

GRADO EN GEOLOGÍA

# Prácticas de Petrología

Universidad De Granada

Departamento De Mineralogía Y Petrología

Jane H. Scarrow, Concepción Lázaro,

Aitor Caminos, Antonio García-Casco, Fernando Bea

# PRÁCTICAS DE PETROLOGÍA

© 2014 Editorial Universidad De Granada

Campus Universitario De Cartuja

Colegio Máximo S/N

18071

Granada

Spain

ISBN: 978-84-338-5637-1

D. L.: GR 596-2014

Para obtener la versión en formato 'iBooks' pónganse en contacto con Jane H. Scarrow [jscarrow@ugr.es](mailto:jscarrow@ugr.es)

1.

# Introducción

## Contenido

---

- **Objetivos**
- **Competencias**
- **Metodología**
- **Programa de prácticas**
- **Evaluación**
- **Bibliografía**



*Estrómboli, uno de los volcanes más activos de Europa, CC Image courtesy of mark i geo on Flickr*

En este capítulo se tratan los aspectos didácticos referentes a las prácticas de la asignatura de Petrología del 3º curso del Grado en Geología de la Universidad de Granada.

# Objetivos y Competencias

Los objetivos de las prácticas de la asignatura de Petrología son:

1. Introducir al estudiante en el estudio y conocimiento de rocas ígneas y metamórficas desde un punto de vista práctico.
2. Identificar los minerales principales que constituyen las rocas ígneas y metamórficas y las relaciones que se establecen entre ellos.
3. Identificar y clasificar ambos tipos de rocas.
4. Realizar un estudio petrológico que permita deducir las condiciones de formación y los procesos que originaron estas rocas.

Las competencias que se pretenden desarrollar y que, de modo oficial, se recogen en [el documento VERIFICA](#) para la asignatura de Petrología en el Grado en Geología en la Universidad de Granada son:

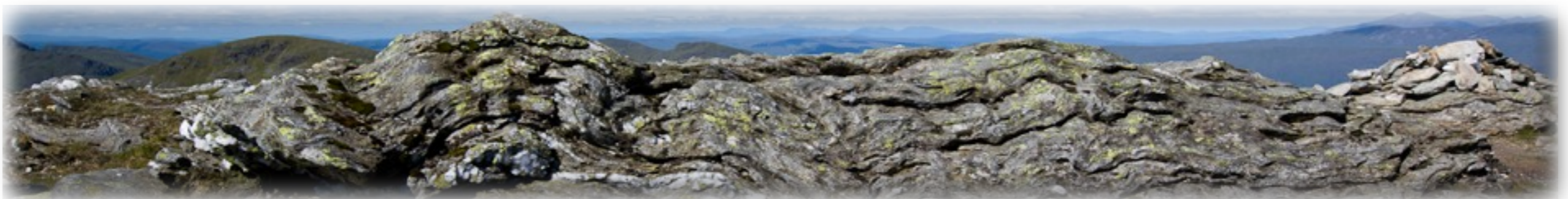
CG 2 Capacidad para pensar reflexivamente.

CG 8 Habilidades de comunicación oral y escrita.

CE-2A. Reconocer los minerales, las rocas y sus asociaciones, los procesos que las generan y su dimensión temporal. Saber utilizar las técnicas de correlación y su interpretación.

CE-2B. Reconocer, representar y reconstruir estructuras tectónicas y los procesos que las generan. Saber correlacionar las características de las rocas con los procesos petrogenéticos. Saber relacionar tipos de rocas con ambientes geodinámicos.

CE-5A. Preparar, procesar, interpretar y presentar datos usando las técnicas cualitativas y cuantitativas adecuadas, así como los programas informáticos apropiados.



*Ben Vane es una montaña en los Southern Highlands, Escocia, CC Image courtesy of Calypso Orchid on Flickr*

# Metodología

Las prácticas de laboratorio consisten fundamentalmente en sesiones dedicadas al examen al microscopio y de muestras de mano de los principales grupos de rocas ígneas y metamórficas, con énfasis en su clasificación, y en la aplicación de criterios texturales para la identificación de las asociaciones minerales.

## Actividades a realizar por el alumno.

El esquema básico para las sesiones de prácticas se apoya en el trabajo previo del alumno realizando las actividades prescritas en los guiones de las sesiones de trabajo prácticas y los seminarios y en el trabajo posterior al desarrollo en si de la sesión práctica a través de las actividades de refuerzo propuestas en cada guión. Para el desarrollo de esta tarea se recomienda la siguiente secuencia:

1. Lectura de la información contenida en los capítulos introductorios y en los materiales complementarios que se incluyen en este libro.
2. Realización de las actividades en el orden propuesto:
  - a) Búsqueda de la información solicitada
  - b) Subrayado de los párrafos correspondientes
  - c) Anotación en hoja aparte de:
    - Reflexiones personales
    - Dudas o dificultades de comprensión, terminología, etc.
  - d) Realización de los ejercicios de aplicación de cada tema.

## Actuación del profesor

1. Durante la clase, se realizará una breve introducción a la sesión práctica a llevar a cabo y el profesor responderá a las preguntas que se le planteen, aclarará las dudas suscitadas durante el trabajo personal del alumno y ampliará información sobre aspectos complementarios.
2. Asimismo presentará modelos, propondrá ejercicios de aplicación individuales o en grupo y efectuará demostraciones con equipos y materiales.



*Microscopio de año 1843, Andrew Ross de London.*

*CC Image courtesy of Canada Science and Technology Museum on Flickr*

# Programa de Prácticas

---

**Sesión 1:** Seminario 1. Cálculo de la Norma CIPW .

**Sesión 2:** Seminario 2. Nomenclatura y textura de las rocas ígneas.

**Sesión 3:** Práctica 1. Rocas ígneas ultramáficas.

**Sesión 4:** Práctica 2. Rocas ígneas máficas.

**Sesión 5:** Práctica 3. Rocas ígneas intermedias.

**Sesión 6:** Práctica 4. Rocas ígneas ácidas.

**Sesión 7:** Práctica 5. Rocas ígneas alcalinas.

**Sesión 8:** Seminario 3. Clasificación y nomenclatura de las rocas metamórficas.

**Sesión 9:** Seminario 4. Criterios texturales para la identificación de las asociaciones minerales y para la secuenciación de las asociaciones minerales metamórficas.

**Sesión 10:** Práctica 6. Rocas metamórficas de composición ultrabásica (Metaultrabasitas).

**Sesión 11:** Práctica 7. Rocas metamórficas de composición carbonática (Metacarbonatos).

**Sesión 12:** Práctica 8 y 9. Rocas metamórficas de composición pelítica (Metapelitas y gneises).

**Sesión 13:** Práctica 10. Rocas metamórficas de composición básica (Metabasitas)

# Evaluación

Las prácticas de Petrología serán evaluadas de modo final. Se examinará el día del examen final y el examen consistirá en el análisis al microscopio de las correspondientes rocas ígneas y metamórficas, en muestra de mano y secciones delgadas. La entrega de las actividades previas, de desarrollo y de refuerzo, el grado de implicación y la actitud del estudiante serán evaluadas.

## Criterios de evaluación

1. Constatación del dominio de los contenidos, teóricos y prácticos, y elaboración crítica de los mismos.
2. Valoración de los trabajos realizados, individualmente o en equipo, atendiendo a la presentación, redacción y claridad de ideas, estructura y nivel científico, creatividad, justificación de lo argumentado, capacidad y riqueza de la crítica que se hace.
3. Grado de implicación y actitud del alumnado manifestada en su participación en las consultas, exposiciones y debates; así como en la elaboración de los trabajos, individuales o en equipo, y en las sesiones de puesta en común.

CC Image courtesy of Alberto G on Flickr



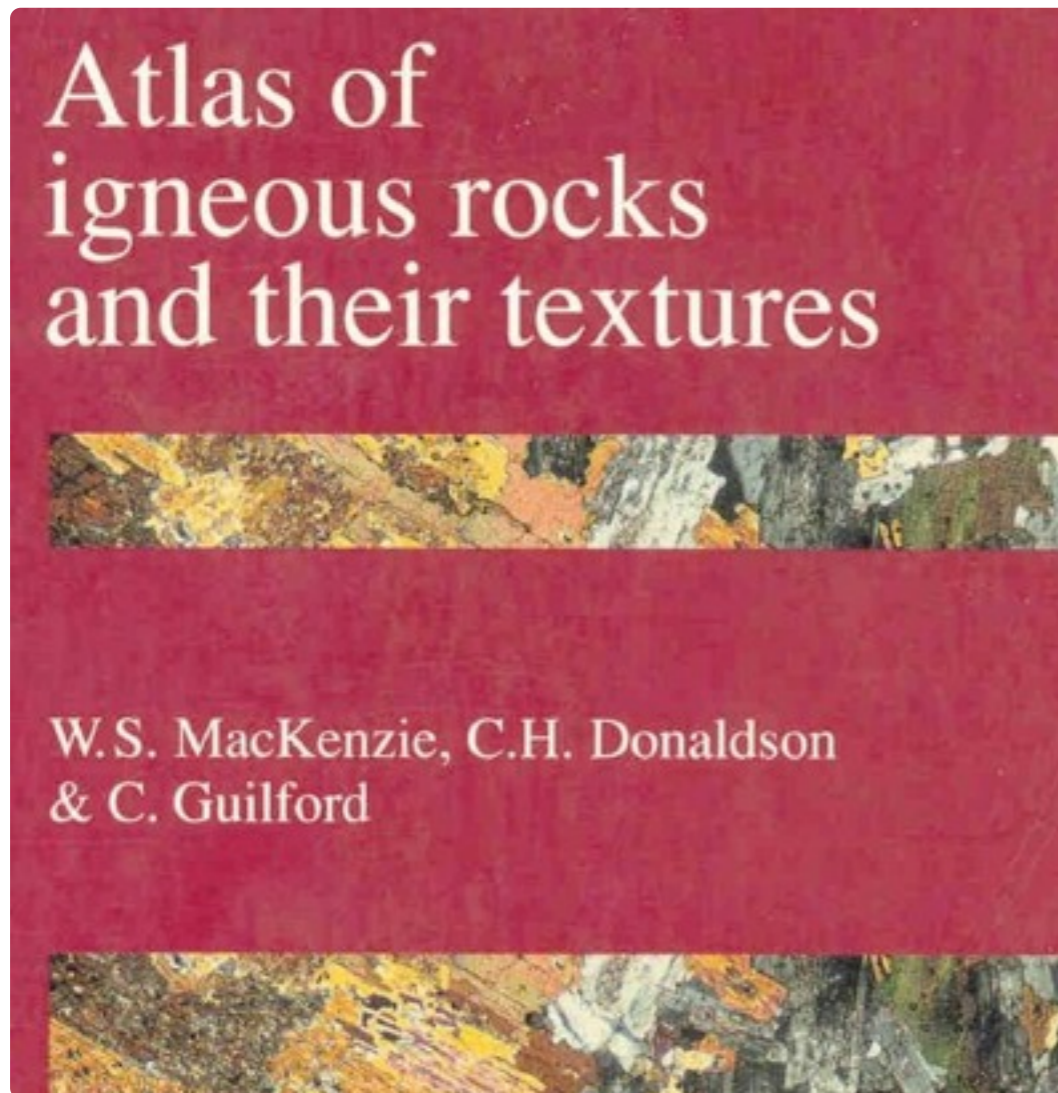
4. Asistencia a clase, seminarios, tutorías, sesiones de grupo.

## Instrumentos de evaluación

1. Pruebas evaluadoras (exámenes escritos).
2. Análisis de los materiales procedentes del trabajo individual y grupal (informes, cuaderno de prácticas, etc.)

# Bibliografía

## Libros recomendados



*Atlas de rocas ígneas y sus principales texturas.*

• •

1. Bard, J.P., 1987, Microtexturas de rocas magmáticas y metamórficas. Masson.
2. MacKenzie, W.S., Donaldson, C.H., Guilford, C., 1982, Atlas de rocas ígneas y sus texturas. Masson, Barcelona.
3. MacKenzie, W.S., Guilford, C., Yardley, B.W.D., 1990, Atlas of metamorphic rocks and their textures. Longman.
4. MacKenzie, W.S., Adams, A.E., 1997, Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada. Masson, Barcelona.



## 2.

# Mineralogía de las rocas ígneas y metamórficas

## Contenido

---

- **Características de los silicatos**
- **Propiedades ópticas de los minerales**
- **Principales minerales en rocas ígneas y metamórficas**



*Olivino, CC Image courtesy of Gero Doblouaut on Flickr*

La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales define mineral como “Sólido estructuralmente homogéneo y de composición química definida, originado por procesos naturales, generalmente inorgánicos. Es el componente fundamental de las rocas, pero puede aparecer aisladamente. Suele tener estructura cristalina, presentándose cristalizado o amorfo, y su origen puede ser ígneo, sedimentario o metamórfico.”

Una solución sólida es una fase sólida homogénea que posee una estructura cristalina en la que determinados lugares atómicos están ocupados aleatoriamente y en proporción variable por dos o más elementos químicos diferentes.

# Características de los silicatos

Los silicatos se caracterizan por la existencia de átomos de silicio coordinados tetraédricamente a átomos de oxígeno. La gran variedad que se conoce se debe a que los tetraedros de silicio pueden estar aislados o formando agrupaciones discretas, o polímeros de extensión indefinida, por unión de vértices de los tetraedros, al compartir átomos de oxígeno y, en este caso, por la diversidad de maneras de compartirlos. Los aspectos estructurales están relacionados con las propiedades y a la vez con la clasificación de los silicatos en subclases y la subdivisión de estas en grupos.



*La epidota es un sorosilicato hidratado de hierro, aluminio y calcio  
CC Image courtesy of Ron Wolf on Flickr*

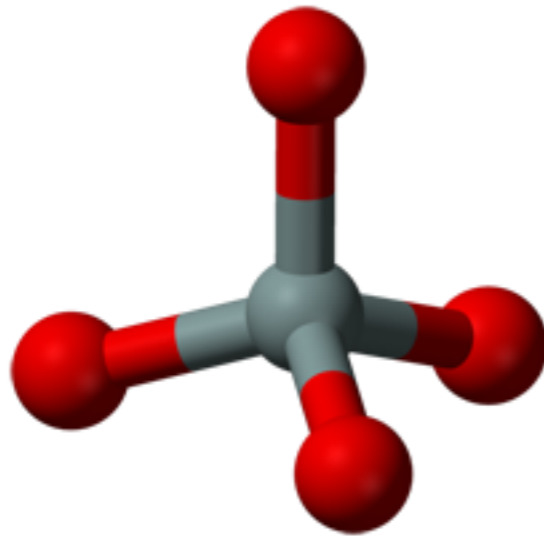
La fórmula general de los silicatos, es  $X_m Y_n (Z_p O_q) W_r$ , siendo X, cationes de gran tamaño de número de coordinación VIII o más (p.e.:  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ); Y, cationes de tamaño medio y número de coordinación VI (p.e.:  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ); Z, iones de pequeño tamaño y número de coordinación, IV (p.e.:  $Si^{4+}$ ,  $Al^{3+}$ ); O es el oxígeno; y W son los grupos aniónicos adicionales (p.e.:  $[OH]^-$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ ).

[Rocking Around the Silicates](#)

## NESOSILICATOS: (Neso. gr. isla)

Los nesosilicatos tienen una estructura en tetraedros aislados unidos entre sí por cationes. Hay un átomo de silicio (en el centro de los tetraedros), por cada cuatro átomos de oxígeno. Los nesosilicatos no comparten ningún oxígeno entre tetraedros  $\text{SiO}_4^{4-}$ . La unión entre tetraedros se establece mediante enlaces iónicos a través de diferentes cationes ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,...). El empaquetamiento atómico de los nesosilicatos es generalmente denso, lo que hace que los minerales de este grupo tengan una dureza y peso específico relativamente elevados.

Ej.: [Olivino](#), [granate](#), [andalucita](#), [sillimanita](#) ...



*Estructura del tetraedro de  $\text{SiO}_2$  en los tectosilicatos.*

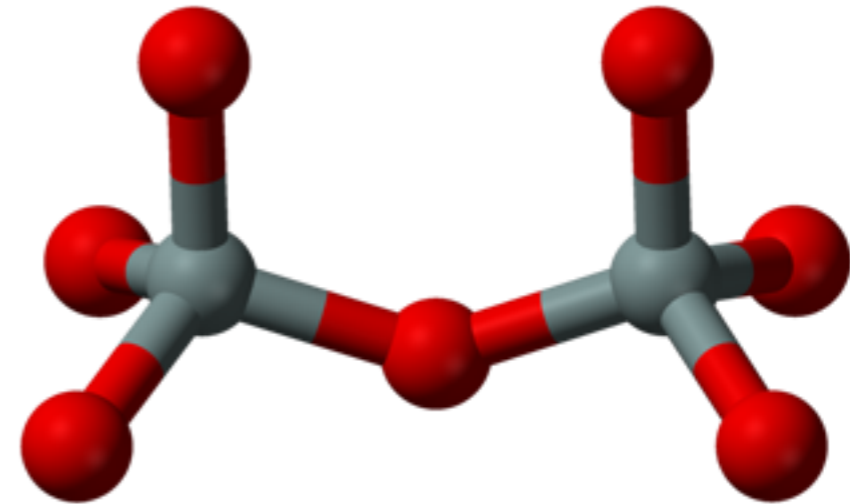
*CC Image courtesy of Wikipedia*

• • •

## SOROSILICATOS: (Soro. gr. hermano)

Los sorosilicatos tienen estructuras donde se unen dos tetraedros, por lo que hay dos átomos de silicio por cada siete átomos de oxígeno. El grupo aniónico es  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ . Son estructuras que también funcionan como radicales isla, pero de dos tetraedros. Son los silicatos más grandes.

Ej.: [Epidota](#), [zoisita](#) ...



*Estructura del tetraedro de  $\text{SiO}_2$  en los sorosilicatos*

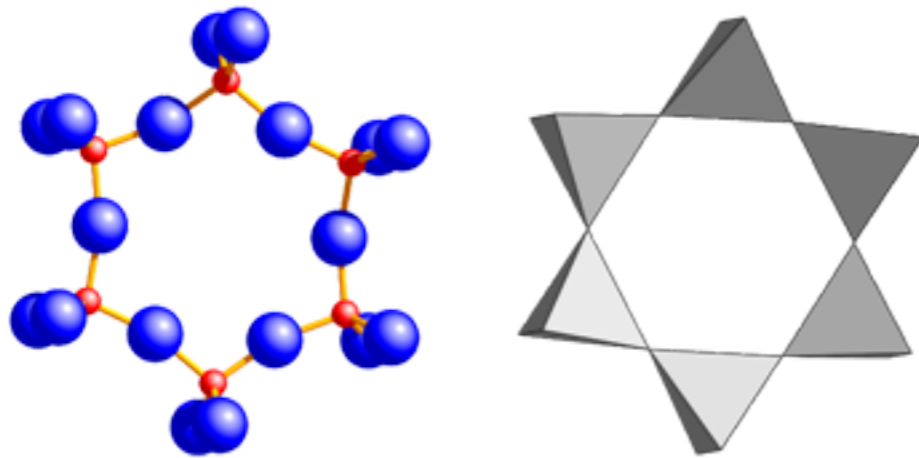
*CC Image courtesy of Wikipedia*

• •

## CICLOSILICATOS: (Ciclo. gr. círculo)

Se dan estructuras en anillos, donde los tetraedros comparten dos oxígenos. Los anillos pueden ser de tres (radical aniónico:  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ ), cuatro (radical aniónico:  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ ) o seis (radical aniónico:  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ ) tetraedros. Estas estructuras, también actúan como radicales isla.

Ej.: Turmalina, cordierita, berilo ...



*Estructura de los tetraedros de  $\text{SiO}_2$  en los ciclosilicatos*

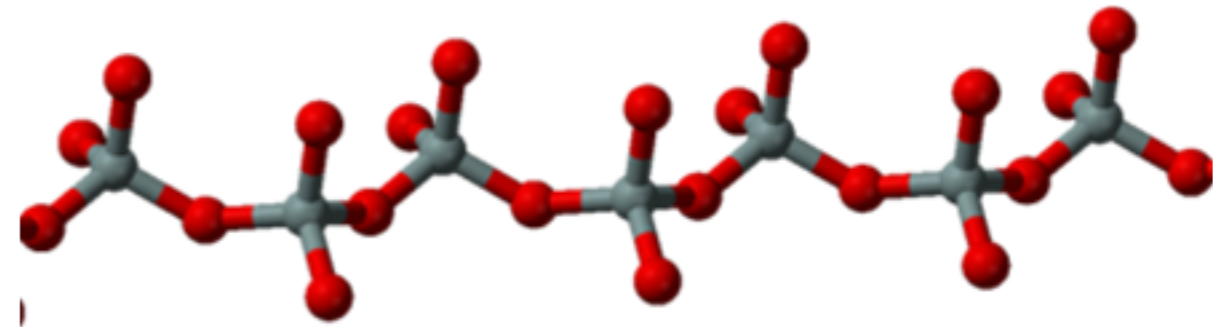
*CC Image courtesy of Wikipedia*

• •

## INOSILICATOS: (Ino. gr. hilo)

Estructuras en cadenas, que resultan de la polimerización indefinida de radicales en una dirección dada (normalmente el eje  $c$  del cristal). Dan estructuras de cadenas sencillas (piroxenos) o dobles (anfíboles). En los piroxenos, hay un átomo de silicio por cada tres átomos de oxígeno ( $[\text{SiO}_3]^{2-}$ ). Los cationes están entre las cadenas, formando un enlace débil, lo que facilita la exfoliación en una dirección determinada. En los anfíboles, la mitad de los tetraedros comparten 2 átomos de oxígeno, y la otra mitad, 3 átomos de oxígeno, dando radicales ( $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$ ).

Ej.: Piroxenos (augita, enstatita, onfacita, ...) y anfíboles (hornblenda, pargasita, actinolita, glaucofana ...)



*Estructura de los tetraedros de  $\text{SiO}_2$  en los inosilicatos de cadena simple (piroxenos)*

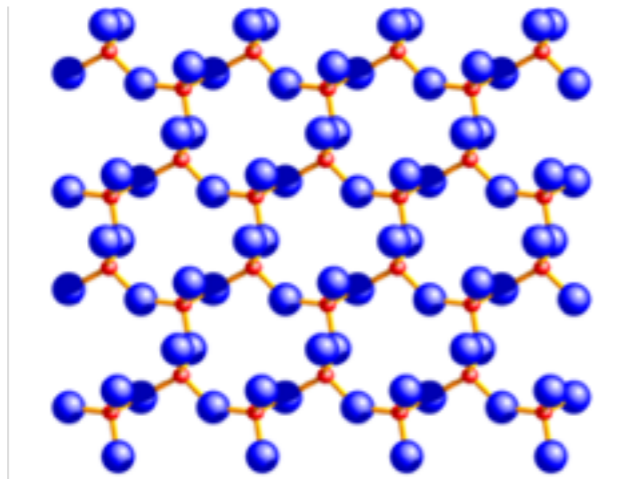
*CC Image courtesy of Wikipedia*

• • • • •

## FILOSILICATOS: (Filo. gr. hoja)

Son silicatos con exfoliación perfecta. La unidad estructural básica de los filosilicatos son tetraedros de silicio y oxígeno ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ). Dichos tetraedros se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$  (capa tetraédrica), que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas, los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar sustituido, en parte, por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ . Estas sustituciones isomórficas dan lugar a cargas libres. Los oxígenos del cuarto vértice del tetraedro (oxígenos sin compartir u oxígenos apicales), se dirigen perpendicularmente a la capa y forman parte de una capa octaédrica adyacente, formada por octaedros de grupos  $\text{OH}^-$  que se unen compartiendo las aristas.

Ej.: Micas (moscovita, biotita, ...), serpentinas (crisotilo, lizardita y antigorita), arcillas (ilita, talco, esmectita, pirofilita, ...) y clorita.



*Estructura de los tetraedros de  $\text{SiO}_2$  en los filosilicatos*

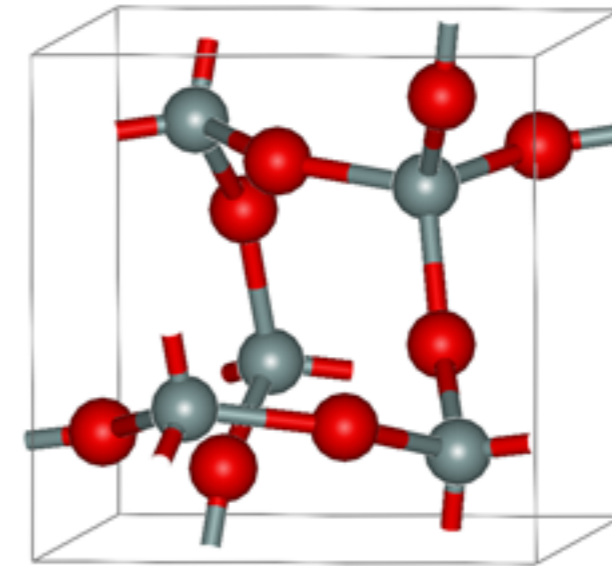
*CC Image courtesy of Wikipedia*

• • •

## TECTOSILICATOS: (Tecto. gr. constructor)

Estructuras constituidas por una red tridimensional muy compacta. Con exfoliación mala o inexistente. Los tetraedros se unen por los cuatro vértices, formando un armazón tridimensional de fórmula general  $\text{SiO}_2$ . Según esto, sólo existiría el cuarzo, pero como se pueden dar sustituciones de  $\text{Si}^{4+}$  por  $\text{Al}^{3+}$ , también se forman los feldespatos, ya que tal sustitución crea un exceso de carga que exige la introducción de una carga catiónica en la estructura, para restablecer la neutralidad.

Ej.: Cuarzo, feldespatos (feldespato alcalino y plagioclasa), feldespatoides, ...



*Estructura de los tetraedros de  $\text{SiO}_2$  en los tectosilicatos*

*CC Image courtesy of Wikipedia*

• • •

# Propiedades ópticas de los minerales

**Interactive 2.1** Ejemplo de algunas de las propiedades ópticas de los minerales vistas en lámina delgada.



## Propiedades referentes a la morfología:

**Hábito:** La descripción morfológica de los minerales aporta datos muy útiles para su identificación. Términos empleados en función del desarrollo de las caras cristalinas: euhedral/idiomorfo, subhedral/hipidiomorfo, anhedral/xenomorfo. También son empleados términos autoexplicativos sobre la forma de los cristales, tales como: prismático, tabular, granular, poligonal, fibroso...

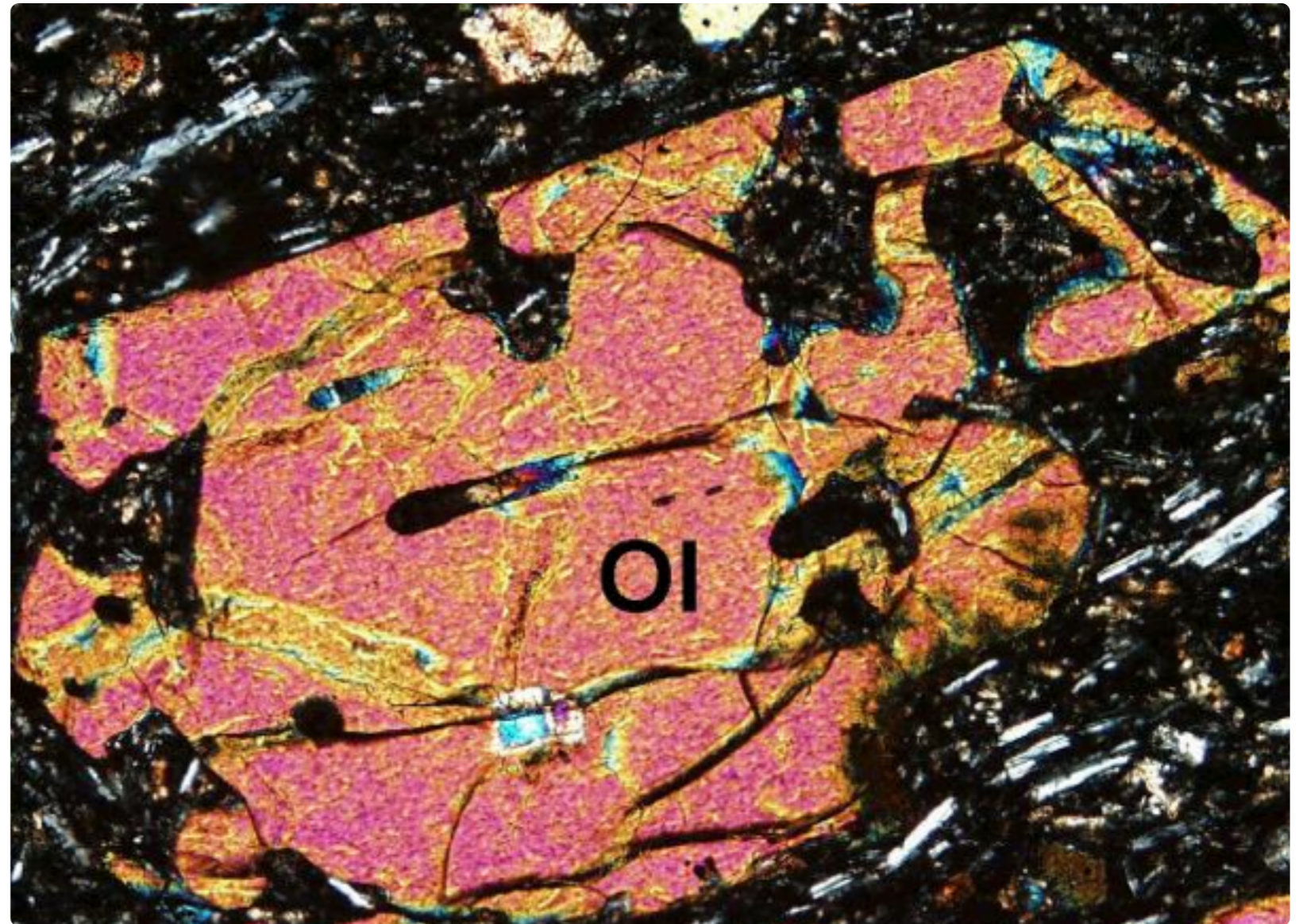
**Exfoliación:** La observación de los minerales al microscopio permite distinguir diferentes tipos de líneas de fractura en su interior. Dependiendo de la relación de las fracturas con los planos reticulares del mineral, se pueden emplear los términos: foliación, partición, fracturación.

**Maclas:** Las maclas son combinaciones de cristales relacionados mediante elementos de simetría. Al microscopio se manifiestan por la presencia de zonas dentro de un grano que tienen diferente orientación, con distinto color de interferencia y diferente posición de extinción. Por tanto su observación debe realizarse cruzando los

polarizadores. Los términos que se emplean para la descripción de las maclas al microscopio se relacionan con el número

de componentes de la macla y su disposición: simple, polisintética, lamelar, compleja o cíclica.

### Gallery 2.1 Propiedades referentes a la morfología



*hábito prismático, euhedral, olivino, colección de prácticas*



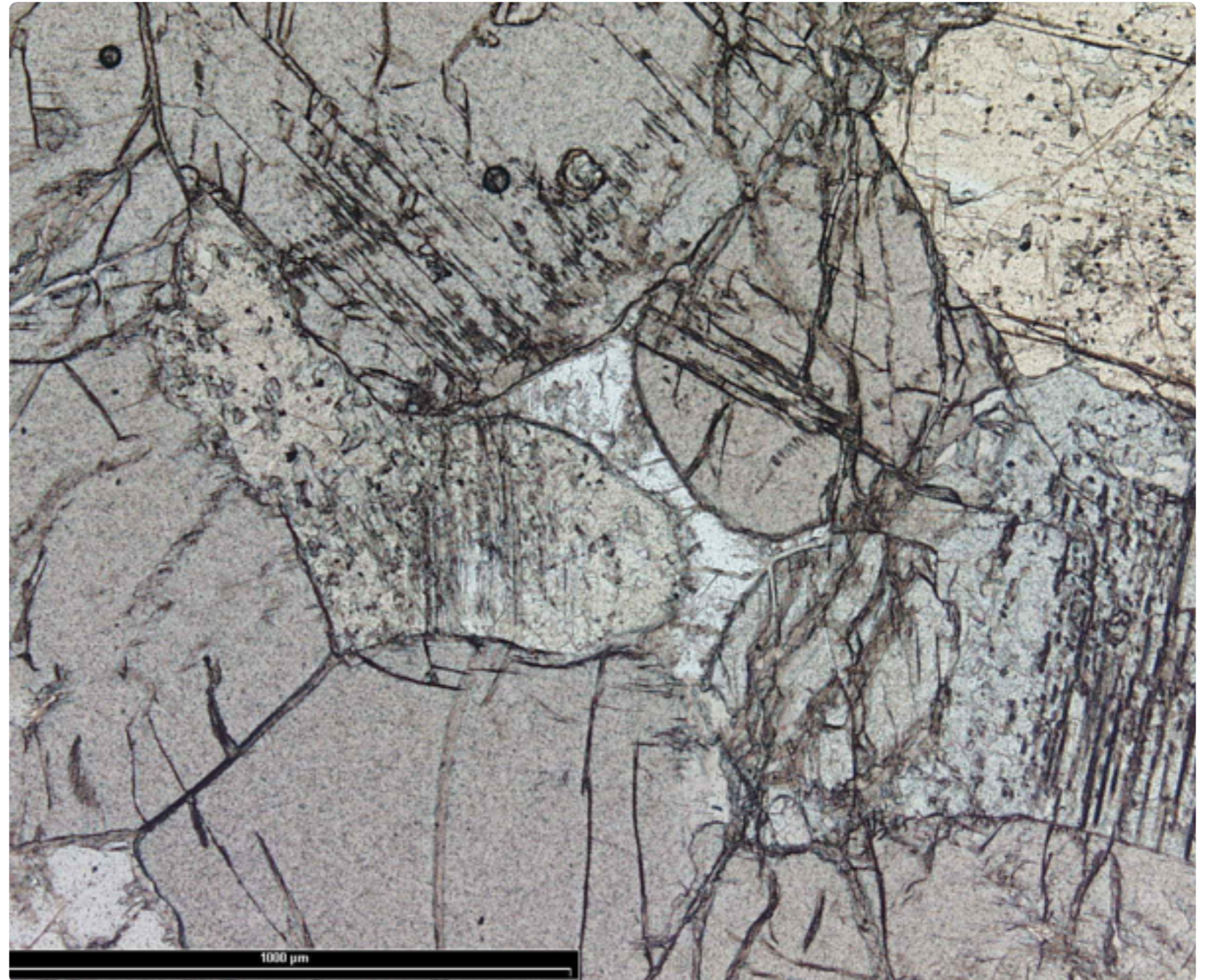
## Propiedades a determinar sin analizador:

**Relieve-Índice de refracción:** El índice de refracción es la propiedad que relaciona la velocidad de propagación de la luz en el cristal respecto a la del vacío. La diferencia de valores de los índices de refracción de un mineral respecto al medio que lo rodea se traduce en la percepción de un mayor o menor grado de relieve. Cuanto mayor es el relieve, el borde del mineral se observa de forma más nítida. Como medio de referencia se toma el pegamento que une la roca al portamuestras. El relieve es positivo si los índices de refracción del mineral son mayores que los del pegamento. Su determinación se realiza observando la línea de Becke.

**Color-Pleocroismo:** la aparición de color es debida a la absorción selectiva por el cristal de determinadas longitudes de onda de la luz blanca. Un cristal blanco transmite esencialmente todo el espectro visible, un mineral negro absorbe todas las longitudes de onda. El pleocroismo es la variación de color o de intensidad de color que puede experimentar un cristal al girar la platina del microscopio; se debe a la absorción

diferencial de la luz polarizada según diferentes direcciones cristalográficas.

### Gallery 2.2 Propiedades a determinar sin analizador



*relieve alto, ortopiroxeno, colección de prácticas*





## Propiedades a determinar con analizador:

**Birrefringencia-Color de interferencia:** La birrefringencia es la diferencia entre los valores de los índices de refracción mayor y menor de un cristal anisótropo. El color de interferencia es el color que presenta un cristal anisótropo, entre polarizadores cruzados, como consecuencia de la interferencia y transmisión por el analizador de las dos ondas luminosas en que divide el cristal a la onda incidente. Los colores de interferencia se clasifican en la Tabla de Michel-Levy en órdenes de 565 nm de retardo. Cada orden finaliza en un color rojo.

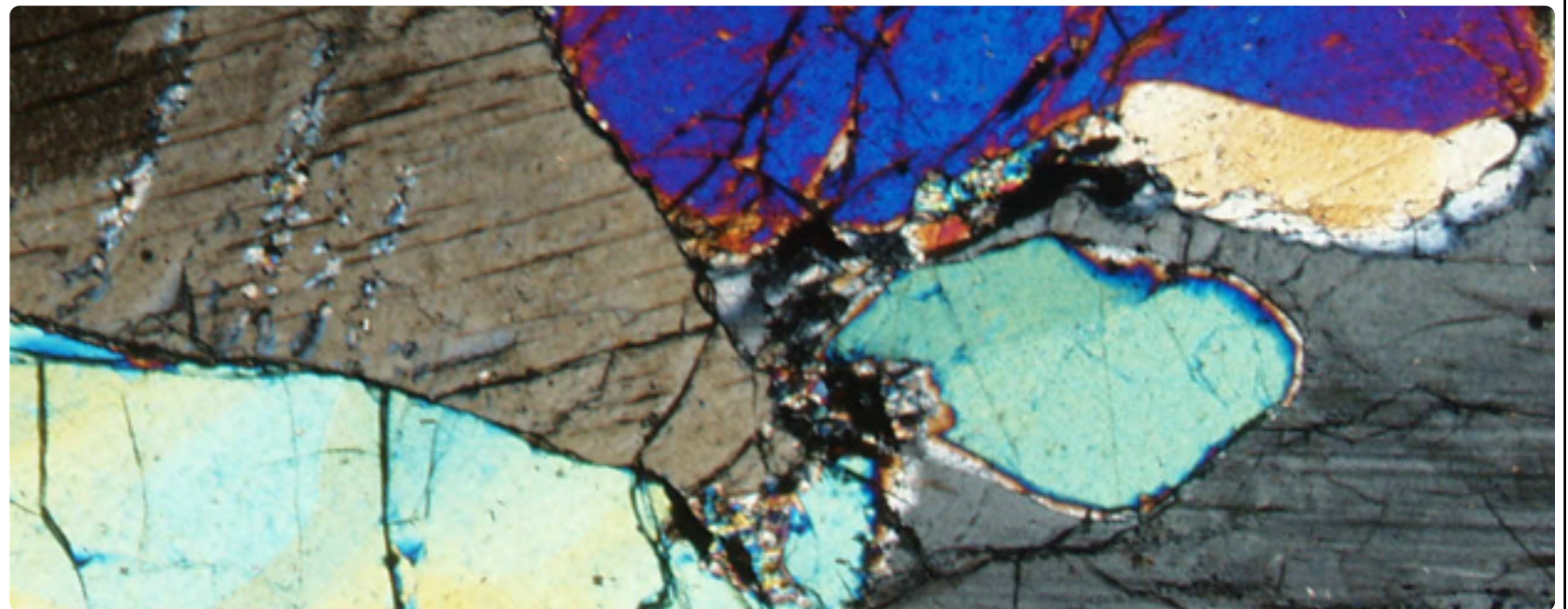
**Ángulo de extinción:** Un mineral se encuentra en extinción si las direcciones de vibración de la luz en el cristal coinciden con las del polarizador y analizador. En estas condiciones el cristal presenta color de interferencia negro. Los minerales isotropos están siempre extinguidos. Los minerales anisotropos extinguen cada  $90^\circ$  al girar la platina. El ángulo de extinción es el ángulo que forman en un mineral determinadas direcciones cristalográficas (caras, exfoliación, maclas) con sus direcciones ópticas de vibración. La

extinción puede ser recta o paralela u oblicua.

**Signo de elongación:** Esta propiedad relaciona la situación de las direcciones correspondientes a los diferentes índices de refracción de un mineral con su alargamiento morfológico. El signo de elongación es positivo si el índice de mayor valor coincide aproximadamente con la dirección de alargamiento del mineral y es negativo si el índice de menor valor coincide aproximadamente con la dirección de alargamiento del mineral

**Signo óptico-Figura de interferencia:** Para medir estas propiedades es necesario obtener visión conoscópica. Se consigue con el polarizador y el analizador cruzados a  $90^\circ$ , condensador de luz para obtener iluminación convergente y lente de Bertrand. La figura de interferencia se forma por procesos complejos de interferencia de ondas en el cristal. Permite distinguir el tipo óptico de un cristal (uniáxico o biáxico), determinar su signo óptico y medir el ángulo  $2V$ .

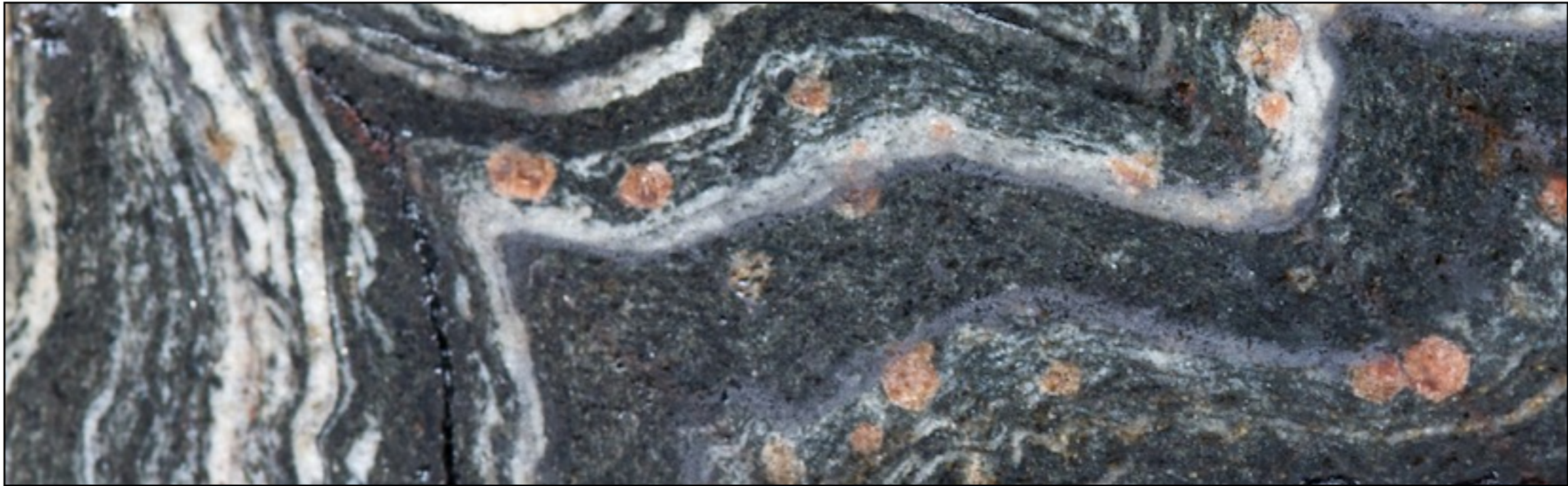
### Gallery 2.3 Propiedades a determinar con analizador:



*birrefringencia, ortopiroxeno, 1º orden, olivino, 3º orden, colección de prácticas*

• •

# Principales minerales en rocas ígneas y metamórficas



*Esquistosidad plegada en un esquistos con granate y hornblenda (el granate es post-esquistosidad)*

*CC Image courtesy of Hypocentre on Flickr*

Los procesos formadores de minerales se clasifican en procesos endógenos y procesos exógenos. Los procesos endógenos son aquellos que se producen en el interior de la Tierra y están vinculados con la actividad magmática, con las transformaciones metasomáticas de las rocas o con el metamorfismo. Los procesos exógenos están ligados a la acción de la atmósfera, hidrosfera y biosfera, se dan en la zona superficial de la corteza terrestre y

están vinculados con los procesos de sedimentación y meteorización.

Para disponer de un glosario completo de minerales pulse [aquí](#).

## OLIVINO:

A este grupo pertenecen los silicatos del tipo  $A^{2+}2SiO_4$ , donde A= Mg, Fe, Mn, Ni, Co, Zn, Ca, Pb. Todos ellos, con excepción del Ca y Pb, se sustituyen por vía isomorfa los unos a los otros. Estos dos últimos elementos, dadas las grandes dimensiones de sus radios iónicos, condicionan la formación de compuestos dobles. Las propiedades físicas y ópticas de los minerales del grupo varían en función de su contenido químico, así por ejemplo las variedades de olivino pobres en FeO (<13%) son biáxicas positivas y las ricas por el contrario negativas. Existen abundantes minerales dentro de este grupo existiendo una serie continua de miscibilidad entre la Fayalita ( $Fe_2SiO_4$ ) y la Forsterita ( $Mg_2SiO_4$ ) con los siguientes términos intermedios en función del contenido en porcentaje molecular en Fayalita (Fe). Olivino con una composición más forsterítica es uno de los principales componentes de las rocas ultrabásicas y básicas.

### Propiedades ópticas

Hábito granular

Relieve alto

Incoloro

Color de interferencia II-III orden

biáxico (+) o (-).

### Gallery 2.4 Olivino

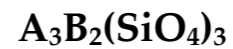


*CC Image courtesy of ol doinyo lengai on Flickr*

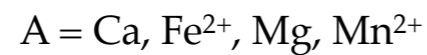


## GRANATE:

Los granates cristalizan en el sistema cúbico y suelen aparecer en cristales bien formados. Mineral típico de metamorfismo y en granitos ricos en Al. La estructura cristalina está formada por los tetraedros  $\text{SiO}_4$  y los cationes de metales bivalentes (posición A) y trivalentes (posición B). La alta dureza (6.5 - 7.5) y la ausencia de foliación favorecen el uso de los granates como gemas. Los granates son nesosilicatos que responden a la fórmula general:



Donde:



El Si es parcialmente reemplazado por Al y  $\text{Fe}^{3+}$

## Propiedades ópticas

Hábito poligonal o granular

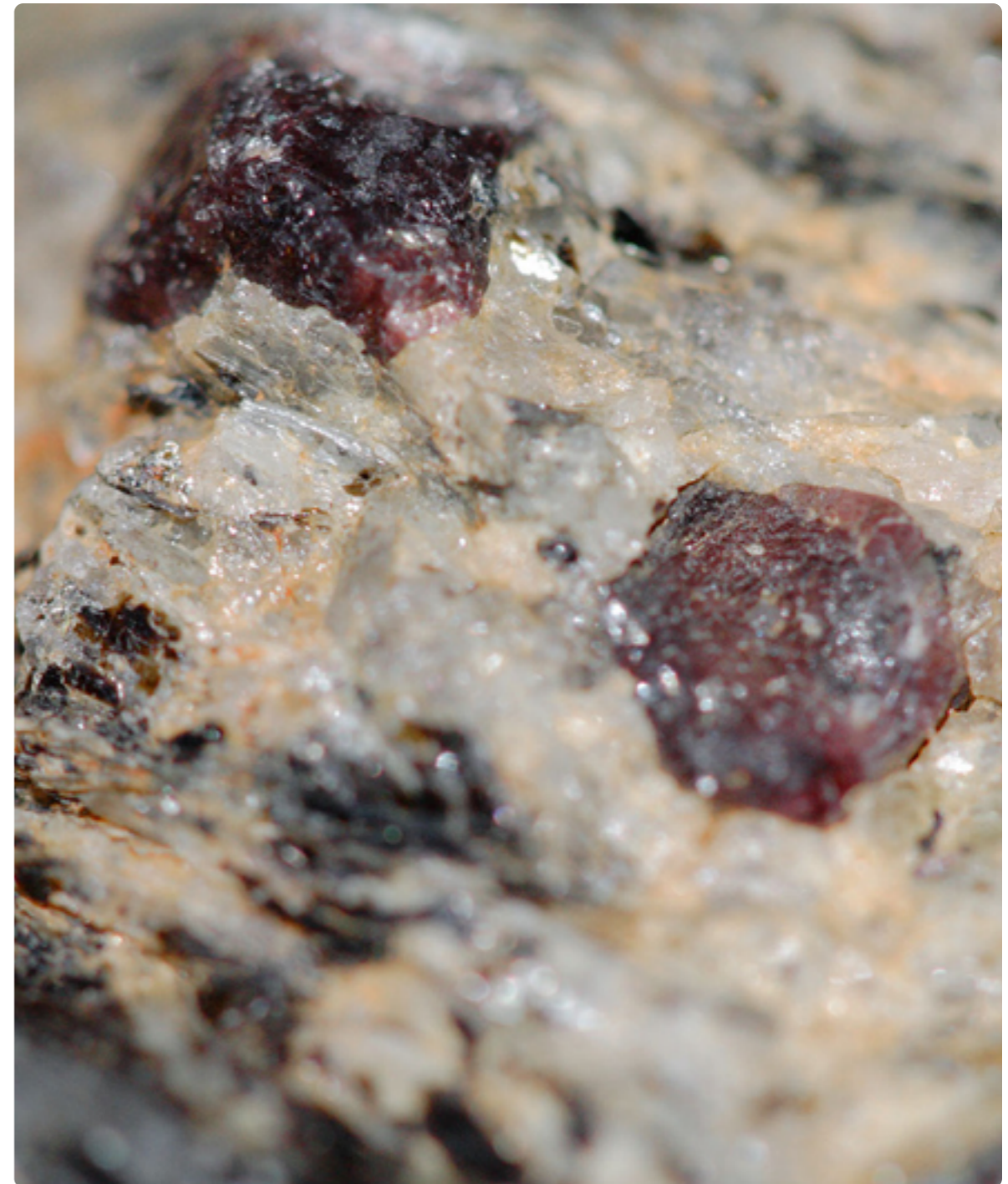
Relieve alto-muy alto

Color variable (incoloro, rosado...)

Isótropo

Comúnmente presenta inclusiones

## Gallery 1.5 Granate



CC Image courtesy of bok-choy on Flickr



## ANDALUCITA:

Mineral típico de metamorfismo de contacto. Es más raro en granitos, pegmatitas o en filones de cuarzo. Nesosilicato de fórmula estructural  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ . Polimorfo de distena y sillimanita.

### Propiedades ópticas:

Hábito prismático o granular, relieve medio, incoloro o muy débil pleocroismo, color de interferencia I orden, extinción recta, elongación (-), inclusiones en cruz (quastolita).

**Gallery 2.5** Andalucita, distena y sillimanita

## DISTENA:

Mineral típico de metamorfismo, índice de metamorfismo de presiones moderadas a altas, propio de gneises y pizarras micáceas. En menor medida en pegmatitas ricas en cuarzo. Nesosilicato de fórmula estructural  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ .

### Propiedades ópticas:

Hábito prismático o fibroso (variedad fibrolita), relieve medio, incoloro, color de interferencia II orden, extinción recta, elongación (+).

## SILLIMANITA:

Suele aparecer como fase mineral en rocas metamórficas de gradiente elevado, especialmente en pizarras, gneises, granulitas y micacitas. Nesosilicato de fórmula estructural  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ .

### Propiedades ópticas:

Hábito prismático o tabular, exfoliación (100) perfecta, partición (001), relieve alto, incoloro, color de interferencia I orden, extinción 0-32°, elongación (+).



*Andalucita, CC Image courtesy of Géry60 on Flickr*

### TITANITA:

Es común en rocas metamórficas y suele aparecer en sienitas nefelíticas y monzonitas como mineral accesorio y en yacimientos de magnetita. Se trata de un nesosilicato de fórmula estructural  $\text{CaTiSiO}_5$ .

### Propiedades ópticas:

Hábito romboidal o lenticular, relieve extremo, color marrón pálido, amarillento o incoloro, color de interferencia blanco o crema de alto orden.

### ESTAUROLITA:

Producto del metamorfismo regional o de contacto generalmente sobre pizarras. Nesosilicato de fórmula estructural  $(\text{Fe}^{2+})_2\text{Al}_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O},\text{OH})_2$ .

### Propiedades ópticas:

Hábito prismático, relieve alto, color amarillo dorado, color de interferencia I orden, elongación (+).

**Gallery 2.6** Titanita y Estaurolita



*Titanita, CC Image courtesy of Géry Parent on Flickr*

## EPIDOTA:

Todos los minerales de este grupo son isoestructurales, están alargados según el eje b y son generalmente monoclinicos. La estructura de la epidota combina, simultáneamente, tetraedros de SiO<sub>4</sub> independientes y grupos Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> propios de los sorosilicatos. Las cadenas de octaedros de Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> y AlO<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub> que comparten sus aristas se disponen paralelamente al eje b. Una posición octaédrica adicional la ocupa Al en el caso de la clinozoisita y Al y Fe<sup>3+</sup> para la epidota. La zoisita ortorrómbica posee una estructura deducible de la de su polimorfo monoclinico clinozoisita. El Ca aparece en coordinación irregular 8 con el oxígeno, pudiendo estar su posición cubierta en parte por Na. En las posiciones octaédricas más exteriores aparecen Mn<sup>3+</sup> (más raramente Mn<sup>2+</sup>), Al y Fe<sup>3+</sup>. La fórmula general de los minerales de este grupo corresponde a:



Donde :



### Propiedades ópticas generales:

**Epidota:** Hábito prismático alargado según b, relieve alto, incoloro, color de interferencia II-III orden, extinción recta en (001).

**Clinozoisita:** Hábito prismático alargado según b, relieve alto, incoloro, color de interferencia I orden (anómalo), extinción oblicua en (010).

## Gallery 2.7 Epidota



*Epidota, CC Image courtesy of Jake Slagle Mineral Hill Mine*

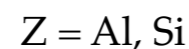
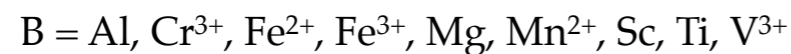
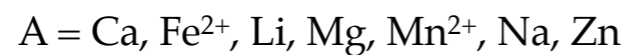


## PIROXENOS:

Es un grupo de minerales muy importante, siendo uno de los principales componentes de las rocas ultrabásicas y básicas. Los piroxenos pueden dividirse en diversos grupos siendo dentro del sistema químico  $\text{CaSiO}_3 - \text{MgSiO}_3 - \text{FeSiO}_3$ . Se definen las series diópsido ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) - hedenbergita ( $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ ) y la serie enstatita ( $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ) - ferrosilita ( $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ) así como la augita, relacionada con la primera serie, y la pigeonita, relacionada con la segunda. Los piroxenos sódicos son la egirina ( $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$ ) y la jadeita ( $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ ), formando la egirina ( $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$ ) y la augita ( $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})\text{Si}_2\text{O}_6$ ) una serie completa de soluciones sólidas. La onfacita, a su vez, representa una serie completa de soluciones sólidas entre la augita ( $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})\text{Si}_2\text{O}_6$ ), la egirina ( $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$ ) y la jadeita ( $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ ). La espodumena ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ) es un piroxeno que aparece en pegmatitas ricas en Li.

Son inosilicatos cuya fórmula general corresponde a:  $\text{ABZ}_2\text{O}_6$

Donde:



## Propiedades ópticas:

Hábito prismático, relieve medio-alto, color variable, doble sistema de exfoliación a  $90^\circ$ , color de interferencia I, II o III orden.

## Ortopiroxeno y Clinopiroxeno

### Gallery 2.8 Piroxenos



*Piroxeno en basalto, CC Image courtesy of Xavier Béja on Flickr*





## ANFIBOLES:

Los anfíboles más comunes pueden representarse por su composición en el sistema químico antofilita ( $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ ) - grunerita ( $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$ ) -  $Ca_7Si_8O_{22}(OH)_2$  (término hipotético), de una manera análoga a los piroxenos. El término más común sería la hornblenda.

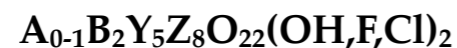
Se define una serie completa entre la tremolita ( $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ ) y la ferroactinolita ( $Ca_2Fe^{2+}_5Si_8O_{22}(OH)_2$ ) de anfíboles monoclinicos denominándose los términos intermedios actinolita.

La serie antofilita-gedrita comprende los términos entre  $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$  y  $Fe_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$  correspondiente a anfíboles ortorrómbicos. La serie cummingtonita ( $Fe_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ )-grunerita ( $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$ ) por el contrario comprende anfíboles monoclinicos y aparece separada de la anterior por un hueco de miscibilidad que se refleja en la aparición de pares antofilita - tremolita.

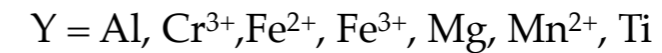
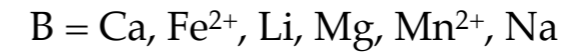
Igualmente un hueco de miscibilidad existe entre los anfíboles cálcicos y la serie cummingtonita ( $Fe_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ ) - grunerita ( $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$ ).

Los anfíboles que contienen sodio se agrupan en la serie glaucofana ( $Na_2Mg_3Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$ ) - riebeckita ( $Na_2Fe^{2+}_3Fe^{3+}_2Si_8O_{22}(OH)_2$ )

La fórmula general de los minerales de este grupo corresponde a:



Donde:



### Propiedades ópticas generales:

Hábito prismático, relieve medio-alto, color variable, doble sistema de exfoliación a  $60^\circ$ , color de interferencia I, II o III orden.

### Gallery 2.9 Anfíbol



*Cristales de Riebeckita (negros) en un granito alcalino, CC Image courtesy of sqfp.info*

## **BIOTITA:**

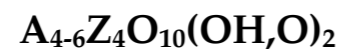
Es la más común de las micas, entrando como componente principal o accesorio de casi todas las rocas ígneas, esencialmente de los granitos, dioritas, gabros, sienitas etc.. así como en numerosas rocas metamórficas. Filosilicato del grupo de las micas de formula estructural  $K(Mg,Fe^{2+})(Al,Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH,F)_2$

### **Propiedades ópticas:**

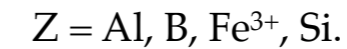
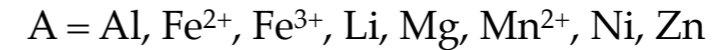
Hábito tabular y laminar, exfoliación (001) perfecta, marrón o verde con pleocroismo muy fuerte, relieve medio, color de interferencia III-IV orden, extinción subrecta (0-9°), elongación (+).

## **CLORITA:**

Los minerales de este grupo recuerdan por sus propiedades a las micas. Cristalizan en el sistema monoclinico y poseen una exfoliación perfecta. La mayoría de ellos se distinguen por su coloración verde, lo que les ha dado su denominación (en griego "chloros" quiere decir verde). Existe un gran número de nombres para las distintas variedades de cloritas según su composición química. Las cloritas son aluminosilicatos, principalmente de Mg,  $Fe^{2+}$  y Al, en parte de Ni,  $Fe^{3+}$  y  $Cr^{3+}$ . Muy individualizadas en el aspecto cristalográfico, las especies minerales ricas en Mg se denominan ortocloritas. Las especies minerales coloradas, ricas en hierro y de composición inconstante en muchos casos, constituyen un subgrupo especial de aluminoferrosilicatos bajo el nombre general de leptocloritas. Son filosilicatos de formula general:



Donde:



### **Propiedades ópticas:**

Hábito laminar y tabular, exfoliación (001) perfecta, color incoloro-verde con pleocroismo débil o moderado, relieve medio, color de interferencia I orden (anómalo).

### **Gallery 2.10** Biotita y clorita



*Biotita, CC Image courtesy of Hypocentre on Flickr*



## MOSCOVITA:

Aparece como componente de muchas rocas ígneas plutónicas. También en rocas metamórficas como gneises, pizarras, micacitas, corneanas, así como sus correspondientes sedimentarias como areniscas, argilitas, etc. Los mayores cristales aparecen en pegmatitas. La oellacherita es la mica bária (hasta 10% de BaO) mientras que la roscoelita es la mica de vanadio (28% de  $V_2O_3$ ). La ferrimoscovita es una variedad rica en  $Fe_2O_3$ . Se denomina sericita a la variedad degradada (con pérdida de K), llamándose illita cualquier mineral de la arcilla deficiente en K cuando el tamaño es del orden de la micra. La fengita es similar a la sericita con mayores porcentajes en  $SiO_2$ , Fe y Mg. Se trata de un filosilicato de fórmula estructural:  $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ .

### Propiedades ópticas:

Hábito tabular y laminar, exfoliación (001) perfecta, incoloro, relieve bajo-medio, color de interferencia II-III orden, extinción subrecta ( $0-3^\circ$ ), elongación (+).

Gallery 2.11 Moscovita



CC Image courtesy of Rob Lavinsky on Wikipedia



## FELDESPATOS ALCALINOS:

Tectosilicato de formula estructural  $(K-Na)AlSi_3O_8$ . Los tres minerales principales de este subgrupo tienen la misma composición aunque una estructura cristalina distinta (debido a las distintas sustituciones de Al en los tetraedros de Si). La sanidina es estable en las condiciones de temperaturas más altas, mas de  $900^{\circ}C$ . Es propia de rocas volcánicas de enfriamiento muy rápido. La ortoclasa es estable a temperaturas inferiores a  $900^{\circ}C$  y es característica de rocas ígneas ácidas. La microclina se caracteriza por una simetría más baja, sistema triclinico, que la de la sanidina y la ortoclasa. La disposición atómica que presenta es posible si se produce un enfriamiento lento del magma, por lo tanto, la microclina es propia de rocas intrusivas abisales (formadas a gran profundidad).

### Propiedades ópticas:

Hábito tabular, relieve bajo, incoloro, común macla de carlsbad simple, nunca polisintética y la microclina presenta macla múltiple (enrejado), biáxico negativo.

## PLAGIOCLASA:

Tectosilicatos que forman una serie de solución sólida completa entre la albita, de formula estructural  $NaAlSi_3O_8$ , y la anortita,  $CaAl_2Si_2O_8$ . Debido a la importancia de la composición de las plagioclasas a la hora de la clasificación de las rocas ígneas, la serie presenta distintos términos en función del porcentaje de anortita en una plagioclasa dada. Casi siempre presentan ciertas impurezas de  $K_2O$  que llega a veces a unos tantos por ciento, y tambien son frecuentes impurezas de  $BaO$ ,  $SrO$  y  $FeO$ . Las plagioclasas cristalizan en el sistema triclinico. Suelen presentar maclas

polisintéticas y zonaciones concéntricas que permiten diferenciar en ocasiones las plagioclasas de los feldespatos potásicos.

### Propiedades ópticas:

Hábito tabular, relieve bajo, incoloro, macla polisintética albita (010) y periclina (h0l) y carlsbad (010) simple, biáxico negativo.

### **Gallery 2.12** Feldespatos



*Feldespato alcalino en un granito, CC Image courtesy of Friman on wikimedia commons*

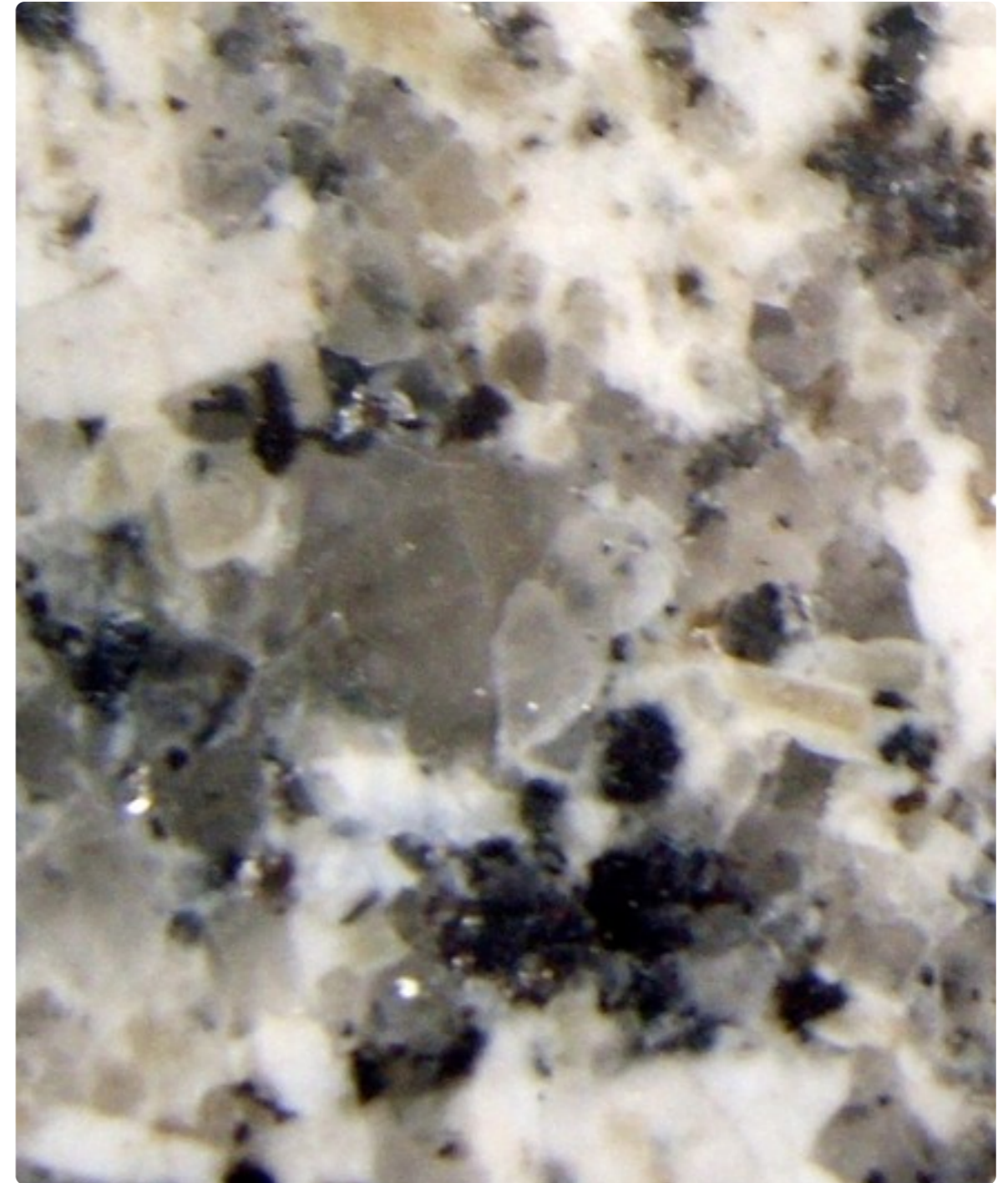
## CUARZO:

El cuarzo es el componente fundamental de muchos tipos de rocas, especialmente de las rocas ígneas ácidas, de ahí que sea tan frecuente y abundante, pero también en rocas sedimentarias y metamórficas por ser al mismo tiempo muy resistente. Es un mineral típico de los granitos y las pegmatitas y un constituyente de la arenisca y la cuarcita. Tectosilicato de fórmula  $\text{SiO}_2$ .

