Informe 3

Metabasitas



Cristian Chico Pulido, Camila Isabel Fernández Riveras, Alejandro Cruz Sancho, Jessica Natalia Serpa Herrera

Petrología Metamórfica - 3º Grado Geología

Índice

Introducción..... 3
Estudio petrográfico..... 4
Lámina 1.....4
Lámina 3.....5
Lámina 8.....5
Lámina 40.....6
Lámina 9.....6
Lámina 44.....6
Lámina 7.....7
Lámina 53.....8
Lámina 6.....9
Lámina 10.....9
Lámina 64.....10
Condiciones de presión y temperatura.....11
Trayectoria metamórfica.....13
Bibliografía..... 16

Introducción

La presente práctica se centra en el estudio petrográfico y metamórfico de rocas básicas, con el objetivo de caracterizar su evolución mineralógica y textural a lo largo de diferentes condiciones de presión y temperatura. Las metabasitas constituyen un excelente registro de los procesos metamórficos, ya que su composición química relativamente homogénea favorece el desarrollo de asociaciones minerales diagnósticas, particularmente sensibles a las variaciones de las condiciones físico-químicas del medio. Por ello, su análisis permite reconstruir con notable precisión la historia metamórfica de un terreno y establecer las trayectorias P–T seguidas durante su evolución.

El estudio se aborda mediante el análisis petrográfico en lámina delgada, incluyendo la descripción sistemática de texturas, estructuras y asociaciones minerales, así como la identificación de minerales retrógrados y relictos cuando están presentes. La integración de estas observaciones con los diagramas de facies metamórficas permite delimitar las condiciones de estabilidad de las paragénesis observadas y, en consecuencia, asignar cada muestra a un determinado dominio metamórfico. Este enfoque constituye una herramienta fundamental para interpretar la respuesta mineralógica de los protolitos básicos frente a cambios progresivos en el régimen metamórfico.

Asimismo, la comparación entre las distintas muestras posibilita establecer relaciones evolutivas entre ellas y reconstruir una trayectoria metamórfica coherente para el conjunto estudiado. De este modo, el trabajo no solo persigue la descripción y clasificación de las rocas analizadas, sino también la comprensión de los procesos petrológicos que controlan su transformación, desde las etapas progradantes hasta los posibles episodios retrógrados. En conjunto, esta aproximación integra observación microscópica, interpretación mineralógica y análisis termodinámico, proporcionando una visión completa de la evolución metamórfica de las rocas básicas.

Estudio petrográfico

Lámina 1

1. Textura: según el grado de idiomorfismo, la roca presenta una textura predominantemente subidioblástica. En función del hábito cristalino, se reconoce una textura lepidoblástica inequigranular, definida por la orientación preferente de minerales prismáticos y laminares. El tamaño de grano es fino. La disposición textural y las relaciones entre fases minerales indican una evolución esencialmente prograda, asociada al crecimiento sincinemático de la paragénesis metamórfica.
2. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: granate, hornblenda y plagioclasa.
    b. Retrógrados: saussurita (agregado de zoisita/epidota y sericita), desarrollada a expensas de la plagioclasa durante etapas de retrogradación.
    c. Relictos: no se han identificado.
3. Análisis textural: la roca presenta una matriz dominada por hornblenda, cuyos cristales subidiomorfos muestran una marcada orientación preferente, definiendo una foliación mineral. La hornblenda también aparece incluida como relicto en el interior de los porfiroblastos de granate, lo que indica que su cristalización precedió, al menos en parte, al crecimiento de estos últimos. Los porfiroblastos de granate engloban fases preexistentes, evidenciando un crecimiento tardío durante la evolución prograda. La plagioclasa muestra una alteración parcial a saussurita, reconocible por el desarrollo de agregados microcristalinos de zoisita/epidota y sericita con contactos difusos e irregulares. Esta transformación refleja un episodio retrógrado asociado a la infiltración de fluidos durante el enfriamiento y/o descompresión del sistema.
4. Protolito: metabasita.
5. Clasificación de la roca: Anfibolita con granate.
6. Tipo y grado de metamorfismo: metamorfismo regional de presión y temperatura intermedias, correspondiente a condiciones de facies anfibolita y grado metamórfico medio.

