



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

EVOLUCIÓN MAGMÁTICA DEL  
DISTRITO MINERO  
“GUERRERO GOLD BELT”, GUERRERO, MÉXICO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADA EN  
CIENCIAS DE LA TIERRA**

P R E S E N T A :

**KATHIA GARCÍA DELGADO**

Director de tesis

**DR. GILLES PIERRE RENE LEVRESSE**



Querétaro, Santiago de Querétaro, México (UMDI-FCJ)

2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**1. Datos del alumno**

García  
Delgado  
Kathia  
4425953595  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
418003097

**2. Datos del tutor**

Dr.  
Levresse  
Gilles Pierre Rene

**3. Datos del sinodal 1**

Dra.  
Orozco  
Esquivel  
Teresa

**4. Datos del sinodal 2**

Dra.  
Montoya  
Lopera  
Paula Andrea

**5. Datos del sinodal 3**

Dr.  
Maldonado  
Villanueva  
Roberto

**6. Datos del sinodal 4**

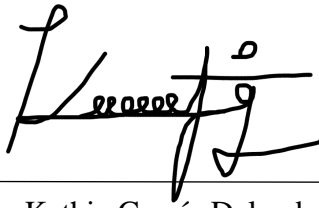
Dr.  
Becerra  
Torres  
Eduardo

**7. Datos del trabajo escrito**

Evolución magmática del  
distrito minero “Guerrero Gold Belt”, Guerrero, México  
132 pp.  
2023

## **DECLARACIÓN DE ÉTICA ACADÉMICA**

“Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidades ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de, o referencias a la obra de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales”.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kathia García Delgado', written over a horizontal line.

Kathia García Delgado



## **DEDICATORIA**

A mis padres, Alfonso García y Catalina Delgado...porque sin  
ustedes nada de esto sería posible.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente al Dr. Gilles Levresse, por el gran apoyo que me brindó desde el primer instante que aceptó la asesoría para este proyecto, apoyo que nunca había recibido de esta manera dentro de la institución por parte de un Doctor. Le agradezco por su disponibilidad, constante asesoría, paciencia, orientación, el valioso conocimiento brindado y por ayudar a que esta experiencia que implica hacer una tesis fuera grandiosa.

A la Dra. Paula Montoya Lopera, por el apoyo, asesoría y el conocimiento brindado en campo y dentro del laboratorio. Al Dr. Nicolas Landón del Pozo y al equipo de exploración de Media Luna por su disposición y apoyo para poder llevar a cabo el proyecto.

Al Dr. Carlos Ortega por su orientación en la realización de los fechamientos U-Pb, a Juan Vázquez y Oscar Aguilar por la elaboración de todas las láminas que fueron utilizadas para la tesis, a la Dra. Noemi Salazar por su apoyo en la realización de los análisis de microsonda.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Centro de Geociencias, de la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de formarme profesional y personalmente.

Agradezco con el corazón a mi familia, especialmente a mis tíos, por siempre impulsarme a seguir adelante, por el enorme apoyo que me brindan siempre, por ser para mí un gran ejemplo a seguir y por hacer de mí una mejor persona en todos los aspectos, tanto personales como académicos.

Finalmente, pero no menos importante, también agradezco de corazón a todos mis amigos que me acompañaron en todo este proceso e hicieron que todo fuera más ameno, por los ánimos, por escucharme y ayudarme a seguir adelante en aquellos momentos que sentía que todo colapsaba, sin ustedes esto hubiera sido más difícil de llevar a cabo.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVOS GENERALES .....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
3. ANTECEDENTES .....	6
3.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA SIERRA MADRE DEL SUR (SMS).....	6
3.2 GEOLOGÍA LOCAL .....	9
4. METODOLOGÍA .....	13
4.1 TRABAJO DE CAMPO .....	13
4.2 PETROGRAFÍA DE SECCIONES DELGADAS.....	14
4.3 MICROSONDA ELECTRÓNICA.....	14
4.4 GEOCROLOGÍA U-Pb EN CIRCÓN .....	16
4.4.1 SEPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CIRCÓN.....	16
4.4.2 GEOCROLOGÍA U-Pb.....	17
4.5 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA .....	18
5. RESULTADOS.....	20
5.1 PETROGRAFÍA .....	20
5.2 QUÍMICA MINERAL.....	32
5.2.1 QUÍMICA DE PLAGIOCLASA .....	32
5.2.2 QUÍMICA DE ANFÍBOL .....	34
5.2.3 QUÍMICA DE BIOTITA.....	37
5.3 GEOCROLOGÍA U-Pb DE CIRCÓN .....	39
5.4 GEOQUÍMICA DE CIRCÓN.....	48
5.5 TERMOBAROMETRÍA.....	51
5.5.1 TERMOMETRÍA Ti EN CIRCÓN.....	51
5.5.2 TERMOBAROMETRÍA EN BIOTITA Y ANFÍBOL .....	55
5.6 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL .....	61
5.6.1 ELEMENTOS MAYORES .....	62
5.6.2 ELEMENTOS TRAZA.....	65
6. DISCUSIÓN.....	69

<b>6.1 CUADRO GEOCRONOLÓGICO DEL DISTRITO MINERO DE MEDIA LUNA- EL LIMÓN.....</b>	<b>67</b>
<b>6.2 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA MAGMÁTICO .....</b>	<b>71</b>
<b>7. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO A. PETROGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO B. QUÍMICA MINERAL.....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO C. GEOCRONOLOGÍA U-Pb EN CIRCÓN.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO D. GEOQUÍMICA DE CIRCÓN .....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO E. GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL .....</b>	<b>131</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de ubicación geográfica del distrito minero de Media Luna en el estado de Guerrero, México y su relación geográfica con el “Cinturón de Oro de Guerrero (COG)”. En el insertado se observa la posición de los diferentes bloques corticales que conforman al estado de Guerrero. Modificado de (Burisch et. al, 2022) ..... 8
- Figura 2.** Mapa geológico del distrito minero de Media Luna. Se evidencian los límites del proyecto minero y la posición de las muestras recolectadas. Modificado de informes no publicados de la empresa minera Torex. .... 9
- Figura 3.** Sección estratigráfica del Distrito minero de Media Luna. Obtenido de Burisch et. al (2022). .... 12
- Figura 4.** Microfotografías de la muestra V2201. (A) Pórfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo, embebidos en matriz subafanítica. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Fenocristal de anfíbol con textura de rea reabsorción. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristales secundarios de calcita en forma de veta. Tomada en Nx., objetivo 10x. (D) Exosolución óxido de hierro y titanio. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. Abreviaturas: Anf.=Anfíbol, Qtz.=Cuarzo, Pla.=Plagioclasa, Cal.=Calcita, Tiox.=Óxido de titanio, Feox.=Óxido de hierro, Nx.=Nicoles cruzados. .... 21
- Figura 5.** Microfotografías de la muestra V2202 (A) Pórfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbol, embebidos en matriz subafanítica/criptocristalina. Tomada en Nx, objetivo 5x. (B) Inclusiones de titanita en cristal de plagioclasa. Tomada en Nx, Objetivo 10x. (C) Cristal de anfíbol con macla simple y textura esqueletal. Tomada en Nx, objetivo 10x. (D) Exosolución de Óxido de hierro y titanio. Tomada con SEM, 200 um. Abreviaturas: Anf. =Anfíbol, Qtz. =Cuarzo, Pla. =Plagioclasa, Biot.=Biotita, Tt= Titanita, Fe-Tiox.= Óxido de hierro y titanio, Nx.= Nicles cruzados. .... 22
- Figura 6.** Microfotografías de la muestra Q2201. (A) Pórfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, muscovita y cuarzo, embebidos en matriz subafanítica/microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Fenocristal de muscovita con alteración moderada a sericita. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Mineral secundario de calcita. Tomada en Nx., objetivo 10x. (D) Crsital accesorio de pirita. Tomada con SEM 50 um. Abreviaturas: Qtz. =Cuarzo, Pla. =Plagioclasa, Musc.=Muscovita, Cal.=Calcita, Pyr.= Pirita, Ser.=Sericita, Nx.=Nicoles cruzados ..... 23
- Figura 7.** Microfotografías de la muestra Q2202. (A) Pòrfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol, embebidos en matriz subafanítica. Tomada en Nx, objetivo 5x. (B) Fenocristal de anfíbol con textura esqueletal. Tomada en Nx, objetivo 10x. (C) Cristales accesorios de pirita pervasiva en matriz. Tomada en Nx., Objetivo 10x. (D) Cristales accesorios de pirita. Tomada con SEM 30 um. Abreviaturas: Pla.= Plagioclasa, Biot.= Biotita, Anf.=Anfíbol, Ser.=Sericita, Pyr.=Pirita, Nx.=Nicoles cruzados. .... 24
- Figura 8.** Microfotografías de la muestra T2201. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo fuertemente alterados, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Vetilla rellena con cristales de calcita

secundaria. Tomada en Nx., Objetivo 10x. (C) Óxido de hierro pervasivo en matriz y fenocristales. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot.= Biotita, Anf.=Anfíbol, Cal.=Calcita, Feox.= Óxido de hierro, Nx.=Nicoles cruzados.

..... 25

**Figura 9.** Microfotografías de la muestra T2202. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa y biotita, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en nicoles cruzados, objetivo 5x. (B) Fenocristal de biotita con textura de reabsorción y quiebre kink. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristal secundario de calcita en forma de veta. Tomada en Nx, objetivo 10x. (D) Óxidos de Fe-Ti. Tomada con SEM 30 um. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot.= Biotita, Cal.=Calcita,FeO.= Óxido de hierro,TiO.=Óxido de titanio Nx.=Nicoles cruzados..... 26

**Figura 10.** Microfotografías de la muestra E2201. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Fenocristal de plagioclasa con textura poikilitica de biotita. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristales de piritita pervasiva en matriz. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. (D) Cristal de piritita. Tomada con SEM, 30 um. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot.= Biotita, Qtz.= Cuarzo, Pyr.= Pirit, Nx.=Nicoles cruzados. .... 27

**Figura 11.** Microfotografías de la muestra E2202. A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Cristales de piritita pervasiva en textura cedazo de biotita y matriz. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. (C) Inclusiones de cristales de circón, piritita y apatito en fenocristal de biotita. Tomada con SEM, 100 um. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot.= Biotita, Qtz.= Cuarzo, Pyr.= Piritita, Circ.= Circón, Apa.=Apatito, Nx.=Nicoles cruzados.. 28

**Figura 12.** Microfotografías de la muestra EN2201. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y calcita secundaria, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Cristal de titanita. Tomada en Nx., , objetivo 10x. (C) Óxido de hierro en matriz y en textura cedazo de biotita. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. (D) Cristal de Óxido de hierro. Tomada con SEM, 10 um. Abreviaturas: Pla.= Plagioclasa, Biot.= Biotita, Qtz.= Cuarzo, Cal.=Calcita, Tt=Titanita, Feox.=Óxido de hierro, Tiox= Óxido de titanio., Nx.=Nicoles cruzados..... 29

**Figura 13.** Microfotografías de la muestra UKN-2112. (A) Se observa textura holocristalina con cristales de plagioclasa, cuarzo, biotita, anfíbol y cristal accesorio de circón. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Cristal de biotita con inclusiones de circón. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristal de anfíbol con macla simple. Tomada en Nx., objetivo 10x. (D) Cristal de plagioclasa con zoneamiento oscilatorio normal. Tomada con Nx., objetivo 10x. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Qtz. = Cuarzo, Zr. =Circón, Nx. =Nicoles cruzados..... 30

**Figura 14.** Microfotografías representativas de la mineralogía de los intrusivos granodioríticos de “El limón”. Se observa textura holocristalina compuestas por una mineralogía de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita. (A) Muestra MLO226617. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Muestra MLO22621. Tomada en Nx., objetivo 5x. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Qtz. = Cuarzo, Anf. =Anfíbol, Ser. =Sericita, Nx. =Nicoles cruzados..... 31

<b>Figura 15.</b> Diagramas ternarios de clasificación de feldespatos de las cinco muestras colectadas en el presente estudio y los granitos de las áreas productivas (Filos-ML). Diagrama ternario tomado de (Griem W., 2016).....	33
<b>Figura 16.</b> Diagrama de clasificación de anfíbol para $(Na + K)^A < 0.5$ y $(Na + K)^A > 0.5$ , según Leake et al. (1997).....	36
<b>Figura 17.</b> Diagramas de composición química de la biotita de las intrusiones porfídicas (Q, T, E, V, EN) y granodioríticas (F, ML) del distrito minero de Media Luna- El Limón. (A) Diagrama ternario $TiO_2 - (FeO + MnO) - MgO$ según Nachit et al., (2005). (B) Diagrama $Fe / (Fe + Mg)$ vs. Al (átomos por unidad de fórmula, apfu). Clasificación de biotitas según Rieder et. al (1998).....	38
<b>Figura 18.</b> Imágenes de catodoluminiscencia obtenidas para las cinco áreas de intrusivos muestreados.....	40
<b>Figura 19.</b> Análisis de U-Pb obtenidos de los zircones de la muestra V2202, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zircones analizados y la edad $^{206}Pb/^{238}U$ media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra. ....	41
<b>Figura 20.</b> Análisis de U-Pb obtenidos de los zircones de la muestra Q2202, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zircones analizados y la edad $^{206}Pb/^{238}U$ media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra. ....	43
<b>Figura 21.</b> Análisis de U-Pb obtenidos de los zircones de la muestra T2202, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zircones analizados y la edad $^{206}Pb/^{238}U$ media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra. ....	44
<b>Figura 22.</b> Análisis de U-Pb obtenidos de los zircones de la muestra E2201, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zircones analizados y la edad $^{206}Pb/^{238}U$ media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra. ....	46
<b>Figura 23.</b> Análisis de U-Pb obtenidos de los zircones de la muestra EN2201, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zircones analizados y la edad $^{206}Pb/^{238}U$ media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul	

fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra. ....	47
<b>Figura 24.</b> Diagramas de elementos de las tierras raras (REE) normalizados en la composición condritica de Sun y McDonough (1989), donde se observan el enriquecimiento en tierras raras ligeras, las anomalías marcadas de Ce positivas y negativas Pr.....	48
<b>Figura 25.</b> Concentraciones de $(Sm/La)_N$ vs. La (ppm) para distinguir entre los circones magmáticos y los circones hidrotermales. Valores normalizados de Sun y McDonough (1989). Campos de circones magmáticos (borde negro) e hidrotermales (borde rojo), obtenidos de Zhang et al. (2022)..	49
<b>Figura 26.</b> A) Concentraciones de Hf en circones frente a U/Yb. B) Diagrama de discriminación $Eu/Eu^*$ versus $Ce/Ce^*$ . Circones magmáticos (borde negro), Circones hidrotermales (borde rojo). Campos obtenidos de Gardinier et al (2017).....	50
<b>Figura 27.</b> Diagrama de concentraciones de Ti en circón vs. concentraciones de Hf. Temperaturas Ti en circón calculadas utilizando $\alpha TiO_2 = 0,6$ y $0,7$ , y $\alpha SiO_2 = 1$ (Ferry y Watson et al., 2007). Circón magmático (borde negro), circón hidrotermal (borde rojo) ...	52
<b>Figura 28.</b> Diagrama $Na_2O/K_2O$ vs $Na_2O+K_2O$ para separar roca fresca de roca alterada, Miyashiro (1975) .....	61
<b>Figura 29.</b> Gráficos de clasificación geoquímica. <b>A)</b> Diagrama MALI propuesto por Frost (2001) y Frost y Frost (2008) <b>B)</b> Diagrama AFM para los pórfidos muestreados según (Irvine y Baragar, 1971). <b>C)</b> Diagrama $Na_2O+K_2O-SiO_2$ discriminando entre series alcalinas y subalcalinas. Línea divisoria basada en Irvine y Baragar (1971). <b>D)</b> Diagrama de índice de saturación de alúmina según Maniar y Piccoli (1989). <b>E)</b> Diagrama de clasificación según el índice $Fe [FeO/(FeO+MgO)]$ contra $SiO_2$ propuesto por Frost et al. (2008). <b>F)</b> Diagrama de clasificación de series subalcalinas según Peccerillo y Taylor (1976) .....	63
<b>Figura 30.</b> Diagramas de variación multielemental tipo Harker para los elementos mayores de las cinco muestras analizadas. Concentración de $SiO_2$ en % como índice de diferenciación. ....	64
<b>Figura 31.</b> Diagramas bivariados tipo Harker para elementos traza respecto al contenido de $SiO_2$ que presentan ligeras variaciones de acuerdo con las zonas de muestreo. Elementos traza expresados en partes por millón (ppm) .....	66
<b>Figura 32.</b> Diagramas de elementos traza de los porfidos de Esperanza, Querunque, Tecate, Victoria y Encenera. A) Diagrama multielemental. Analisis normalizados a valores del manto primitivo de Sun y McDonough (1989). B) Diagrama de tierras raras REE . Analisis normalizados a valores de la condrita de Sun y McDonough (1989).....	67
<b>Figura 33.</b> Diagrama de discriminación geotectónica de Pearce et. al (1984). ....	68
<b>Figura 34.</b> Relación Sr/Y vs Y que ilustra la afinidad adakítica en los magmas según Thiéblemont et al. (1997), las estrellas corresponden a los pórfidos muestreados en el presente estudio. La zona gris corresponde a las granodioritas del COG (González Partida et al., 2003) .....	68
<b>Figura 35.</b> A) Resumen de los datos geocronológicos del distrito Morelos ordenados por la posición geográfica (N-S) de los intrusivos B) Edades obtenidas por los métodos geocronológicos a partir de granates y molibdenita en la mineralización asociada a los	



distintos distritos mineros. Modificado de Burisch et. al (2022) y referencias citadas.....	70
<b>Figura 36.</b> Ratios Eu/Eu* y (Ce/Nd)/Y vs. edad U/Pb que evidencian los eventos de máxima hidratación y los estados redox extremos.....	72
<b>Figura 37.</b> Variaciones Sr/Y vs Sm/Yb de los pórfidos cinco muestreados en el presente estudio y de las granodioritas del distrito minero de Media Luna-Filos (ML-F). Cpx=clinopiroxeno, am=anfíbol, gt=granate. Campos obtenidos de (Mamani et al., 2010)..	73
<b>Figura 38.</b> Termobarometría en anfíbol y biotita de los cinco pórfidos muestreados. Se presentan las variaciones de presión y temperatura de los granitos mineralizados. Rangos de presión y temperatura en biotita calculados con la calibración de Uchida et. al (2007). Rango de temperatura y presión en anfíbol determinado con el geotermómetro de Mutch et al. (2016) .....	75
<b>Figura 39.</b> Esquema sintético de la evolución de los sistemas magmáticos en el distrito minero de Media Luna - El Limón durante el Paleoceno (66-64 Ma) ML: Media Luna; E: Esperanza; V: Victoria; Q: Querenqueue; T: Tecate.....	77
<b>Figura 40.</b> Fotografía muestra de mano obtenida en campo.....	92
<b>Figura 41.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	92
<b>Figura 42.</b> Microfotografías de la muestra V2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo en matriz subafanítica con sericitización y cristales de menor tamaño de anfíbol. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Anf. =anfíbol, Ser. =sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x .....	93
<b>Figura 43.</b> Fotografía muestra de mano obtenida en campo. ....	95
<b>Figura 44.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	95
<b>Figura 45.</b> Microfotografías de la muestra V2202. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotita y cuarzo en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Anf. =anfíbol, Biot. =biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paraleos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x .....	96
<b>Figura 46.</b> Fotografía muestra de mano obtenida en campo. ....	98
<b>Figura 47.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa con zoneamiento y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	98
<b>Figura 48.</b> Microfotografías de la muestra Q2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, muscovita y cuarzo en matriz subafanítica/microcristalina con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Musl. = muscovita, Qtz. = Cuarzo, Ser. =sericita, NP= nicoles paraleos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x..	99
<b>Figura 49.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	101

<b>Figura 50.</b> Microfotografías de la muestra Q2202. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Anf. =anfíbol, Bt.=biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paraleos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x.....	102
<b>Figura 51.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada. ....	104
<b>Figura 52.</b> Microfotografías de la muestra T2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo con alteración fuerte en matriz microcristalina. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Bt.=biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paraleos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x.....	105
<b>Figura 53.</b> Fotografía muestra de mano obtenida en campo. ....	107
<b>Figura 54.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	107
<b>Figura 55.</b> Microfotografías de la muestra T2202. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa y biotita en matriz microcristalina con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Biot.=biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paraleos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x.....	108
<b>Figura 56.</b> Fotografía muestra de mano obtenida en campo.....	110
<b>Figura 57.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	110
<b>Figura 58.</b> Microfotografías de la muestra E2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Biot.=biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paraleos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x .....	111
<b>Figura 59.</b> Fotografía muestra de mano obtenida en campo. ....	113
<b>Figura 60.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	113
<b>Figura 61.</b> Microfotografías de la muestra E2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotita y cuarzo en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Anf. =anfíbol, Bt.=biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paraleos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x .....	114
<b>Figura 62.</b> Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea. ....	116
<b>Figura 63.</b> Microfotografías de la muestra EN2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, biotita, cuarzo y calcita en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Biot. = biotita, Ser. = sericita, Cal.=calciat, NP= nicoles paraleos, NX= nicoles cruzados. Objetivo 10x.....	117

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Microanálisis representativos de los cristales de plagioclasa obtenidos por microsonda electrónica.....	32
<b>Tabla 2.</b> Microanálisis representativos de los cristales de anfíbol obtenidos por microsonda electrónica.....	34
<b>Tabla 3.</b> Microanálisis representativos de los cristales de biotita obtenidos por microsonda electrónica.....	37
<b>Tabla 4.</b> Localización y edades U-Pb en circón de las cinco muestras fechadas.....	39
<b>Tabla 5.</b> Resumen de los valores termométricos calculados para los cristales de circón por ablación láser.....	51
<b>Tabla 6.</b> Resumen de los valores termobarométricos calculados para los cristales de biotita y anfíbol por microsonda electrónica.....	55
<b>Tabla 7.</b> Localización y clasificación del tipo de roca de acuerdo con los análisis geoquímicos y estudio petrográfico.....	62

## RESUMEN

El distrito minero de Media Luna - El Limón se ubica en el Cinturón de Oro de Guerrero (COG, o GGB por sus siglas en inglés), en el Estado de Guerrero, México. El COG es uno de los cinturones de mineralización de oro más importantes de México con reservas de más de ca. 10 Moz. de oro. En cuanto al distrito minero de Media Luna – El Limón, este se caracteriza por albergar un conjunto de depósitos minerales de tipo skarn ricos en Fe/Au, (El Limón, Filos, Mezcala, Paula y próximamente Media Luna). En la actualidad, la mayoría de los estudios sobre el COG relacionan diferentes estilos de mineralización Au-Ag±Cu como una variación del desarrollo de un único evento de tipo skarn relacionado con el emplazamiento de una granodiorita de edad Paleoceno (ca. 68-63 Ma; En los distritos mineros de: Nukay, Filos, Bermejil, Limón y Ana Paula). La exploración y desarrollo del sitio minero de Media Luna y de las áreas circundante a las áreas mineralizadas de El Limón evidenciaron la existencia de uno o varios eventos magmáticos subvolcánicos sincrónicos al evento de mineralización sin evidencia de mineralización asociada y de uno o varios eventos mineralizados puntuales ricos en Cu, Zn, Ag, entre otros. El objetivo principal de este estudio es el de relacionar cronológicamente los diferentes tipos de intrusivos subvolcánicos/granodioríticos entre sí y así poder determinar si ambos comparten una misma dinámica de emplazamiento y su potencial relación a los eventos de mineralización. Los intrusivos muestreados se clasificaron por su química de roca total y petrografía como pórfidos andesíticos y dacíticos. Presentan edades que van de 63 a 66 Ma y una misma química de elementos mayores y traza con los granitos mineralizados del COG. El ambiente geotectónico determinado a través de la geoquímica es de arco volcánico con afinidad adakítica. La falta de mineralización en los pórfidos muestreados podría estar controlada por la ocurrencia de distintas etapas de almacenamiento del magma a diferentes niveles de la corteza durante el ascenso de este que generó este tipo de rocas. Mientras que los granitos mineralizados se caracterizan por ser generados a partir de un emplazamiento directo, a niveles más someros, de un magma menos denso y más rico en volátiles y metales.

