3.4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	20
4. BIBLIOGRAFÍA	23
5. ANEXOS	24
5.1 COLUMNA LITOLÓGICA DEL SONDEO CA14	25
5.2 TABLA DE RESULTADOS GEOQUÍMICOS	26
5.3 FICHAS TÉCNICAS LÁMINAS DELGADAS	27

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	3
Figura 2. Esquema del Macizo Ibérico (Vera et al., 2004).	5
Figura 3. Esquema Geológico simplificado de la Zona Sudportuguesa (modificado de Almodóvar et al, 2019)	6
Figura 4. Columna litológica general de la FPI (Vera et al., 2004).	7
Figura 5. Perfil litológico del sondeo CA14, donde se incluyen los puntos de muestreo y su denominación.	12
Figura 6. Fotografía microscópica de lámina delgada: a) muestra CA1401: fracturación perlítica en Riodacita; b) muestra CA1402; relictos de fracturación perlítica en riodacita; c) muestra CA1403: plagioclasas deformadas en dacita; d) muestra CA1411: vena de cuarzo con salbanda de albita en riolita silicificada.	13
Figura 7. Fotografía microscópica de lámina delgada: a) muestra CA1404: fragmentos nodulares de cuarzo y plagioclasas; b) muestra CA1405: sombras de presión en fragmentos nodulares de cuarzo y plagioclasa; c) muestra CA1410: alteración penetrativa sericítica; d) muestra CA1406: brecha monomítica, matriz pizarrosa.	14
Figura 8. Fotografía microscópica de lámina delgada: a) muestra CA1408: vena de cuarzo con cubos de pirita asociada en pizarra negra; b) muestra CA1409: relleno de cuarzo-carbonato-pirita en pizarra negra.	15
Figura 9. Fotografía microscópica de lámina delgada. Las figuras a y b representan la muestra CA1413, se distingue venas de cuarzo y algunos óxidos en pizarra morada.	15
Figura 10. Fotografía microscópica de lámina delgada. Las figuras a y b representan la muestra CA1414, donde se distingue material detrítico y un porcentaje considerado de clorita en pizarras verdes.	16
Figura 11. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas (Winchester & Floyd, 1977): a) Rocas de facies coherentes; b) Rocas de facies vulcanoclásticas.	17
Figura 12. Diagrama de alteración AI vs CCPI.	18
Figura 13. Representación de facies en diagramas de REE normalizadas a condrito: a) facies coherentes; b) facies vulcanoclásticas; c) facies sedimentarias.	19
Figura 14. Comparación de perfiles litológicos FPI: a) Perfil litológica sondeo CA14; b) Columna litológica general de la FPI (Vera et al., 2004); c) Columnas litológicas Rio tinto y Paymogo (modificado de Donaire et al., 2008). En los recuadros se distinguen la zona de pizarras moradas en los diferentes perfiles.	22

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Existen varios estudios sobre las litologías y las alteraciones presentes en la FPI, su principal interés radica en que, aquí se concentran gran cantidad de yacimientos de sulfuros masivos que han sido explotados hace varios siglos atrás y que, al día de hoy sigue siendo una fuente importante de exploración. La FPI, tiene una extensión de 250 km de largo y un ancho comprendido entre 25 y 70 km (Leistel et al., 1998).

Varios autores coinciden en diferenciar tres unidades principales dentro de la FPI, las cuales de techo a muro son el grupo de filitas y cuarcitas (Grupo PQ), el Complejo Vulcano-Sedimentario (CVS) y Grupo Culm (Leistel et al., 1998; Donaire et al., 2008; Tornos, 2008; Vera, et al., 2004). Las mineralizaciones de sulfuros masivos aparecen principalmente en rocas magmáticas y sedimentarias de origen volcánico y subvolcánico de composición ácida, pertenecientes al CVS, el cual presenta variaciones litológicas y de potencia (0-1300 m); sin embargo, su estratigrafía se ha dividido en tres episodios volcánicos ácidos y dos básicos, los cuales se distinguen únicamente en la parte central de la FPI (Vera et al., 2004).

Las rocas ácidas en la FPI van desde dacitas hasta riolitas con alto contenido en SiO_2 . Químicamente, las riolitas se clasifican como rocas félsicas bajas en Al_2O_3 y altas en Yb y muestran patrones de elementos de Tierras Raras normalizados con condrita bastante homogéneos; estos patrones muestran un enriquecimiento moderado de Tierras Raras ligeras (LREE), anomalías de Eu negativas pronunciadas y no están fraccionados o solo están ligeramente fraccionados para tierras raras pesadas (HREE). Las dacitas muestran mayores contenidos de Al_2O_3 y menores anomalías de Eu (Leistel et al., 1998).

Las alteraciones más importantes en las rocas de la FPI son hidrotermales, están relacionadas con circulación de fluidos bajo el fondo marino y ligadas al elevado gradiente geotérmico que implica el entorno de extensión y el emplazamiento sucesivo de nuevos pulsos magmáticos (Donaire et al., 2010).

Este trabajo presenta un estudio petrográfico y geoquímico de las rocas presentes en la FPI, más específicamente en el depósito Masa Valverde objetivo Campanario, donde afloran rocas del CVS. Esto por la importancia que tienen el comportamiento de las rocas y su alteración, al momento de realizar interpretaciones o modelos geodinámicos, necesarios en el ámbito de la exploración de yacimientos.

1.2 OBJETIVOS

Conociendo la importancia que tiene durante las fases de exploración definir litologías y conocer zonas de alteración asociadas a la mineralización, que en un futuro nos permitan entender con mayor facilidad y poder realizar e interpretar modelos de geológicos apropiados de acuerdo al tipo de yacimiento que estamos estudiando, es necesario realizar ciertos análisis que nos ayuden a despejar estas dudas.

Por ello el presente trabajo tiene como principal objetivo el estudio geoquímico, mineralógico y petrográfico de las rocas asociadas a un depósito caracterizado como VMS, presente en el proyecto Masa Valverde, más concretamente en la zona de Campanario, basados en muestras representativas tomadas del sondeo denominado CA14. Esto con el fin de determinar las litologías y las alteraciones cercanas a las zonas de mineralización.

En el ámbito de la investigación, ya que cada zona tiene su complejidad y particularidad, se trata de aportar información apoyada en la caracterización mineralógica y geoquímica de las alteraciones hidrotermales asociadas a las mineralizaciones, que pueden estar presentes en un yacimiento tipo VMS, así como identificar las rocas portadoras de la misma, sus características y la relación espacio-temporal entre ellas.

1.3 UBICACIÓN

El proyecto Masa Valverde cuenta con tres permisos de investigación: Valverde, Beas y Mojarra, los cuales se encuentran ubicados principalmente en los términos municipales de Valverde del Camino, Beas y Calañas pertenecientes a la provincia de Huelva de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

En este trabajo se realiza un estudio del sondeo CA14 del objetivo Campanario, ubicado en el permiso de investigación Valverde con coordenadas X:692187, Y:4157165, Z:178; Datum: ETRS 1989 UTM Zona 29N (Figura 1).

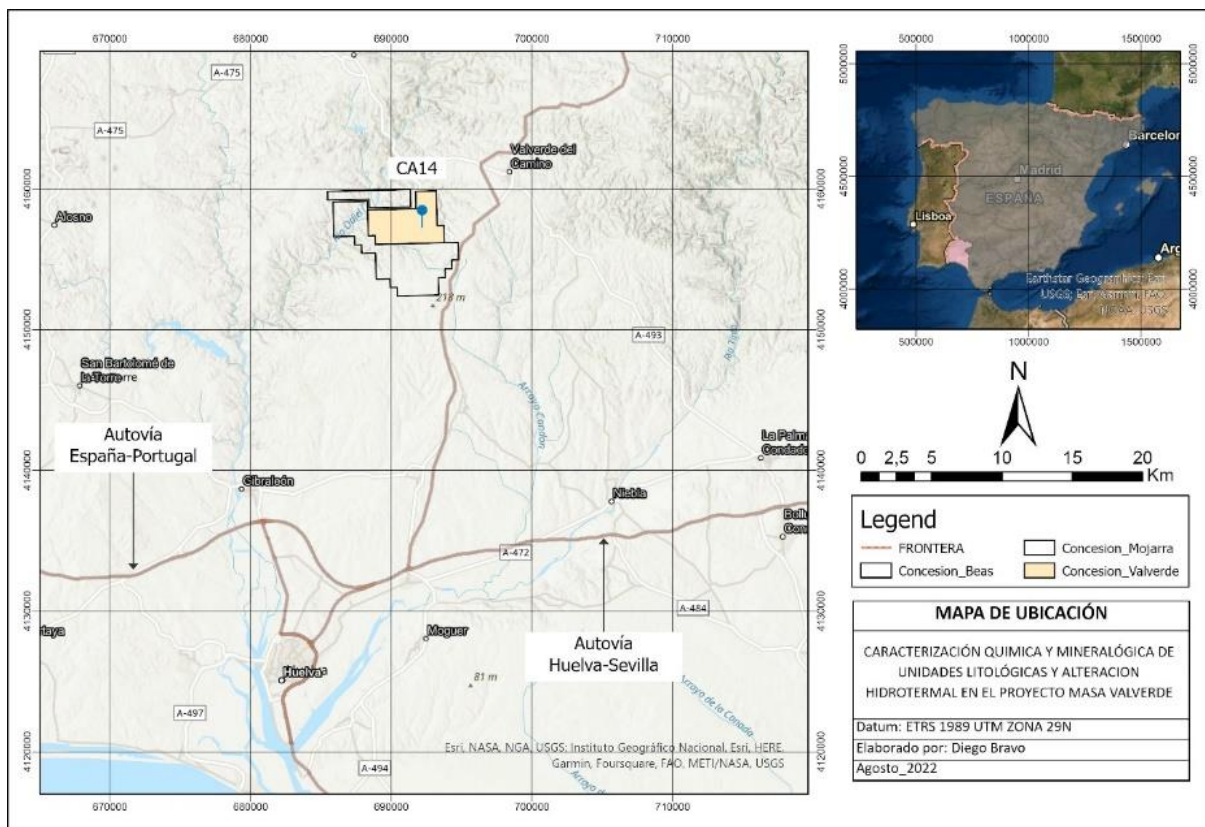


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO

Geológicamente el proyecto Masa Valverde forma parte de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), caracterizada por ser unos de los distritos mineros más grandes del mundo, albergando una enorme cantidad de mineralizaciones en depósitos de sulfuros masivos asociados a vulcanismo con aproximadamente 1.700 Mt (Leistel et al., 1998), ubicada en el sur de Portugal y suroeste de España.

La FPI se encuentra ubicada dentro de la zona Sudportuguesa, que es la zona tectono-estratigráfica que ocupa el suroeste de la gran unidad geológica denominada Macizo Ibérico.

1.4.1 Macizo Ibérico

El Macizo Ibérico es parte de los afloramientos más actuales de la Orogenia Varisca que comprende rocas de edad Proterozoico Superior a Pérmico, deformadas y en parte metamorfizadas e intruidas por diversos tipos de granitoides.

Varios autores proponen la división en zonas del Macizo Ibérico basándose en las características estratigráficas, estructurales y metamórficas (Figura 2). Lötze (1945) fue el primero en proponer una división, la cual con algunas modificaciones ha sido aceptada y estudiada hasta el momento.