## Propiedades ópticas:

Hábito granular, relieve bajo, incoloro, color de interferencia I orden, uniáxico (+).

Gallery 2.13 Cuarzo



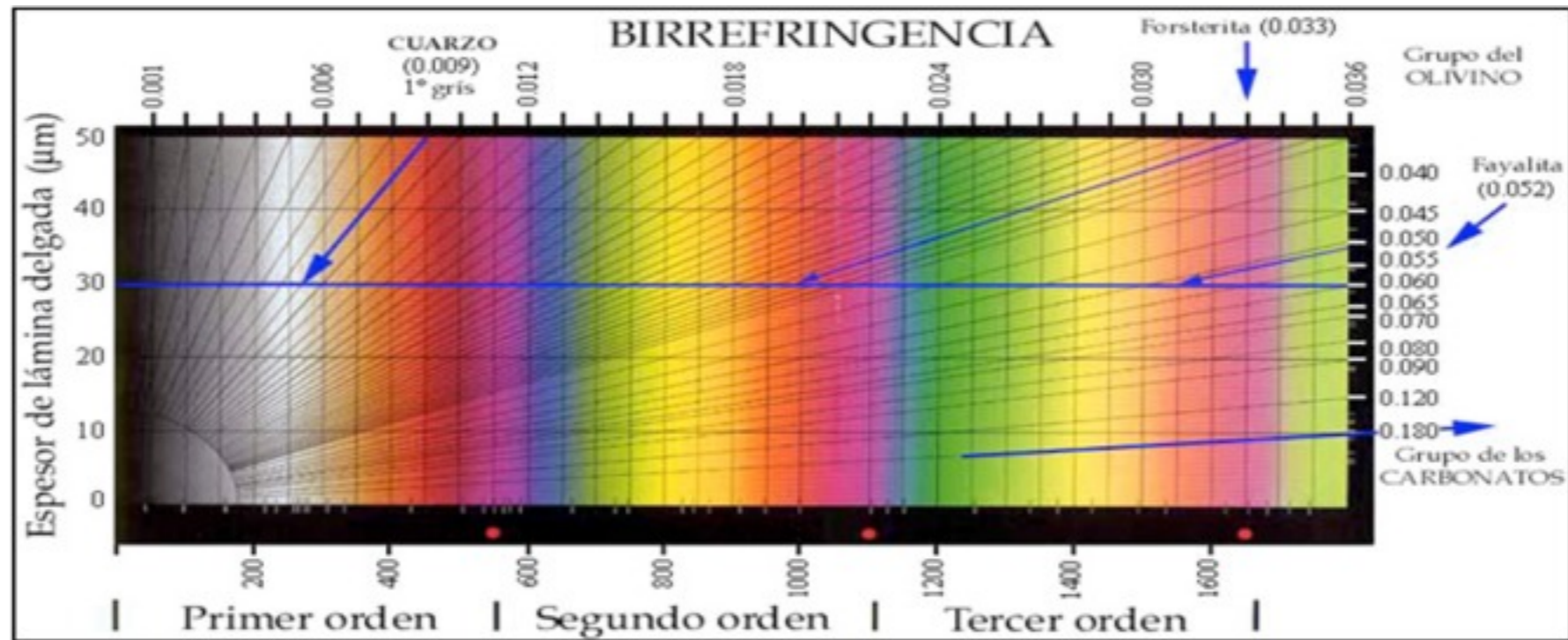
*CC Image courtesy of James Bowe on Flickr*



## Ejercicio 1

### Question 1 of 2

¿Recuerda que es la Tabla de Michel-Levy? ¿Para identificar qué característica óptica se utiliza?



- A.** tabla en la que se clasifican los colores de interferencia en ordenes de 565 nm de retardo
- B.** tabla en la que se clasifican los colores de pleocroismo en ordenes de 300 nm de retardo
- C.** tabla en la que se clasifican los colores de las distintas fases minerales en lámina delgada
- D.** tabla en la que se clasifica el relieve de las distintas fases minerales en lámina delgada



Check Answer



## Ejercicio 2

### Question 1 of 2

¿Qué características ópticas diferencian a la titanita?

- A.** tiene hábito romboidal
- B.** tiene hábito laminar, hojoso
- C.** presenta un marcado pleocroismo
- D.** es incolora, amarillo a marrón pálido
- E.** su color de interferencia es de alto orden en la Tabla de Michel-Levy

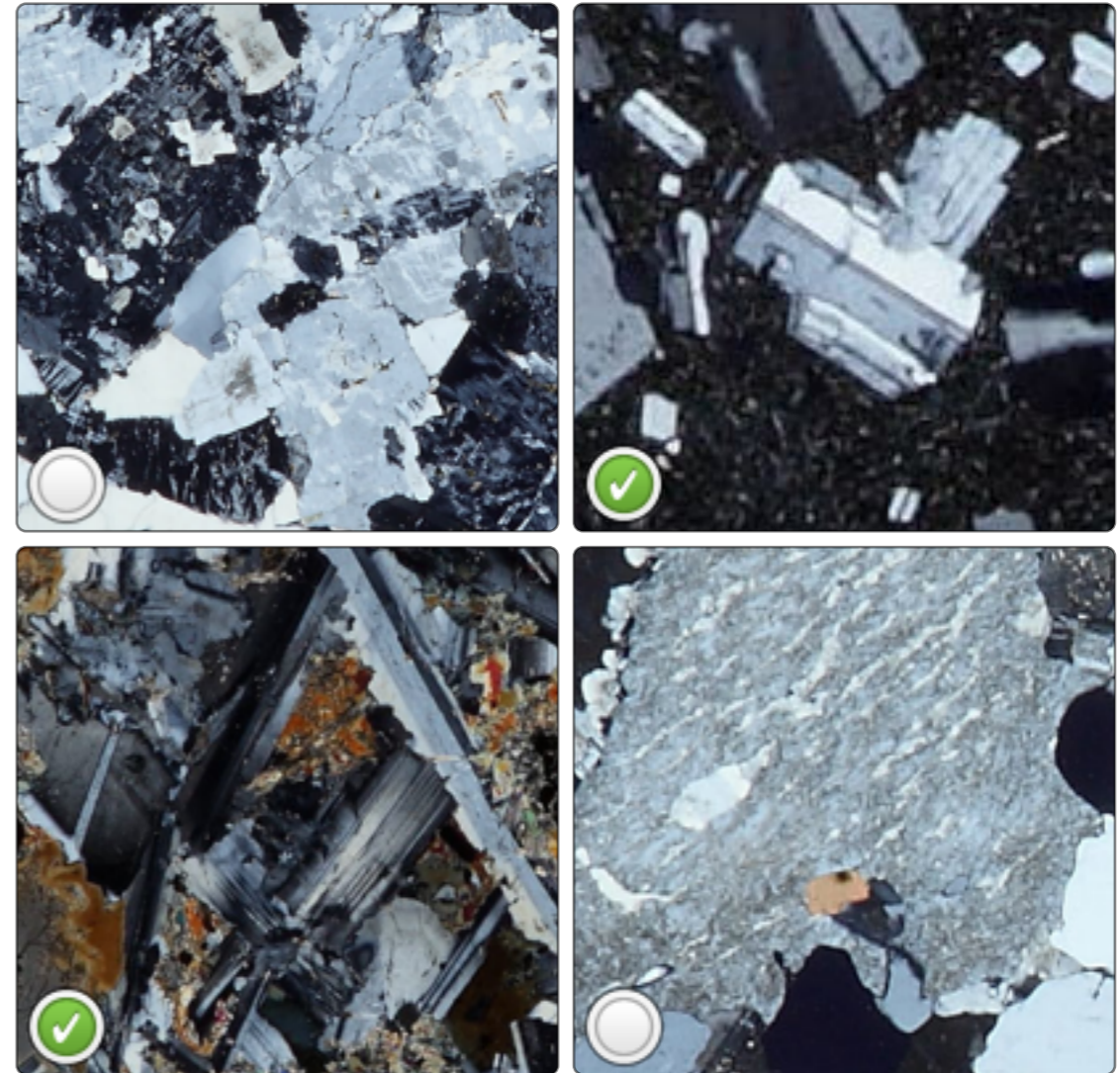


Check Answer



## Ejercicio 3

Las siguientes imágenes corresponden al grupo de los feldespatos, indicar cuáles corresponden a las plagioclasas.



Check Answer

#### Ejercicio 4

Indicar los tres polimorfos del grupo de la serpentina.

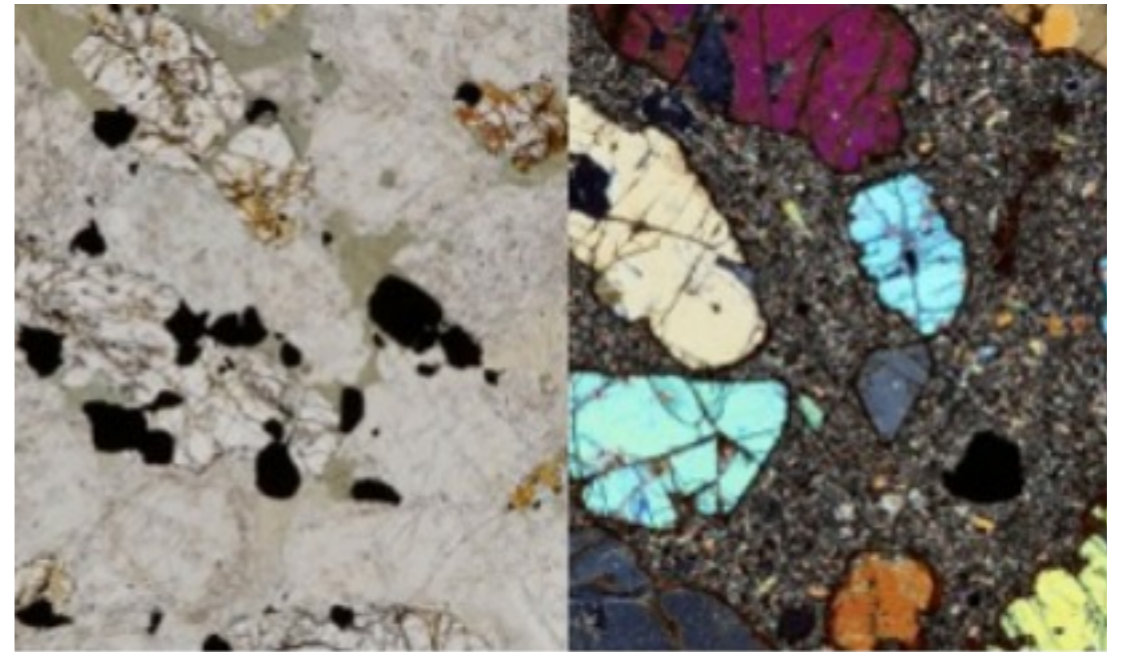


- A. crisotilo, lizardita y talco
- B. lizardita, antigorita y crisotilo
- C. antigorita, clorita y lizardita
- D. antigorita, crisotilo y lawsonita

Check Answer

#### Ejercicio 5

Indicar las principales características ópticas para identificar el olivino.



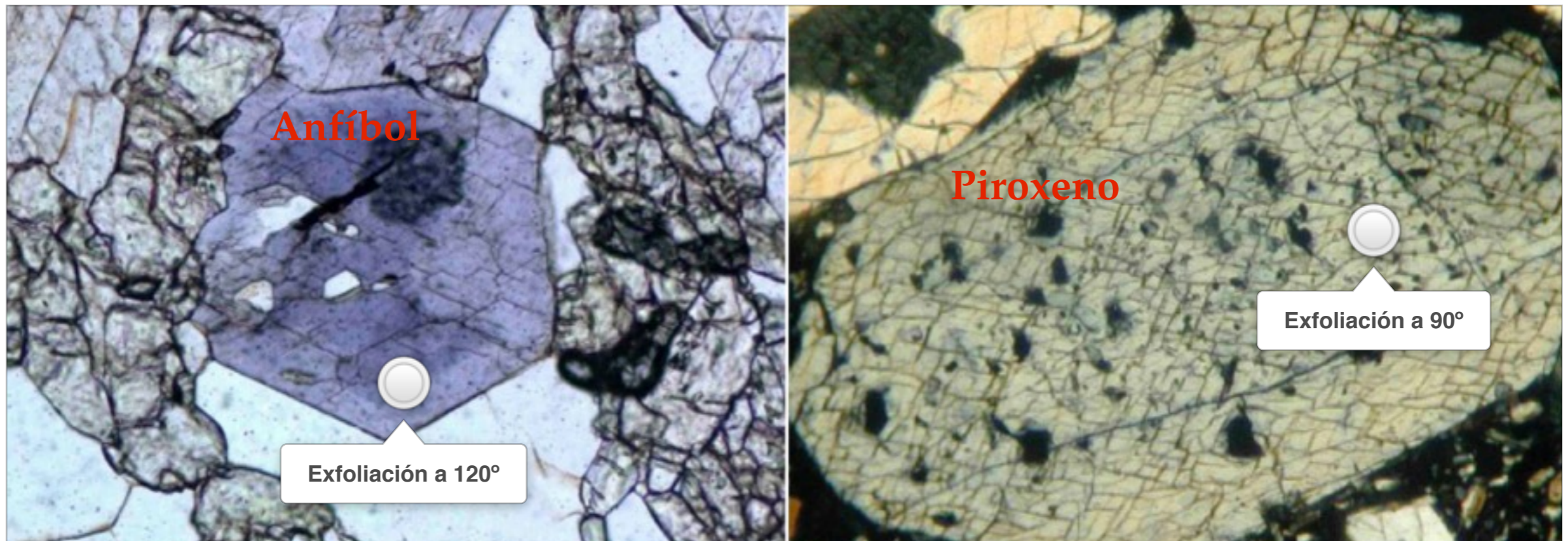
- A. hábito prismático
- B. incoloro
- C. relieve alto
- D. color interferencia de 2° y 3° orden

Check Answer



## Ejercicio 6

Tanto los anfíboles como los piroxenos son silicatos con estructura en cadena, es decir, inosilicatos. De modo general, ópticamente, se diferencian unos de otros en el doble sistema de exfoliación que presentan. Indicar cual corresponde a cada caso:



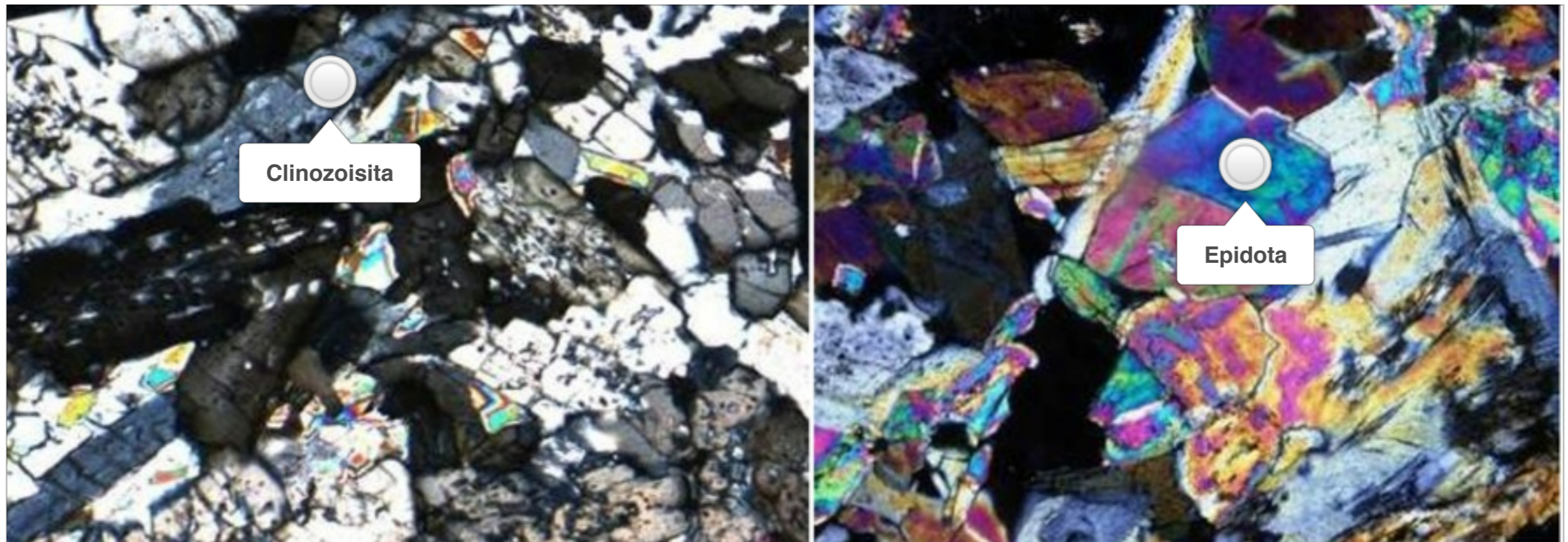
Exfoliación a 90°

Exfoliación a 120°

Check Answer

## Ejercicio 7

La epidota y la clinozoisita se diferencian ópticamente por su color de interferencia, siendo en un caso anómalo de primer orden mientras que en el otro es de 2°-3° orden (manto de arlequín). Indicar a que fase mineral corresponde cada imagen:



Epidota

Clinozoisita

Check Answer

## Ejercicio 8

### Question 1 of 2

La moscovita es una mica blanca y como tal pertenece al grupo de los filosilicatos, indique cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas:

- A. tiene hábito tabular
- B. tiene hábito laminar, hojoso
- C. presenta pleocroismo
- D. es incolora
- E. su color de interferencia es de 2º orden en la Tabla de Michel-Levy
- F. su color de interferencia se enmascara por el color tan intenso que presenta



Check Answer

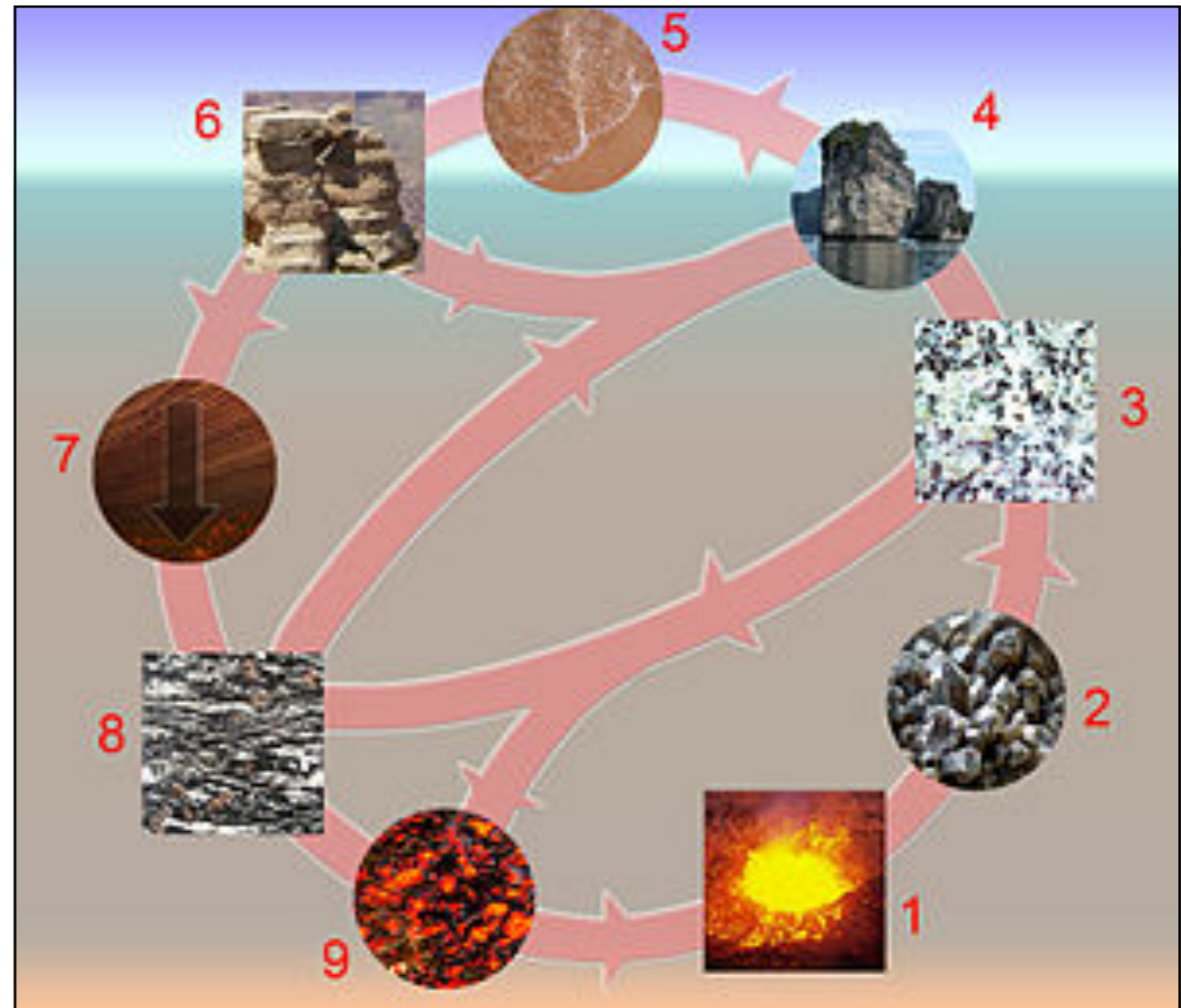


3.

# Clasificación y nomenclatura

## Contenido

- **Introducción**
- **Rocas Ígneas**
- **Rocas Metamórficas**



CC Image courtesy of Wikipedia

# Introducción



*Migmatita, CC Image courtesy of northeast naturalist on Flickr*

Los procesos geológicos a gran escala tales como movimientos globales de placas litosféricas, subducción de litosfera oceánica, colisión continente-continente y apertura de dorsales oceánicas, tienen como consecuencia la producción y el movimiento de rocas ígneas y metamórficas.

**El origen de la Tierra y la Tectónica de Placas.**

# Clasificación y nomenclatura de las rocas ígneas

Para la clasificación de las rocas ígneas deben seguirse las recomendaciones dadas por la Subcomisión para la Sistemática de las Rocas Ígneas de la IUGS (Unión Internacional de Geociencias). Estas recomendaciones pueden encontrarse en: Le Maitre, R.W., A. Streckeisen, B. Zanettin, M. J. Le Bas, B. Bonin, P. Bateman, editors; 2002; *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*; Cambridge University Press, 252p.

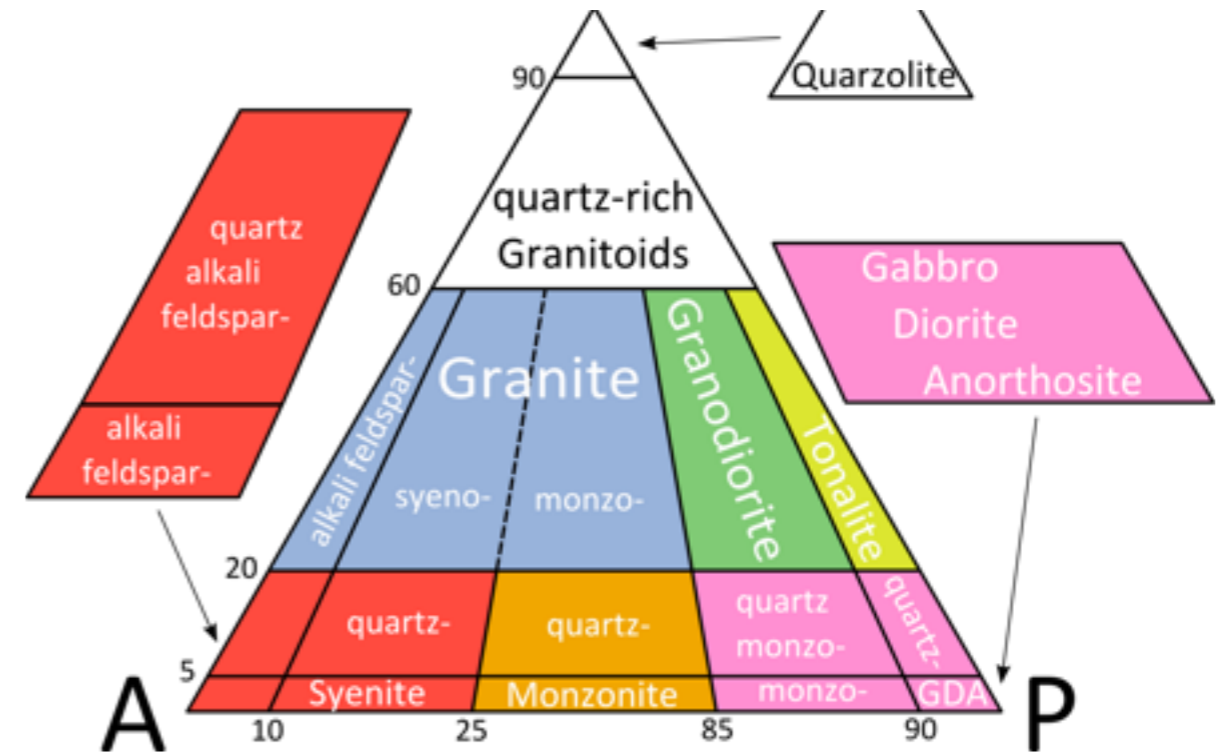


Diagrama de clasificación de Streckeisen, CC Image courtesy of Wikipedia

Enlaces de páginas que le permiten clasificar y nombrar rocas ígneas.

[Intrusive and extrusive igneous rock types](#)

[Earth Science Lab](#)

[Flow Chart for the Classification of Igneous Rocks](#)

La abundancia (en volumen) de un mineral en una roca se denomina abundancia modal. La moda de una roca es, por tanto, la abundancia volumétrica de sus minerales constituyentes expresada en porcentajes sobre cien (% vol). Los minerales se clasifican en:

**Minerales primarios:** (o singenéticos, formados durante procesos magmáticos).

**Pirogenéticos:** formados directamente a partir del fundido magmático.

**Minerales de reacción:** se forman por las reacciones de los minerales pirogenéticos con el fundido residual.

**Minerales xenógenos:** formados al asimilarse fragmentos de rocas encajantes en el magma.

**Minerales secundarios o postmagnéticos:** minerales formados en procesos hidrotermales, metasomáticos o metamórficos que afecten la roca.

Desde el punto de vista de su abundancia, los minerales se clasifican en:

**Minerales principales:** aquellos cuyo contenido es superior al 5% en la roca.

**Minerales de segundo orden:** (accesorios

mayores) con contenidos entre el 2 y 5% en la roca.

**Minerales accesorios:** Su contenido es inferior al 2% en la roca.

Para clasificar una roca ígnea en base a su moda, se utilizan diagramas ternarios en los que se representan los contenidos de minerales primarios .

Se utilizan los siguientes parámetros:

**Q:** polimorfos de SiO<sub>2</sub> (típicamente cuarzo, aunque también tridimita y cristobalita en algunas rocas ígneas cristalizadas a altas temperaturas).

**A:** feldespato alcalino, incluyendo feldespato potásico (sanidina, ortosa y/o microclina) y albita (término de la serie de las plagioclasas con porcentajes molares de anortita entre 0 y 5 %).

**P:** plagioclasa (todos los términos de la serie de las plagioclasas con porcentajes molares de anortita entre 95 y 100 %) y escapolita.

**F:** feldespatoideos (leucita, pseudoleucita, nefelina, analcima, sodalita, noseana, kalsilita, haiiyna, cancrinita).

**M:** minerales máficos (micas, anfíboles, piroxenos, olivino), minerales opacos en luz transmitida (magnetita, ilmenita), epidota, allanita, granate, melilita, monticellita, carbonatos primarios y accesorios (circón, apatito, titanita, etc).

Desde el punto de vista de las clasificaciones modales, los minerales de los grupos Q, A, P y F comprende los minerales félsicos, (de "fel" y "si", acrónimos de feldespatos, feldespatoideos, minerales del Si, o sea, minerales ricos en Si, Al, Ca, Na, y K) y los minerales del grupo M son máficos (de "m" y "f", acrónimos de los elementos Mg y Fe, o sea, minerales ferromagnesianos).

Desde el punto de vista del índice de color se utiliza el porcentaje de minerales máficos M' (= M menos moscovita, apatito, carbonatos primarios).

Hololeucocrática: 0-10%

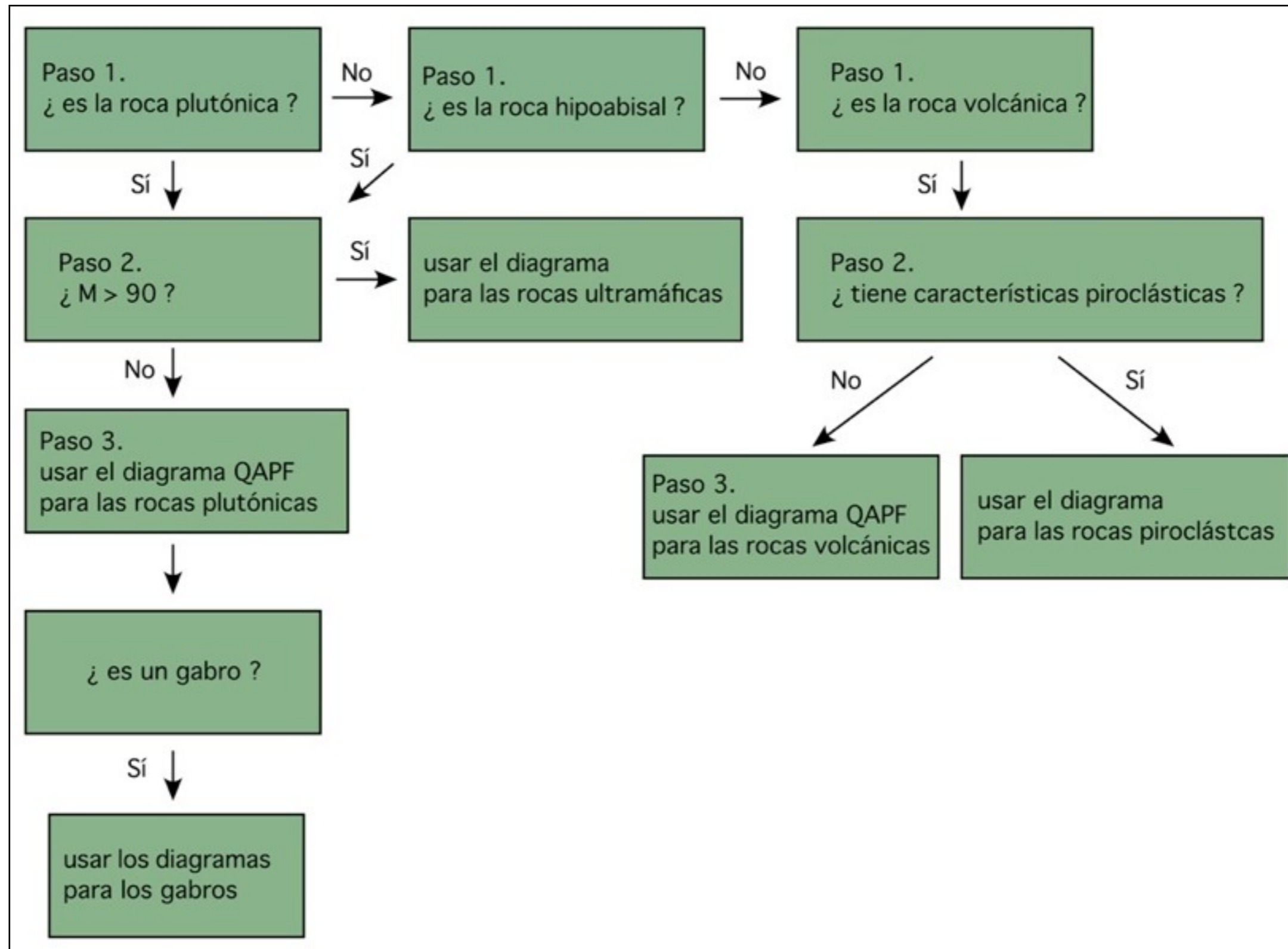
Leucocrática: 10-35%

Mesocrática: 35-65%

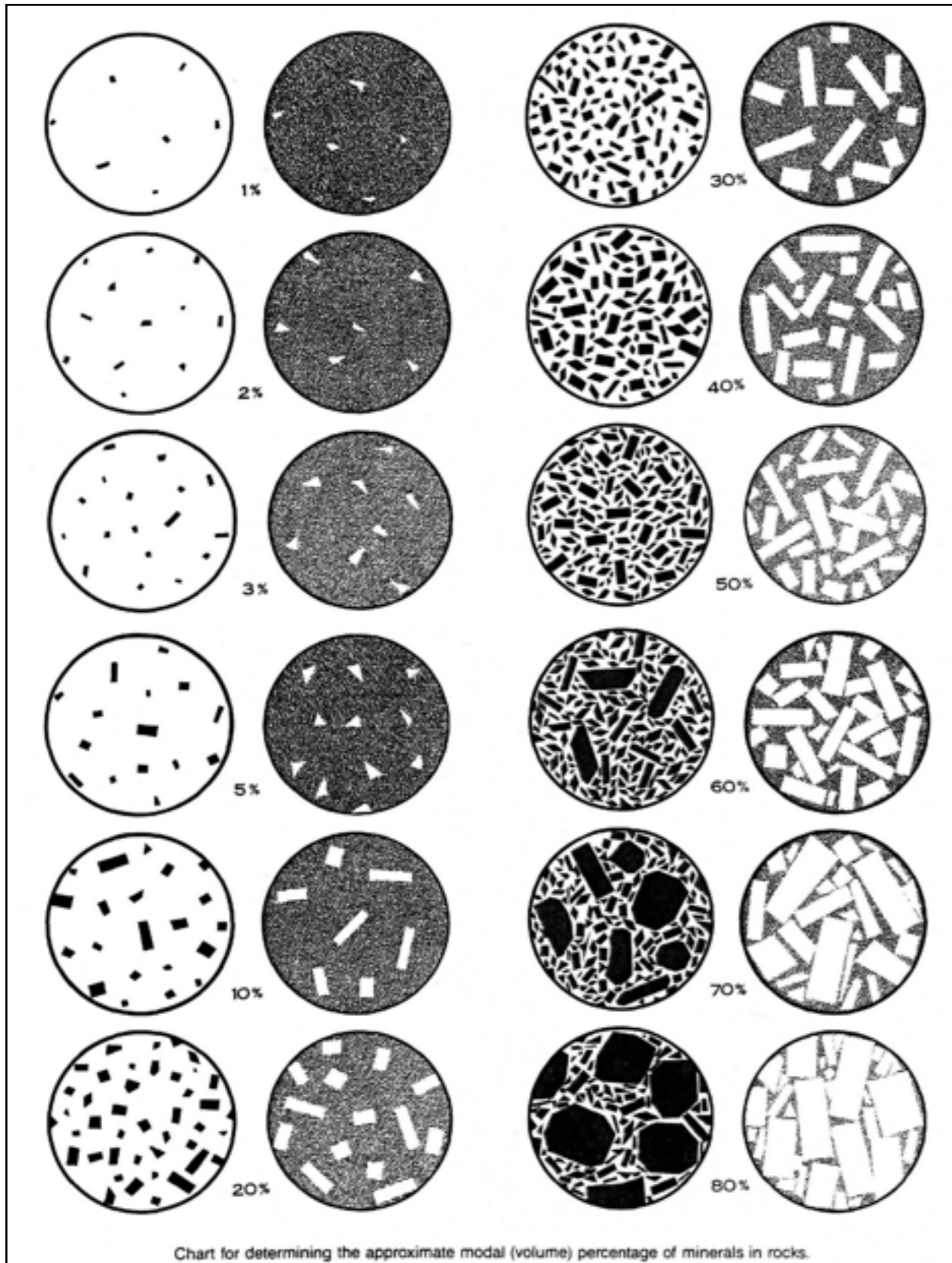
Melanocrática: 65-90%

Holomelanocrática: 90-100%

Diagrama de flujo para la caracterización de rocas ígneas.







Determinación de las proporciones modales de las rocas .

# Clasificación y nomenclatura de las rocas metamórficas

Para reconocer una roca metamórfica y clasificarla se deben conocer su textura y su mineralogía principal. En función de la mineralogía principal es posible obtener una relación de P y T que representan las condiciones a las cuales se formó la roca. Pudiendo de esta manera deducir el proceso metamórfico que dió origen a la roca objeto de estudio.

Los criterios principales para clasificar y nombrar las rocas metamórficas son: los minerales presentes en la roca, la estructura de ésta, la naturaleza de la roca previa al metamorfismo, las condiciones genéticas del metamorfismo (usualmente en términos de P y T, con o sin deformación) y/o la composición química de la roca.

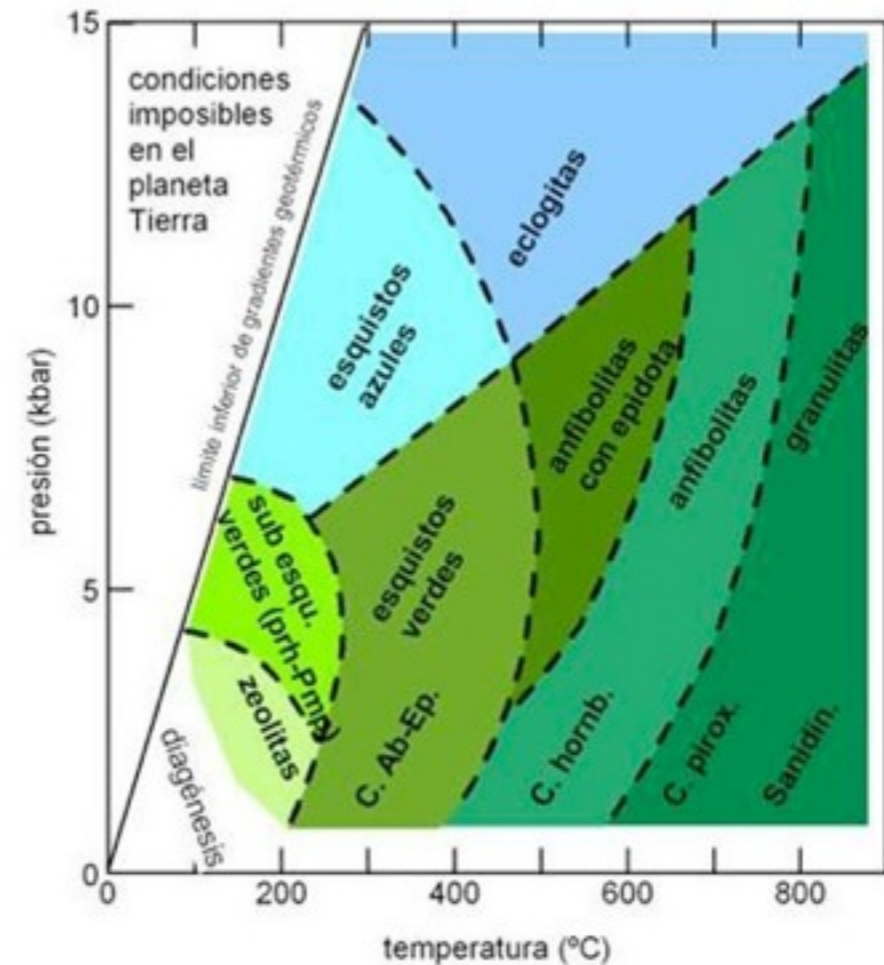


Diagrama de facies metamórficas de Eskola,  
CC Image courtesy of Antonio García-Casco

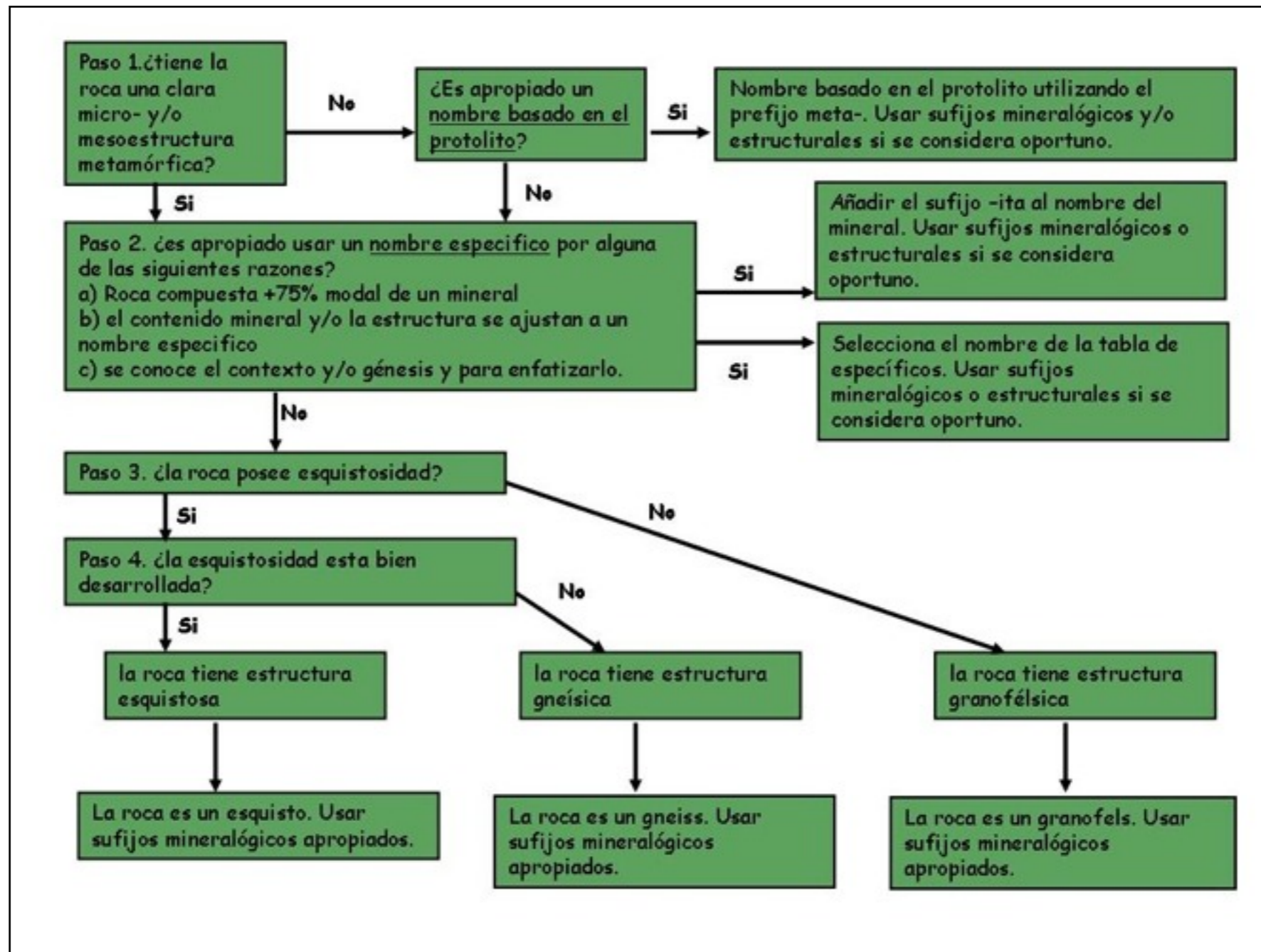
Enlaces de páginas que le permiten clasificar y nombrar rocas metamórficas.

[Earth Science Lab](#)

[Foliated and non-foliated metamorphic rock types](#)

[Systematic nomenclature for metamorphic rocks](#)

Diagrama de flujo para la caracterización de rocas metamórficas. Siguiendo los principios generales de la IUGS-SCMR se utiliza:  
 Un término o nombre raíz, basado en las características estructurales, la identificación del probable protolito o nombres específicos.  
 Estos nombres raíz suelen ser modificados por prefijos y/o sufijos, mineralógicos o texturales.



4.

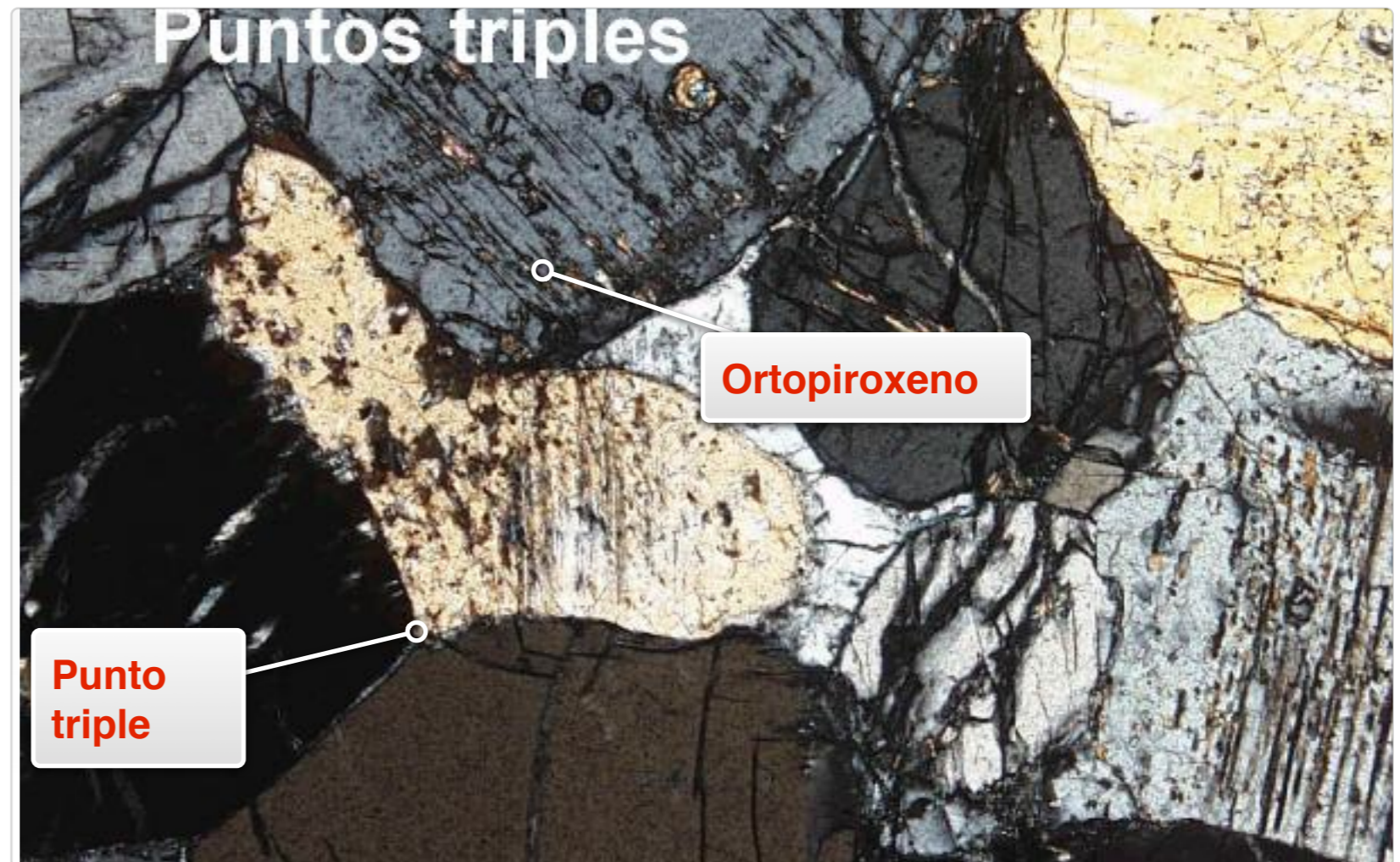
# Interpretación de texturas

## Contenido

---

- **Introducción**
- **Rocas Ígneas**
- **Rocas Metamórficas**

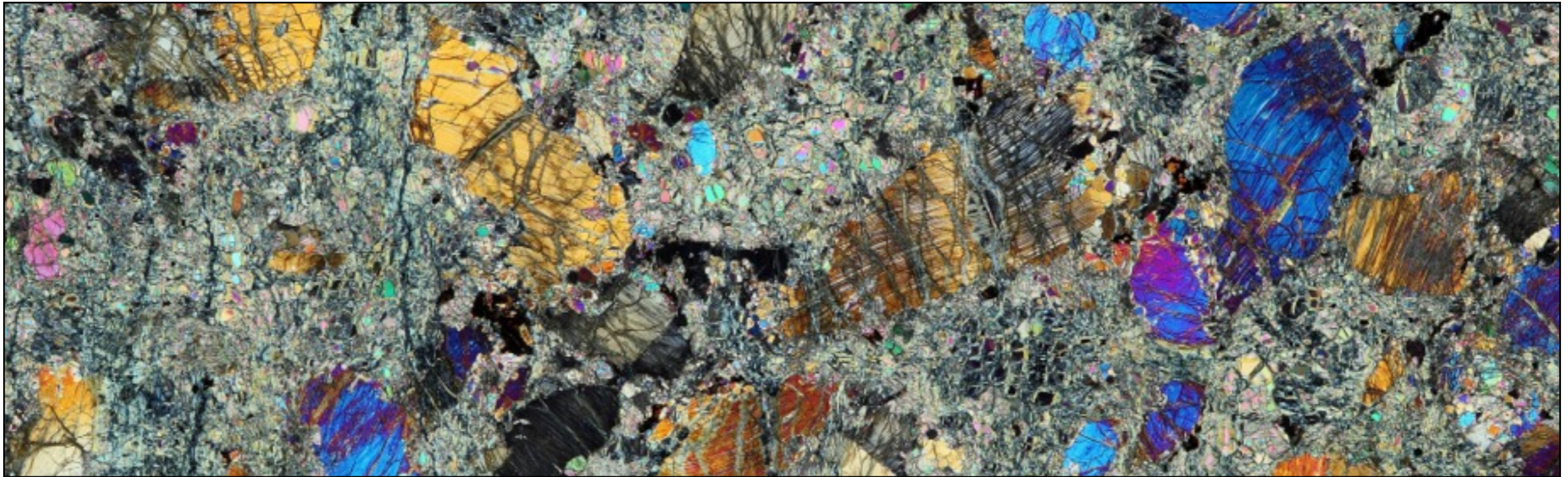
Para disponer de un glosario completo de texturas pulse [aquí](#).



*Puntos triples:*

*Ángulos interfaciales de  $120^\circ$  entre granos de minerales, indica recristalización térmica subsolidus, xpl, colección de prácticas*

# Introducción



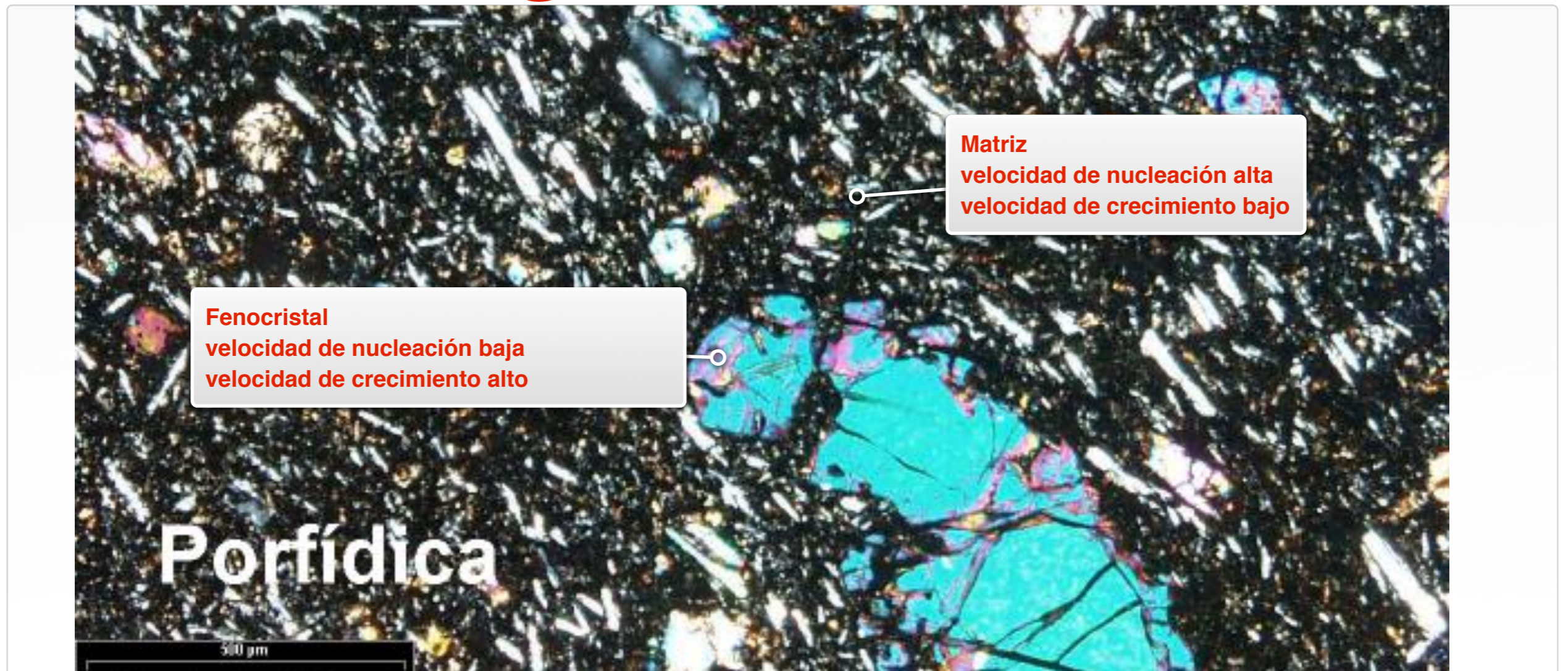
*Rocas ultramáfica serpentizada y deformada. 2839, xpl, colección de prácticas*

El estudio petrográfico de secciones delgadas de rocas, no solo comprende la identificación de los minerales presentes en la roca sino que hay que considerar también la información sobre el origen y la historia de la roca que puede obtenerse de los hábitos de los minerales así como de las relaciones entre minerales, i.e., las texturas. Una vez que han cristalizado las rocas, las texturas pueden ser modificadas, por ejemplo por reacciones entre minerales, **recristalización y deformación**. En general, cuanto mas

compleja y larga es la historia térmica, tectono-térmica o tectónica de una roca, más compleja será su textura, habiendo tenido más posibilidades de intersectar barreras de energía que controlan la estabilidad, o metaestabilidad, de las fases minerales originales.

Dado que las asociaciones minerales de las rocas ígneas, y metamórficas, son el resultado de historias largas y complejas, el objetivo es por tanto, unir las observaciones mineralógicas y las interpretaciones petrogenéticas.

# Criterios texturales para la interpretación de asociaciones minerales ígneas



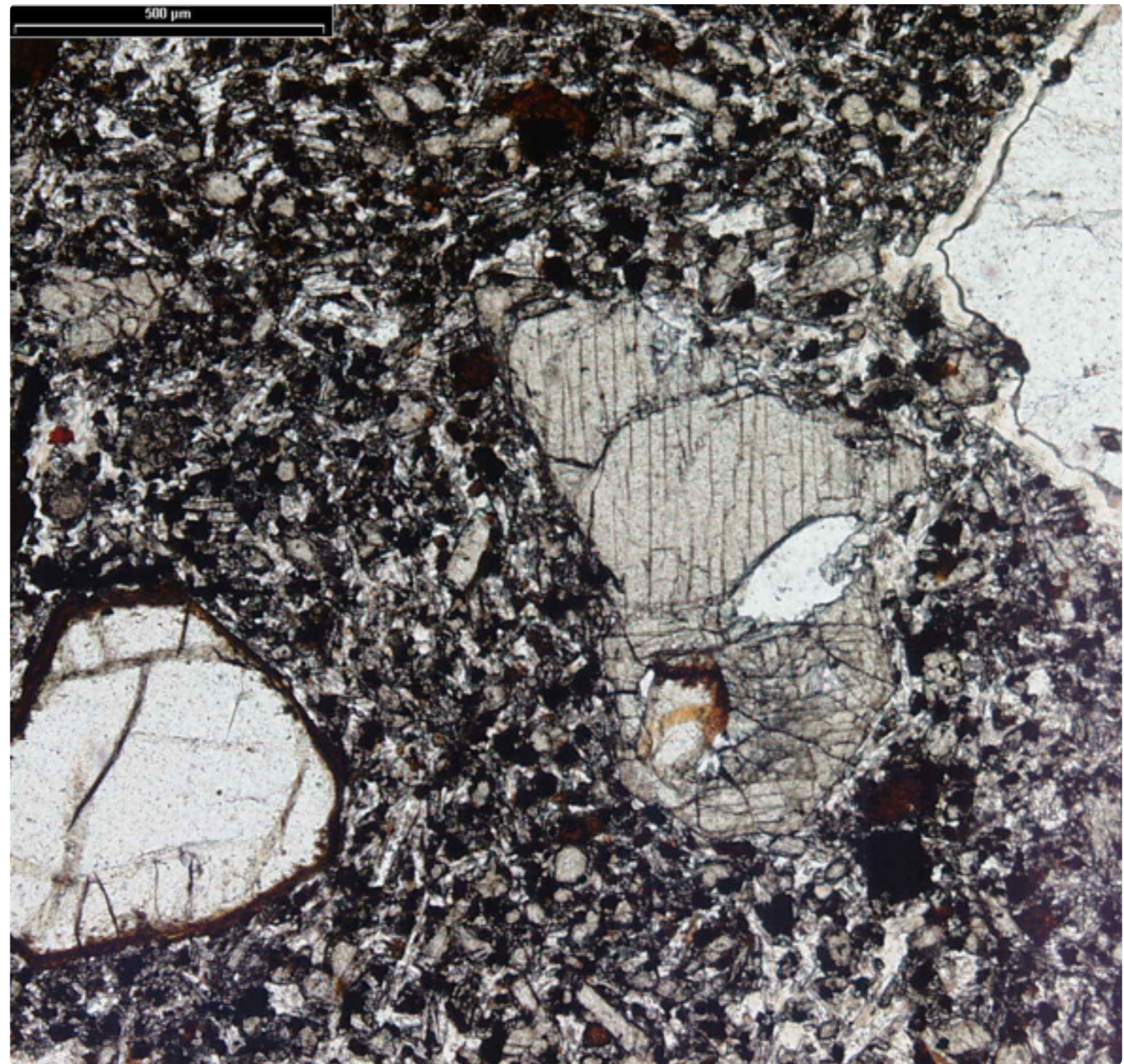
La cristalización se produce cuando:

La temperatura y la presión disminuyen ó la temperatura disminuye a presión constante.

La mayoría de las rocas ígneas presentan texturas simples resultado de las reacciones eutécticas y/o peritéticas, incluso aunque los fundidos de los que cristalizan sean composicionalmente complejos. Las rocas que resultan de las reacciones eutécticas tienen cristales euhedrales-subhedrales protoeutécticos con tamaño de grano variable que son cementados por simplectitas anhedrales eutécticas. Mientras que las rocas que resultan de reacciones peritéticas, junto con las fases eutécticas, frecuentemente muestran inclusiones relícticas corroídas que reflejan la reabsorción parcial de un mineral que era estable a temperaturas por encima del peritético y más tarde fundió incongruentemente para dar una nueva fase mineral y un nuevo líquido.

Los volátiles solubles en un magma escapan del sistema o permanecen en él y son atrapados en los minerales como inclusiones fluidas o difundidos en los espacios intergranulares llegando a veces a texturas pegmatíticas.

#### Gallery 4.1 Forma de los cristales



*Olivino euhedral, clinopiroxeno subhedral, ceolitas anhedrales 1238, ppl, colección de prácticas*

## Nucleación y crecimiento cristalino

La formación de minerales en las rocas ígneas esta controlada por dos factores: nucleación y crecimiento. La nucleación puede ser homogénea o heterogénea. Un cristal se forma por nucleación homogénea

cuando la concentración de los elementos formadores del mineral en el magma es suficientemente elevada. La nucleación heterogénea se produce cuando los minerales se forman sobre minerales pre-existentes. Una vez que los cristales han nucleado, el crecimiento se produce por adición progresiva de átomos, o moléculas,

al núcleo siguiendo tres patrones principales: dendrítico, capa a capa y espiral.

El crecimiento dendrítico se produce cuando una fase sólida aparece en un líquido rápidamente enfriado produciendo formas que se asemejan a las ramas de un árbol, que reciben el nombre de dendritas.

El crecimiento capa a capa progresa por la adición de material a la superficie planar del mineral cuando el magma próximo al cristal esta sobresaturado en los elementos formadores del mineral.

En el crecimiento en espiral la adición de materia al cristal se incrementa de modo proporcional a las imperfecciones de su superficie.

### Orden de cristalización

#### *Forma y tamaño de los cristales*

Los cristales formados nuevos en las rocas ígneas pueden ser euhedrales, subhedrales o anhedrales.

En el comienzo del proceso de cristalización, los minerales presentan formas simples que están controladas por las simetrías de sus redes cristalinas.

### Gallery 4.2 Cristalización y crecimiento



*Nucleación y cristalización de halita, CC Image courtesy of USGS on Wikipedia*

• •



Conforme el proceso avanza, los minerales pueden tener formas planas, redondeadas, lobulares, lenticulares... y en general, formas irregulares.

La forma de los cristales depende de si el crecimiento es libre, cuando los minerales se desarrollan en un líquido, o el crecimiento es alterado, debido a la formación de cristales al mismo tiempo y a las interacciones que se producen entre ellos – esto produce formación de cristales tempranos con tendencia a ser más euhedrales que otros formados posteriormente. Otros factores que afectan a la forma de los cristales son la corrosión, cuando los minerales no son estables durante un periodo de tiempo largo, y deformaciones o rupturas mecánicas.

El tamaño que alcanzan los cristales es el resultado de la velocidad de enfriamiento del magma, su composición química, la presencia o no de una fase fluida y de la tasa de convección.