**Palabras clave:** Cinturón de oro de Guerrero, Intrusivo, Pórfido, Almacenamiento del magma, Paleoceno, Adakita.

## ABSTRACT

The Media Luna-El Limón mining district is located in the Guerrero Gold Belt (GGB), in the State of Guerrero, Mexico. The GGB is one of the most important gold mineralization belts in Mexico with reserves of more than ca. 10 Moz. gold. The mining district of Media Luna - El Limón, is characterized by hosting a set of skarn-type mineral deposits rich in Fe/Au: El limón, Filo, Mezcala, Ana Paula and soon Media Luna. At present, most of the studies on the GGB relate different styles of Au-Ag/Cu mineralizations as a variation of the development of a single skarn type, related to the emplacement of a Paleocene granodiorite (ca. 68-63 Ma; At the mining districts of: Nukay, Filo, Bermejil, Limón and Ana Paula). The exploration and development of the Media Luna area and the areas surrounding the mineralized areas of El Limón evidenced the existence of one or several subsequent subvolcanic magmatic events without evidence of associated mineralization and one or several punctual mineralized events rich in Cu, Zn, Ag, among others. The main objective of this study is to chronologically relate the different types of subvolcanic/granodioritic intrusives with each other and be able to determine if both share the same emplacement dynamics and their potential relationship to mineralization events. The sampled intrusives were classified by their whole rock chemistry and petrography as dacitic and andesitic porphyry. They present ages ranging from 63 to 66 Ma. and the same chemistry as the GGB mineralized granites. The geotectonic environment determined through geochemistry is a volcanic arc with adakitic affinity. The lack of mineralization in the sampled porphyries could have been controlled by the occurrence of different stages of magma plumbing during the ascent of the magma that generated this type of rock. While mineralized granites are characterized by being generated from a direct emplacement, at shallower levels, from a less dense magma richer in volatiles and metals.

**Keywords:** Guerrero Gold Belt, Intrusive, Porphyry, Magma plumbing, Paleocene, Adakite.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los márgenes convergentes son las regiones donde se forma y se diferencia la mayor parte de la corteza continental, por la producción de magma durante la subducción de la corteza oceánica y la tectónica posterior a la colisión (Decelles et al., 2009; Schellart y Rawlinson, 2010).

Las rocas intrusivas magmáticas brindan pistas importantes sobre la participación progresiva del manto litosférico, la participación de la cuña del manto de subducción en la génesis del magma, el crecimiento y fusión de la corteza continental (Ducea et al., 2015; Hürlimann et al., 2016).

El enfriamiento de los cuerpos ígneos se consideraba tradicionalmente como un proceso único, similar a la solidificación de “un gran reservorio” (Menand, 2011). Esta hipótesis sugería que el magma se enfría monótonamente y cristaliza después del emplazamiento, y el líquido residual se va diferenciando con el tiempo. Sin embargo, evidencias geológicas, cronológicas y modelos teóricos han llevado a una mejor comprensión, más dinámica, de la construcción de plutones (Michel et al., 2008). Ahora se acepta que las grandes intrusiones ígneas se ensamblan gradualmente a través de repetidas inyecciones de magma (Annen et al., 2015) y eventualmente se acumulan hasta formar batolitos durante largos períodos de tiempo. Se ha propuesto que las escalas de tiempo de la construcción de plutones varían de cientos a millones de años (Chelle-Michou y Rottier, 2022). La inyección de magma es comparable al crecimiento de edificios volcánicos.

Los procesos evolutivos magmáticos relacionados con la mineralización, en particular la generación del fundido, la cristalización fraccionada del magma, la asimilación/contaminación de formaciones profundas y someras, la disolución de fluidos ricos en volátiles y la interacción fluido-roca, desempeñan un papel fundamental en la concentración y precipitación de varios metales en depósitos minerales hidrotermales de alta temperatura (Meinert et al., 2005; Leach et al., 2010; William-Jones et al., 2010).

Los principales recursos de oro del cinturón de Guerrero (COG) son estimados a más de 30 Moz. de oro (Davidson et al., 2022). El COG se extiende más de 35 km en dirección noroeste-sureste (Meza-Figueroa et al., 2003) en la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero, México. Las anomalías mineralizadas se encuentran relacionadas con skarns ricos en magnetita o pirrotita con una cantidad significativa de oro y leyes de plata, así como, en algunos casos, mineralización económica de cobre. Los intrusivos que forman los skarns se emplazan dentro de la secuencia carbonatada de la plataforma Morelos y representan la expresión magmática del desarrollo del arco magmático Laramide. El arco Larámide resultó de la subducción Cretácica- Eocena de la placa Farallón debajo de la placa de América del Norte (Martini y Ortega-Gutiérrez, 2016).

La literatura disponible sobre el COG se enfoca principalmente en descripciones mineralógicas y químicas de los skarns de Nukay, Los Filos y Bermejil (De la Garza et al., 1996; Jones y Jackson, 1999) y la geocronología de las intrusiones asociadas (Meza-Figueroa et al., 2003; Levresse et al., 2004). No se tomó en cuenta, hasta la fecha, las intrusiones que no presentan evidencias de mineralización asociadas y tampoco se definió cuáles podrían ser sus interacciones con las áreas mineralizadas.

En este proyecto realizamos un estudio petrográfico detallado, de geoquímica elementos mayores y trazas de rocas total y edades U/Pb, con la finalidad de establecer una secuencia cronológica de emplazamientos de las intrusiones magmáticas, e ilustrar la evolución química de los magmas y en su caso sus relaciones con los eventos de fertilidad en el distrito de Media Luna, Guerrero, México.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GENERALES**

- Estudiar la evolución magmática de los pulsos magmáticos mineralizados y no mineralizados en el Distrito Minero Media Luna-El Limón.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterización petrográfica detallada de las diferentes intrusiones magmáticas no mineralizadas y de los intrusivos de la zona productiva de la mina El Limón.
- Generar una caracterización de las texturas presentes y del grado de hidratación de los diferentes eventos a partir del conjunto de minerales presentes.
- Determinar las edades de las diferentes intrusiones magmáticas no mineralizadas mediante el fechamiento de zircones por el método U/Pb.
- Conocer las condiciones de presión, temperatura e hidratación de los diferentes eventos magmáticos mineralizados y no mineralizados a partir de la química mineral (por microsonda electrónica, EMPA, de los cristales de biotita, plagioclasa y anfíbol).
- Determinar las condiciones de fertilidad de los magmas a partir de la química de circón.
- Comparar las edades, características petrográficas y químicas de las intrusiones no mineralizadas con los datos de la literatura sobre el complejo mineralizado para poder evidenciar sus posibles relaciones e interacciones.



### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA SIERRA MADRE DEL SUR (SMS)

La Sierra Madre del Sur (SMS) se caracteriza por estar conformada por un grupo de bloques corticales con una columna estratigráfica y una tectónica muy heterogénea. [Pardo y Suarez \(1995\)](#) sugieren que la SMS se desarrolló durante una época de cambios geométricos significativos, deformación dinámica de la corteza e interacción cinemática entre las placas de Farallón y América del Norte. El inicio de la formación de la SMS se relaciona con la Orogenia Larámide. Este evento se caracteriza por una deformación progresiva por acortamiento dirigido hacia el este-noreste, el cual provocó plegamientos y cabalgamientos de las secuencias sedimentarias mesozoicas de cobertura hasta la parte continental ([Campa et al., 1976](#); [Campa y Ramírez, 1979](#); [Dickinson et al., 1988](#); [Salinas-Prieto et al., 2000](#)). Posteriormente la modificación del ángulo de colisión hacia el sureste genera una deformación acomodada por fallas de desplazamiento lateral ([Cerca-Martínez, 2004](#)) que se relacionan al movimiento del Bloque de Chortís a lo largo de la trinchera actual hacia el sureste. Este desplazamiento a lo largo de la costa de México provocó que rocas que antes se encontraban alejadas de la margen continental quedaran directamente sobre la fosa recién formada ([Morán-Zenteno et al., 1999](#)). Además, el paso hacia el este del Bloque de Chortís generó la exhumación progresiva de rocas de la corteza media y la erosión por subducción de la litósfera del manto superior a lo largo del margen continental recién formado ([Morán-Zenteno et al., 1996](#); [Tolson, 1998](#)).

Posterior a estos eventos, ocurre la subducción de la placa de Guadalupe (formada por la fragmentación de la placa de Farallón) dentro los 29 y 12.5 Ma. Finalmente, desde los 12.5 Ma a la actualidad, la configuración tectónica del suroeste de México queda definida por la interacción cinemática entre las placas de Cocos y Rivera que se encuentran subduciendo a la placa norteamericana a través de la costa del pacífico de México ([Mammerickx y Klitgord, 1982](#)).

Para comprender de una mejor manera los eventos ocurridos al sur de México, autores como [Campa y Coney \(1983\)](#) y [Sedlock et al. \(1993\)](#) han dividido la SMS en distintos bloques

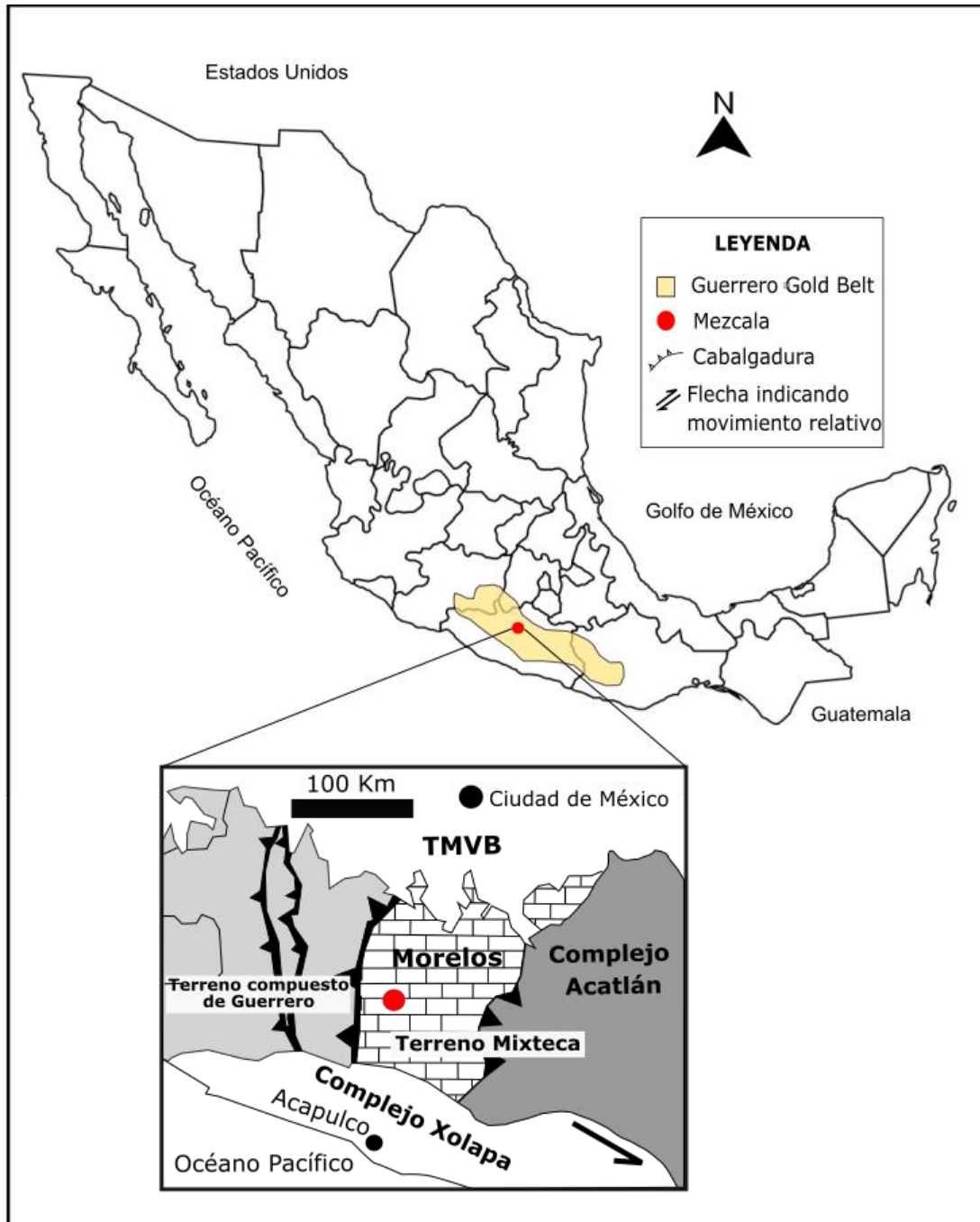
basándose en las diferencias de sus columnas estratigráficas. Estos se clasifican como terrenos tectono-estratigráficos y se delimitan a través de fallas corticales mayores. De acuerdo con la división de [Campa y Coney \(1983\)](#) la SMS está compuesta por los terrenos: Guerrero, Mixteco, Oaxaca, Xolapa y Juárez.

El terreno Mixteco consta de un basamento compuesto por rocas metamórficas del complejo Acatlán de edad Precámbrica a Pérmica ([Centeno-García et al., 2008](#); [Ortega-Gutierrez, 2018](#)), así como de una cubierta sedimentaria del Paleozoico Superior (Formación Olinalá) y del Jurásico Medio ([Salinas Prieto, 1984](#)). Una secuencia de rocas sedimentarias carbonatadas del Cretácico Inferior con más de 3000 m de espesor cubre discordantemente el terreno Mixteco y el terreno Guerrero. La secuencia sedimentaria se divide en las Formaciones Morelos, Cuautla, Mezcala y juntas forman la Plataforma Guerrero-Morelos (PGM) ([Fries, 1960](#)). Las formaciones presentan una serie de anticlinales, sinclinales y fallas asociadas con tendencia N-S que dominan el patrón estructural de la región ([Meza-Figueroa et al., 2003](#)). Dicha deformación es relacionada con la formación del Arco Larámide ([Meza-Figueroa et al., 2003](#); [Cerca et al., 2007](#); [entre otros](#)). Por último, encontramos un grupo de intrusivos de edad Paleoceno-Oligoceno que recortan las formaciones Cretácicas ([Meza-Figueroa et al., 2003](#); [Gonzalez Partida et al., 2003](#)). Los intrusivos del Paleoceno que afloran en la región se caracterizan por formar mineralización de tipo skarn ricos en Au, Fe, Cu ([Meza-Figueroa et al., 2003](#); [Burisch et al., 2022](#)). Su distribución regional cubre un área de 50 km<sup>2</sup> entre las ciudades de Chilpancingo e Iguala y al cual se le denomina “El cinturón de oro de Guerrero” (GGB por sus iniciales en inglés) ([Meza-Figueroa et al., 2003](#); [Gonzalez Partida et al., 2003](#)) (Fig. 1).

[Meza-Figueroa et al. \(2003\)](#) identifica dos eventos magmáticos intrusivos asociados a la mineralización tipo skarn de la región: uno hace entre 64.5 y 68 Ma. ('granitos Larámide' (LG)) y uno más joven hace entre 30 y 35 Ma. ('granitos del Terciario Medio' (MTG)). Las rocas expuestas al oeste del meridiano 100°W presentan edades entre el Cretácico Tardío y Eoceno, mientras que al este varían entre el Oligoceno y el Eoceno. Ambas presentan un patrón de edades decrecientes hacia el sureste ([Morán-Zenteno et al., 1999](#)).

Actualmente, de noroeste a sureste, los depósitos de skarn explotados son únicamente de edad Paleoceno, e incluyen las zonas productivas de: Ana Paula, Limón, Guajes, Media Luna,

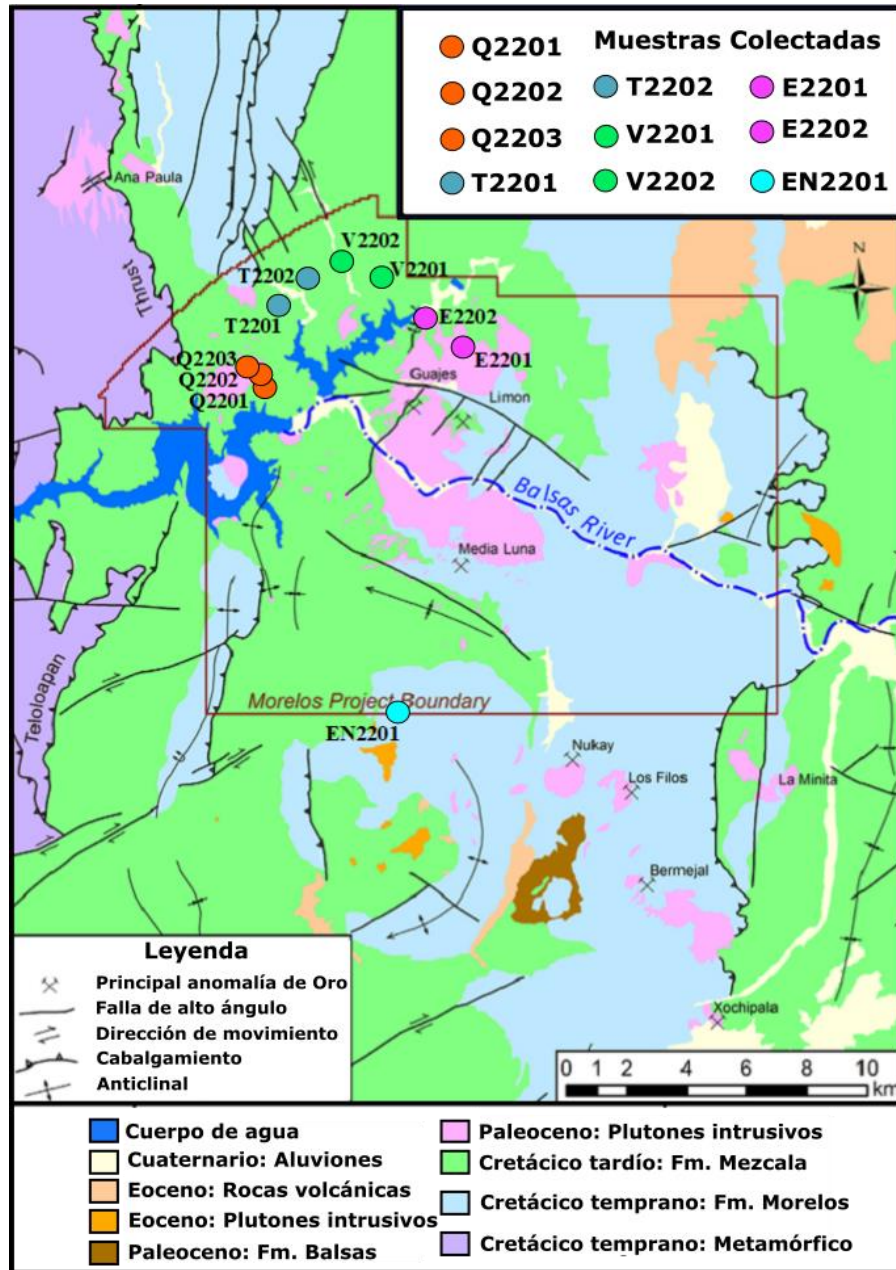
Nukay, Los Filos, Bermejil y Xochipala (Belanger, 2012; De la Garza, 1996; Jones y Jackson, 1999). Por último en la región se encuentran distribuidas rocas de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Morán-Zenteno et al., 1999).



**Figura 1.** Mapa de ubicación geográfica del Distrito Minero de Media Luna-El Limón en el estado de Guerrero, México y su relación geográfica con el “Cinturón de Oro de Guerrero (COG)”. En el insertado se observa la posición de los diferentes bloques corticales que conforman al estado de Guerrero. Modificado de (Burisch et. al, 2022)

### 3.2 GEOLOGÍA LOCAL

En el Distrito Minero de Media Luna-El Limón la columna estratigráfica es reducida, en este solo afloran rocas de la plataforma carbonatada Cretácica, conformada por las formaciones: Morelos, Cuautla y Mezcala (la Plataforma Guerrero- Morelos) e intrusivos del Paleoceno (Fig. 2 y 3).



**Figura 2.** Mapa geológico del Distrito Minero de Media Luna-El Limón. Se evidencian los límites del proyecto minero y la posición de las muestras recolectadas. Modificado de informes no publicados de la empresa minera Torex.

### ***Formación Morelos (Albiano - Cenomaniano)***

La Formación Morelos es la más antigua, con edades del Albiano al Cenomaniano (Meza-Figueroa et al., 2003). Esta formación cuenta con un espesor de aproximadamente 1570 m (Teck Resources Ltd., 2008), y está conformada por roca caliza que cambia localmente de grano fino a grano medio (González-Partida et al., 2003). De manera general, la unidad superior de la formación se compone de roca caliza gris y caliza pedernal. Dentro de las calizas se encuentran abundantes miliólidos que sugieren edades del Albiano Superior (De Cserna et al., 1980). En la parte inferior de la unidad se encuentran rocas calizas laminadas a gris masiva y rosada, contiene horizontes dolomíticos de hasta 70 m de espesor (Meza-Figueroa et al., 2003). En la parte inferior de la secuencia de calizas se encuentran rudistas que indican una edad del Albiano Medio (De Cserna et al., 1980).

### ***Formación Cuautla (Turoniano)***

La Formación Cuautla se encuentra descansando discordantemente sobre la formación Morelos. La Formación Cuautla presenta espesores variables en campo que van desde los 20 a 160 m aproximadamente. Su edad biostratigráfica es estimada del Turoniano (Cretácico Superior; De Cserna et al., 1980). La Formación Cuautla es formada por cuatro facies, un conglomerado basal y tres facies calcáreas. La primer facie calcárea se identifica por sus capas gruesas. La segunda facie presenta capas delgadas y pedernales, mientras que la tercer facie calcárea se encuentra constituida por una alternancia de calizas de grano fino y medio (González-Partida et al., 2003).