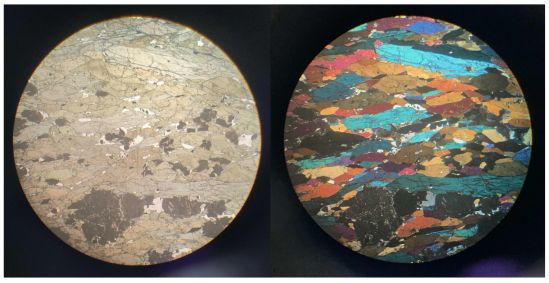


Imagen 1: Fotografía lámina 1, nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha).

Lámina 3

1. Textura: según estudio es nematoblástica a grano-nematoblástica, es la textura típica de las anfibolitas. Hábito prismático o articular con orientación espacial preferente. El isomorfismo es subidioblástico para el anfíbol y alotrioblástico para el resto. El tamaño de grano es equigranular.
2. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: la hornblenda es el mineral principal más abundante, presentándose como cristales prismáticos. La plagioclasa aparece como agregados granbolásticos incoloros. Hay minerales del grupo de la epidota, en concreto en esta muestra coexisten de forma estable la epidota, zoisita y clinozoisita, estabilizados con la hornblenda. También aparece cuarzo en cristales alotriomorfos con textura granoblástica.
    b. Retrógrados: no se observan.
    c. Relictos: no se observan.
3. Análisis textural: no se observan porfiroblastos que permitan establecer relaciones cronológicas blástesis-deformación. La hornblenda forma prismas subidioblásticos bien orientados que definen una textura nematoblástica dominante. La matriz es grano-nematoblástica, compuesta por plagioclasa y cuarzo en agregados granoblásticos alotriomorfos equidimensionales. Los minerales del grupo de la epidota se presentan como granos xenoblásticos dispersos en equilibrio con el anfíbol, sin que se observen texturas de reacción o reemplazamiento retrógrado, lo que indica una asociación mineral estable.
4. Protolito: la abundancia de hornblenda junto con la presencia de plagioclasa y minerales del grupo de la epidota indica que se trata de un protolito ígneo básico (máfica), como un basalto, una dolerita o un gabro
5. Clasificación de la roca: anfibolita caracterizada por la abundancia de anfíboles (hornblenda) con proporciones subordinadas de plagioclasa y otros minerales.
6. Tipo y grado de metamorfismo: metamorfismo regional con relación P/T intermedia (presión media) y grado medio.

Lámina 8

1. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: clorita, cuarzo y epidota.
    b. Retrógrados: no se observan.
    c. Relictos: plagioclasa.
    d. Accesorios: pirita.

    La asociación mineral clorita + epidota + cuarzo es característica de condiciones metamórficas de bajo grado, compatibles con facies de esquistos verdes. La preservación de plagioclasa relicta indica que parte de la

mineralogía original del protolito ha sobrevivido a la recristalización metamórfica.

Lámina 40

1. Composición mineralógica
    a. Paragénesis: tremolita–actinolita, clinozoisita, cuarzo y plagioclasa.
    b. Retrógrados: no se observan.
    c. Relictos: no se observan.

    La asociación mineral observada es característica de metabasitas sometidas a metamorfismo de bajo a medio grado, en condiciones transicionales entre las facies de esquistos verdes y anfibolita inferior. La presencia de anfíboles cálcicos del rango tremolita–actinolita, junto con clinozoisita y plagioclasa, indica un régimen de presión intermedia y temperaturas moderadas. La ausencia de minerales retrógrados o relictos sugiere que la paragénesis se encuentra bien equilibrada y representa adecuadamente las condiciones de máximo metamorfismo alcanzadas por la muestra.

Lámina 9

1. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: moscovita, cuarzo y glaucofana.
    b. Retrógrados: no se observan.
    c. Relictos: no se observan.

    La presencia de glaucofana, asociada a cuarzo y mica blanca, constituye una paragénesis diagnóstica de metamorfismo de alta presión y baja temperatura, propia de la facies de esquistos azules. Esta asociación refleja condiciones características de contextos geodinámicos de subducción, donde el gradiente geotérmico es bajo. La ausencia de minerales retrógrados indica una preservación notable de la paragénesis de pico metamórfico.

Lámina 44

1. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: moscovita, clorita, cuarzo, glaucofana y posible plagioclasa.
    b. Retrógrados: no se observan.
    c. Relictos: no se observan.