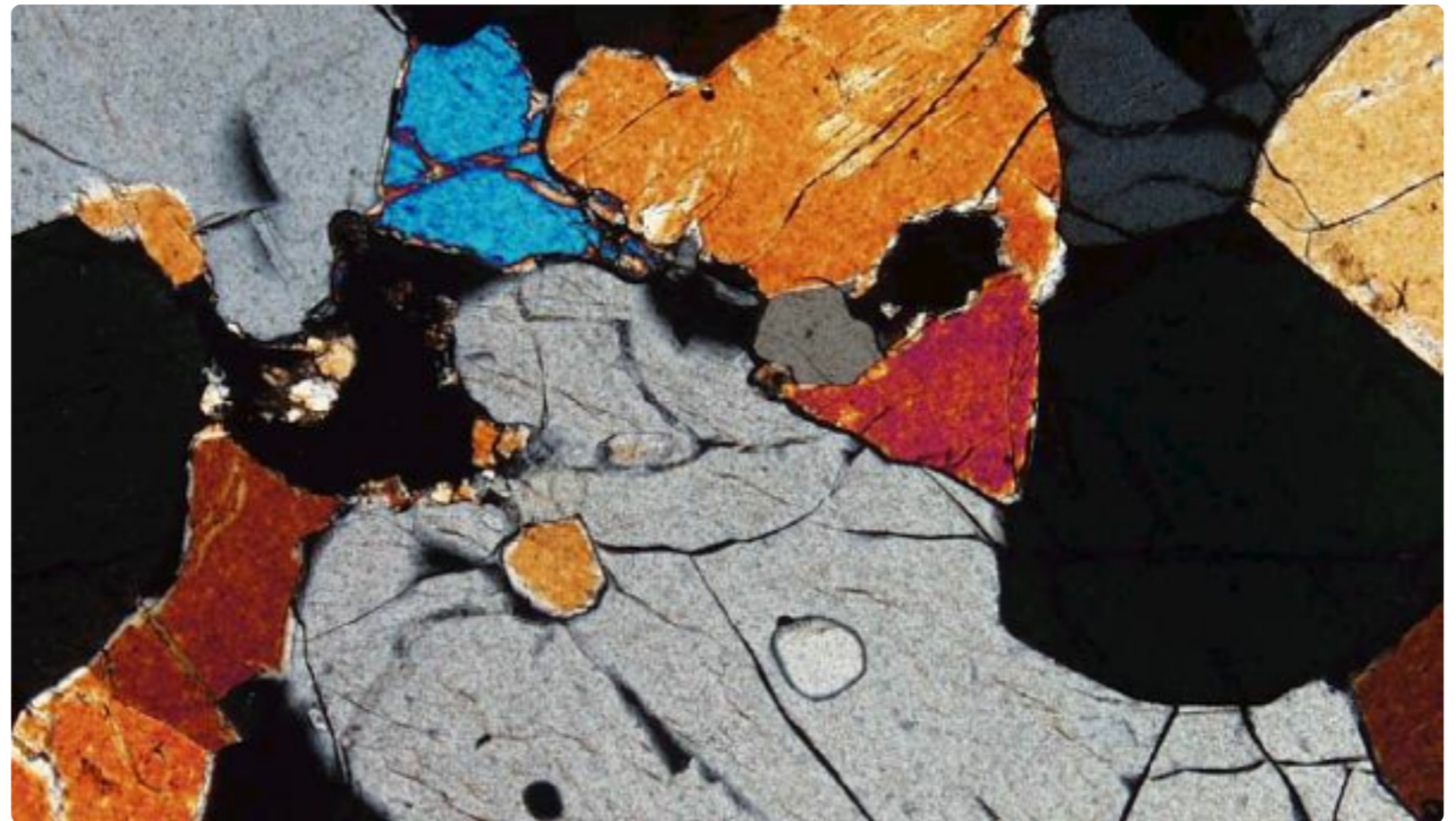
### *Inclusiones*

Se asume de modo general que si un mineral está incluido en otro, el mineral que aparece como inclusión es más viejo que el mineral hospedador. La forma y distribución de los dos minerales puede proporcionar información acerca del tiempo relativo de su formación.

Cuando los minerales son euhedrales y la misma fase, esto sugiere que la nucleación y el crecimiento fueron prolongados.

Cuando la inclusión es anhedral y el mineral hospedador es euhedral a anhedral, tenemos dos posibilidades: si las inclusiones están distribuidas al azar, no se puede obtener información específica

### *Gallery 4.3* Inclusiones



*Poikilitica, inclusiones abundantes, de minerales preexistentes dentro de un monocristal de tamaño de grano grueso, xpl, colección de prácticas*

acerca del tiempo relativo; si, por otro lado, las inclusiones mantienen la continuidad óptica y cristalográfica de la fase hospedadora, este reemplazamiento pseudomórfico es el resultado de procesos de reacción sin- o post- magmáticos con una forma mas anhedral indicando una tendencia a alcanzar el equilibrio entre las dos fases.

Cuando las inclusiones están geométricamente distribuidas en el mineral hospedador, esto es reflejo de que se formaron sobre las caras del cristal hospedador y fueron posteriormente incluidas en él conforme continuó el crecimiento – en este caso, el crecimiento de ambos minerales es contemporáneo.

Cuando las inclusiones de fundido siguen las caras del cristal hospedador, esto generalmente refleja periodos de inestabilidad de crecimiento mineral o corrosión que son el resultado de variaciones repentinas de presión y/o temperatura.

Hay que tener en mente, que aunque el intercrecimiento irregular entre dos minerales implique contemporaneidad, en

tres dimensiones, esto puede dar una impresión de inclusión de una en otra.

### *Cumulados*

Los fundidos silicatados, magmas, frecuentemente cristalizan minerales con distintas densidades. Si en la cámara magmática no se generan movimientos convectivos, los cristales mas densos se

hundirán, y los menos densos, flotarán, permitiendo que la diferenciación gravitacional forme bandeo rítmico y críptico de cumulados. La interacción entre los minerales cúmulos y el fundido inter-cúmulos atrapado puede dar lugar a una variedad de texturas tales como:

### *Gallery 4.4* Cumulados



*Textura cumulítica en un gabro, xpl, colección de prácticas*

- ortocumulados: cristales cúmulos euhedrales, cristales intercúmulos anhedrales.
- adcumulados: cristales cúmulos anhedrales, minerales intercúmulos ausentes. (mesocumulados: intermedios entre ortocumulados y adcumulados.)
- heteroadcumulados: cristales cúmulos subhedrales, grandes cristales intercúmulos poikiliticos
- crescumulados: orientados, minerales cúmulos dendríticos formados in-situ.

### *Minerales secundarios*

El pseudomorfismo de alteración cuando minerales secundarios, posteriormente formados, reemplazan al mineral hospedador tiende a comenzar en superficies de clivaje y fracturas microcristalinas. La clave de este proceso es la circulación de soluciones intergranulares. El flujo de agua rica en álcalis permite la serpentización del olivino, la anfibolitización del piroxeno y la cloritización de la biotita y del granate, la pinitización de la cordierita, la saussuritización (clorita, calcita, epidota, albita y moscovita) de la plagioclasa, la moscovitización del feldespato alcalino y la cancrinitización de la nefelina.

### Gallery 4.5 Minerales secundarios



*Saussuritización, alteración de plagioclasa a una mezcla de albita, epidota, clinozoisita y zoisita generalmente con calcita y sericita, ppl, colección de prácticas*



## Resumen

Las texturas de las rocas ígneas están controladas por los siguientes factores:

- la composición química del magma
- la tasa de enfriamiento del magma
- los mecanismos de emplazamiento del magma
- los contrastes de temperatura entre el magma y los alrededores de la cámara magmática (manto, corteza, aire, agua)
- el contenido en volátiles del magma retenido o liberado durante la cristalización de éste

Estos factores pueden combinarse y dar lugar a distintas texturas típicamente relacionadas con un tipo particular de rocas ígneas, contexto, emplazamiento o cristalización; por ejemplo, plutónicas o volcánicas, zonas de subducción o plumas mantélicas.

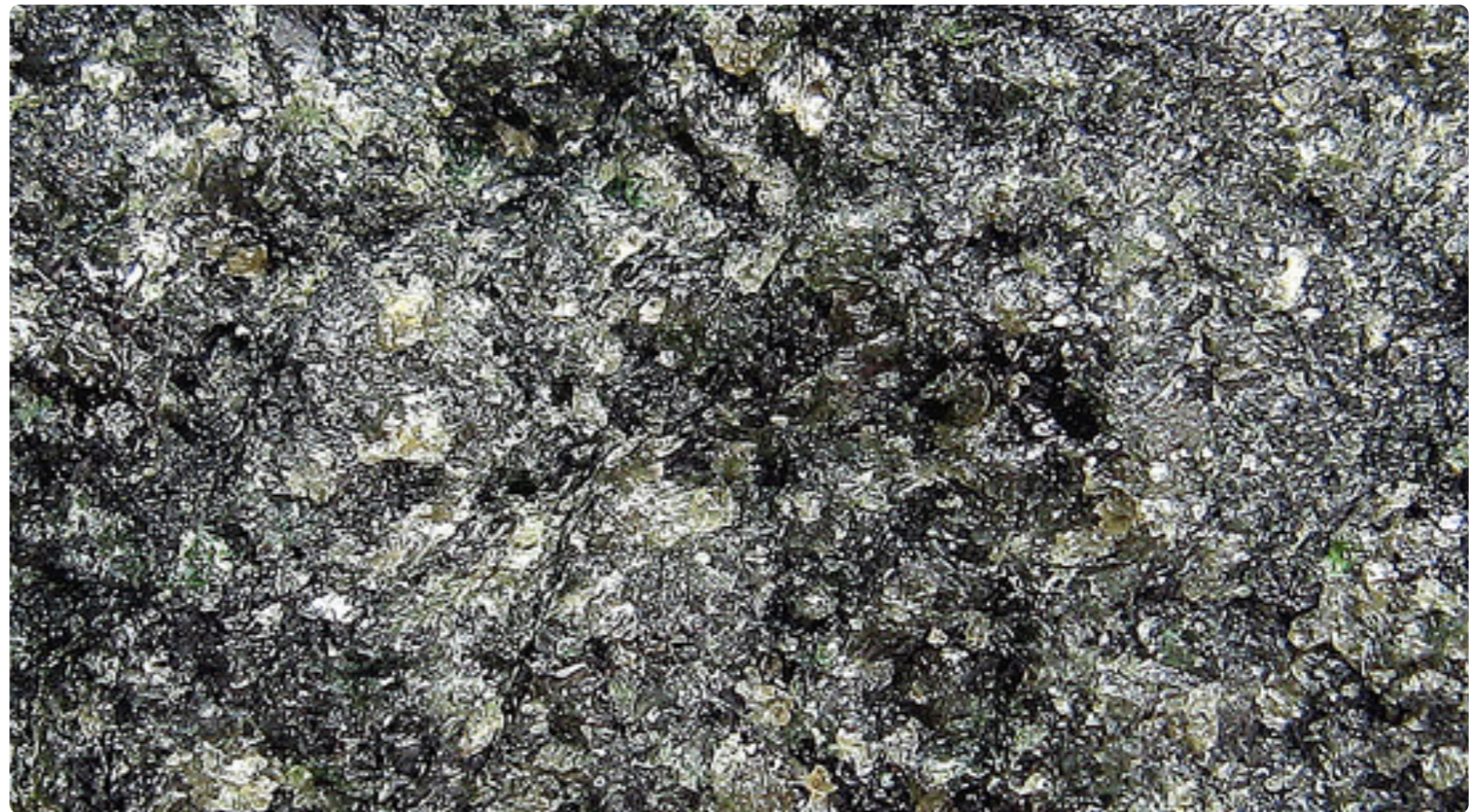
La combinación de la información petrográfica anterior nos permite definir el orden de cristalización de los minerales en una roca ígnea.

## Principales texturas en rocas ígneas

### *Textura fanerítica o de grano grueso.*

Se origina cuando el enfriamiento del magma es relativamente lento y en profundidad produciendo rocas ígneas cuyos cristales se ven a simple vista en muestra de mano, por ejemplo el gabro.

### **Gallery 4.6** Textura fanerítica o de grano grueso.



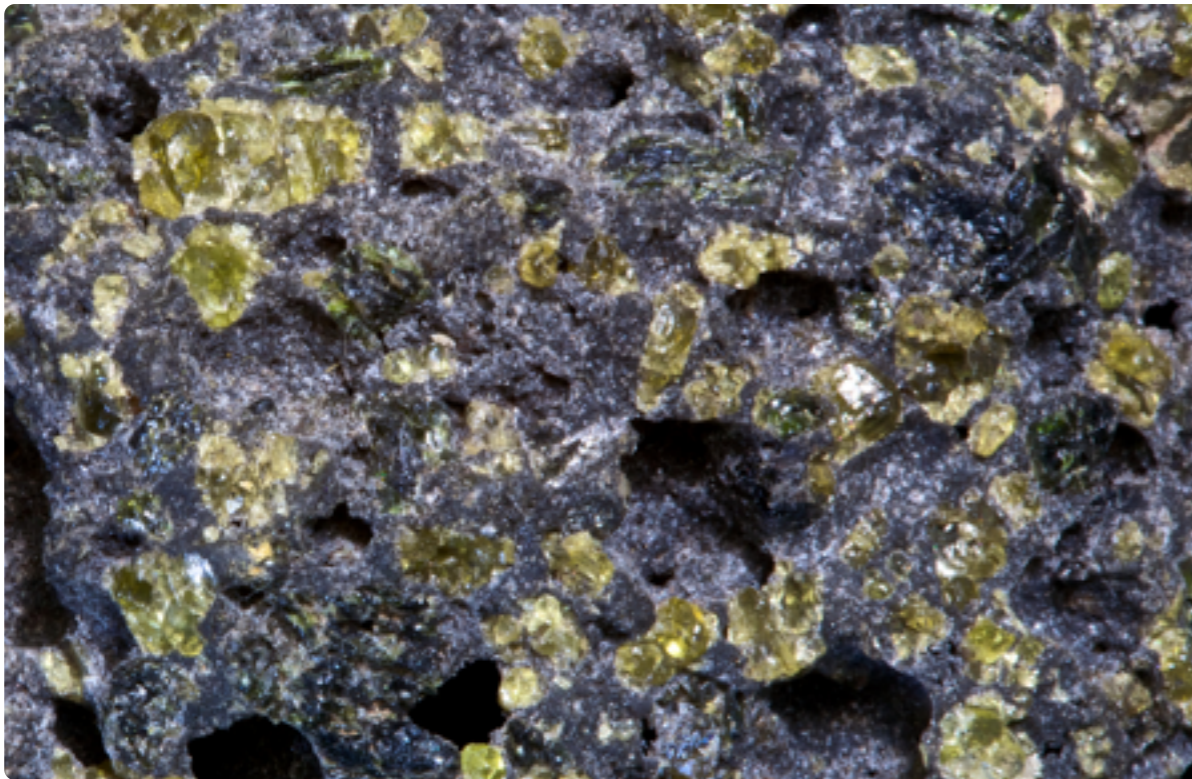
*Lherzolita, CC Image courtesy of Yvan LEMUR on Flickr*

### *Textura afanítica o de grano fino.*

Se origina cuando el enfriamiento del magma es relativamente rápido produciendo rocas ígneas cuyos cristales, de la matriz, no se ven a simple vista en una muestra de mano, por ejemplo el basalto.



**Gallery 4.7** Textura afanítica o de grano fino.



*Picrita, CC Image courtesy of Hypocentre on Flickr*



**Textura vítrea.**

Se origina durante erupciones volcánicas en las que la roca fundida se enfría rápidamente, por ejemplo el vidrio natural la obsidiana.

**Textura porfídica.**

Se origina cuando el magma se enfría en dos etapas diferentes produciendo dos fases de cristalización distintas y por tanto desarrollo de fenocristales y una matriz de tamaño de grano mas fino, por ejemplo el pórfido.

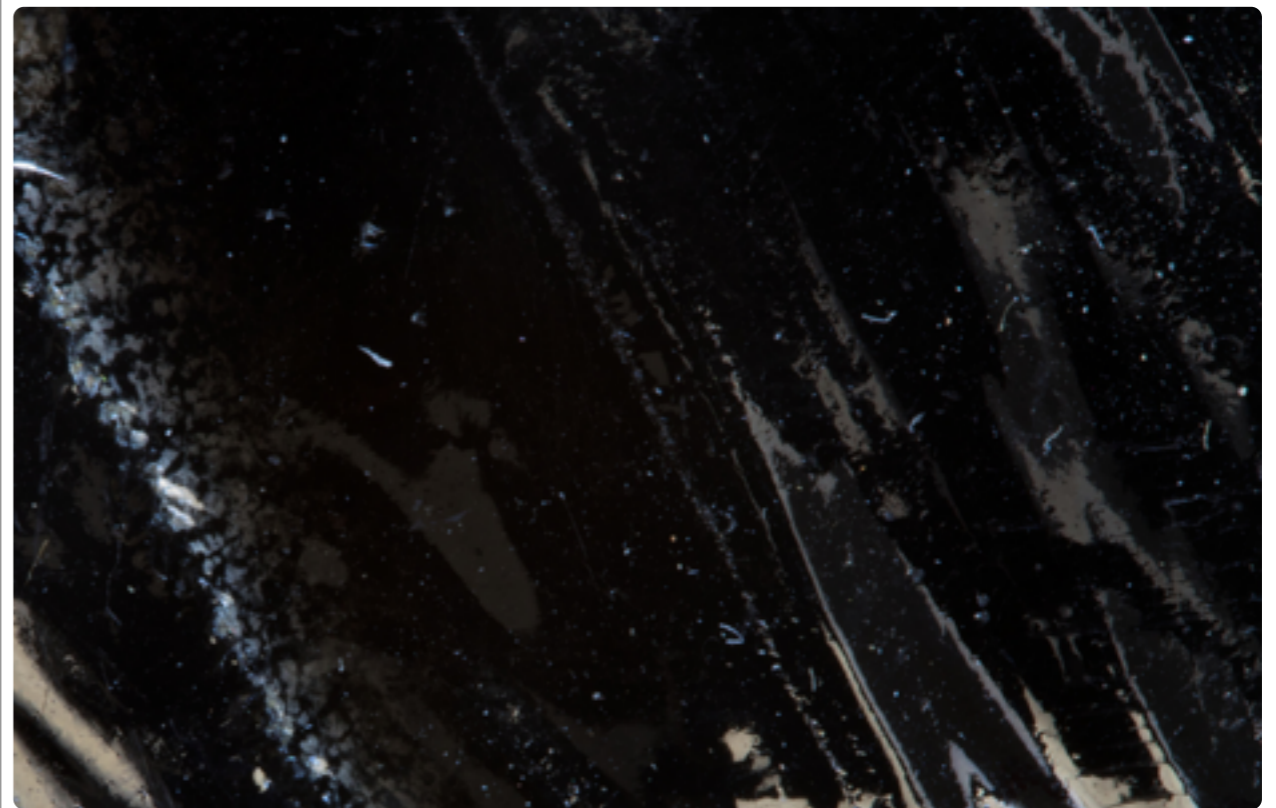
**Textura pegmatítica.**

Se origina en las últimas etapas de la cristalización del magma, cuando éste tiene un porcentaje elevado de agua y otros volátiles, dando lugar a rocas con tamaño de grano muy grueso.

**Textura piroclástica.**

Se origina la litificación de magmas fragmentados durante erupciones volcánicas muy explosivas, incluyendo cenizas, lapilli, gotas fundidas, bloques angulares arrancados del edificio volcánico,... por ejemplo la toba volcánica.

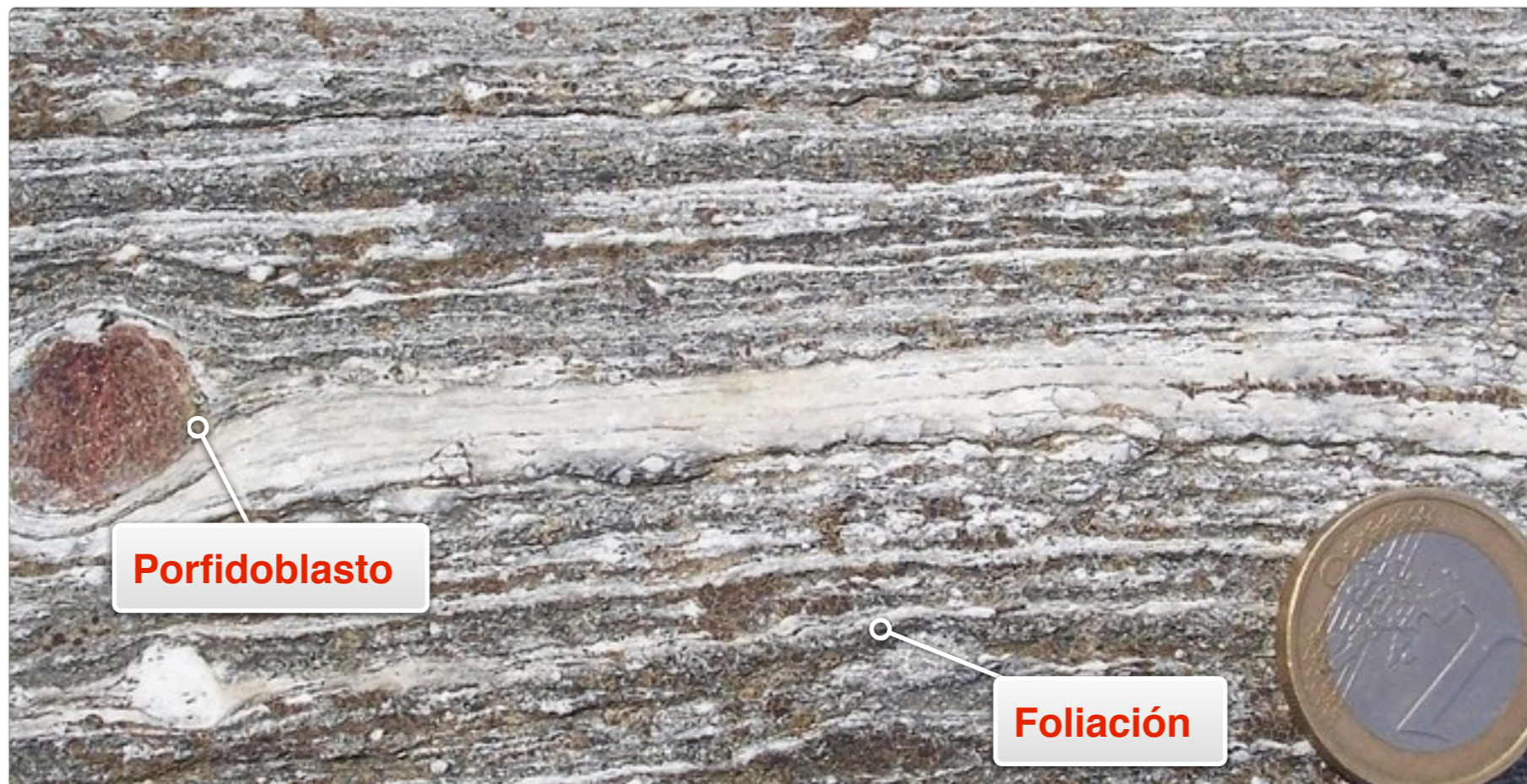
**Gallery 4.8** Texturas volcánicas



*Obsidiana vítrea, CC Image courtesy of Hypocentre on Flickr*



# Criterios texturales para la interpretación de asociaciones minerales metamórficas



*Gneiss milonítico con granate, CC Image courtesy of Woudloper on Wikipedia*

## Tipos de texturas de rocas metamórficas

Las texturas principales que se pueden encontrar en las rocas metamórficas son:

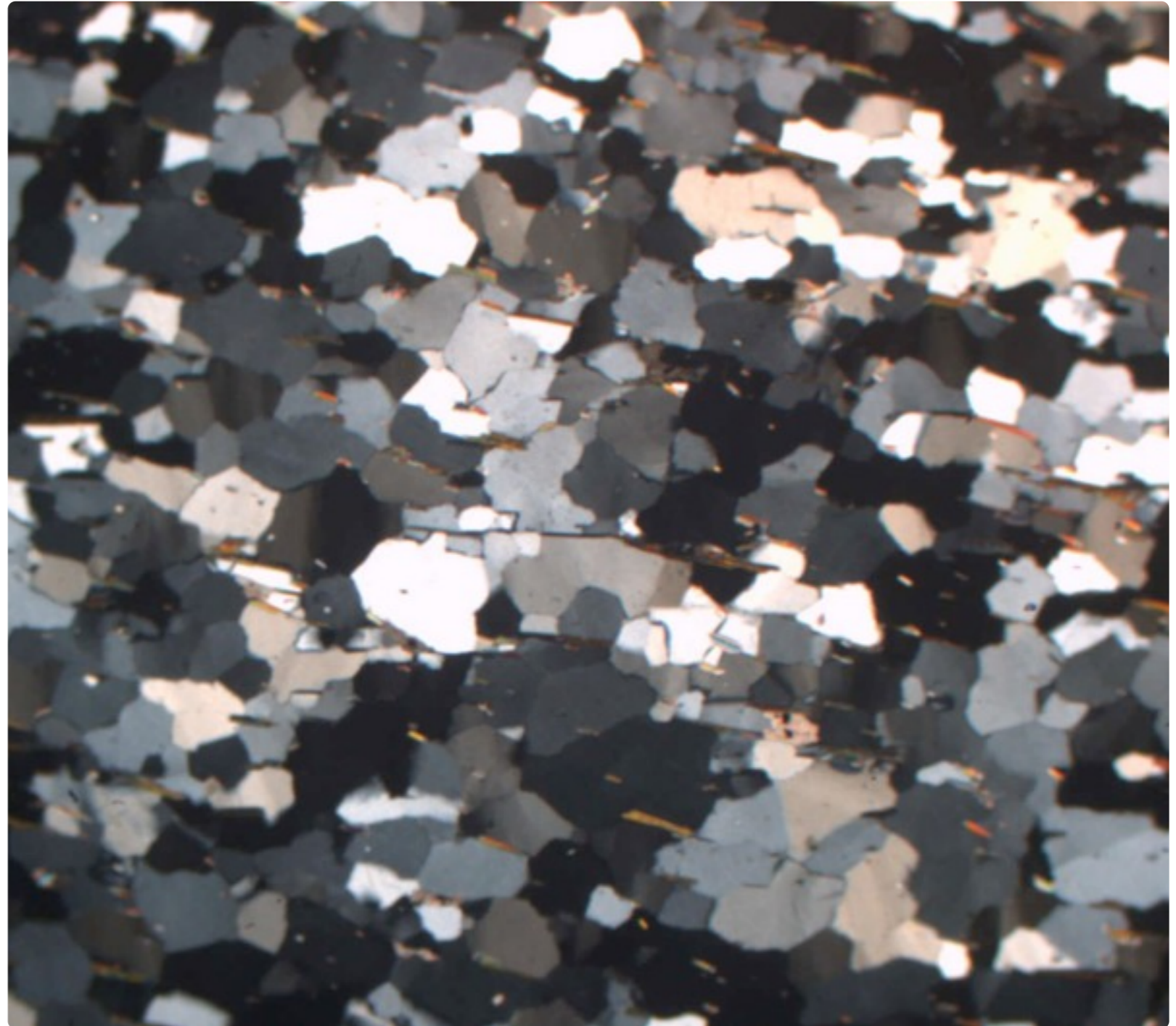
### *Textura granoblástica*

Los cristales forman un mosaico de granos más o menos equidimensionales. Los contactos entre granos tienden a formar  $120^\circ$  en puntos donde se juntan tres de ellos (denominados puntos triples). Esto se debe a que esta disposición morfológica es más estable, ya que se minimiza la superficie total de contactos entre granos y la energía de superficie, por comparación con otras disposiciones que implican contactos al azar. Esta textura es común en rocas monominerálicas como cuarcitas y mármoles, así como en rocas de grado metamórfico muy alto como granulitas.

### *Textura decusada*

Los minerales que forman el mosaico de granos suelen tener un hábito cristalino planar, acicular o prismático (p.e. micas o anfíboles). Los minerales no están orientados preferentemente.

Gallery 4.9 Texturas de rocas metamórficas



*Cuarcita con textura granoblástica, xpl, CC Image courtesy of Jackdann88 on Wikipedia*

### *Textura lepidoblástica*

Está definida por minerales tabulares (en general filosilicatos, normalmente micas y cloritas) orientados paralelamente según su hábito planar. El hecho de que esta textura presente orientación preferente de sus componentes minerales supone que las rocas con esta textura presentan fábrica planar (o plano-lineal), lo que confiere a la roca una anisotropía estructural (foliación) según la cual tiende a exfoliarse. Estas rocas presentan, por tanto,

comportamientos mecánicos contrastados según las direcciones perpendicular y paralela a la superficie de foliación. Esta textura es la típica de metapelitas (pizarras, micacitas, esquistos y gneises pelíticos).

### *Textura porfidoblástica*

Está definida por la presencia de blastos de tamaño de grano mayor (i.e., porfidoblastos) que el resto de los minerales que forman la matriz en la que se engloban. La matriz por su parte

### **Gallery 1.10** Texturas de rocas metamórficas



*Esquisto con textura lepidoblástica y cristales de andalucita con textura porfidobástica, ppl, colección de prácticas.*



#### Gallery 4.10 Texturas de rocas metamórficas



*Anfibolita con textura nematoblástica, ppl, colección de prácticas.*

puede tener cualquiera de las texturas anteriores (grano-, lepidoblastica o nematoblástica), o una combinación de ellas. Cualquier tipo de roca metamórfica puede tener textura porfidoblástica, y los porfidoblastos pueden ser de cualquier mineral que la forme.

#### *Textura nematoblástica*

Está definida por minerales prismáticos o aciculares (p.e., inosilicatos, normalmente anfíboles) orientados paralelamente según su hábito alargado en una dirección. Las rocas con esta textura presentarán fábrica lineal (o plano-lineal), lo que igualmente les confiere una anisotropía estructural (alineación) según la cual las rocas tienden a escindirse. Esta textura es típica de anfibolitas y algunos gneises y mármoles anfibólicos.

#### *Textura seriada*

En rocas con tamaño de grano variable en las que se observa una gradación continua de tamaños. Resultan típicamente de procesos de molturación, es decir de deformaciones intensas en rocas de tamaño de grano grueso.

#### *Textura helicítica*

En porfidoblastos ricos en inclusiones en los cuales éstas se disponen alineadas preferencialmente, incluso a veces con continuidad en el exterior del porfidoblasto.

La textura rotacional o en bola de nieve es una variante de la anterior, en la que la orientación tiene forma helicoidal,

posiblemente debida a la rotación del porfidoblasto durante la deformación. Son indicadores de crecimiento sincinemático.

### *Textura poikiloblástica*

Definida, al igual que en rocas ígneas, por cristales porfidoblásticos que incluyen a otros minerales más pequeños.

### *Textura milonítica*

Propia de las milonitas, rocas fuertemente deformadas en zonas de cizalla. Cabe esperar molturación muy intensa y orientación por flujo.

### *Texturas simplectíticas*

Intercrecimientos finos fibrosos o vermiculares de dos o más especies minerales que resultan de los procesos de reacción de dos fases minerales que están en contacto. Las fases de las simplectitas son las que cabría esperar de la reacción de los minerales. La

### **Gallery 4.11** Texturas de rocas metamórficas



*Milonita con porfidoclastos rotados, ppl, CC Image courtesy of Woudloper on Wikipedia*

presencia de simplectitas supone que las condiciones de equilibrio iniciales se perdieron en un momento dando reacciones entre las fases minerales. La mayoría de las texturas simplectíticas son características de rocas de alto grado.

### **Textura coronítica**

Es una variante de la anterior, en la que la textura producto de la reacción se produce rodeando a un cristal de grano grueso.

### **Textura pseudomórfica**

Cuando se observa que un grano ha sido reemplazado por otros minerales, in situ, pero adoptando el hábito del grano original. A veces se generan durante la trayectoria prograda o durante las transformaciones asociadas a la retrogresión.

## **Origen de las texturas de las rocas metamórficas**

Las texturas de las rocas metamórficas son el resultado de tres procesos distintos: Deformación, recristalización y/o reacciones entre minerales.

### **Texturas producidas por deformación**

Las texturas producidas por deformación son aquellas que se han generado por procesos de:

**Fracturación, deslizamiento y rotación pasiva** de los granos minerales (Deformación mecánica).

- reducción del  $\emptyset$  (molturación), cataclasitas
- minerales resistentes: porfidoclasto, textura porfidoblástica

**Disolución y deformación por presión** (Deformación intracristalina o plástica).

- dislocaciones cristalinas, maclas mecánicas y rotaciones de la red cristalina (cristales curvos y microkinks).
- en cristales anisótropos, extinción ondulante.
  - maclado mecánico (por rotación de una parte de la red cristalina hasta una orientación de macla). Se distribuyen heterogéneamente a lo largo del grano y se concentran en zonas de grado de deformación más alto.

Los procesos de deformación por presión requieren de un fluido intergranular (los granos se disuelven a lo largo de límites de grano perpendiculares a la dirección de aplastamiento, el material disuelto se transporta a zonas de menor deformación (p.e., sombras de presión).

Asociados a estos procesos son comunes las rotaciones de minerales inequidimensionales y estiramiento de los granos (por deformación y disolución por presión), lo que da lugar a una orientación preferente generando una fábrica planar, lineal o plano-lineal, foliación.

Las texturas más frecuentes producidas por deformación son:

- **textura nematoblástica:** textura anisótropa. La orientación preferente de minerales viene dada por la disposición subparalela de minerales prismáticos, normalmente inosilicatos.
- **textura lepidoblástica:** textura anisótropa, orientación preferente de minerales viene dada por la disposición subparalela de minerales planares, normalmente filosilicatos.

### **Texturas producidas por recristalización**

La energía libre total de una asociación mineral estable I para P-T-X, viene dada por:

$$G(P, T, X)_{T,I} = G(P,T,X)_{V,I} + G(P,T,X)_{S,I} + G(P,T,X)_{D,I}$$

donde,

$G(P,T,X)_{V,I}$  es la energía libre de volumen, que viene dada por la energía libre de cada una de las fases minerales que constituyen la asociación mineral,

$G(P,T,X)_{S,I}$  es la energía libre de superficie, debida a la discontinuidad que supone la existencia de límites de grano con enlaces atómicos no balanceados,

$G(P,T,X)_{D,I}$  es la energía de deformación asociada a la distorsión de la estructuras cristalinas.

El término de volumen presenta el mayor valor en términos absolutos, y es el que determina qué asociación mineral será estable bajo ciertas condiciones P-T-X, es decir el que controla la cristalización de nuevas asociaciones minerales (blastesis). Los otros dos términos energéticos, aunque pequeños, son responsables de importantes

reajustes o transformaciones texturales de asociaciones minerales existentes (i.e. sin blastesis), proceso al que se hace referencia como recristalización.

#### **Texturas ligadas a la liberación de tensiones intracristalinas**

A partir de un cristal deformado con distribución homogénea de dislocaciones, habrá una reducción de la energía si éstas migran a lo largo del cristal y se concentran en dominios planares lo que da lugar a la formación de bandas de deformación.

Si avanza la recristalización, disminuye la anchura de las bandas y pasan a dar límites de subgrano.

En bordes de cristales muy deformados, se pueden formar nuevos cristales libres de deformación intracristalina que crecen a expensas de los dominios deformados (recristalización dinámica), dan una textura parecida a la textura en mortero.

#### **Texturas ligadas a la reducción de la energía de superficie y reforma de los cristales (annealing)**

Se define así al mecanismo de recristalización que implica reducción de la

superficie de granos irregulares y la eliminación de los granos más pequeños

En rocas mono-minerálicas, las texturas producidas por estos procesos generan agregados poligonales equigranulares con puntos triples cuyos ángulos interfaciales aproximan  $120^\circ$  (textura granoblástica poligonal).

En minerales anisótropos, la energía de superficie depende de la orientación y existe cierta tendencia al desarrollo preferencial de ciertas caras cristalinas (e.g. 110 en Amp y Px, 001 en micas), dando lugar a agregados de cristales prismáticos o planares orientados al azar con ángulos interfaciales variables (textura decusada).

Un caso particular es el desarrollo de porfiroblastos. La nucleación de nuevos cristales requiere un exceso de energía libre. Si la energía de nucleación no es muy alta, entonces se favorece el crecimiento y se forman porfiroblastos. Los porfiroblastos serán euhedrales si sus caras tienen suficiente energía libre. La rotación de minerales y posterior recristalización, da lugar al desarrollo de sombras de presión.

### Texturas asociadas a reacciones entre minerales

Las reacciones metamórficas implican nucleación y crecimiento de nuevas fases minerales a partir de una asociación mineral previa inestable.

Si alguna de las fases preexistentes es estable, no hay proceso de nucleación, sino recrecimiento, en algunos casos dando lugar a zonación composicional.

Las texturas asociadas a procesos reaccionales dependerán de:

- relación entre velocidad de nucleación y la de crecimiento ( $V_n$  y  $V_c$ ),
- tipo de nucleación,
- velocidad de transporte de los componentes químicos hacia las nuevas zonas de crecimiento

### Distribución y tamaño de los cristales

El tamaño y distribución de las fases minerales depende de la relación entre la  $V_n$  y  $V_c$ .

**And, Ky, Grt, St** -> tienen tendencia a formar porfiroblastos o porfidoblastos

**Qtz, mica blanca, Fds** -> suelen dar abundantes granos de tamaño fino

**Amp, Lws, Bt, Chl** -> ambos casos

### Inclusiones

Durante los procesos de blastesis, las fases neoformadas suelen crecer libres de inclusiones para minimizar la energía de superficie, por disolución y transporte de los minerales no consumidos hacia otras partes de la roca. Si la velocidad de crecimiento es mayor que la de transporte, el mineral neoformado puede crecer con inclusiones. Los porfidoblastos ricos en

Gallery 4.12 Proceso en la nucleación y crecimiento de fases minerales (blastesis) en rocas metamórficas



inclusiones reciben el nombre de poikiloblastos o peciloblastos (textura poikiloblástica).

El desarrollo de inclusiones puede ser:

- Proceso activo, controlado por la estructura cristalina de la fase hospedadora
- Proceso pasivo, la fase hospedadora engloba fases conservando la fábrica preexistente

Los minerales incluidos en una fase hospedadora pueden ser:

- Relictos de una asociación mineral previa
- Fases que no han intervenido en la reacción de formación de la fase hospedadora (fases inertes)
- Fases minerales reactantes que no han sido consumidas totalmente durante la reacción metamórfica (fases en exceso)
- Productos de reacción que son englobados por una fase coexistente con una mayor tasa de crecimiento

El origen de una fase incluida se puede inferir en ocasiones,

- Si aparece solo como inclusión, nunca en la matriz

- Si aparece como inclusión y en la matriz definiendo una foliación, se puede establecer una secuencia de crecimiento

### **Texturas de reemplazamiento: coronas y simplectitas**

Dos o más fases minerales inestables por cambios en las condiciones reaccionan y producen el crecimiento de una o varias fases minerales que las reemplazan. El reemplazamiento se inicia a partir de los bordes de grano.

Las fases neoformadas pueden aparecer formando inter-crecimientos lamelares o vermiculares muy finos denominados simplectitas (reaccionales o de exsolución).

### **Indicadores texturales de coexistencia en equilibrio**

Las rocas metamórficas se pueden contemplar como sistemas químico-físicos sujetos a cambios provocados por variaciones en las condiciones del entorno. Estos cambios tienen como objetivo alcanzar un estado de equilibrio. Como en otros sistemas, el equilibrio en rocas es una

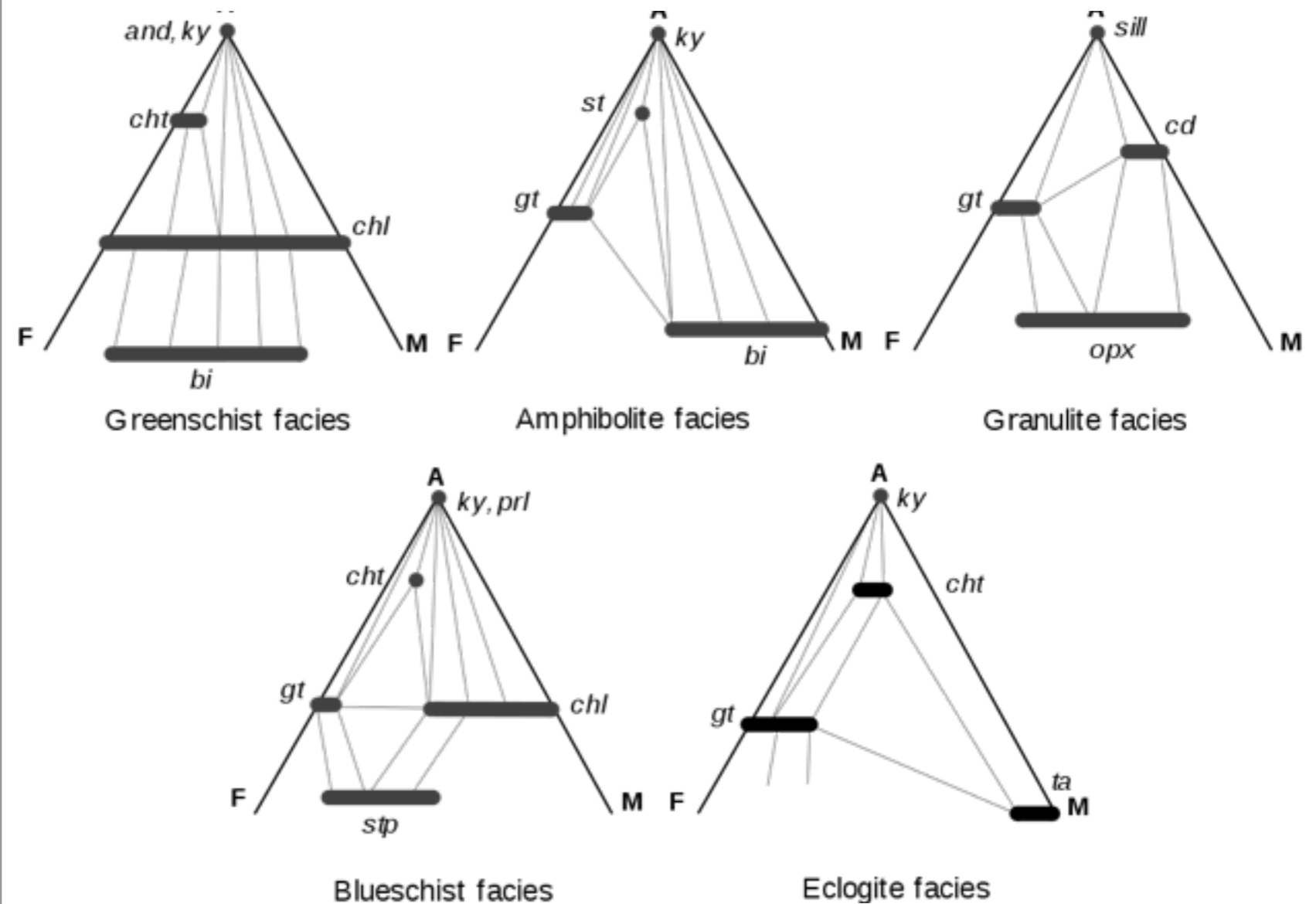
condición de no cambio. Para el caso de equilibrios "estables", esta condición está representada por una configuración mineralógica que, bajo unas condiciones determinadas, es comparativamente más estable que cualquier configuración alternativa dentro de los límites impuestos por la composición global. La estabilidad es una condición de mínima energía libre. Una vez que las reacciones entre fases minerales han cesado, i.e. se ha alcanzado un estado de  $G(P,T,X)V$  mínimo, los procesos de recristalización pueden actuar para minimizar los otros dos componentes dando lugar a texturas de tipo granoblástico o decusado.

Sin embargo, en muchas circunstancias esta configuración de mínima energía no se alcanza debido a limitaciones cinéticas críticas (p.e., difusionales) o a tasas relativas de deformación muy elevadas. Por este motivo, ejemplares de rocas bien equilibradas texturalmente son más bien la excepción que la regla. Dependiendo de la trayectoria P-T-t seguida y de otras condiciones (p.e. presencia de fluidos), muchas rocas presentan asociaciones minerales originadas en diversos estadios evolutivos (progrados y retrógrados), posiblemente bajo condiciones muy

diferentes. Lo que sigue es una lista de posibles criterios a tener en cuenta para decidir si dos o más fases minerales han podido coexistir en equilibrio.

- i. Existencia de contactos mutuos no reaccionales. Tales contactos deberían ser simples, sin indicios de reemplazamiento. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que la existencia de contactos reaccionales (p.e., simplectíticos) no elimina la posibilidad de que dos fases hayan podido coexistir en equilibrio con anterioridad al desarrollo del borde reaccional. Por otra parte, la existencia de una fase que aparece reemplazando a otra puede representar un ajuste del equilibrio en el caso de procesos reaccionales continuos que conllevan cambios en la composición de las fases y de sus proporciones modales (reacciones de transferencia neta).
- ii. Una misma orientación preferencial y/o congruencia textural.
- iii. Que muestren efectos de transformación similares (en el caso de fases relictas).
- iv. Que aparezcan intercrecidas o incluidas mutuamente entre sí.

**Gallery 4.13** Diagramas AFM para metapelitas



*Diagramas AFM muestran líneas de compatibilidad entre fases minerales para rocas metamórficas a distintas condiciones PT, CC Image courtesy of Wikipedia*

- v. Que no sean incompatibles (es decir, que las fases puedan coexistir en un mismo intervalo de presión y temperatura).

Una primera estimación de compatibilidad puede basarse en una comparación con asociaciones minerales típicas de distintas facies en rocas comunes. La proyección

(cualitativa) de la asociación en un diagrama de fases adecuado también puede ser de ayuda (e.g., el diagrama AFMK para las metapelitas), aunque un análisis riguroso puede requerir datos composicionales detallados y el empleo de técnicas algebraicas y estadísticas para detectar dependencias lineales entre las composiciones de las fases en espacios de más de cuatro componentes (dimensiones).



5.

# Sesiones prácticas

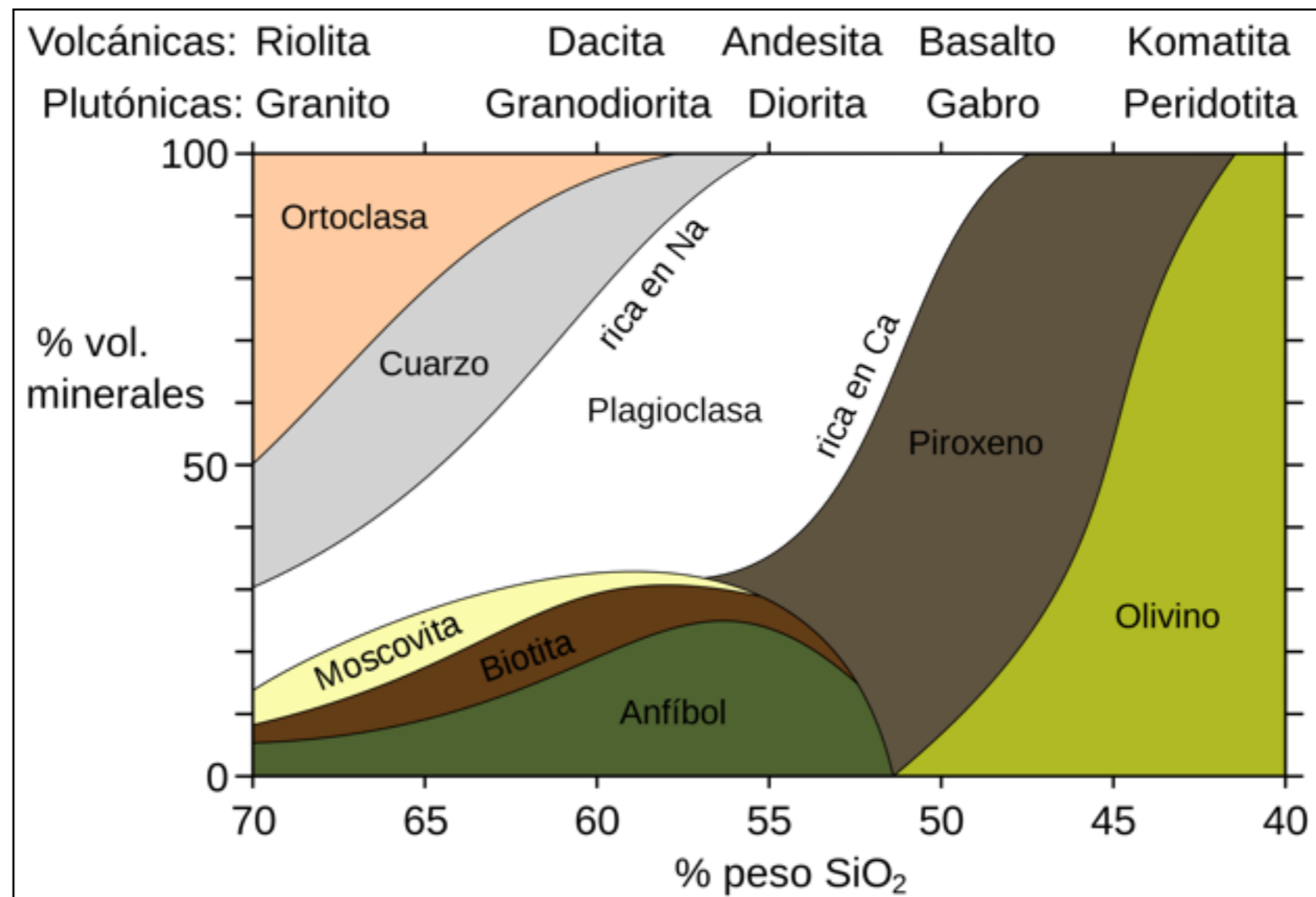


*CC Image courtesy of Andrew Urquhart on Flickr*

En trece sesiones prácticas se muestran los aspectos más relevantes sobre clasificación, principales características y reconocimiento de rocas ígneas y metamórficas vistas en muestra de mano y en lámina delgada.

# S1: Cálculo de la norma CIPW

**Figure 5.1** La relación entre mineralogía y composición química.



CC Image courtesy of Wikipedia

## Actividades previas

A) Leer el siguiente texto a modo de introducción al seminario 1.

La moda de una roca ígnea es la mineralogía que se observa al microscopio, la norma, por otro lado, es una mineralogía virtual calculada a partir de su composición química. La norma da una indicación de las asociaciones mineralógicas compatibles e incompatibles en las rocas ígneas.

El propósito del cálculo de la norma es la clasificación de las rocas ígneas, en las siguientes categorías:

- i. sobresaturado - la roca contiene cuarzo normativo.
- ii. saturado - la roca no contiene ni cuarzo normativo ni minerales subsaturados.
- iii. subsaturados - la roca contiene minerales subsaturados, p. ej., olivino y/o feldespatoides.

Los minerales formados son:

- i. sálicos (Si y Al) – leucocráticos.
- ii. fémicos (Fe y Mg) – ferromagnesianos.

La mineralogía normativa tiene la ventaja de que identifica características similares ocultas por tamaño

de grano debido a historias de cristalización diferentes, p. e., un basalto y un gabro.

Para hacer el cálculo de la norma hay que asumir una serie de simplificaciones, tales como:

- i. el magma es seco - no se forman los minerales hidratados, p. e., anfíbol.
- ii. los minerales ferromagnesianos no tienen Al.
- iii. todos los minerales ferromagnesianos tienen Fe/Mg igual.

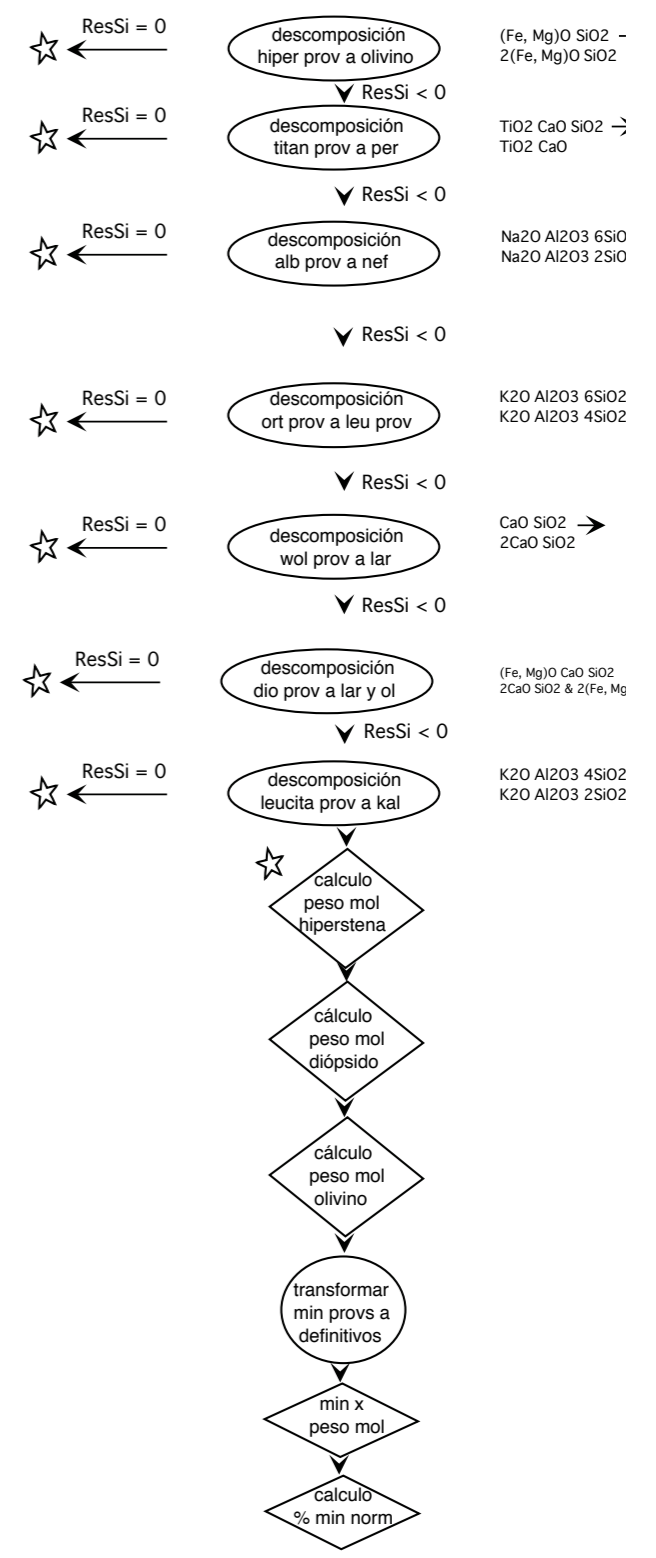
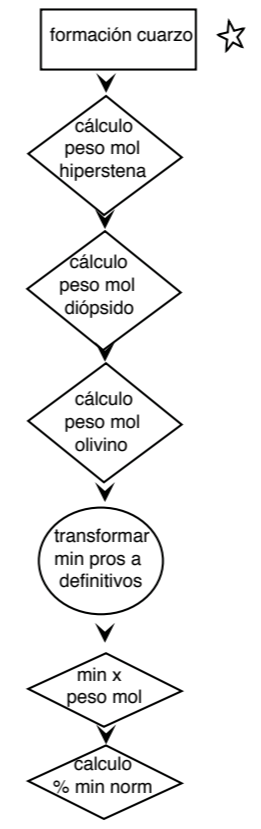
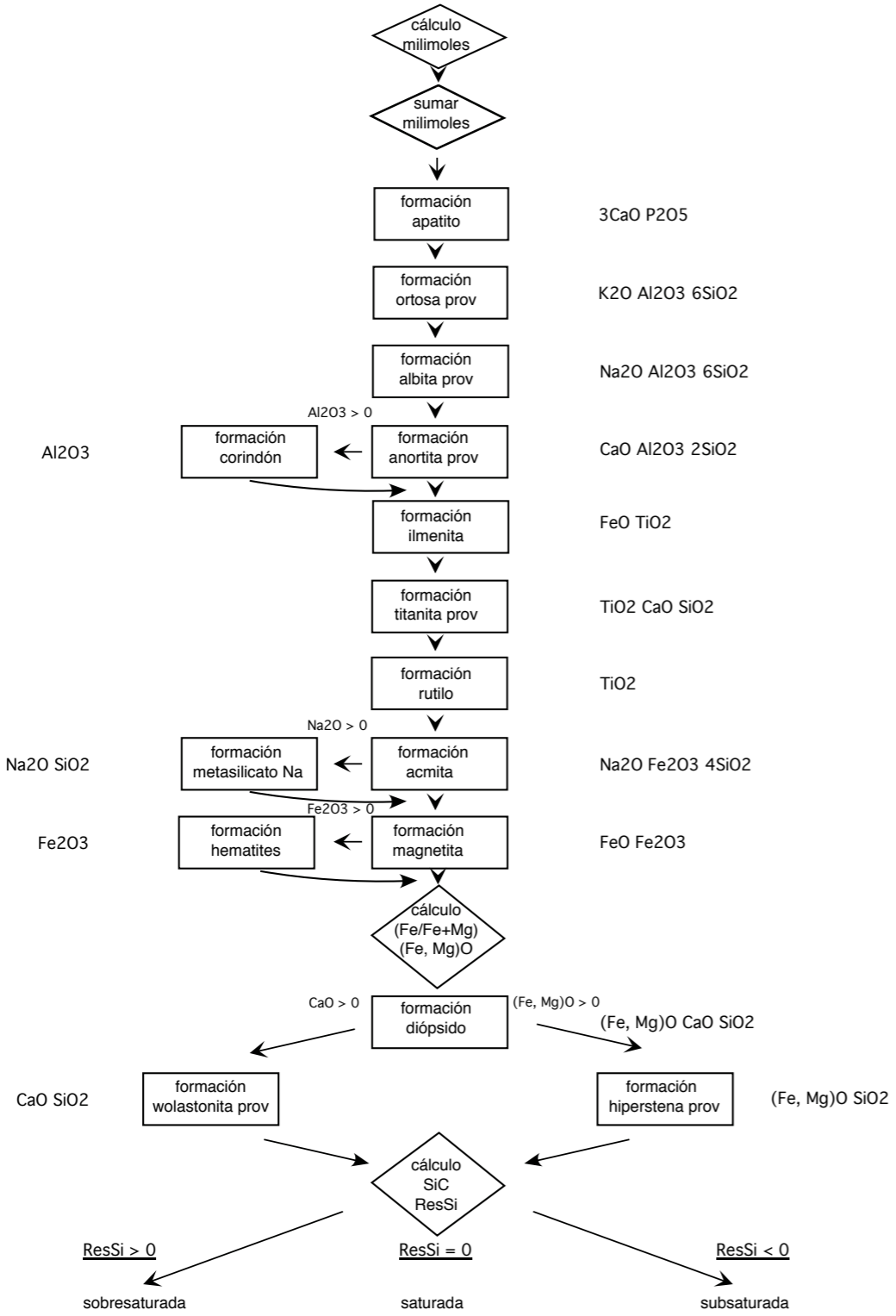
## Actividades de refuerzo

- i. Calcular la mineralogía normativa de los otros análisis de la tabla.

Se puede utilizar las herramientas en

[la página web tutor.](#)

- ii. Confeccionar una tabla de compatibilidades e incompatibilidades mineralógicas en la norma de una roca ígnea.



Pesos moleculares:

SiO<sub>2</sub> = 60.08  
 TiO<sub>2</sub> = 79.9  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 101.96  
 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 159.69  
 FeO = 71.85  
 MgO = 40.3  
 MnO = 70.94  
 CaO = 56.08  
 Na<sub>2</sub>O = 61.98  
 K<sub>2</sub>O = 94.2  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 141.94

Minerales sálicos:

Cuarzo (SiO<sub>2</sub>) = 60.08  
 Corindón (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 101.96  
 Ortosa (K<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub>) = 556.64  
 Albita.(Na<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub>) = 524.42  
 Anortita (CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>) = 278.2  
 Nefelina (Na<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>) = 284.1  
 Leucita (K<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.4SiO<sub>2</sub>) = 436.48  
 Kalsilita (K<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 2SiO<sub>2</sub>) = 316.32  
 Metasilicato Sódico (Na<sub>2</sub>O.SiO<sub>2</sub>) = 122.06

Minerales féricos:

Acmita (Na<sub>2</sub>O. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 4 SiO<sub>2</sub>) = 461.99  
 Enstatita (MgO.SiO<sub>2</sub>) = 100.38  
 Ferrosilita (FeO.SiO<sub>2</sub>) = 131.93  
 Wollanstonita (CaO.SiO<sub>2</sub>) = 116.16  
 Forsterita (2MgO.SiO<sub>2</sub>) = 140.68  
 Fayalita (2FeO.SiO<sub>2</sub>) = 203.78  
 Larnita (2CaO.SiO<sub>2</sub>) = 172.24  
 Diópsido (CaO MgO 2SiO<sub>2</sub>)

Accesorios:

Ilmenita (FeO.TiO<sub>2</sub>) = 151.75  
 Titanita (TiO<sub>2</sub>.CaO.SiO<sub>2</sub>) = 196.06  
 Rutilo (TiO<sub>2</sub>) = 79.9  
 Perowskita (TiO<sub>2</sub>.CaO) = 135.98  
 Magnetita (FeO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 231.54  
 Hematites (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 159.69  
 Apatito (3CaO.P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) = 336.

muestra	traquita	monzonita	granito	sienita con nef	nefelinita
SiO <sub>2</sub>	61,2	62,6	71,3	54,99	40,6
TiO <sub>2</sub>	0,7	0,78	0,31	0,6	2,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,96	15,65	14,32	20,96	14,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,99	1,92	1,21	2,25	5,48
FeO	2,29	3,08	1,64	2,05	6,17
MgO	0,93	2,02	0,71	0,77	6,39
MnO	0,15	0,1	0,05	0,15	0,26
CaO	2,34	4,17	1,84	2,31	11,89
Na <sub>2</sub> O	5,47	3,73	3,68	8,23	4,79
K <sub>2</sub> O	4,98	4,06	4,07	5,58	3,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,25	0,12	0,13	1,07
Suma	98,23	98,36	99,25	98,02	97,1

Procedimiento:

1.- Cálculo de los milimoles: Dividir cada óxido por su peso molecular, multiplicar por 1000 y redondear. Sumar los milimoles de MnO al FeO. Todos los pasos siguientes se harán a partir de los milimoles.

*Cálculo de la mineralogía saturada*

2.- Formación del apatito (Ap):  $Ap = P_2O_5$ ;  $CaO = CaO - 3.33 P_2O_5$ ;  $P_2O_5 = 0$ .

3.- Formación de la ortosa provisional (Ortp).  $Ortp = K_2O$ ;  $Al_2O_3 = Al_2O_3 - K_2O$ ;  $K_2O = 0$ .

4.- Formación de la albita provisional (Abp), Dos alternativas:

(1)  $Al_2O_3 \geq Na_2O$ ;  $Abp = Na_2O$ ;  $Al_2O_3 = Al_2O_3 - Na_2O$ ;  $Na_2O = 0$ ;

(2)  $Na_2O > Al_2O_3$ ;  $Abp = Al_2O_3$ ;  $Na_2O = Na_2O - Al_2O_3$ ;  $Al_2O_3 = 0$ .

5.- Formación de la anortita provisional (Anp). Dos alternativas:

(1)  $Al_2O_3 \geq CaO$ ;  $Anp = CaO$ ;  $Al_2O_3 = Al_2O_3 - CaO$ ;  $CaO = 0$ ;

(2)  $CaO > Al_2O_3$ ;  $Anp = Al_2O_3$ ;  $CaO = CaO - Al_2O_3$ ;  $Al_2O_3 = 0$ .

6.- Formación de corindón (Co). Sólo si  $Al_2O_3 > 0$ .  $Co = Al_2O_3$ ;  $Al_2O_3 = 0$ .

7.- Formación de ilmenita (Il). Dos alternativas:

(1)  $FeO \geq TiO_2$ ;  $Il = TiO_2$ ;  $FeO = FeO - TiO_2$ ;  $TiO_2 = 0$ ;

(2)  $FeO < TiO_2$ ;  $Il = FeO$ ;  $TiO_2 = TiO_2 - FeO$ ;  $FeO = 0$ .

8.- Formación de titanita provisional (Tip). Sólo si  $CaO > 0$  y  $TiO_2 > 0$ . Dos alternativas:

(1)  $CaO \geq TiO_2$ ;  $Tip = TiO_2$ ;  $CaO = CaO - TiO_2$ ;  $TiO_2 = 0$ ;

(2)  $CaO < TiO_2$ ;  $Tip = CaO$ ;  $TiO_2 = TiO_2 - CaO$ ;  $CaO = 0$ .

9.- Formación de rutilo (Ru). Sólo si  $TiO_2 > 0$ .  $Ru = TiO_2$ ;  $TiO_2 = 0$ .

10.- Formación de acmita (Ac). Sólo si  $Fe_2O_3 > 0$  y  $Na_2O > 0$ . Dos alternativas:

(1)  $Fe_2O_3 \geq Na_2O$ .  $Ac = Na_2O$ ;  $Fe_2O_3 = Fe_2O_3 - Na_2O$ ;  $Na_2O = 0$ ;

(2)  $Fe_2O_3 < Na_2O$ .  $Ac = Fe_2O_3$ ;  $Na_2O = Na_2O - Fe_2O_3$ ;  $Fe_2O_3 = 0$ .

11.- Formación de Metasilicato sódico (NaMSi). Sólo si  $Na_2O > 0$ .  $NaMSi = Na_2O$ ;  $Na_2O = 0$ .

12.- Formación de magnetita (Mag). Dos alternativas:

(1)  $FeO \geq Fe_2O_3$ .  $Mag = Fe_2O_3$ ;  $FeO = FeO - Fe_2O_3$ ;  $Fe_2O_3 = 0$ ;

(2)  $FeO < Fe_2O_3$ .  $Mag = FeO$ ;  $Fe_2O_3 = Fe_2O_3 - FeO$ ;  $FeO = 0$ .

13.- Formación de hematites (Hm). Sólo si  $Fe_2O_3 > 0$ .  $Hm = Fe_2O_3$ ;  $Fe_2O_3 = 0$ .

14.- Cálculo de (Fe,Mg)O y de Fe/(Fe+Mg).  $(Fe, Mg)O = FeO + MgO$ ;  $Fe/(Fe+Mg) = FeO/(FeO + MgO)$ ;  $FeO = 0$ ;  $MgO = 0$ .