### ***Formación Mezcala (Turoniano-Maastrichiano)***

La Formación Mezcala se superpone transitoriamente a la formación Cuautla, con un rango de edad del Turoniano – Maastrichiano (Meza-Figueroa et al., 2003). Su espesor estimado en campo y por perforación minera, es estimada de 1,200 m. La Formación Mezcala se conforma por lutitas calcáreas, lutitas, calizas y areniscas de capas delgadas. De acuerdo con González-Partida et al. (2003) la formación se caracteriza por una sección basal rica en calcáreos y por el aumento de contenido terrígeno hacia la cima. A diferencia de las

Formaciones Morelos y Cuautla, las rocas sedimentarias se encuentran fuertemente deformadas en pliegues. Este plegamiento diferencial entre las unidades implica que los contactos formativos han servido como superficies de dislocación (Neff et al., 2018).

### *Intrusiones Magmáticas Cenozoicas*

Según varios estudios de los intrusivos mineralizados (Au-Cu-Fe) expuestos en el distrito, el rango de edades de cristalización van desde los ~67 a 63 Ma (Belanger, 2012; Jones y Jackson, 1999; Levresse et al., 2004; Meza-Figueroa et al., 2003). Estas intrusiones forman parte del el cinturón aurífero de Guerrero (Cerca et al., 2007). Las intrusiones del Paleoceno presentan una composición química calco-alkalina de moderado a alto contenido de potasio, con pesos de SiO<sub>2</sub> que oscilan entre 56 y 71% y con tendencias adakíticas (De la Garza et al., 1996; González-Partida et al., 2003; Meza-Figueroa et al., 2003). De los cuerpos intrusivos que afloran en el distrito de Media Luna-El Limón, la granodiorita “El Limón” es la más antigua con edades de  $66.86 \pm 0.40$  y  $65.88 \pm 0.79$  Ma (Burisch et al., 2022). Diferentes eventos de mineralizaciones asociadas a la granodiorita fueron fechados. Las vetas de molibdenita-cuarzo formadas en una etapa temprana pre-skarn que cortan los cuerpos intrusivos tienen edades de  $66.63 \pm 0.22$  y  $65.55 \pm 0.25$  Ma (Burisch et al., 2022). La etapa de skarn fue fechada directamente por método U/Pb sobre granate, arrojando edades de  $64.6 \pm 1.2$  y  $63.2 \pm 1.0$  Ma (Burisch et al., 2022). La granodiorita de El Limón y de Media Luna en particular son recortadas por una serie de diques porfídicos de edades indeterminadas (Burisch et al., 2022).

Dentro del distrito de Media Luna- El Limón no se reconocen formaciones volcánicas o intrusiones de edad Oligoceno o unidades sedimentarias que se ubican dentro del Grupo Balsas, descrito por Fries (1960) y Cerca- Martínez (2004). Su ocurrencia más cercana se encuentra 15 km al este de Media Luna, en la Cuenca Superior del Río Balsas (Cerca et al., 2007).



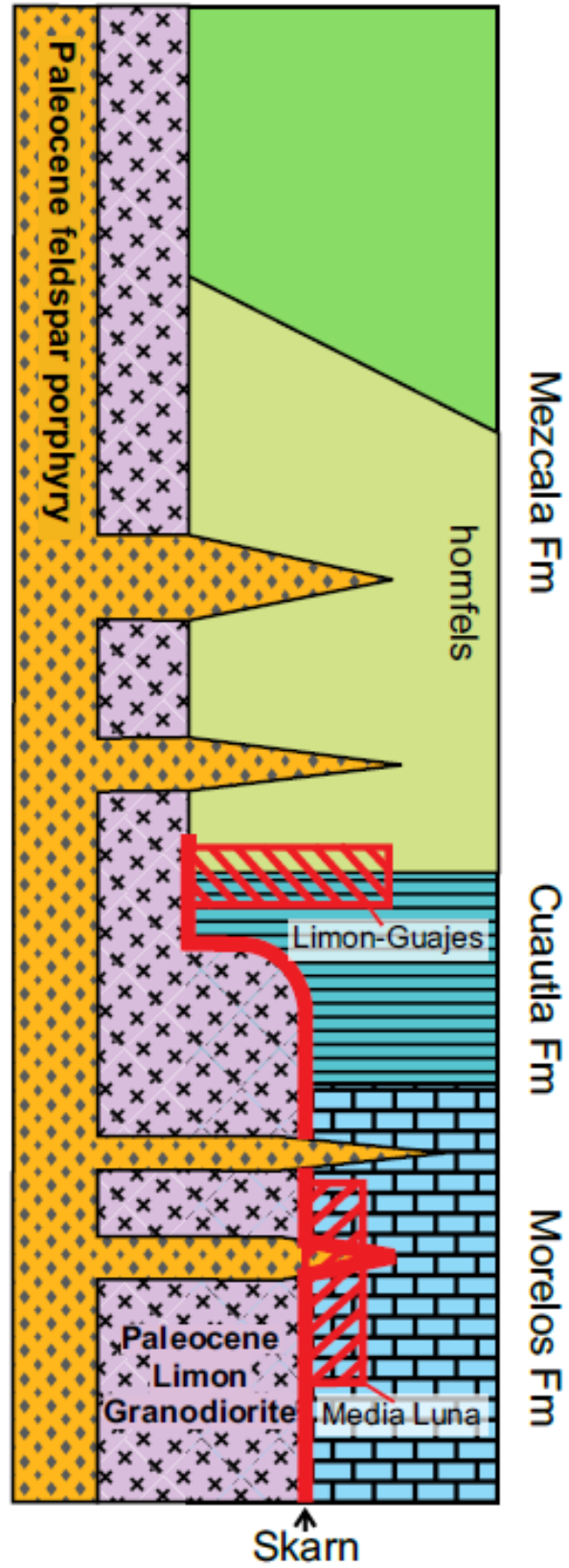


Figura 3. Sección estratigráfica del Distrito Minero de Media Luna-El Limón. Obtenido de Burisch et. al (2022).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 TRABAJO DE CAMPO

Se recolectaron un total de diez muestras de rocas intrusivas en cinco áreas circundantes a las zonas de producción de El Limón y Media Luna. La cobertura vegetal y la orografía de la zona no permite observar relaciones de cortes entre las diferentes áreas de muestreo ni con la granodiorita de Media Luna - El Limón. Las áreas de muestreo fueron seleccionadas a partir de un mapa geológico local y de las características que se conocían al momento de las rocas que afloran dentro del área y la ausencia aparente de evidencias de mineralización. Los sitios de interés seleccionados se conocen como: Querenque, Victoria, Tecate, Esperanza y Encenera. Estos intrusivos afloran en la zona circundante de la zona productiva de la mina El Limón (Fig. 2). De cada afloramiento se muestrearon más de tres porciones de roca para poder hacer los análisis correspondientes: una como testigo (muestra de mano), otra para realizar lámina delgada y una para obtener circones y realizar la geoquímica. Además, de cada estación se tomaron las coordenadas geográficas mediante GPS.

El equipo de exploración geológica Media Luna de la empresa TOREX ya había explorado con anterioridad estas cinco estaciones, por lo que con su ayuda se pudo llegar a los distintos cuerpos intrusivos anteriormente detectados. El primer día de trabajo de campo se muestrearon las áreas de: Querenque, Victoria, Tecate y Esperanza. Para llegar a estas fue necesario trasladarse en lancha desde la mina El Limón al poblado de Nuevo Balsas, Guerrero. En el primer objetivo, denominado Querenque, se colectaron un total de tres muestras distintas: Q2201, Q2202 y Q2203. Mientras que en los otros tres objetivos (Tecate, Victoria y Esperanza) se recolectaron dos muestras de cada sitio: T2201, T2202, V2201, V2202, E2201 y E2202. El segundo día de campo se realizó un recorrido a Encenera, área la cual no había sido explorada con anterioridad, por lo que el trabajo de campo consistió principalmente en la búsqueda de afloramientos intrusivos. En toda la zona explorada únicamente se logró encontrar un canto rodado de roca intrusiva (EN2201). Con el objetivo de poder comparar los datos obtenidos con las áreas de producción minera, se seleccionaron



dos muestras de la zona minera de El Limón y Los Filos para su estudio petrográfico y caracterización química de minerales; análisis que no eran disponibles en la literatura.

## **4.2 PETROGRAFÍA DE SECCIONES DELGADAS**

Se realizaron un total de 9 láminas delgadas para el análisis petrográfico. Para la obtención de estas, se seleccionaron los bloques de roca más representativos y menos alterados de las muestras. Con la ayuda de una cortadora de disco de diamante, se dejaron las muestras en bloques del tamaño de un portaobjetos (4.5x2.4 cm aprox.), para que posteriormente se desbastaran hasta obtener un grosor de  $30\ \mu\text{m}$ . Las descripciones de las láminas delgadas ([ver Anexo A](#)) se realizaron mediante el uso del microscopio óptico Olympus® BX-50, ubicado en el Laboratorio de Fluidos Corticales del Centro de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla.

## **4.3 MICROSONDA ELECTRÓNICA**

Los análisis de microsonda electrónica fueron realizados para las fases minerales de biotita, plagioclasa y anfíboles. Se analizaron un total de 426 puntos de seis láminas delgadas (Q22, V22, E22, T22,). En este caso se adjuntaron dos láminas delgadas de estudios anteriores de las granodioritas de Media Luna (ML) y de Filos (FILOS) para poder establecer comparaciones de las composiciones minerales entre los intrusivos mineralizados y no mineralizados. El análisis fue realizado en el laboratorio de Microscopía de la Escuela Nacional de Estudios Superiores unidad Morelia, con el equipo JEOL JXA-8230.

La microsonda electrónica es una técnica analítica que permite conocer de manera cuantitativa la composición elemental promedio de un cristal. Este análisis se fundamenta a partir de la generación de ondas electromagnéticas y la emisión de electrones cuando un haz de electrones incide sobre la superficie. La microsonda electrónica utiliza esencialmente los rayos X que se generan a partir de la ionización que sufren los átomos al ser bombardeados por electrones con suficiente energía, ya que en este estado un electrón de una capa más

externa que la deficitaria puede saltar a esta y rellenar el hueco dejado por el electrón expulsado. La pérdida de energía que genera el salto se traduce en la emisión de una radiación electromagnética (radiación de rayos X). Debido a que los elementos cuentan con una disposición electrónica similar, los espectros de rayos X serán similares. Sin embargo, la longitud de onda de una misma línea es característica de cada elemento, y proporcional al número atómico (Lopez Ruiz, 1981).

Para poder comenzar a hacer los análisis en las láminas seleccionadas, se marcó con un plumón sobre la lámina delgada los cristales de mayor interés, buscando que tuvieran la menor alteración posible. Una vez seleccionados los cristales, se tomaron fotografías de cada punto enmarcado y de la lámina en general para poder identificar de una mejor manera el punto que iba a ser analizado en el equipo. Posterior a esto se vaporizó carbón sobre la lámina con el equipo JEE-420 JEOL. Además de permitir la conductividad, el efecto de la metalización con carbón evita que la muestra se cargue electrostáticamente y repela el haz electrónico e impide que en la superficie se alcancen temperaturas elevadas.

Una vez preparadas las láminas para el análisis, se determinaron las condiciones en las que iba a trabajar el equipo: características del voltaje, aceleración del haz de electrones, enfoque de las muestras del software y el calibrado de las fases que se iban a medir.

El procedimiento de la toma de datos consistió en:

- Seleccionar el punto de partida. Con la ayuda de la fotografía se observaba el cristal al que se le haría la medición.
- Una vez identificado el cristal, se ajusta el enfoque en un área lo más homogénea posible, libre de fracturas y alteraciones. Se realiza la confirmación de coordenadas donde incidirá el láser y se guarda el punto en la carpeta correspondiente a la fase mineral que se haya medido.
- El procedimiento se repitió hasta terminar de analizar todos los puntos marcados en la lámina, o bien, al terminar de analizar aproximadamente 30 puntos de cada mineral.

Una vez obtenidos todos los puntos, se corrió el análisis y se obtuvieron las tablas de datos (ver Anexo B).

## **4.4 GEOCROLOGÍA U-Pb EN CIRCÓN**

### **4.4.1 SEPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CIRCÓN**

La separación, el montaje y la caracterización de circones fueron realizados en el laboratorio de molienda y separación mineral del Centro de Geociencias, UNAM, Juriquilla. Una muestra de cada área fue seleccionada para la obtención de circones (Q2202, E2201, T2202, EN2201 y V2202).

El proceso de separación consistió en triturar (con prensa hidráulica) y tamizar las muestras hasta llegar a la malla de 60 (apertura de 250  $\mu\text{m}$ ). Una vez tamizadas todas las muestras se utilizó el método de concentración por medio de la batea para eliminar los materiales más finos y dejar la muestra con el mayor concentrado de circones posible. Con la ayuda del microscopio binocular se inspeccionó cuidadosamente el concentrado y se separaron los circones de manera manual con pinzas. Se colectaron de 30 a 50 granos para cada muestra, los cuales fueron montados en cinta adhesiva doble cara. La montura se fundió en resina epóxica y se dejó secar durante 8 horas aprox. para posteriormente pulir la probeta con lija de abrasivo 3000 y así los circones quedaran expuestos para poder realizar los estudios geocronológicos.

Imágenes de catodoluminiscencia fueron tomadas a las superficies pulidas para reconocer la estructura interna de los granos de circón. Con estas fotografías se realizó la caracterización de los circones, donde se observaron los patrones de zonación de crecimiento, fracturas, inclusiones minerales y núcleos de los cristales.

Con base a la caracterización, se seleccionaron los puntos en los que se realizaron las ablaciones para los estudios de geocronología. En todas las muestras se seleccionaron un total de 35 puntos, 30 en bordes de crecimiento magmático y cinco en núcleos.

#### 4.4.2 GEOCROLOGÍA U-Pb

El sistema de ablación láser utilizado fue el equipo de la marca “Resonetics”, modelo Resolution M50. Este opera con un láser LPX 220 tipo excímero a una longitud de onda de 193 nm, el cual utiliza una mezcla de Fluoruro de Argón (ArF) que genera la pulsación. El láser se encuentra unido a un espectrómetro de masas y plasma acoplado (ICP-MS) Thermo iCap Qc de tipo Cuadrupolo (Solarí et al., 2009). El equipo cuenta con una celda de ablación Laurin Technic presurizada con 350 ml de gas He mezclado con 4.5 ml de N<sub>2</sub> que funciona como portador y permite alcanzar las condiciones ideales para el proceso de ablación. El láser fue empleado a una frecuencia de 5 Hz durante las mediciones y una densidad de energía de 8 J/cm<sup>2</sup>. El diámetro del spot de todas las muestras fue de 24 μm y se llevó a cabo durante aproximadamente 30 segundos para minimizar la profundidad del hoyo (spot) de la ablación y el fraccionamiento elemental.

Se emplearon dos circones estándares, el 91500 (Wiedenbeck et al., 1995) y Plesôvice (Sláma et al., 2008) con edades de  $1065.4 \pm 0.6$  Ma y  $337.13 \pm 0.37$  Ma., respectivamente. El estándar principal fue el circón 91500 y el estándar de control secundario fue el circón Plesôvice. Adicionalmente se analizó estándar NIST SRM 610 para calcular las concentraciones elementales de los circones. En el análisis de cada circón se determinaron elementos de tierras raras y los isótopos <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb, <sup>232</sup>Th, <sup>235</sup>U y <sup>238</sup>U.

Con el fin de monitorear las fluctuaciones de medición del equipo, el análisis de las muestras comienza con dos puntos de control en el vidrio NIST SRM 610, cinco en el circón estándar 91500 y finalmente con tres en el estándar secundario Plešovice. Después se analizan los circones montados en la probeta (de edad desconocida) en intervalos de diez circones, dos del estándar 91500 y uno del Plešovice. Cada treinta circones se realiza un análisis extra en el vidrio NIST 610. La secuencia finaliza con una medición del estándar de Plešovice, dos de 91500 y uno del vidrio NIST 610 cuando se termina de analizar todos los circones de edad desconocida. Los datos que estadísticamente representan la mayor población y muestran un carácter concordante, son los seleccionados para calcular la edad media ponderada que se interpreta como la edad de cristalización de la roca.

La reducción de datos obtenidos para los fechamientos se realizó empleando VizualAge (Paton et al., 2010) y el esquema de reducción de datos de Petrus & Kamber (2012). Los

datos fueron exportados desde Iolite, con las incertidumbres a un error estándar de 2 sigma (Paton et al., 2011). Para evaluar los errores de las relaciones isotópicas se calculó el valor de Rho transformando los errores de las relaciones isotópicas a errores porcentuales (ver Anexo C).

#### **4.5 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZAS**

Se seleccionaron un total de siete muestras para el análisis de elementos mayores y trazas. Los análisis de elementos mayores fueron realizados al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, del Instituto de Geología, UNAM para ser analizadas a través del procedimiento técnico titulado: Análisis por Fluorescencia de Rayos X con equipo Rigaku Primus II (LANGEM-PT-LFRX-01 para elementos mayoritarios), equipado con tubo de Rh de 400 watts.

Los análisis de elementos trazas se midieron por espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (Inductively Coupled Plasma Spectrometry, ICP-MS), usando el equipo Thermo iCap Qc del Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias (CGEO), UNAM. Los análisis se realizaron sobre muestras pulverizadas siguiendo los procedimientos descritos en (Mori et al., 2007; Mori et al., 2009).

Para el análisis químico de elementos mayores y trazas se seleccionaron las muestras con el menor grado de alteración, determinado a través de la observación de las muestras de mano y el grado de alteración presente en la observación de las láminas delgadas bajo el microscopio óptico. El proceso de trituración y pulverizado se realizó en el laboratorio de molienda y separación mineral del Centro de Geociencias, UNAM, Juriquilla. Antes de comenzar con el proceso de separación y pulverización las muestras fueron limpiadas con la cortadora a través de la eliminación de fragmentos que presentaran alteración, con el fin de obtener una muestra más fresca y pedazos de roca que se pudieran manipular fácilmente. Los fragmentos de roca obtenidos se trituraron con el uso de la prensa hidráulica. Las muestras trituradas se pasaron por una serie de tamices con diferentes tamaños. Una vez obtenido el concentrado de polvos las muestras son pulverizadas usando un shatterbox y un plato de alúmina SPEX. Antes de comenzar con este proceso de pulverización es necesario

descontaminar muy bien el área (laboratorio, shatterbox, plato de alúmina e instrumental) y hacer una pre-contaminación del plato con una fracción de la muestra a pulverizar (esta es desechada). Una vez realizada la pre-contaminación, se procede a comenzar con la pulverización de la muestra. Este procedimiento se repite cada cambio de muestra.

## 5. RESULTADOS

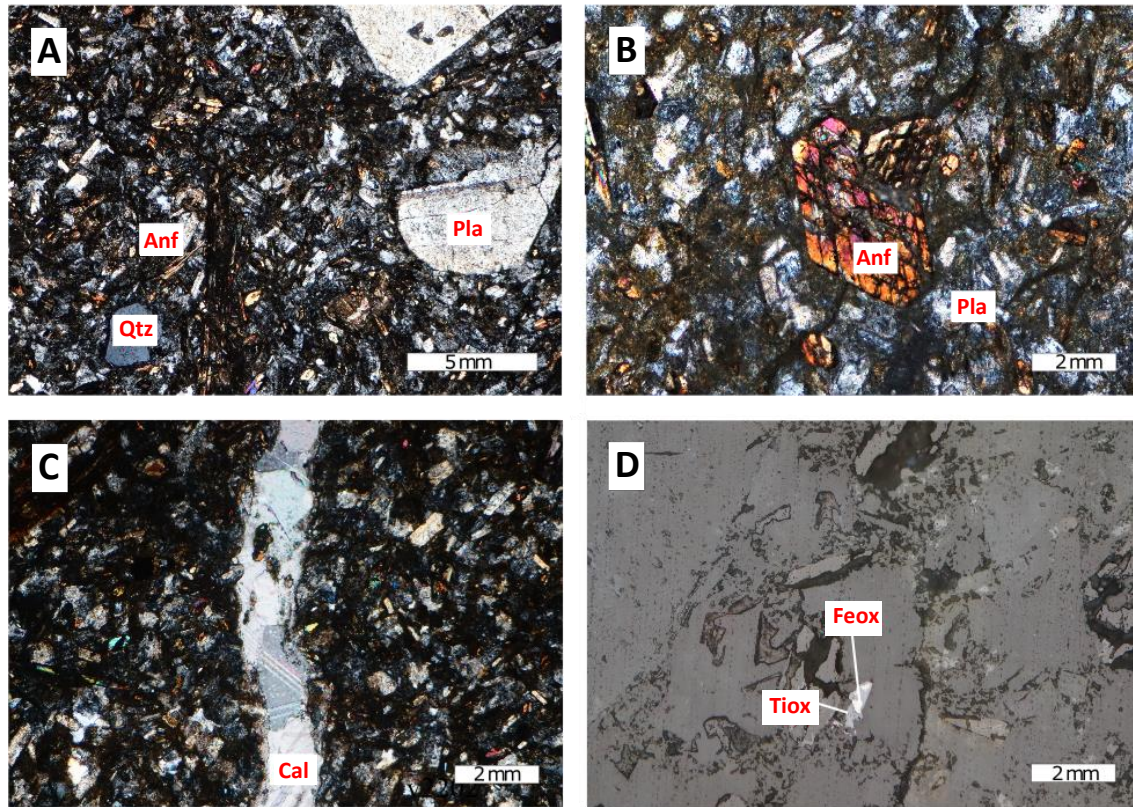
### 5.1 PETROGRAFÍA

El estudio petrográfico se llevó a cabo en nueve láminas delgadas, realizadas a partir de muestras colectadas en superficie de los intrusivos que afloran en las áreas circundantes a la zona productiva de Media Luna-El Limón. A continuación, se describe la composición mineral y las propiedades ópticas de los cristales que componen a los intrusivos no mineralizados muestreados.

#### **VICTORIA** (*Muestra V2201 y V2202*)

En lámina delgada la muestra V2201 colectada presenta una textura porfídica seriada, holocristalina de matriz subafanítica a criptocristalina (60%), compuesta por cristales subafaníticos subédricos de plagioclasa de composición química intermedia, anfíbol y cristales anédricos de cuarzo. Los fenocristales (40%) presentan tamaños de grano grueso a medio, de plagioclasa (14%) > anfíbol (11%) > biotita (9%) > cuarzo (5%) > diópsido. Los cristales de plagioclasa presentan texturas poikilíticas (biotita, anfíbol y titanita), de reabsorción y glomeroporfídica con cristales de plagioclasa. Los cristales de anfíbol presentan texturas esqueléticas, glomeroporfídica con cristales de anfíbol y maclas simples. Los cristales de biotita contienen inclusiones de apatito, circón y titanita euédricas, así como texturas de quiebre tipo kink. Los cristales de cuarzo presentan textura de reabsorción, glomeroporfídica de cuarzo y se encuentran fracturados. Presenta alteración pervasiva moderada de sericita y calcita en cristales de plagioclasa y matriz. Contiene óxidos de Fe-Ti en cantidades accesorias, subafaníticos, anédricos y pervasivos en matriz (Fig.4).