    La asociación mineral observada es compatible con condiciones de alta presión y baja temperatura, características de la facies de esquistos azules. La coexistencia de glaucofana con moscovita, clorita y cuarzo refleja un metamorfismo de bajo a medio grado dentro de este campo de estabilidad.

La posible presencia de plagioclasa podría indicar condiciones próximas al límite de estabilidad de la glaucofana o una ligera evolución hacia condiciones de menor presión durante la exhumación. En conjunto, la paragénesis es representativa de un protolito básico sometido a metamorfismo en un contexto de subducción.

Lámina 7

1. Textura: Según el grado de idiomorfismo, la roca presenta una textura predominantemente subidioblástica. En cuanto al hábito cristalino, se reconoce una textura granoblástica, caracterizada por un mosaico de cristales equidimensionales en equilibrio textural. Se observan, además, desarrollos simplectíticos asociados a procesos de desestabilización mineral durante la retrogradación.
2. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: granate, onfacita, rutilo y epidota.
    b. Retrógrados: hornblenda.
    c. Relictos: no se observan.
3. Análisis textural: la roca está constituida por porfiroblastos de granate bien desarrollados, de tonalidad rosada en muestra de mano y hábito subidiomorfo a idiomorfo en lámina delgada. Estos se encuentran inmersos en una matriz dominada por onfacita, cuyos cristales muestran hábito subidiomorfo y una textura granoblástica bien desarrollada. La onfacita presenta localmente texturas simplectíticas, indicativas de una desestabilización incipiente durante el inicio de la retrogradación. Asimismo, la hornblenda aparece como parches o coronas de reemplazamiento de carácter postcinemático, desarrollados a expensas de la onfacita. Esta sustitución refleja la incorporación de fluidos durante la exhumación, favoreciendo reacciones de hidratación. El rutilo se presenta en cristales idiomorfos dispersos en la matriz, evidenciando su estabilidad durante el metamorfismo de alto grado. La ausencia de foliación o bandeado composicional indica que la recristalización tuvo lugar bajo condiciones estáticas o con deformación limitada durante el pico metamórfico. Las relaciones texturales indican que la muestra preserva una paragénesis eclogítica bien desarrollada, sobre la que se superpone una retrogradación incipiente hacia asociaciones anfibolíticas, por lo que puede interpretarse como una retroeclogita en estadio inicial.
4. Protolito: metabasita
5. Clasificación de la roca: Eclogita.
6. Tipo y grado de metamorfismo: metamorfismo de alta presión y temperatura moderada a alta, correspondiente a facies eclogita y grado metamórfico alto. La presencia de retrogradación parcial indica una posterior evolución durante la exhumación bajo condiciones de menor presión y mayor actividad de fluidos.

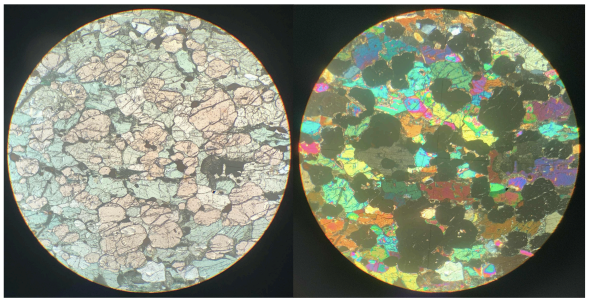


Imagen 2: Fotografía lámina delgada 7, nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha).

Lámina 53

1. Textura: según el grado de idiomorfismo, la roca presenta una textura predominantemente subidioblástica. En función del hábito de los cristales, se reconoce una textura granoblástica, definida por un mosaico de minerales equidimensionales en equilibrio textural. El conjunto muestra una fábrica masiva, sin orientación preferente de los minerales, lo que indica recristalización en condiciones esencialmente estáticas.
2. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: hornblenda, clinopiroxeno (diopsido–onfacita), plagioclasa, granate, cuarzo y rutilo.
    b. Retrógrados: no se observan.
    c. Relictos: no se observan.
3. Análisis textural: la roca presenta una textura granoblástica bien desarrollada, constituida por un mosaico de cristales equidimensionales con contactos intergranulares mayoritariamente rectos a ligeramente curvos, indicativos de recristalización en equilibrio. Los minerales muestran hábito subidiomorfo, sin desarrollo de porfiroblastos destacados. La asociación mineral se distribuye de forma homogénea en toda la muestra. El granate aparece como cristales subidiomorfos integrados en la matriz, mientras que el clinopiroxeno, la plagioclasa y el cuarzo forman un ensamblaje granular intercrecido. La hornblenda se presenta como fase estable de la paragénesis, sin evidencias de reemplazamiento retrógrado. El rutilo aparece como accesorio estable, generalmente en pequeños cristales idiomorfos a subidiomorfos. La ausencia de foliación, lineación o cualquier orientación mineral preferente, así como la falta de minerales laminares o prismáticos orientados, confirma el carácter no foliado de la roca. Estas características son típicas de una recristalización de alto grado bajo condiciones estáticas.
4. Protolito: metabasita.
5. Clasificación de la roca: granulita máfica con granate. La presencia de plagioclasa en equilibrio con granate y clinopiroxeno excluye una clasificación como eclogita, ya que esta última se caracteriza por la ausencia o inestabilidad de la plagioclasa en condiciones de pico metamórfico.