Desde los inicios se establecieron seis zonas principales, que en la actualidad de N a S son:

- Zona Cantábrica
- Zona Asturoccidental-leonesa
- Zona Centroibérica
- Zona de Galicia-Tras-Os-Montes
- Zona de Ossa-Morena
- Zona Sudportuguesa

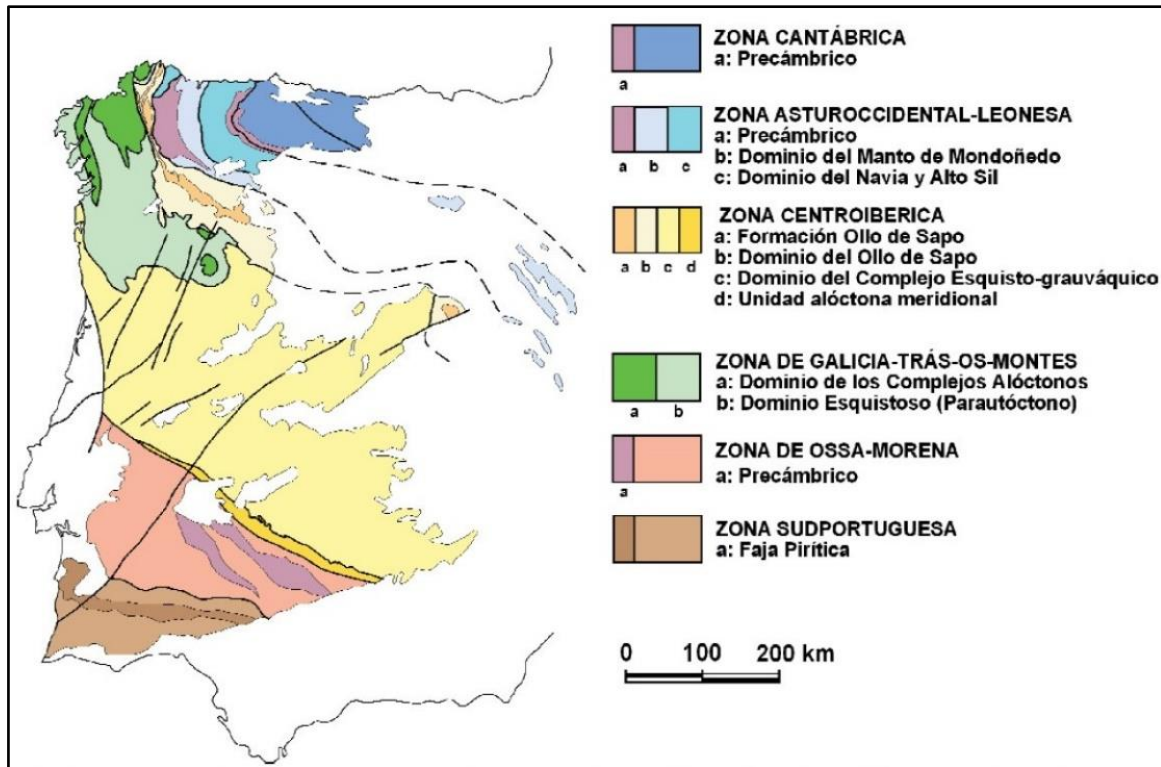


Figura 2. Esquema del Macizo Ibérico (Vera et al., 2004).

1.4.2 Zona Sudportuguesa

Ocupa el SO del Macizo Ibérico y se extiende desde el Suroeste de Portugal hasta la Sierra Norte de Sevilla, geológicamente limita al Norte con la Zona Ossa-Morena mediante un contacto tectónico, que por sus características de procedencia oceánica es interpretado como una sutura del Orógeno y al Sur con los materiales más jóvenes de la cuenca del Guadalquivir.

En la zona Sudportuguesa afloran rocas de edad comprendida entre el Devónico Medio-Superior y el Pérmico, donde se registra el desarrollo de un periodo extensional importante que da lugar a la fragmentación de una plataforma detrítica devónica, abundante magmatismo y un elevado gradiente térmico en la corteza superior, contexto donde se desarrolla la cuenca de la Zona Sudportuguesa y en el que se formaron los grandes depósitos de sulfuros masivos que caracterizan a la denominada FPI (Vera et al., 2004).

Tradicionalmente se distinguen cinco dominios geológicos (Figura 3) que de Norte a Sur son:

- Dominio del Pulo do Lobo
- Faja Pirítica Ibérica
- Dominio del Suroeste Portugués
- Batolito de la Sierra Norte de Sevilla
- Cuenca Pérmica del Viar

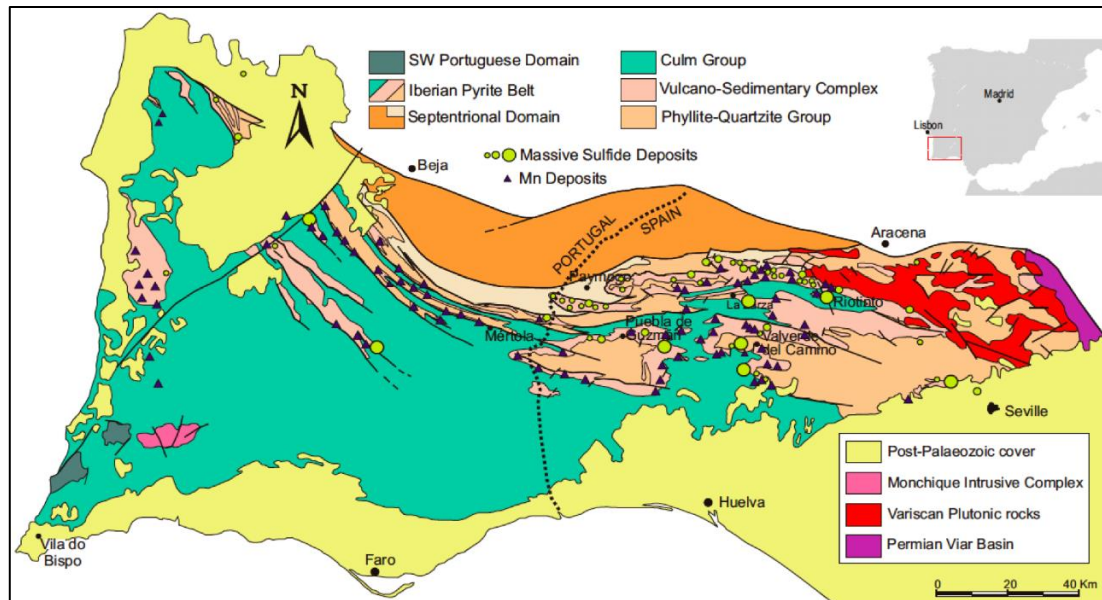


Figura 3. Esquema Geológico simplificado de la Zona Sudportuguesa (modificado de Almodóvar et al, 2019)

1.4.3 Faja Pirítica Ibérica

Dentro de la FPI se han diferenciado 3 unidades principales (Figura 4) con rasgos geológicos diferentes que de muro a techo son:

- **Grupo PQ**

De edad Dévónico Medio a Superior, formado principalmente por pizarras con intercalación de niveles de cuarcitas depositadas en una plataforma marina somera, con aproximadamente 2000 m de potencia mínima (Vera et al., 2004).

- **Complejo Vulcano Sedimentario (CVS)**

De edad Fameniense Tardío a Viseense medio-superior, yace sobre el Grupo PQ y está formado por intercalaciones complejas de rocas magmáticas de origen volcánico y subvolcánico de composición ácida (riolitas y dacitas) y básica (basaltos), junto con cherts y secuencias sedimentarias detríticas de grano fino transformadas a pizarras.

La presencia de pillow lavas y determinados depósitos vulcanoclásticos sugiere que el vulcanismo fue esencialmente submarino, aunque también existe evidencia de depósitos originados por actividad volcánica explosiva en un medio subaéreo (Almodóvar et al, 2019).

Los depósitos de sulfuros masivos se centran principalmente a techo de secuencias magmáticas ácidas y suelen estar asociados a pizarras negras como es el caso en la zona de Campanario, aunque también se engloban en rocas volcánicas ácidas.

La Geología de la zona de estudio se centra principalmente en rocas del CVS, donde algunos autores reconocen tres etapas principales de vulcanismo ácido, los cuales se identifican como: V1) secuencias vulcanoclasticas finas y rocas

coherentes de carácter riolítico; V2) se constituye de la misma forma por rocas vulcanoclásticas y en menor cantidad rocas de carácter riolítico y riodacítico; y finalmente la etapa V3) constituida por pizarras y tufitas retrabajadas. En algunos casos además aparecen intercalaciones de rocas máficas, y en la última etapa se observa regularmente un nivel de pizarras moradas, el cual se cataloga como un nivel guía regional que se dispone en el techo de la serie intermedia (Vera et al., 2004).

- **Grupo Culm**

De edad Carbonífera y posterior a las fases de mineralización, se superpone al CVS, comprende una gruesa capa de turbiditas sinorogénica (secuencia formada principalmente por pizarras y areniscas), donde se distinguen varias formaciones de cuencas en base a criterios sedimentológicos y paleontológicos.

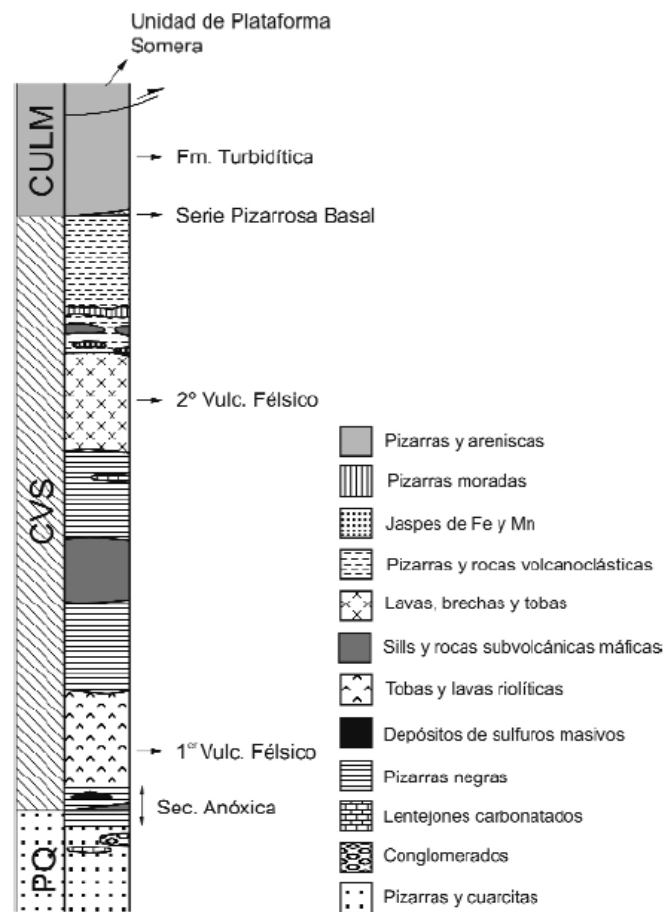


Figura 4. Columna litológica general de la FPI (Vera et al., 2004).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Para abordar los objetivos establecidos previamente, el trabajo se ha estructurado en varias etapas que comprenden: trabajo de campo y un análisis mineralógico y petrográfico de las muestras seleccionadas.

2.1 TRABAJO DE CAMPO

La fase inicial del trabajo empezó con una descripción simplificada del proyecto por parte de los técnicos encargados del mismo y específicamente del sondeo CA14, en el cual se basa el presente estudio.