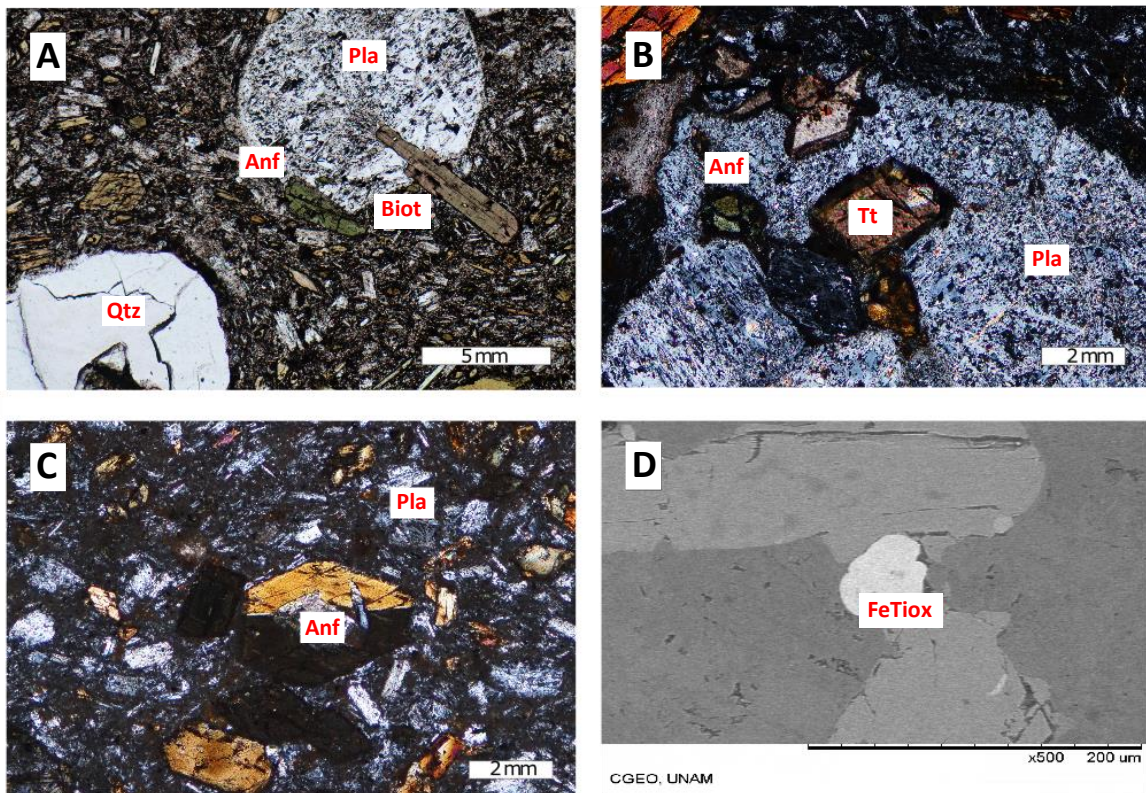


**Figura 4.** Microfotografías de la muestra V2201. (A) Pórfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo, embebidos en matriz subafanítica. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Fenocristal de anfíbol con textura de reabsorción. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristales secundarios de calcita en forma de veta. Tomada en Nx., objetivo 10x. (D) Exsolución de óxido de hierro y titanio. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. Abreviaturas: Anf.=Anfíbol, Qtz.=Cuarzo, Pla.=Plagioclasa, Cal.=Calcita, Tiox.=Óxido de titanio, Feox.=Óxido de hierro, Nx.=Nicoles cruzados.

En lámina delgada la muestra V2202 colectada presenta una textura porfídica seriada, holocristalina de matriz subafanítica (60%) compuesta por cristales subédricos de plagioclasa de composición intermedia y anfíbol y cristales anédricos de cuarzo. Los fenocristales (40%) presentan tamaños de grano medio, de plagioclasa de composición intermedia (16%) > biotita (11%) > anfíbol (8%) > cuarzo (4%). Los cristales de plagioclasa presentan texturas poikilíticas de biotita, de reabsorción, glomeroporfídica con cristales de plagioclasa y fracturas. La biotita se encuentra alterada a clorita, presentan texturas de cedazo, de reabsorción e inclusiones de apatito y circón. Los cristales de anfíbol presentan textura esqueletal, glomeroporfídica con cristales de anfíbol y algunos cristales presentan maclas simples. Los cristales de cuarzo presentan textura de reabsorción y se encuentran poco fracturados.



Contiene minerales secundarios de calcita fanerítica anédrica en forma de vetas, zoisita y clinozoisita subédrica. Presenta alteración pervasiva moderada de sericita y calcita en cristales de plagioclasa y matriz. Contiene óxidos de Fe-Ti en cantidades accesorias, subafaníticos, anédricos y pervasivos en matriz (**Fig.5**)

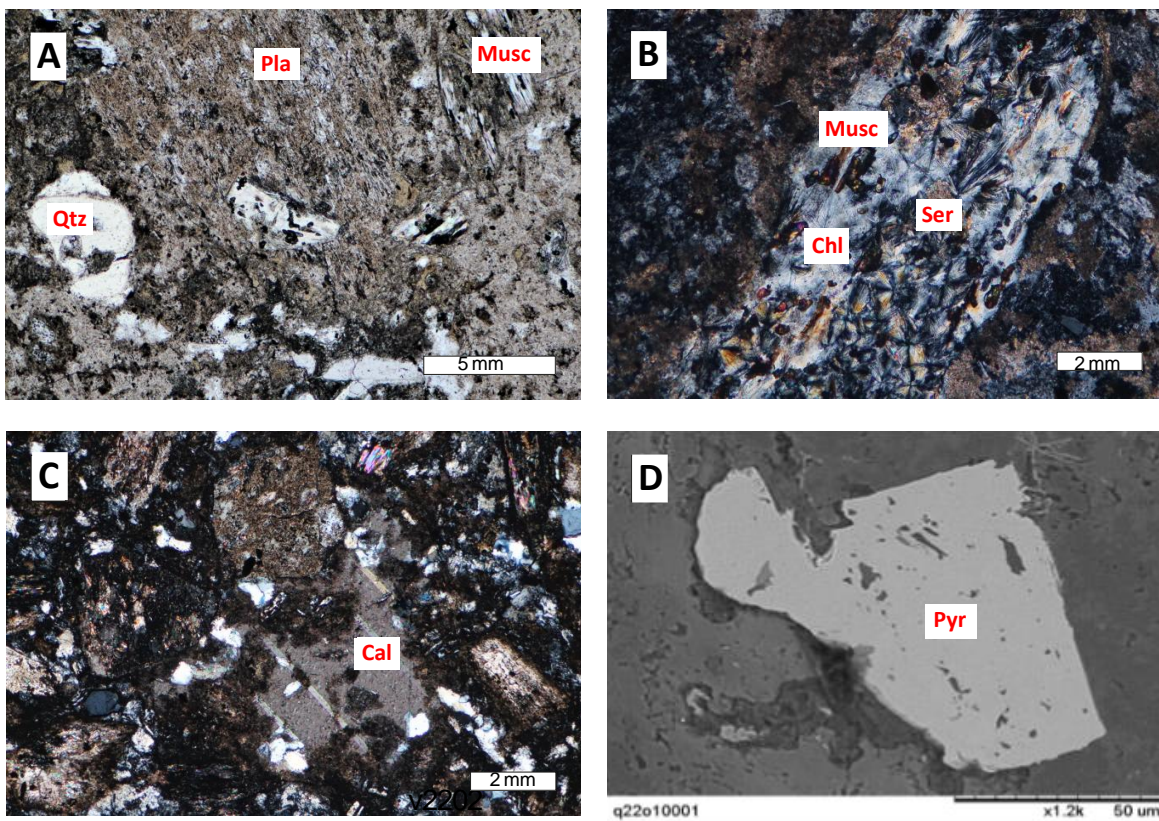


**Figura 5.** Microfotografías de la muestra V2202 (A) Pórfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbol, embebidos en matriz subafanítica/criptocristalina. Tomada en Nx, objetivo 5x. (B) Inclusiones de titanita en cristal de plagioclasa. Tomada en Nx, Objetivo 10x. (C) Cristal de anfíbol con macla simple y textura esqueletal. Tomada en Nx, objetivo 10x. (D) Exsolución de Óxido de hierro y titanio. Tomada con SEM, 200 um. Abreviaturas: Anf. =Anfíbol, Qtz. =Cuarzo, Pla. =Plagioclasa, Biot. =Biotita, Tt. = Titanita, Fe-Tiox= Óxido de hierro y titanio, Nx. = Nícoles cruzados.

### QUERENQUE (*Muestras Q2201- Q2202*)

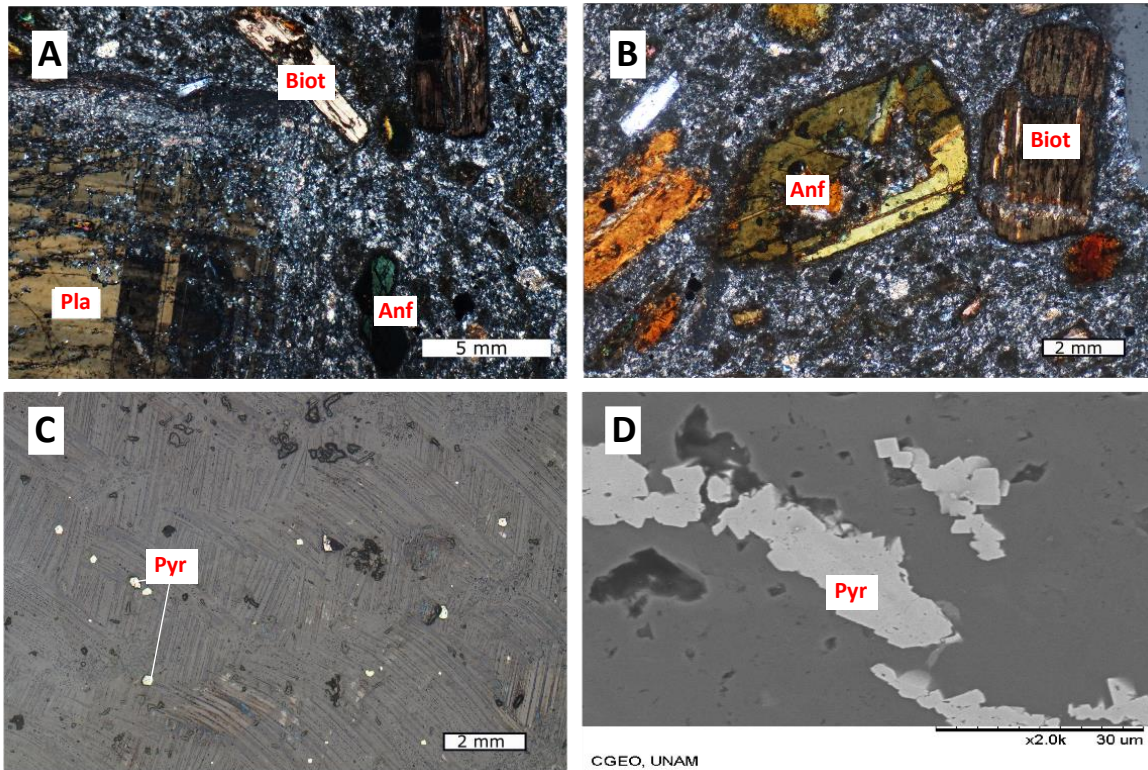
En lámina delgada las muestras colectadas presentan una textura porfídica seriada, holocristalina de matriz subafanítica a microcristalina (45-60%) compuesta por cristales subafaníticos anédricos de plagioclasa de composición química intermedia y cuarzo. Los

fenocristales (40-55%) presentan tamaños de grano grueso a medio, de plagioclasa (25%) > anfíbol (15%) > biotita (10%) muscovita (10%) > cuarzo (4%). Los cristales de plagioclasa presentan texturas de reabsorción y poikilítica (anfíbol y titanita). También se observa plagioclasa con zoneamiento normal y textura glomeroporfídica de plagioclasa. Los cristales de muscovita contienen texturas de cedazo, de reabsorción e inclusiones de apatito y circón. Los cristales de cuarzo presentan textura de reabsorción y fracturas. Contiene minerales secundarios de calcita fanerítica anédrica, zoisita y clinozoisita subédricos. Los cristales de anfíbol presentan texturas glomeroporfídica de anfíbol, esquelética y fracturas. Los cristales de biotita presentan textura de cedazo e inclusiones de apatito y circón. Las muestras presentan cloritización en muscovita y alteración pervasiva moderada de sericita y calcita en cristales de plagioclasa y matriz. Contiene pirita en cantidades accesorias, subafaníticas, pervasiva en matriz y rellenando textura cedazo en muscovita (Fig. 6 y 7).



**Figura 6.** Microfotografías de la muestra Q2201. (A) Pórfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, muscovita y cuarzo, embebidos en matriz subafanítica/microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Fenocristal de muscovita con alteración moderada a sericita. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Mineral secundario de calcita. Tomada en Nx., objetivo 10x. (D) Cristal accesorio de pirita. Tomada con SEM 50 μm. Abreviaturas: Qtz. =Cuarzo, Pla. =Plagioclasa, Musc. = Muscovita, Cal.=Calcita, Pyr.= Pirita, Ser.=Sericita, Nx.=Nicoles cruzados.



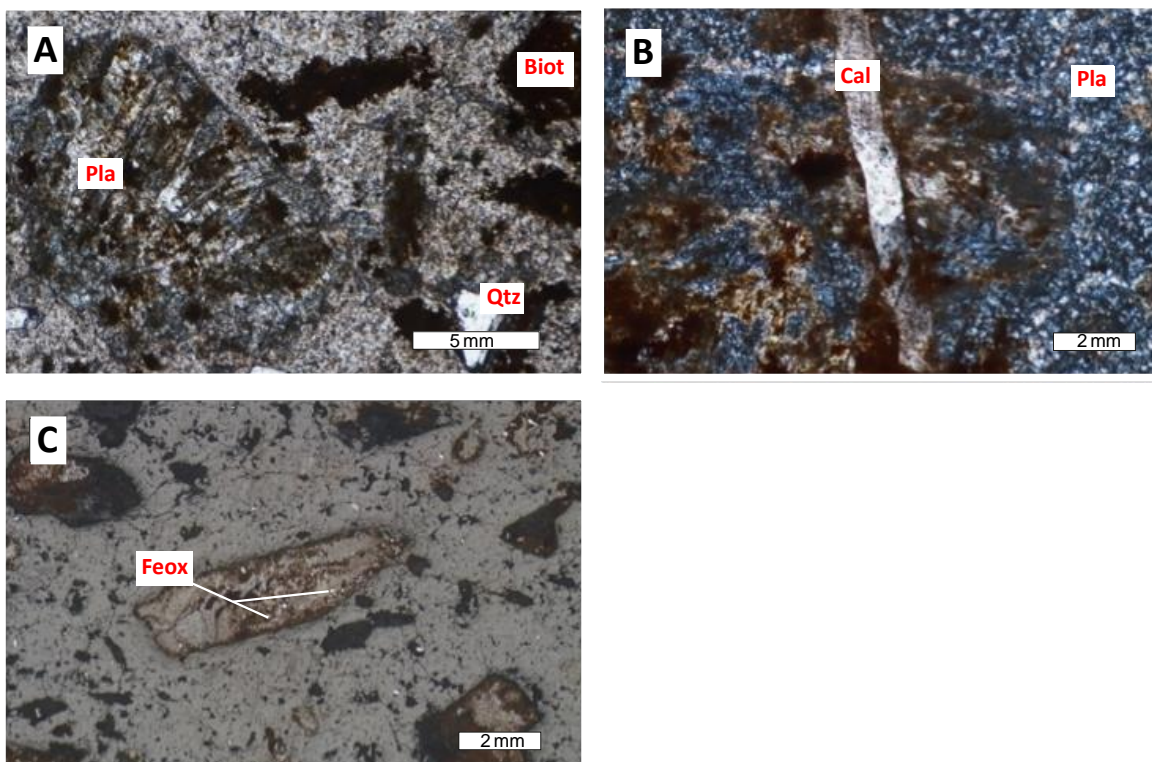


**Figura 7.** Microfotografías de la muestra Q2202. (A) Pórfido andesítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol, embebidos en matriz subafanítica. Tomada en Nx, objetivo 5x. (B) Fenocristal de anfíbol con textura esqueletal. Tomada en Nx, objetivo 10x. (C) Cristales accesorios de pirita pervasiva en matriz. Tomada en Nx., Objetivo 10x. (D) Cristales accesorios de pirita. Tomada con SEM 30 um. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Anf. = Anfíbol, Ser. = Sericita, Pyr. = Pirita, Nx.=Nicoles cruzados.

### **TECATE (*Muestras T2201 y T2202*)**

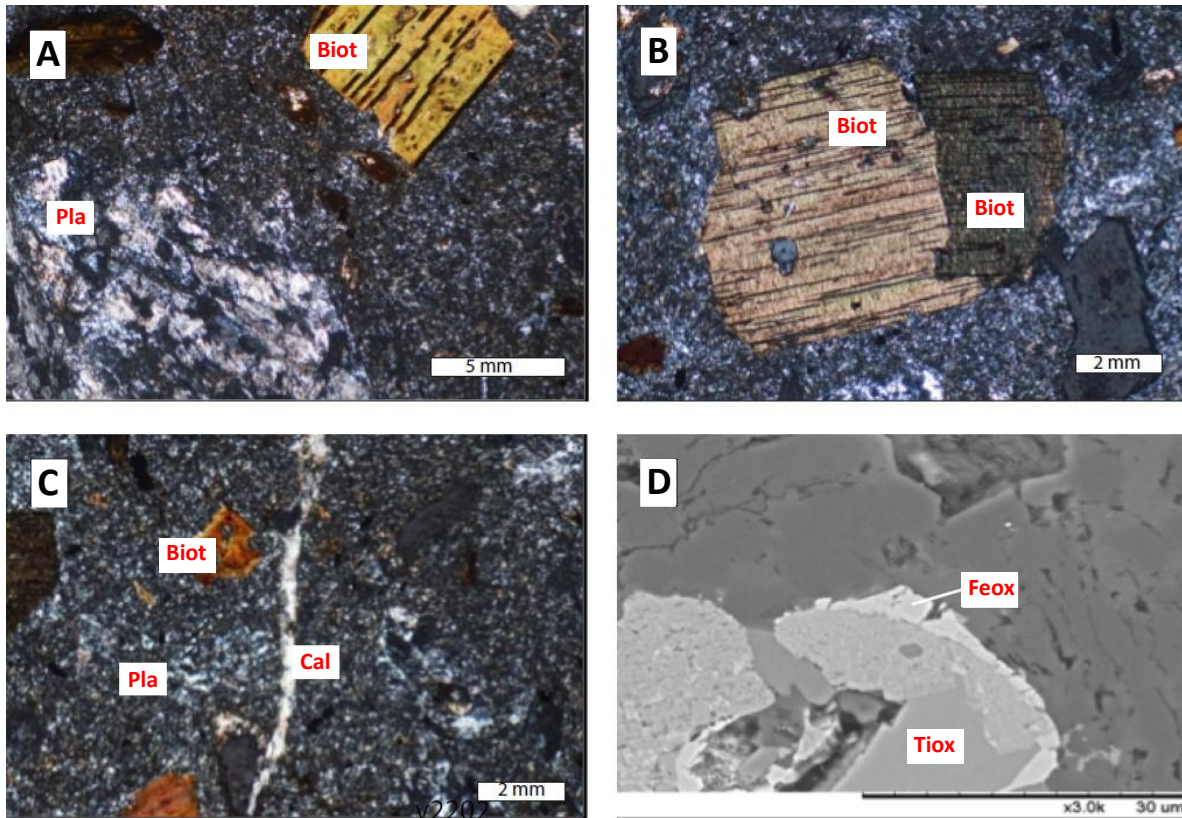
En lámina delgada las muestras colectadas presentan una textura porfídica seriada, holocristalina de matriz microcristalina (45-60%) compuesta por cristales anédricos de plagioclasa de composición química sódica y cuarzo. Los fenocristales (40-55%) presentan tamaños de grano medio, de plagioclasa (25-30%) > biotita (15-20%) > cuarzo (5%). Los cristales de plagioclasa presentan textura poikilítica de biotita, de reabsorción, glomeroporfídica de plagioclasa y fuerte alteración. Las biotitas presentan textura cedazo, de reabsorción, con quiebre kink e inclusiones de apatito y circón y alteración fuerte a moderada de óxido de Fe. Los cristales de cuarzo presentan fracturas y textura de reabsorción. Contiene minerales secundarios de calcita fanerítica anédrica en forma de vetillas. La matriz contiene

minerales accesorios subafaníticos euédricos de apatito y circón y óxidos de Fe pervasivos en matriz y en fenocristales. Las muestras presentan alteración pervasiva moderada a fuerte de sericita y calcita en matriz. Contiene óxidos de Fe-Ti en cantidades accesorias, subafaníticos, anédricos y pervasivos en matriz (Fig. 8 y 9).



**Figura 8.** Microfotografías de la muestra T2201. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo fuertemente alterados, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Vetilla rellena con cristales de calcita secundaria. Tomada en Nx., Objetivo 10x. (C) Óxido de hierro pervasivo en matriz y fenocristales. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Anf. =Anfíbol, Cal.=Calcita, Feox. = Óxido de hierro, Nx.=Nicoles cruzados.



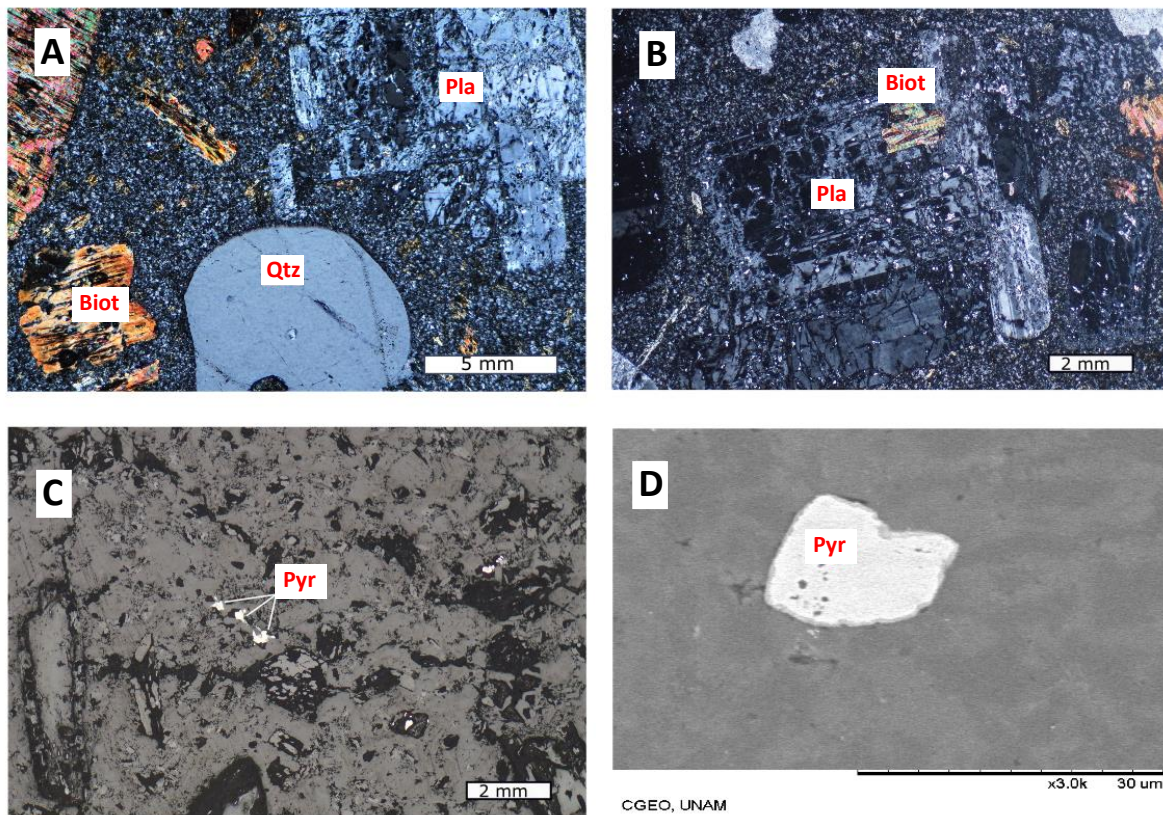


**Figura 9.** Microfotografías de la muestra T2202. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa y biotita, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en nicoles cruzados, objetivo 5x. (B) Fenocristal de biotita con textura de reabsorción y quiebre kink. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristales secundarios de calcita rellenando vetilla. Tomada en Nx, objetivo 10x. (D) Óxidos de Fe-Ti. Tomada con SEM 30 μm. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Cal.=Calcita, Feox. = Óxido de hierro, Tiox. =Óxido de titanio, Nx. =Nicoles cruzados.