6. Tipo y grado de metamorfismo: metamorfismo de alta temperatura y presión moderada a alta, correspondiente a facies granulita y grado metamórfico alto. Esta paragénesis refleja condiciones próximas al límite entre los campos de granulita y eclogita, típicas de niveles corticales profundos o de la base de la corteza continental.

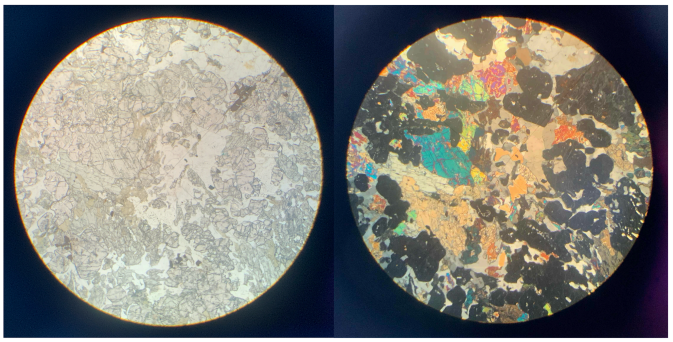


Imagen 3: Fotografía lámina delgada 53, nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha)

Lámina 6

1. Textura: Según el grado de idiomorfismo, la roca presenta una textura predominantemente alotrioblástica, caracterizada por minerales con contornos irregulares y escaso desarrollo de caras cristalinas. En función del tamaño relativo de los granos, se reconoce una textura porfiroblástica, definida por la presencia de cristales de mayor tamaño inmersos en una matriz de grano más fino. Asimismo, se observan texturas reaccionales de tipo coronítico y kelifítico. Las coronas de reacción se desarrollan en los contactos entre minerales en desequilibrio, reflejando ajustes mineralógicos ante cambios en las condiciones de presión y temperatura. Por su parte, las texturas kelifíticas consisten en agregados finogranulares que rodean minerales preexistentes, especialmente granate, y son indicativas de procesos de descompresión y retrogradación durante la exhumación. Estas relaciones texturales evidencian una compleja evolución metamórfica, con preservación de asociaciones de alta presión parcialmente modificadas por reequilibrio posterior.

Lámina 10

1. Composición mineralógica:
    a. Minerales de la paragénesis: cuarzo, plagioclasa, biotita, ortopiroxeno y clinopiroxeno (diópsido).

La asociación de ortopiroxeno + clinopiroxeno + plagioclasa + cuarzo es diagnóstica de condiciones de alta temperatura, propias de la facies granulita. La presencia de biotita sugiere que la muestra corresponde probablemente a una granulita hidratada o a una granulita de transición, en la que parte del agua ha permanecido en el sistema o ha sido reintroducida durante etapas tardías. Esta paragénesis es característica de protolitos máficos a intermedios sometidos a metamorfismo de alto grado.

Lámina 64

1. Composición mineralógica:
    a. Paragénesis: granate, onfacita, ortopiroxeno, clinopiroxeno y rutilo.

La asociación mineral observada corresponde a condiciones de muy alto grado metamórfico. La coexistencia de granate, onfacita y rutilo es diagnóstica de facies eclogita, mientras que la presencia adicional de ortopiroxeno indica temperaturas excepcionalmente elevadas. Esta paragénesis es característica de eclogitas de ultraalta temperatura o de rocas transicionales entre los campos de eclogita y granulita de alta presión. La ausencia de plagioclasa refuerza la interpretación de un ensamblaje estable a altas presiones, mientras que la coexistencia de clinopiroxeno sódico y ortopiroxeno refleja condiciones térmicas extremas, propias de entornos tectónicos profundos y de elevada energía térmica.