15.- Formación de dióxido provisional (Dip). Sólo si  $CaO > 0$ . Dos alternativas:

(1)  $\text{CaO} \geq (\text{Fe, Mg})\text{O}$ .  $\text{Dip} = (\text{Fe, Mg})\text{O}$ ;  $\text{CaO} = \text{CaO} - (\text{Fe, Mg})\text{O}$ ;  $(\text{Fe, Mg})\text{O} = 0$ ;

(2)  $\text{CaO} < (\text{Fe, Mg})\text{O}$ .  $\text{Dip} = \text{CaO}$ ;  $(\text{Fe, Mg})\text{O} = (\text{Fe, Mg})\text{O} - \text{CaO}$ ;  $\text{CaO} = 0$ .

16.- Formación de wollanstonita provisional (Wop). Sólo si  $\text{CaO} > 0$ .  $\text{Wop} = \text{CaO}$ ;  $\text{CaO} = 0$ .

17.- Formación de hiperstena provisional (Hyp). Sólo si  $(\text{Fe, Mg})\text{O} > 0$ .  $\text{Hyp} = (\text{Fe, Mg})\text{O}$ ;  $(\text{Fe, Mg})\text{O} = 0$ .

*Cálculo de la sílice consumida (SiC)*

18.-  $\text{SiC} = 6 * (\text{Ortp} + \text{Abp}) + 2 * (\text{Anp} + \text{Dip}) + (4 * \text{Ac}) + \text{Hyp} + \text{Wo} + \text{NaMSi} + \text{Titp}$

19.- Cálculo del déficit de sílice (ResSi).  $\text{ResSi} = \text{SiO}_2 - \text{SiC}$ . Dos alternativas:

(1)  $\text{ResSi} \geq 0$ . Cuarzo (Q) = ResSi. Ir al paso 27;

(2)  $\text{ResSi} < 0$ . Descomposición de la mineralogía saturada. Ir al paso 20.

*Descomposición de la mineralogía saturada y ajuste del déficit de sílice.*

20.- Descomposición de la hiperstena provisional. Dos alternativas:

(1)  $\text{Hyp} \geq 2 [\text{ResSi}]$ .  $\text{Hy} = \text{Hyp} - 2 * [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Ol} = 2 * [\text{ResSi}]$ ;  $[\text{ResSi}] = 0$ . Ir al paso 27;

(2)  $\text{Hyp} < 2 [\text{ResSi}]$ .  $\text{Ol} = 1/2 \text{Hy}$ ;  $[\text{ResSi}] = [\text{ResSi}] - 1/2 \text{Hyp}$ ;  $\text{Hyp} = 0$ .

21.- Descomposición de la titanita provisional. Dos alternativas:

(1)  $\text{Tip} \geq [\text{ResSi}]$ .  $\text{Ti} = \text{Tip} - [\text{ResSi}]$ ; Perowskita (Pw) = [ResSi];  $[\text{ResSi}] = 0$ . Ir al paso 27;

(2)  $\text{Tip} < [\text{ResSi}]$ .  $\text{Pw} = \text{Tip}$ ;  $[\text{ResSi}] = [\text{ResSi}] - \text{Tip}$ ;  $\text{Tip} = 0$ .

22.- Descomposición de la albita provisional. Dos alternativas:

(1)  $\text{Abp} \geq 1/4 [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Ab} = \text{Abp} - 1/4 [\text{ResSi}]$ ; Nefelina (Ne) =  $1/4 [\text{ResSi}]$ ;

$[\text{ResSi}] = 0$ . Ir al paso 27;

(2)  $\text{Abp} < 1/4 [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Ne} = \text{Abp}$ ;  $[\text{ResSi}] = \text{ResSi} - 4 \text{Abp}$ ;  $\text{Abp} = 0$ .

23.- Descomposición de la ortosa provisional. Dos alternativas:

(1)  $\text{Ortp} \geq 1/2 [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Ort} = \text{Ortp} - 1/2 [\text{ResSi}]$ ; Leucita provisional (Lep) =  $1/2 [\text{ResSi}]$ ;

$[\text{ResSi}] = 0$ ; Ir al paso 27;

(2)  $\text{Ortp} < 1/2 [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Lep} = \text{Ortp}$ ;  $[\text{ResSi}] = [\text{ResSi}] - 2 \text{Ortp}$ ;  $\text{Ortp} = 0$ .

24.- Descomposición de la wollanstonita provisional. Dos alternativas:

(1)  $\text{Wop} \geq 2 [\text{ResSi}]$ .  $\text{Wo} = \text{Wop} - 2 * [\text{ResSi}]$ ;  $\text{La} = 2 * [\text{ResSi}]$ ;  $[\text{ResSi}] = 0$ . Ir al paso 27;

(2)  $\text{Wop} < 2 [\text{ResSi}]$ .  $\text{La} = 1/2 \text{Wo}$ ;  $[\text{ResSi}] = [\text{ResSi}] - 1/2 \text{Wop}$ ;  $\text{Wop} = 0$ .

25.- Descomposición del diópsido provisional. Dos alternativas:

(1)  $\text{Dip} \geq [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Di} = \text{Dip} - [\text{ResSi}]$ ;  $[\text{ResSi}] = 0$ ; Larnita (La) =  $1/2 [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Ol} = \text{Ol} + 1/2 [\text{ResSi}]$ . Ir al paso 27;

(2)  $\text{La} = 1/2 \text{Dip}$ ;  $\text{Ol} = \text{Ol} + 1/2 \text{Dip}$ ;  $\text{Dip} = 0$ .

26.- Descomposición de la leucita provisional.  $\text{Kalsilita} = 1/2 [\text{ResSi}]$ ;  $\text{Le} = \text{Lep} - 1/2 [\text{ResSi}]$ ;

$[\text{ResSi}] = 0$ . Ir al paso 27.

*Cálculo de los pesos moleculares de las disoluciones sólidas*

27.- Peso molecular de la hiperstena:  $PM_{Hy} = [Fe / (Fe + Mg) * Pm_{Ferrosilita}] + [(1 - Fe / (Fe + Mg)) * Pm_{Enstatita}]$ .

28.- Peso molecular del dióxido:  $PM_{Di} = Pm_{Hy} + Pm_{Wollanstonita}$

29.- Peso molecular del olivino:  $PM_{Ol} = [Fe / (Fe + Mg) * Pm_{Fayalita}] + [(1 - Fe / (Fe + Mg)) * Pm_{Forsterita}]$ .

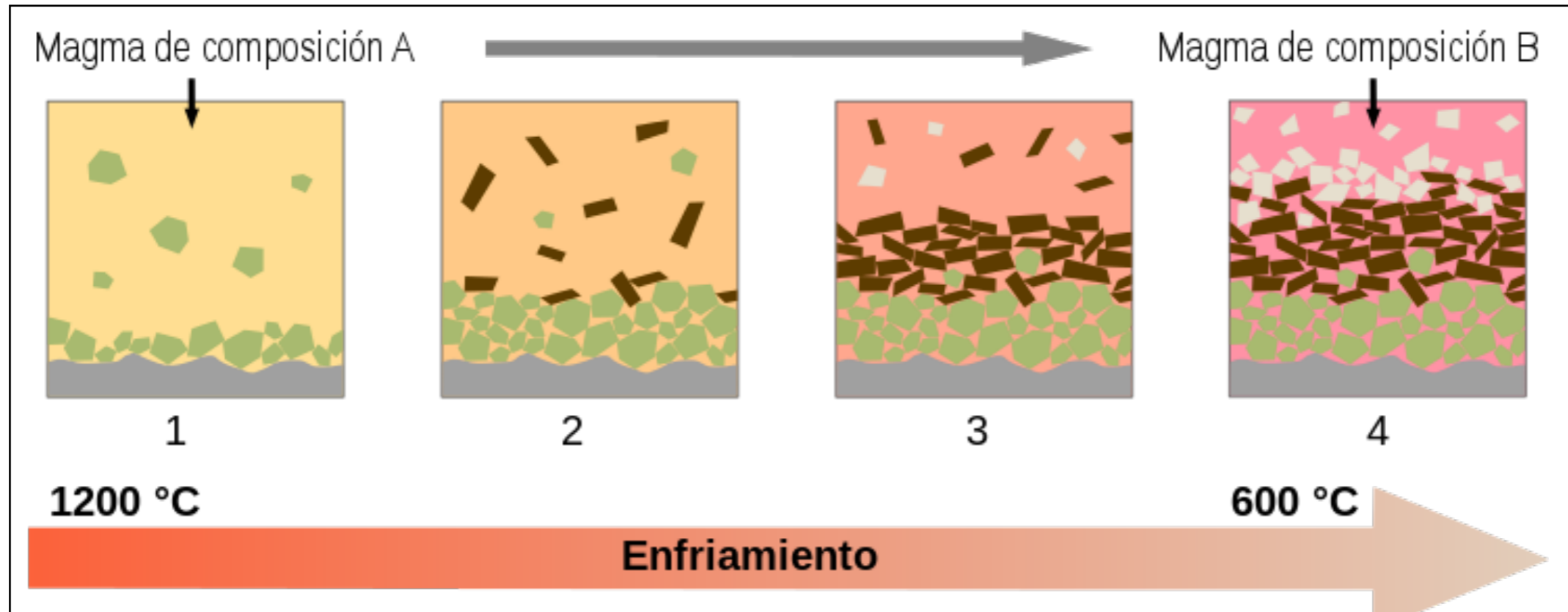
*Cálculo de la norma*

30.- Todos los minerales provisionales se transforman a definitivos.

31.- Cada mineral definitivo se multiplica por su peso molecular. Los productos se llaman cantidades moleculares

32.- Los porcentajes de cada mineral en la norma se calculan de la siguiente manera:

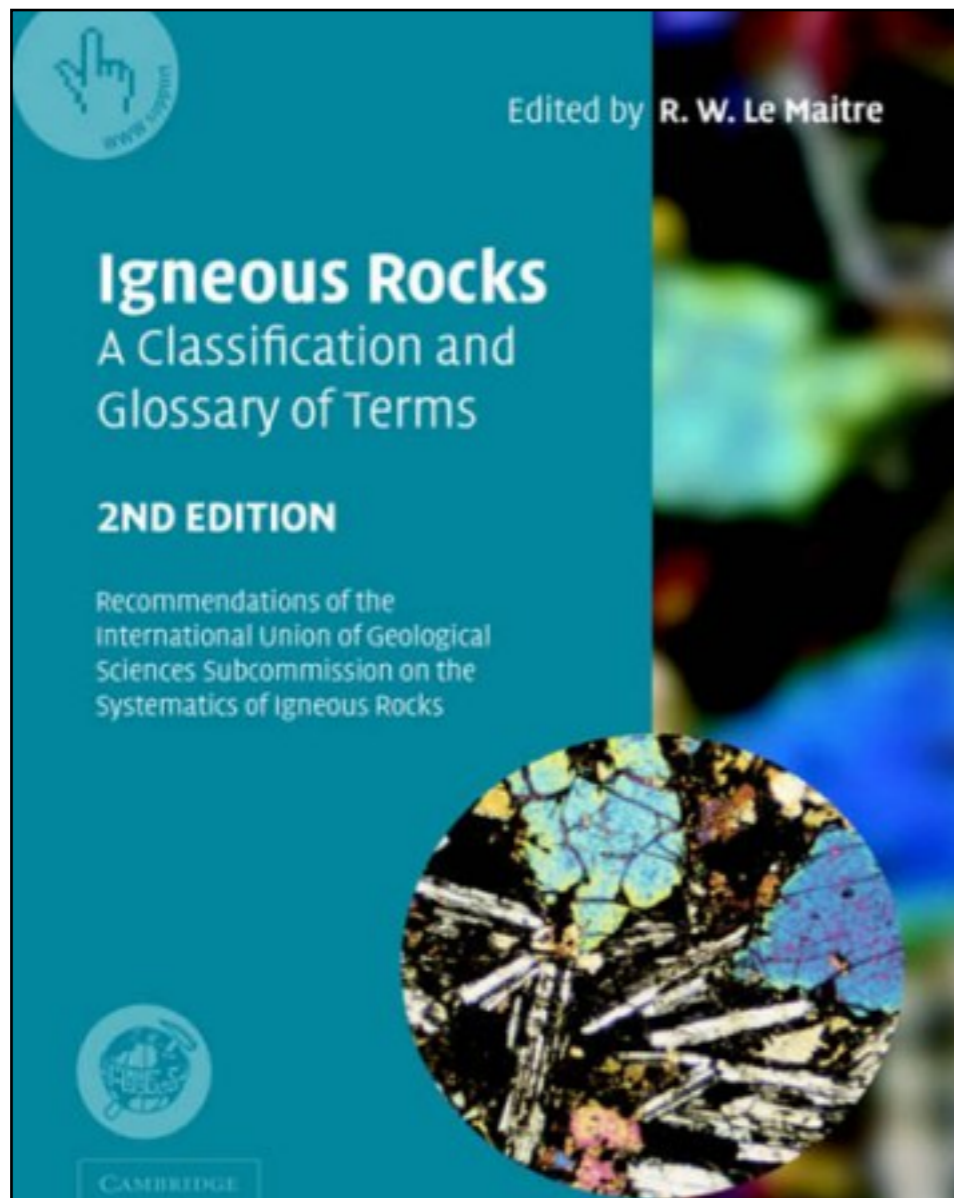
Porcentaje de mineral =  $100 * \text{cantidad molecular} / \sum \text{cantidades moleculares}$





Óxidos	Milimoles (paso 1)	Mineralogía saturada (pasos 2-17)	Sílice consumida (pasos 18-26)	Transformación (pasos 30)	La norma CIPW	(pasos 31-32)	
SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cc		Cc		PmHy	Q
TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ft		Ft		PmOl	Cor
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Py		Py		PmDi	Ort
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ap		Ap			Ab
FeO	FeO	CaO_Cc		Ort_prov		Q	An
MgO	MgO	CaO_Ft		Ab_prov		Cor	Ne
MnO	MnO	FeO_Py		An		Ort	Le
CaO	CaO	CaO_Ap		Cor		Ab	Kp
Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ort		Ilm		An	Hy
K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ort		Tit_prov		Ne	Di
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ab		Ru		Le	Wo
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ab		Ac		Kp	Ol
F	F	Na <sub>2</sub> O-Ab		Na_Msil		Hy	La
S	S	An		Mag		Di	Ac
Suma		Cor		Hem		Wo	Na_Msil
		CaO_An		Di_prov		Ol	Mag
		Ilm		Hy_prov		La	Hem
		FeO_Imn		Wo_prov		Ac	Ilm
		Ti_Ilms		Si suma		Na-Msil	Tit
		Tit		Si_def1		Mag	Ru
		CaO_Tit		Res_Si		Hem	Pwk
		Ru		Q		Ilm	Ap
		Ac		Ol_prov		Tit	Cc
		Na_Msil		Hy		Ru	Ft
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ac		Si_def2		Pwk	Py
		Mag		Tit		Ap	
		FeO_Mag		Pwk		Cc	
		Hem		Si_def3		Ft	
				Ne		Py	
		FeMgO		Ab		Suma	
		Fe/Fe+Mg		Si_def4			
		Di		Le_prov			
		Hy		Ort			
		Wo		Si_def5			
				Wo			
				La_prov			
				Si_def6			
				La			
				Ol			

# S2: Nomenclatura y textura de las rocas ígneas



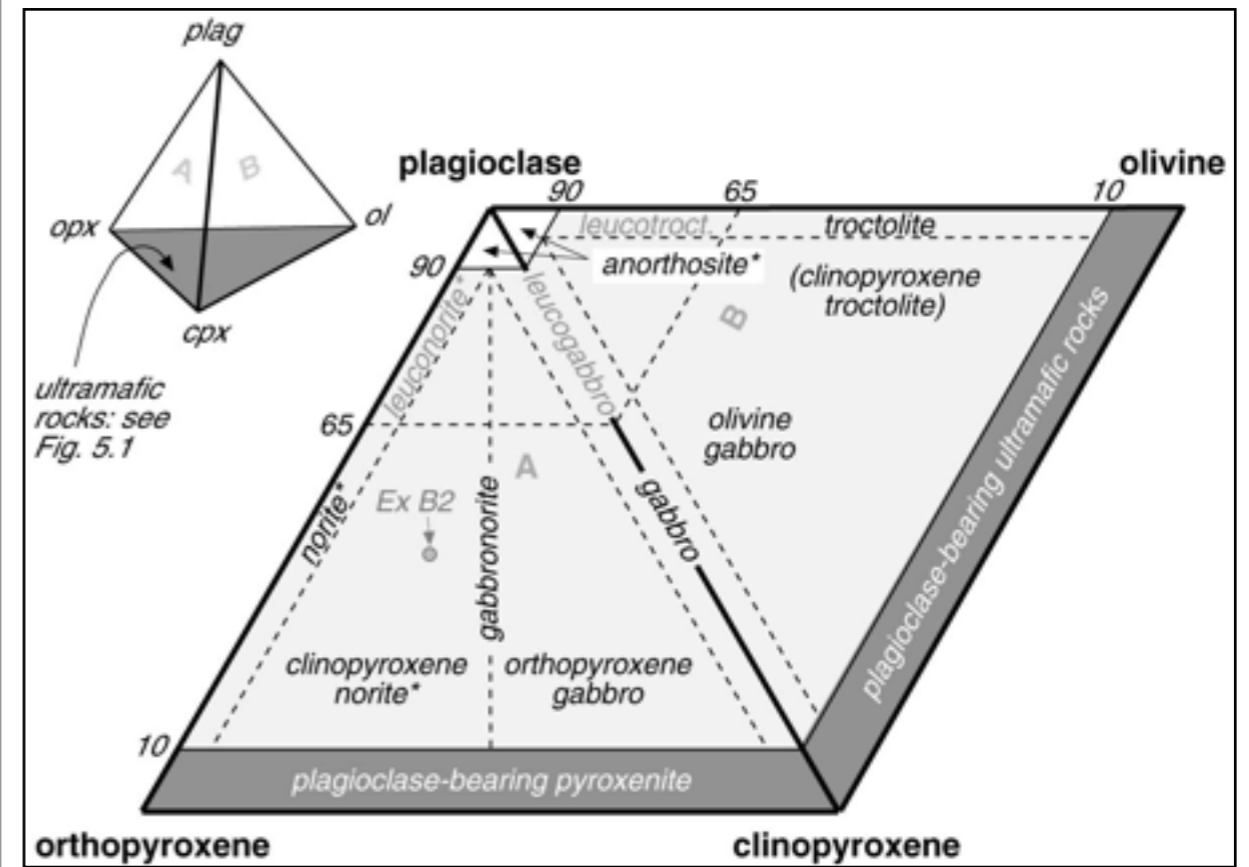
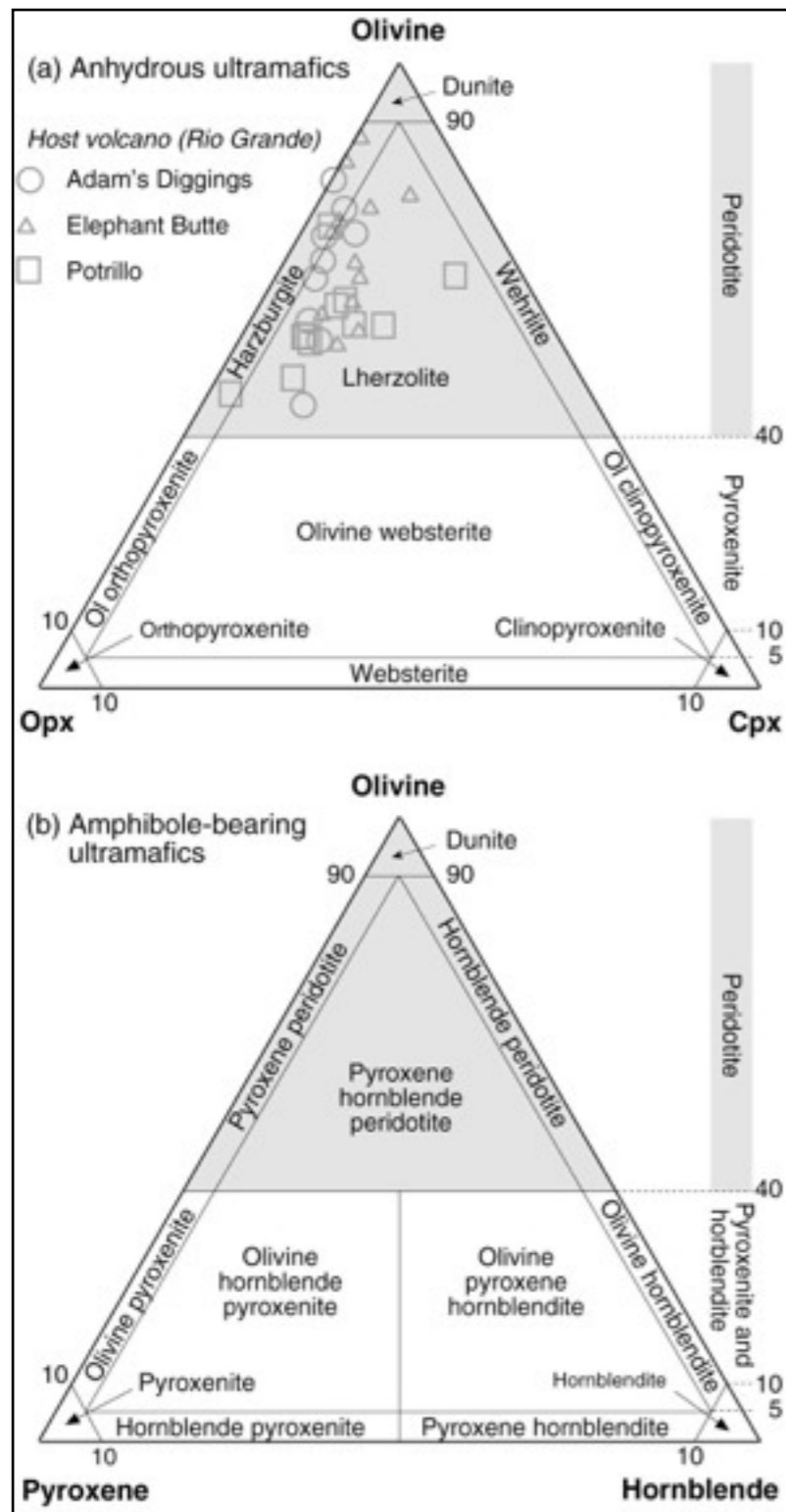
Para la clasificación de las rocas ígneas usamos los diagramas de clasificación aprobados por la International Union of Geosciences (LeMaitre, R. W. (ed.) 2002, *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*, 2nd ed.)

Un objetivo principal de la asignatura de Petrología es el desarrollo de la capacidad de describir y clasificar las rocas ígneas y metamórficas en base a observaciones petrográficas cualitativas y cuantitativas.

Actividades previas

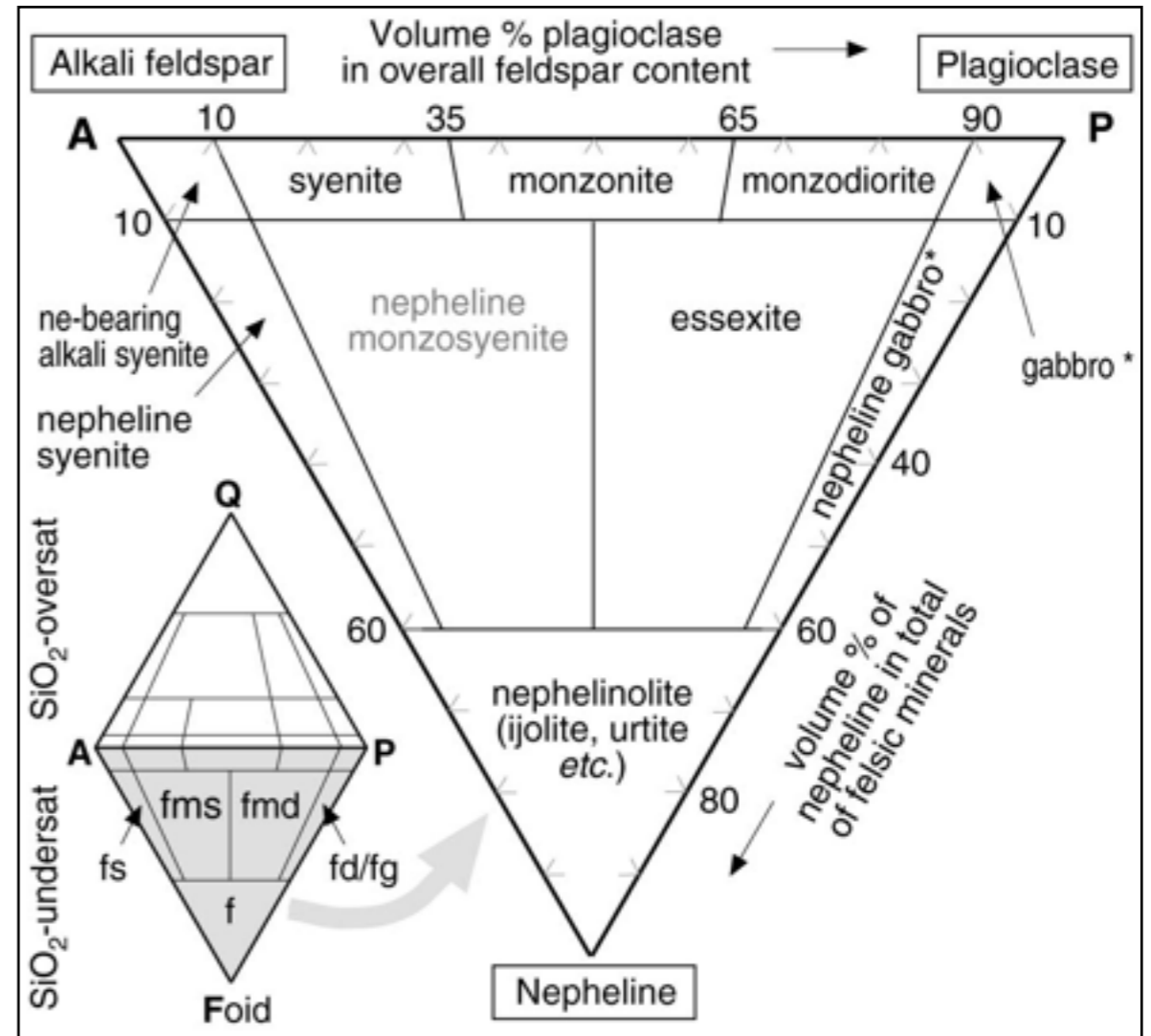
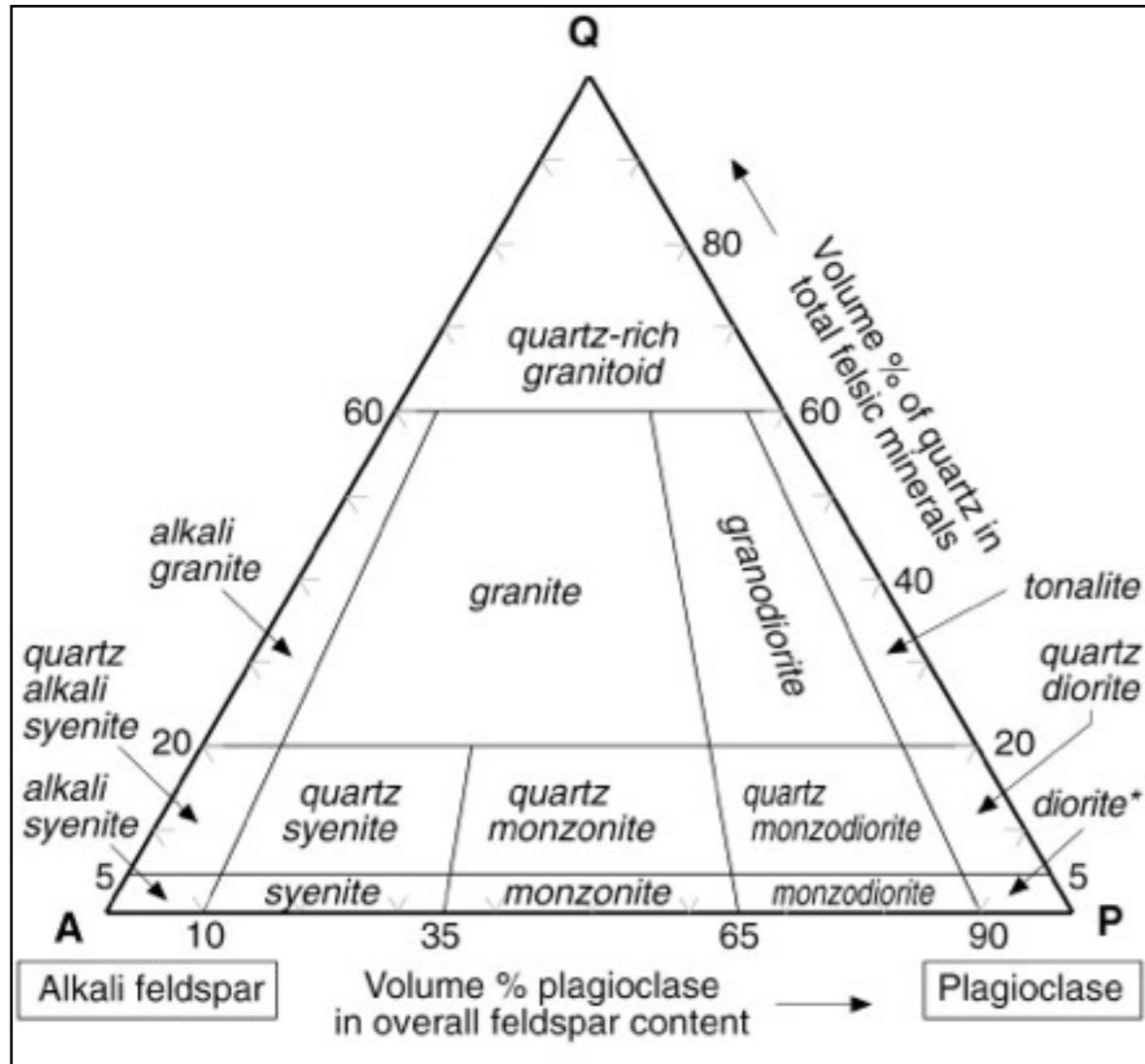
A) Revisar los diagramas de clasificación de las rocas ígneas que se encuentran a continuación. Identifique los términos que conoce.

Practique clasificando y nombrando rocas ígneas [aquí](#)

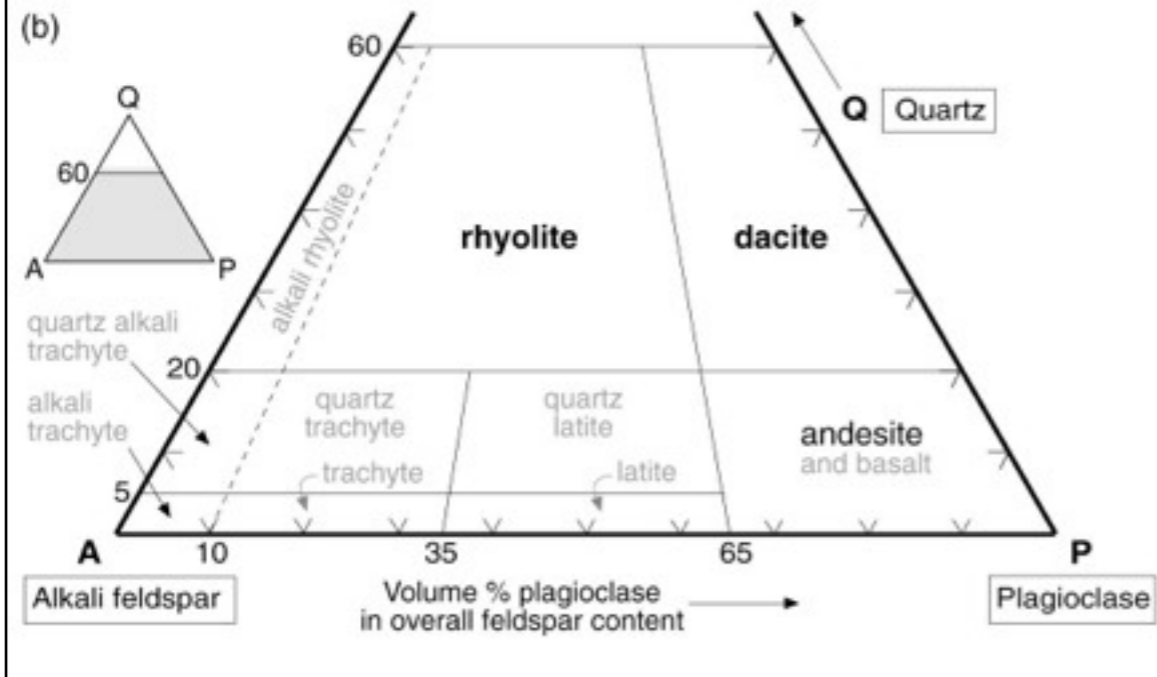
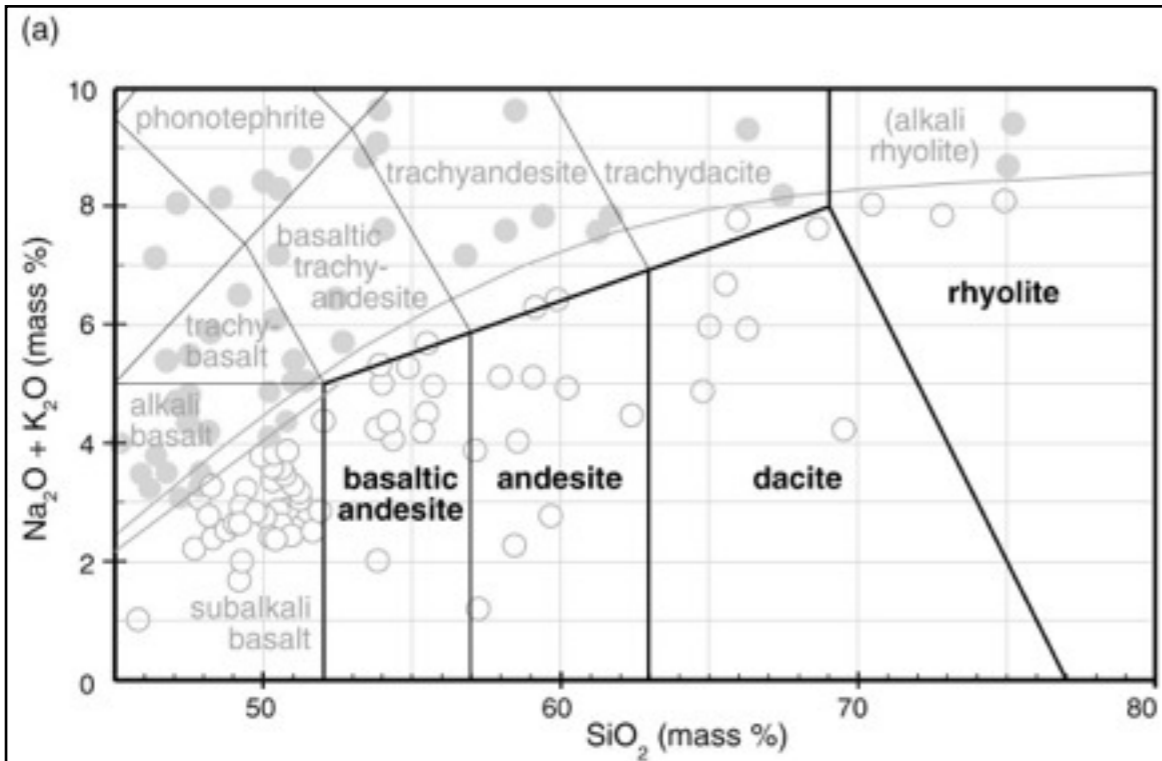


Diagramas para la clasificación de los gabros

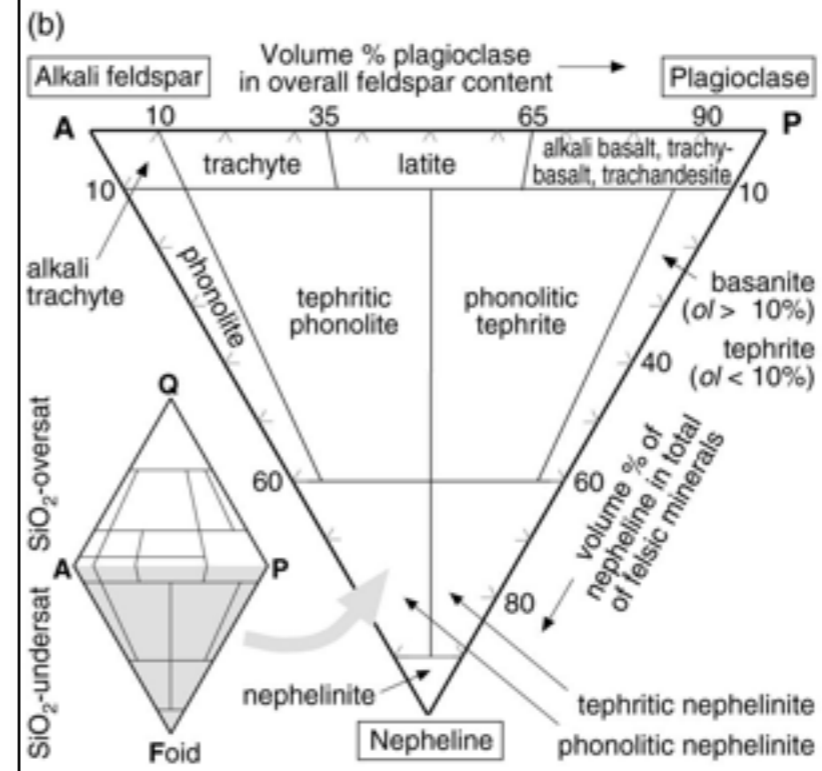
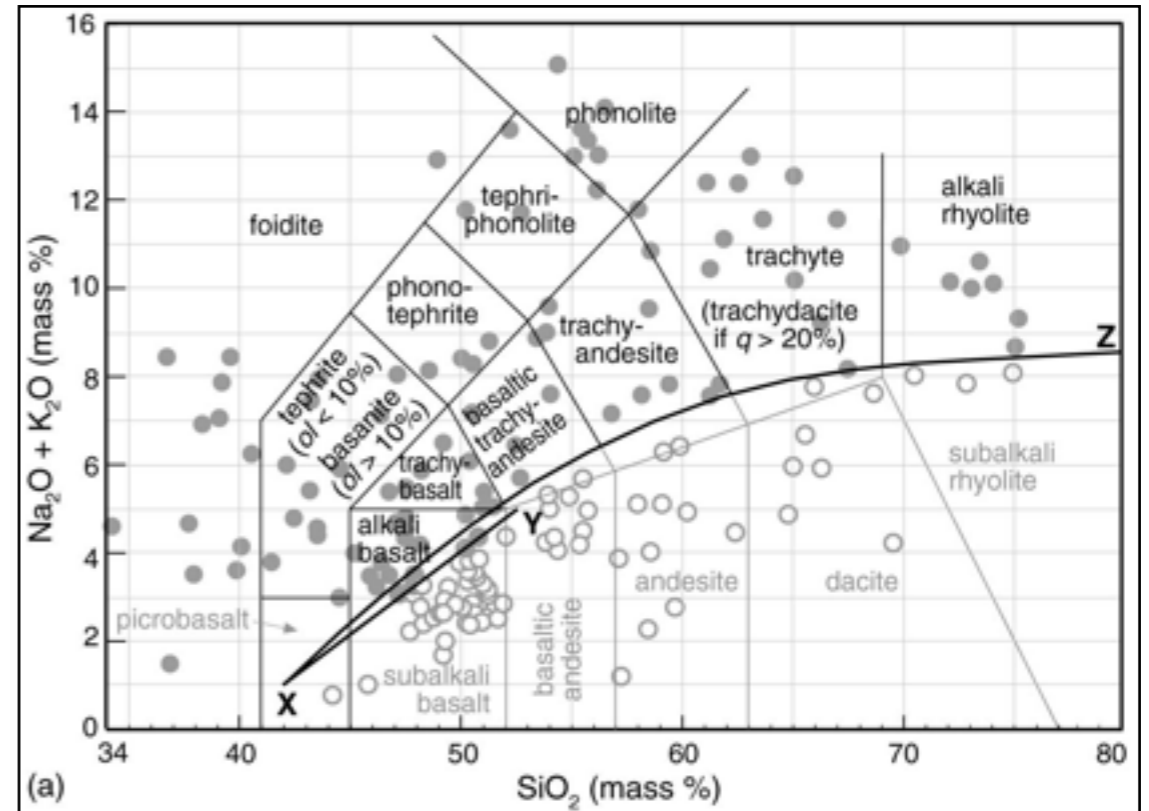
Diagramas para la clasificación de las rocas ígneas ultramáficas



Diagramas para la clasificación de las rocas ígneas plutónicas



Diagramas para la clasificación de las rocas ígneas volcánicas



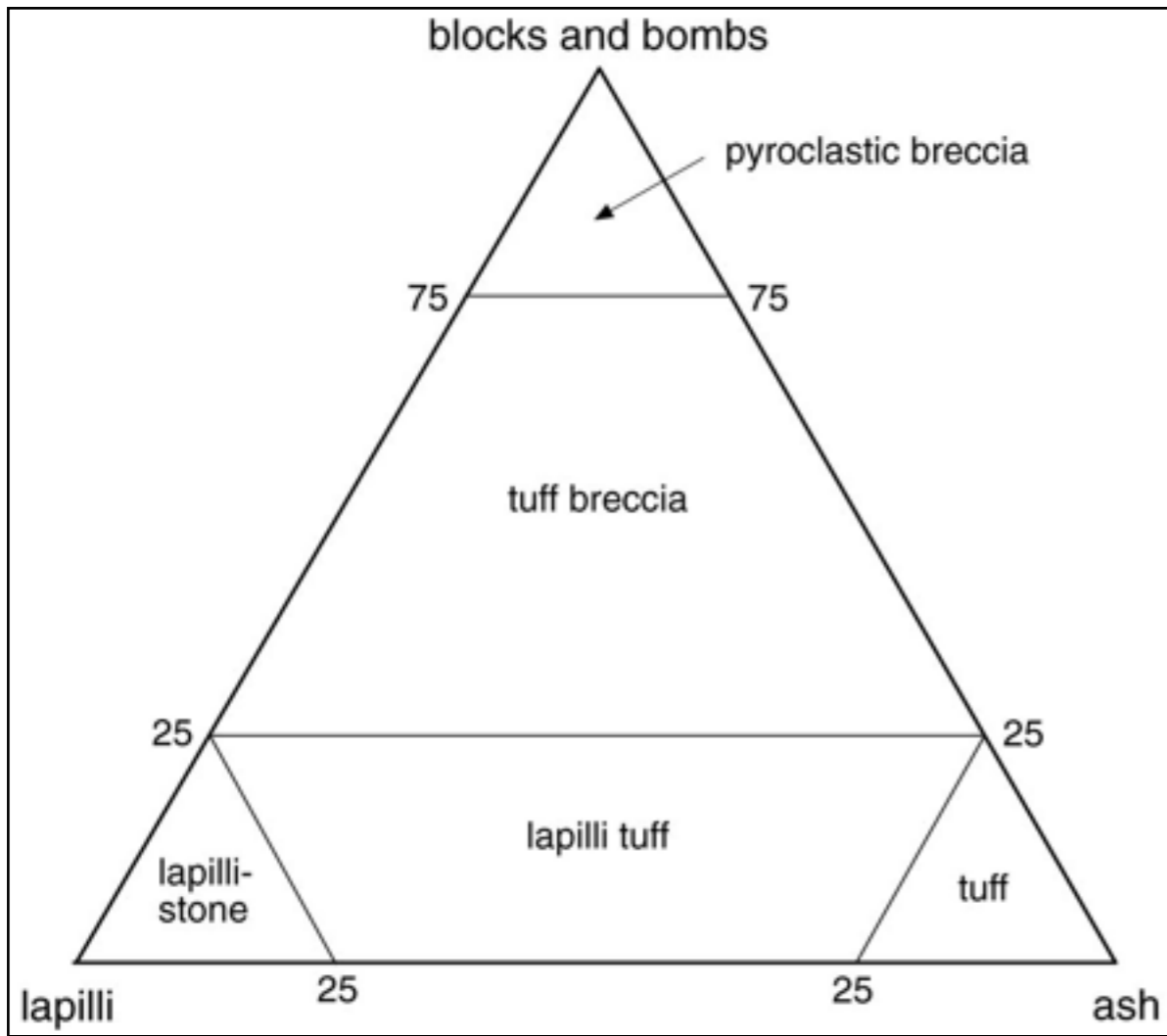


Diagrama para la clasificación de las rocas ígneas volcánicas piroclásticas

<i>granularidad</i>	<i>tamaño de grano absoluto</i>	<i>forma de los cristales</i>	<i>tamaño de grano relativo</i>	<i>índice de color</i>	<i>texturas específicas</i>		
	grano fino < 1mm				layering		
					orbicular		
					gráfica		
					agpaítica		
	grano medio 1-5 mm	panidiomórfico		leucocrática			
						grano grueso 5-30 mm	equigranular
<b>fanerítica</b>							
(se ven los cristales a simple vista)	grano muy grueso > 30 mm	hipidiomórfico		mesocrática			
							inequigranular
						pegmatitas 1-2 cm +	alotriomórfico
		ofítica...					

Guión para la descripción de las rocas ígneas con textura fanerítica

<b>granularidad</b>	<b>estructura</b>	<b>vesicularidad</b>	<b>tamaño de grano relativo</b>		<b>cristalinidad</b>	<b>texturas específicas</b>		
<b>afanítica</b> (no se ven los cristales de la MATRIZ a simple vista)	clástica o fragmental	masiva	porfídica	con matriz	vítrea	vitrofídica		
						vitroclástica		
	no fragmental				microporfídica	hipohialina	fluidal	
								felsítica
					vesicular	porfídica seriada	hipocristalina	microcristalina
					escoriácea pumítica	afírica	holocristalina	ofítica/subofítica
								traquítica

Guión para la descripción de las rocas ígneas con textura afanítica



Actividades de refuerzo: Preguntas relacionadas con el seminario.

Proyectar 10 rocas que representan la variedad composicional de [las rocas ígneas rocas de la colección de prácticas](#).

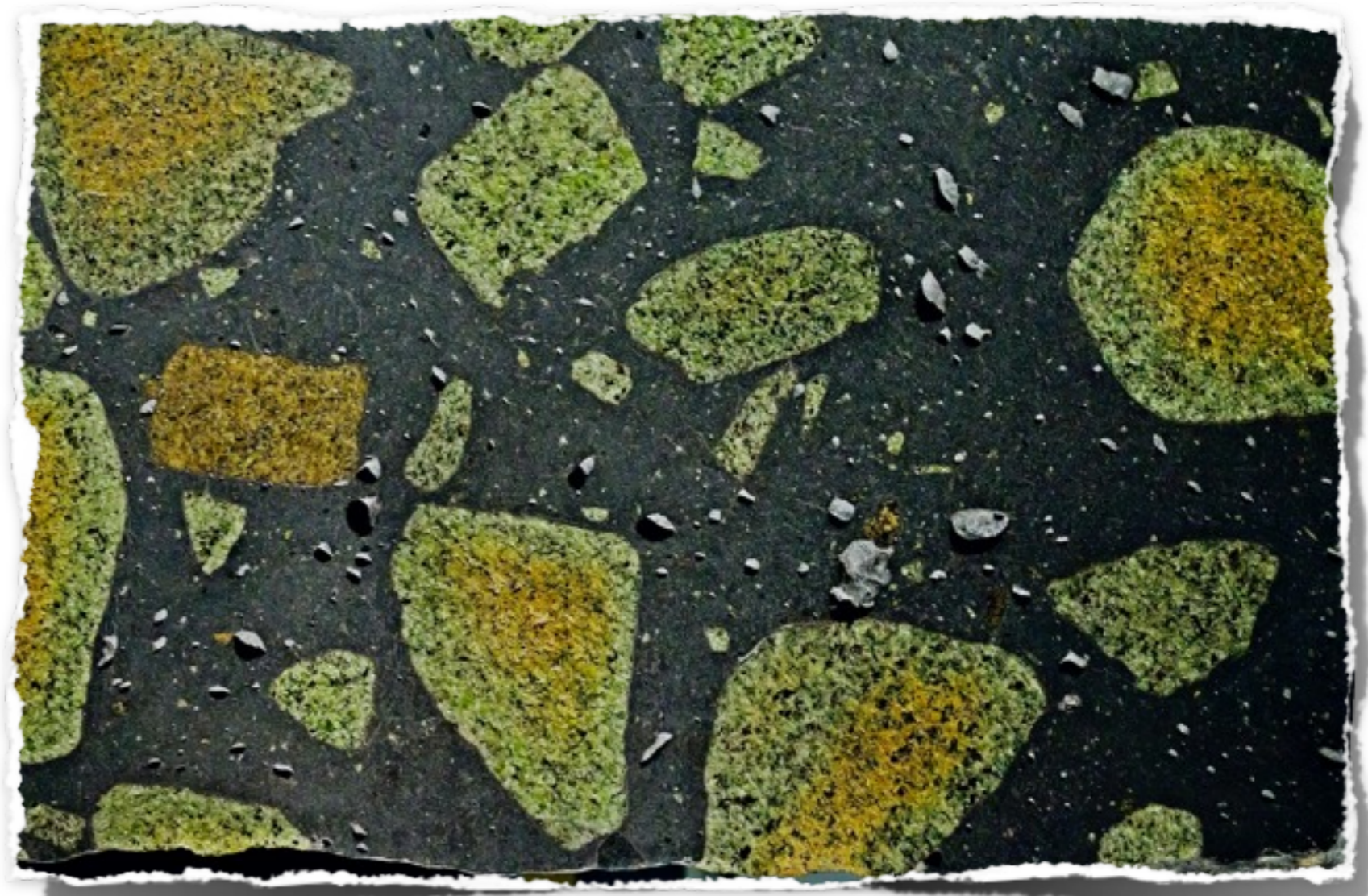
Se pueden utilizar las herramientas en [la página web tutor](#).

<b>Plutónica (fanerítica)</b>	
<b>Mineralogía</b>	<b>Clasificación</b>
1. feld alc 55%, cuarzo 18%, plag 15%, biotita 12 %	
2. feld alc 30%, cuarzo 30%, plag 30%, biotita 10%	
3. cuarzo 57%, plag 40%, feld alc 3%	
4. feld alc 59%, cuarzo 34%, plag 4%, moscovita 3%	
5. plag 63%, cuarzo 15%, feld alc 14%, cpx 8%	
6. feld alc 55%, feldespatoides 22%, cpx 13%, plag 10%	
7. feld alc 95%, feldespatoides 5%	
8. feldespatoides 72%, plagioclasa 14%, feld alc 14%	
9. olivino 63%, opx 24%, plag 13%	
10. plagioclasa 50%, cpx 27%, opx 18%, ilmen 5%	
11. plag 44%, hbl 41%, biotita 15%	
12. cpx 53%, olivino 40%, granate 7%,	
13. olivino 95%, espinela 5%	
14. opx 65%, cpx 30%, olivina 2%, plagioclasa 3%	
15. olivino 50%, opx 20%, cpx 30%	
16. hbl 53%, olivino 44%, opx 3%	
<b>Volcánica (afanítica)</b>	
<b>Mineralogía</b>	<b>Clasificación</b>
1. cuarzo 53%, feld alc 42%, biotita 5%	
2. plag 45%, cuarzo 35%, vidrio 10%, biotita 10%	
3. feld alc 60%, plag 20%, cuarzo 12%, biotita 8%	
4. plag 46%, feld alc 40%, anfíbol 7%, biotita 5%, cuarzo 2%	
5. plag 44%, anfíbol 34%, vidrio 22%	

# P1: Rocas ígneas ultramáficas

## Objetivos de la práctica

Identificar y estudiar rocas ígneas ultramáficas (láminas CTA-60, LZ-100, 2839 y XY).



*Lherzolita en muestra de mano,*

*CC Image courtesy of dun\_deagh on Flickr*

## Actividades previas:

A) Lee el siguiente texto a modo de introducción a las rocas ígneas de composición ultramáfica:

Rocas faneríticas de grano fino a grueso compuestos en > 90% M (olivino, piroxeno, anfíbol). Se clasifican en función de los contenidos en ol, cpx, opx y anf. Se dividen en tres grupos principales: peridotitas > 40% ol más cpx y opx; piroxenitas < 40% ol más cpx y opx; hornblenditas < 40% ol más anf, cpx y opx. El nombre de la fase aluminica accesoria existente se une al nombre de la roca, p. ej., lherzolita con granate/espinela/plagioclasa. Se clasifican en los diagramas específicos para las rocas ultramáficas.

B) Lee el siguiente texto extraído del artículo:

"Formation and Modification of the Shallow Sub-continental Lithospheric Mantle: a Review of Geochemical Evidence from Ultramafic Xenolith Suites and Tectonically Emplaced Ultramafic Massifs of Western and Central Europe" por H. Downes publicado en *Journal of Petrology*, v. 42, 233-250, 2001.

¿Qué significado tiene para la interpretación de las rocas ígneas ultramáficas?

The petrology and geochemistry of shallow continental lithospheric mantle (SCLM) can be studied via (1) tectonically emplaced ultramafic massifs and (2) mantle xenoliths entrained in alkaline magmas. Data from these two separate sources are used to identify processes that have formed and modified the SCLM. In western and central Europe where the continental crust consolidated in Phanerozoic times, both sources of information are available for study. Rock types found in ultramafic massifs in

Europe are generally similar to those found in ultramafic xenolith suites. The most frequent lithology is anhydrous spinel lherzolite, grading towards harzburgite.

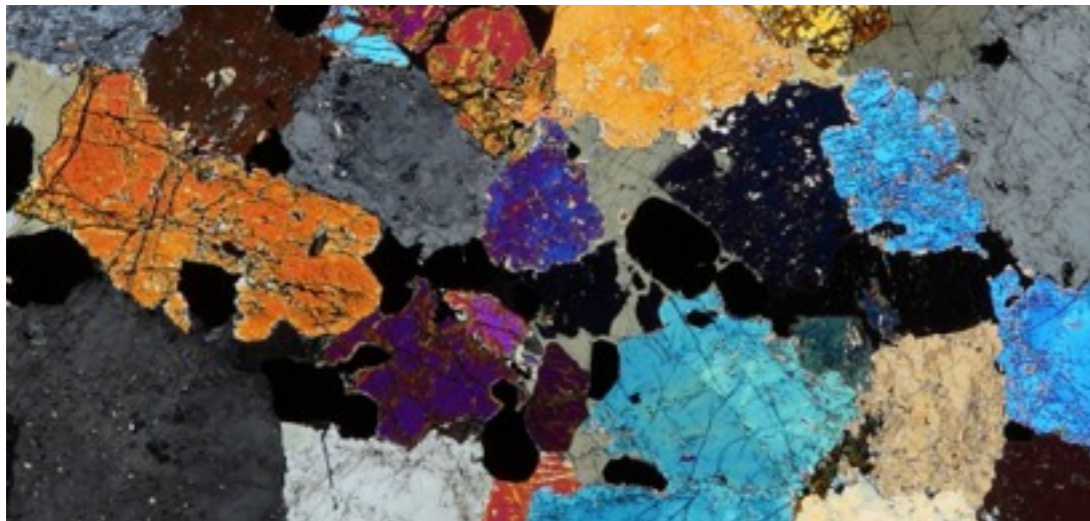
Massifs reveal pyroxenite layering, harzburgite bands and cross-cutting mafic and ultramafic dykes. The Phanerozoic European SCLM xenoliths and massifs show broad mineralogical and chemical similarities to Phanerozoic continental spinel peridotites world-wide. The main process that controls the geochemistry of the SCLM is depletion by removal of basaltic melt. Differences from this norm reflect significantly different processes in the SCLM, such as interaction with melts and fluids.

C) Preguntas generales

Ejercicio 1

**Question 1 of 3**

¿Qué minerales cabría esperar en una roca ígnea ultramáfica?



- A. Cuarzo, feldespato y mica
- B. Olivino, clinopiroxeno y ortopiroxeno
- C. Olivino, clinopiroxeno y plagioclasa
- D. Anfibol, biotita y plagioclasa



Check Answer



Ejercicio 2

Una los términos o conceptos que corresponda

Corona de reacción  
Formados alredevos formados  
alrededor de un mineral pre-existente

T. Protogranular  
los interfaciales de 120°

Kink-bands  
Formación, pliegues o curvas  
en un mono-cristal

T. Poiquilítica  
Inclusión minerales pre-existentes dentro  
de un mono-cristal de tamaño grueso

T. Mallada  
Cristales fracturados por venas de serpentina

T. Protogranular

Corona de ...

Kink-bands

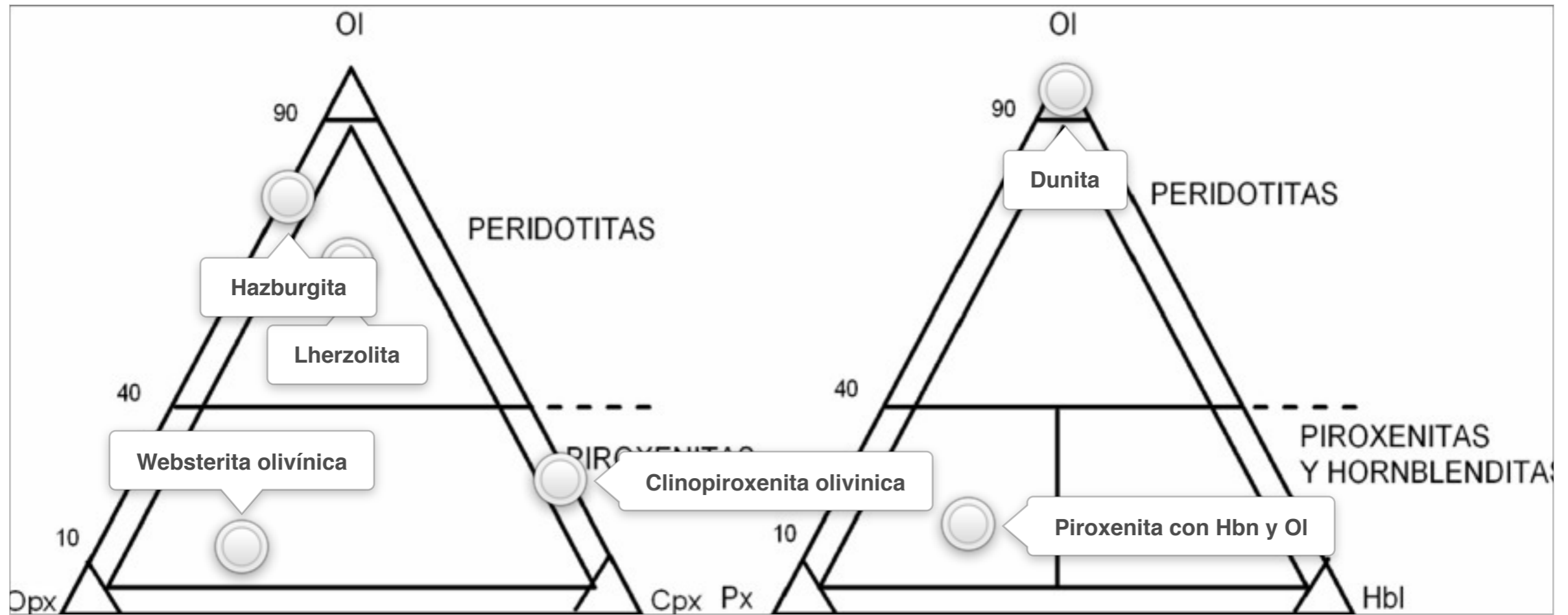
T. Mallada

T. Poiquilítica

Check Answer

### Ejercicio 3

Colocar cada tipo de roca ígnea en los diagramas de clasificación de las rocas ultramáficas



- Piroxenita con Hbn y OI
- Lherzolita
- Websterita olivínica
- Dunita
- Clinopiroxenita olivínica
- Hazburgita

Check Answer

## Actividades de desarrollo y de refuerzo:

A) Realice el estudio petrográfico de las rocas ígneas ultramáficas láminas CTA-60 y LZ-100 utilizando la ficha petrográfica.

B) Realice el estudio petrográfico de otras rocas ígneas ultramáficas 2839 y XY que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

## Guía para el análisis de una sección delgada de una roca ígnea

Recuerde que a la hora de abordar el estudio de una sección delgada conviene realizar los siguientes pasos:

- i. **Descripción macroscópica:** observar las relaciones generales a escala de muestra de mano, a simple vista o con ayuda de una lupa. Es posible de este modo identificar rápidamente algunos tipos de rocas ígneas y metamórficas en base al color, proporción de minerales oscuros y claros y minerales identificables, macro y mesoestructura dominante, tamaño de grano absoluto y relativo.
- ii. **Descripción microscópica:** Es conveniente especificar: cristalinidad (holocristalina, hipocristalina, vitreo), granularidad (fanerítico, afanítico), tamaño absoluto de grano (grueso, medio, fino), tamaño relativo de grano (equigranular, inequigranular, porfidico), la forma de los cristales (panidiomorfo, hipidiomorfo, alotriomorfo), índice de color.
- iii. **Inventario mineralógico e identificación del grupo composicional:** Identificación de las especies minerales presentes y estimación de sus abundancias relativas. El número de fases presentes en una roca bien equilibrada es función de su composición global y de las condiciones de equilibrio.

Finalmente, una consideración ponderada de la mineralogía de la roca y de las proporciones modales de las fases presentes debería permitir estimar a que grupo composicional general pertenece la roca (i.e., si se trata de una roca ultramáfica, intermedia, alcalina, etc.). Para cada mineral conviene especificar: características ópticas distintivas, proporción modal aproximada, tamaño promedio de grano, grado de euhedralismo, inclusiones.

- iv. **Identificar las texturas en que aparecen las distintas fases:** Tras el reconocimiento mineralógico conviene retomar las observaciones sobre cada fase con énfasis en las texturas en que aparecen o de las que son distintivas. El objetivo es identificar que fases constituyen la asociación mineral principal (en equilibrio) y cuales deberían ser excluidas de esta última (fases o asociaciones de fases relictas y/o secundarias). La realización de dibujos esquemáticos es muy recomendable.
- v. **Análisis petrogenético:** Con el inventario mineralógico y textural realizados, pasamos a considerar el orden cronológico (relativo) de acontecimientos. El objetivo final de este apartado será el establecimiento de la asociación mineral principal, así como las posibles fases o asociaciones de fases relictas y secundarias/retrógradas existentes. Una vez concluida la estimación de que fases constituyen la asociación principal es muy recomendable hacer un test cualitativo de la misma proyectando esquemáticamente las relaciones de compatibilidad implícitas a la misma en un diagrama composicional apropiado al grupo composicional al que se estima que pertenece la roca. En dicha proyección no deberían resultar ambigüedades respecto del espacio composicional de la asociación (intersecciones de líneas de compatibilidad, p.e.). De no ser así, puede resultar

conveniente o necesario reconsiderar las conclusiones previas con vistas a identificar las posibles razones de dicha inconsistencia (errores de identificación de fases minerales, evidencias texturales de desequilibrio no percibidas o incorrectamente interpretadas, etc.)

vi. **Clasificación y estimación de los episodios principales de la historia de la roca y/o las condiciones de formación:** Por último, con toda la información obtenida hasta el momento, daremos nombre a la roca.

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

Descripción microscópica de la textura global de la roca:

2) Mineralogía.

2a) Minerales esenciales.

2b) Minerales accesorios.

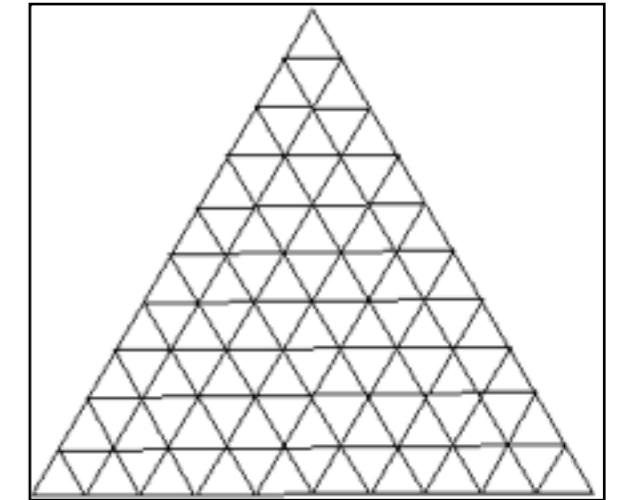
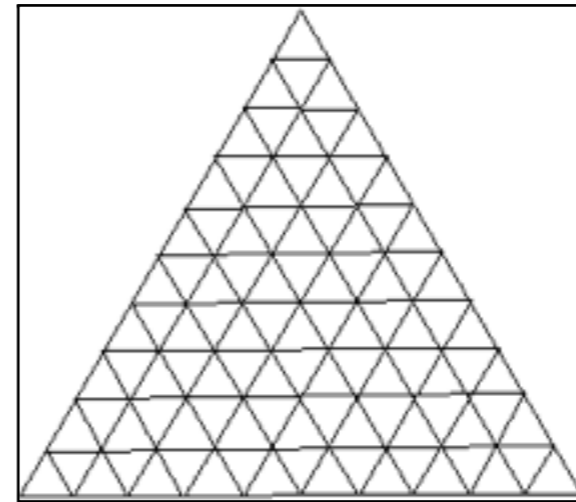
3) Alteraciones, transformaciones, deformaciones, rellenos.