Como primer paso se realizó la selección de muestras para su posterior análisis petrográfico, donde participaron técnicos del proyecto y docentes. Las muestras fueron seleccionadas con base en criterios de litología, mineralización y alteración, que son las más representativas y de mayor interés. Éstas fueron enviadas, por parte de la empresa Atalaya Mining, a los distintos laboratorios para la preparación de láminas delgadas y analizar la geoquímica de roca total.

Seguidamente se realizó el logueo geológico del sondeo en cuestión, donde se pudo definir macroscópicamente litologías, zonas de mineralización, zonas de alteración y zonas de cizalla en base a las características visuales y propiedades físicas de la roca.

2.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO

2.2.1 Estudio óptico de láminas delgadas

El estudio de láminas delgadas se llevó a cabo en el laboratorio de investigación Tharsis, del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Huelva. Para dicho estudio se utilizó un microscopio óptico de la marca NIKON modelo ECLIPSE LV100POL, el cual viene equipado con cámara, que facilita la toma e interpretación de imágenes digitales.

Se realizó el estudio de 13 láminas delgadas, las cuales se obtuvieron de las litologías y zonas de alteración más representativas del sondeo CA14.

2.2.2 Geoquímica de roca total

El análisis químico se realizó para un total de 11 muestras representativas, para lo que se procuró que éstas sean obtenidas de la misma zona donde se realizaron las láminas delgadas, exceptuando las muestras que contenían algún porcentaje significativo de sulfuros.

Las muestras fueron analizadas por el laboratorio ALS, con el método ME-ICP06 para determinar elementos principales y ME-MS81 para elementos traza.

Los análisis químicos realizados sirven como herramienta que facilita la elaboración de gráficos que apoyan la interpretación de resultados.

Se utilizó el software GCDkit (Geochemical Data Tool Kit), el cual sirve para la interpretación y presentación gráfica de datos geoquímicos de rocas ígneas mediante distintos diagramas de clasificación, con herramientas que incluyen gráficos binarios, ternarios, diagramas spider, entre otros.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA GENERAL DEL SONDEO CA14

Según la cartografía actualizada del proyecto y la hoja 960 del MAGNA, el sondeo CA14 geológicamente se ubica junto a zonas definidas como escombreras de trabajos históricos, cerca al contacto entre un paquete de rocas coherentes y vulcanoclasticas de composición ácida, donde predominan rocas félsicas (sobre el que se sitúa el sondeo), y un paquete de tobas finas, tufitas y pizarras. Todas estas litologías pertenecen al CVS.

El sondeo, como se puede observar en la figura 5, inicia cortando las rocas de superficie, que consiste en un paquete de rocas coherentes donde predominan riolitas y riodacitas de aproximadamente 24 m de potencia. Presentan alteración sericítica, fracturas oxidadas y una dirección de bandeado preferencial. A continuación, se puede observar estas rocas con mayor alteración sericítica, las mismas están en contacto con pizarras negras, las cuales se caracterizan por la presencia de materia carbonosa y venas de cuarzo cristalino.

Seguidamente, a 36 m de profundidad, se puede identificar una fuerte zona de cizalla, la cual se extiende hasta los 71 m de profundidad, aquí aparecen materiales sedimentarios como pizarras negras-grisáceas, rocas coherentes dacitas - riodacitas y rocas vulcanoclásticas, que son en ocasiones rocas fragmentales con intensa alteración sericítica y presencia de sulfuros que aprovechan las zonas de relleno para desarrollarse, los clastos de estas rocas son fragmentos de cristales de plagioclasa y cuarzo, que en ocasiones se observan rotados y con sombras de presión englobados en una matriz sedimentaria.

Inmediatamente después aparece un potente paquete de pizarras negras en su mayoría con presencia de materia orgánica y planos de foliación marcados por sericita. En esta zona se diferencian hasta cinco niveles de sulfuros masivos polimetálicos de hasta tres m de potencia, los cuales se dividen por zonas con semimasivos polimetálicos, stockwork y venas de cuarzo – carbonato.

Pasando la zona mineralizada se puede observar una secuencia sedimentaria caracterizada por pizarras negras y grisáceas con menor alteración y, en ocasiones, venas de cuarzo. Están en contacto mecánico con un paquete de rocas vulcanoclasticas con alteración sericítica media que pasa en ocasiones a rocas de composición riolítica con intensa silicificación.

El sondeo termina con una secuencia intercalada de pizarras negras, grisáceas, verdes y moradas. En la parte inferior de esta secuencia, las pizarras negras parecen presentar signos de deformación con venas sinuosas de cuarzo y poco contenido en carbonatos. Seguidamente una intercalación de pizarras con tonalidades negras y grises donde se observa una foliación preferencial de bajo ángulo. Finalmente aparecen la secuencia de pizarras verdes con venas de cuarzo con clorita y pizarras moradas de granulometría muy fina, sin mayor información a visu, además de su coloración.

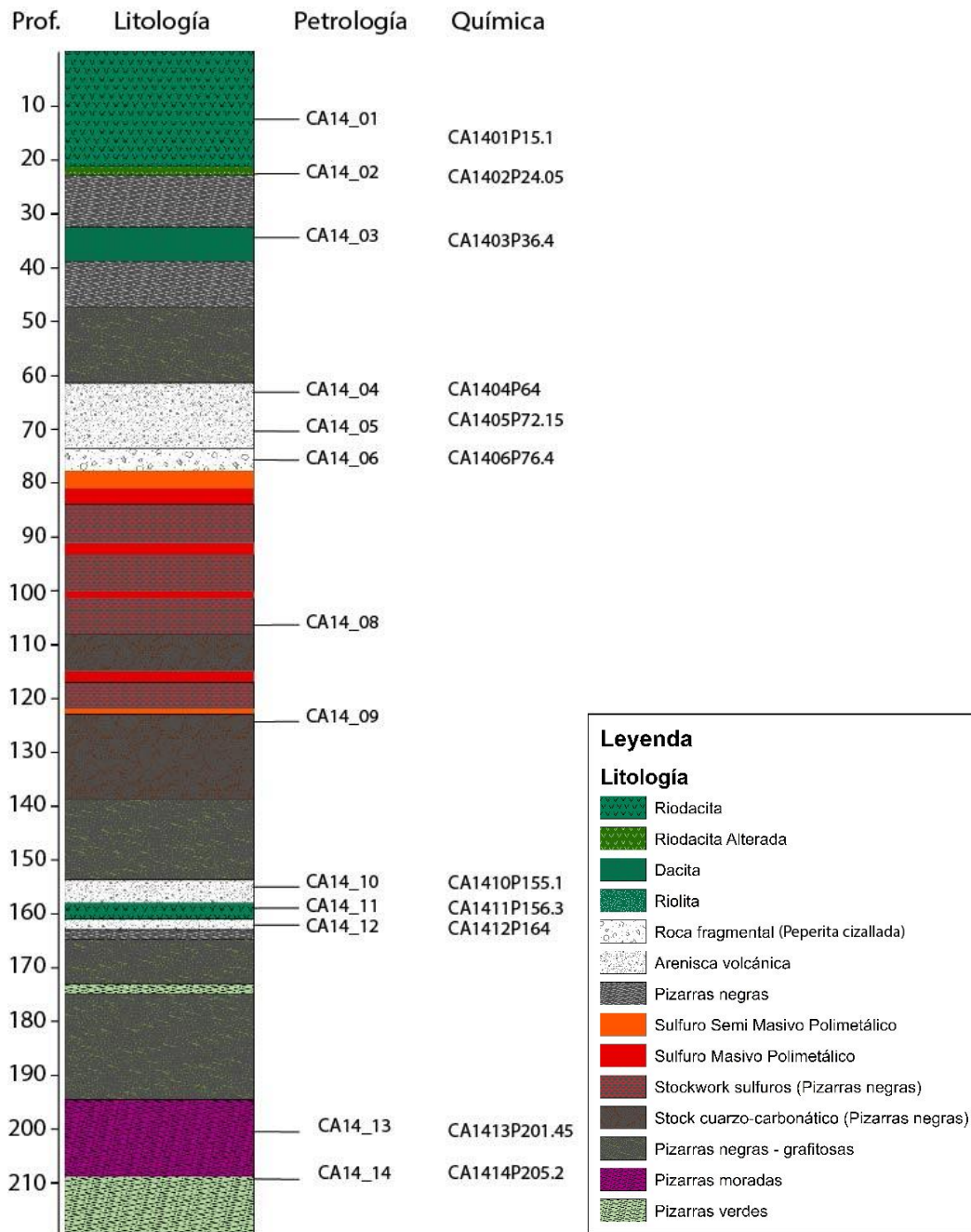


Figura 5. Perfil litológico del sondeo CA14, donde se incluyen los puntos de muestreo y su denominación.

3.2 PETROGRAFÍA

En base a las características mineralógicas y texturales se definen las diversas litologías y alteraciones que las afectan. Para ello se realizó un estudio macroscópico, el cual se completó con un estudio mineralógico de láminas delgadas, donde se destaca que el sondeo intersecta principalmente materiales vulcano-sedimentarios afectados por un metamorfismo de bajo grado y generalizada alteración hidrotermal, principalmente sericitización y silicificación. Las distintas facies litológicas se describen a continuación:

3.2.1 Facies Coherentes

Las facies coherentes son rocas félsicas bandeadas con textura afanítica, pobremente porfídicas, formadas por fenocristales de cuarzo y feldespatos (fundamentalmente plagioclasa albitizada) incluidos en una matriz microcristalina de la misma composición y con fracturación perlítica (muestras CA14_01 y CA14_02; Figuras 5a y 5b). Tanto los fenocristales de feldespato, como la matriz poseen una ligera alteración a sericita que aumenta con la profundidad. Estas rocas están ligeramente cizalladas.

La muestra CA14_03 (Figura 5c) posee una textura afanítica, pero con mayor abundancia de fenocristales subidiomorfos de plagioclasa albitizada, feldespato potásico y, en menor cantidad, de cuarzo incluidos en una matriz microcristalina de similar composición. En este caso no se observa fracturación perlítica. La matriz y algunas plagioclasas muestran una mayor alteración sericítica que las rocas previas. Por último, esta roca muestra evidencias de estar cizallada, puesto que los fenocristales aparecen comúnmente fragmentados y rotados, con sombras de presión.

Facies coherentes félsicas también aparecen a unos 160 m de profundidad (muestra CA14_11; Figura 5d), pero afectadas por una silicificación intensa y con venas de cuarzo con salbandas de albita, y en menor cantidad venillas de carbonatos.