Condiciones de presión y temperatura

La estimación de las condiciones de presión y temperatura (P–T) se ha realizado a partir de las asociaciones minerales observadas en las distintas láminas, utilizando como referencia los campos de estabilidad de las facies metamórficas para protolitos básicos. Dado que las metabasitas presentan una composición química relativamente homogénea, constituyen un sistema particularmente adecuado para inferir las condiciones metamórficas a partir de sus paragénesis minerales.

Las asociaciones minerales identificadas permiten reconocer un amplio rango de condiciones metamórficas, desde facies de bajo grado hasta facies de alta presión y alta temperatura. En las muestras de menor grado, como la lámina 8, la paragénesis clorita + epidota + cuarzo ± plagioclasa relicta es característica de la facies de esquistos verdes, que se desarrolla en condiciones aproximadas de 300–500 °C y 2–8 kbar. La lámina 40, con tremolita–actinolita + clinozoisita + plagioclasa + cuarzo, representa condiciones transicionales entre la facies de esquistos verdes y la facies anfibolita inferior, en un intervalo estimado de 450–550 °C y 4–8 kbar.

La lámina 1, cuya paragénesis está compuesta por granate + hornblenda + plagioclasa, corresponde inequívocamente a la facies anfibolita. Esta asociación indica condiciones de presión y temperatura intermedias, estimadas en torno a 550–700 °C y 5–10 kbar. La presencia de saussuritización de la plagioclasa refleja una retrogradación posterior bajo condiciones de menor temperatura y en presencia de fluidos.

Las láminas 10 y 53 registran condiciones de facies granulitas. En la lámina 10, la asociación ortopiroxeno + clinopiroxeno + plagioclasa + cuarzo ± biotita es diagnóstica de metamorfismo de alta temperatura, generalmente entre 700 y 900 °C, bajo presiones moderadas a elevadas (7–12 kbar). De manera similar, la lámina 53, con granate + clinopiroxeno + plagioclasa + cuarzo + rutilo, representa condiciones de alta temperatura y presiones relativamente elevadas, próximas al límite entre las facies granulita y eclogita.

Las paragénesis de las láminas 9 y 44, dominadas por glaucofana acompañada de cuarzo, moscovita y clorita, son características de la facies de esquistos azules. Estas asociaciones reflejan condiciones de alta presión y baja temperatura, típicas de ambientes de subducción, con rangos aproximados de 250–500 °C y 7–15 kbar. La presencia de glaucofana constituye un indicador inequívoco de este campo metamórfico.

Las láminas 7 y 64 corresponden a las condiciones más extremas registradas en el conjunto. La asociación granate + onfacita + rutilo ± epidota de la lámina 7 es diagnóstica de facies eclogita, indicando presiones superiores a 12–15 kbar y temperaturas del orden de 600–850 °C. La aparición de hornblenda retrógrada

evidencia hidratación durante la exhumación. Por su parte, la lámina 64, que incorpora además ortopiroxeno, sugiere condiciones de temperatura aún más elevadas, compatibles con el campo de eclogita de alta temperatura o con una transición hacia granulita de alta presión.

Las paragénesis estudiadas abarcan un espectro metamórfico muy amplio, desde facies de esquistos verdes hasta facies ecoglita, incluyendo estadios intermedios de anfibolita, granulita y esquistos azules. Esta diversidad mineralógica refleja la notable sensibilidad de las metabasitas a las variaciones en las condiciones P–T y pone de manifiesto su extraordinario valor como indicadores petrológicos para reconstruir la evolución metamórfica de un terreno.

Trayectoria metamórfica

La representación de las muestras en el diagrama presión–temperatura pone de manifiesto una evolución metamórfica compleja, compatible con el enterramiento progresivo y posterior exhumación de una secuencia de protolitos básicos sometidos a un régimen tectonometamórfico convergente. La distribución de las paragénesis minerales a lo largo del espacio P–T define una trayectoria continua desde condiciones de bajo grado y presión moderada hasta condiciones de alta presión y elevada temperatura, seguida de un reequilibrio retrógrado durante la descompresión y el enfriamiento.