4) Tipo y denominación (razonada) de la roca.

Tipo de roca:

Grupo composicional:

Serie:



Minerales primarios	% modal	% en la representación

5) Episodios principales de la historia de la roca. Otros aspectos.  
Esquemas gráficos.

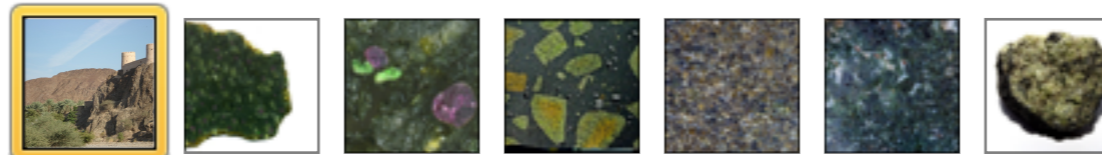
6) Nombre de la roca:



**Gallery 5.1** Rocas ultramáficas



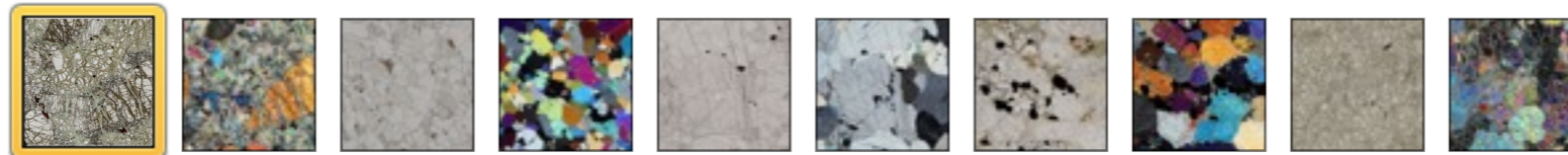
*Afloramiento de rocas ultramáficas de la ofiolita de Semail, CC Image courtesy of Wikipedia*



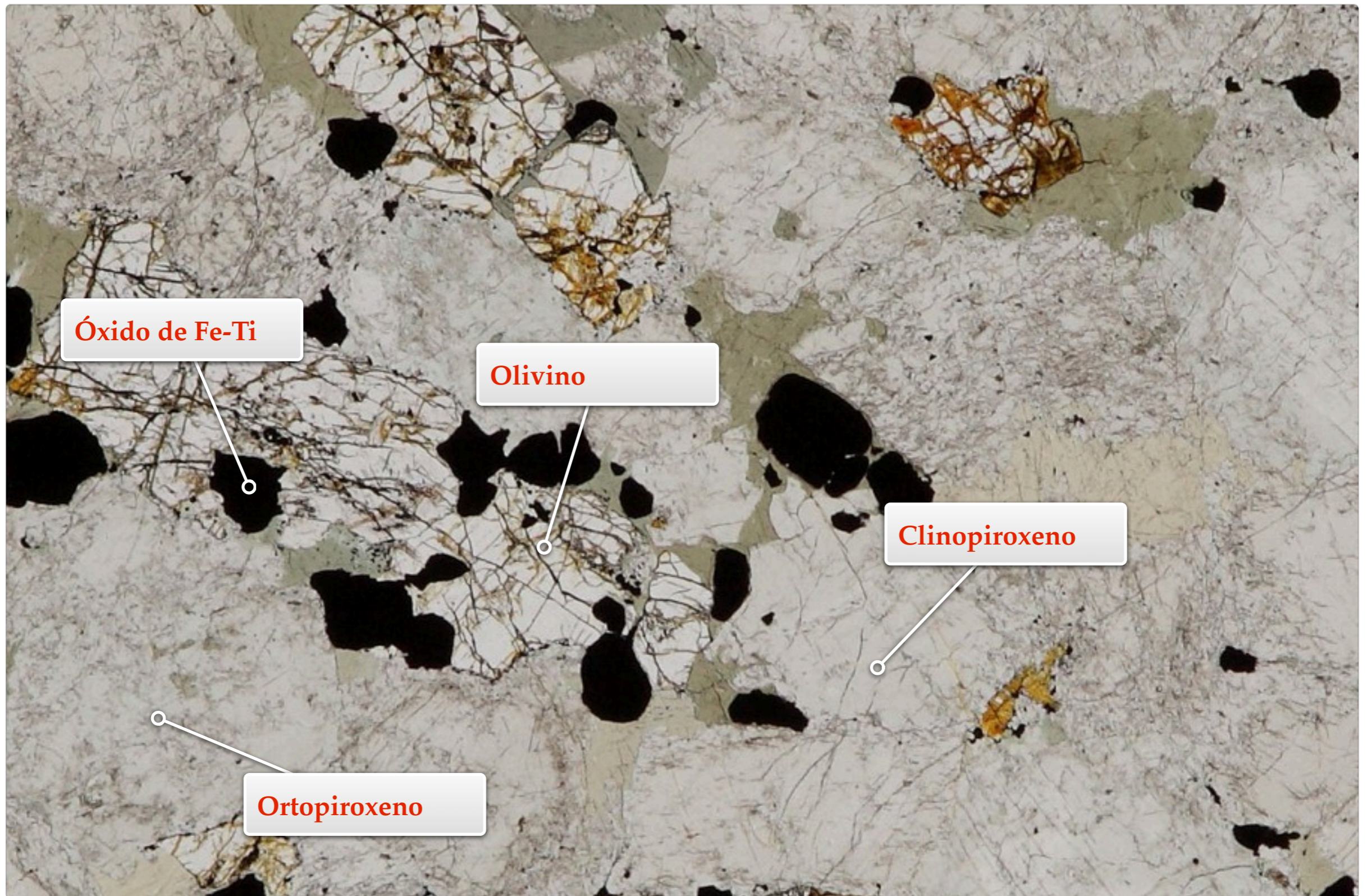
**Gallery 5.2** Rocas ultramáficas en lámina delgada



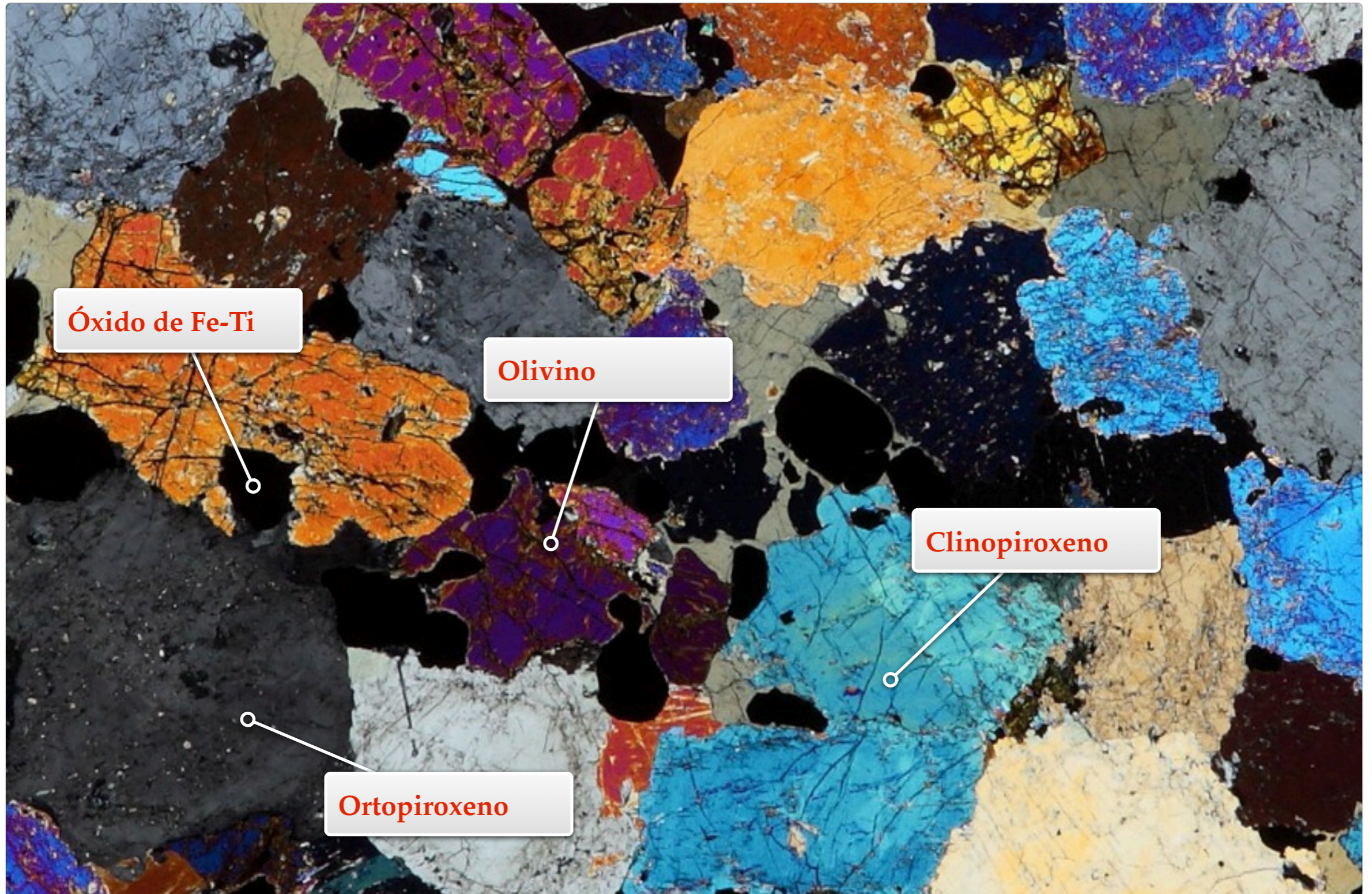
*Lherzolita con espinela vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra 2839-682)*



**Interactive 5.1** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra USB-43)



**Interactive 5.2** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra USB-43)



# P2: Rocas ígneas máficas

## Objetivos de la práctica

---

Identificar y estudiar rocas ígneas máficas (láminas 15240, RN-1, USB-60, GREB-27, TF-1 y 12).



*Lavas volcánicas de tipo A'a y pahoehoe,*

*CC Image courtesy of Greg Bishop on Flickr*

## Actividades previas:

A) Lee el siguiente texto a modo de introducción a las rocas ígneas de composición máfica:

### Plutónicas

Rocas faneríticas de grano medio a grueso, mesocrática o melanocrática, con plagioclasa y minerales máficos. Se sitúan en el vértice P del diagrama QAPF, así que se clasifican en función de los contenidos en los minerales máficos y plagioclasa en los diagramas específicos para los gabros.

### Volcánicas

Rocas afaníticas que componen de plagioclasa y uno o más tipos de piroxenos, en una matriz microcristalina o semivítrea. Los basaltos alcalinos contienen olivino abundante como fenocristales y en la matriz y augita titanada. Los basaltos toleííticos pueden contener ortopiroxeno, fenocristales de olivino resorbidos, cuarzo intersticial y vidrio en la matriz. También existen términos transicionales a los alcalinos y toleííticos. Se clasifican en el diagrama QAPF.

B) Lee los siguientes textos extraídos de los artículos

"Geochemistry of gabbro sills in the crust–mantle transition zone of the Oman ophiolite: implications for the origin of the oceanic lower crust" de P.B. Kelemen, K. Koga and N. Shimizu, publicado en *Earth and Planetary Science Letters*, v. 146, 475-488, 1997, y "A Model for Flood Basalt Vulcanism", por K.G. Cox, publicado en *Journal of Petrology*, v. 21, 629-650, 1980. ¿Qué significado tienen para la interpretación de las rocas ígneas máficas?

Several studies have documented the presence of gabbroic sills within dunite in the crust-mantle transition zone throughout Oman. The sills are >1 to 50 m thick, and usually >10 to >200 m long, with thickness/length <0.1. The sills are composed of troctolites, olivine gabbros and gabbros, which generally show plagioclase foliation as well as modal banding. Modal layering, with individual layer thickness ranging from 1 m to 1 mm and averaging 3 cm, is common. Moho-parallel gabbroic bodies are also found within harzburgites in the Maqсад mantle section but these are relatively rare.

The question of whether basaltic rocks in continental flood basalt provinces are primary magmas or whether they are descended in general from picritic parent magmas is reviewed. It is suggested that the latter is more likely to be correct on the evidence of phase relations and the relative rareness of mantle materials with appropriate Fe/Mg ratios. Major element variations in the residual liquids of fractional and equilibrium crystallization of basaltic magmas are modelled for a variety of crystallizing assemblages. It is concluded that crystallization of olivine, clinopyroxene, and plagioclase has a marked effect on buffering chemical change in many important elements. It is this effect which accounts for the apparent uniformity of large volumes of flood basalts, not, as has sometimes been supposed, a series of implausible coincidences in the amount of material fractionated from each magma batch. It is further argued that much of the variation seen in basalts may be imposed by polybaric fractionation operating throughout crustal depths, that is at pressures up to at least 12 kb. Parental picritic magmas rising from the mantle reach the surface in exceptional areas of crustal thinning. More usually, however, it is suggested that they intrude the base of the crust as a series of sills which

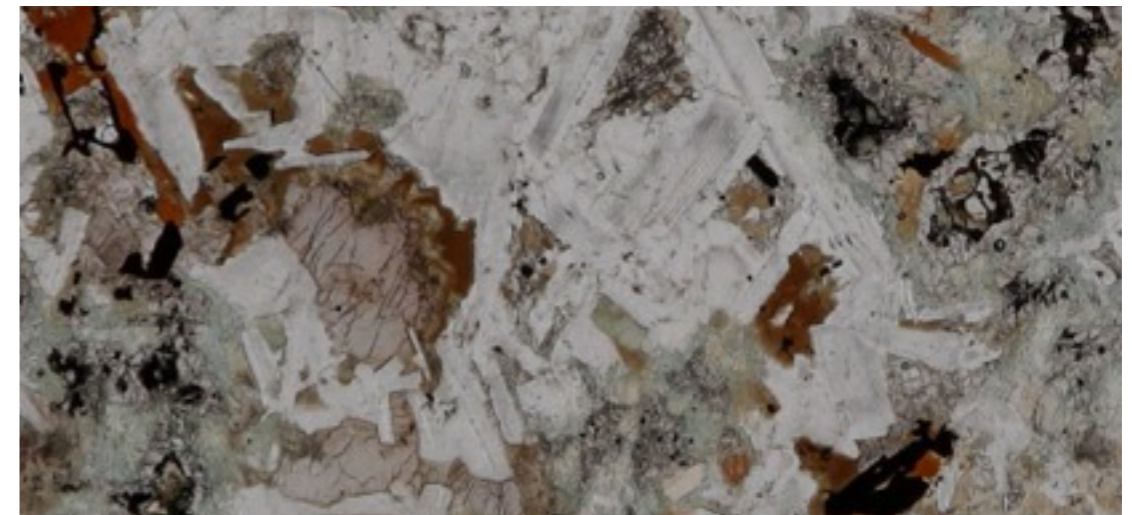
differentiate into upper gabbroic and lower ultramafic portions. Much of the 'low pressure' fractionation of basaltic magmas may take place in this deep crustal sill complex and evolved liquids are transmitted to the surface as their density becomes sufficiently low. This implies that in areas of flood volcanism a potentially large new contribution to the crust is made by underplating, the volumes of concealed cumulates being at least as large as the amount of erupted surface lava.

### C) Preguntas generales

#### Ejercicio 1

##### Question 1 of 5

¿Qué minerales cabría esperar en una roca ígnea máfica?



- A. Cuarzo, feldespato y mica
- B. Olivino, clinopiroxeno y ortopiroxeno
- C. Olivino, clinopiroxeno y plagioclasa
- D. Anfibol, biotita y plagioclasa



Check Answer



## Ejercicio 2

Una los términos o conceptos que corresponda

<input type="radio"/>	T. Cumulada	de cristales más o menos equidimensionales
<input type="radio"/>	T. Ofítica	formación del piroxeno a anfíbol, clorita, serpentina, talco y óxidos de Fe
<input type="radio"/>	T. Granoblástica	de cristales, indica dos fases de cristalización con velocidades
<input type="radio"/>	T. Porfírica	producida por acumulación de cristales en una cámara magmática
<input type="radio"/>	Uralitización	Plagioclasas euhedrales incluidas dentro de cristales más grande de piroxenos

T. Ofítica

T. Cumulada

T. Granoblástica

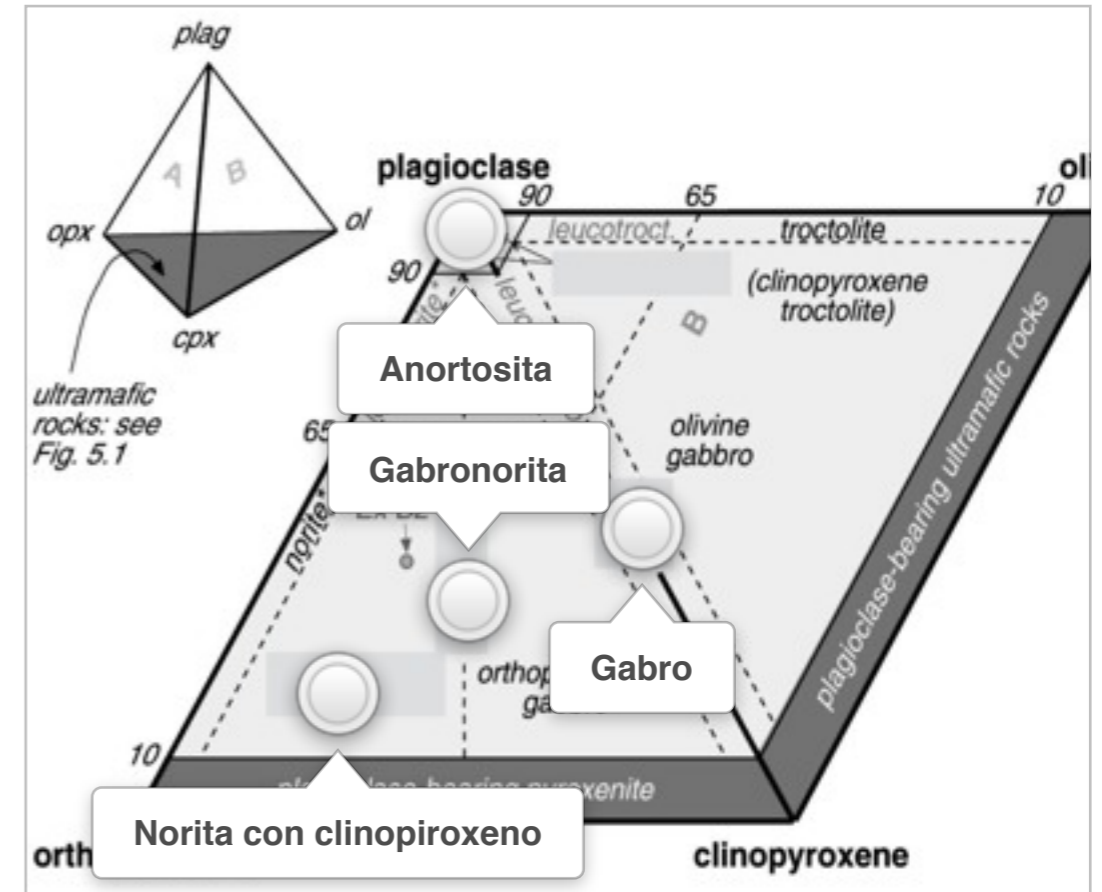
Uralitización

T. Porfírica

Check Answer

## Ejercicio 3

Correlacionar cada tipo de roca ígnea en los diagramas de clasificación de los gabros



Norita con clinopiroxeno

Anortosita

Gabro

Gabronorita

Check Answer



## Actividades de desarrollo y de refuerzo:

- A) Realice el estudio petrográfico de las rocas ígneas, láminas 15240 y RN-1 utilizando la ficha petrográfica.
- B) Realice el estudio petrográfico de otras rocas ígneas máficas USB-60, GREB-27, TF-1 y 12 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde que el estudio petrográfico (al microscopio) de las rocas ígneas debería resultar en lo siguiente:

En lo relativo a la composición mineralógica:

Inventario mineralógico detallado.

Identificación de la asociación mineral principal y, en su caso, de posibles asociaciones o especies minerales relictas y secundarias.

En lo relativo al desarrollo textural:

Descripción global de la textura/estructura dominante en la roca.

Descripción de las relaciones texturales características de las principales especies minerales (no necesariamente las más abundantes), incluyendo relaciones entre granos y con respecto a posibles texturas deformacionales. En este análisis debe basarse en parte la adscripción de las mismas a cada una de las asociaciones minerales distinguidas.

Estas observaciones deberían ser suficientes para clasificar y dar nombre a la roca, acotar o identificar el tipo de contexto en que se formó.

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

Descripción microscópica de la textura global de la roca:

2) Mineralogía.

2a) Minerales esenciales.

2b) Minerales accesorios.

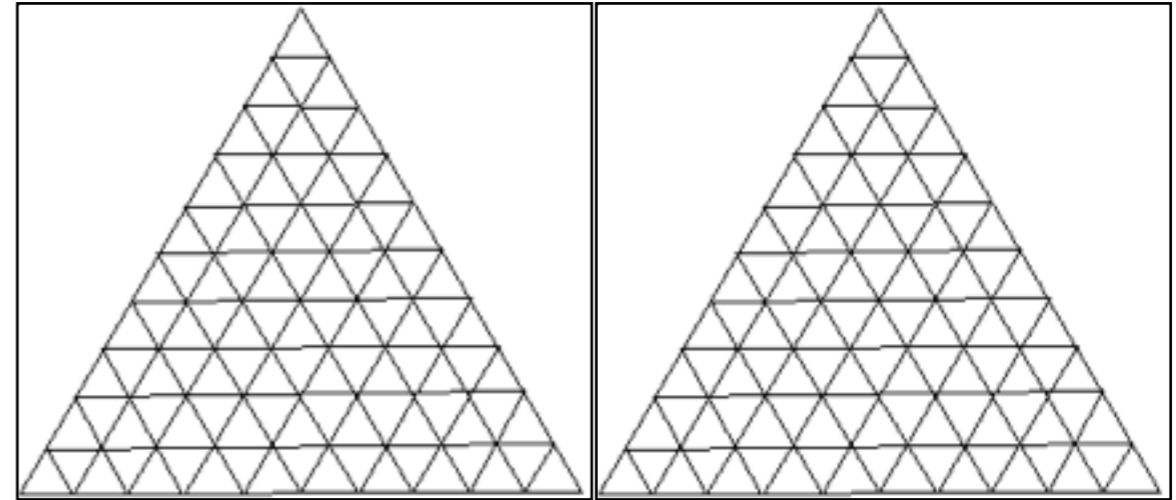
3) Alteraciones, transformaciones, deformaciones, rellenos.

4) Tipo y denominación (razonada) de la roca.

Tipo de roca:

Grupo composicional:

Serie:



Minerales primarios	% modal	% en la representación

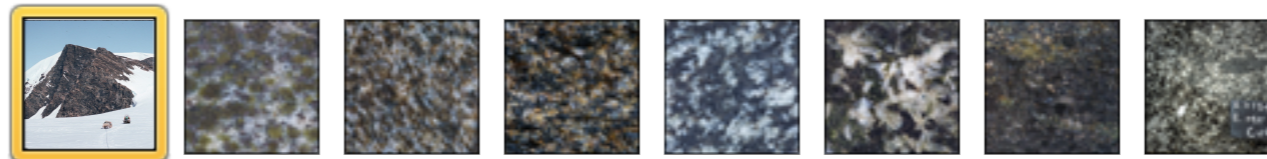
5) Episodios principales de la historia de la roca. Otra aspectos.  
Esquemas gráficos.

6) Nombre de la roca:

Gallery 5.3 Rocas máficas plutónicas



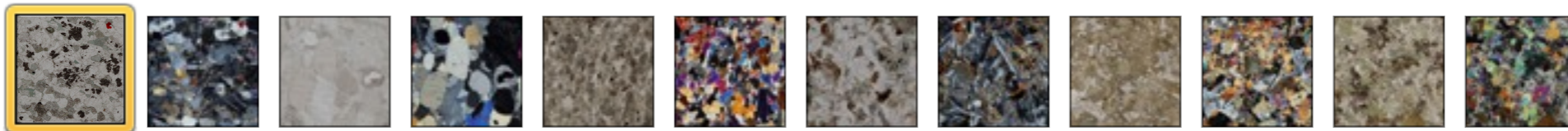
*Gabros del Monte Eissenger, CC Image courtesy of euphro on Flickr*



Gallery 5.4 Rocas máficas plutónicas: láminas delgadas



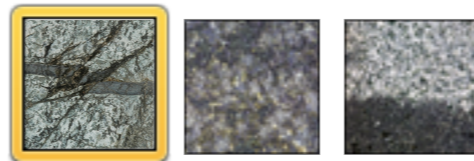
*Norita con clinopiroxeno vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra 1-A)*



**Gallery 5.5** Rocas máficas hipoabisales



*Dique máfico, CC Image courtesy of jsj1771 on Flickr*



**Gallery 5.6** Rocas máficas hipoabisales: láminas delgadas



*Dolerita vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra DOL)*



Gallery 5.7 Rocas máficas volcánicas



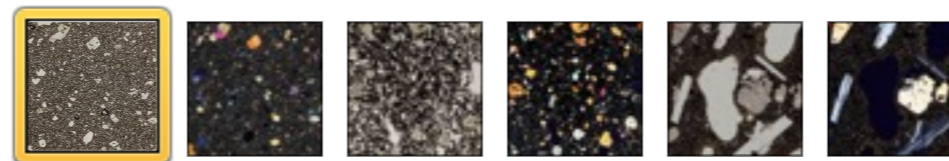
*Basaltos con disyunciones columnares, CC Image courtesy of facileuntar on Flickr*



**Gallery 5.8** Rocas máficas volcánicas: laminas delgadas

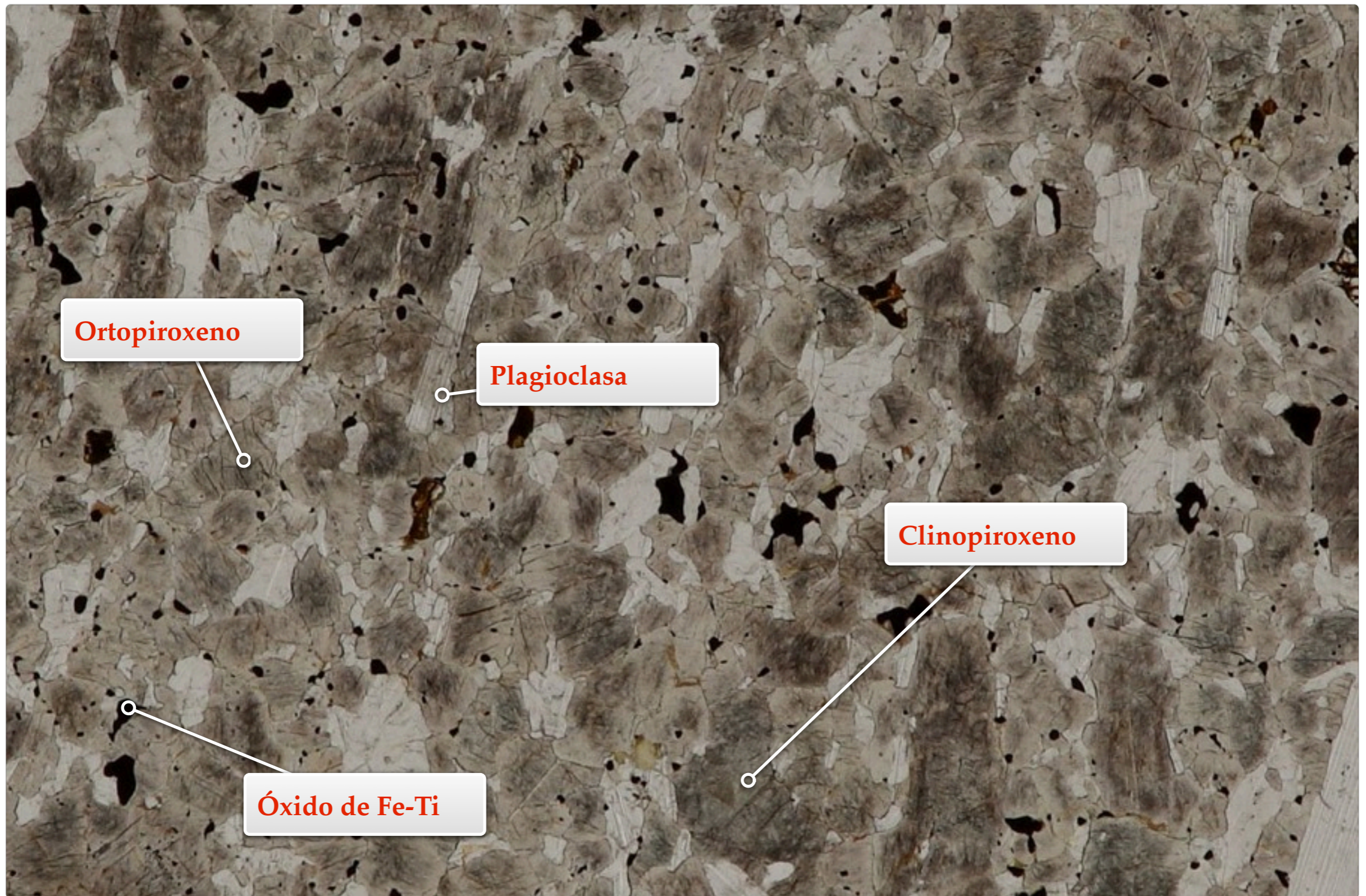


*Basalto alcalino visto en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra 12)*

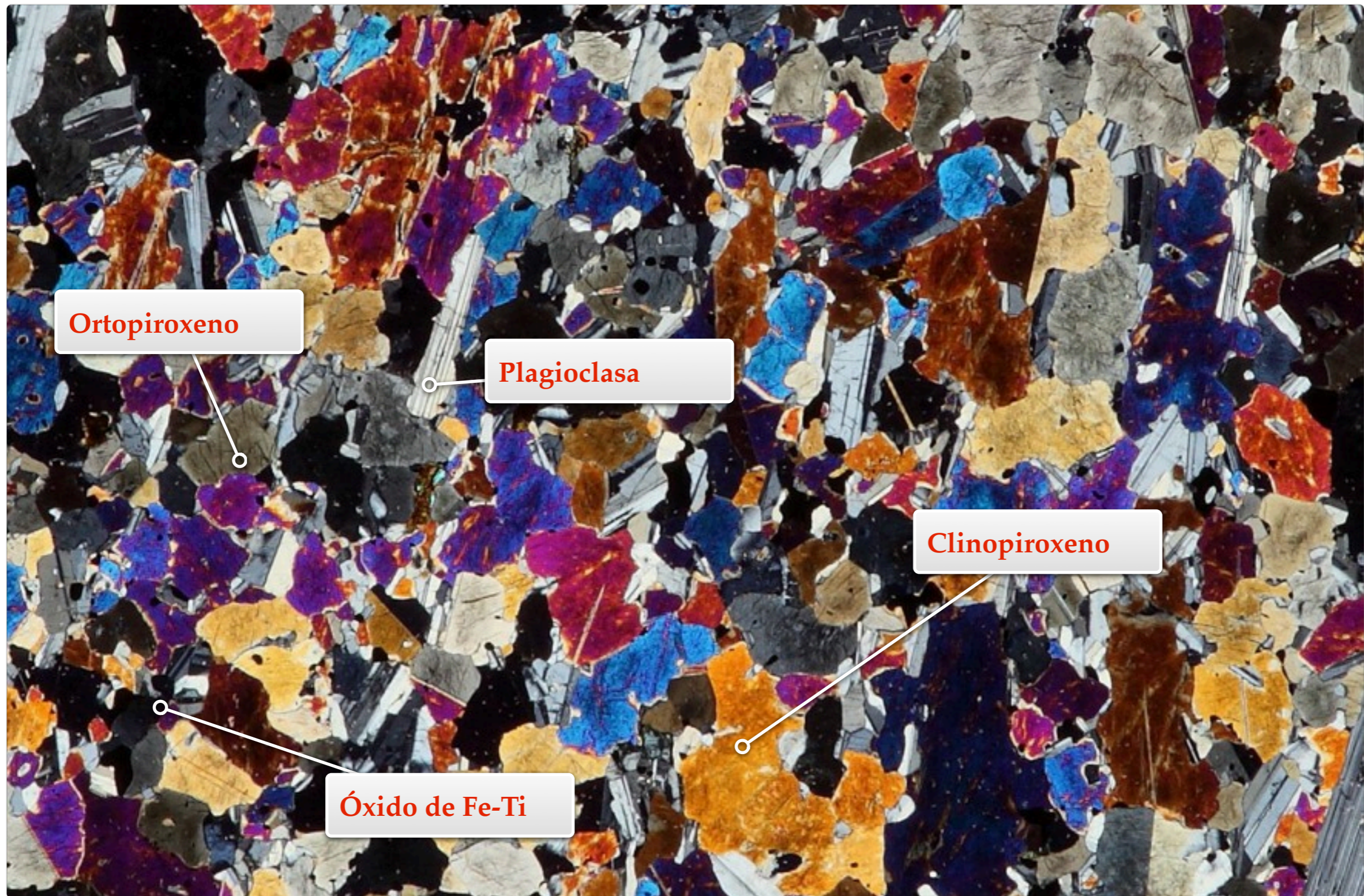




**Interactive 5.3** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra USB-43)



**Interactive 5.4** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra USB-43)



# P3: Rocas ígneas intermedias

## Objetivos de la práctica

**Identificar y estudiar rocas ígneas intermedias (láminas BIV-42, 29-1, USB-80, AJ, 21-3, FS-6-12).**



*Granodiorita tallada (Piedra Rosetta),  
CC Image courtesy of flckd on Flickr*

## Actividades previas:

A) Lee el siguiente texto a modo de introducción a las rocas ígneas de composición intermedia:

### Plutónicas

Rocas faneríticas de grano medio a grueso, mesocráticas, compuestas de plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo, minerales ferromagnesianos (piroxenos, anfíbol y biotita) y minerales accesorios. Se diferencian las dioritas de los gabros por una serie de criterios: la plagioclasa debe ser  $<An_{50}$  la textura es más granítica; son más mesocráticas; los minerales máficos más comunes son anfíbol y biotita. Se diferencian las dioritas de los granitos por la escasez de cuarzo y por un mayor contenido en minerales oscuros. La denominación de una roca se completa con el nombre de los minerales máficos, p. ej., granodiorita biotítica. Se clasifican en el diagrama QAPF.

### Volcánicas

Rocas afaníticas que componen proporciones variadas de plagioclasa, uno o más tipos de piroxenos, anfíbol, biotita y cuarzo. El criterio más útil para distinguir las andesitas de las dacitas es la presencia de fenocristales de cuarzo en las segundas. Los minerales ferromagnesianos presentes se agregan a la denominación de la roca, p. ej., andesita hornbléndica. Se clasifican en el diagrama QAPF.

B) Lee el siguiente texto extraído del artículo:

“Ascent-driven crystallization of dacite magmas at Mount St Helens, 1980” de J. Blundy and K. Cashman, publicado en

Contributions to Mineral and Petrology, v. 140, 631-650, 2001. ¿Qué significado tiene para la interpretación de las rocas ígneas intermedias?

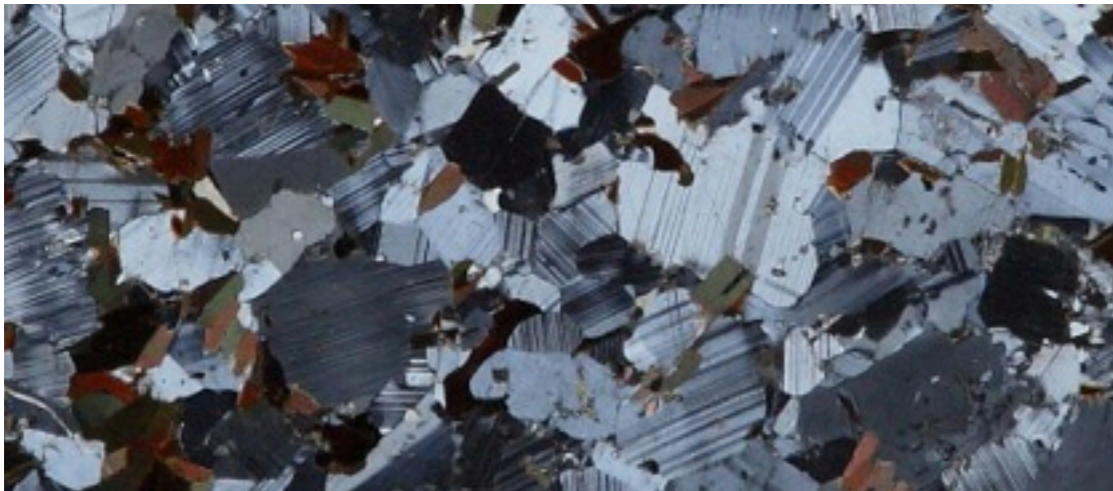
Based on compositional variation in natural and experimental glasses from Mount St Helens dacites we have arrived at the following model for magmatic crystallisation at pressures  $<300\pm 400$  MPa. Magma ascending from the source region, possibly partially molten hydrous basalt at pressures  $>700$  MPa consists of a silicate melt with  $<10\%$  phenocrysts of amphibole, orthopyroxene, clinopyroxene and calcic plagioclase. Some of these phases may represent entrained source material or 'restitute' from depth whereas others may be phenocrysts grown en route to shallow levels. The melt composition at this stage is dacite with 68 wt% SiO<sub>2</sub> anhydrous, as preserved in melt inclusions in amphibole.

C) Preguntas generales

Ejercicio 1

Question 1 of 4

¿Qué minerales cabría esperar en una roca ígnea intermedia?



- A. Cuarzo, biotita y moscovita
- B. Olivino, clinopiroxeno y plagioclasa
- C. Anfíbol, biotita, plagioclasa, feldespato alcalino y cuarzo
- D. Anfíbol, biotita y plagioclasa



Check Answer



Ejercicio 2

Una los términos o conceptos que corresponda

<input type="radio"/>	Saussuritización	de cristales en una roca ígnea por nudo
<input type="radio"/>	T. Vítreo	ón continua en el tamaño de grano desde fenocristales hasta la
<input type="radio"/>	T. de exsolución	e componentes de solución sólida, produce láminas de un mineral
<input type="radio"/>	T. Seriada	sto completamente por vidrio
<input type="radio"/>	T. Fluidal	nación de la plagioclasa a albita, zoisita, carbonatos y clorita

T. Vítreo

Saussuritizaci...

T. de exsolución

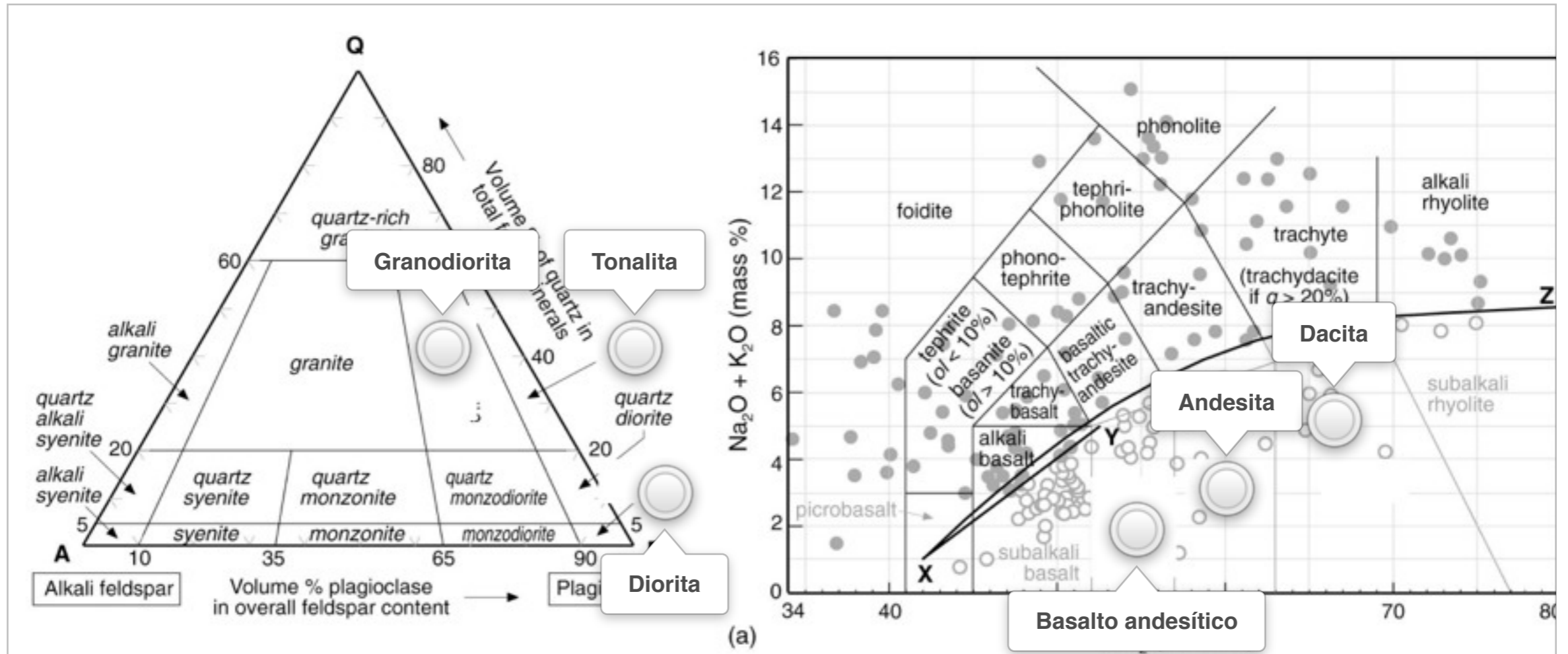
T. Fluidal

T. Seriada

Check Answer

### Ejercicio 3

Colocar cada tipo de roca ígnea en los diagramas de clasificación correspondientes



Tonalita	Diorita	Basalto andesítico
Granodiorita	Andesita	Dacita

Check Answer

### Actividades de desarrollo y de refuerzo:

- A) Realice el estudio petrográfico de las rocas ígneas BIV-42 y 29-1 utilizando la ficha petrográfica.
- B) Realice el estudio petrográfico de otras rocas ígneas intermedias USB-80, AJ, 21-3 y FS-6-12 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde que el estudio petrográfico (al microscopio) de las rocas ígneas debería resultar en lo siguiente:

En lo relativo a la composición mineralógica:

- a) Inventario mineralógico detallado.
- b) Identificación de la asociación mineral principal y, en su caso, de posibles asociaciones o especies minerales relictas y secundarias.

En lo relativo al desarrollo textural:

- c) Descripción global de la textura/estructura dominante en la roca.
- d) Descripción de las relaciones texturales características de las principales especies minerales (no necesariamente las más abundantes), incluyendo relaciones entre granos y con respecto a posibles texturas deformacionales. En este análisis debe basarse en parte la adscripción de las mismas a cada una de las asociaciones minerales distinguidas en (b).

Estas observaciones deberían ser suficientes para clasificar y dar nombre a la roca, acotar o identificar el tipo de contexto en que se formó.

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

Descripción microscópica de la textura global de la roca:

2) Mineralogía.

2a) Minerales esenciales.

2b) Minerales accesorios.

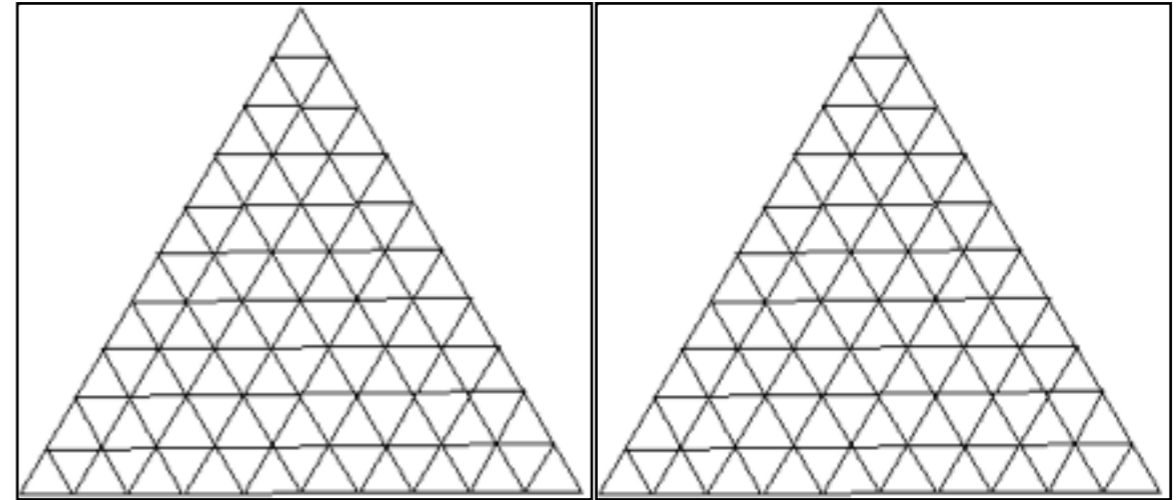
3) Alteraciones, transformaciones, deformaciones, rellenos.

4) Tipo y denominación (razonada) de la roca.

Tipo de roca:

Grupo composicional:

Serie:



Minerales primarios	% modal	% en la representación

5) Episodios principales de la historia de la roca. Otra aspectos.  
Esquemas gráficos.

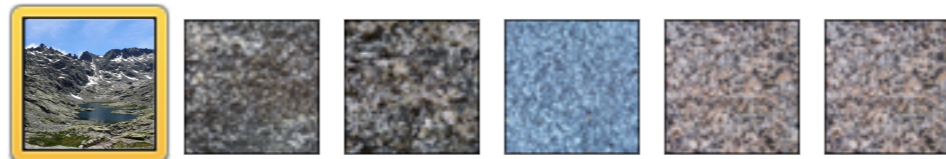
6) Nombre de la roca:



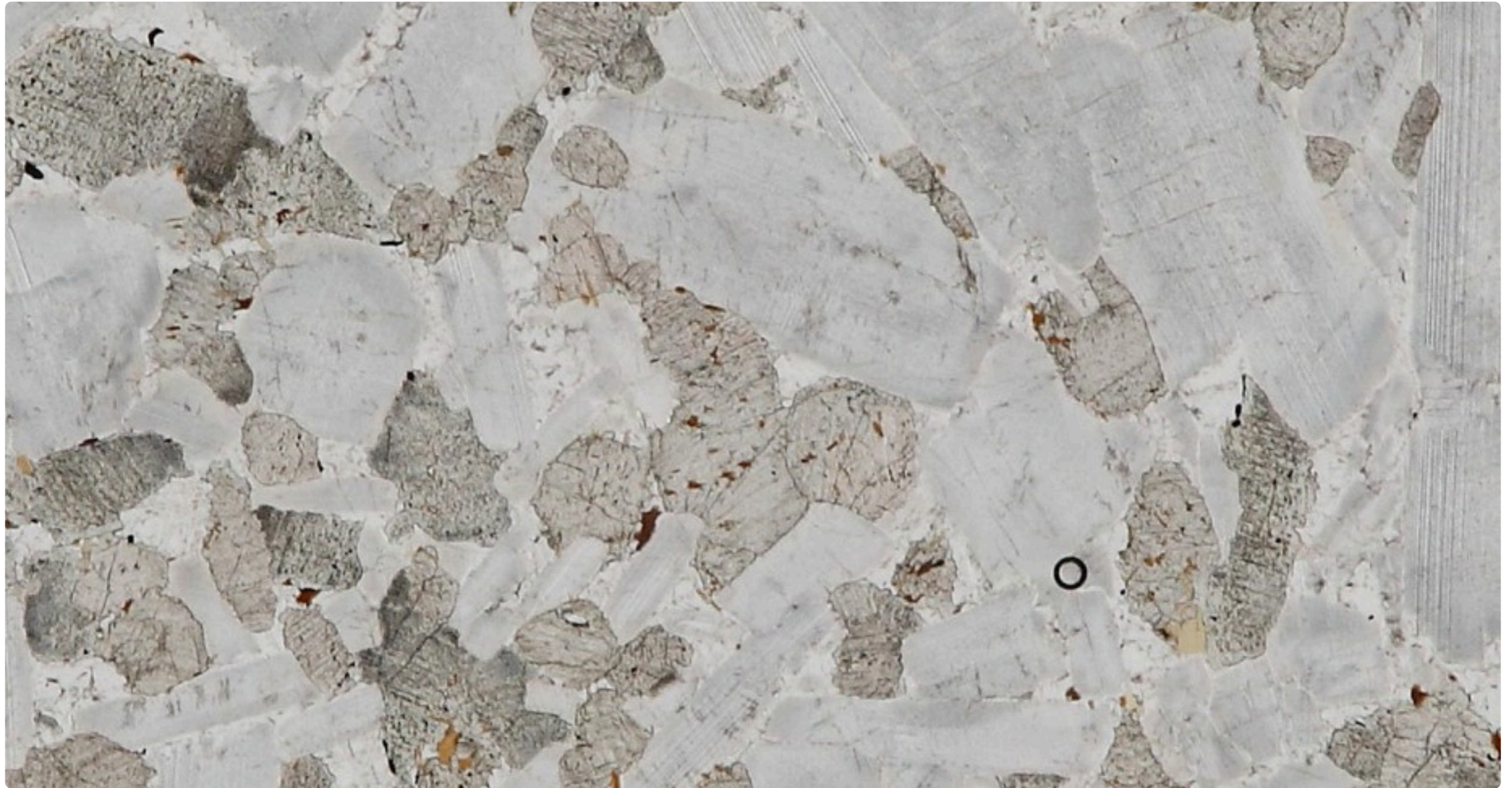
Gallery 5.9 Rocas intermedias plutónicas



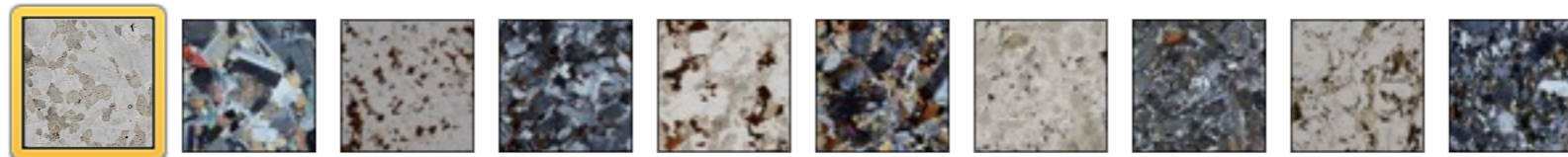
*Granodioritas del Circo de Gredos, CC Image courtesy of Tania Ho on Flickr*



**Gallery 5.10** Rocas intermedias plutónicas: láminas delgadas



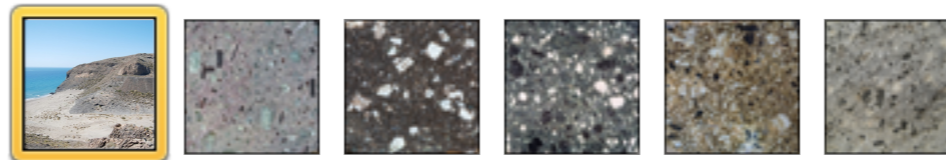
*Diorita vista en lámina delgada con nicoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra AJ)*



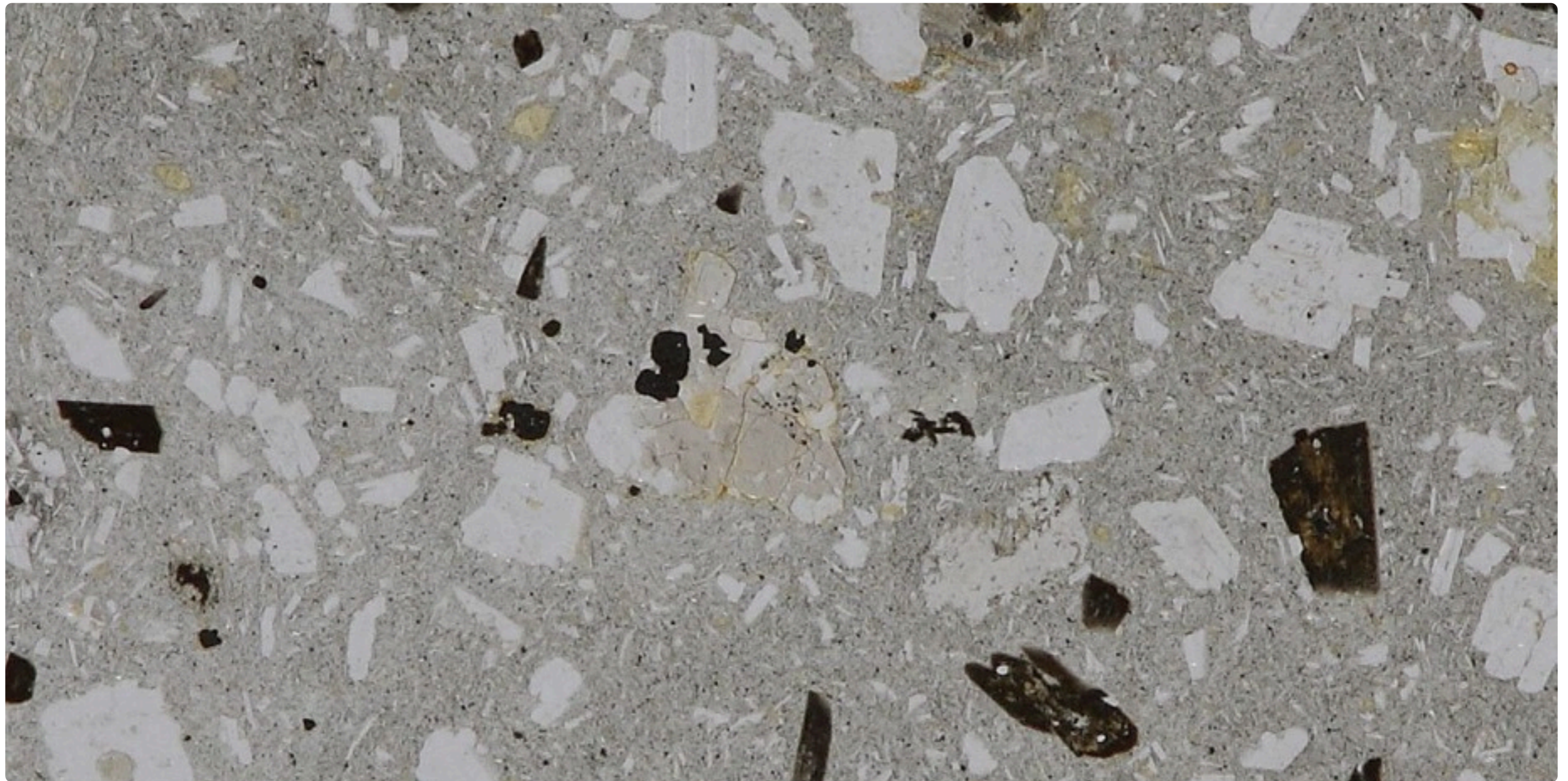
**Gallery 5.11** Rocas intermedias volcánicas



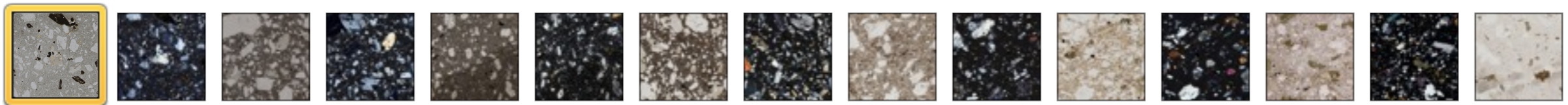
*Afloramiento de andesitas de Cabo de Gata, España, CC Image courtesy of losescullossanjose on Flickr*



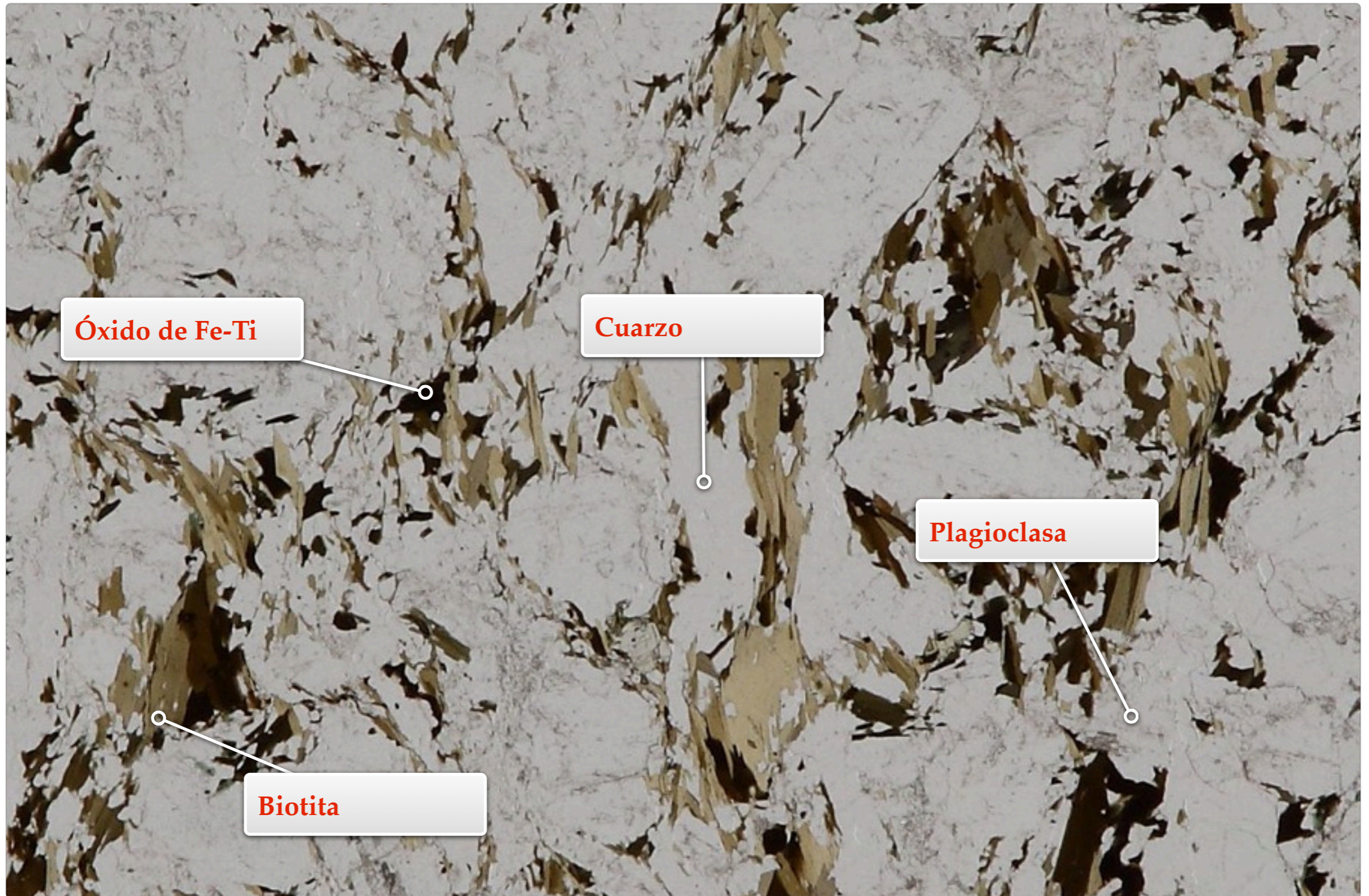
Gallery 5.12 Rocas intermedias volcánicas: láminas delgadas



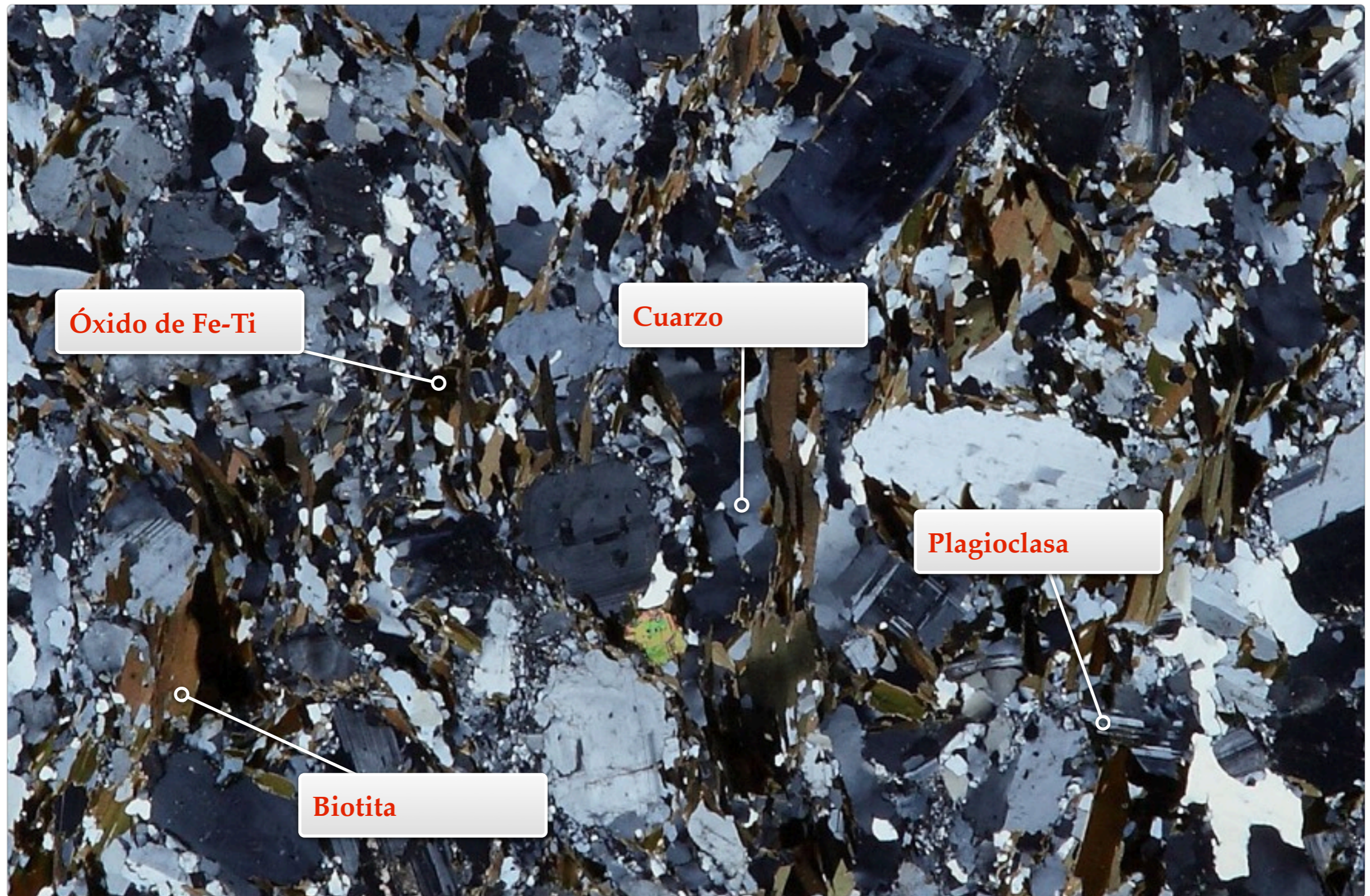
*Andesita basáltica vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra 168)*



**Interactive 5.5** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra USB-43)



**Interactive 5.6** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra USB-43)



# P4: Rocas ígneas ácidas

## Objetivos de la práctica

---

Identificar y estudiar rocas ígneas ácidas (láminas BRG, R/GRX-3, P3-4, USB-27, VAT-1 y F5-69).



*Busto de Ramsés II tallado en un granito, CC Image courtesy of [www78](#) on Flickr*

## Actividades previas:

A) Lee el siguiente texto a modo de introducción a las rocas ígneas de composición ácida:

Plutónicas:

Rocas faneríticas félsicas, compuestas principalmente por feldespatos y cuarzo, junto con cantidades menores de minerales ferromagnesianos (biotita, anfíbol y piroxeno) y minerales accesorios (zircón, apatito,..). La denominación de una roca se completa con el nombre de los minerales máficos u otros minerales destacados presentes, p. ej., granito biotítico. Se clasifican en el diagrama QAPF.