### ESPERANZA (*Muestras E2201 y E2202*)

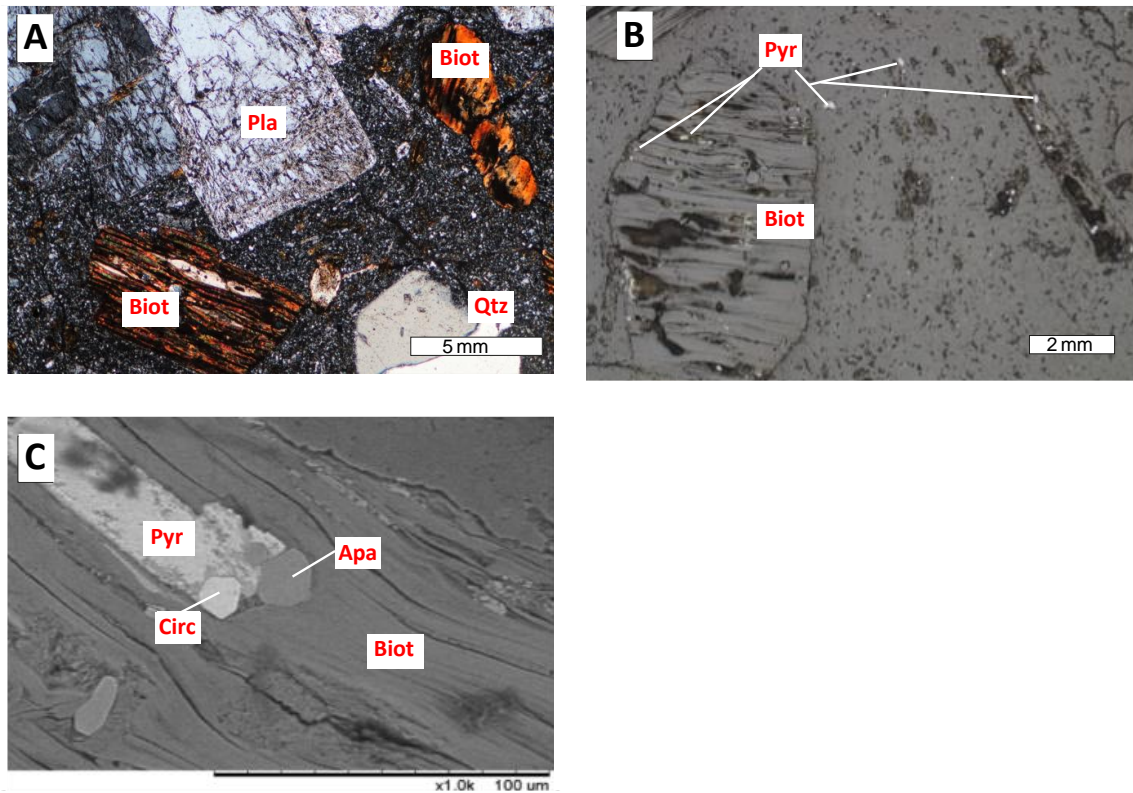
En lámina delgada las muestras colectadas presentan una textura porfídica seriada, holocristalina de matriz microcristalina (55-60%) compuesta por cristales anédricos de plagioclasa de composición química intermedia y cuarzo. Los fenocristales (40-45%) presentan tamaños de grano medio, de plagioclasa (20-25%) > biotita (15%) > cuarzo (5%). Los cristales de plagioclasa presentan texturas poikilíticas de biotita, de reabsorción, glomeroporfídica de plagioclasa, zoneamiento normal y fracturas. Los cristales de biotita se encuentran alterados a clorita, presentan texturas cedazo, de reabsorción e inclusiones de apatito y circón. Los cristales de cuarzo presentan textura de reabsorción y se encuentran fracturados. Contiene minerales secundarios de calcita fanerítica anédrica. Presenta

alteración pervasiva débil de sericita y en cristales de plagioclasa y matriz. Contiene óxidos de Fe y pirita en cantidades accesorias, subafaníticos, anédricos y pervasivos en matriz (Fig. 10 y 11).



**Figura 10.** Microfotografías de la muestra E2201. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Fenocristal de plagioclasa con textura poikilítica de biotita. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristales de pirita pervasiva en matriz. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. (D) Cristal de pirita. Tomada con SEM, 30  $\mu$ m. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Qtz. = Cuarzo, Pyr.= Pirit, Nx.=Nicoles cruzados.



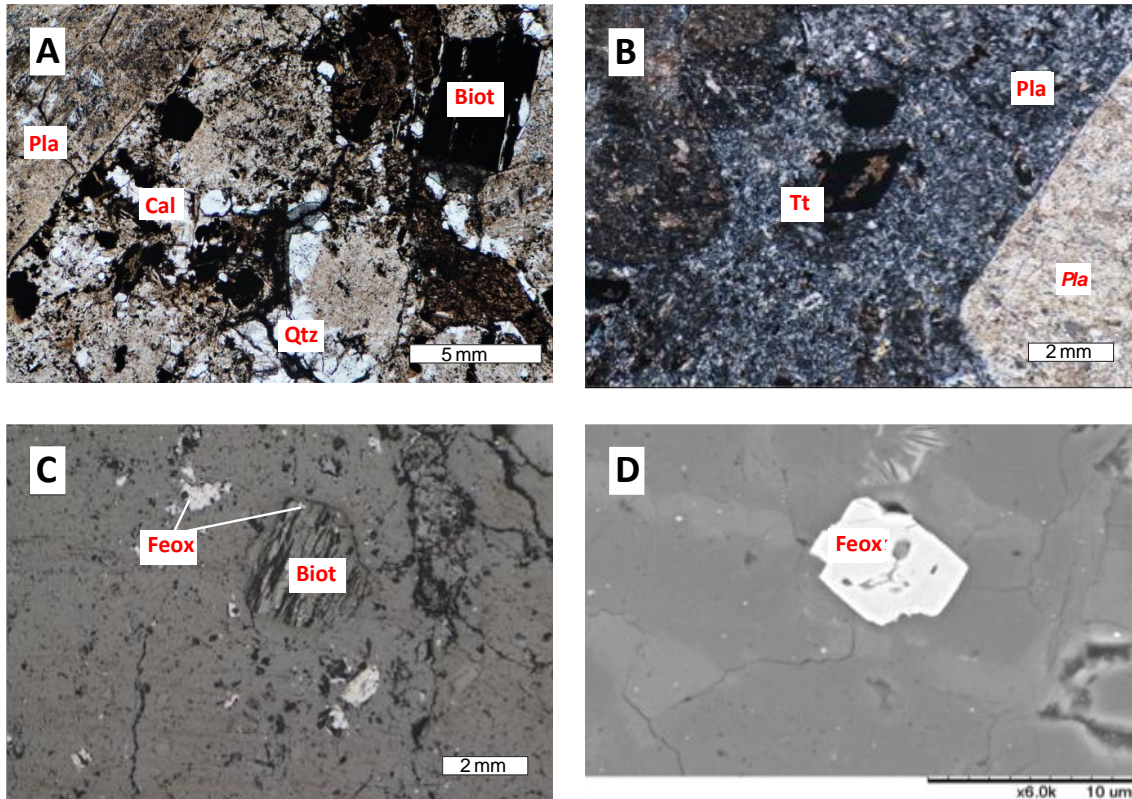


**Figura 11.** Microfotografías de la muestra E2202. A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Cristales de pirita pervasiva en textura cedazo de biotita y matriz. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. (C) Inclusiones de cristales de circon, pirita y apatito en fenocristal de biotita. Tomada con SEM, 100 μm. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Qtz. = Cuarzo, Pyr. = Pirita, Circ. = Circòn, Apa. = Apatito, Nx. =Nicoles cruzados.

## ENCENERA (Muestra EN2201)

En lámina delgada la muestra colectada presenta textura porfídica seriada, holocristalina de matriz subafanítica a microcristalina (40%) compuesta por cristales anédricos de plagioclasa de composición química sódica, cuarzo y biotita. Los fenocristales (60%) presentan tamaños de grano medio a grueso, de plagioclasa (20%) > biotita (15%) > cuarzo (5%). Los cristales de plagioclasa presentan texturas poikilíticas de biotita, de reabsorción, glomeroporfídica de plagioclasa y fracturas. Los cristales de biotita presentan texturas cedazo, de reabsorción y alteración fuerte a moderada de óxido de Fe. Los cuarzos presentan texturas de reabsorción, fracturas y textura glomeroporfídica de cuarzo. Contiene minerales secundarios de calcita fanerítica anédrica. Presenta alteración pervasiva fuerte a moderada de sericita y calcita en matriz y cristales de plagioclasa. Contiene minerales accesorios subafaníticos euédricos de

apatito y circón como inclusiones en biotita y plagioclasas, cristales de titanita en matriz y óxidos de Fe rellenando textura de cedazo de biotitas y pervasivos en matriz (Fig. 12).



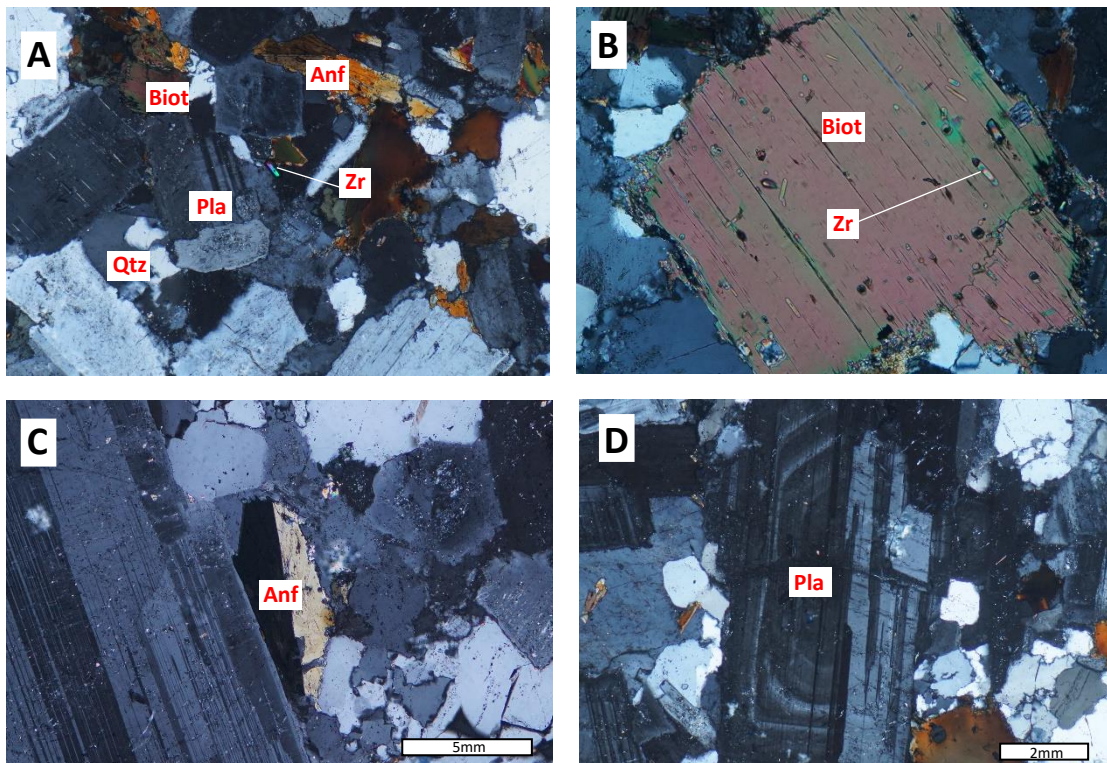
**Figura 12.** Microfotografías de la muestra EN2201. (A) Pórfido dacítico donde se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y calcita secundaria, embebidos en matriz microcristalina. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Cristal de titanita. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Óxido de hierro en matriz y en textura cedazo de biotita. Tomada con luz reflejada, objetivo 10x. (D) Cristal de Óxido de hierro. Tomada con SEM, 10 μm. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Qtz. = Cuarzo, Cal.=Calcita, Tt. = Titanita, Feox. = Óxido de hierro, Tiox= Titanita., Nx. =Nicoles cruzados.



## INTRUSIVOS DEL DISTRITO MINERO DE MEDIA LUNA-EL LIMÓN

### Filos (F)

En lámina delgada la muestra (UKN-2112) colectada anteriormente por otro proyecto presenta una textura holocristalina inequigranular. Se compone por granos medios a gruesos de plagioclasa de composición química intermedia > cuarzo > biotita > anfíbol > feldespato K. Los cristales de plagioclasa presentan zoneamiento oscilatorio normal y alteración débil de sericita. Los cristales de cuarzo presentan extinción por parches y algunos cristales se encuentran muy fracturados. Los cristales de biotita presentan bordes de alteración y cloritización. Algunos cristales de anfíbol presentan maclas simples. Contiene minerales accesorios subafaníticos euédricos de apatito y circón como inclusiones en biotita y vetillas de calcita. Contiene pirita en cantidades accesorias, subafaníticos, anédricos a euédricos pervasivos en matriz (Fig. 13).

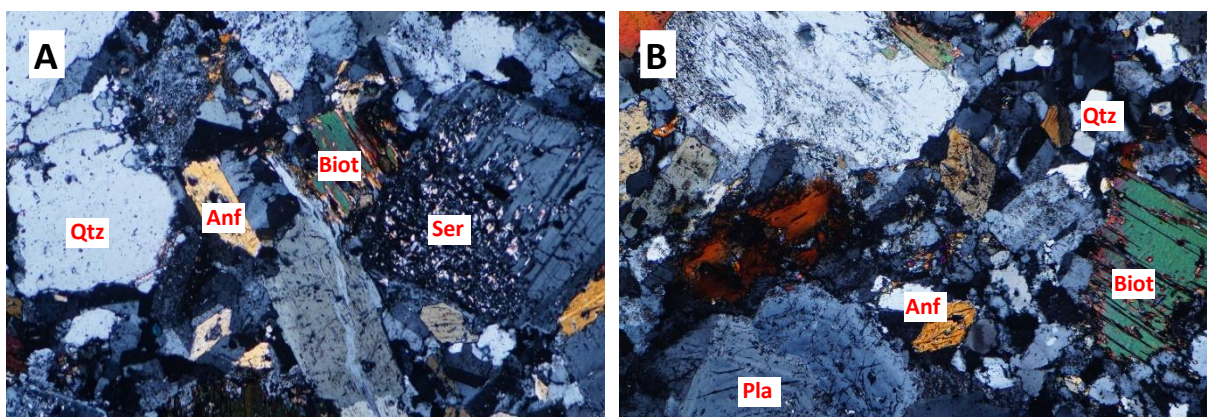


**Figura 13.** Microfotografías de la muestra UKN-2112. (A) Se observa textura holocristalina con cristales de plagioclasa, cuarzo, biotita, anfíbol y cristal accesorio de circón. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Cristal de biotita con inclusiones de circón. Tomada en Nx., objetivo 10x. (C) Cristal de anfíbol con macla simple. Tomada en Nx., objetivo 10x. (D) Cristal de plagioclasa con zoneamiento oscilatorio normal. Tomada con Nx., objetivo 10x. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Qtz. = Cuarzo, Zr. =Circón, Nx. =Nicoles cruzados.

## Media Luna (ML)

### Granodiorita El Limón

Los cuerpos intrusivos granodioríticos de Media Luna fueron descritos anteriormente por Pacheco Flores (2021). Este los describe con una mineralogía de grano medio a grueso de con plagioclasa intermedia > cuarzo > hornblenda > feldespato K > biotita. Las principales características que reporta son: fracturación de alto grado expuesta por todos los minerales, zonación oscilatoria inversa en plagioclasa donde el Ca aumenta en los bordes con respecto al centro cristalino, minerales máficos reemplazados por sulfuros (pirita principalmente), vetas de cuarzo y vetillas de actinolita que cortan la textura de la roca. Como minerales accesorios contiene circón, torita, apatito y titanita. Contiene sulfuros de pirita, calcopirita, esfalerita, galena y arsenopirita que representan menos del 1% de la mineralogía de la roca. Además, se reportan dos tipos de alteraciones ricas en K, una como alteración débil de sericita sobreimpresa en feldespato K y otra como biotita secundaria pervasiva moderada (Fig. 14).



**Figura 14.** Microfotografías representativas de la mineralogía de los intrusivos granodioríticos de “El limón”. Se observa textura holocrystalina compuestas por una mineralogía de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita. (A) Muestra MLO226617. Tomada en Nx., objetivo 5x. (B) Muestra MLO22621. Tomada en Nx., objetivo 5x. Abreviaturas: Pla. = Plagioclasa, Biot. = Biotita, Qtz. = Cuarzo, Anf. =Anfibol, Ser. =Sericita, Nx. =Nicoles cruzados.

## 5.2 QUÍMICA MINERAL

De las nueve láminas delgadas, cinco láminas con el menor grado de alteración fueron seleccionadas para análisis por microsonda electrónica. Se analizaron los minerales principales que conforman las rocas (plagioclasa, biotita y anfíbol). Los resultados se presentan en el [Anexo B](#).

### 5.2.1 QUÍMICA DE PLAGIOCLASA

Con excepción de la muestra EN2201, en las diferentes muestras estudiadas, el estudio petrográfico logró determinar la presencia de dos familias de plagioclasa como fenocristales y cristales de matriz. La composición química obtenida por análisis de microsonda sobre las diferentes muestras confirma la ausencia de feldespatos potásicos.

**Tabla 1.** Microanálisis representativos de los cristales de plagioclasa obtenidos por microsonda electrónica

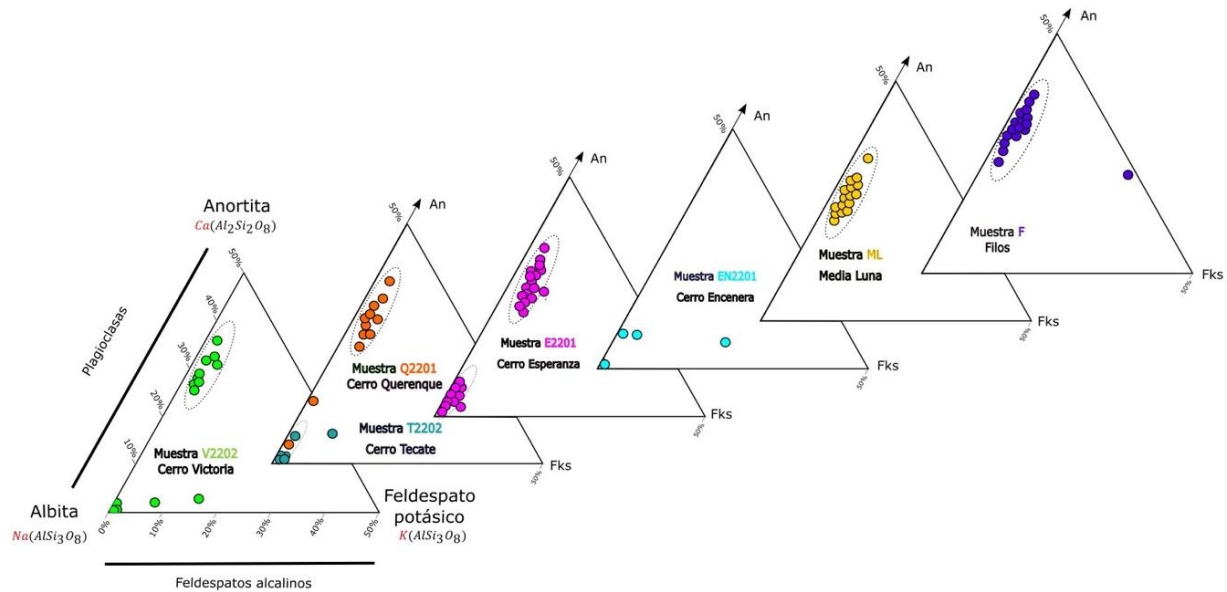
PLAGIOCLASA								
Clave composición	Victoria		Querenque	Tecate	Esperanza		Media Luna	Filos
	V22-23pf <i>An</i> <sub>20-40</sub>	V22-16pf <i>An</i> <sub>0-10</sub>	Q22-7pf <i>An</i> <sub>20-40</sub>	T22-41pf <i>An</i> <sub>20-40</sub>	E22-23pf <i>An</i> <sub>20-40</sub>	E22-37pf <i>An</i> <sub>0-10</sub>	ML-pf27 <i>An</i> <sub>20-40</sub>	F-pf30 <i>An</i> <sub>20-40</sub>
<i>SiO</i> <sub>2</sub>	60.60	68.72	61.24	69.126	62.18	67.87	61.19	59.49
<i>Al</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	25.77	20.05	24.89	20.15	24.72	20.54	24.74	25.61
<i>FeO</i>	0.08	0.04	0.20	0.00	0.02	0.00	0.07	0.00
<i>CaO</i>	6.52	0.03	6.02	0.06	5.41	0.72	5.79	6.65
<i>Na</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	7.48	11.72	8.09	11.88	8.27	11.24	8.17	7.75
<i>K</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	0.47	0.05	0.58	0.06	0.79	0.07	0.35	0.39
<b>Total</b>	100.91	100.61	101.02	101.28	101.39	100.43	100.31	99.90
<i>Si</i>	2.67	2.98	2.70	2.98	2.73	2.95	2.71	2.66
<i>Al</i>	1.34	1.03	1.29	1.02	1.28	1.05	1.29	1.35
<i>Ca</i>	0.31	0.00	0.28	0.00	0.25	0.03	0.27	0.32
<i>Na</i>	0.64	0.99	0.69	0.99	0.70	0.95	0.70	0.67
<i>K</i>	0.03	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.02	0.02
<b>Total</b>	4.99	5.00	5.01	5.00	5.00	4.98	5.00	5.02
<i>An</i>	35.74	0.15	28.18	0.27	25.38	3.41	27.57	31.44
<i>Ab</i>	62.13	99.56	68.58	99.41	70.2	96.18	70.44	66.35
<i>Or</i>	2.13	0.29	3.24	0.32	4.4	0.39	1.99	2.21

Normalización de plagioclasa de acuerdo a 8

oxígenos

Pf=fenocristal

La familia dominante es representada por fenocristales que presentan una composición química variada que refleja su zonamiento en observación petrográfica, de  $An_{20-40}$ . Una segunda familia se caracteriza petrográficamente por ser plagioclasas de matriz. Esta segunda familia fue analizada en todas las muestras estudiadas (V2202, Q2202, T2202, E2201, EN2201), y presentan una composición química de  $An_{0-10}$  (Fig. 13).