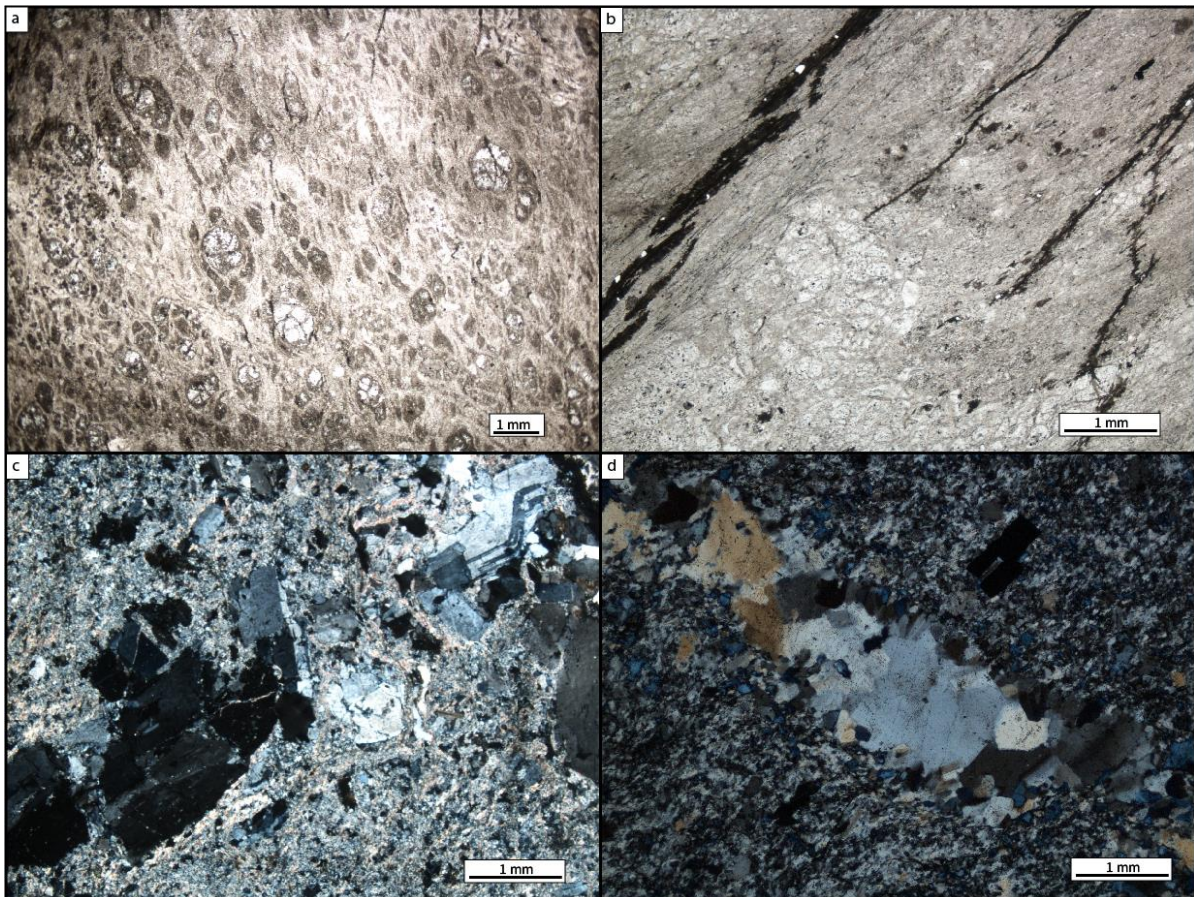


Figura 6. Fotografía microscópica de lámina delgada: a) muestra CA1401: fracturación perlítica en Riodacita; b) muestra CA1402; relictos de fracturación perlítica en riodacita; c) muestra CA1403: plagioclasas deformadas en dacita; d) muestra CA1411: vena de cuarzo con salbanda de albita en riolita silicificada.

3.2.2 Facies Vulcanoclásticas

Aparentemente se trata de rocas fragmentales de composición félsica y de tamaño de grano arena a brecha, pero al hallarse en una zona de cizalla y con una intensa alteración sericítica (y en menor proporción de cuarzo y clorita), su interpretación como vulcanoclástica debería hacerse con precaución dado que los fragmentos de cristales observados podrían corresponder con porfidoclastos. En las muestras CA14_04, CA14_05, CA14_10, CA14_12 (Figuras 7a, 7b y 7c respectivamente) se observa que la alteración ha reemplazado casi por completo la matriz, con algunas pequeñas zonas donde aún se logra diferenciar una matriz cuarzo-feldespática. Se observan sombras de presión en fragmentos de cuarzo y plagioclasa.

La muestra CA14_06 (Figura 7d) en cambio se trata de una roca brechoide con una matriz pizarrosa orientada alterada principalmente a sericita y en menor porcentaje clorita y donde se incluyen clastos de arenisca volcánica sericitizada. Podría corresponder con una peperita cizallada.

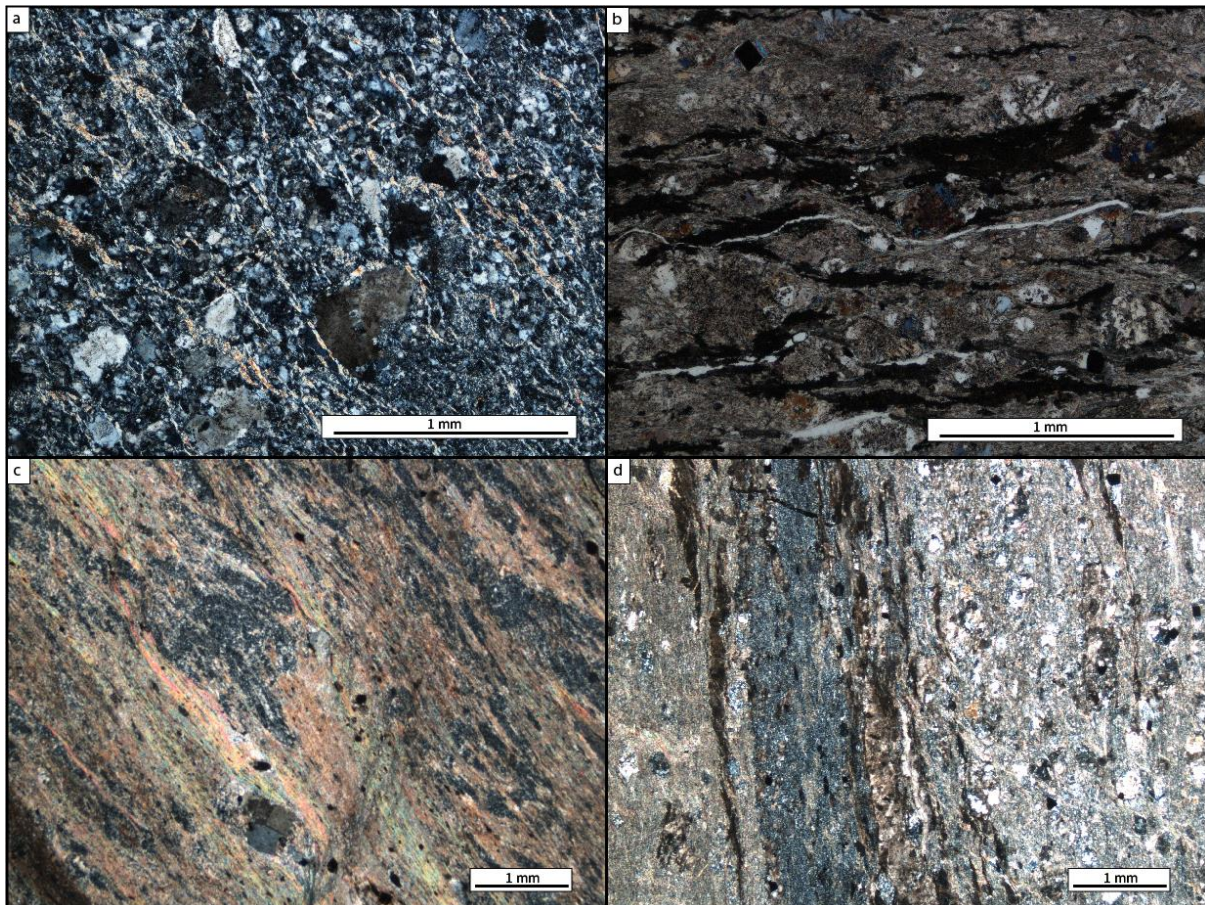


Figura 7. Fotografía microscópica de lámina delgada: a) muestra CA1404: fragmentos nodulares de cuarzo y plagioclasas; b) muestra CA1405: sombras de presión en fragmentos nodulares de cuarzo y plagioclasa; c) muestra CA1410: alteración penetrativa sericítica; d) muestra CA1406: brecha monomíctica, matriz pizarrosa.

3.2.3 Facies Sedimentarias

La componen rocas con textura pizarrosa con material detrítico deformado, principalmente filosilicatos laminares orientados. Generalmente se diferencian por la

presencia o contenido de minerales de alteración, su rasgo más característico es su distinta coloración. Se han distinguido tres litologías descritas a continuación:

- **Pizarras negras**

Son rocas con una granulometría muy fina, y constituyen el nivel portador de los yacimientos de sulfuros masivos. Sobre esta litología se ha observado niveles más claros como venas y rellenos de cuarzo. En ocasiones también presenta carbonatos junto a los que precipitan agregados de sulfuros, y niveles más oscuros con importante presencia de materia carbonosa, como se puede ver en las muestras CA14_08 y CA14_09 (Figuras 8a y 8b, respectivamente).

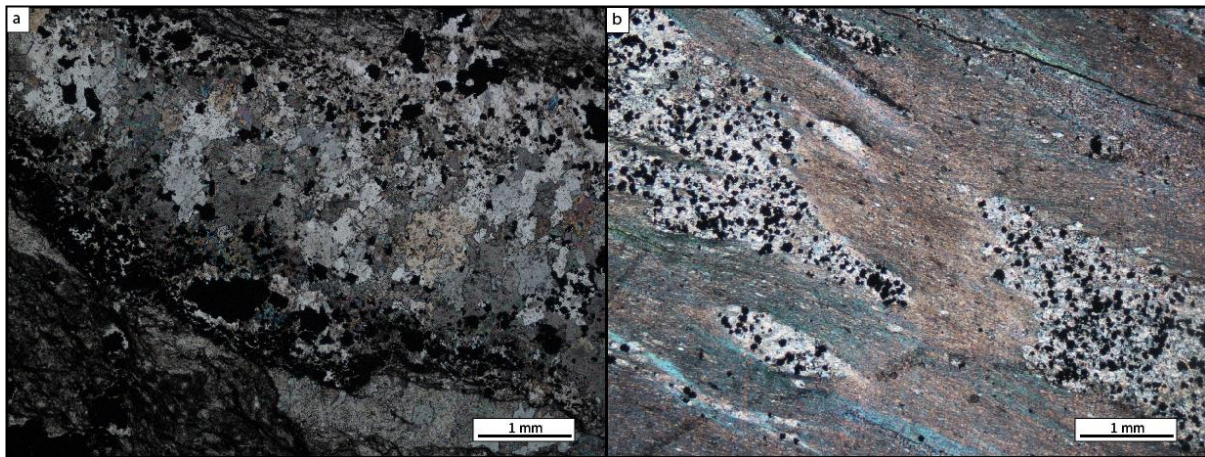


Figura 8. Fotografía microscópica de lámina delgada: a) muestra CA1408: vena de cuarzo con cubos de pirita asociada en pizarra negra; b) muestra CA1409: relleno de cuarzo-carbonato-pirita en pizarra negra.

- **Pizarras moradas**

Se observa en la muestra CA14_13 (Figuras 9a y 9c). Son rocas compuestas por material detrítico, heterogéneo de granulometría muy fina (5-20 μm). En ellas se diferencian planos de foliación los cuales se ven afectados por sericita y óxidos de hierro principalmente, lo que puede influir en su coloración, aunque también se distinguen varios cristales alterados a clorita y algunos cristales de cuarzo enmarcados en una matriz de filosilicatos con una clara orientación preferencial.