Volcánicas

Rocas afaníticas que se componen principalmente de proporciones variadas de plagioclasa, biotita y cuarzo. La ausencia de feldespato potásico en las riolitas hace difícil a veces distinguir una dacita de una riolita; como criterio práctico las riolitas son más ricas en vidrio y en cuarzo que las dacitas, además tienden a tener texturas más fragmentales. Cuando la distinción no está clara es aplicable el término riodacita. Se clasifican en el diagrama QAPF.

B) Lee el siguiente texto extraído del artículo

"Two contrasting granite types: 25 years later", de B.W. Chappell and A.J.R. White, publicado en *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 48, 489–499, 2001. ¿Qué significado tiene para la interpretación de las rocas ígneas ácidas?

Petrographic features reflect the differences in chemical composition. Hornblende is common in the more mafic I types and generally present in felsic varieties, whereas hornblende is absent, but muscovite is common, in the more felsic S-types; biotite may be very abundant, up to 35%, in more mafic S-types. Sphene is a common accessory in the I-type granites whereas monazite may be found in S-types. Aluminosilicates, garnet and cordierite may occur in S-type xenoliths or in the granites themselves. All of these features result from the high aluminium content relative to alkalis and calcium in S-type granites and the converse in I-types. Apatite inclusions are common in biotite and hornblende of I-type granites whereas it occurs in larger discrete crystals in S-types.

As Chappell and White (1974) stated, many of the petrographic (mineralogical) differences between the I- and S-type granites reflect the differences in chemical composition between the two groups. The occurrences of different minerals listed in the 1974 publication remain correct with our present knowledge, except that monazite can also occur as an accessory mineral in felsic peraluminous I-type granites. In that case, the monazite is probably a product of very late crystallisation, in contrast to the monazite in S-type granites, which is either an early crystallised mineral, or restite.

*Two contrasting granite types B.W. Chappell and A.J.R. White, Pacific Geology, v. 8, 173-174, 1974*

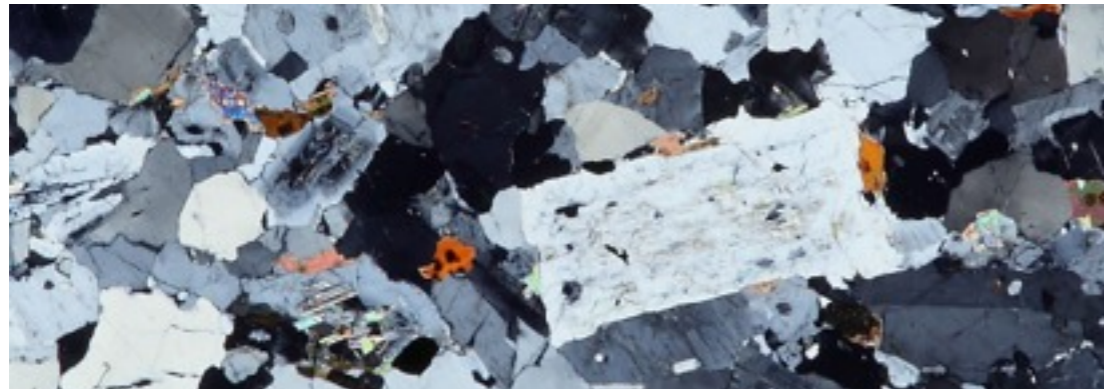


C) Preguntas generales

Ejercicio 1

Question 1 of 5

¿Qué minerales cabría esperar en una roca ígnea ácida?



- A.** Biotita, cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino y cuarzo
- B.** Olivino, clinopiroxeno y plagioclasa
- C.** Anfíbol, biotita, plagioclasa, feldespato alcalino y cuarzo
- D.** Anfíbol, biotita y plagioclasa



Check Answer



Ejercicio 2

Una los términos o conceptos que corresponda

<input type="radio"/>	<b>Subsolvus</b>	nto de cuarzo y feldespato alcalino, de la cristalización eutéctica de un fundido granítico
<input type="radio"/>	<b>T. pegmatítica</b>	ay grueso, > varios cm, con una composición granítica
<input type="radio"/>	<b>T. felsítica</b>	a presión con contenidos elevados de agua, cristalizan dos fases feldespáticos
<input type="radio"/>	<b>T. Rapakivi</b>	de cristales de cuarzo y feldespato producido por re cristalización de vídrio volcánico
<input type="radio"/>	<b>T. Gráfica</b>	ldespato potásico de color rosado rodeados por una corona de oligoclasa verde

T. pegmatítica

Subsolvus

T. felsítica

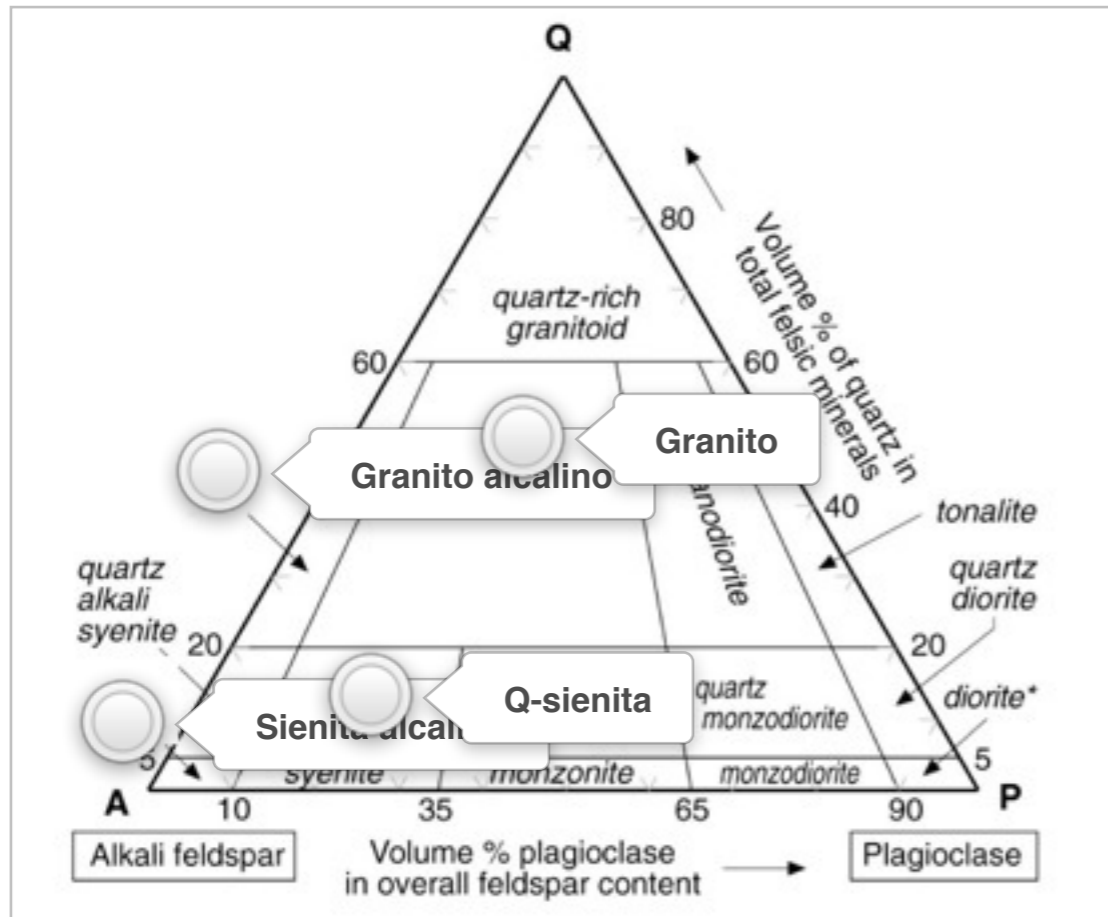
T. Gráfica

T. Rapakivi

Check Answer

### Ejercicio 3

Colocar cada tipo de roca en el diagrama de clasificación de rocas ígneas ácidas plutónicas



Sienita alcalino

Granito alcalino

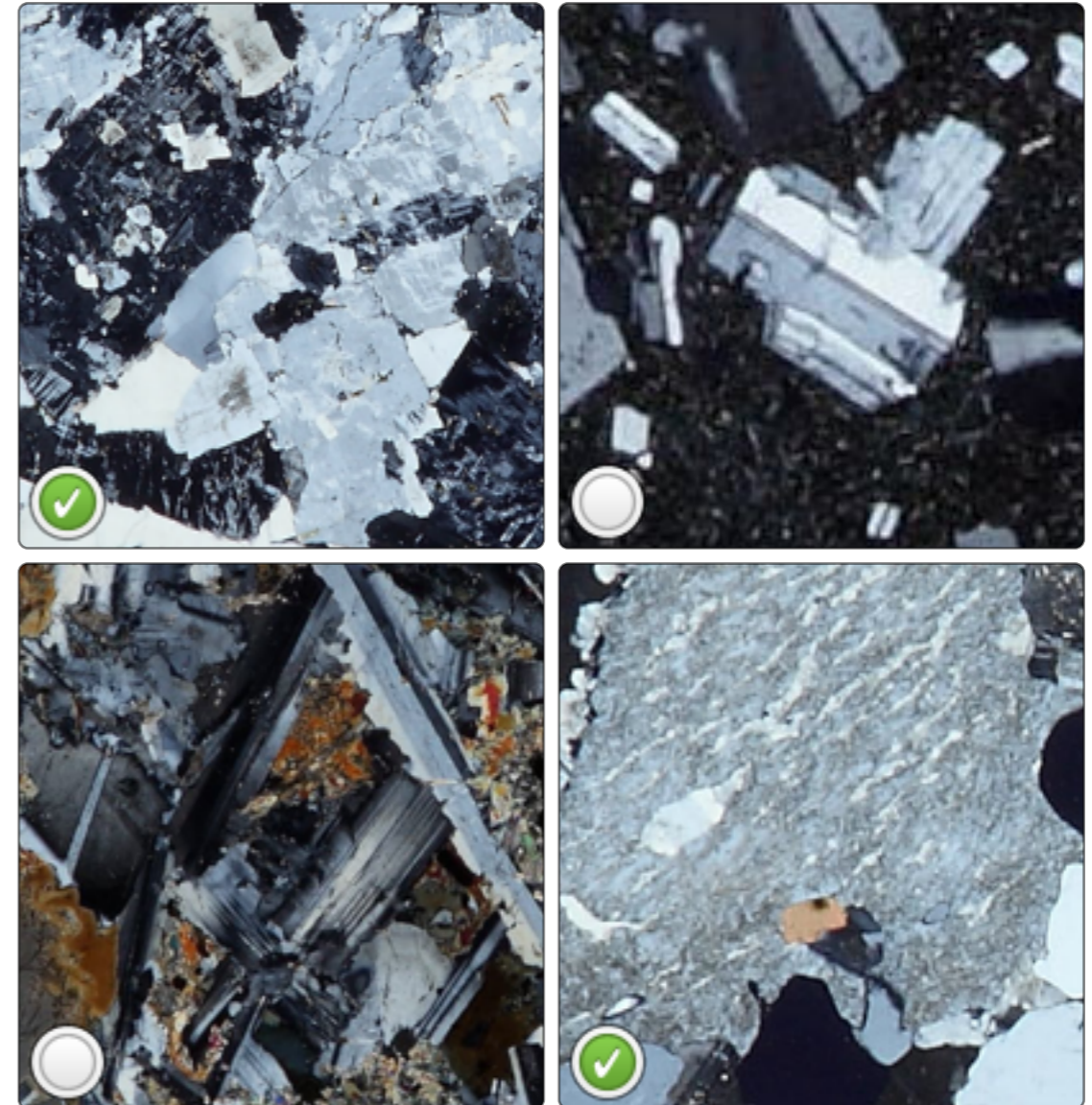
Q-sienita

Granito

Check Answer

### Ejercicio 4

Las siguientes imágenes corresponden al grupo de los feldespatos, ¿ Cuáles son feldespatos alcalinos?



Check Answer

### Actividades de desarrollo y de refuerzo:

- A) Realice el estudio petrográfico de las rocas ígneas, láminas BRG y R/GRX-3 utilizando la ficha petrográfica.
- B) Realice el estudio petrográfico de otras rocas ígneas ácidas P3-4, USB-27, VAT-1 y F5-69 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde que el estudio petrográfico (al microscopio) de las rocas ígneas debería resultar en lo siguiente:

En lo relativo a la composición mineralógica:

- a) Inventario mineralógico detallado.
- b) Identificación de la asociación mineral principal y, en su caso, de posibles asociaciones o especies minerales relictas y secundarias.

En lo relativo al desarrollo textural:

- c) Descripción global de la textura/estructura dominante en la roca.
- d) Descripción de las relaciones texturales características de las principales especies minerales (no necesariamente las más abundantes), incluyendo relaciones entre granos y con respecto a posibles texturas deformacionales. En este análisis debe basarse en parte la adscripción de las mismas a cada una de las asociaciones minerales distinguidas en (b).

Estas observaciones deberían ser suficientes para clasificar y dar nombre a la roca, acotar o identificar el tipo de contexto en que se formó.

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

Descripción microscópica de la textura global de la roca:

2) Mineralogía.

2a) Minerales esenciales.

2b) Minerales accesorios.

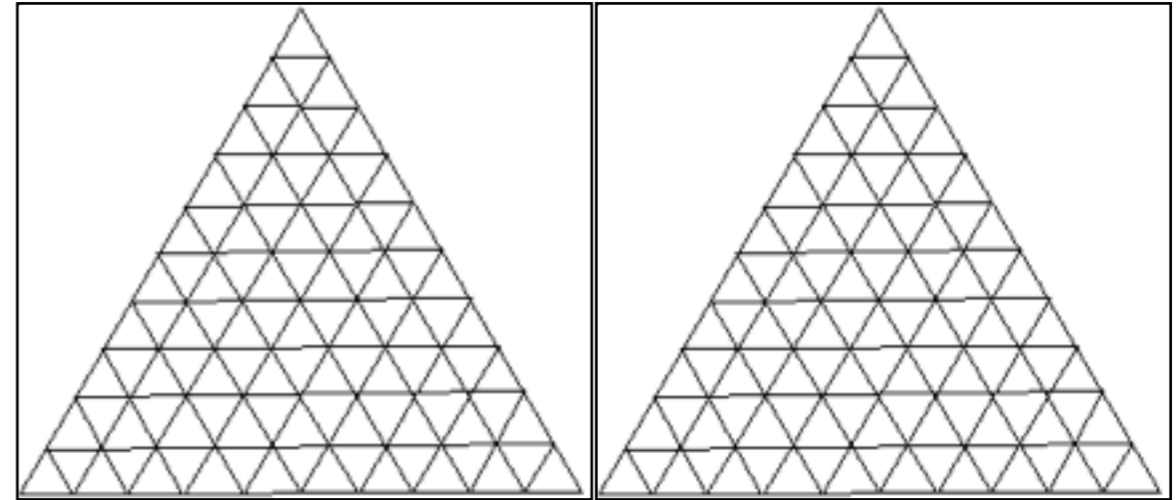
3) Alteraciones, transformaciones, deformaciones, rellenos.

4) Tipo y denominación (razonada) de la roca.

Tipo de roca:

Grupo composicional:

Serie:



Minerales primarios	% modal	% en la representación

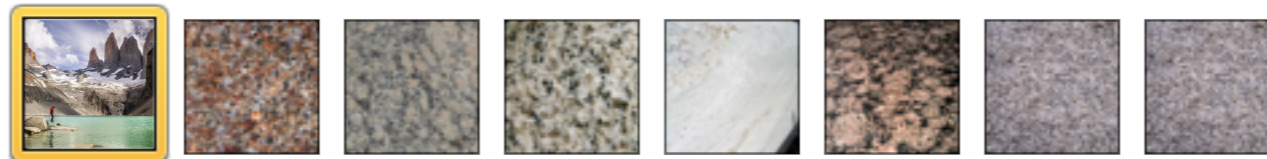
5) Episodios principales de la historia de la roca. Otros aspectos.  
Esquemas gráficos.

6) Nombre de la roca:

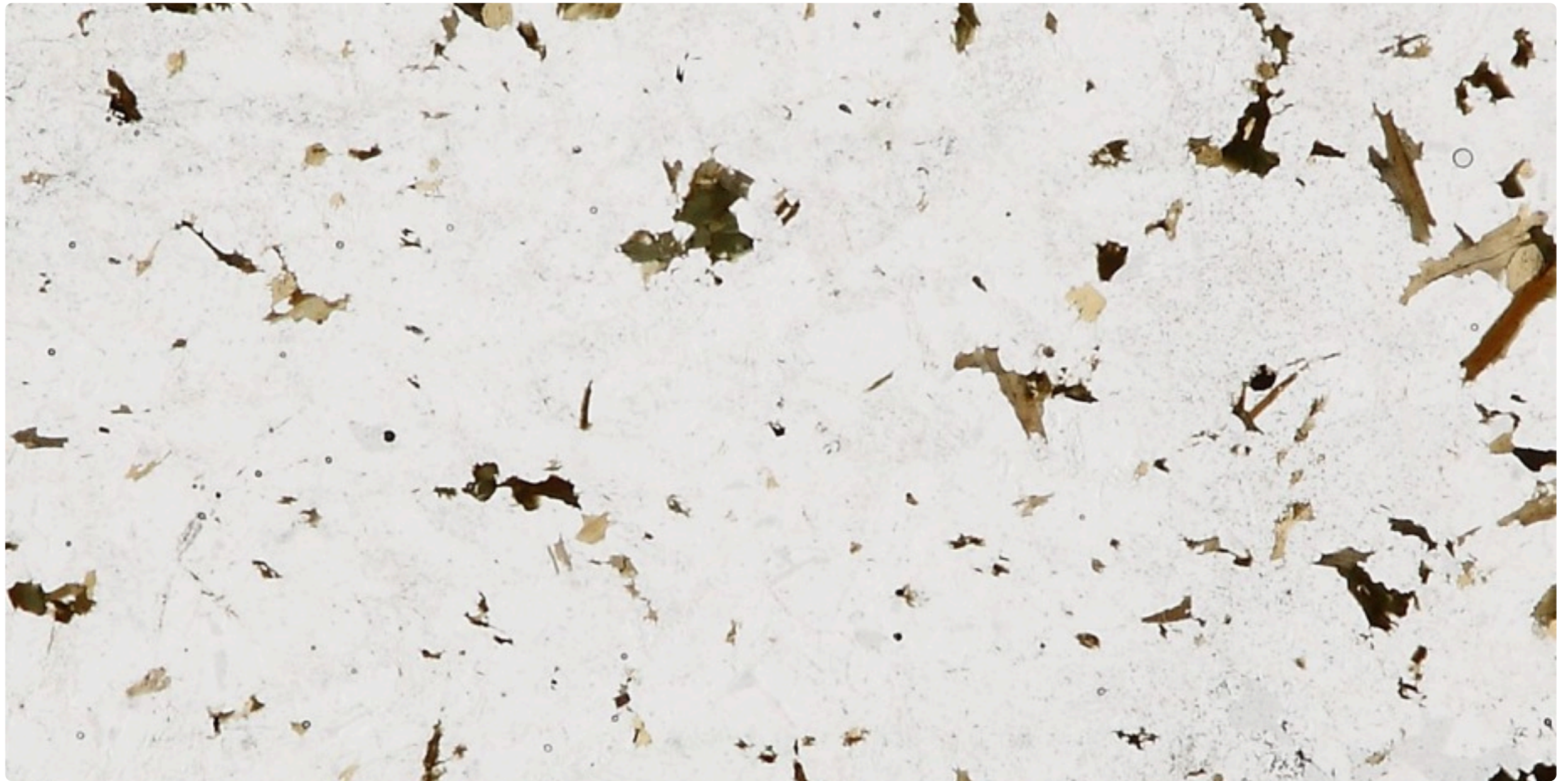
Gallery 5.13 Rocas ácidas plutónicas



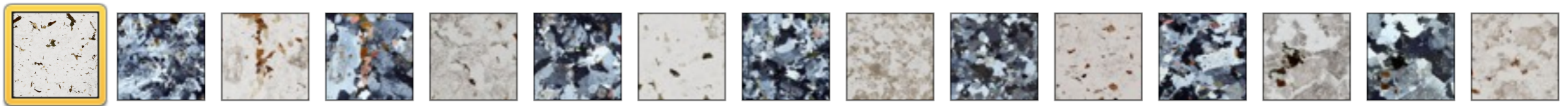
*Granitos de las Torres del Paine (Chile), CC Image courtesy of Frank Kehren on Flickr*



**Gallery 5.14** Rocas ácidas plutónicas: láminas delgadas



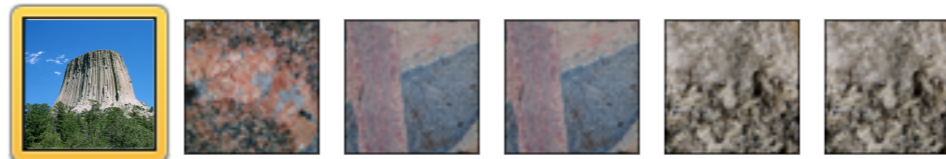
*Monzogranito biotítico visto en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra 42-2)*



**Gallery 5.15** Rocas ácidas hipoabisal



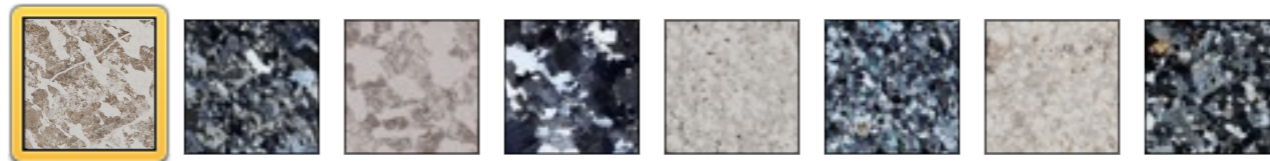
*Cuello volcánico (Devils Tower,), CC Image courtesy of Frank faulkingham on Flickr*



**Gallery 5.16** Rocas ácidas hipoabisal: láminas delgadas



*Pegmatita vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra FO-5578)*





**Gallery 5.17** Rocas ácidas volcánicas



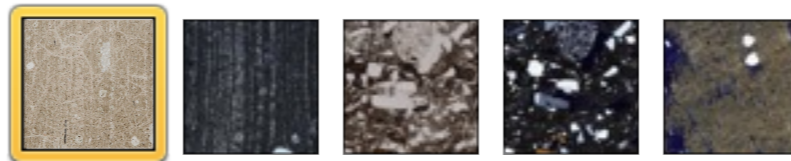
*El Arbol de Piedra, Bolívia. Afloramiento de rocas volcánicas ácidas, CC Image courtesy of El color de tu mirada on Flickr*



**Gallery 5.18** Rocas ácidas volcánicas: láminas delgadas



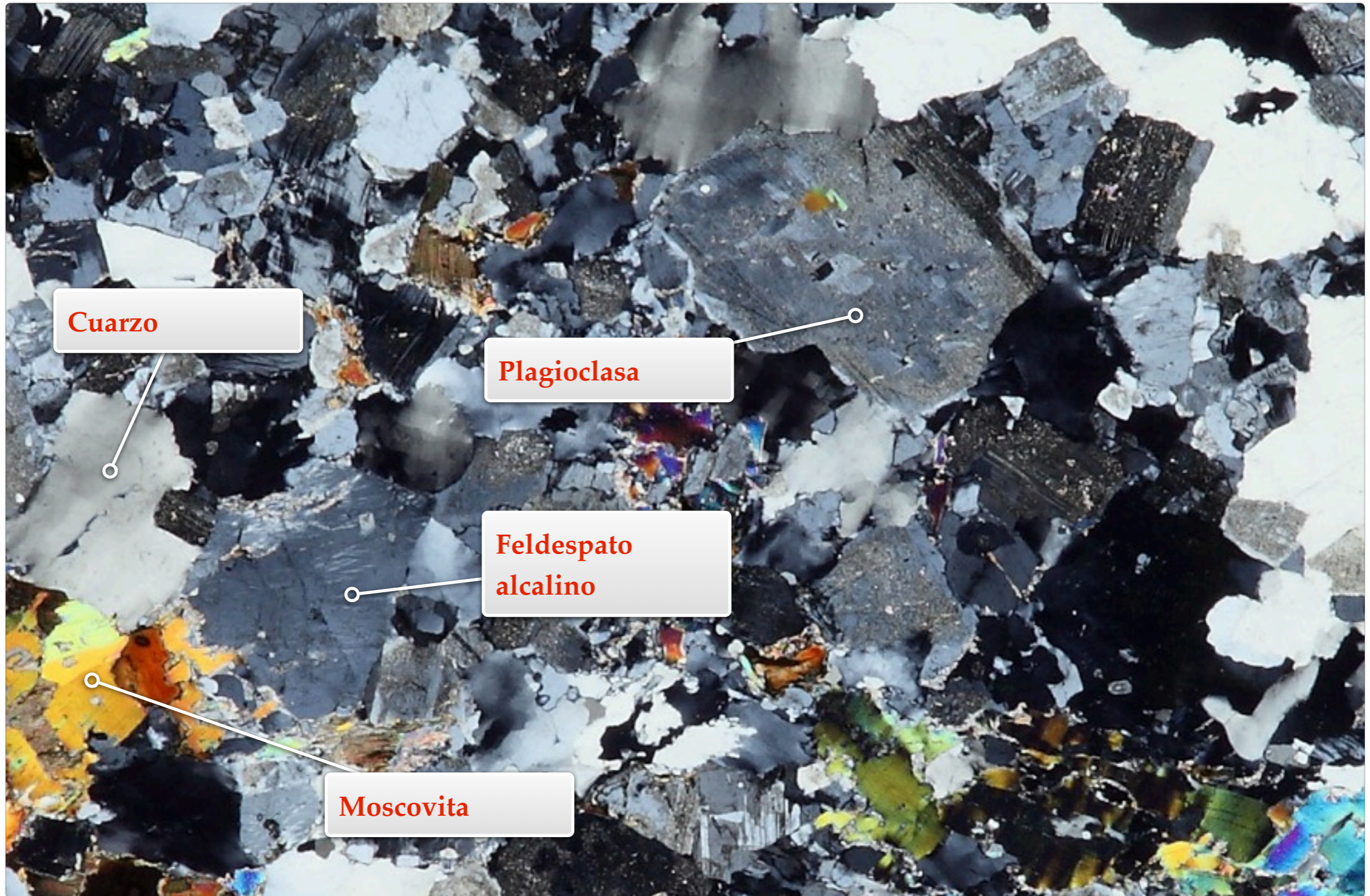
*Riolita vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra GRX-3)*



**Interactive 5.7** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra USB-43)



**Interactive 5.8** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra USB-43)



# P5: Rocas ígneas alcalinas

## Objetivos de la práctica

Identificar y estudiar rocas ígneas alcalinas (láminas LK-2, V-2, KHB-6, LOV-5, P-23 y 28-920).



*Mosaico de traquibasalto sódico del patio del Convitto Cutelli (Catania, Italy), CC Image courtesy of Darkroom Daze on Flickr*

## Actividades previas:

A) Lee el siguiente texto a modo de introducción a las rocas ígneas de composición alcalinas:

### Plutónicas

Rocas faneríticas mesocráticas o leucocráticas compuestas esencialmente por feldespatos alcalinos y feldespatoides junto con minerales máficos alcalinos. En general tienen contenidos bajos en minerales máficos, si son abundantes, rocas melanocráticas se emplea el prefijo mela, p. ej., melasienita. Hay una gran cantidad de denominaciones locales de las sienitas con feldespatoides y las foidolitas debido a su amplia variedad de aspectos de campo. Las episienitas son rocas con feldespatos y minerales máficos, sin cuarzo, formados por alteración hidrotermal de granitos, en los que el cuarzo es lixiviado por los fluidos hidrotermales. Se clasifican en el diagrama QAPF.

### Volcánicas

Traquitas: feldespato alcalino y minerales máficos Rocas afaníticas saturadas en sílice, félsicas y leucocráticas con feldespato alcalino como único mineral predominante, junto a cantidades menores de minerales máficos.

Fonolitas: feldespato alcalino, foides y minerales máficos. Rocas afaníticas leucocráticas compuestas esencialmente por feldespato alcalino, < 15% de uno o varios minerales máficos, y > 10% de uno o varios feldespatoides.

Basanitas y tefritas: plagioclasa, foides y minerales máficos. Rocas afaníticas mesocráticas o melanocráticas con una textura porfídica

compuesta por plagioclasa cálcica, clinopiroxeno y feldespatoides > 10% de los minerales félsicos. Basanitas con olivino y tefritas sin olivino.

Foiditas: foides y minerales máficos.

Nefelinitas - Rocas afaníticas máficas con más nefelina que una basanita. Contiene piroxenos (diópsido zonado a egirina-augita en el borde), olivino y accesorios (óxidos de Fe-Ti, flogopita, titanita ...).

Leucititas - Rocas afaníticas máficas con leucita como fenocristales y en la matriz. Contiene piroxenos (diópsido, augita titanada, egirina-augita). Feldespato alcalino y plagioclasa ausente o minoritarios. Otras fases que pueden estar presentes: olivino, flogopita, K-richterita, titanita, noseana ...

Se clasifican todos en el diagrama QAPF.

B) Lee el siguiente texto extraído del artículo

"The nature and origin of lamprophyres: an overview.", de N.M.S. Rock, publicado en Geological Society, London, Special Publications, v. 30, 191-226, 1987. ¿Qué significado tiene para la interpretación de las rocas ígneas alcalinas?

Lamprophyres are 'alkaline rocks' because they carry high alkalis at a given percentage of SiO<sub>2</sub>, together with one or more of normative nepheline, leucite, modal foids, and Na-K-Ti-rich amphiboles or pyroxenes. They reach higher whole-rock H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, Sr and Ba contents than other silicate igneous rocks. Contents of related element subsets in amphiboles (Ti, Ba), K-feldspars (Ba, Fe<sup>+3</sup>), phlogopites (Ti, Ba, Fe<sup>3</sup>) and pyroxenes (Ti, Al, Fe<sup>+3</sup>) include

among the highest values known in nature for these minerals. 'Primitive' minerals (diopside, forsterite) commonly coexist with 'evolved' minerals (albite + orthoclase, quartz). Four well-defined 'branches' of the lamprophyre 'clan' have distinctive compositions: calc-alkaline (shoshonitic) lamprophyres (minettes etc.), alone among lamprophyres, have mixed alkaline-calc-alkaline affinities; alkaline lamprophyres (camptonites etc.) are basanitic to nephelinitic and, alone among lamprophyres, usually have  $Na < K$ ; ultramafic lamprophyres (alnöites etc.) are the most Si poor and Ca rich of silicate igneous rocks, and grade into carbonatites; lamproites (orendites etc.) are uniquely rich in K, Rb, Ba, Th, Mg, Cr and Ni at mainly 'andesitic'  $SiO_2$  contents, and carry a suite of diagnostic minerals (wadeite etc.). Each branch comprises at least four rock types which resemble each other much more than rock types of other branches; however, some rock types can be grouped into slightly distinct 'families' within one branch (e.g. phlogopitic and madupitic lamproites). A case can be made for including kimberlites as a fifth branch of the lamprophyre clan. Synoptic plots and tables, based on some 5000 major, trace-element and mineral analyses, are presented, to aid identification and classification. Lamprophyres are far more common than generally stated, occurring worldwide in more tectonic settings than many other alkaline rocks and throughout the geological record. They may approximate intratelluric magma compositions. Nearly all represent primitive magmas, and many represent primary magmas. Some represent parental magmas to a wide range of hydrous alkaline intrusive suites: calc-alkaline lamprophyres to potassic pyroxenite-diorite-shonkinite-syenite-granite plutons (Cortlandt); alkaline lamprophyres to hornblendic gabbro-syenite

plutons (Monteregian Hills); and ultramafic lamprophyres to ijolite-carbonatite complexes (Fen).

C) Preguntas generales

Ejercicio 1

Question 1 of 5

¿Que minerales cabría esperar en una roca ígnea alcalina?



- A.** plagioclasa, feldespato alcalino, nefelina, egirina
- B.** plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo, egirina
- C.** plagioclasa, cuarzo, nefelina, egirina
- D.** cuarzo, feldespato alcalino, nefelina, egirina

Ejercicio 2

Una los términos o conceptos que corresponda

<input type="radio"/>	T. Traquítica	romagnesianos en posición intersticial con respecto a los feldespatos y los feldespatoides
<input type="radio"/>	T. Monzonítica	presión con contenidos bajos de una sola fase feldespática
<input type="radio"/>	Hipersolvus	el orden de cristalización de los minerales sigue la sucesión de Bowen
<input type="radio"/>	T. Agpaítica	feldespato alcalino poikilítico que incluye cristales euhedrales
<input type="radio"/>	T. Miaskítica	debido a flujo, de granos de plagioclasas en una roca volcánica

T. Monzonítica

T. Traquítica

Hipersolvus

T. Miaskítica

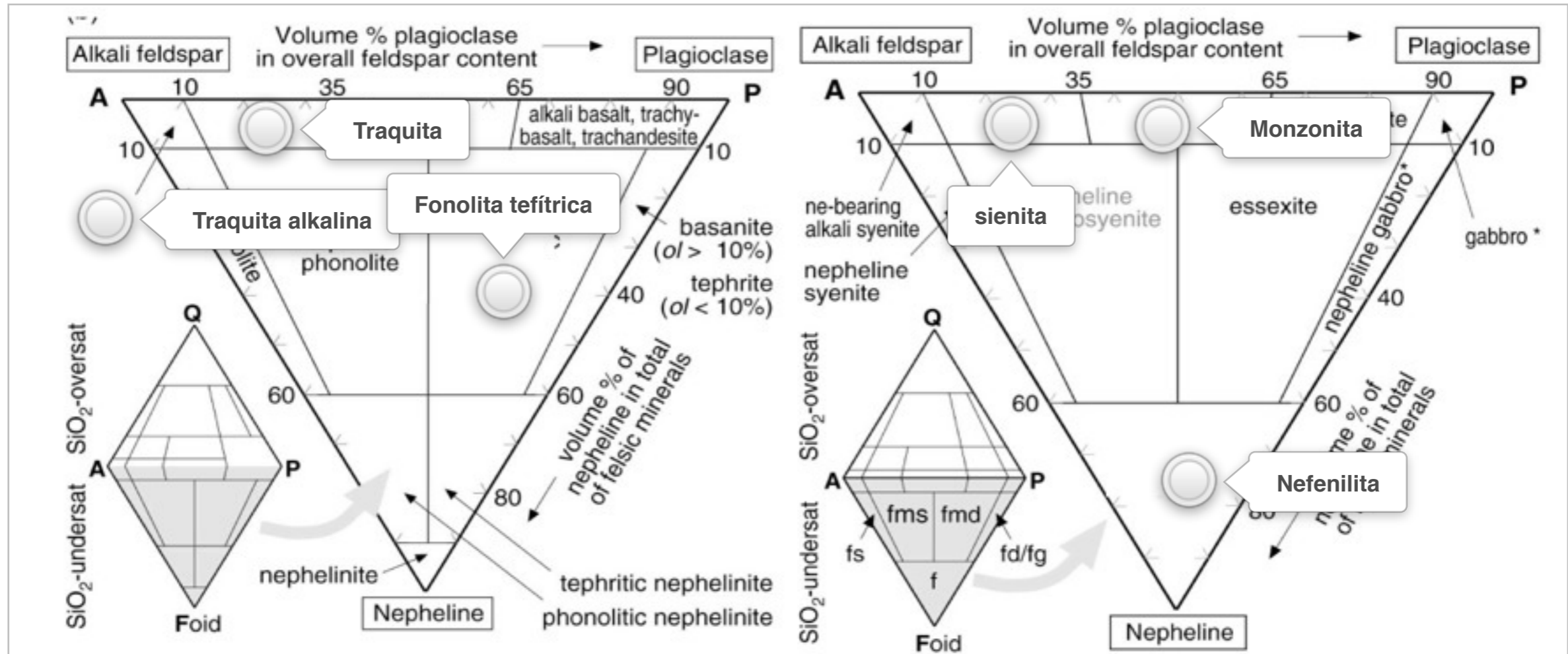
T. Agpaítica

Check Answer



### Ejercicio 3

Colocar cada tipo de roca en el diagrama de clasificación de rocas ígneas alcalinas



Monzonita	Traquita	Nefenilita
Traquita alcalina	Fonolita tefítrica	sienita

Check Answer

### Actividades de desarrollo y de refuerzo:

- A) Realice el estudio petrográfico de las rocas ígneas, láminas LK-2 y V-2 utilizando la ficha petrográfica.
- B) Realice el estudio petrográfico de otras rocas ígneas alcalinas KHB-6, LOV-5, P-23 y 28-920 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde que el estudio petrográfico (al microscopio) de las rocas ígneas debería resultar en lo siguiente:

En lo relativo a la composición mineralógica:

- a) Inventario mineralógico detallado.
- b) Identificación de la asociación mineral principal y, en su caso, de posibles asociaciones o especies minerales relictas y secundarias.

En lo relativo al desarrollo textural:

- c) Descripción global de la textura/estructura dominante en la roca.
- d) Descripción de las relaciones texturales características de las principales especies minerales (no necesariamente las más abundantes), incluyendo relaciones entre granos y con respecto a posibles texturas deformacionales. En este análisis debe basarse en parte la adscripción de las mismas a cada una de las asociaciones minerales distinguidas en (b).

Estas observaciones deberían ser suficientes para clasificar y dar nombre a la roca, acotar o identificar el tipo de contexto en que se formó.

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

Descripción microscópica de la textura global de la roca:

2) Mineralogía.

2a) Minerales esenciales.

2b) Minerales accesorios.

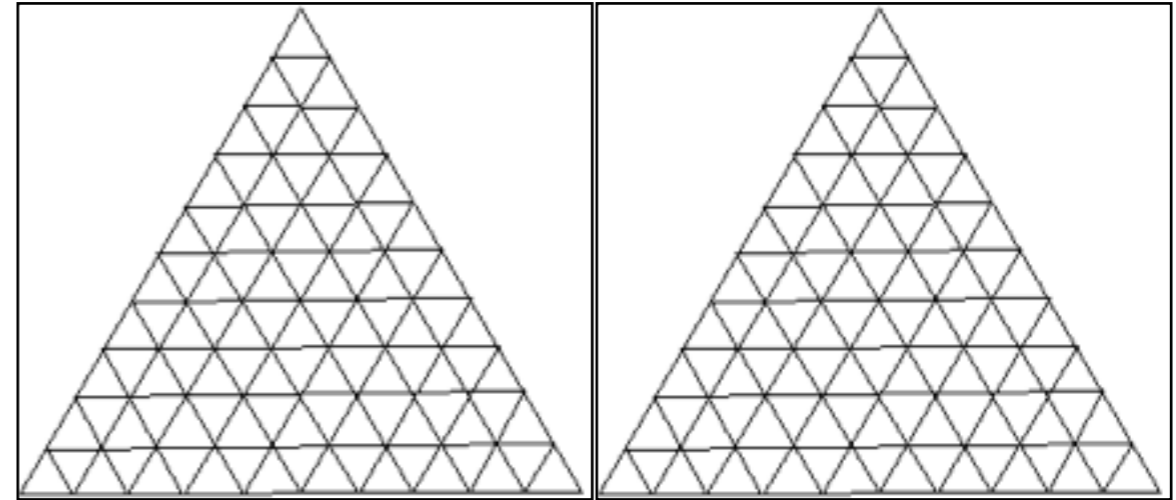
3) Alteraciones, transformaciones, deformaciones, rellenos.

4) Tipo y denominación (razonada) de la roca.

Tipo de roca:

Grupo composicional:

Serie:



Minerales primarios	% modal	% en la representación

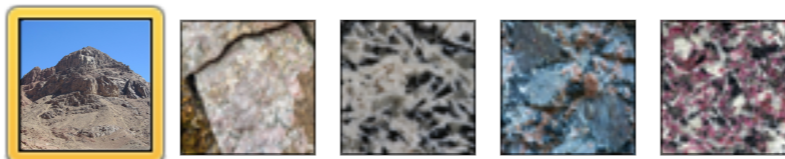
5) Episodios principales de la historia de la roca. Otros aspectos. Esquemas gráficos.

6) Nombre de la roca:

Gallery 5.19 Rocas alcalinas plutónicas



*Afloramiento de granitos peralcalinos del Monte Sinai, CC Image courtesy of Juan Antonio Moreno*



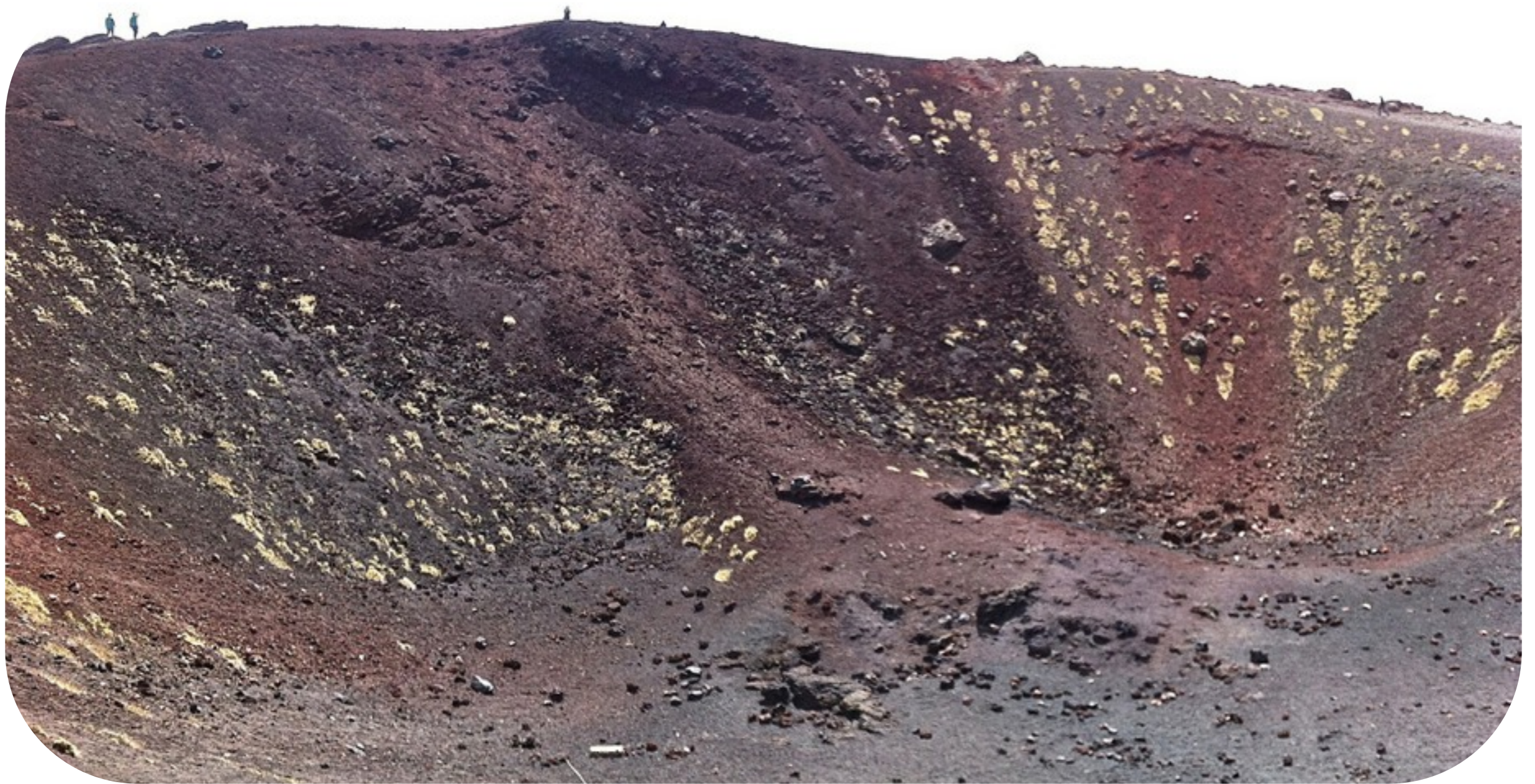
**Gallery 5.20** Rocas alcalinas plutónicas: láminas delgadas



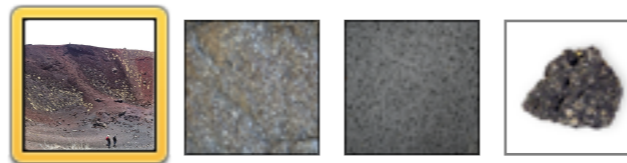
*Monzogranito visto en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra MON-1)*



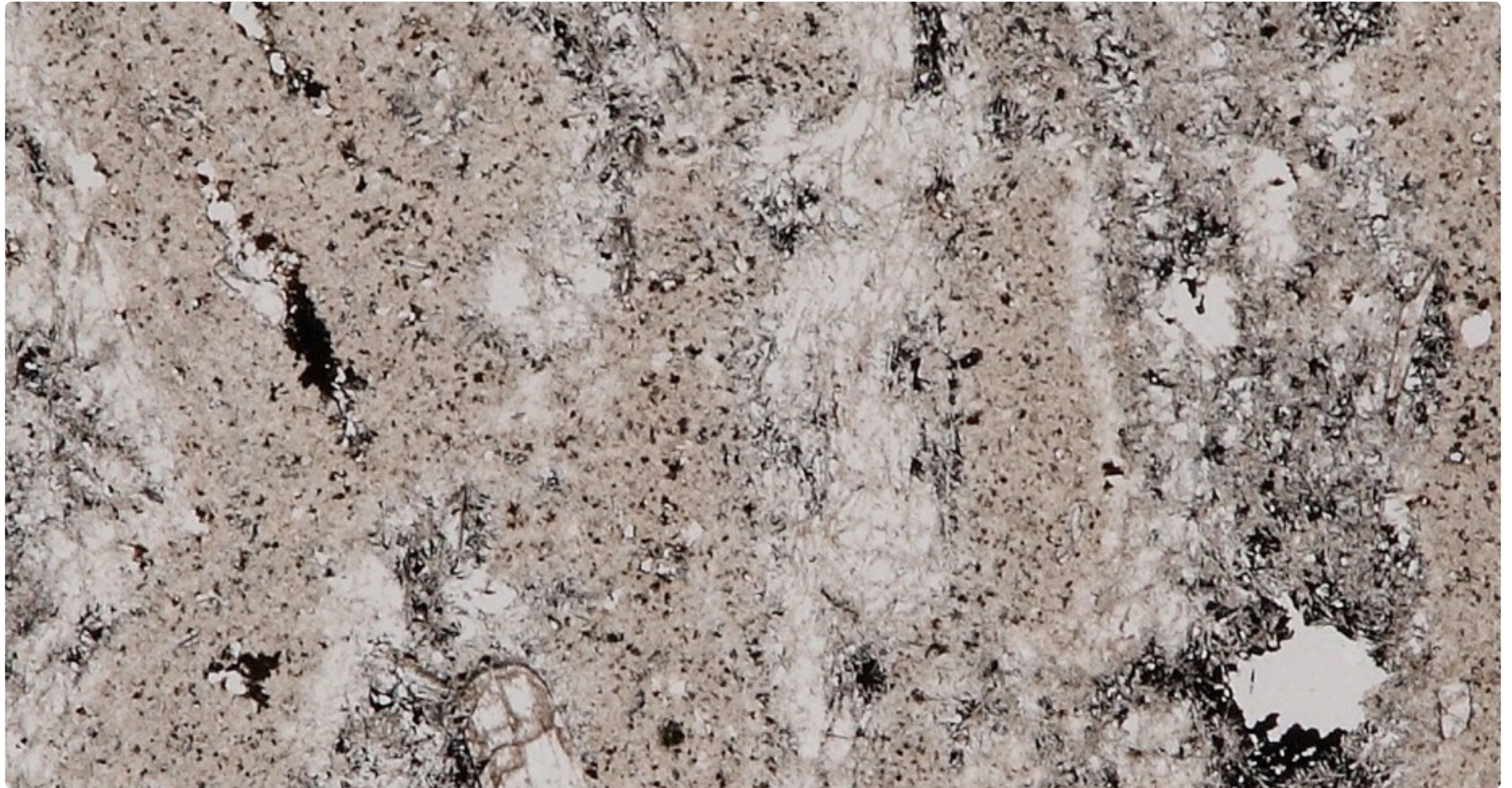
**Gallery 5.21** Rocas alcalinas volcánicas



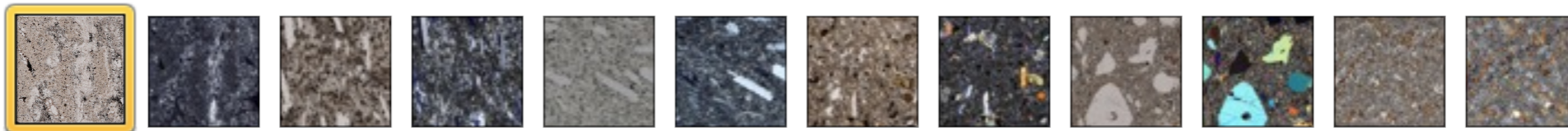
*Afloramiento de rocas volcánicas alcalinas, CC Image courtesy of Darkroom Daze on Flickr*



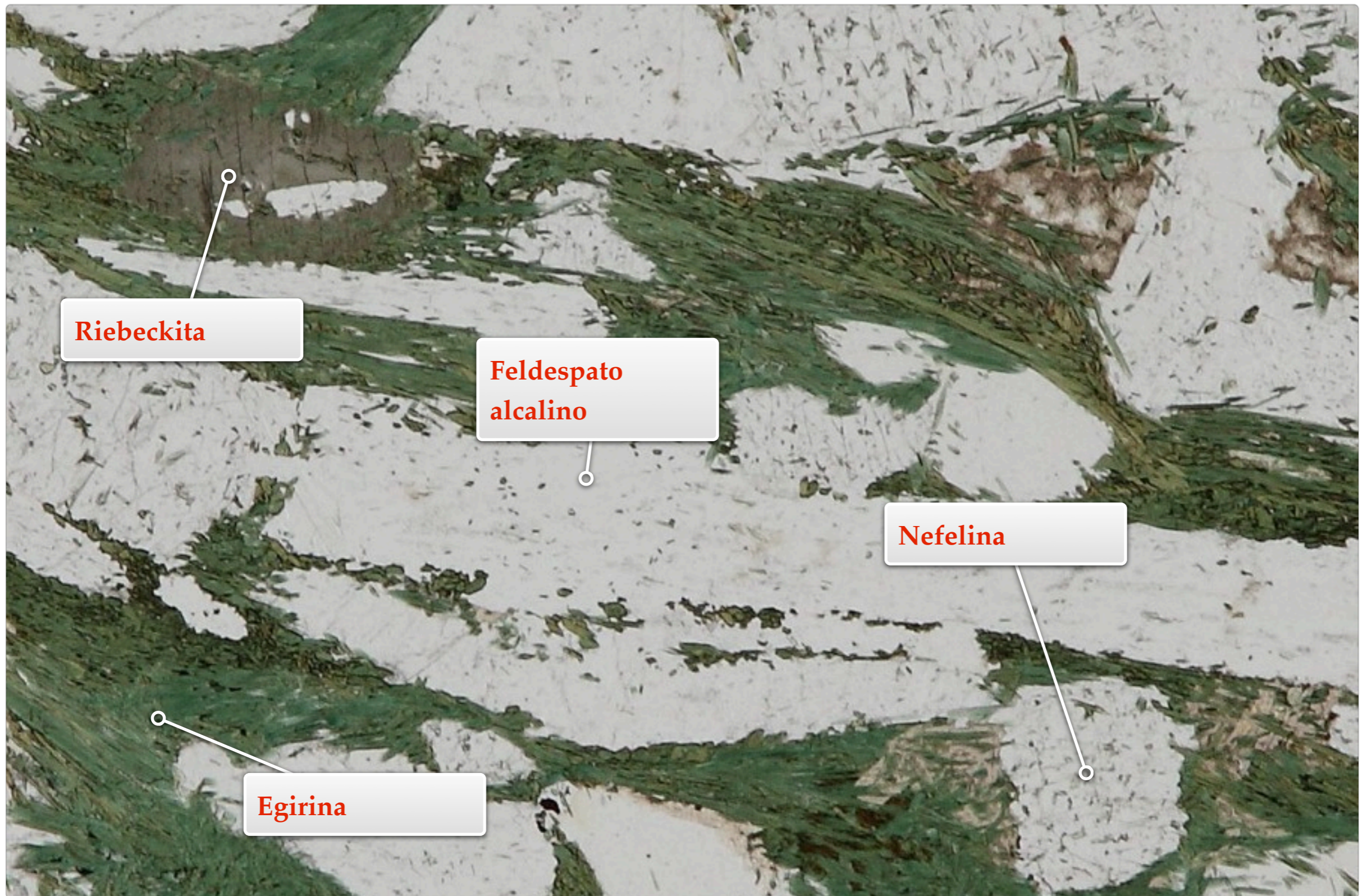
**Gallery 5.22** Rocas alcalinas volcánicas: láminas delgadas



*Traquita de feldespato alcalino con feldespatoïdes vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra 28484)*

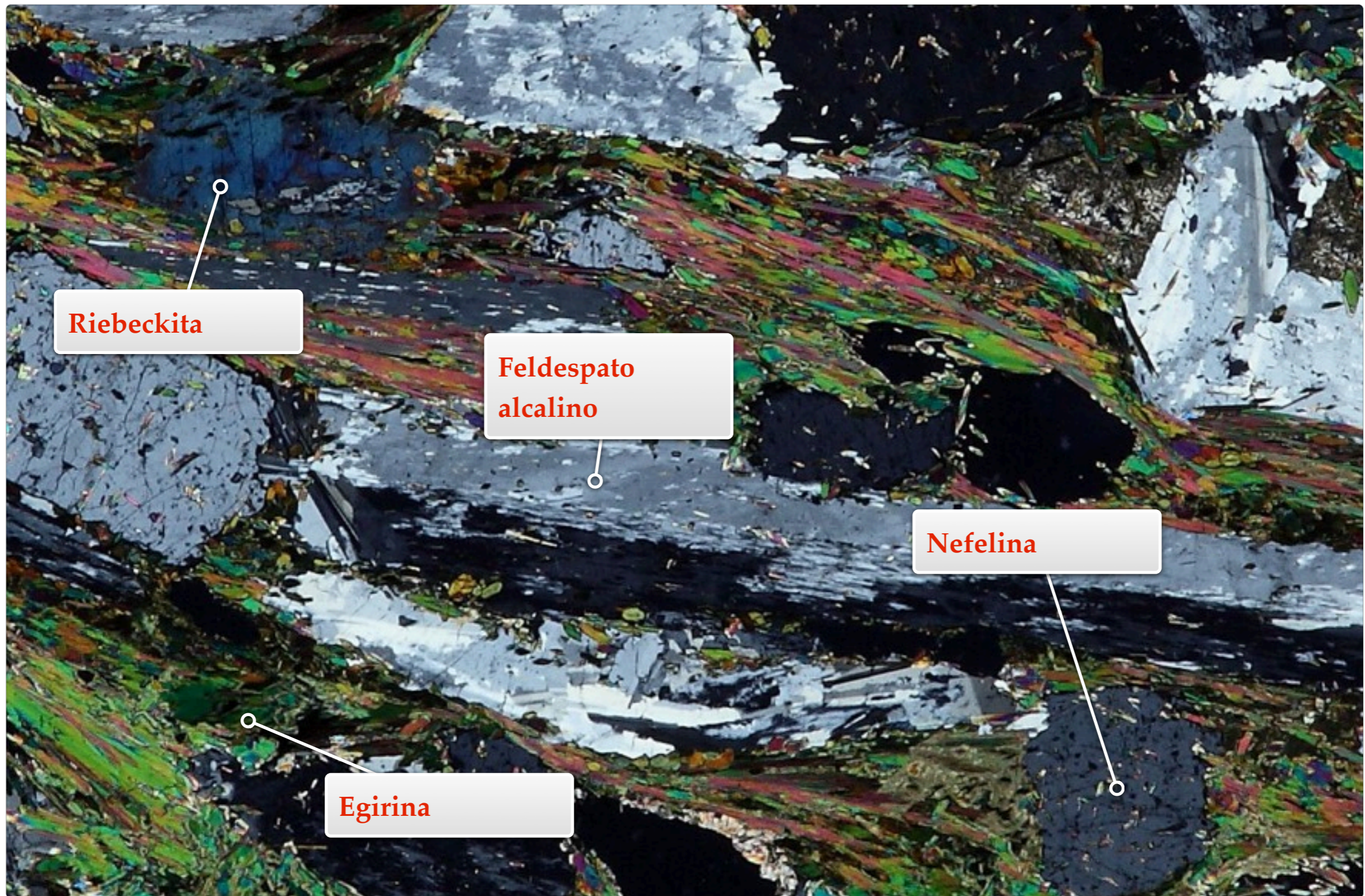


**Interactive 5.9** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra USB-43)



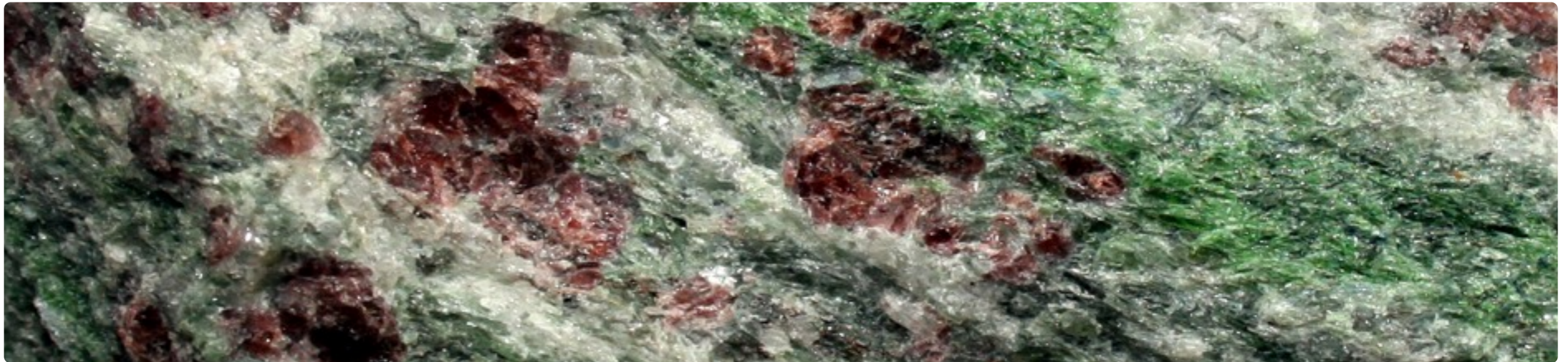


**Interactive 5.10** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra USB-43)



# S3: Clasificación y nomenclatura de las rocas metamórficas

Practique clasificando y nombrando rocas metamórficas [aquí](#).



*Eclogita, CC Image courtesy of Kevin Walsh\_kevinzim on Flickr*

## Actividades de refuerzo 1

¿Cuál sería el nombre de las siguientes rocas?

### Question 1 of 4

Una arenisca poco metamorfizada en la que la mineralogía y la textura original se preservan prácticamente intactas.



- A. Grauvaca
- B. Metarenisca
- C. Cuarcita



Check Answer



## Actividades de refuerzo 2

¿Cómo llamarías a las siguientes rocas?

### Question 1 of 4

Una roca constituida por actinolita y clorita con una lineación de los minerales muy marcada.



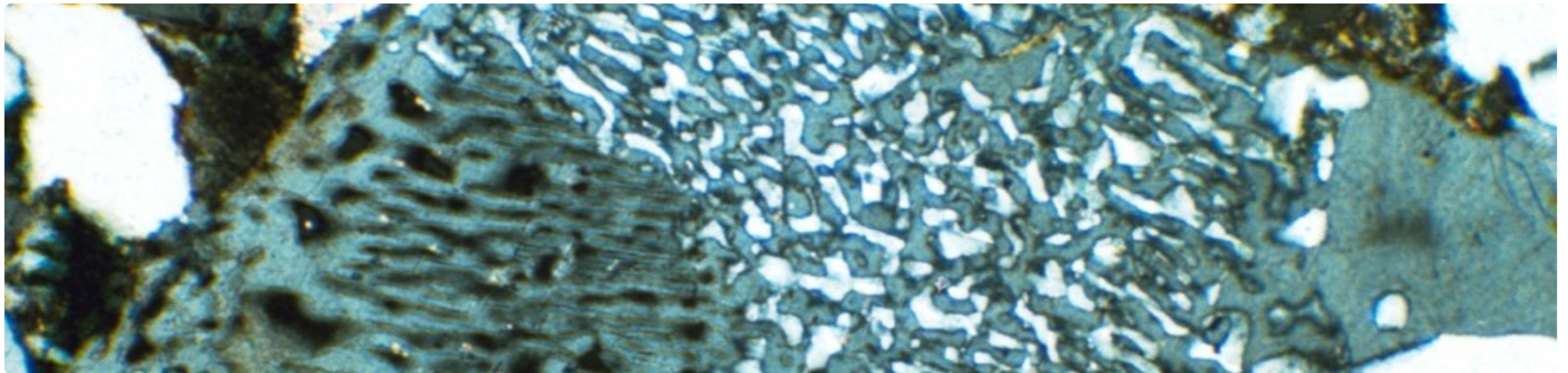
- A. Esquisto verde
- B. Anfibolita
- C. Esquisto azul



Check Answer



# S4: Criterios texturales para la identificación de las asociaciones minerales y para la secuenciación de las asociaciones minerales metamórficas.



*Textura de reacción, simplectítica, CC Image courtesy of zeesstof on Flickr*

## Actividades previas

Leer el apartado "[Criterios texturales para la interpretación de asociaciones minerales metamórficas.](#)" Contenido en este cuaderno de prácticas.

## Actividades de Refuerzo

### Ejercicio 1

#### Question 1 of 3

¿Qué se entiende por foliación?

---

- A.** Estructura constituida por superficies paralelas muy próximas entre si en cualquier tipo de roca
- B.** Fractura a lo largo de la cual se produce un desplazamiento relativo de dos bloques en que quedan divididas las rocas afectadas



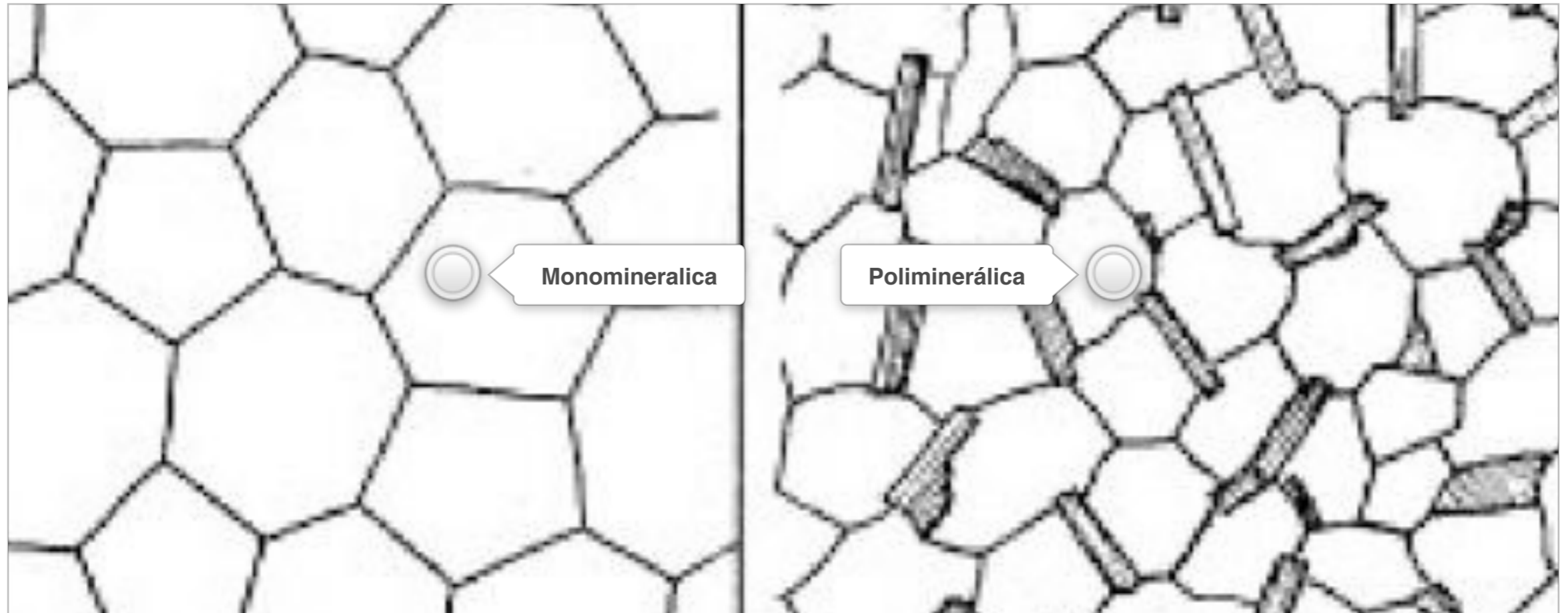
Check Answer



## Ejercicio 2

### Question 1 of 3

Diferenciar que dós tipos de textura granoblástica corresponden a las siguientes imágenes



Monomineralica

Polimineralica



Check Answer



### Ejercicio 3

#### Identificar la textura correspondiente para cada definición

##### Question 1 of 4

Textura anisótropa. La orientación preferente de minerales viene dada por la disposición subparalela de minerales prismáticos (normalmente inosilicatos).