**Figura 15.** Diagramas ternarios de clasificación de feldspatos de las cinco muestras colectadas en el presenta estudio y los granitos de las áreas productivas (Filos-ML). Diagrama ternario tomado de (Griem W., 2016)

## 5.2.2 QUÍMICA DE ANFÍBOL

Las muestras recolectadas en Victoria y Querenque fueron las únicas muestras que presentaron anfíbol sin evidencias petrográficas de alteración. En ambas muestras los cálculos de fórmulas minerales para los cristales de anfíboles se basaron en 23 átomos de oxígeno estimados utilizando el programa PROBE-AMPH proporcionado por [Tindle y Webb \(1994\)](#).

**Tabla 2.** Microanálisis representativos de los cristales de anfíbol obtenidos por microsonda electrónica

ANFÍBOL				
Clave	Victoria		Querenque	
	V22-6hb	V22-9hb	Q22-11Hf	Q22-17Hf
Grupo de anfíbol	$(Na + K)A < 0.5$	$(Na + K)A > 0.5$	$(Na + K)A < 0.5$	$(Na + K)A > 0.5$
Nombre a anfíbol	<i>Tschermakita</i>	<i>Magnesio-hastingsita</i>	<i>Magnesio-anfíbol</i>	<i>Magnesio-hastingsita</i>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	45.02	44.49	45.84	43.38
<i>TiO<sub>2</sub></i>	2.19	2.49	0.95	2.14
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	10.86	11.24	9.08	11.66
<i>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0.04	0.00	0.08	0.04
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	9.28	8.23	6.14	7.39
<i>FeO</i>	1.27	4.74	8.36	9.08
<i>MnO</i>	0.15	0.19	0.33	0.22
<i>MgO</i>	16.84	15.00	13.66	12.19
<i>CaO</i>	11.22	11.10	11.77	11.24
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	2.11	2.49	1.48	2.22
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1.14	0.95	0.96	0.93
<i>H<sub>2</sub>O</i>	2.14	2.13	2.07	2.08
<b>Total</b>	102.24	103.05	100.72	102.56
<i>Si</i>	6.31	6.27	6.65	6.25
<i>Al<sup>IV</sup></i>	1.69	1.73	1.35	1.75
<i>Al<sup>VI</sup></i>	0.10	0.13	0.21	0.23
<i>Ti</i>	0.23	0.26	0.10	0.23
<i>Cr</i>	0.00	0.00	0.01	0.00
<i>Fe<sup>3+</sup></i>	0.98	0.87	0.67	0.80
<i>Fe<sup>2+</sup></i>	0.15	0.56	1.01	1.09
<i>Mn</i>	0.02	0.02	0.04	0.03
<i>Mg</i>	3.52	3.15	2.96	2.62
<i>Ca</i>	1.68	1.68	1.83	1.73
<i>Na</i>	0.57	0.68	0.42	0.62
<i>K</i>	0.20	0.17	0.18	0.17
<i>OH</i>	2.00	2.00	2.00	1.21
<b>Total</b>	17.46	17.53	17.42	16.73
<i>xMg</i>	0.96	0.85	0.74	0.71

Normalización de anfíbol considerando 23 oxígenos y 13-15 cationes  
 $xMg = Mg / (Mg + Fe^{2+})$



En la muestra V2202 los 25 cristales analizados se clasifican como anfíboles cálcicos  $(Ca+Na) (B) > 1$  y  $Na (B) < 0.5$  de afinidad magnesiana con valores de  $Mg/(Mg+Fe_2O_3)$  que oscilan entre 0.6 y 1.0. El contenido de Si varía desde 5.4 a 6.8 apfu y el contenido de aluminio ( $Al^{IV}$ ) se encuentra entre 1.1 y 2.5 apfu. Basado en el esquema de [Leake et al. \(1997\)](#), los cristales de anfíbol se clasifican químicamente como magnesio-hastingita, magnesio anfíbol y tschermakita (con excepción de uno de magnesio-sadanagaita y uno de edenita). Siendo la magnesio-hastingita la composición predominante en la muestra.

En la muestra Q2202, los 19 cristales analizados se clasifican como anfíboles cálcicos  $(Ca+Na) (B) > 1$  y  $Na (B) < 0.5$  de afinidad magnesiana con valores de  $Mg/(Mg+Fe_2O_3)$  que oscilan entre 0.7 y 0.85. El contenido de Si varía desde 6.1 a 6.7 apfu y el contenido de aluminio ( $Al^{IV}$ ) se encuentra entre 1.2 y 1.8 apfu. Basado en el esquema de [Leake et al. \(1997\)](#), los cristales de anfíbol se clasifican químicamente como magnesio-hastingita y magnesio anfíbol (con excepción de uno de tschermakita). Siendo la magnesio-anfíbol la composición predominante en la muestra ([Fig.14](#)).

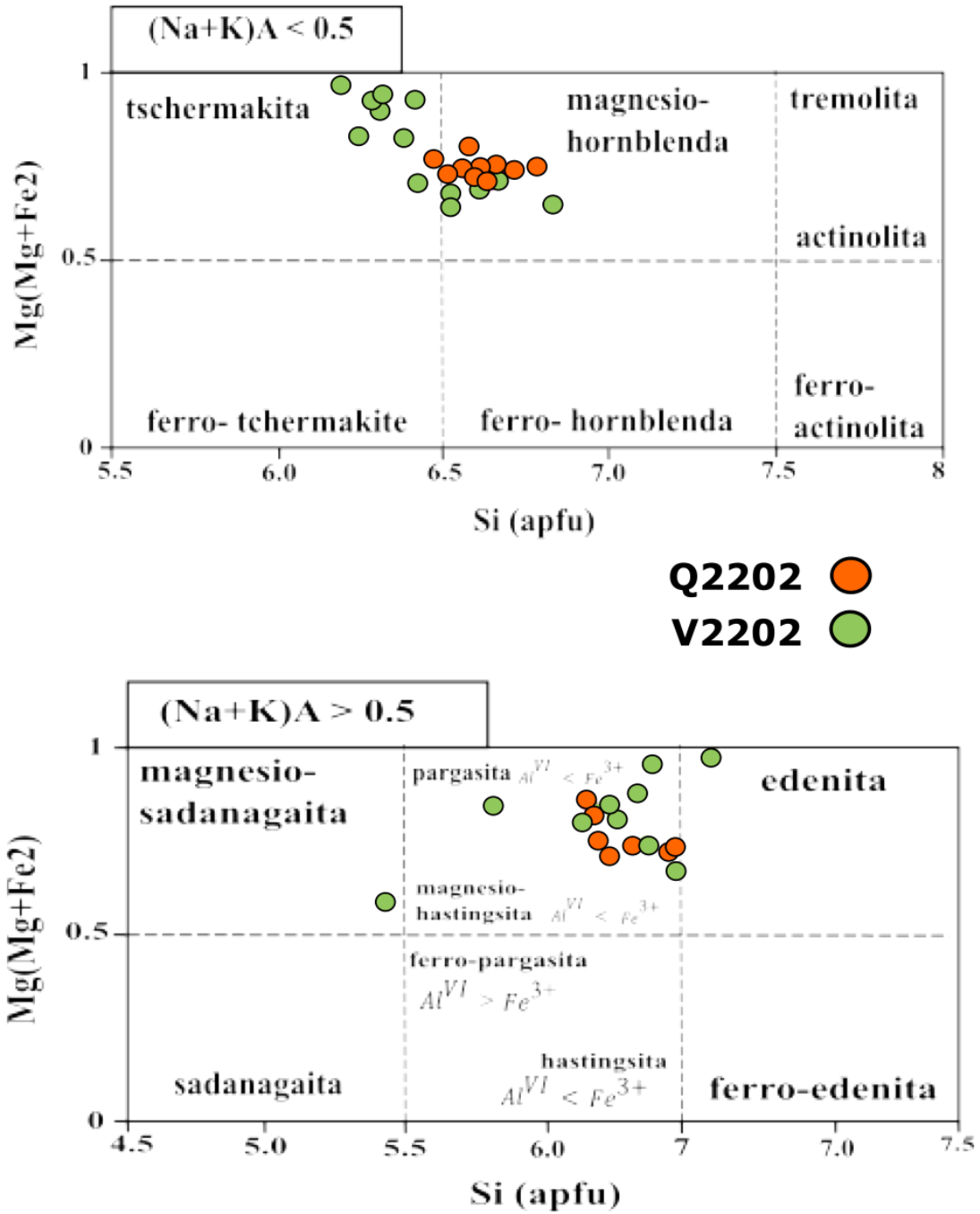


Figura 16. Diagrama de clasificación de anfíbol para  $(Na + K)^A < 0.5$  y  $(Na + K)^A > 0.5$ , según Leake et al. (1997).

### 5.2.3 QUÍMICA DE BIOTITA

Un total de 156 análisis químicos fueron realizados sobre minerales de biotita seleccionados en todas las muestras colectadas ([Anexo B](#)). Además, se analizaron cristales de biotitas en dos muestras de granodiorita mineralizada recolectadas en los Filos (F) y Media Luna (ML) para su comparación. La composición mineral se calculó sobre la base de 22 átomos de oxígeno.

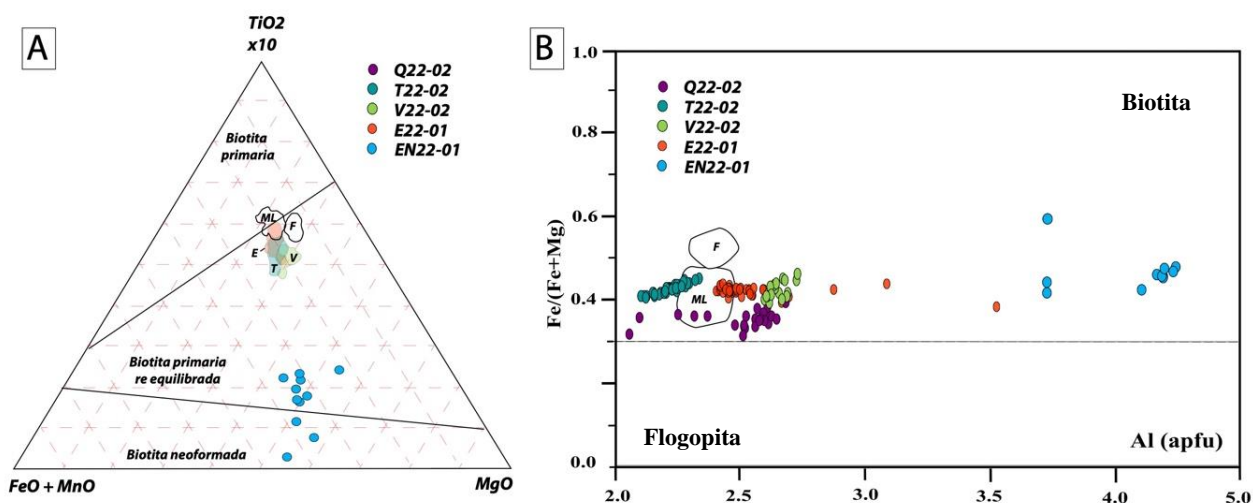
**Tabla 3.** Microanálisis representativos de los cristales de biotita obtenidos por microsonda electrónica

<b>BIOTITA</b>						
Clave	Victoria V22-4b	Querenque Q22-24b	Tecate T22-1b	Esperanza E22-31b	Media Luna ML-B28	Filos F-B22
<i>SiO<sub>2</sub></i>	38.78	34.61	36.74	39.40	39.79	38.61
<i>TiO<sub>2</sub></i>	3.43	4.08	3.64	4.19	4.61	4.96
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	15.72	14.16	15.19	14.87	13.85	13.93
<i>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0.02	0.02	0.06	0.07	0.12	0.09
<i>FeO<sub>t</sub></i>	17.60	14.41	18.05	17.12	17.27	21.95
<i>MnO</i>	0.26	0.16	0.18	0.18	0.07	0.13
<i>MgO</i>	14.20	15.39	13.77	14.22	13.81	11.27
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	0.47	0.49	0.89	0.54	0.17	0.18
<i>K<sub>2</sub>O</i>	9.89	10.11	11.21	9.70	10.16	9.79
<b>Total</b>	100.36	93.42	99.73	100.27	99.86	100.91
<i>Si<sup>IV</sup></i>	5.56	5.34	5.63	6.91	5.70	5.62
<i>Al<sup>IV</sup> (Ti<sup>IV</sup>)</i>	2.44	2.66	2.60	1.09	2.30	2.38
<i>Al<sup>IV</sup></i>	0.22	0.00	0.03	3.31	0.05	0.01
<i>Ti</i>	0.37	0.40	0.40	0.02	0.49	0.54
<i>Al</i>	2.66	2.58	2.63	4.40	2.35	2.39
<i>Fe<sup>2+</sup></i>	2.11	1.86	2.22	0.36	2.24	2.67
<i>Mn</i>	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
<i>Mg</i>	3.04	3.54	3.02	0.44	2.89	2.44
<i>Na</i>	0.13	0.15	0.25	0.02	0.05	0.05
<i>K</i>	1.81	1.99	2.10	1.39	1.84	1.82
<b>Tot4 + 6</b>	13.77	13.82	13.69	12.14	13.68	13.69
Normalización de biotita considerando 22 oxígenos						
<b><math>Tot4 + 6 = Si^{IV} + Al^{IV}(Ti^{IV}) + Al^{IV} + Ti + Fe^{2+} + Mn + Mg</math></b>						



La mayoría de los cristales analizados de cuatro pórfidos (Querenque, Tecate, Esperanza y Victoria) y de las granodioritas (Media Luna, Filos) muestreados se grafican en el límite del campo de las biotitas primarias y primaria re-equilibradas (Nachit et al., 2005) (Fig. 15A).

En el diagrama de Rieder et al. (1998) (Fig.15B) se observa que la química de los cristales analizados en cuatro de los pórfidos (Querenque, Tecate, Esperanza, Victoria) y las muestras de granodiorita es comparable en el contenido de  $Fe/(Fe+Mg)$ , variando en un rango de valores de 0.3 a 0.5. Los cristales analizados se clasificaron utilizando la “Clasificación de la Asociación Mineralógica Internacional” (IMA) para las biotitas magmáticas (Rieder et al. 1998). La familia principal se caracteriza como biotitas (Querenque, Tecate, Esperanza, Victoria, Media Luna, Filos). Una vez más, la muestra EN2201 se diferencia de las demás muestras. presentando una tendencia distinta con valores de Al mayores que las demás.



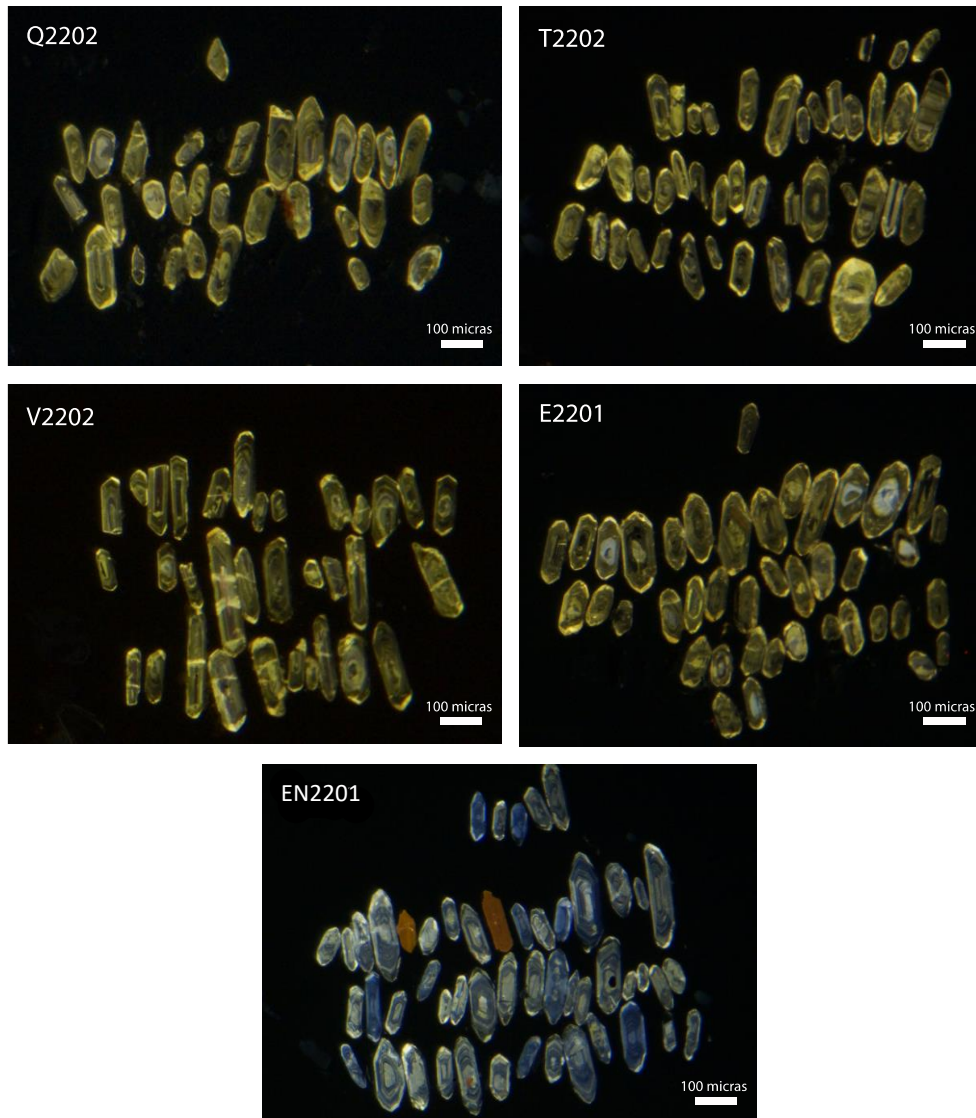
**Figura 17.** Diagramas de composición química de la biotita de las intrusiones porfídicas (Q, T, E, V, EN) y granodioríticas (F, ML) del distrito minero de Media Luna- El Limón. (A) Diagrama ternario  $TiO_2 - (FeO + MnO) - MgO$  según Nachit et al. (2005). (B) Diagrama  $Fe^{+2}/(Fe^{+2} + Mg^{+2})$  vs. Al (átomos por unidad de fórmula, apfu). Clasificación de biotitas según Rieder et al. (1998).

### 5.3 GEOCROLOGÍA U-Pb DE CIRÓN

Conocer la relación cronológica entre los cuerpos intrusivos mineralizados y no mineralizados dentro del distrito de Media Luna- El Limón es uno de los objetivos principales de este proyecto. Para ello se seleccionó una muestra representativa de los intrusivos de cada área para determinar su edad por el método U/Pb en cristales de circón ([Anexo C](#)). A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 4.** Localización y edades U-Pb en circón de las cinco muestras fechadas

<b>Muestra</b>	<b>Edad (Ma)</b>	<b>no. datos (n)</b>	<b>MSW</b>
<b>Victoria</b>			
<i>V2202</i>	<i>66.6±1.0</i>	14	0.6
<b>Querenque</b>			
<i>Q2202</i>	<i>66.4±1.1</i>	14	1.2
<b>Tecate</b>			
<i>T2202</i>	<i>66.1±0.9</i>	20	0.4
<b>Esperanza</b>			
<i>E2201</i>	<i>64.4±0.9</i>	24	0.4
<b>Encenera</b>			
<i>EN2201</i>	<i>63.0±1</i>	13	0.7



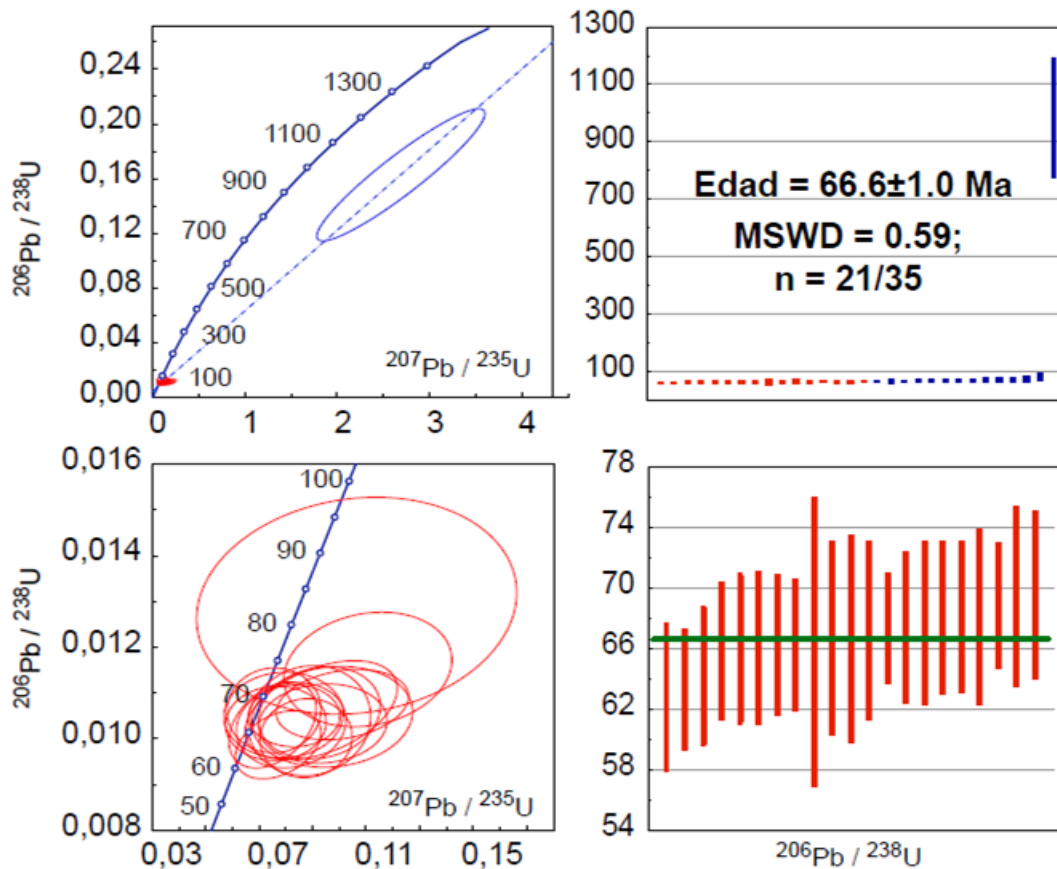
**Figura 18.** Imágenes de catoduluminiscencia obtenidas para las cinco áreas de intrusivos muestreados.