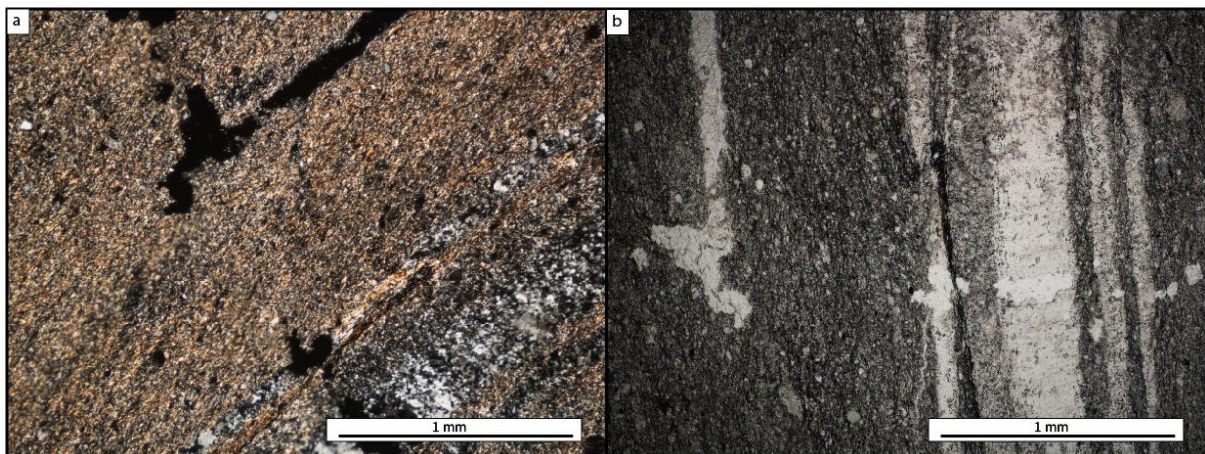


Figura 9. Fotografía microscópica de lámina delgada. Las figuras a y b representan la muestra CA1413, se distingue venas de cuarzo y algunos óxidos en pizarra morada.

- **Pizarras verdes**

Con características similares a las pizarras moradas están compuestas por material detrítico heterogéneo de grano muy fino (5-20 μm). Se pueden observar una mayor cantidad de clorita y varios cristales de cuarzo y calcita. Estos se engloban en una matriz de filosilicatos con una clara orientación. Además se diferencian planos de foliación marcados por una alteración sericita intensa.

Esta litología esta presente en la muestra CA14_14 (Figuras 10a y 10b).

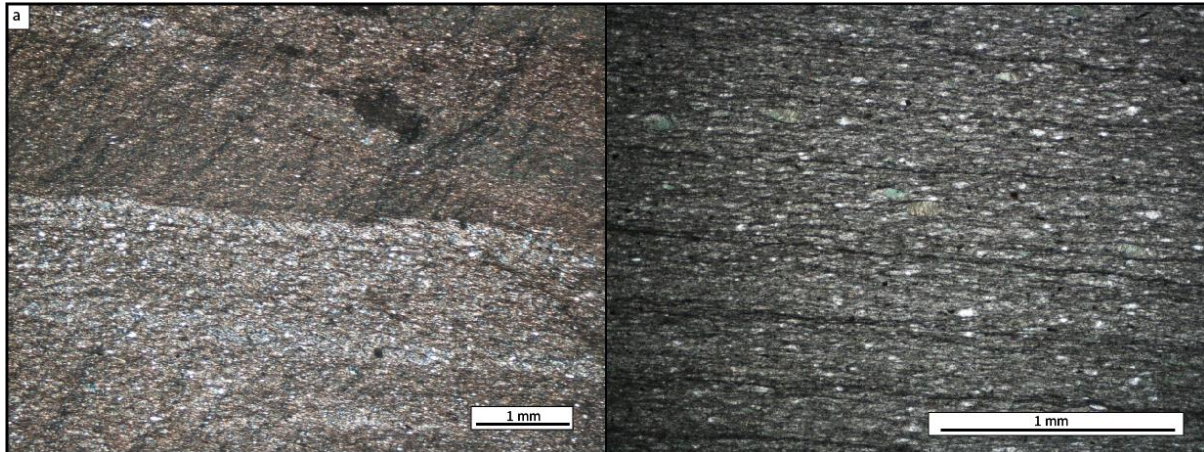


Figura 10. Fotografía microscópica de lámina delgada. Las figuras a y b representan la muestra CA1414, donde se distingue material detrítico y un porcentaje considerado de clorita en pizarras verdes.

3.3 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Tradicionalmente la composición de elementos mayores se usa para la clasificación de rocas volcánicas en términos de petrografía y tectónica (Pearce & Cann, 1973); sin embargo, para rocas alteradas no es posible utilizar el mismo método, ya que los elementos mayores, especialmente Si, Fe, Mg, Ca, Na y K, son elementos móviles durante los procesos de alteración, por lo que afecta significativamente a los resultados al representarlos en diagramas de clasificación. Por ello es necesario utilizar diagramas de clasificación que incluyan elementos inmóviles como el Ti, Zr, Nb y/o Y, puesto que son elementos que no se agregan ni se pierden durante la alteración, ya que aunque sus concentraciones pueden cambiar, sus proporciones entre elementos siguen siendo las mismas (Gifkins, Herrmann, & Large, 2005).

Para la clasificación de las rocas del presente estudio se ha utilizado el diagrama de (Winchester & Floyd, 1977) basado netamente en elementos inmóviles, que utiliza la relación Zr/TiO_2 vs Nb/Y para la representación de los datos de las rocas coherentes y fragmentos de las rocas vulcanoclásticas.

Como se observa en los diagramas (Figura 11), las rocas coherentes abarcan el campo de dacitas/riodacitas con ciertas composiciones diferentes, como es el caso de las muestras CA1401P15.1 y CA1411P156.3, que se encuentran con ligera tendencia al campo riolítico y mayor contenido de la relación Zr/TiO_2 . En cambio, los fragmentos de rocas vulcanoclásticas tienen una composición muy similar y se

ubican muy cerca del límite entre el campo dacita/riodacita y riolita a excepción de la muestra CA1412P164, que presenta un menor contenido en la relación Zr/TiO₂ y mayor contenido en la relación Nb/Y.

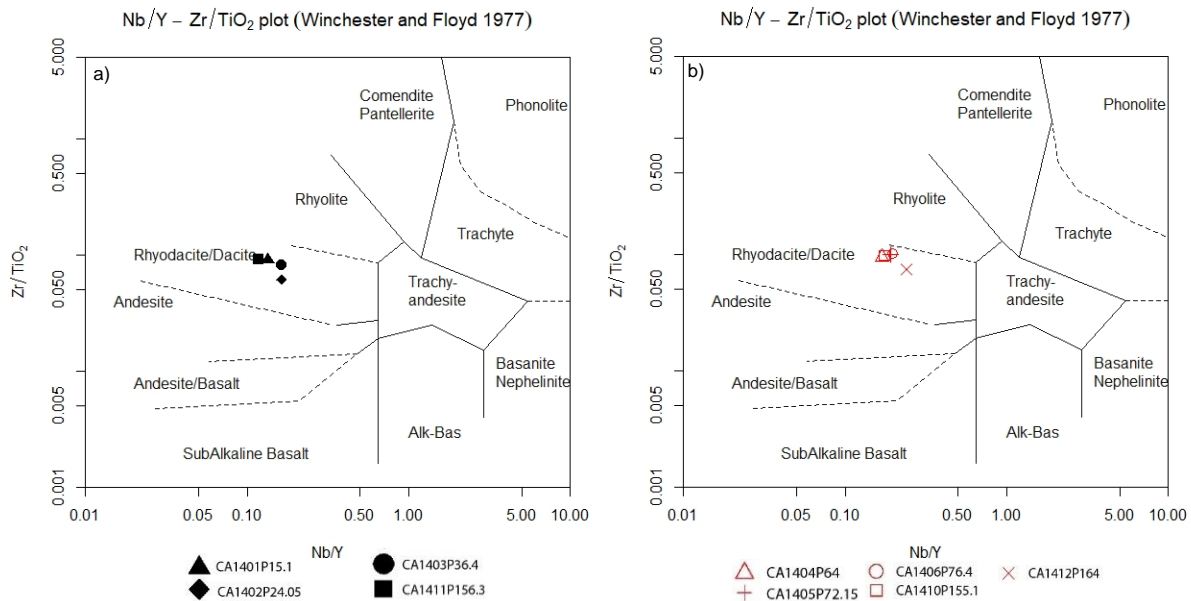


Figura 11. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas (Winchester & Floyd, 1977): a) Rocas de facies coherentes; b) Rocas de facies vulcanoclásticas.

Para conocer la alteración en las rocas seleccionadas se ha utilizado el diagrama bivalente que utiliza el Índice de Alteración (AI), el cual fue desarrollado en los depósitos Kuroko VHMS, Japón, para representar los principales componentes ganados (MgO y K₂O) durante la alteración clorítica y sericítica, y aquellos perdidos (Na₂O y CaO) durante la ruptura de plagioclasa sódica y vidrio volcánico (Ishikawa et al., 1976). Por otra parte, el índice CCPI (Índice de clorita-carbonato-pirita) sirve para reflejar la presencia de la clorita, los carbonatos de Fe-Mg y pirita, y nos ayuda a completar el diagrama, el cual se utiliza mayormente en las rocas ácidas, como es el caso de nuestra zona de estudio, ya que las rocas básicas, al tener mayor contenido de FeO y MgO, suelen tener valores elevados en CCPI (Gifkins et al., 2005).

En el diagrama de la figura 12 se representan la alteración que afecta las secuencias coherentes, vulcanoclásticas y sedimentarias. Como resultado se puede observar que las facies coherentes representadas por las muestras CA1401P15.1 y CA1402P24.05 tienen tendencia hacia el campo de la sericita, mientras que la muestra CA1411P156.3 se inclina hacia el campo de albita, lo que corresponde a lo observado en lámina delgada, donde principalmente se observa esta roca afectada por silicificación y venas de cuarzo con salbanda de albita. La muestra CA1403P36.4 permanece en el campo de mínima alteración junto con las facies vulcanoclásticas representadas por la muestra CA1406P76.4, que se encuentra casi

al límite con la zona de sericita más carbonato y la muestra CA1404P64 que presenta una tendencia a una alteración sericítica más cuarzo-feldespática. Las rocas vulcanoclásticas y sedimentarias restantes incluyen además de sericita, porcentajes de clorita y pirita con mayores valores de AI y CCPI.