- A.** Textura nematoblástica
- B.** Textura granobástica
- C.** Textura porfidoblástica
- D.** Textura lepidoblástica



Check Answer

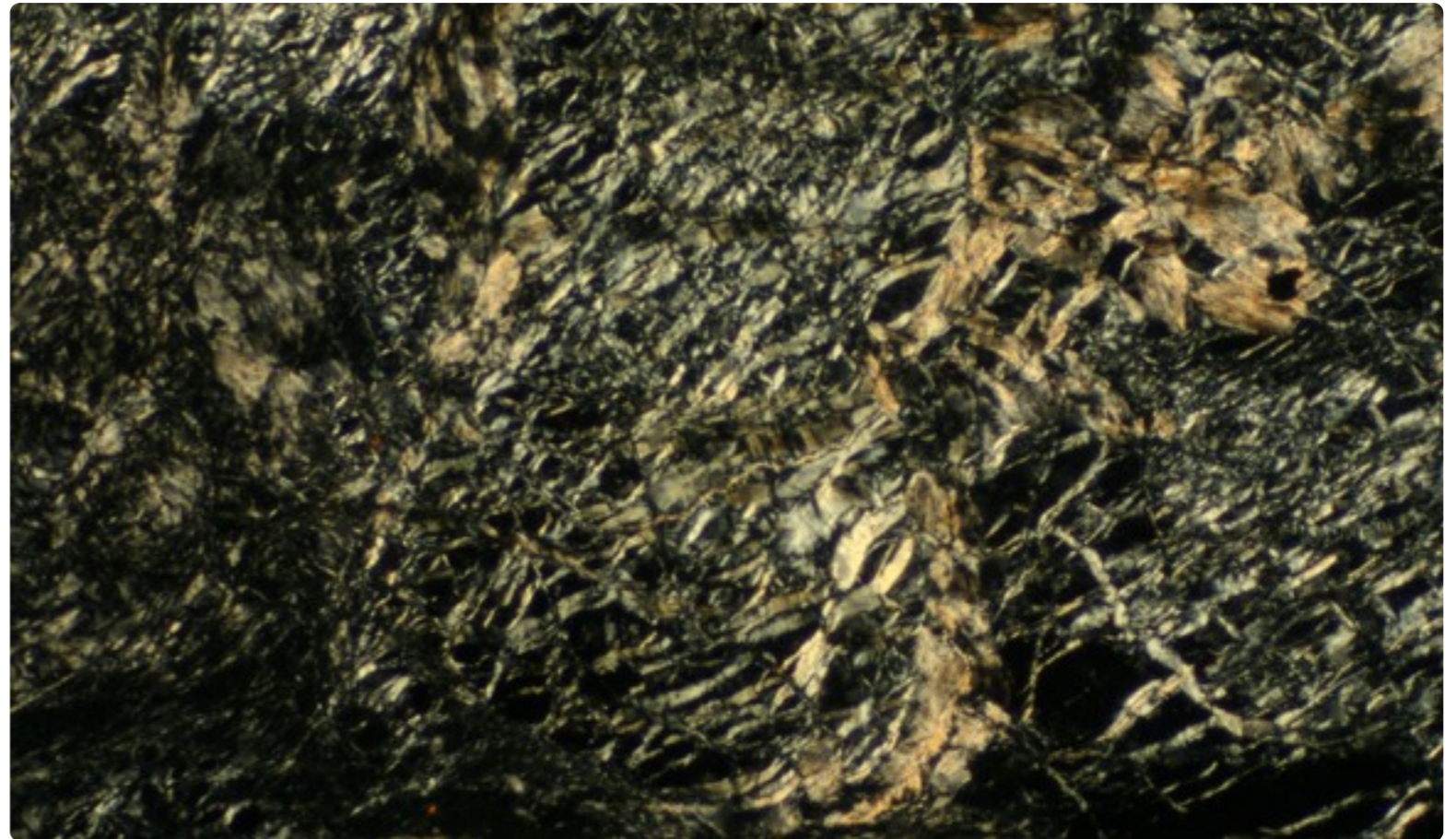


# P6: Rocas metamórficas ultramáficas

## Objetivos de la práctica

---

**Identificar y estudiar rocas metamórficas del grupo composicional de rocas metamórficas ultramáficas (láminas SA-146, BB-19, SERP, SA-18, 114 y LCG-4).**



*Serpentinita vista al microscopio, xpl, CC Image courtesy of mineralogy petrology laboratory on Flickr*



## Actividades previas:

A) Lea el siguiente texto a modo de introducción a las rocas metamórficas de composición ultramáfica.

Las rocas metamórficas ultramáficas son el resultado del metamorfismo de lherzolitas, harzburgitas, dunitas y otros tipos de rocas ultramáficas de procedencia mantélica o cumulítica, con composiciones globales dominadas por SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO, CaO. Durante el metamorfismo en contextos corticales estas rocas ultramáficas pueden sufrir procesos de hidratación (H<sub>2</sub>O) y carbonatación (CO<sub>2</sub>), dando lugar a serpentinitas y rocas oficarbonáticas, respectivamente. Estos procesos pueden llevar asociados variaciones significativas en los contenidos de SiO<sub>2</sub>, MgO y CaO, por lo que en algunas ocasiones las rocas resultantes se pueden considerar rocas metasomáticas.

B) Lea el siguiente texto extraído del libro “Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada” (Autores y Joan Carles Melgarejo).

Asociaciones de Rocas Ultramáficas del Manto Superior.

Carlos Jesús Garrido, Fernando Gervilla, Purificación Fenoll, José Torres Ruiz.

El manto superior está formado, esencialmente, por rocas ultramáficas constituidas por una combinación de olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno con una fase alumínica accesoria (granate, espinela o plagioclasa). Contiene, también, pequeñas cantidades de rocas máficas, principalmente piroxenitas y gabros. La nomenclatura de estas rocas ha sido establecida por la International Union of Geological Sciences (IUGS) (Le Maitre, 1989).

La fase alumínica en las peridotitas varía según las condiciones de presión y, en menor medida, de temperatura bajo las que se forman tales rocas. O'Hara (1967), estableció tres tipos de facies minerales para rocas ultramáficas en el sistema CMAS (CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>), el cual representa un sistema químico simplificado análogo al manto superior. De forma sintética y en orden decreciente de presión, estas facies son:

- Facies de lherzolitas con granate: definidas por la estabilidad del par forsterita+piropo
- Facies de lherzolitas con espinela: definidas por la estabilidad del par forsterita+espinela
- Facies de lherzolitas con plagioclasa: definidas por la estabilidad del par forsterita+anortita

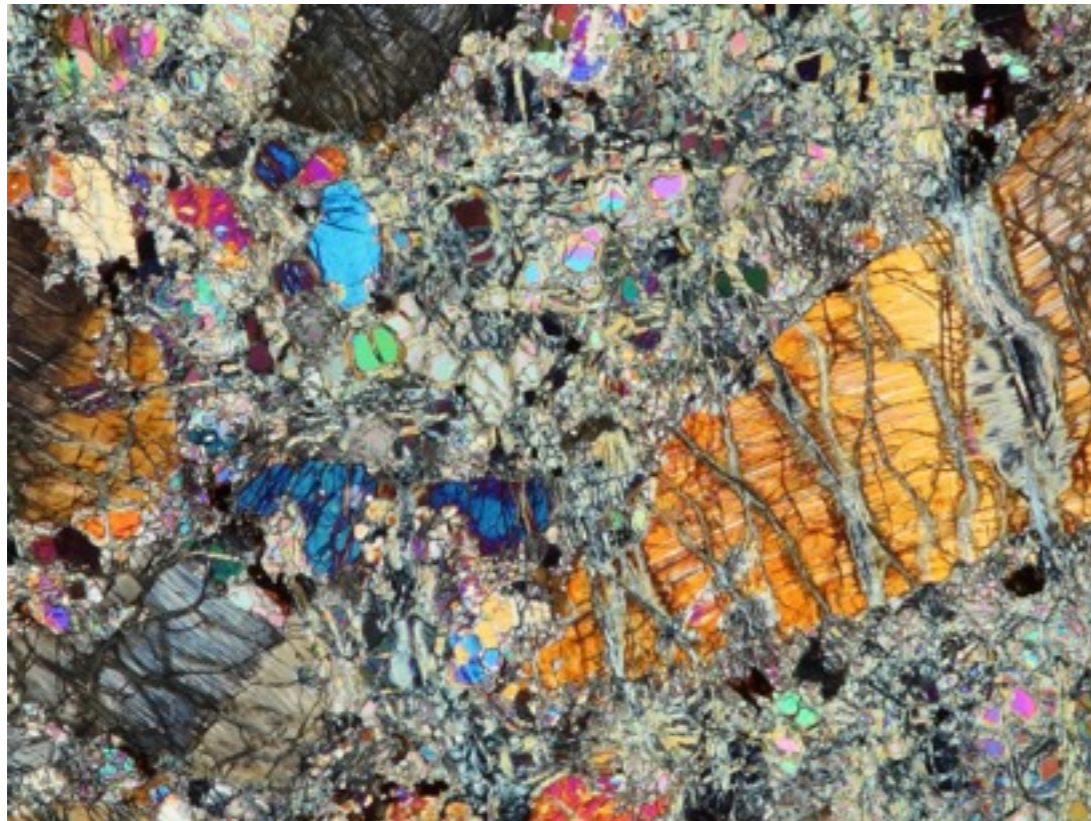
Este esquema de facies permite establecer una primera correlación entre el tipo de asociación ultramáfica y la profundidad a la cual se ha reequilibrado. Así, las asociaciones de rocas ultramáficas en complejos ofiolíticos contienen peridotitas con plagioclasa que indican que se han reequilibrado a baja presión (<10 kbar), mientras que las lherzolitas con granate que aparecen en los xenolitos asociados a kimberlitas indican mayores presiones de reequilibrio (>20 kbar) y, por tanto, que proceden de una litosfera profunda.

*Le Maitre, R.W., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of igneous rocks. Blackwell, Oxford, 193 pp.*

C) Preguntas generales.

Ejercicio 1

¿Qué textura se observa en la siguiente figura?

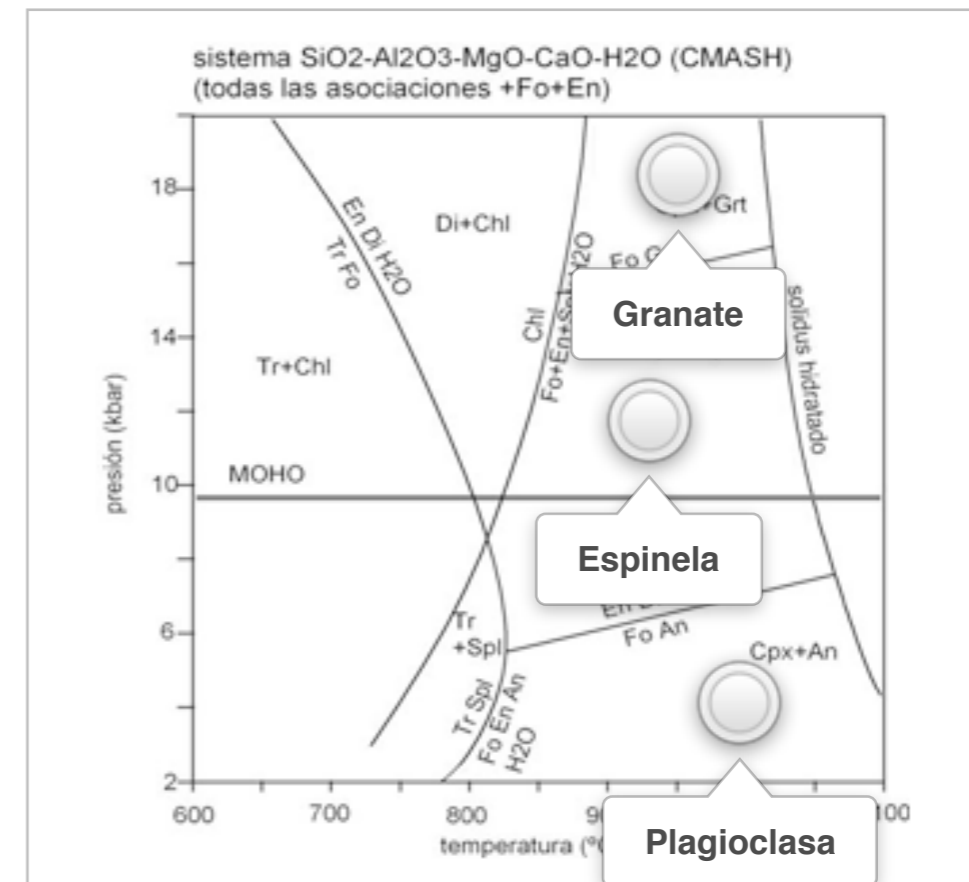


- A.** Mallada
- B.** Afanítica
- C.** Decusada

Check Answer

Ejercicio 2

Identifique en cada uno de los campos la facies metamórfica para metaherzolitas correspondiente.



Granate

Plagioclasa

Espinela

Check Answer

## Actividades de desarrollo y de refuerzo:

- A) Realice el estudio petrográfico de las rocas metamórficas ultrabásicas láminas SA-18 y 114 utilizando la ficha petrográfica. Observe las diferencias entre estas muestras y la muestra SERP.
- B) Realice el estudio petrográfico de otras rocas metamórficas ultrabásicas SA-146, BB-19 y LCG-4 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde que a la hora de abordar el estudio de una sección delgada conviene realizar los siguientes pasos:

1. Descripción macroscópica: observar las relaciones generales a escala de la lámina, a simple vista o con ayuda de una lupa. Es posible de este modo identificar rápidamente algunos tipos de rocas metamórficas en base al color y microestructura dominante, localizar posibles porfiroblastos aislados, caracterizar el tipo de fábrica y la microestructura predominantes en la roca.
2. Inventario mineralógico e identificación del grupo composicional: Identificación de las especies minerales presentes y estimación de sus abundancias relativas. El número de fases presentes en una roca bien equilibrada es función de su composición global y de las condiciones de equilibrio. Tales asociaciones suelen representar condiciones de equilibrio divariantes o polivariantes. Finalmente, una consideración ponderada de la mineralogía de la roca y de las proporciones modales de las fases presentes debería permitir estimar a que grupo composicional general pertenece la roca (i.e., si se trata de una roca cuarzo-pelítica, máfica, carbonática etc.).

3. Identificar las texturas en que aparecen las distintas fases: Tras el reconocimiento mineralógico conviene retomar las observaciones sobre cada fase con énfasis en las texturas en que aparecen o de las que son distintivas. El objetivo es identificar que fases constituyen la asociación mineral principal (en equilibrio) y cuales deberían ser excluidas de esta última (fases o asociaciones de fases relictas y/o retrogradadas). El principal criterio a emplear es la existencia o no de contactos mutuos no reaccionales (ver Indicadores texturales de coexistencia en equilibrio). La realización de dibujos esquemáticos es muy recomendable si ello es requerido para una mejor comprensión.

4. Análisis paragenético (secuencia de asociaciones): Con el inventario mineralógico y textural realizados, pasamos a considerar el orden cronológico (relativo) de acontecimientos. El objetivo final de este apartado será el establecimiento de la asociación mineral principal, entendiendo por esta la que refleje la condición de más alto grado alcanzada por la roca, así como las posibles fases o asociaciones de fases relictas y retrógradadas existentes. Una vez concluida la estimación de que fases constituyen la asociación principal es muy recomendable hacer un test cualitativo de la misma proyectando esquemáticamente las relaciones de compatibilidad implícitas a la misma en un diagrama composicional apropiado al grupo composicional al que se estima que pertenece la roca. En dicha proyección no deberían resultar ambigüedades respecto del espacio composicional de la asociación (intersecciones de líneas de compatibilidad, p.e.). De no ser así, puede resultar conveniente o necesario reconsiderar las conclusiones previas con vistas a identificar las posibles razones de dicha inconsistencia (errores de identificación de fases

minerales, evidencias texturales de desequilibrio no percibidas o incorrectamente interpretadas, etc.).

5. Clasificación y estimación de las condiciones de formación: Por último, con toda la información obtenida hasta el momento, daremos nombre a la roca. La estimación aproximada de las condiciones P-T podrá basarse en la lista de asociaciones minerales diagnósticas para las distintas facies en rocas pelíticas y máficas. Por otro lado debe tenerse en cuenta que la posibilidad de estimar condiciones de formación sobre datos puramente petrográficos, y la precisión de las estimaciones, depende críticamente de que las rocas contengan asociaciones suficientemente diagnósticas. En este sentido las metapelitas (rocas de composición cuarzo-pelítica) son el tipo de roca que en general permite una estimación relativamente mas precisa debido a la frecuente presencia de silicatos de aluminio y otras asociaciones AFM distintivas. Por lo general las rocas máficas pueden ser clasificadas sin problemas dentro del esquema general de facies metamórficas ya que este último está basado y aplica especialmente a cambios mineralógicos característicos de este tipo de rocas.

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

2) Mineralogía y grupo composicional.

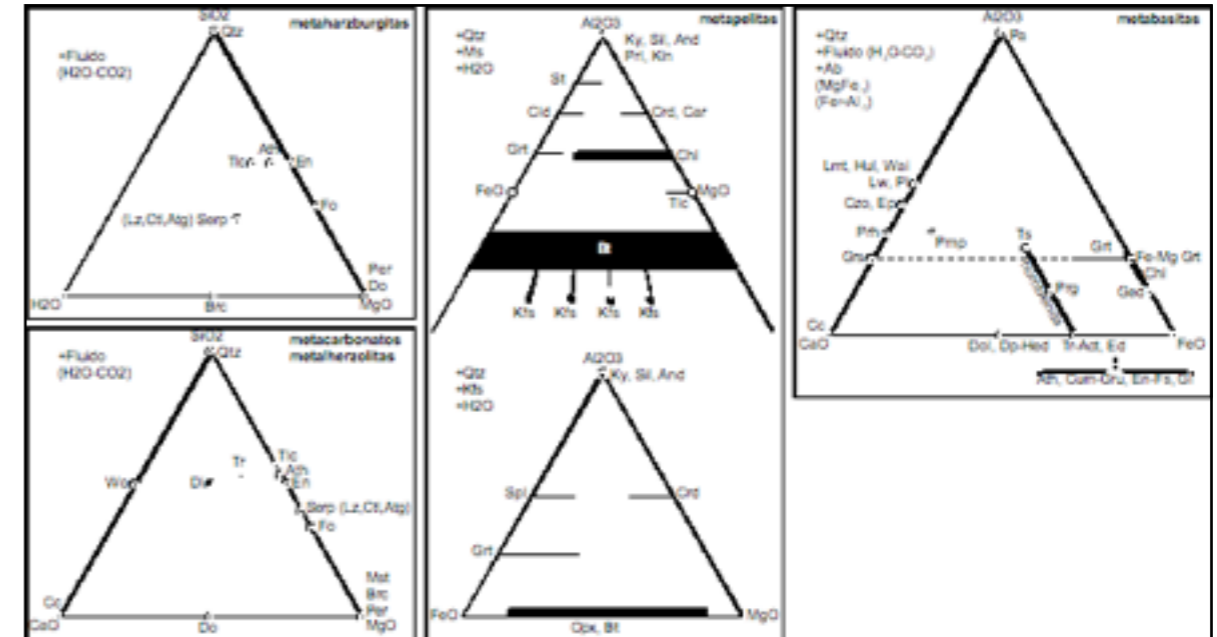
3) Características texturales (microestructurales).

4) Asociaciones minerales.

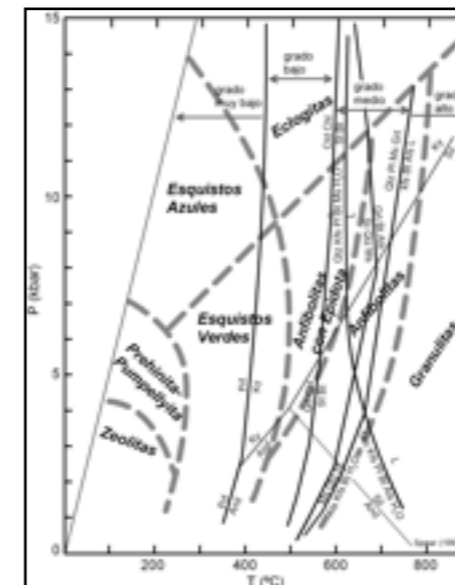
Asociación principal:

Asociación relicta:

Asociación retrógrada:



5) Condiciones de formación

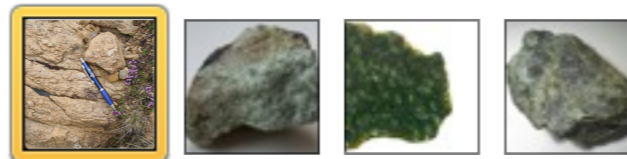


6) Nombre de la roca:

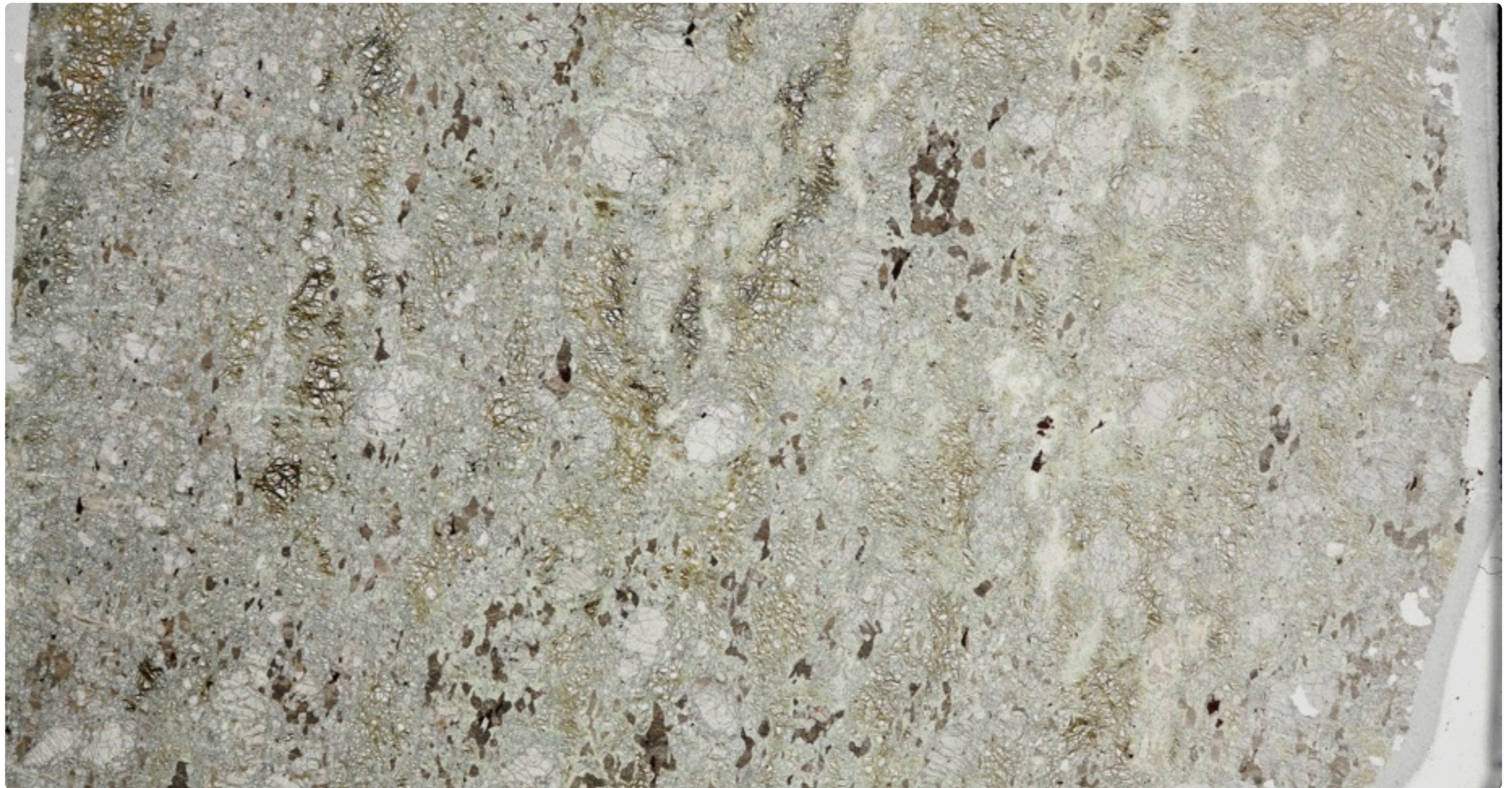
**Gallery 5.23** Rocas metamórficas ultramáficas



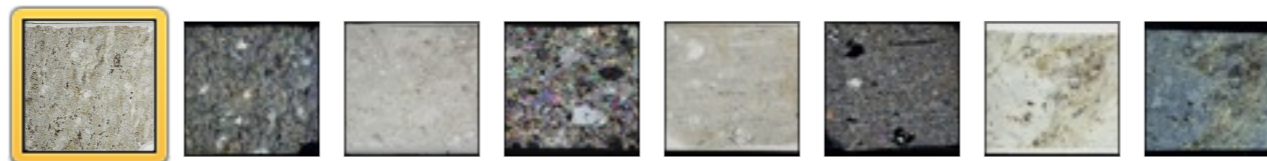
*Metalherzolita a escala de afloramiento, CC Image courtesy of Pinpin on Wikipedia*



**Gallery 5.24** Rocas metamórficas ultramáficas en lámina delgada



*Metalherzolita con plagioclasa vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra SA-146).*

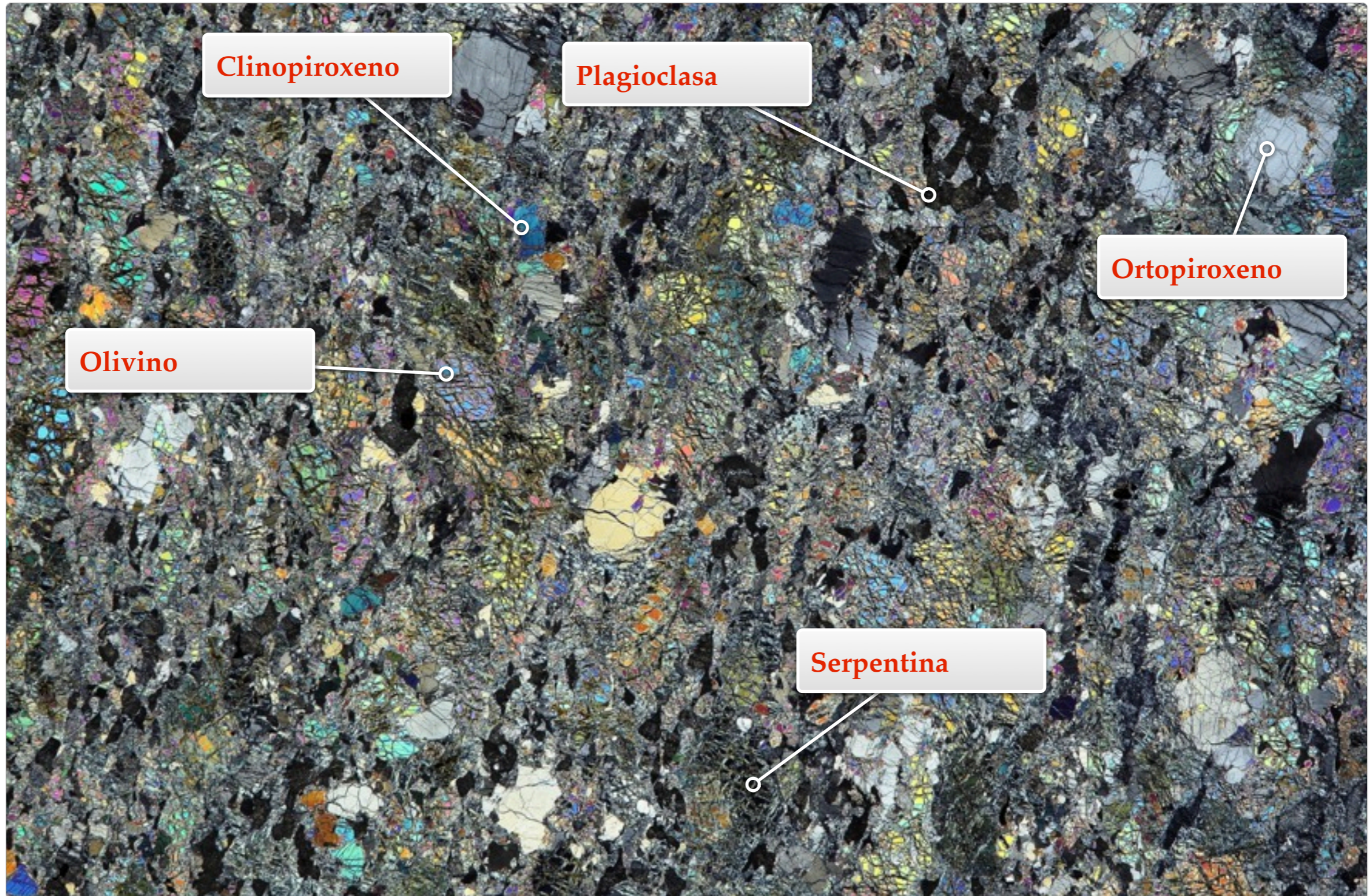


**Interactive 5.11** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra SA-146)





**Interactive 5.12** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra SA-146)



# P7: Rocas metamórficas de composición carbonática (Metacarbonatos)

## Objetivos de la práctica

Identificar y estudiar rocas metamórficas del grupo composicional de rocas metamórficas carbonatadas (láminas PMET3, M<sup>a</sup>, IJ-28 y PMET10).



*Partenón griego construido casi en su totalidad por mármol, CC Image courtesy VideoVick on Flickr*

## Actividades previas:

A) Lea el siguiente texto a modo de introducción a las rocas metamórficas de composición carbonatada.

### Rocas metamórficas carbonáticas

Las rocas metamórficas carbonáticas proceden del metamorfismo de calizas, dolomías, margas y pelitas calcáreas. Los litotipos más calcáreos presentan contenidos muy altos en CO<sub>2</sub>, CaO y MgO (en el caso de dolomías). En el caso de rocas metamórficas carbonatadas impuras, la abundancia de otros componentes como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub>O aumenta a medida que el componente pelítico es más importante. El metamorfismo de calizas y dolomías da lugar a mármoles (calcíticos y dolomíticos), mientras que margas y pelitas calcáreas dan lugar a rocas denominadas calciesquistos o calcoesquistos, constituidas por silicatos de Ca y Mg (e.g. zoisita/clinozoisita, lawsonita, margarita, talco, tremolita) y carbonatos. Como producto de la decarbonatación de mármoles impuros y calciesquistos, se desarrollan rocas de silicatos cálcicos en las que la fase carbonática ha sido consumida en buena medida o totalmente. Este tipo de rocas también aparece en contextos llamados skarns, en cuyo caso la decarbonatación extensiva suele estar relacionada con la infiltración de fluidos ricos en H<sub>2</sub>O.

B) Lea el siguiente texto extraído del artículo "Structure of Sierra Blanca (Alpujarride Complex, West of the Betic Cordillera)" de C. Sanz de Galdeano y B. Andreo publicado en *Estudios Geológicos*, 51: 3-55 (1995).

### Lower Marbles

These marbles are massive, fetid and generally white or at times greyish, pink and even yellowish. They are coarsed-grain, usually very recrystallized, and at numerous points have a saccharoidal appearance. These marbles are exceedingly pure, with a mineralogical composition almost exclusively of dolomite. There are local intercalations of very fine and discontinuous metapelitic levels. The upper part of this lithological sequence is comprised of a member of marbles with a characteristic blue tone. These lower marbles appear to have a total thickness of around 300 m, according to the geological cross-sections. Equivalent rocks have been dated in other Alpujarride units as Anisian-Ladinian (Copponex, 1959; Delgado et al., 1981; Estévez et al., 1985).

### Marbles with schists and intercalated calc-schists

This sequence is separated from the lower marbles by an intercalation of schists (which, essentially for tectonic reasons, may be absent) with a thickness reaching from 60 to 70 m. The most important outcrops of this intercalation have been found in the east and south of Sierra Canucha (northwestern area of the Sierra Blanca). The marbles are generally well stratified in beds varying in thickness from a few centimetres to one metre. The colours of these marbles are primarily blue, with grey alterations. Caleareous marble predominates, although, towards the base, it may be dolomitic, and may even present a saccharoid aspect, as in Barranco Blanco. Mineralogically, these marbles are fundamentally composed of calcite, with minor proportions of quartz, mica and talc (Salobreña, 1977; Tubía, 1985; Martín-Algarra, 1987).

In this sequence of marble, metapelitic intercalations are abundant, discontinuous (for stratigraphic and fundamentally tectonic reasons), with a thickness of between a few centimetres and a dozen metres. In reality, all types of intermediate rock between marble and pure schist are to be found. The estimated thickness of what remains of this sequence of marbles with calc-schists is around 300 m. The age of equivalent rocks present in other Alpujárride units has been dated Late Ladinian to Carnian (Delgado et al., 1981; Copponex, 1959).

*Copponex JP (1959) Observations géologiques sur les Alpujarrides occidentales. Bol. Geol. Min. 70:79-208.*

*Delgado F, Estévez A, Martín JM and Martín-Algarra A (1981). Observaciones sobre la estratigrafía de la formación carbonatada de los mantos alpujárrides (Cordilleras Béticas). Estudios Geol. 37:45-57.*

*Estévez A, Delgado F, Sanz de Galdeano C and Martín-Algarra A (1985). Los Alpujárrides al Sur de Sierra Nevada. Una revisión de su estructura. Mediterránea 4:5-32.*

*Salobreña C (1977) Geología del sector Ojén-Monda (Prov. de Málaga), Cordilleras Béticas (España). Tesis de licenciatura, Univ. Granada (unpublished), 85 p.*

*Tubía JM (1985) Estructura de los Alpujárrides occidentales: Cinemática y condiciones de emplazamiento de las peridotitas de Ronda. Bol. Geol. Min., 99.*

*Martín-Algarra A (1987). Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética (Sector Occidental). Thesis Univ., Granada, 171 p.*

C) Preguntas generales.

### Ejercicio 1

#### Question 1 of 2

¿Qué diferencia existe entre una caliza y un mármol?

- A.** Dos rocas sedimentarias con distinta composición
- B.** La primera es una roca sedimentaria y la segunda una roca metamórfica, con composición similar.
- C.** Dos rocas metamórficas con distinto grado de metamorfismo

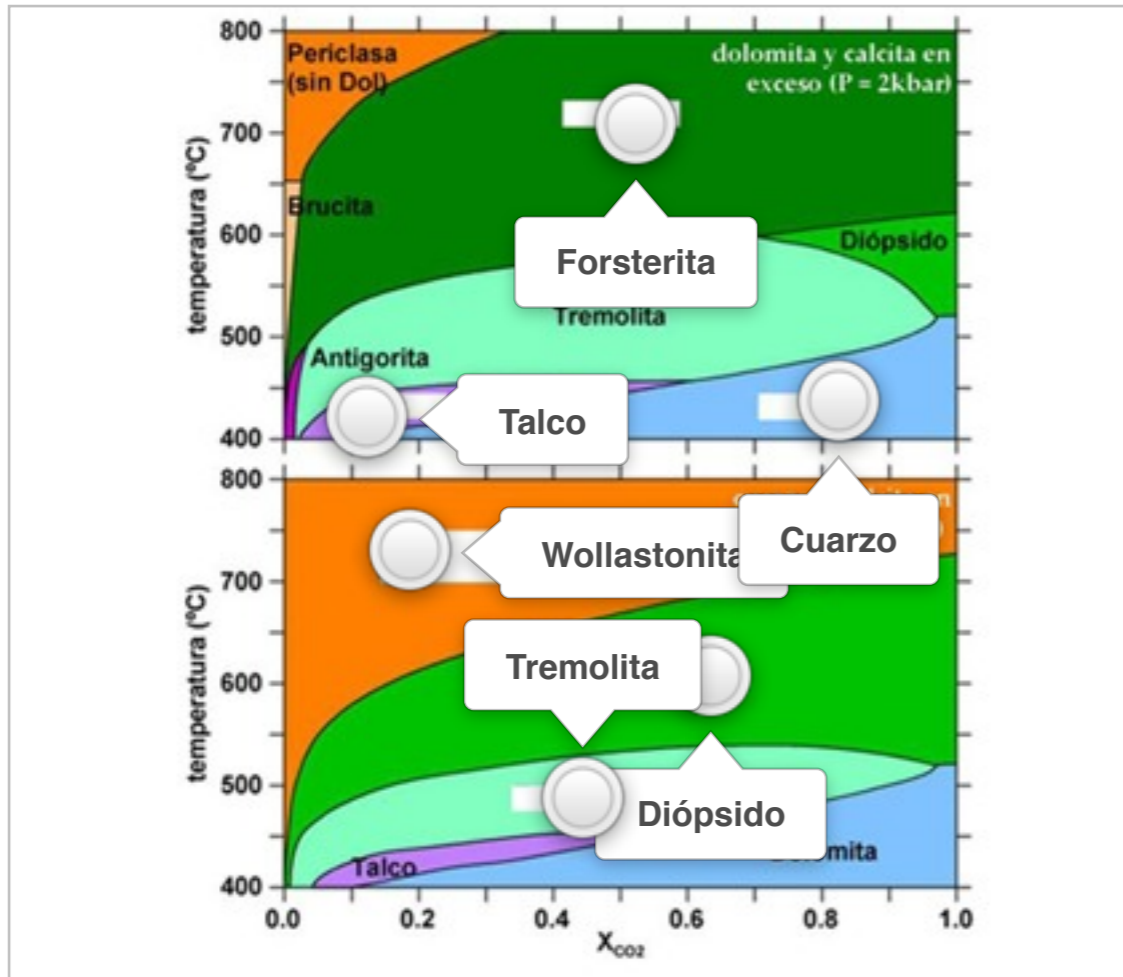


Check Answer



## Ejercicio 2

Recordar los diagramas de fases para rocas carbonatadas impuras metamorizadas en condiciones de baja presión

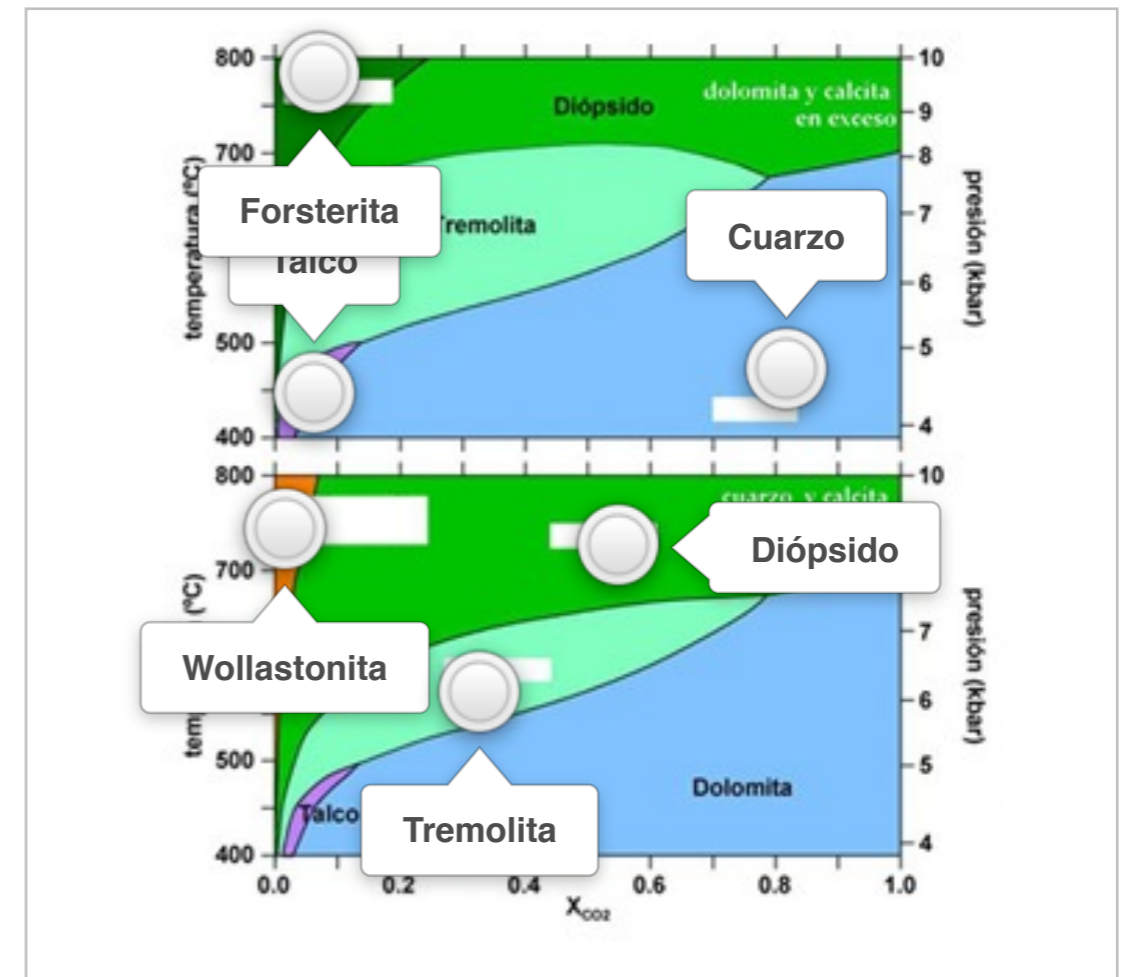


Talco	Wollastonita	Diópsido
Forsterita	Cuarzo	Tremolita

Check Answer

## Ejercicio 3

Recordar los diagramas de fases para rocas carbonatadas impuras metamorizadas a presiones intermedias



Wollastonita	Tremolita	Cuarzo
Talco	Diópsido	Forsterita

Check Answer

### Actividades de desarrollo y de refuerzo:

A) Realice el estudio petrográfico de dos rocas metamórficas carbonatadas, láminas M<sup>a</sup> y PMET10 utilizando la Ficha Petrográfica.

B) Realice el estudio petrográfico de dos rocas metamórficas carbonatadas IJ-28 y PMET3 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde que el estudio petrográfico (al microscopio) de las rocas metamórficas debería resultar en lo siguiente:

En lo relativo a la composición mineralógica:

- a) Inventario mineralógico detallado.
- b) Identificación de la asociación mineral principal y, en su caso, de posibles asociaciones o especies minerales relictas y retrógradas.

En lo relativo al desarrollo textural:

- c) Descripción global de la textura/estructura dominante en la roca.
- d) Descripción de las relaciones texturales características de las principales especies minerales (no necesariamente las más abundantes), incluyendo relaciones entre granos y con respecto a posibles texturas deformacionales. En este análisis debe basarse en parte la adscripción de las mismas a cada una de las asociaciones minerales distinguidas en (b).

Estas observaciones deberían ser suficientes para clasificar y dar nombre a la roca, acotar o identificar el tipo de contexto en que

tuvo lugar el metamorfismo y, en función del tipo de asociación principal presente, efectuar una estimación aproximada de las condiciones de presión y temperatura alcanzadas (grado o facies).

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

2) Mineralogía y grupo composicional.

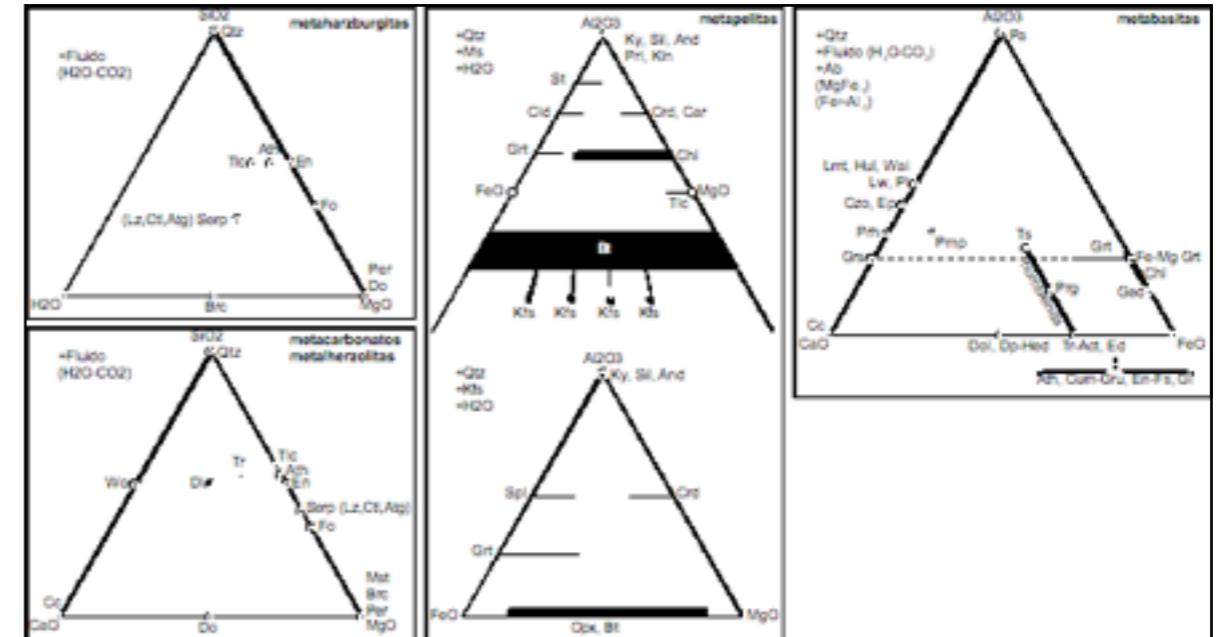
3) Características texturales (microestructurales).

4) Asociaciones minerales.

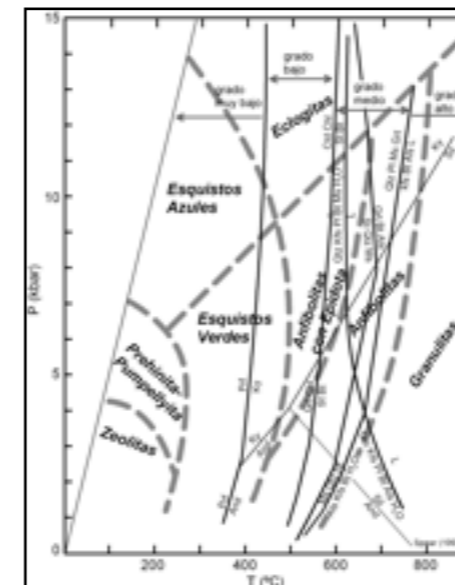
Asociación principal:

Asociación relicta:

Asociación retrógrada:



5) Condiciones de formación

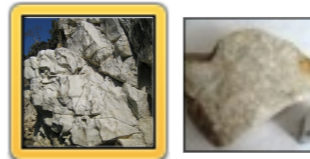


6) Nombre de la roca:

**Gallery 5.25** Rocas metamórficas carbonáticas

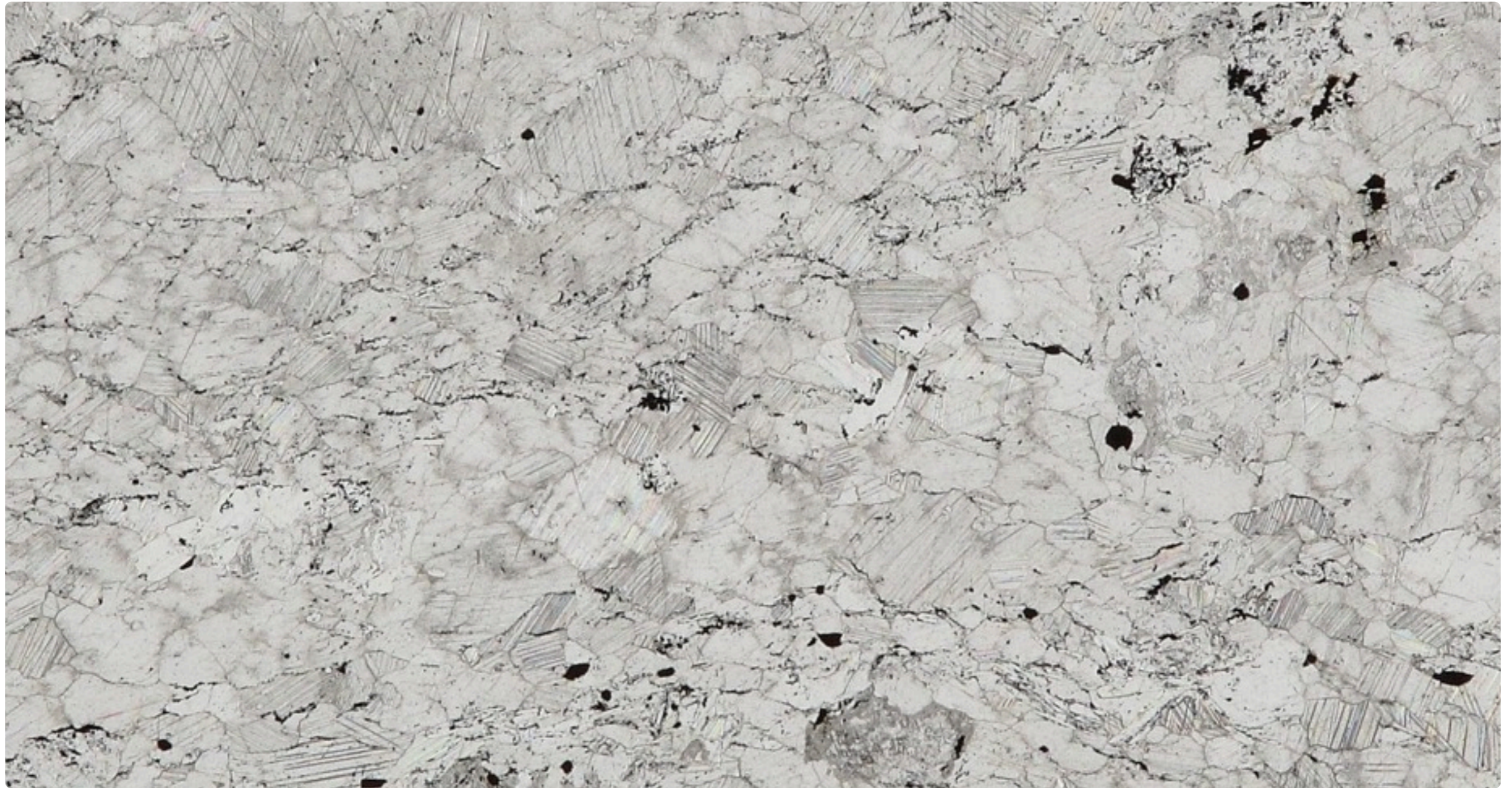


*Mármol a escala de afloramiento, CC Image courtesy of jmdaggett on Flickr*





**Gallery 5.26** Rocas metamórficas carbonáticas en lámina delgada



*Mármol con tremolita visto en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra IJ-28)*



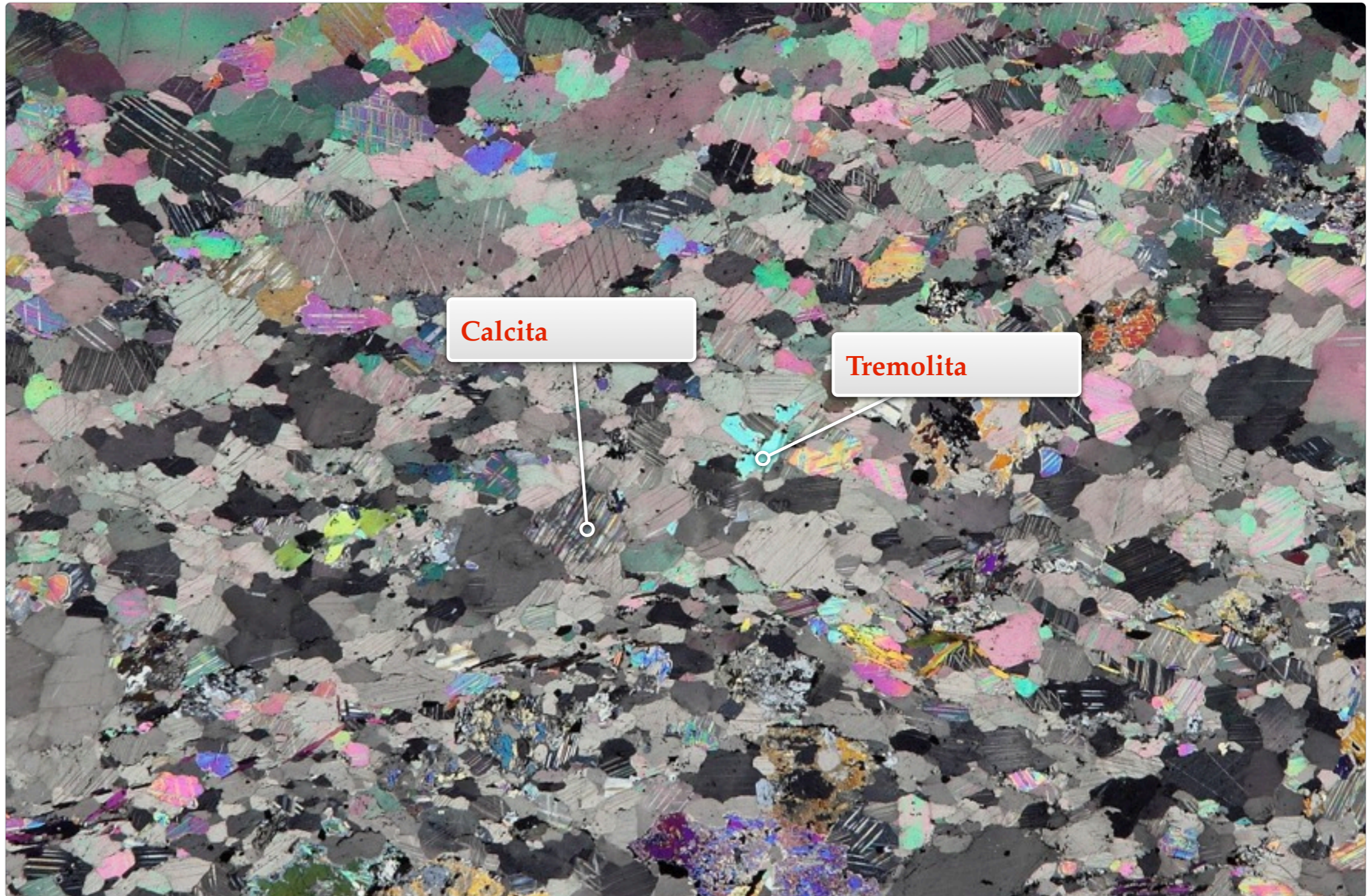
**Interactive 5.13** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra IJ-28)



**Calcita**

**Tremolita**

**Interactive 5.14** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra IJ-28)



# P8: Rocas metamórficas de composición pelítica (Metapelitas y Gneises)

## Objetivos de la práctica

---

Identificar y estudiar rocas metamórficas del grupo composicional cuarzopelítico (láminas QU-1, PMET1, IJ-45, T500, IJ41, ES7510 y PMET2) y cuarzofeldespáticas (ALB-32, PMET-12, PMET-5 y BD1).

*Pizarras,*

*CC Image courtesy of Pim Fijneman on Flickr*



## Actividades previas:

A) Lea el siguiente texto a modo de introducción a las rocas metamórficas de composición cuarzo pelítica y feldespática.

### Rocas metamórficas cuarzo-pelíticas

Las rocas metamórficas cuarzopelíticas derivan de rocas sedimentarias arcillosas tales como pelitas, cuarzopelitas... y están caracterizadas por cantidades importantes de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Mientras que  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{TiO}_2$  aparecen en cantidades menores pero pueden ser determinantes en la estabilización de algunas fases metamórficas. El metamorfismo de rocas pelíticas da lugar a los siguientes litotipos comunes:

Metamorfismo regional: pizarras, filitas y esquistos pelíticos en grado bajo y medio; gneises pelíticos, migmatitas y granulitas pelíticas en grado alto.

Metamorfismo de contacto: esquistos moteados y corneanas.

Pelitas muy arcillosas se pueden transformar en rocas compuestas mayoritariamente por micas, denominadas micacitas; mientras que ortocuarzitas y cherts dan lugar a (meta-)cuarcitas, que presentan más de un 75 % de cuarzo modal.

### Rocas metamórficas cuarzo-feldespáticas

Derivan de rocas sedimentarias cuarzo-feldespáticas (arcosas y grauvacas) ó de rocas ígneas félsicas (granitoides y sus equivalentes volcánicos). Se caracterizan por altos contenidos en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ , y moderados a bajos en  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  y

$\text{CaO}$ . Esquistos y gneises feldespáticos son típicos productos del metamorfismo de este tipo de rocas.

Debido a la posible ambigüedad en cuanto al tipo de protolito implicado (sedimentario o ígneo), es frecuente que la terminología en uso para rocas de esta clase composicional incluya prefijos indicadores de derivación (si esta es conocida) como, por ejemplo: metapsamita, metagranito, ortogneis, paragneis, etc.

De modo general, la terminología utilizada para hacer alusión al tipo de protolito consiste en uso del prefijo meta-, que se antepone al nombre de la roca parental correspondiente (ejemplos: metagranito, metapelita, metabasalto). Otros prefijos comúnmente usados son orto- y para-, que se anteponen al nombre específico cuando el protolito se presume de origen ígneo o sedimentario respectivamente (e.g. ortogneis, ortoanfibolita, paragneis).

El uso de nombres basados en la naturaleza del protolito mediante el prefijo meta- puede en algunos casos ser mas apropiado que nombres alternativos en los que se enfatizan características metamórficas. La SCMR sugiere de hecho que esta clase de nombres se use preferentemente en el caso de rocas metamórficas cuyas principales características deriven del protolito, lo cual ocurre sobre todo en el caso de rocas de bajo grado y/o escasamente deformadas. Los prefijos orto-, y para- se usan para enfatizar el tipo de protolito que se postula, en especial cuando se trata de rocas metamórficas cuya composición global y otras características pueden derivar tanto de rocas ígneas como sedimentarias.

B) Lea el siguiente texto relativo a las zonas de Barrow a modo de repaso e introducción a la sesión.

En los Highlands de Escocia, una zona clásica del metamorfismo regional orogénico, hizo George Barrow (1893, 1912) uno de los primeros estudios sistemáticos de la variación de los tipos de rocas y las asociaciones de minerales en ellas como consecuencia del metamorfismo progresivo. Las rocas estudiadas consisten en conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y lavas máficas. Aunque las areniscas muestran pocos cambios en el área, Barrow en seguida se dio cuenta de los cambios significativos y sistemáticos que afectaban a las rocas pelíticas (originalmente lutitas). Subdividió el área en una serie de zonas metamórficas, basada cada una en la aparición de un nuevo mineral en la roca pelítica metamorfozada al aumentar el grado metamórfico (que Barrow equiparaba al aumento del tamaño de grano de la roca). El nuevo mineral que aparece y caracteriza a cada zona recibe el nombre de mineral índice. La secuencia de zonas reconocida por Barrow es:

**Zona de Clorita.** Las rocas lutíticas originales se han convertido en pizarras o filitas y normalmente contienen clorita, moscovita, cuarzo y albita.

**Zona de Biotita.** Las pizarras dan paso a las filitas y los esquistos, con biotita, clorita, moscovita, cuarzo y albita.

**Zona de Granate.** Aparecen esquistos con porfidoblastos muy aparentes de granate almandínico, normalmente junto con biotita, clorita, moscovita, cuarzo y albita u oligoclasa.

**Zona de Estauroлита.** Aparecen esquistos con estauroлита, biotita, moscovita, cuarzo, granate y plagioclasa. La clorita puede estar todavía presente en algunas rocas.

**Zona de Distena.** Son esquistos con distena, biotita, moscovita, cuarzo, plagioclasa y, normalmente, también granate y estauroлита.

**Zona de Sillimanita.** Son esquistos y gneises con sillimanita, biotita, moscovita, cuarzo, plagioclasa, granate y, a veces, estauroлита. Puede estar también presente algo de distena.

Esta secuencia de zonas minerales ha sido reconocida en muchos otros cinturones orogénicos en el mundo y ha recibido el nombre de zonas de Barrow o zonas barrovienses. Las condiciones de P y T que esta sucesión de zonas representa se denominan metamorfismo barroviense y es bastante típica de muchos cinturones orogénicos. Se trata de un caso particular, pero común, de metamorfismo regional orogénico.

Con posterioridad a Barrow, CE Tilley (1928) acuñó el término de isograda para referirse al límite que separa dos zonas metamórficas consecutivas. Una isograda, por tanto, se suponía que marcaba una línea en el campo de grado metamórfico constante. En realidad una isograda es una superficie curva (no una línea) y la isogradias cartografiadas representan la intersección de la superficie isográdica con la superficie de la Tierra.

En resumen, una isograda (en su sentido clásico) representa la primera aparición de un mineral índice particular en el campo conforme uno se mueve desde las zonas de grado bajo a las de grado alto. Cuando uno atraviesa una isograda, como la isograda de la biotita, entra en la zona de la biotita. Las zonas tienen, por

tanto, el mismo nombre que la isograda que forma su límite de grado bajo.

Las diferencias en la secuencia de aparición de nuevos minerales en un terreno metamórfico se pueden deber a un gradiente geotérmico distinto (efecto de la presión) o a la presencia de rocas con una composición distinta.

La mayor ventaja que tiene la cartografía de zonas minerales para definir el grado metamórfico es su simplicidad y rapidez, ya que la presencia de los minerales índice se pone fácilmente de manifiesto, tanto en el campo como en lámina delgada. Pero tiene una serie de inconvenientes, especialmente:

(1) Para cada zona se considera importante sólo un mineral, en lugar de la asociación mineral en equilibrio completa, que contiene mucha más información petrogenética. Algunos autores utilizan el término isograda en sentido amplio, incluyendo tanto las isogradas clásicas (basadas en la aparición de un solo mineral) como las isogradas de reacción.

(2) No se tienen en cuenta de forma apropiada las variaciones composicionales de la roca, por lo que un mismo mineral índice puede aparecer antes o después (es decir, a un grado ligeramente más alto o más bajo) en función de la composición química particular de la roca, o puede no aparecer si quiera. Para evitar estos dos inconvenientes, hoy en día las zonas metamórficas se definen utilizando asociaciones de dos, tres e incluso más minerales, en lugar de mediante un sólo mineral índice.

*Barrow G. (1893) On an intrusion of muscovite-biotite gneiss in the southeastern Highlands of Scotland, and its accompanying metamorphism. Quart J Geol Soc London 49:330-358*

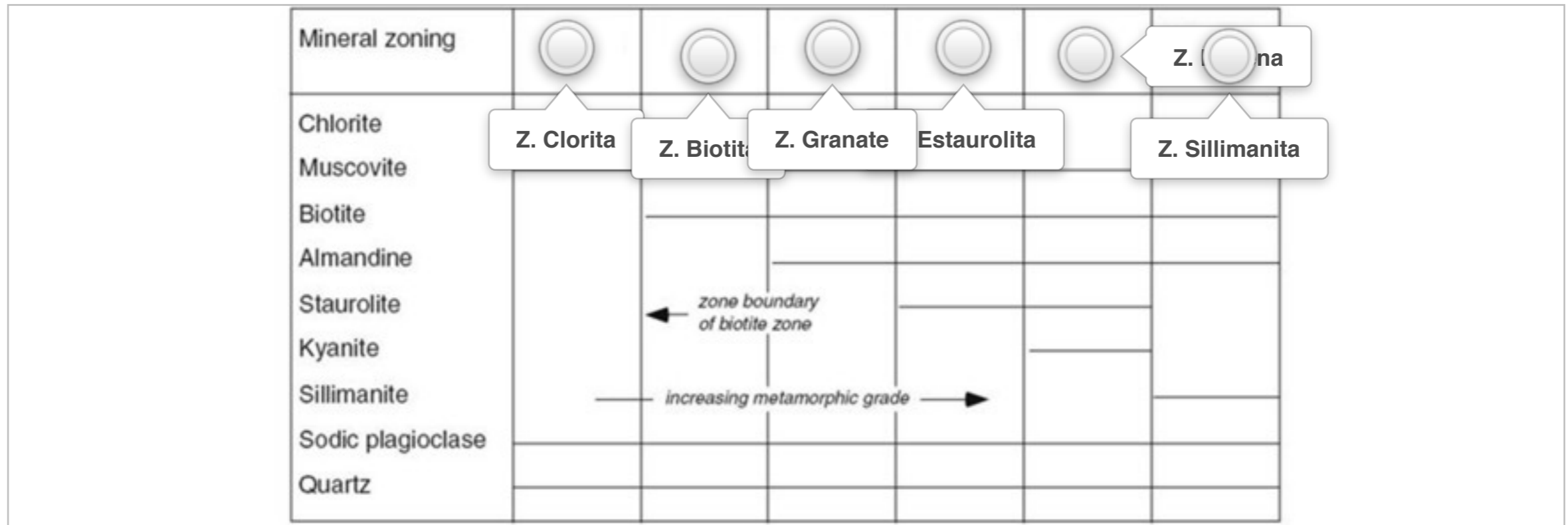
*Barrow G. (1912) On the geology of lower Dee-side and the southern Highland Border. Proc Geol Assoc 23:274-290*

*Tilley CE (1928). On a Custerite-bearing Contact Rock from California. Geological Magazine 65:371-372*

C) Preguntas generales

Ejercicio 1

En relación con el texto anterior, indique en la siguiente figura a que Zona de Barrow corresponde la distribución de minerales.