### **VICTORIA (*Muestra V2202*)**

Treinta y tres circones separados de la muestra fueron montados en la probeta LEI-22-60. Los fechamientos se obtuvieron a través de 35 ablaciones realizadas en los bordes ( $n=32$ ) y núcleos de los cristales ( $n=3$ ). Los circones presentan tamaños que varían de 50 hasta los 300  $\mu\text{m}$  de longitud. Son translúcidos, subhédricos a euhédricos, con bordes irregulares, presentan formas más alargadas que los circones de las demás muestras, con terminación piramidal en punta; algunos cristales presentan fracturas e inclusiones oscuras. En las imágenes de catodoluminiscencia se observan de color amarillo (Fig.16). Tres cristales de tamaño

mediano presentan núcleos de color grisáceo. La mayoría de los cristales presentan zonaciones magmáticas de carácter oscilatorio.

Se obtuvieron un total de 35 edades, los cuales se encuentran en el rango de 960.7 a 62.8 Ma. Catorce datos presentan un valor de discordancia (Disc. %) superior al 25%, por lo que fueron descartados. Los 21 datos remanentes presentan edades distribuidas entre 960.7 a 63.3 Ma, de los cuales 14 forman un grupo de edades más jóvenes que van desde los  $68.87 \pm 2.01$  a  $63.31 \pm 1.93$  Ma. Estos último fueron seleccionados para calcular la edad de cristalización. La edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada obtenida es de  **$66.6 \pm 1.0$  Ma**. (n=14; MSWD = 0.59, 2 $\sigma$ ; Fig.17).

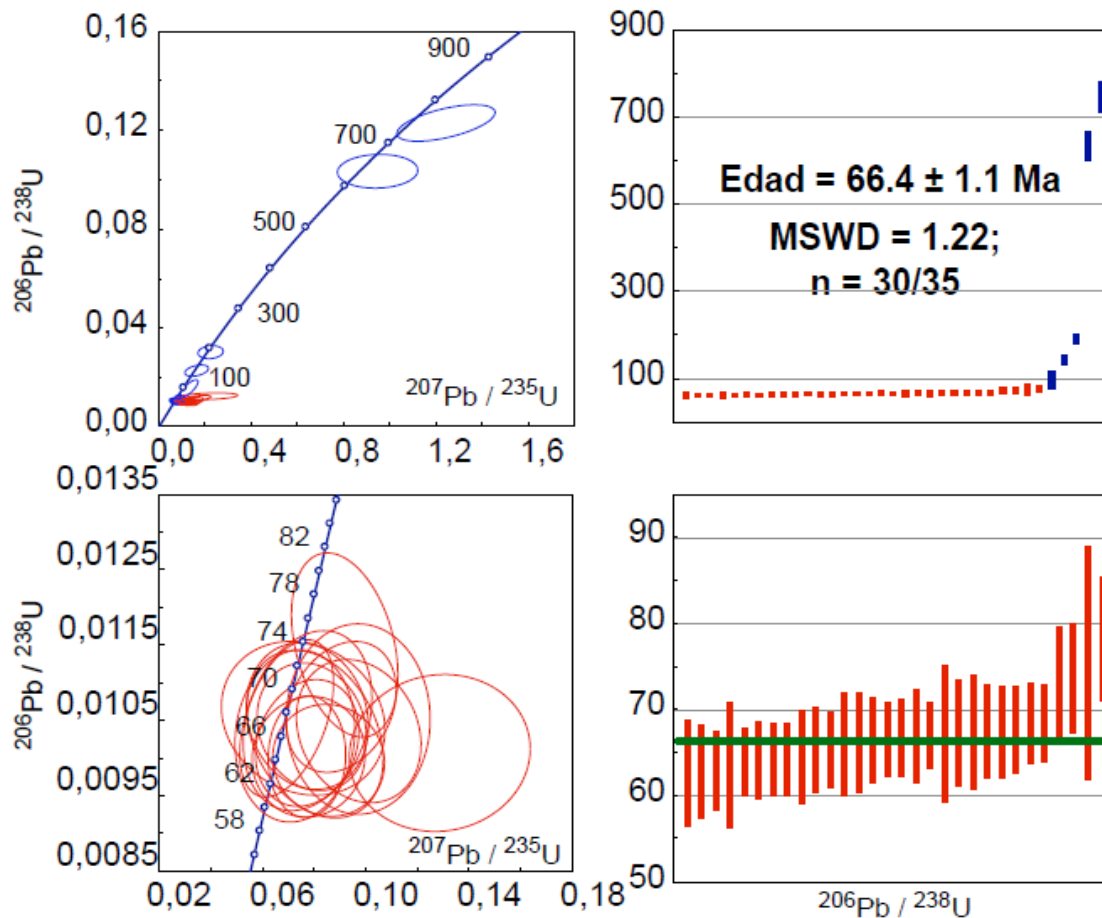


**Figura 19.** Análisis de U-Pb obtenidos de los zirrones de la muestra V2202, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zirrones analizados y la edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra.

### **QUERENQUE (Muestra Q2202)**

Treinta y un circones obtenidos de la muestra fueron montados en la probeta LEI-22-60. Los fechamientos se obtuvieron a través de 35 ablaciones realizadas en los bordes (n=30) y núcleos de los cristales (n=5). Los circones presentan tamaños que varían de 140 hasta los 40  $\mu\text{m}$  de longitud. Son translúcidos, subhédricos, con bordes irregulares y terminación piramidal en punta; algunos cristales presentan fracturas e inclusiones oscuras. En las imágenes de catodoluminiscencia se observan de color amarillo (Fig.16). Cuatro cristales más grandes presentan núcleos de color grisáceo. La mayoría de los cristales presentan zonaciones magmáticas de carácter oscilatorio.

Se obtuvieron un total de 35 edades, los cuales se encuentran en el rango de 746.8 a 62.7 Ma. Diecisiete datos presentan un valor de discordancia (Disc. %) superior al 25%, por lo que fueron descartados. Los 18 datos remanentes presentan edades distribuidas entre 746.8 a 64.0 Ma, donde 14 forman un grupo de edades más jóvenes que van desde los  $68.5 \pm 2.27$  a  $64.0 \pm 1.93$  Ma. Estos último fueron seleccionados para calcular la edad de cristalización. La edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada obtenida es de  **$66.4 \pm 1.1$  Ma.** (n=14; MSWD = 1.2;  $2\sigma$ ; Fig.18).

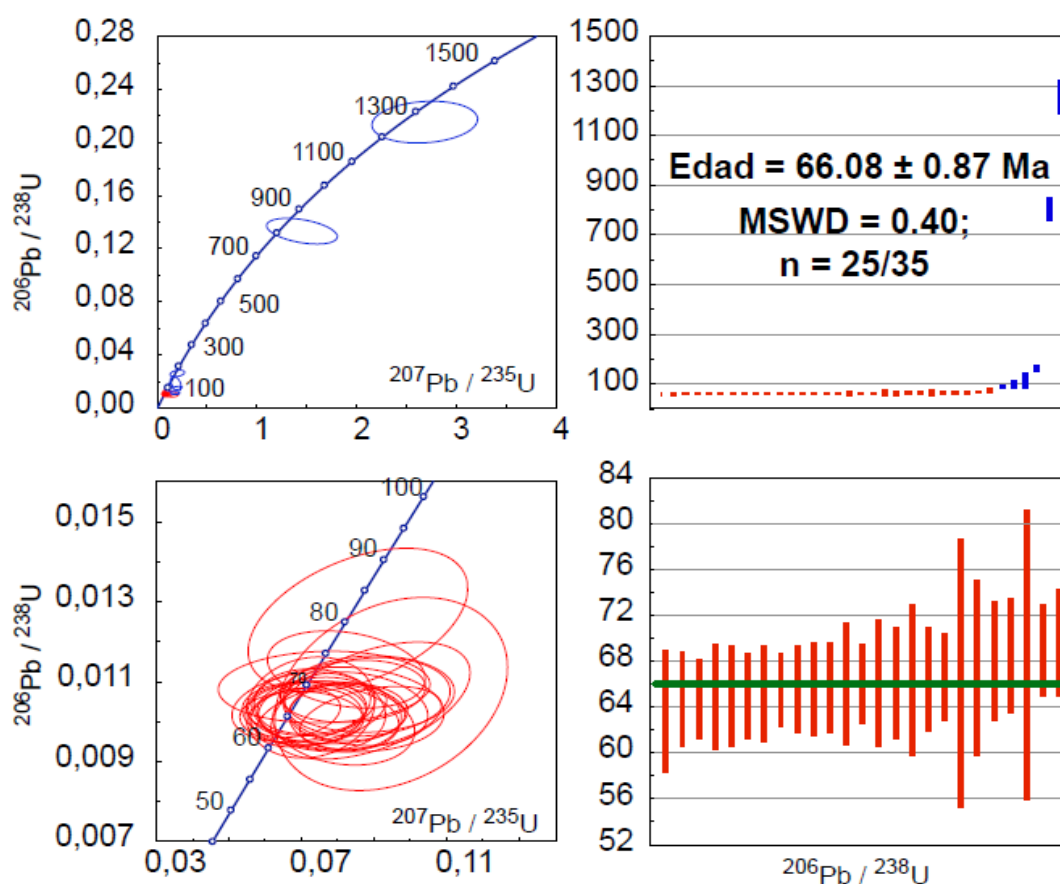


**Figura 20.** análisis de U-Pb obtenidos de los zirrones de la muestra Q2202, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zirrones analizados y la edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra.

### TECATE (*Muestra T2202*)

Cuarenta y tres zirrones obtenidos de la muestra fueron montados en la probeta LEI-22-60. Los fechamientos se obtuvieron a través de 35 ablaciones realizadas en los bordes ( $n=33$ ) y núcleos de los cristales ( $n=2$ ). Los zirrones presentan tamaños que varían de 35 hasta los 140  $\mu\text{m}$  de longitud. Son translúcidos, de subhédricos a euhédricos, con bordes irregulares y terminación piramidal en punta; algunos cristales presentan fracturas e inclusiones oscuras. En las imágenes de catodoluminiscencia se observan de color amarillo (Fig.16). La mayoría de los cristales presentan zonaciones magmáticas de carácter oscilatorio.

Se obtuvieron un total de 35 edades, los cuales se encuentran en el rango de 1319.7 a 61.5 Ma. (tabla de anexos). Nueve datos presentan un valor de discordancia (Disc. %) superior al 25%, por lo que fueron descartados. Los 26 datos remanentes presentan edades distribuidas entre 1319.7 a 63.4 Ma. donde 20 forman un grupo de edades más jóvenes que van desde los  $69.2 \pm 3.14$  a  $63.4 \pm 2.69$  Ma. Estos último fueron seleccionados para calcular la edad de cristalización. La edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada obtenida es de  **$66.08 \pm 0.87$  Ma.** (n=20; MSWD=0.40;  $2\sigma$ ; Fig.19).



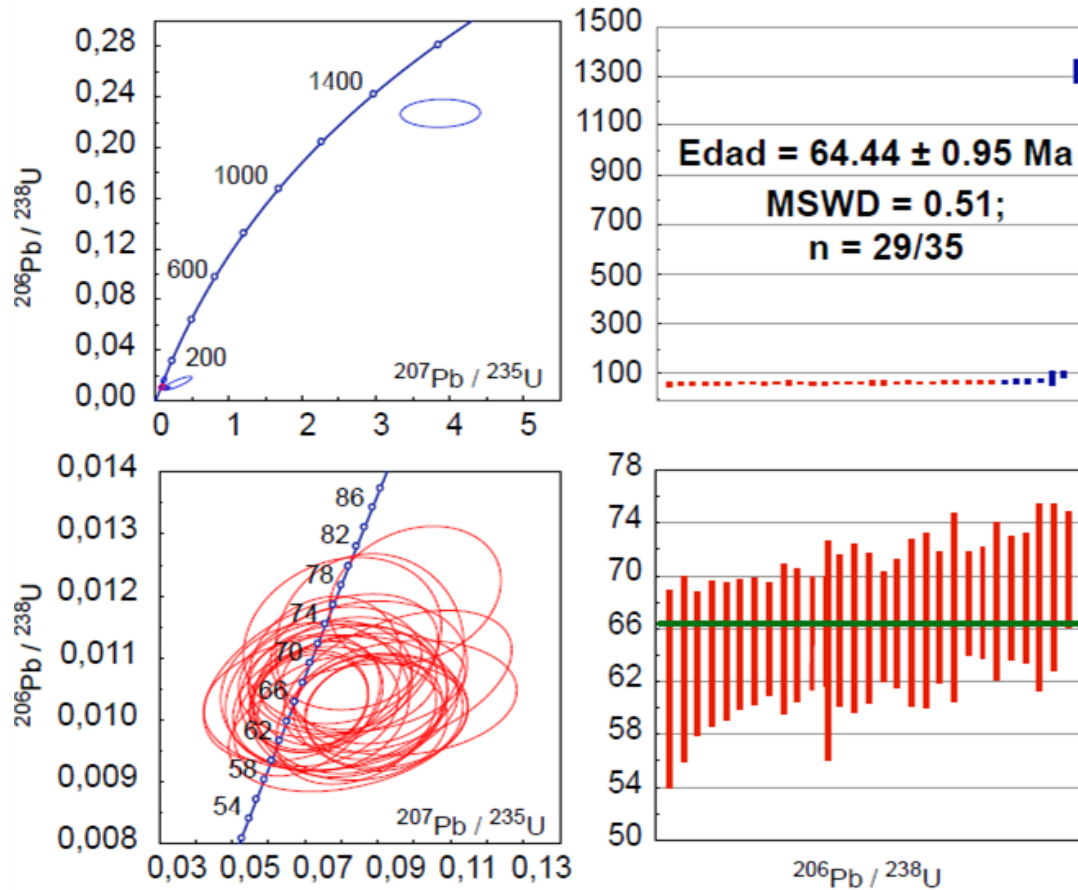
**Figura 21.** Análisis de U-Pb obtenidos de los zirrones de la muestra T2202, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zirrones analizados y la edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra.

### **ESPERANZA (Muestra E2201)**

Cuarenta circones obtenidos de la muestra fueron montados en la probeta LEI-22-60. Los fechamientos se obtuvieron a través de 35 ablaciones realizadas en los bordes (n=28) y núcleos de los cristales (n=7). Los circones presentan tamaños que varían de 55 hasta los 200  $\mu\text{m}$  de longitud. Son translúcidos, euhédricos, con bordes bien definidos y terminación piramidal en punta; algunos cristales presentan fracturas e inclusiones oscuras. En las imágenes de catodoluminiscencia se observan de color amarillo (Fig.16). Cuatro cristales más grandes presentan núcleos de color grisáceo. La mayoría de los cristales presentan zonaciones magmáticas de carácter oscilatorio.

Se obtuvieron un total de 35 edades, los cuales se encuentran en el rango de 1258.4 a 63.5 Ma. (tabla de anexos). Cinco datos presentan un valor de discordancia (Disc. %) superior al 25%, por lo que fueron descartados. Los 30 datos remanentes presentan edades distribuidas entre 1258.4 a 63.7 Ma. donde 24 forman un grupo de edades más jóvenes que van desde los  $69.7 \pm 2.34$  a  $63.7 \pm 2.63$  Ma. Estos último fueron seleccionados para calcular la edad de cristalización. La edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada obtenida es de  **$64.44 \pm 0.95$  Ma.** (n=24; MSWD=0.40;  $2\sigma$ ; Fig. 20).



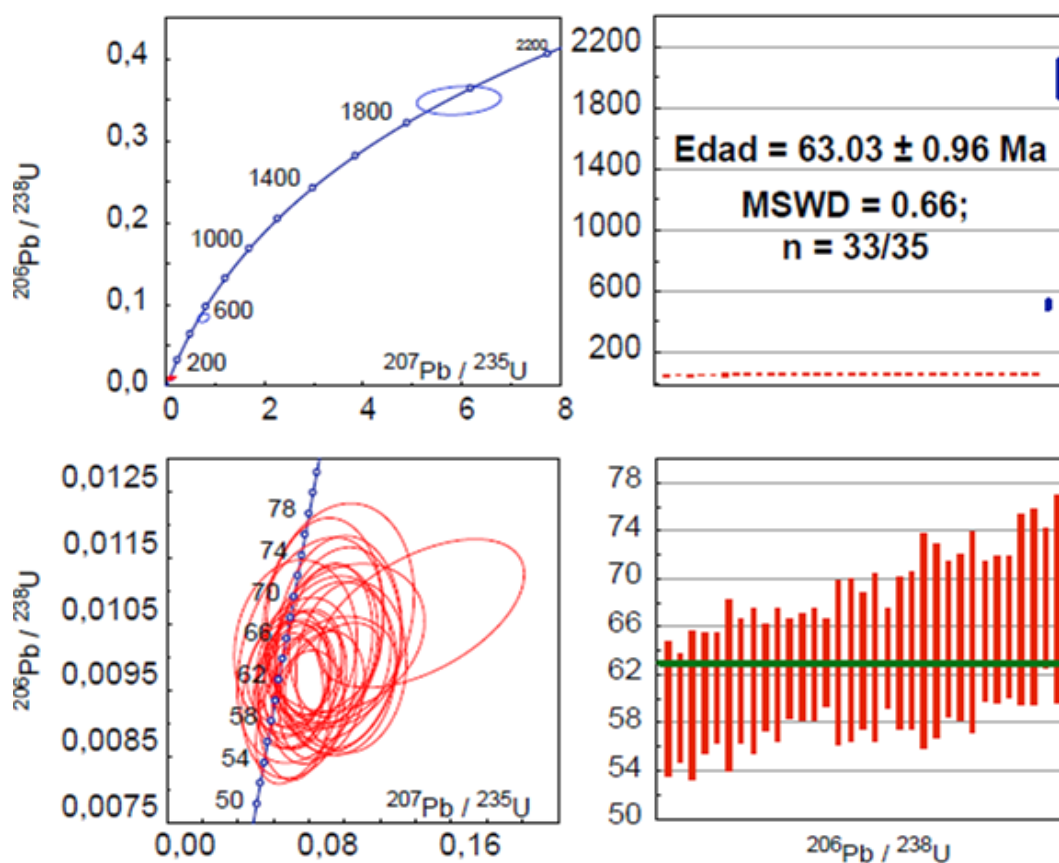


**Figura 22.** Análisis de U-Pb obtenidos de los zirrones de la muestra E2201, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zirrones analizados y la edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra.

### **ENCENERA (*Muestra EN2201*)**

Cuarenta y nueve zirrones obtenidos de la muestra fueron montados en la probeta LEI-22-60. Los fechamientos se obtuvieron a través de 35 ablaciones realizadas en los bordes (n=32) y núcleos del grano (n=3). Los zirrones presentan tamaños que varían de 80 hasta los 300  $\mu\text{m}$  de longitud. Son translúcidos, euhedrales, con terminación piramidal en punta; algunos cristales presentan fracturas e inclusiones oscuras. En las imágenes de catodoluminiscencia se observan de color azul (Fig.16). Más de cinco cristales de distintos tamaños presentan núcleos de color grisáceo. La mayoría de los cristales presentan zonaciones magmáticas de carácter oscilatorio.

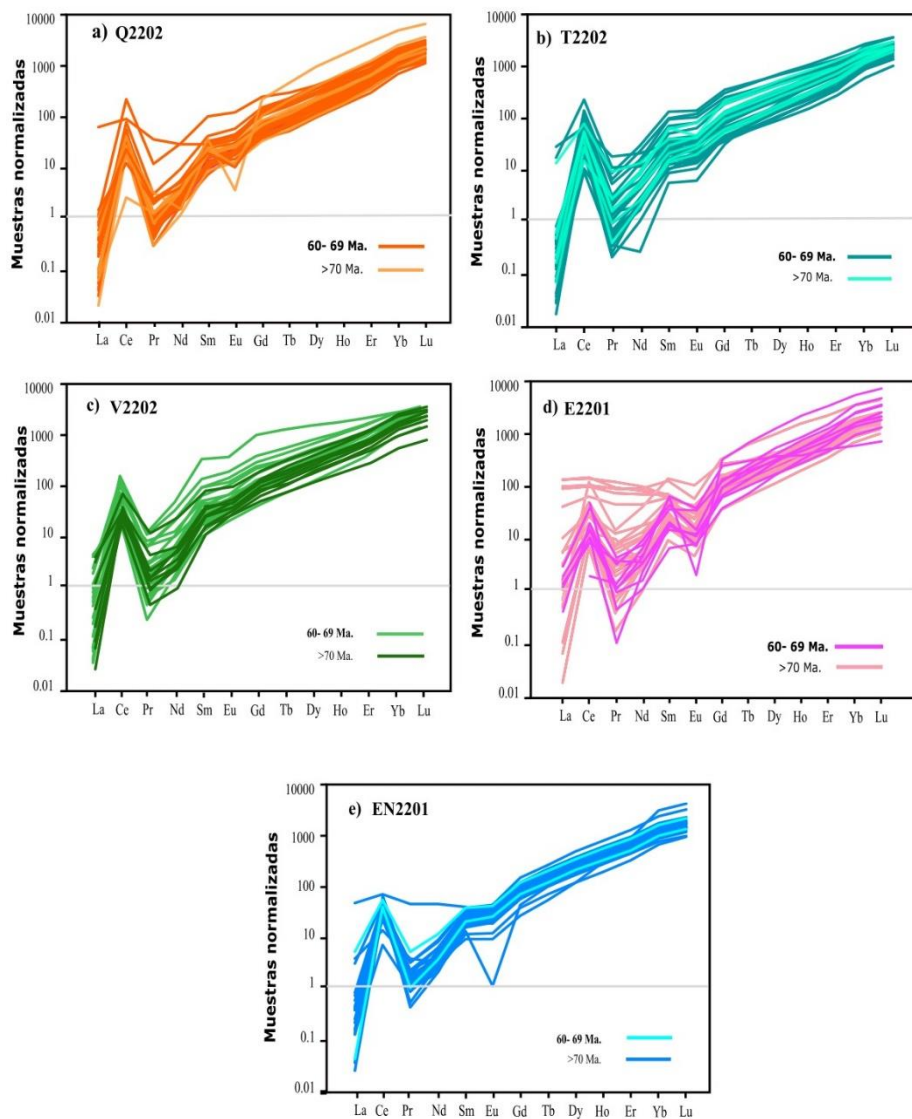
Se obtuvieron un total de 35 edades, los cuales se encuentran en el rango de 1994.2 a 59.1 Ma. Diecisiete datos presentan un valor de discordancia (Disc. %) superior al 25%, por lo que fueron descartados. Los 18 datos remanentes presentan edades distribuidas entre 1994.2 a 59.1 Ma, donde 13 forman un grupo de edades más jóvenes que van desde los  $68.4 \pm 4.32$  a  $60.9 \pm 2.26$  Ma. Estos último fueron seleccionados para calcular la edad de cristalización. La edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada obtenida es de  **$63.03 \pm 0.96$  Ma.** (n:13; MSWD = 0.66;  $2\sigma$ ; Fig. 21).



**Figura 23.** Análisis de U-Pb obtenidos de los zirrones de la muestra EN2201, utilizando la técnica de ablación láser (LA-ICP-MS). Se muestran los gráficos de concordia Tera-Wasserburg con todos los datos de los zirrones analizados y la edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  media ponderada de la muestra. Los análisis representados por elipses y recuadros de color azul fueron descartados para el cálculo de las edades debido a que son discordantes o presentan herencias. De igual manera se presentan los gráficos de la media ponderada, presentando los análisis utilizados para calcular la edad de cristalización de la muestra.