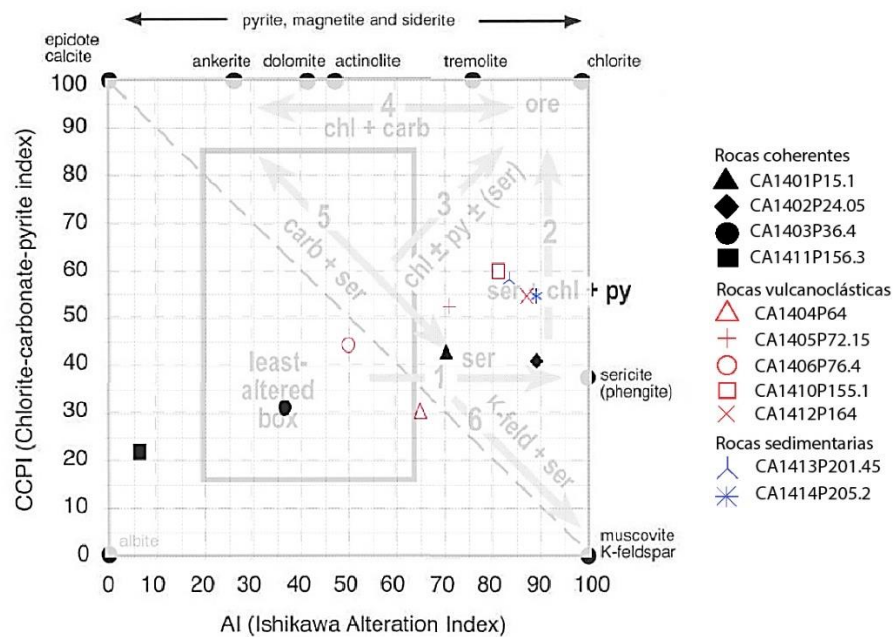


Figura 12. Diagrama de alteración AI vs CCPI

Finalmente se analiza la geoquímica de REE. Para ello se utilizan los patrones normalizados de REE frente a contenidos condriticos, ya que estudios han demostrado que hay una variación en el comportamiento de REE cuando éstas se ven afectadas por alteración, de modo que las HREE suelen ser inmóviles durante la alteración, aunque este no es el caso para las LREE, ya que éstas muestran mayor movilidad a medida que nos acercamos al La en zonas proximales a la alteración asociada a depósitos VHMS (MacLean & Barrett, 1993).

Se analiza por separado las diferentes facies presentes en nuestra zona de estudio, donde podemos observar un ligero fraccionamiento de la LREE sobre las pesadas y una anomalía negativa en Eu. Estos rasgos son más característicos de rocas dacíticas de la FPI.

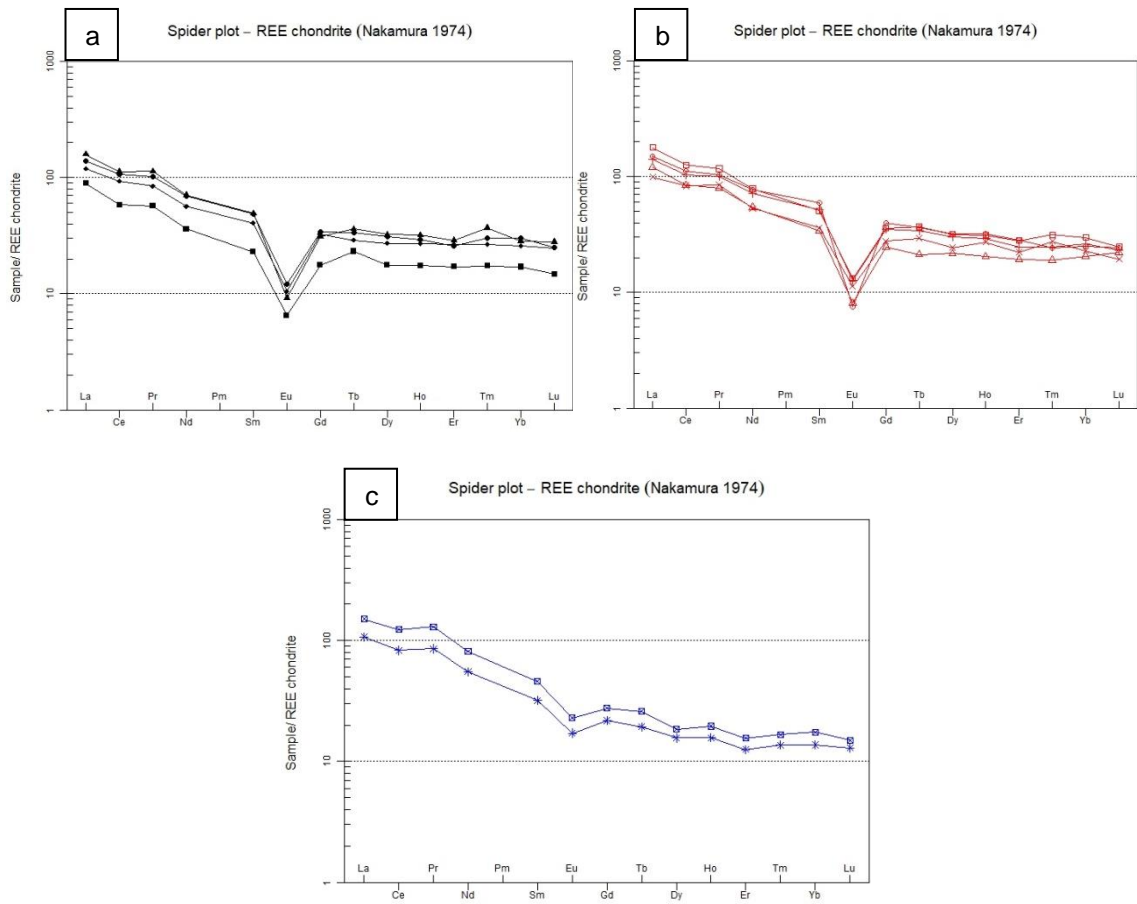


Figura 13. Representación de facies en diagramas de REE normalizadas a condrito: a) facies coherentes; b) facies vulcanoclásticas; c) facies sedimentarias.

3.4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El perfil del sondeo CA14 refleja condiciones diferentes a las descritas en la FPI, ya que el nivel de pizarras moradas aparece claramente en la base del sondeo, incluido en una secuencia sedimentaria intercalada de pizarras verdes y pizarras negras y por encima de éste, zonas con rocas vulcanoclásticas, coherentes y pizarras negras donde se engloba la mineralización.

En la figura 14 se representan perfiles de distintas zonas de la FPI, así como distintas interpretaciones. Se puede observar principalmente la disposición de las pizarras moradas y verdes en la base del perfil litológico (Figura 14a), mencionadas en el presente estudio y la zona mineralizada por encima de éstas. La comparación de esta secuencia con la descrita en otras áreas de la FPI (Leistel et al., 1988; Vera et al., 2004; Donaire et al. 2008) y la deformación observada indica que se halla invertida o también, puede estar afectada por fallas de cabalgamiento, o inclusive ambas. Aunque es necesario un estudio estructural más detallado para complementar esta información y determinar las condiciones que más se acercan a la realidad en la zona.

Los rasgos petrográficos ponen de manifiesto la existencia de una secuencia compuesta por cuerpos ígneos de composición félsica, donde se diferencian facies coherentes y vulcanoclásticas, estos cuerpos están intercalados con niveles pizarrosos, donde son abundantes las pizarras negras con mineralizaciones de sulfuros. La secuencia pizarrosa aumenta hacia la base del sondeo, donde se cortan pizarras moradas y verdes.

Ésta secuencia se encuentra muy deformada, como lo evidencia la existencia de porfidoclastos de plagioclasa y cuarzo que están rotados y con sombras de presión. La deformación se concentra e incrementa su intensidad en diversos sectores, donde se observa además un mayor grado de alteración a sericita en las rocas ígneas (ver diagrama de alteración). Son comunes las venas de cuarzo y carbonatos y, en algunas incluso, se pueden ver que las venas de cuarzo muestran una salbanda de albita y la roca está más silicificada.

La inexistencia de brechas autoclásticas en los contactos de las rocas ácidas con las pizarras negras sugieren que éstas puedan ser interpretadas como sills riolíticos intruidos en una secuencia arcillosa no consolidada. La fracturación perlítica de estas facies coherentes ácidas indica que fueron vítreas y se hidrataron en contacto con un sedimento húmedo

Desde un punto de vista químico tanto las facies coherentes, como las aparentemente vulcanoclásticas, muestran una composición riodacítica muy similar, por lo que debe de haberse tratado de un mismo evento volcánico.

Por otro lado, las pizarras moradas muestran una composición química similar a las verdes. Su diferencia radica en lo observando microscópicamente, las verdes además de sericita tienen un contenido importante de clorita y en las moradas se puede observar algunos óxidos.

Las REE muestran patrones enriquecidos en LREE con respecto a HREE, y poseen una anomalía negativa en Eu en las rocas coherentes y vulcanoclasticas, lo que indica el fraccionamiento de las plagioclasas, esta característica es similar a lo descrito en otras rocas félsicas de la FPI, mientras que, en las facies sedimentarias se observa un ligero enriquecimiento de este elemento en comparación con las otras litologías presentes, indicando probablemente la proximidad de un sistema hidrotermal con base en los criterios establecidos por MacLean & Barrett, 1993.