La etapa inicial de la trayectoria está representada por las láminas 8 y 40, cuyas asociaciones minerales corresponden a facies de esquistos verdes y al tránsito hacia anfibolita inferior. La paragénesis clorita + epidota + cuarzo de la lámina 8 indica condiciones de bajo grado, con temperaturas moderadas y presiones relativamente bajas a intermedias, propias de los estadios tempranos de enterramiento metamórfico. La posterior aparición de anfíboles cálcicos (tremolita–actinolita) y clinozoisita en la lámina 40 refleja un incremento progresivo de la temperatura, manteniéndose un régimen de presión intermedia.

La lámina 1 marca la entrada en el campo de estabilidad de la facies anfibolita, con el desarrollo de la asociación granate + hornblenda + plagioclasa. Esta paragénesis evidencia condiciones de presión y temperatura intermedias, representativas de un metamorfismo regional progresivo. El crecimiento de granate y la recristalización generalizada de la matriz indican un avance significativo de las reacciones progradas. La saussuritización parcial de la plagioclasa documenta, no obstante, una alteración retrógrada posterior vinculada a la circulación de fluidos durante la exhumación.

Con el aumento adicional de la temperatura, la trayectoria alcanza el campo de la facies granulita, representado por las láminas 10 y 53. En este estadio, la aparición de ortopiroxeno junto a clinopiroxeno, plagioclasa y cuarzo en la lámina 10, así como la asociación granate + clinopiroxeno + plagioclasa + cuarzo + rutilo en la lámina 53, indica condiciones de alta temperatura y presiones moderadas a relativamente elevadas. Estas paragénesis son características de niveles corticales profundos, donde predominan procesos de recristalización en condiciones próximas al equilibrio y bajo actividad reducida de fluidos.

La progresión hacia condiciones de mayor presión queda registrada por la lámina 7, cuya asociación granate + onfacita + rutilo ± epidota es diagnóstica de facies eclogita. Esta paragénesis refleja el ingreso de la roca en un dominio de alta presión, compatible con profundidades correspondientes al manto superior o a la corteza inferior fuertemente engrosada. La conservación de onfacita y granate, junto con la ausencia de plagioclasa, constituye un indicador inequívoco de este campo

metamórfico. La presencia de hornblenda retrógrada y de texturas simplectíticas señala el inicio de la desestabilización de la asociación eclogítica durante la exhumación, en respuesta a la hidratación del sistema.

La lámina 64 representa el punto culminante de la trayectoria metamórfica. La coexistencia de granate, onfacita, clinopiroxeno, ortopiroxeno y rutilo define condiciones extremas de presión y temperatura, situadas en el campo de las eclogitas de alta temperatura o en la zona transicional entre las facies eclogita y granulita de alta presión. Esta asociación mineral sugiere un máximo térmico alcanzado a profundidades considerables, probablemente en relación con un episodio de enterramiento profundo seguido de calentamiento durante la permanencia en niveles inferiores de la litosfera.

La trayectoria P–T reconstruida describe un camino metamórfico horario (clockwise P–T path), caracterizado por un incremento inicial simultáneo de presión y temperatura, seguido por un aumento térmico continuado durante o tras el máximo de presión. Este tipo de trayectoria es característico de contextos geodinámicos convergentes, en particular de cinturones orogénicos asociados a subducción continental o colisión, donde el enterramiento rápido es seguido por calentamiento conductivo en profundidad. La evolución retrógrada queda reflejada en la formación de hornblenda secundaria en la lámina 7 y en la saussuritización de la plagioclasa en la lámina 1, procesos ambos relacionados con la infiltración de fluidos durante la descompresión y el enfriamiento. Estos rasgos evidencian un reequilibrio parcial de las asociaciones de pico metamórfico, sin obliterar completamente la mineralogía prograda. El diagrama P–T sintetiza una evolución metamórfica policíclica y progresiva, desde condiciones de bajo grado hasta facies eclogita de alta temperatura, seguida de una retrogradación parcial durante la exhumación. Esta trayectoria es coherente con la evolución de una secuencia máfica implicada en un contexto tectónico de convergencia, enterramiento profundo y posterior retorno hacia niveles corticales superiores.