- Z. Distena
- Z. Estauroлита
- Z. Clorita
- Z. Biotita
- Z. Granate
- Z. Sillimanita

Check Answer



## Ejercicio 2

### Question 1 of 3

Entre un esquistos con andalucita y otro con distena se puede inferir una diferencia en las condiciones en que tuvo lugar el metamorfismo. Explique cuál sería esta diferencia.

---

- A.** Baja presión y alta presión respectivamente
- B.** Alta presión y baja presión respectivamente
- C.** Baja temperatura y alta temperatura respectivamente
- D.** Alta temperatura y baja temperatura respectivamente



Check Answer



## Ejercicio 3

¿Qué diferencia hay entre un ortogneis y un paragneis?

---

- A.** Ninguna
- B.** El protolito, ígneo y sedimentario respectivamente
- C.** El protolito, sedimentario e ígneo respectivamente
- D.** El grado de metamorfismo

Check Answer

### Actividades de desarrollo y de refuerzo:

- A) Realice el estudio petrográfico de las rocas metamórficas cuarzopelíticas PMET1, IJ-45, T500 e IJ-41, utilizando la ficha petrográfica.
- B) Realice el estudio de las rocas correspondientes a las lámina QU-1 y ES7510 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde que el estudio petrográfico (al microscopio) de las rocas metamórficas debería resultar en lo siguiente:

En lo relativo a la composición mineralógica:

- a) Inventario mineralógico detallado.
- b) Identificación de la asociación mineral principal y, en su caso, de posibles asociaciones o especies minerales relictas y retrógradas.

En lo relativo al desarrollo textural:

- c) Descripción global de la textura/estructura dominante en la roca.
- d) Descripción de las relaciones texturales características de las principales especies minerales (no necesariamente las más abundantes), incluyendo relaciones entre granos y con respecto a posibles texturas deformacionales. En este análisis debe basarse en parte la descripción de las mismas a cada una de las asociaciones minerales distinguidas en (b).

Estas observaciones deberían ser suficientes para clasificar y dar nombre a la roca, acotar o identificar el tipo de contexto en que

tuvo lugar el metamorfismo y, en función del tipo de asociación principal presente, efectuar una estimación aproximada de las condiciones de presión y temperatura alcanzadas (grado o facies).

Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

2) Mineralogía y grupo composicional.

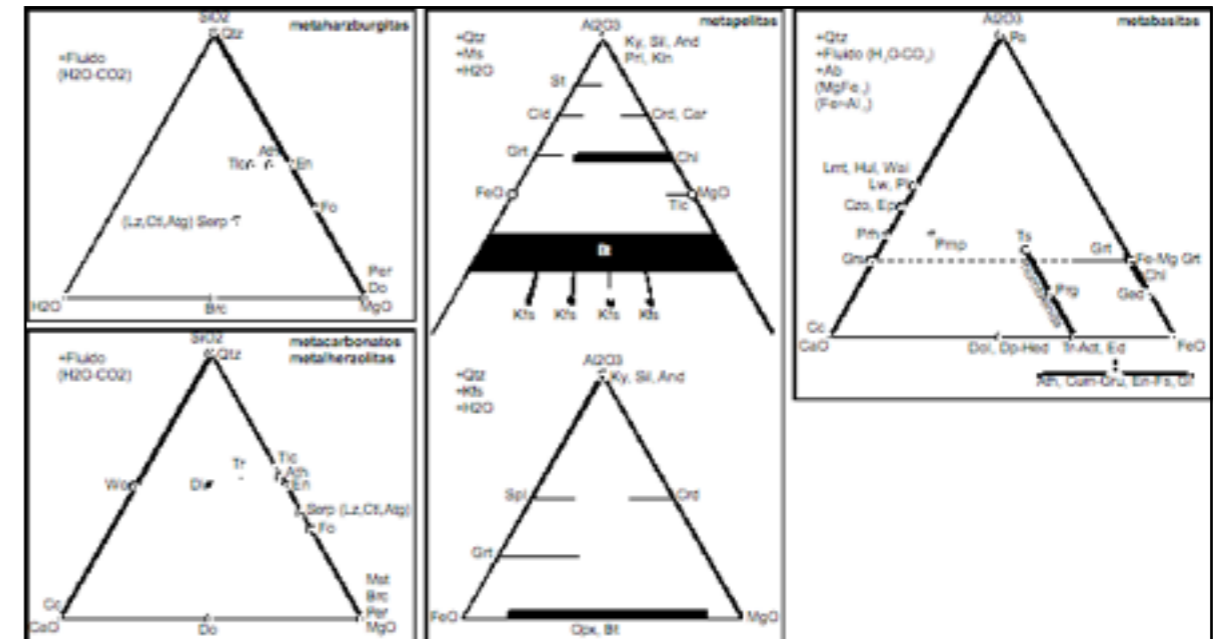
3) Características texturales (microestructurales).

4) Asociaciones minerales.

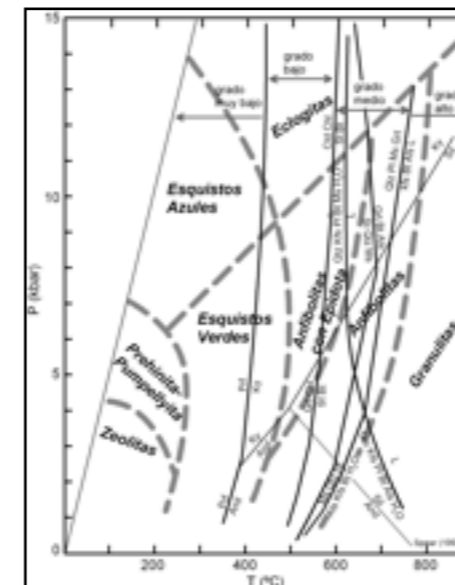
Asociación principal:

Asociación relicta:

Asociación retrógrada:



5) Condiciones de formación

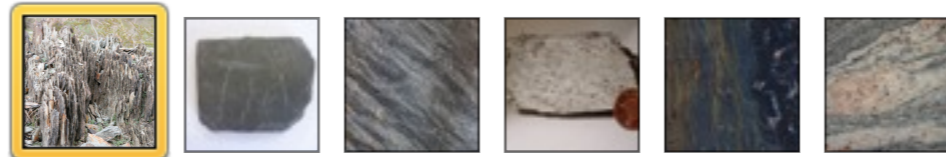


6) Nombre de la roca:

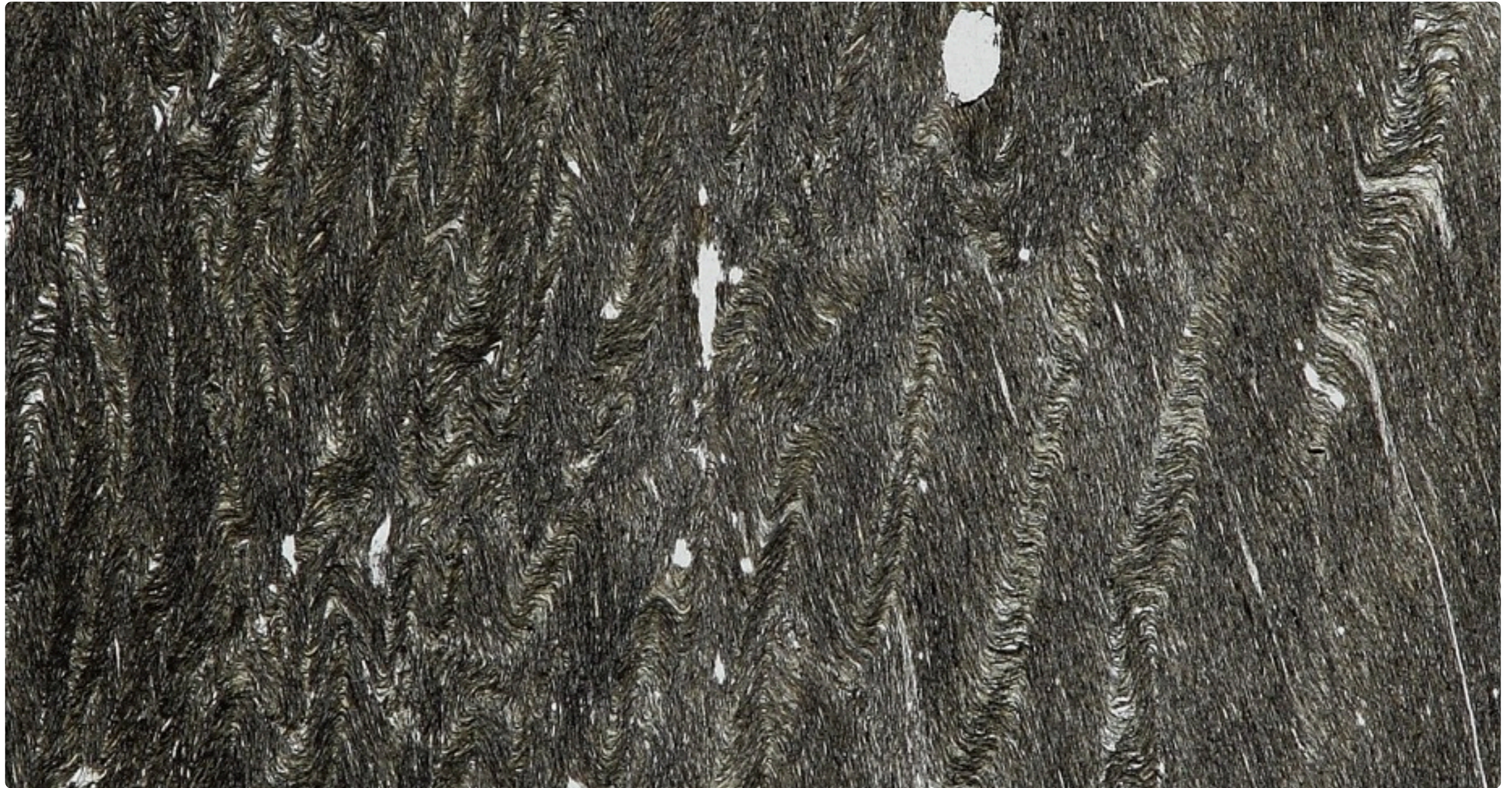
**Gallery 5.27** Rocas metamórficas pelíticas (metapelitas y gneises)



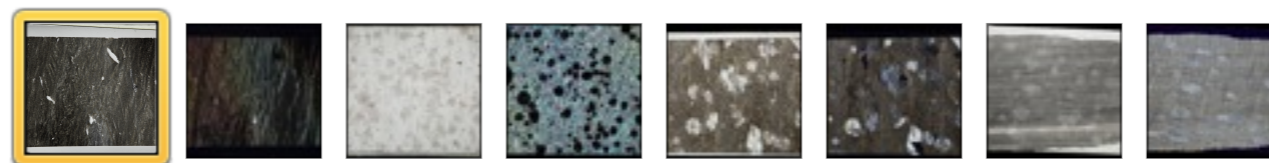
*Esquistos a escala de afloramiento, CC Image courtesy of peppergrasss on Flickr*



**Gallery 5.28** Rocas metamórficas pelíticas (Metapelitas y gneises) en lámina delgada



*Filita vista en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra LV-71)*



**Gallery 5.29** Rocas metamórficas pelíticas (metapelitas y gneises)



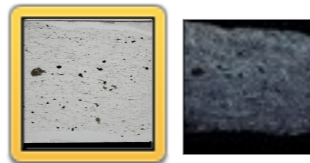
*Gneis a escala de afloramiento, CC Image courtesy of euphro on Flickr*



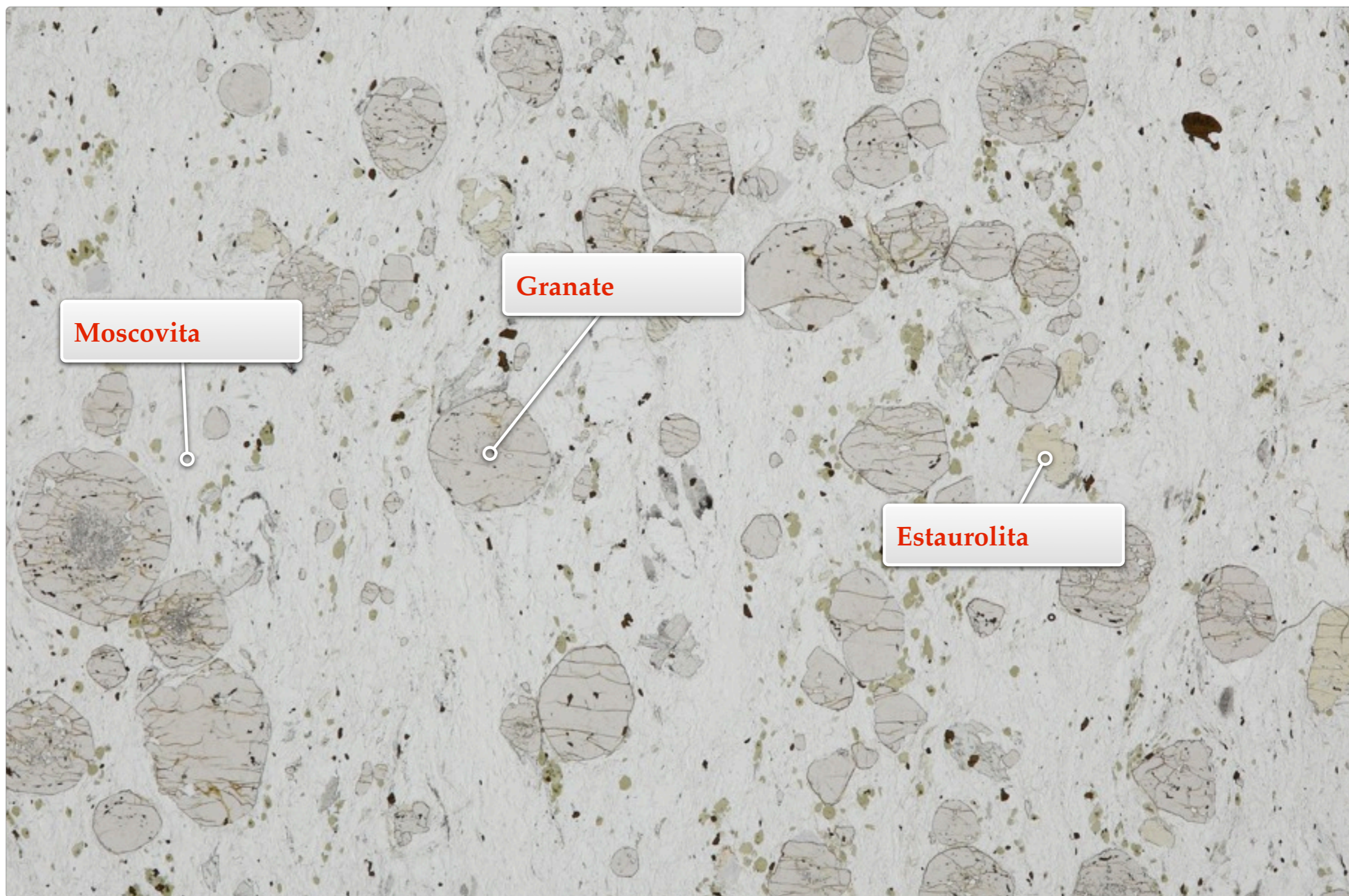
**Gallery 5.30** Rocas metamórficas pelíticas (metapelitas y gneises) en lámina delgada



*Gneis visto en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra BD-1)*

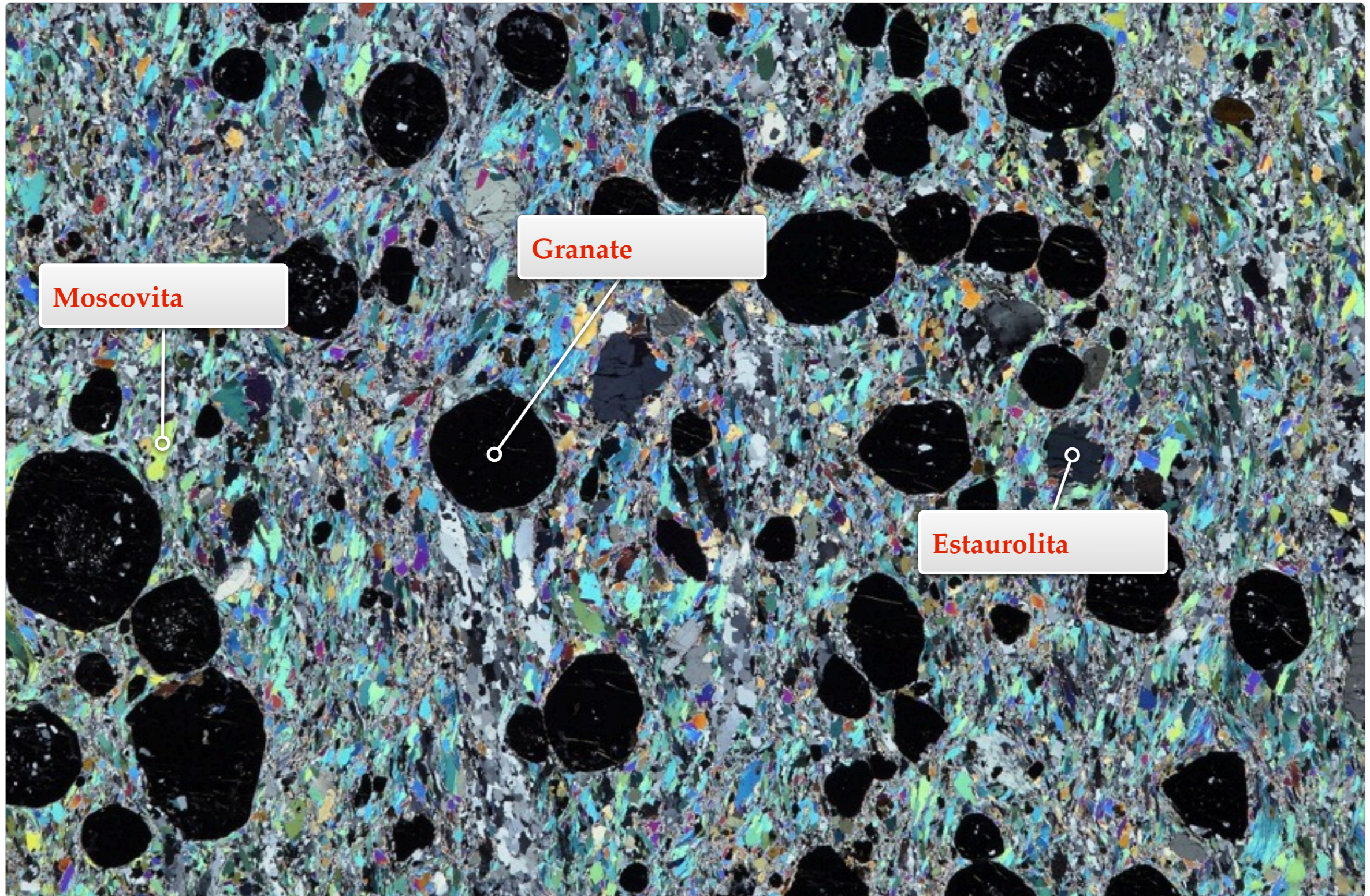


**Interactive 5.15** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra PMET-2)





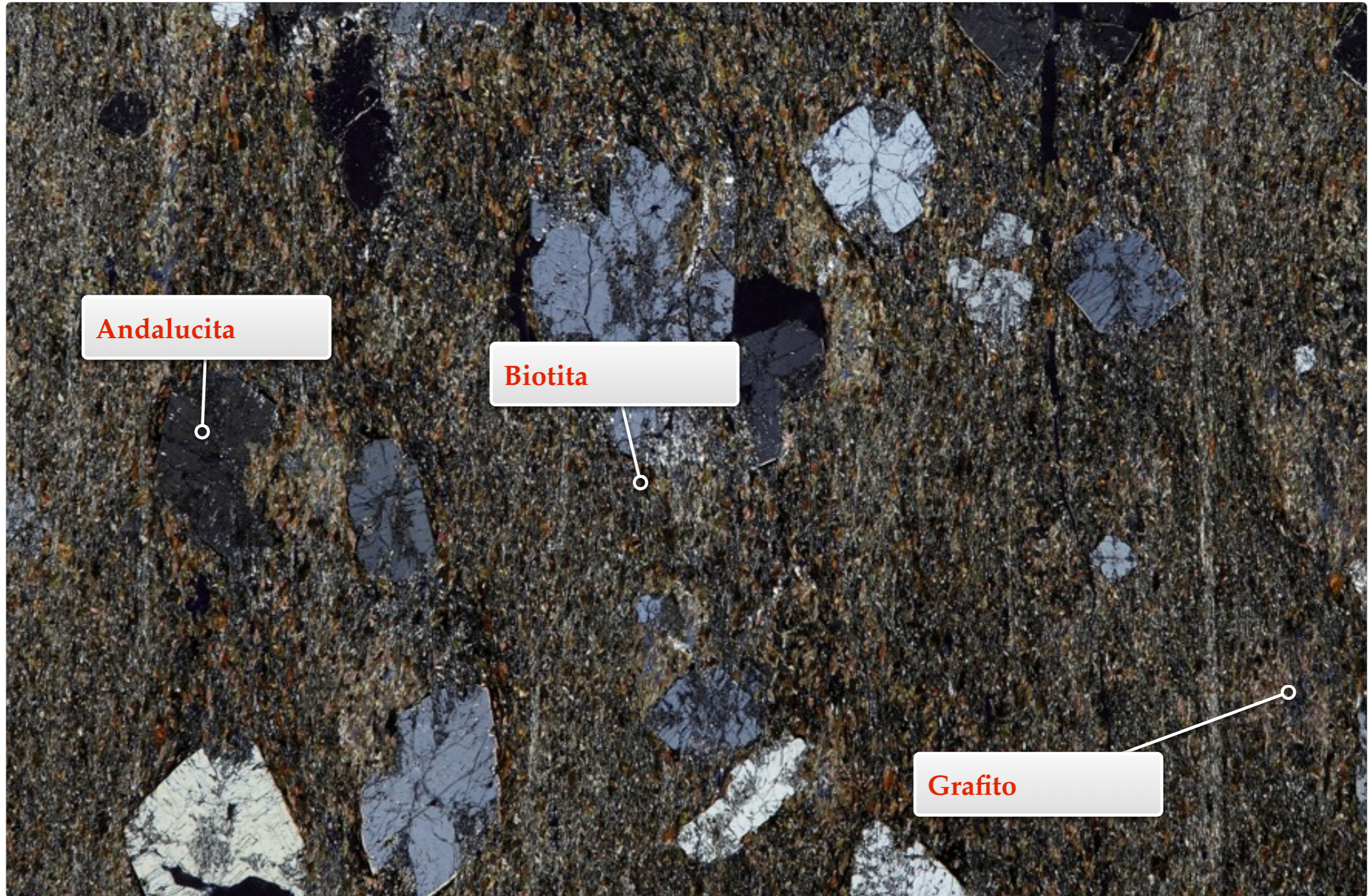
**Interactive 5.16** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra PMET-2)



**Interactive 5.17** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra ES-7510)



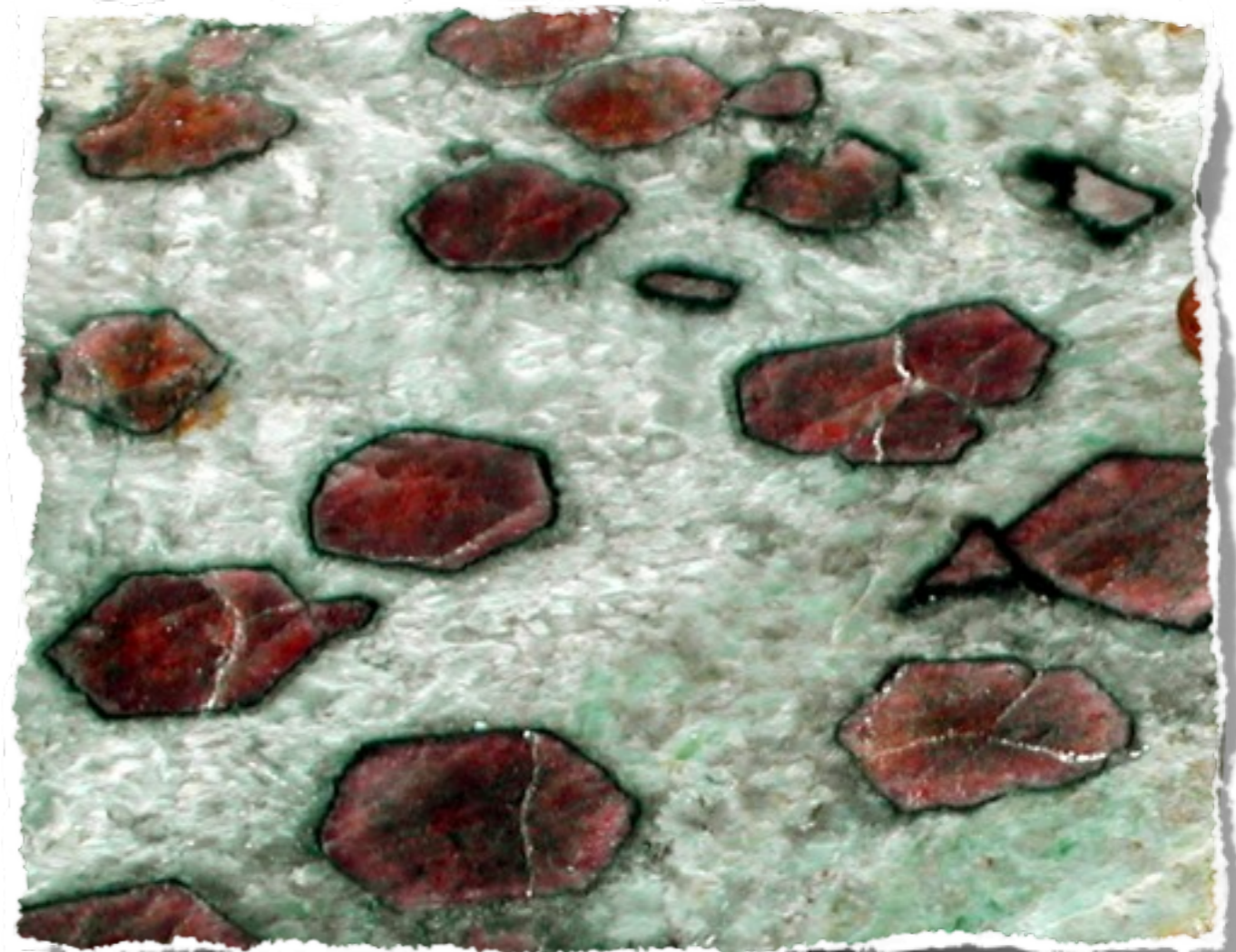
**Interactive 5.18** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra ES-7510)



# P9: Rocas metamórficas de composición máfica (Metabasitas)

## Objetivos de la práctica

Identificar y estudiar rocas metamórficas del grupo composicional metabasitas: gradiente de P intermedia (MC-62A, PMET-13, ACEB-2 , PMET-11, CSGR-1 y ACEB-5) y gradiente de alta P (LV-49, 2468, CO y 08VC62).



*Eclogita, CC Image courtesy of Arlette on Wikipedia*

## Actividades Previas:

A) Lea el siguiente texto a modo de introducción a las rocas metamórficas de composición máfica

Son rocas que derivan del metamorfismo de rocas ígneas máficas (gabros, coladas basálticas) e incluso de rocas sedimentarias (grauvacas) ricas en FeO, MgO y CaO. En este grupo composicional, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O y, en algunas ocasiones, CO<sub>2</sub> son los componentes químicos principales o que aparecen en cantidades significativas, influyendo de forma determinante sobre las relaciones de fases. Existe una gran variedad de términos para las rocas resultantes (en función del grado, composición y texturas). Por un lado se usan comúnmente nombres basados en el protolito, tales como metagabro, metabasalto, etc., con referencia especial a la procedencia o texturas dominantes. Otros nombres hacen referencia a rocas de esta clase metamorfizadas bajo condiciones particulares y con mineralogías específicas, tales como esquistos verdes, esquistos azules, anfibolitas, eclogitas y granulitas máficas. Estos últimos sirven además como nomenclatura base para las facies metamórficas, que es un esquema simple de clasificación de las rocas metamórficas en base a las condiciones del metamorfismo.

B) Lea y analice el siguiente texto para recordar el concepto de facies metamórfica y las asociaciones diagnósticas de las distintas facies.

El concepto de facies metamórficas es una noción fundamental de la Petrología Metamórfica. Este concepto reemplazó la noción de zonas de profundidad (o depozonas, epizona, mesozona, catazona, Grubenmann y Niggli, 1924) cuando se hizo obvio que las

condiciones de temperatura (o grado metamórfico) alcanzadas durante el metamorfismo no están necesariamente relacionadas con la profundidad a la que ocurre el metamorfismo dentro de la tierra. El concepto de facies fue definido por Eskola (1915), quien dio la siguiente definición:

“Una facies metamórfica es un grupo de rocas caracterizadas por conjunto definido de minerales que, bajo las condiciones de su formación, alcanzaron el equilibrio perfecto entre ellos. La composición mineral cualitativa y cuantitativa en las rocas de una facies dada varia gradualmente en correspondencia con las variaciones en la composición química de las rocas”.

En 1925, Eskola también definió el concepto de facies mineral, en un sentido más amplio y aplicable tanto a rocas metamórficas como ígneas. “Una facies mineral comprende todas las rocas que se han originado bajo condiciones de temperatura y presión tan similares que una composición química concreta produce el mismo conjunto de minerales...”

Años mas tarde, Eskola (1939) escribió: “En una facies dada se agrupan rocas para las que composiciones (químicas) globales idénticas exhiben asociaciones minerales idénticas, pero cuya composición mineral para composiciones (químicas) variables varia de acuerdo con leyes definidas”.

*Grubenmann U and Niggli P (1924) Die Gesteinsmetamorphose. Borntraeger, Berlin.*

*Eskola P (1915) On the relations between the chemical and mineralogical composition in the metamorphic rocks of the Orijarvi region. Comm. geol. Finlande Bull., 44, 1-107 (in Finnish), 109-145 (in English).*

*Eskola P (1939) Die metamorphen Gesteine. In: Barth T.F.W., Correns C.W., Eskola P. Die Entstehung der Gesteine. Springer, Berlin, 422 pp.*

C) Realice una lectura crítica del siguiente resumen de divulgación científica presentado en un Congreso Internacional (Goldschmidt Conference Abstracts 2010) acerca de las granulitas lunares.

Understanding Lunar Granulites through a terrestrial analogue study

R. Dammeier, D. Moser and G.R. Osinski

Dept. of Earth Sciences, University of Western Ontario, London, Ontario, N6A 5B7 Canada ([rdammeie@uwo.ca](mailto:rdammeie@uwo.ca))

Lunar granulites are believed to be metamorphosed polymict impact breccias that have the potential to yield new information on the origin and evolution of the lunar crust and its impact history (Cushing et al., 1999). A main challenge is to elucidate the metamorphic environment and processes that gave rise to the enigmatic granulitic textures. In this light we present a first comparison of the metamorphic characteristics of lunar meteorite NWA 3163 (Irving et al., 2006) with shock-metamorphosed and heated anorthosites at the Mistastin impact structure of northern Labrador. The Mistastin Lake impact structure is a  $36 \pm 4$  Ma, 28 km diameter feature [3] lying at the northeastern end of the Mesoproterozoic Mistastin Batholith composed of anorthosites, granites and lesser gabbroic rock [4]. Fieldwork was conducted in August/September 2009. We present optical and electron beam characterizations of textures of NWA 3163 and 12 samples from the Mistastin crater from locations ranging from the central uplift to anorthositic clasts enclosed in impact melt within the crater rim

region. Initial petrographic observations suggest that the majority of the feldspar within samples from the central uplift has been transformed to diaplectic glass (maskelynite). Samples from clasts within impact melt appear to have undergone some degree of crystallization and devitrification, most likely because of thermal metamorphism due to the heat of the impact melt. Ballen silica, another diagnostic shock feature, is also present in these samples. A comparison of these features, maskelynite distribution and grain boundary characteristics with those of NWA 3163 may help resolve to what extent contact melt heating alone can play a role in lunar granulite texture development.

*Cushing et al. (1999) Meteoritics & Planetary Science 34, 185–195.  
Irving et al. (2006) LPS XXXVII.[3] Marion & Sylvester (2010) Planet. Space Sci. 58, 552–573[4] Emslie et al. (1980) Geol. Survey of Canada 80–1A, 95–100.*

### C) Preguntas generales

#### Ejercicio 1

Relacionar la asociación mineral diagnóstica con la facies metamórfica correspondiente

<input type="radio"/>	F. Zeolitas	ontita y heulandita (silicatos cálcicos de prehnita, pumpellyita, o epidota)
<input type="radio"/>	F. Prehnita y Pumpellyita	y pumpellyita son los lugares de zeolitas o epidota
<input type="radio"/>	F. Esquisto verde	+ epidota + cuarzo (epidota típico en lugar de zeolitas, prehnita, pumpellyita)
<input type="radio"/>	F. Anfibolita con epidota	Hornblenda + albita + epidota + clorita ± granate
<input type="radio"/>	F. Anfibolitas	asa ( $X_{an} > 0.17$ ) ± granate
<input type="radio"/>	F. Granulitas	o + ortopiroxeno + plagioclasa

F. Granulitas

F. Prehnita y...

F. Zeolitas

F. Anfibolitas

F. Esquisto ...

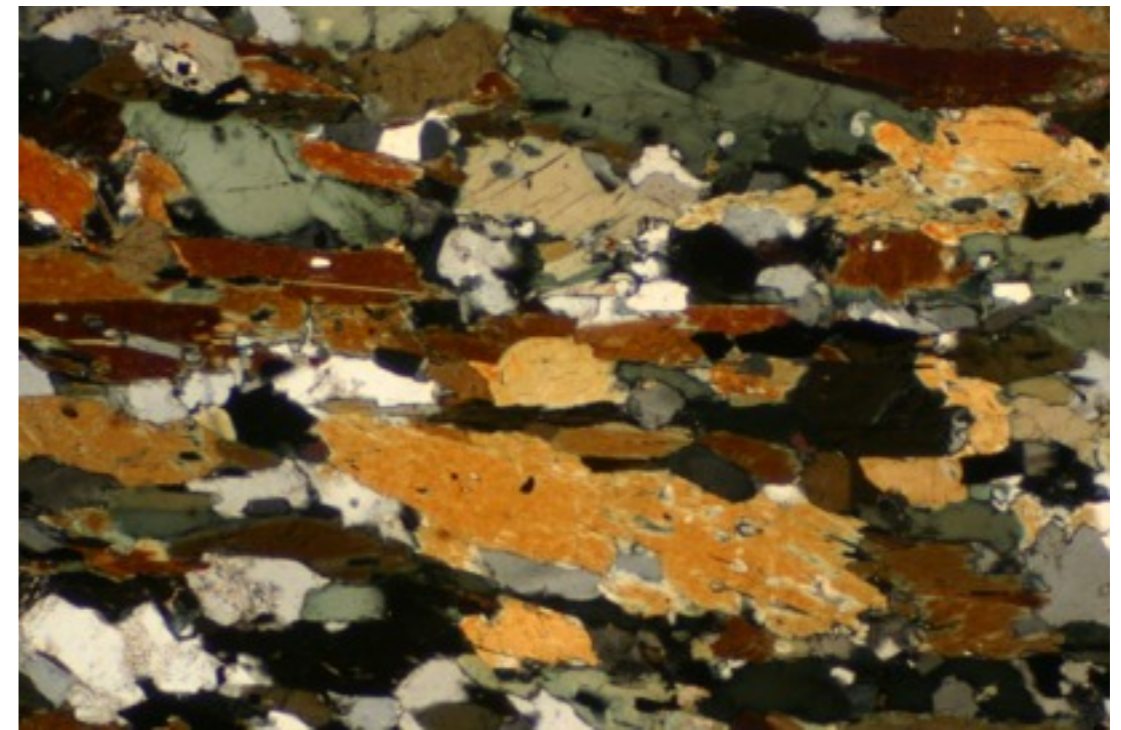
F. Anfibolita ...

Check Answer

#### Ejercicio 2

##### Question 1 of 3

La anfibolita de la imagen presenta una textura de tipo:



- A. Textura granoblástica
- B. Textura lepidoblástica
- C. Textura porfidoblástica
- D. Textura nematobástica



Check Answer



### Ejercicio 3

Relacionar la asociación mineral diagnóstica con la facies metamórfica correspondiente

Mineral o asociación mineral diagnóstico	
<input type="radio"/>	Glaucofana+albita+clorita ( $\pm$ lawsonita $\pm$ epidota) (albita estable)
<input type="radio"/>	Onfocita $\pm$ lawsonita, $\pm$ glaucofana, $\pm$ barroisita, (albita no estable)
<input type="radio"/>	Actinolita+clorita+cuarzo
<input type="radio"/>	Hornblenda+plagioclasa $\pm$ anfíboles Fe-Mg (antofilita, ) $\pm$ cpx diopsídico + cuarzo
<input type="radio"/>	Clinopiroxeno + ortopiroxeno + plagioclasa (+ Pl: P baja)
<input type="radio"/>	Clinopiroxeno augítico + ortopiroxeno + plagioclasa (baja) con variedades de muy alta temperatura como pigeonita y labradorita rica en K

F. Esquisto azul

F. Eclogita

F. Cornena Anf.

F. Corneana Px.

F. Sanidinita

F. Corneana...

Check Answer

### Actividades de desarrollo y de refuerzo:

- Realice el estudio petrográfico de las rocas metamórficas LV-49, CO y CSGR-1 utilizando la ficha petrográfica.
- Realice el estudio petrográfico de la roca metamórfica máficas 2468, 08CV62 y ACEB-5 que puede encontrar en el microscopio virtual de WeSapiens.

Recuerde para el estudio petrográfico:

En lo relativo a la composición mineralógica:

- Inventario mineralógico detallado.
- Identificación de la asociación mineral principal y, en su caso, de posibles asociaciones o especies minerales relictas y retrógradas.

En lo relativo al desarrollo textural:

- Descripción global de la textura/estructura dominante en la roca.
- Descripción de las relaciones texturales características de las principales especies minerales, incluyendo relaciones entre granos y con respecto a posibles texturas deformacionales. En este análisis debe basarse en parte la adscripción de las mismas a cada una de las asociaciones minerales distinguidas en (b).

Estas observaciones deberían ser suficientes para clasificar y dar nombre a la roca, acotar o identificar el tipo de contexto en que tuvo lugar el metamorfismo y, en función del tipo de asociación principal presente, efectuar una estimación aproximada de las condiciones de presión y temperatura alcanzadas (grado o facies).



Alumno/a:

Sigla de la muestra:

1) Descripción macroscópica de la roca:

Descripción mesoscópica de la estructura global de la roca:

2) Mineralogía y grupo composicional.

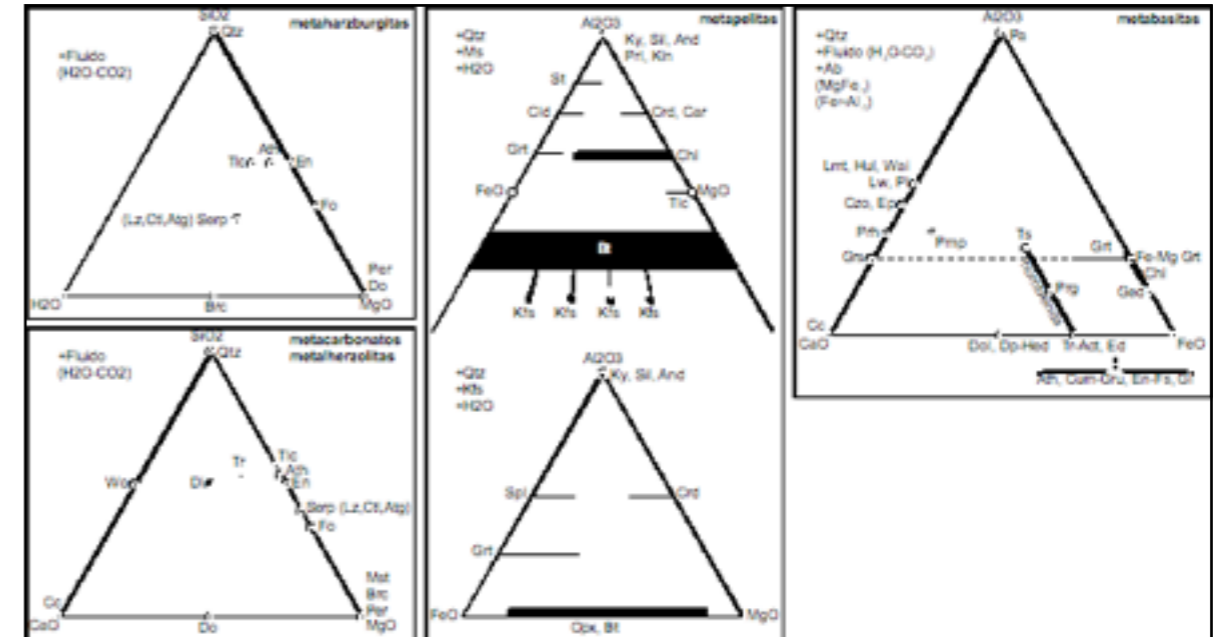
3) Características texturales (microestructurales).

4) Asociaciones minerales.

Asociación principal:

Asociación relictas:

Asociación retrógrada:



5) Condiciones de formación

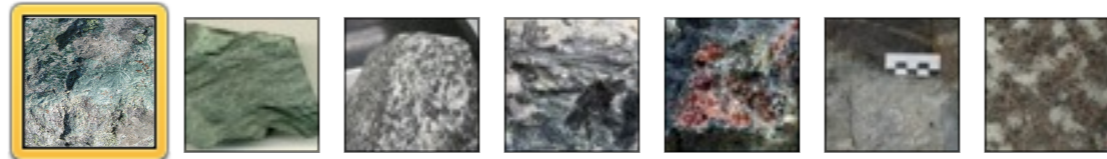


6) Nombre de la roca:

**Gallery 5.31** Rocas metamórficas de composición básica (metabasitas)



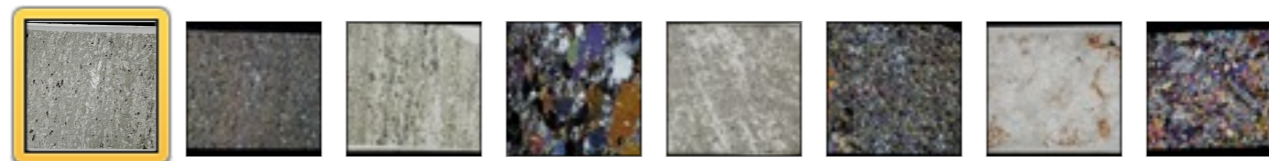
*Esquisto verde a escala de afloramiento, CC Image courtesy of brewbooks on Flickr*



**Gallery 5.32** Rocas metamórficas de composición básica (metabasitas) en lámina delgada



*Esquisto verde visto en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra MC-62A)*



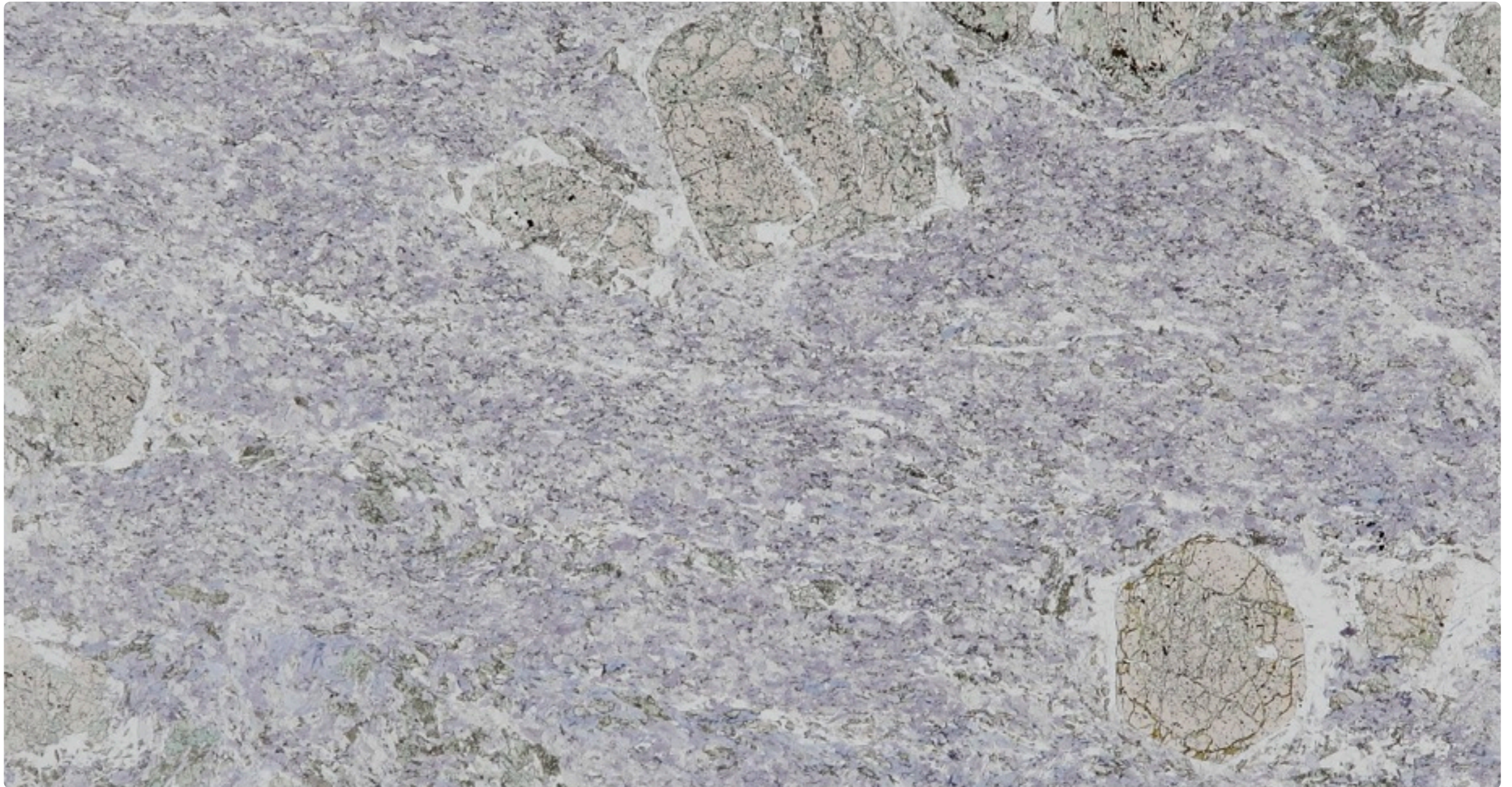
**Gallery 5.33** Rocas metamórficas de composición básica (metabasitas)



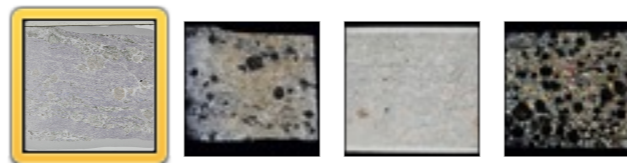
*Esquisto azul a escala de muestra de mano, CC Image courtesy of Hypocentre on Flickr*



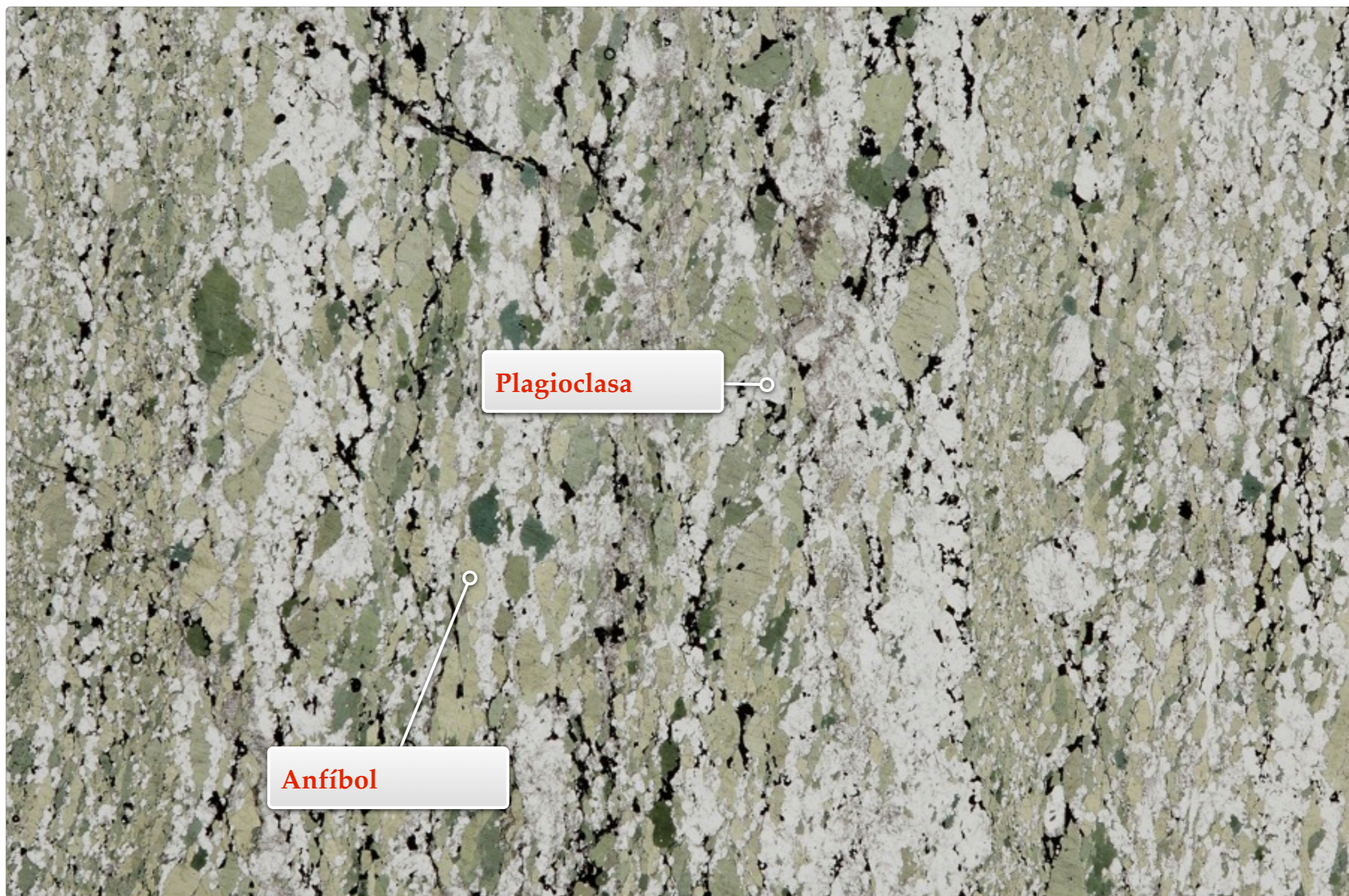
**Gallery 5.34** Rocas metamórficas de composición básica (metabasitas) en lámina delgada



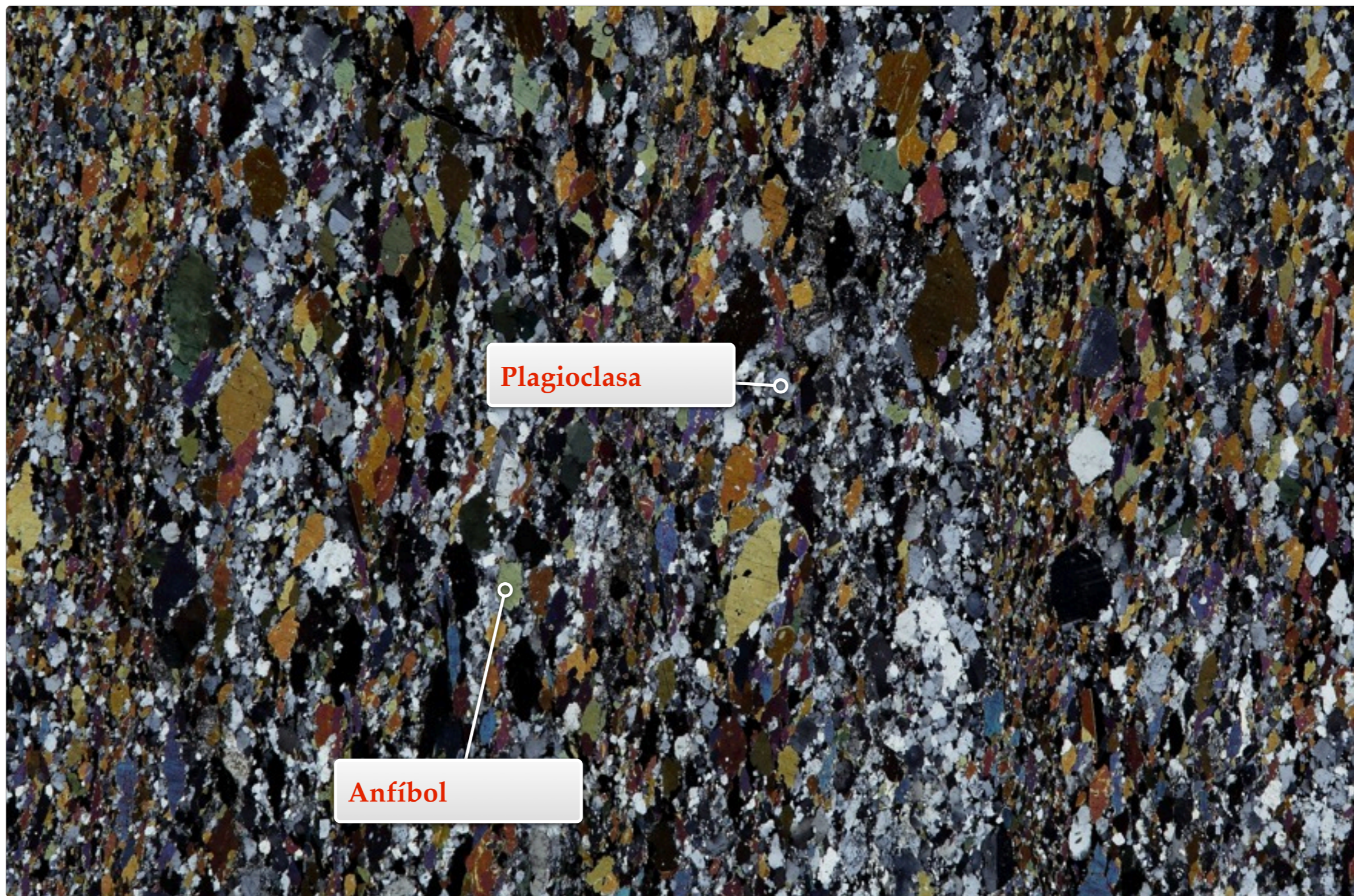
*Esquisto azul visto en lámina delgada con nícoles paralelos, Colección de prácticas (Muestra 2468)*



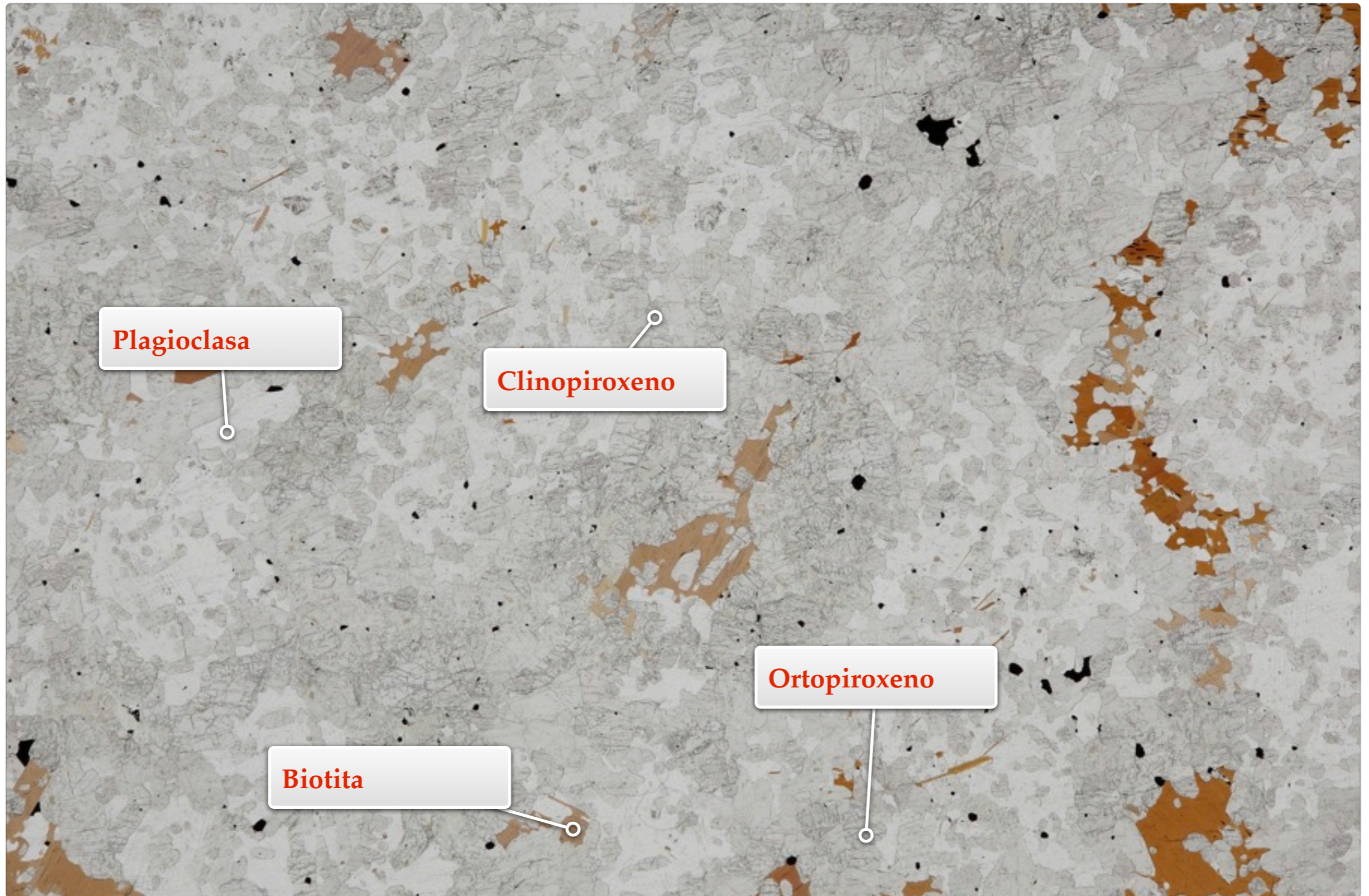
**Interactive 5.19** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra ACEB-2)



**Interactive 5.20** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra ACEB-2)

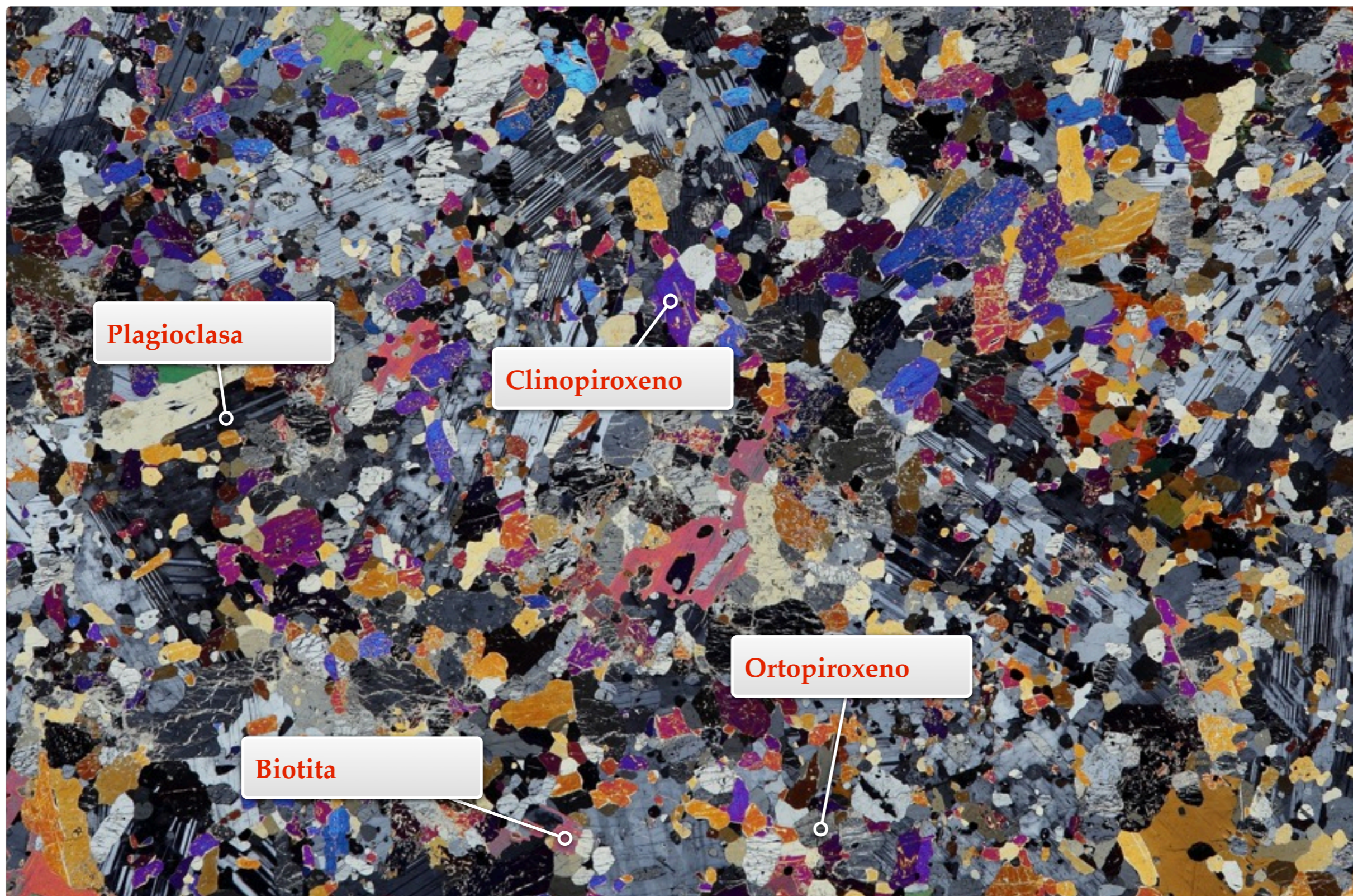


**Interactive 5.21** Minerales principales con nícoles paralelos (colección de prácticas, muestra ACEB-5)





**Interactive 5.22** Minerales principales con nícoles cruzados (colección de prácticas, muestra ACEB-5)



# 6. Encuesta de valoración



Para la mejora del libro electrónico rellene, por favor, una breve encuesta a la que podrá acceder en el siguiente link:

[Encuesta](#)

7.

# Agradecimientos

Este libro electrónico es el resultado de un proyecto de innovación docente (PID12-213) concedido a los autores del mismo, por el Secretariado de Innovación Docente del Vicerrectorado de Ordenación Académica y Profesorado de la Universidad de Granada. Agradecemos a 3D Vista por la preparación de las microfotografías de las láminas delgadas de la colección de prácticas de la asignatura de Petrología.



ugr

Universidad  
de Granada

# Glossary

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.

---

## Related Glossary Terms

Drag related terms here

---

**Index**

Find Term