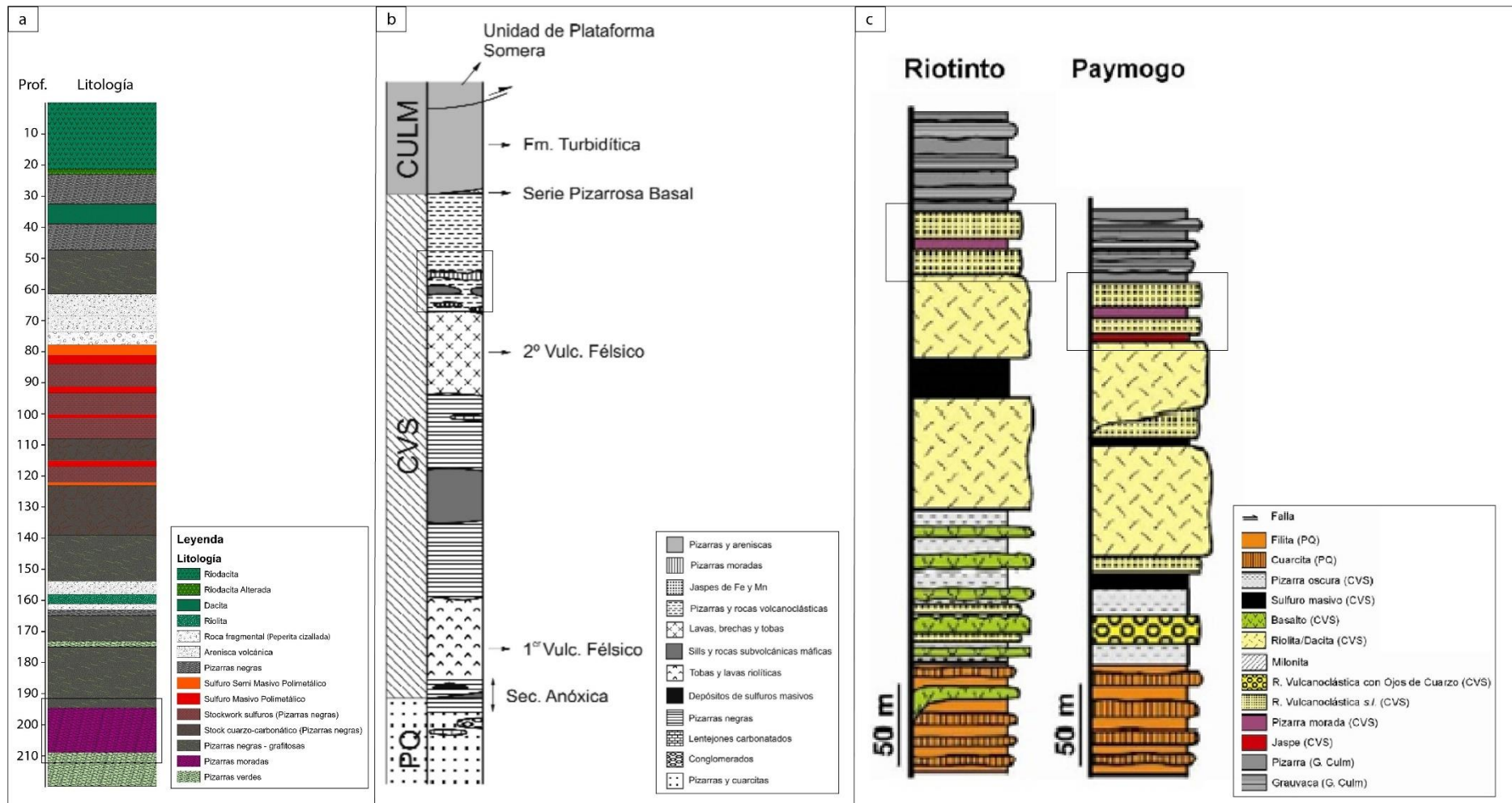


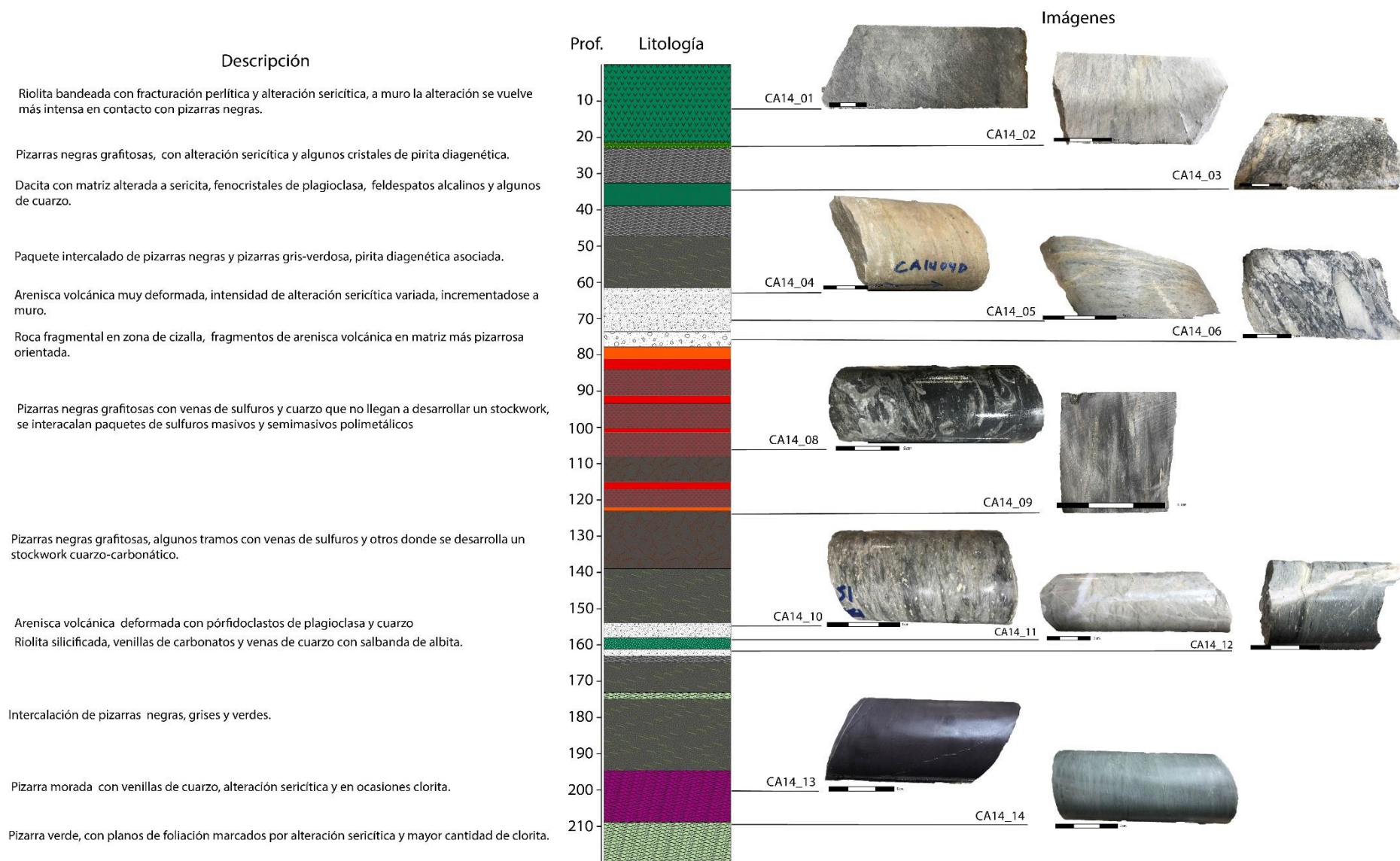
Figura 14. Comparación de perfiles litológicos FPI: a) Perfil litológica sondeo CA14; b) Columna litológica general de la FPI (Vera et al., 2004); c) Columnas litológicas Rio tinto y Paymogo (modificado de Donaire et al., 2008). En los recuadros se distinguen la zona de pizarras moradas en los diferentes perfiles.

BIBLIOGRAFÍA

- Almodóvar, G., Yesares, L., Sáez, R., Toscano, M., González, F., Pons, J., (2019). Massive Sulfide Ores in the Iberian Pyrite Belt: Mineralogical and Textural Evolution. Universidad de Huelva
- Donaire, T., Alonso, F. M., Abad, M., Barba, C., Borrego, J., Cáceres, L. M., . . . Valenzuela, A. (2008). *Geología de Huelva : lugares de interés geológico*: Universidad de Huelva.
- Donaire, T., Toscano, M., Valenzuela, A., González, M. J., & Pascual, E. (2010). Alteración diferencial de las rocas volcánicas ácidas en el sector de Riotinto, Faja Pirítica Ibérica. *Geogaceta*, 147-150.
- Gifkins, C., Herrmann, W. & Large, R. R. (2005). *Altered Volcanic Rocks: A Guide to Description and Interpretation*: Centre for Ore Deposit Research.
- Leistel, J. M., Marcoux, E., Thiéblemont, D., Quesada, C., Sánchez, A., Almodóvar, G., . . . Sáez, R. (1998). The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*, 33, 2-30. doi:10.1007/s001260050130
- MacLean, W. H. & Barrett, T. (1993). Lithogeochemical technique using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration*, 48, 109-133. doi:10.1016/0375-6742(93)90002-4
- Miller, C., Halley, S., Green, G. & Jones, M. (2001). Discovery of the West 45 Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit Using Oxygen Isotopes and REE Geochemistry. *Economic Geology*, 96(5), 1227-1237. doi:10.2113/gsecongeo.96.5.1227 %J Economic Geology
- Pearce, J. & Cann, J. (1973). Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks determined using Trace Element Analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290-300. doi:10.1016/0012-821X(73)90129-5
- Simancas, J. F., (coordinador) (2004). Zona Sudportuguesa. En: *Geología de España* (J. A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 199-223.
- Tornos, F. (2008). La Geología y Metalogénia de la Faja Pirítica Iberica. *Instituto Geológico y Minero de España*.
- Vera, J. A. (editor) (2004): *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 890 p.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343. doi:[https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2)

ANEXOS

5.1 COLUMNA LITOLÓGICA DEL SONDEO CA14




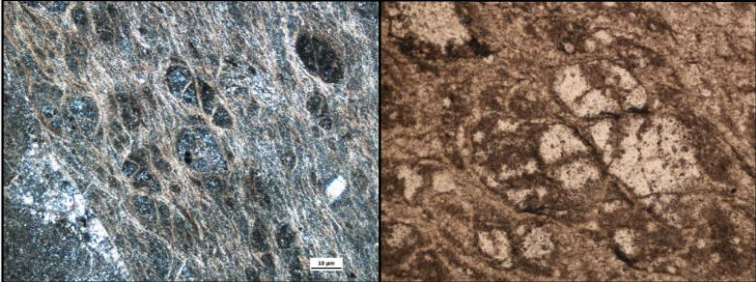
5.2 TABLA DE RESULTADOS GEOQUÍMICOS

ME-MS81	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd
SAMPLE ID	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
CA1401P15.1	363,00	97,00	7,00	8,31	11,10	6,49	0,71	26,70	8,55	6,40	2,23	52,30	0,95	8,76	44,40
CA1402P24.05	375,00	81,10	13,00	8,98	9,35	6,04	0,81	27,90	8,98	7,04	1,88	39,60	0,84	8,71	35,70
CA1403P36.4	374,00	93,00	16,00	5,48	10,60	5,83	0,94	20,40	9,39	9,26	2,05	45,80	0,85	9,90	43,40
CA1404P64	553,00	73,10	<5	10,30	7,46	4,34	0,62	24,80	6,83	6,29	1,43	39,70	0,75	7,13	34,30
CA1405P72.15	2930,00	89,30	<5	11,00	10,40	5,54	0,98	28,40	9,71	5,56	2,06	46,40	0,79	10,60	45,20
CA1406P76.4	2270,00	96,70	<5	10,55	11,05	6,38	0,58	30,50	11,05	5,84	2,24	49,80	0,83	12,05	48,60
CA1410P155.1	787,00	109,00	5,00	13,95	10,90	6,31	1,01	31,40	9,88	6,46	2,19	58,90	0,84	9,62	49,50
CA1411P156.3	21,10	50,50	35,00	0,20	6,06	3,84	0,50	11,20	4,87	4,14	1,22	29,50	0,50	4,37	22,70
CA1412P20164	1850,00	72,20	6,00	18,50	8,39	5,00	0,87	30,70	7,65	8,32	1,90	32,80	0,66	8,90	33,50
CA1413P201.45	610,00	107,00	104,00	18,85	6,35	3,50	1,77	33,70	7,61	5,18	1,37	49,80	0,51	18,15	51,30
CA1414P205.2	456,00	71,70	82,00	12,60	5,37	2,82	1,32	26,50	6,02	4,36	1,10	35,40	0,44	15,10	34,80

ME-MS81	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr
SAMPLE ID	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
CA1401P15.1	12,65	178,50	9,98	5,60	40,40	0,90	1,70	27,20	1,11	4,84	9,00	4,50	65,00	6,21	189,00
CA1402P24.05	9,45	217,00	8,23	7,30	16,00	0,90	1,36	16,60	0,80	4,15	18,00	5,60	53,20	5,69	220,00
CA1403P36.4	11,50	118,00	9,81	5,70	156,00	0,90	1,58	23,30	0,91	5,05	22,00	8,90	61,30	6,68	302,00
CA1404P64	8,89	103,50	6,88	4,40	227,00	0,80	1,00	23,40	0,57	4,35	13,00	1,00	42,20	4,52	190,00
CA1405P72.15	11,30	140,00	10,55	6,40	228,00	1,00	1,60	18,20	0,74	2,79	10,00	1,30	55,40	5,81	159,00
CA1406P76.4	11,70	126,50	12,15	6,10	282,00	1,00	1,71	19,95	0,73	11,00	14,00	1,40	61,40	5,50	171,00
CA1410P155.1	13,15	205,00	10,30	8,10	168,50	0,90	1,73	27,00	0,94	3,99	7,00	1,30	54,90	6,56	195,00
CA1411P156.3	6,40	1,70	4,67	1,70	120,00	0,50	1,09	15,90	0,52	3,14	<5	2,00	37,10	3,75	118,00
CA1412P20164	9,51	283,00	7,32	8,70	82,70	0,90	1,38	23,70	0,83	0,81	22,00	4,70	37,10	5,06	200,00
CA1413P201.45	14,55	286,00	9,32	4,50	144,50	1,10	1,22	12,10	0,50	2,83	155,00	4,90	29,50	3,85	173,00
CA1414P205.2	9,58	190,00	6,49	4,40	98,80	1,10	0,91	11,45	0,41	2,31	135,00	3,50	23,90	3,02	153,00