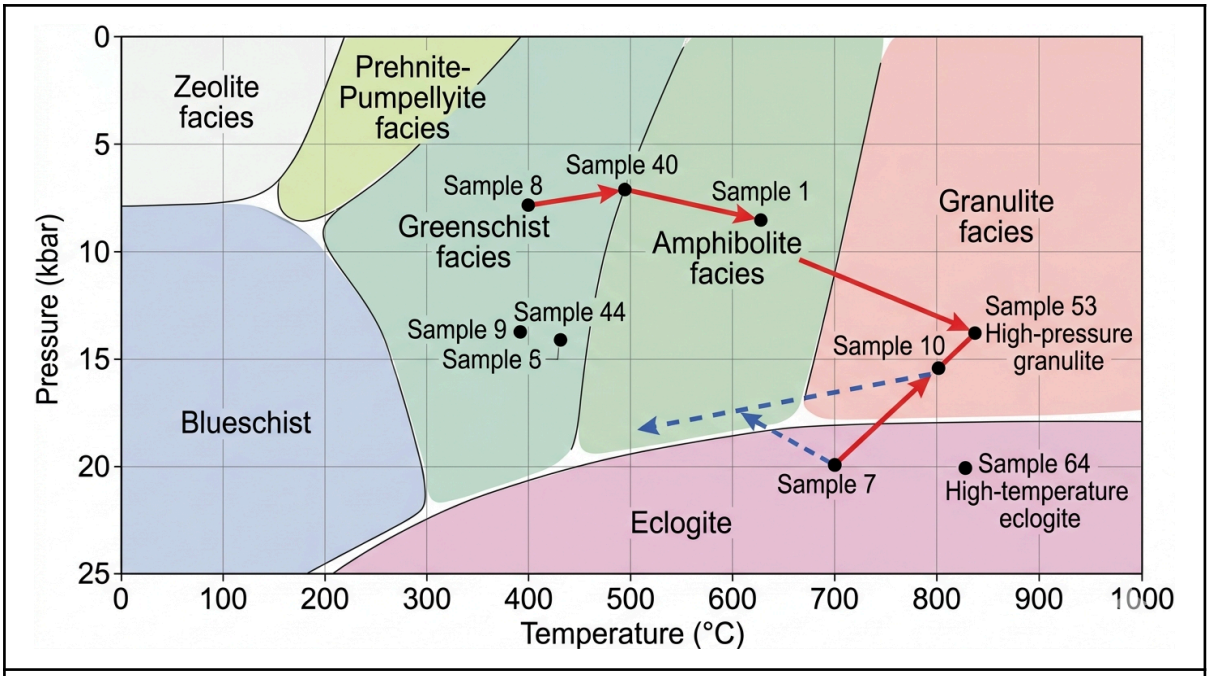


Figura 1. Diagrama presión–temperatura (P–T) de facies metamórficas para protolitos básicos, mostrando la distribución de las muestras estudiadas en función de sus paragénesis minerales. Se representan los campos de estabilidad de las principales facies metamórficas de metabasitas (esquistos verdes, anfibolita, granulita, esquistos azules y eclogita), así como la trayectoria metamórfica prograda inferida para la serie de muestras 8 → 40 → 1 → 53 → 7 → 64. Esta trayectoria refleja una evolución desde condiciones de bajo grado hasta metamorfismo de alta presión y alta temperatura. La flecha discontinua indica la evolución retrógrada asociada a la exhumación, evidenciada por procesos de hidratación y reequilibrio mineral.

Bibliografía

Abbott, R. N., Jr. (1982). A petrogenetic grid for medium- and high-grade metabasites. *American Mineralogist, 67*(9–10), 865–876.

Eskola, P. (1920). The mineral facies of rocks. *Norsk Geologisk Tidsskrift, 6*, 143–194.

Miyashiro, A. (1961). Evolution of metamorphic belts. *Journal of Petrology, 2*(3), 277–311. https://doi.org/10.1093/petrology/2.3.277

Miyashiro, A. (1973). *Metamorphism and metamorphic belts*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-6836-6

Philpotts, A. R., & Ague, J. J. (2009). *Principles of igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Spear, F. S. (1993). *Metamorphic phase equilibria and pressure–temperature–time paths*. Mineralogical Society of America.

Turner, F. J. (1981). *Metamorphic petrology: Mineralogical, field, and tectonic aspects* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Winkler, H. G. F. (1979). *Petrogenesis of metamorphic rocks* (5th ed.). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4215-2

Winter, J. D. (2010). *Principles of igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). Pearson Education.

Yardley, B. W. D. (1989). *An introduction to metamorphic petrology*. Longman Scientific & Technical.