ME-ICP06	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	Cr2O3	TiO2	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Total
SAMPLE ID	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CA1401P15.1	69,30	16,00	1,98	0,46	2,56	2,15	3,58	<0,002	0,21	0,02	0,03	<0,01	0,04	3,31	99,64
CA1402P24.05	70,10	16,55	2,41	0,70	1,45	0,11	5,05	0,00	0,36	0,12	0,06	<0,01	0,04	3,99	100,94
CA1403P36.4	67,40	17,80	2,76	0,92	0,95	5,05	2,48	0,00	0,37	0,12	0,06	0,01	0,04	3,79	101,75
CA1404P64	74,70	15,25	0,78	1,08	1,00	1,00	2,83	<0,002	0,20	0,03	0,02	0,02	0,06	4,10	101,07
CA1405P72.15	65,40	17,55	3,55	1,28	1,62	0,83	3,51	<0,002	0,16	0,14	0,04	0,02	0,33	5,97	100,40
CA1406P76.4	59,20	18,85	2,62	2,53	1,87	2,33	2,94	<0,002	0,17	0,15	0,04	0,03	0,25	7,44	98,42
CA1410P155.1	63,10	18,65	3,16	0,66	3,90	1,06	3,44	<0,002	0,20	0,06	0,04	0,01	0,09	4,84	99,21
CA1411P156.3	80,70	11,20	1,50	0,38	0,38	6,07	0,04	0,01	0,13	0,03	0,01	0,01	<0,01	1,05	101,51
CA1412P20164	57,60	22,20	3,99	0,80	3,49	0,52	5,35	<0,002	0,27	0,24	0,04	<0,01	0,22	5,38	100,10
CA1413P201.45	54,90	22,80	7,80	0,14	0,94	0,70	5,88	0,01	0,96	0,05	0,12	0,01	0,07	3,85	98,23
CA1414P205.2	60,90	20,30	6,54	0,36	1,53	0,85	4,50	0,01	0,85	0,34	0,12	0,01	0,05	3,79	100,15

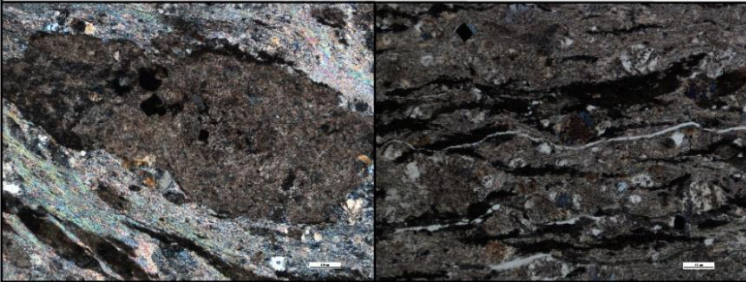
5.3 FICHAS TÉCNICAS LÁMINAS DELGADAS

Muestra	CA14_01	
Facies	Coherente	
Litología	Riodacita	
Textura	Afanítica	
Alteración	Sericítica media	
Descripción	<p>Roca deformada con matriz microcristalina felsítica de cuarzo y en menor porcentaje plagioclasa principalmente alterada a sericita, con algunos fenocristales pseudomorfos de plagioclasa. Se distingue su fracturación perlítica generalizada y planos de foliación marcados por sericita.</p>	


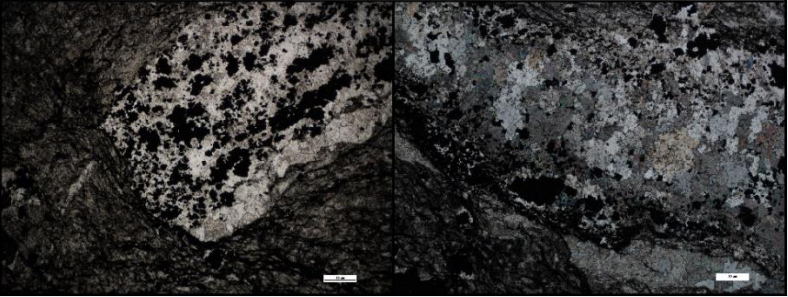
Muestra	CA14_02	
Facies	Coherente	
Litología	Riodacita alterada	
Textura	Afanítica	
Alteración	Sericítica intensa	
Descripción	<p>Roca con matriz microcristalina felsítica de cuarzo y plagioclasas, con algunos fenocristales pseudomorfos de plagioclasa, presenta alteración sericítica intensa generalizada (matriz y clastos) que dificulta la definición de un protolito, aunque aún se observan zonas con relictos de fracturación perlítica que refleja características de una facie coherente.</p>	

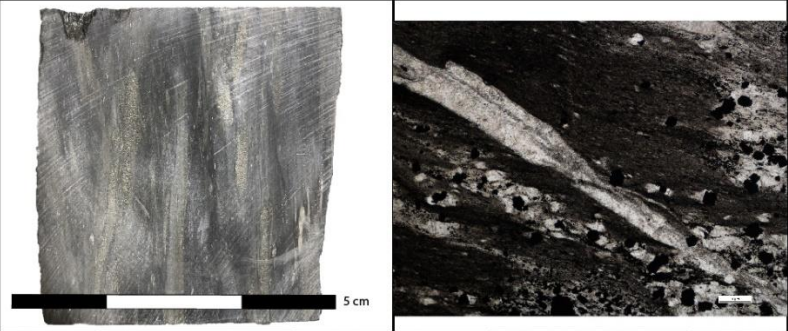
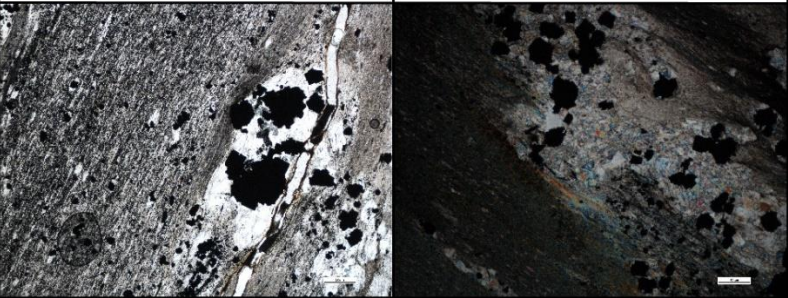
Muestra	CA14_03	
Facie	Coherente	
Litología	Dacita	
Textura	Afanítica porfídica.	
Alteración	Sericítica media	
Descripción	<p>Roca con matriz microcristalina de plagioclasa y cuarzo, fenocristales subhedrales de plagioclasa, feldespato alcalino y en menor cantidad cuarzo, algunos cristales se encuentran fracturados, lo que puede indicar un esfuerzo mecánico durante la deformación tectónica. La alteración sericítica afecta principalmente a la matriz, aunque se observan varios cristales también alterados.</p>	



Muestra	CA14_04	
Facie	Vulcanoclástica	
Litología	Arenisca volcánica	
Alteración	Sericítica media	
Descripción	<p>Roca con matriz cuarzo-sericítica orientada. Su alteración intensa dificulta la definición de un protolito, aunque se observan algunos fragmentos de cuarzo y cristales cúbicos de pirita.</p>	

Muestra	CA14_05	
Facie	Vulcanoclástica	
Litología	Arenisca volcánica	
Alteración	Sericítica intensa	
		
Descripción	Roca intensamente deformada, con matriz de cuarzo y alteradas a sericita, fragmentos de cristales de cuarzo y plagioclasa. Se observan algunos cristales cúbicos de pirita.	

Muestra	CA14_06	
Facie	Vulcanoclástica	
Litología	Peperita cizallada	
Alteración	Sericítica intensa	
		
Descripción	Roca fragmental en zona de cizalla que parece afectar un material sedimentario. Se observan fragmentos de una roca con las características de una arenisca volcánica, los mismos están englobados en una matriz pizarrosa orientada alterada principalmente a sericita y en menor porcentaje a clorita.	

Muestra	CA14_08	
Facie	Sedimentaria	
Litología	Pizarra negra	
Alteración	Clorita media, Sericítica baja	
Descripción	Roca deformada con textura pizarrosa. Se observa material detrítico e importante presencia de materia carbonosa; además se distinguen rellenos de carbonatos y cuarzo donde precipitan agregados de cubos de pirita.	


Muestra	CA14_09	
Facie	Sedimentaria	
Litología	Pizarra negra	
Alteración	Sericítica media	
Descripción	Roca de matriz muy fina deformada con textura pizarrosa bandeada con filosilicatos laminares y presencia de materia carbonosa. Contiene niveles detríticos más claros con tamaño arena de cuarzo y feldespatos alterados a sericita, donde posteriormente precipitan agregados de cubos de pirita gracias a la porosidad de estas zonas.	

Muestra	CA14_10	
Facie	Vulcanoclástica	
Litología	Arenisca volcánica	
Alteración	Sericítica intensa	
		
Descripción	Roca intensamente deformada, con sombras de presión en porfidoclastos de plagioclasa y cuarzo. Presenta zonas donde aún se observa su matriz cuarzo feldespática y otras zonas donde ésta ha sido reemplazada por sericita.	

Muestra	CA14_11	
Facie	Coherente	
Litología	Riolita	
Textura	Afanítica	
Alteración	Silicificación intensa	
Descripción	Roca con matriz microcristalina altamente silicificada. Se observa una presencia importante de venas de cuarzo con salbanda de albita, en menor porcentaje venillas más finas de carbonatos y algunos cristales cúbicos de opacos posiblemente pirita.	

Muestra	CA14_12	
Facie	Vulcanoclástica	
Litología	Arenisca volcánica	
Alteración	Sericítica intensa	
		
Descripción	<p>Roca muy deformada con planos de foliación marcados por alteración penetrativa sericítica. Se observan sombras de presión sobre varios cristales pseudomorfos de plagioclasa alterados a sericita. Su elevada deformación dificulta la definición de un protolito, aunque sus características texturales indica un origen más sedimentario.</p>	

Muestra	CA14_13	
Facie	Sedimentaria	
Litología	Pizarra morada	
Alteración	Sericítica media	
		
Descripción	<p>Roca compuesta por material detrítico heterogéneo de grano fino. Se pueden observar algunos cristales alterados a clorita y varios cristales de cuarzo enmarcados en una matriz de filosilicatos con clara orientación. Los planos de deformación se ven afectados por sericita y óxidos de hierro.</p>	

Muestra	CA14_14	
Facie	Sedimentaria	
Litología	Pizarra verde	
Alteración	Sericítica intensa, Clorita media	
Descripción	<p>Roca compuesta por material detrítico heterogéneo de grano muy fino. Se pueden observar algunos cristales de clorita y cuarzo. Éstos se engloban en una matriz de filosilicatos con clara orientación que define su S1. Se observa algunos cristales nodulares de cuarzo y calcita, y planos de deformación marcados por sericita.</p>	