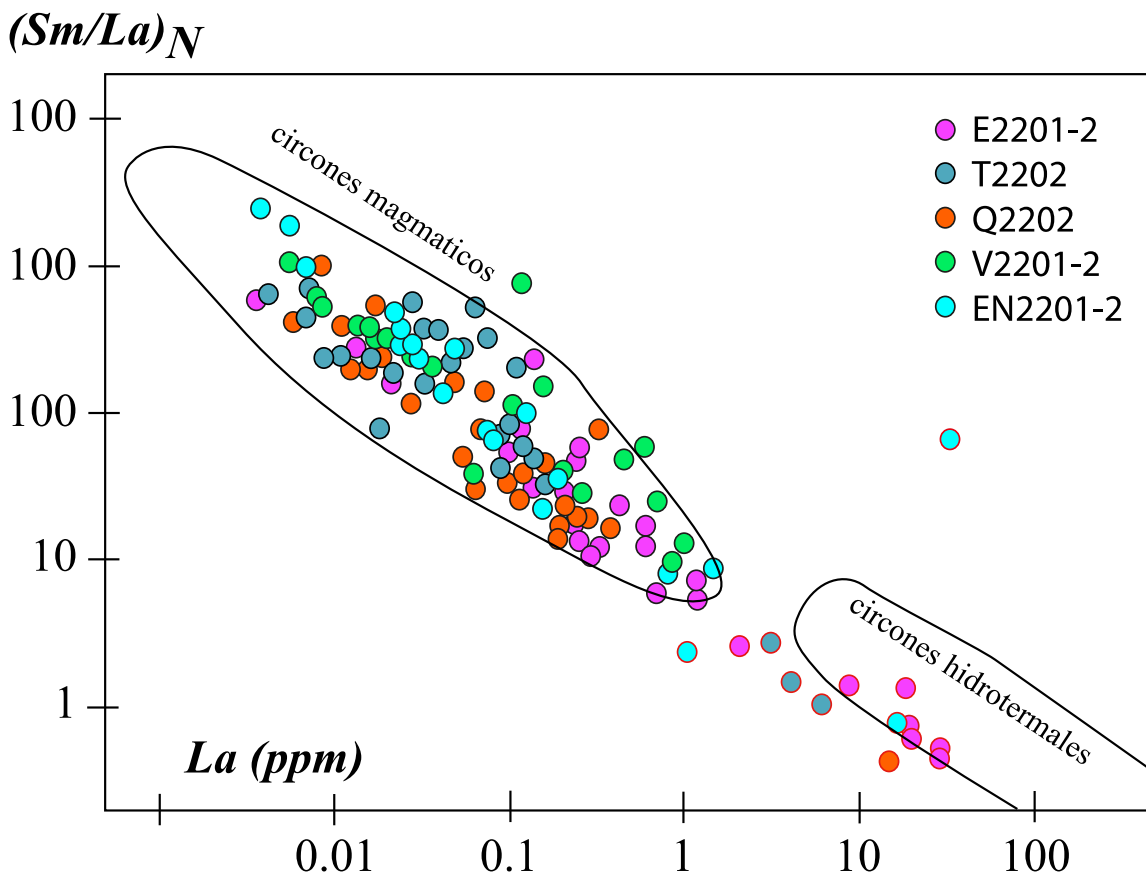
## 5.4 GEOQUÍMICA DE CIRCONES

Todos los datos obtenidos de los elementos trazas y tierras raras de los circones analizados se resumen en el [Anexo D](#). De acuerdo con los datos obtenidos mediante LA-ICPMS los patrones de REE (elementos de las tierras raras) normalizados por condrita de los circones analizados en el presente estudio se caracterizan por una pendiente bastante pronunciada debido al enriquecimiento significativo de REE pesadas (HREE) en relación con REE ligeras (LREE) y medias (MREE) con anomalías distintivas de Ce positivo y negativo de Pr ([Fig.22](#)).



**Figura 24.** Diagramas de elementos de las tierras raras (REE) normalizados en la composición condrita de [Sun y McDonough \(1989\)](#), donde se observan el enriquecimiento en tierras raras ligeras, las anomalías marcadas de Ce positivas y negativas Pr.

En el diagrama de discriminación de  $(Sm/La)_N$  vs. La (ppm), la mayoría de los datos de circonón se ubica dentro del campo magmático (Zhang et al., 2022). (Fig. 23). Los pocos datos que caen afuera de campo magmático o son xenocristales y/o presentan un porcentaje de discordancia alto sugiriendo un posible proceso de alteración.

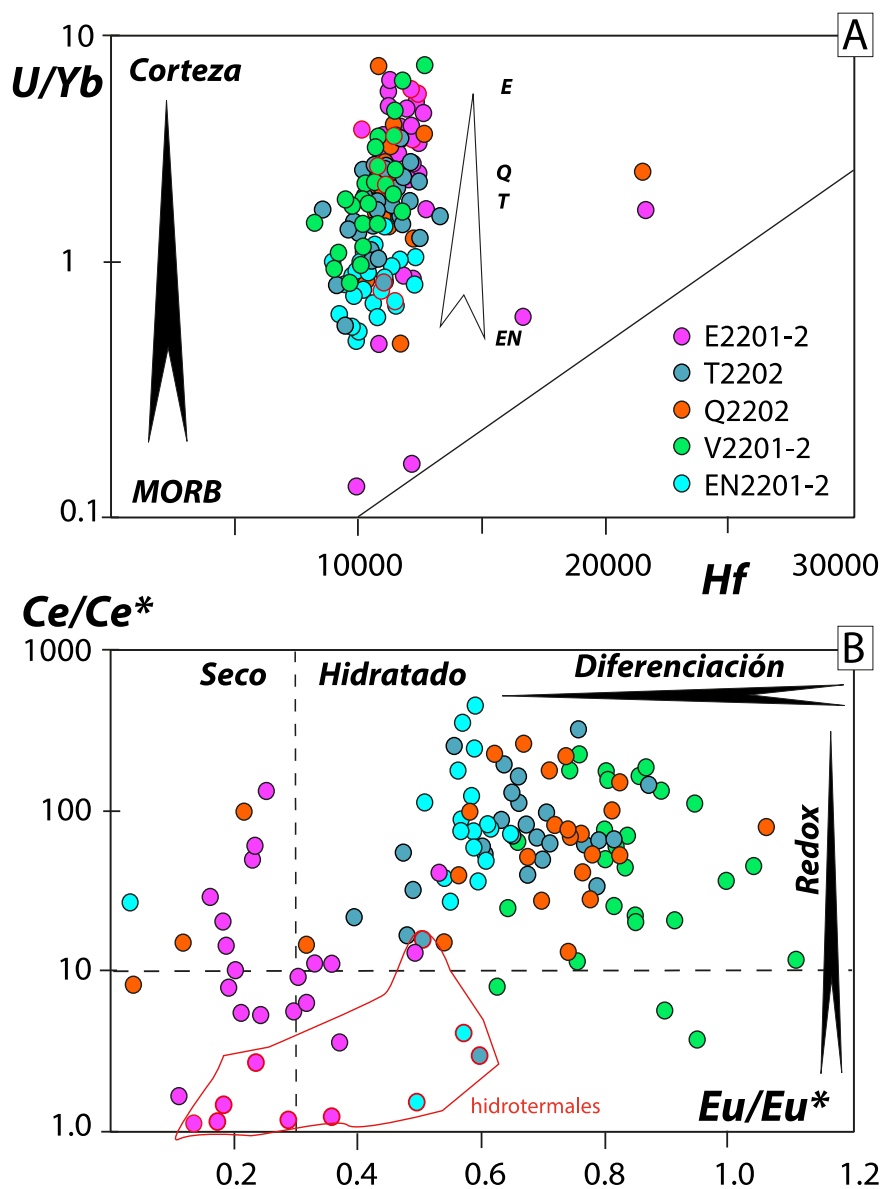


**Figura 25.** Concentraciones de  $(Sm/La)_N$  vs. La (ppm) La para distinguir entre los circones magmáticos y los circones hidrotermales. Valores de normalización de Sun y McDonough (1989). Campos de circones magmáticos (borde negro) e hidrotermales (borde rojo) obtenidos de Zhang et al. (2022).

Los circones de las cinco muestras analizadas presentan un rango de valores de Hf entre 9000 y 14,000 ppm, siendo Tecate la muestra que presenta una mayor variación (8,500 ppm - 13,300 ppm) (Fig. 24A).

En la Figura 24B se muestra el diagrama de discriminación  $Eu/Eu^*$  versus  $Ce/Ce^*$ , donde  $Eu^* = (Sm \times Gd)^{1/2}$  y  $Ce^* = (La \times Pr)^{1/2}$ . En el diagrama se observan dos grupos, el primer

grupo está conformado por las muestras E2201-02 y se ubica mayormente en el campo de magmas con bajo grado de oxidación y de hidratación ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* < 0.3$ ;  $\text{Ce}/\text{Ce}^* < 10$ ; Gardiner et al., 2017), mientras que el segundo grupo es conformado por todas las demás muestras, las cuales se ubican en el campo de los magmas oxidados e hidratados ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* > 0.3$ ;  $\text{Ce}/\text{Ce}^* > 10$ ; Gardiner et al., 2017). Dentro de este segundo grupo los valores de  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  son relativamente constantes y comparables entre cada muestra. Pero los valores  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  varían con valores decreciente desde V2201-02, Q2202, T2202, EN2201.



**Figura 26.** A) Concentraciones de Hf en circones frente a U/Yb. B) Diagrama de discriminación  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  versus  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ . Circones magmáticos (borde negro), Circones hidrotermales (borde rojo). Campos obtenidos de Gardiner et al. (2017).

## 5.5 TERMOBAROMETRÍA

### 5.5.1 TERMOMETRÍA Ti EN CIRCÓN

**Tabla 5.** Resumen de los valores termométricos calculados para los cristales de circón por ablación láser.

CIRCÓN					
Muestra	n	TEMPERATURA (°C)			D.S
		Min	Max	$\bar{X}$	
<b>Victoria</b>					
V2202	21	675	878	726	41
<b>Querenque</b>					
Q2202	26	619	1101	686	90
<b>Tecate</b>					
T2202	28	577	803	687	47
<b>Esperanza</b>					
E2201	25	607	794	666	46
<b>Encenera</b>					
EN2201	30	681	1109	717	34

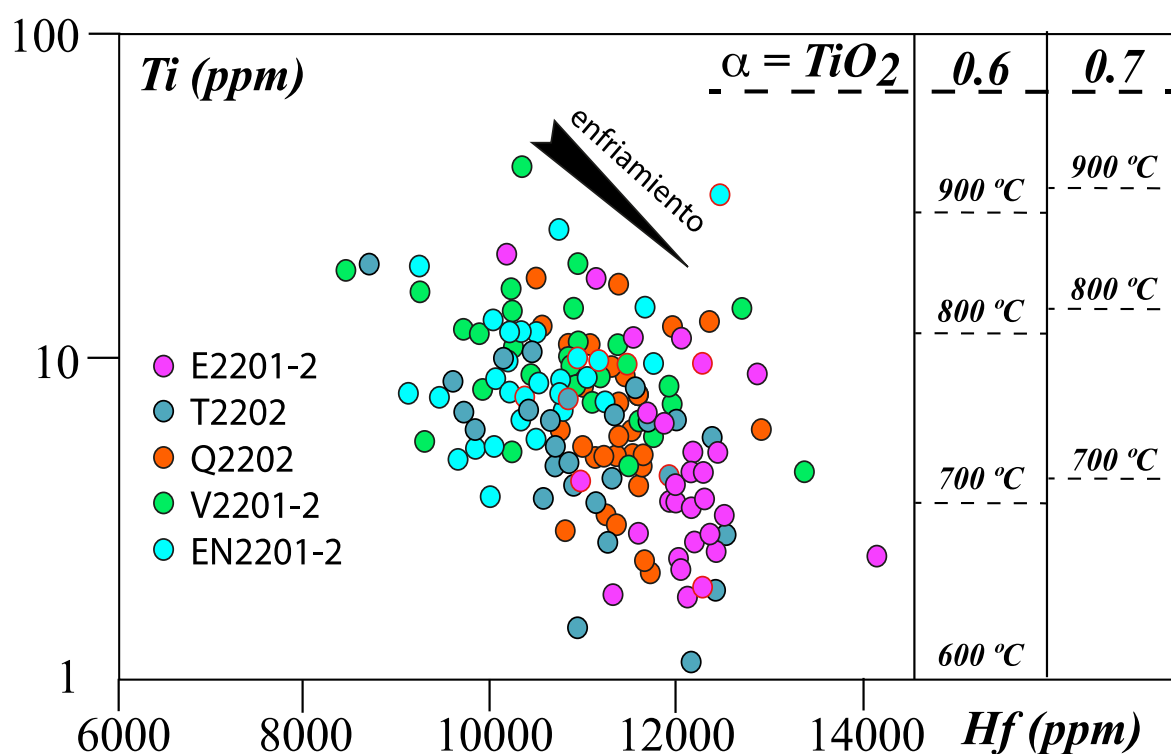
n= número de datos; Min= mínimo; Máx=máximo D.S= Desviación estándar.

La concentración de Ti en circón depende de dos factores principales, la temperatura y la actividad de Ti en el magma (Watson et al., 2006). El geotermómetro de Ti es aplicable cuando la actividad de Ti es alta y existe fases minerales de titanio en la muestra. El geotermómetro definido por Watson et al. (2006) asume que los valores de actividades elementales mediana en roca de composición ácida son  $\alpha\text{TiO}_2 = 0.65$  a  $0.7$  y  $\alpha\text{SiO}_2 = 1$ .

La presencia de cuarzo y titanitas en las descripciones petrográficas de las muestras permiten acercarse a las condiciones requeridas para el uso del geotermómetro de Ferry y Watson et al. (2007) para nuestras muestras. Ferry y Watson (2007) define que el margen de error sobre el cálculo de temperatura es de  $50^\circ\text{C}$ . Dentro de este rango de error analítico, todas las muestras presentan una temperatura mediana comparables.

Se presentan los resultados obtenidos sobre los cristales de circones que presentan una edad inferior a 70 Ma, edades tomadas como representativas del último evento magmático.

Las temperaturas calculadas de Ti en zircón para las muestras analizadas varían desde 577 hasta 1101° C. Basándose en el cálculo de la mediana de distribución de los valores de temperatura de cada muestra, se pueden diferenciar dos grupos. El primer grupo presenta temperatura mediana arriba de 700°C, y está conformado por los circones de las muestras EN2201 y V2202, con rangos y mediana respectivos de 672–803°C, mediana de 736°C y 657–827°C, mediana de 716°C respectivamente. El segundo grupo, presenta valores de temperatura mediana debajo de 700°C. Este grupo está conformado por el set de datos correspondientes a las muestras Q2202, T2202 y EN2201. Dentro de este grupo las muestras Q2202, T2202 presentan una mediana comparable de ca. 685°C con rangos variando entre 619 y 1101°C y entre 577 y 803°C respectivamente. La muestra EN2201 presenta un valor de temperatura mediana un poco más bajo de 666°C con un rango entre 607–794°C (Fig. 25).



**Figura 27.** Diagrama de concentraciones de Ti en zircón vs. concentraciones de Hf. Temperaturas Ti en zircón calculadas utilizando  $\alpha_{\text{TiO}_2} = 0,6$  y  $0,7$ , y  $\alpha_{\text{SiO}_2} = 1$  (Ferry y Watson et al., 2007). Circones magmaticos (borde negro), Circones hidrotermales (borde rojo).

A continuación, se presentan los valores de temperatura Ti en circón obtenidos para cada muestra utilizando el geotermómetro de [Ferry y Watson \(2007\)](#).

#### **VICTORIA (*Muestra V2202*)**

Para los cálculos de temperatura a partir del contenido de Ti en circón, el contenido de Ti varía entre 4.5 y 39.5 ppm en los análisis depurados de la muestra. El rango de temperatura determinado sobre los cristales de circón varía de 675.22 a 878.12 °C, con una temperatura mediana de  $T_{(\bar{x})}$  de  $726 \pm 41$  °C.

#### **QUERENQUE (*Muestra Q2201*)**

Para los cálculos de temperatura a partir del contenido de Ti en circones, el contenido de Ti varía entre 2.08 y 55.12 ppm en los análisis depurados de la muestra. El rango de temperatura determinado sobre los cristales de circón varía de 619.53 a 1101.96 °C, con una temperatura mediana de  $T_{(\bar{x})}$  de  $686 \pm 90$ °C.

#### **TECATE (*Muestra T2202*)**

Para los cálculos de temperatura a partir del contenido de Ti en circones, el contenido de Ti varía entre 1.37 y 19.58 ppm en los análisis depurados de la muestra. El rango de temperatura determinado sobre los cristales de circón varía 577.4 a 803.7 °C, con una temperatura mediana de  $T_{(\bar{x})}$  de  $687 \pm 47$ °C.

#### **ESPERENZA (*Muestra E2201*)**

Para los cálculos de temperatura a partir del contenido de Ti en circones, el contenido de Ti varía entre 1.72 y 195.77 ppm en los análisis depurados de la muestra. El rango de temperatura determinado sobre los cristales de circón varía de 607.11 a 794.43 °C, con una temperatura mediana de  $T_{(\bar{x})}$  de  $666 \pm 46$  °C.



### **ENCENERA (*Muestra EN2201*)**

Para los cálculos de temperatura a partir del contenido de Ti en circones, el contenido de Ti varía entre 3.56 y 120 ppm en los análisis depurados de la muestra. El rango de temperatura determinado sobre los cristales de circón varía de 681.06 a 109.44 °C, con una temperatura mediana de  $T_{(\tilde{x})}$  de  $717 \pm 34^{\circ}\text{C}$ .

## 5.5.2 TERMOBAROMETRÍA EN BIOTITA Y ANFÍBOL

Con el propósito de estimar las condiciones de temperatura y presión alcanzadas durante la cristalización y emplazamiento de las rocas intrusivas, se seleccionó una muestra representativa de cada intrusivo que presentara la menor alteración posible. Adicionalmente, se analizaron dos intrusivos correspondientes a las áreas productivas de el Limón y Media Luna, con la finalidad de obtener resultados con los que se pudiera hacer una comparación entre éstos y los nuevos intrusivos muestreados en el presente estudio.

Se realizaron análisis puntuales en minerales de biotita y anfíboles mediante microsonda electrónica en las diferentes muestras. Todos los resultados obtenidos se presentan en el [Anexo B](#).

**Tabla 6.** Resumen de los valores termobarométricos calculados para los cristales de biotita y anfíbol por microsonda electrónica

BIOTITA												
	TEMPERATURA (°C)					PRESIÓN (kbar)				PROFUNDIDAD (km)		
	n	Min	Max	$\bar{x}$	D.S	Min	Máx	$\bar{x}$	D.S	Min	Máx	$\bar{x}$
<b>Victoria</b>												
V2202	21	679	715	700	10	1.1	1.8	1.5	0.1	4.9	7.8	6.4
<b>Querenque</b>												
Q2202	25	654	805	737	31	1.0	1.6	1.3	0.4	4.3	7.1	5.7
<b>Tecate</b>												
T2202	40	678	730	710	13	0.9	1.6	1.2	0.2	3.9	6.7	5.3
<b>Esperanza</b>												
E2201	41	683	779	750	20	0.6	1.3	0.9	0.4	2.7	5.5	4.1
<b>Encenera</b>												
EN2201	10	541	575	563	9	6.5	7.1	6.8	1.0	28.1	30.9	29.5
<b>Media Luna</b>												
ML	30	741	845	783	26	0.3	0.9	0.6	0.1	1.1	4.0	2.6
<b>Filos</b>												
F	30	703	746	730	18	0.4	1.0	0.7	0.3	1.6	4.5	3.1
ANFÍBOL												
	n	Min	Max	$\bar{x}$	D.S	Min	Máx	$\bar{x}$	D.S	$\bar{x}$		
<b>Victoria</b>												
V2202	26	637	659	651	5	3.2	10.5	4.5	1.5	19.4		
<b>Querenque</b>												
Q2202	19	647	664	655	5	2.7	5.2	3.7	0.8	16.2		

n= número de datos; Min= mínimo; Máx=máximo D.S= Desviación estándar.

Para el cálculo de las condiciones de presión y temperatura en anfíbol, se aplicó el geobarómetro propuesto por [Mutch et. al \(2016\)](#), el cual es válido para rocas graníticas de baja presión, con ensamble mineral (Amp+Plg<sub>(15-80)</sub> +Bt+Qtz+Fsp+Ilm/Tt+Mag+Ap) y que cristalizaron cerca del solidus haplogranítico (750 ± 75°C), parametrizado a partir de [Holtz y Johannes \(1994\)](#)

Anfíbol

$$P(\text{kbars}) = 0.5 + 0.331 \times Al^{\text{tot}} + 0.995 \times (Al^{\text{tot}})^2$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 626 + (118.46 / (P(\text{kbar}) + 0.357))$$

Para el cálculo de las condiciones de presión en biotita se utilizó el geobarómetro propuesto por [Uchida et al. \(2007\)](#). Geobarómetro obtenido en rocas graníticas en donde el análisis químico en biotita muestra que el contenido total de Al ( $Al^{\text{tot}}$ ) sobre la base de O=22 cambia con el tipo de metal de los depósitos minerales hidrotermales que lo acompañan. Se estima que Los depósitos de Pb-Zn y Mo se forman a presiones inferiores a 1 kbar, los depósitos de Cu-Fe y Sn a 1 – 2 kbar, los depósitos de W a 2 – 3 kbar y las rocas graníticas no mineralizadas se solidifican a presiones superiores a 3 kbar [Uchida et al. \(2007\)](#).

La temperatura en biotita se obtuvo empleando el geotermómetro de [Luhr et al. \(1984\)](#), basado en el intercambio acoplado de Ti y  $Fe^{+2}$ , donde se conocen las temperaturas a partir de óxidos de Fe-Ti.

Biotita

$$P(\text{kbar}) = 3.03 \times Al^{\text{tot}} - 6.53$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = (838 / (1.0337 \times (Ti/ Fe^{+2}))) - 273$$

### **VICTORIA (*Muestra V2202*)**

Se calcularon condiciones de presión y temperatura con base en los análisis químicos realizados en los fenocristales que presentaban un menor grado de alteración en cristales de biotita y anfíbol de la muestra V2202.

La determinación de la presión de cristalización mediante el análisis de aluminio en biotita se realizó a partir de 21 análisis puntuales con microsonda electrónica, obteniendo presiones en un rango de 1.3 a 1.7 kbar con una presión mediana de  $P_{(\bar{x})}$  de  $1.5 \pm 0.1$  kbar. Las presiones calculadas a partir de 25 análisis de anfíbol arrojaron valores significativamente más altos, con un rango de 3.7 a 10.5 kbar y una presión mediana de  $P_{(\bar{x})}$   $4.5 \pm 1.5$  kbar.

El rango de temperatura determinado para los análisis de biotita fue de 679 a 719 °C, con una temperatura mediana de  $T_{(\bar{x})}$  de  $700 \pm 1$  °C. Para los cristales de anfíbol, el rango de temperatura determinado varía de 637.8 a 655.5 °C, con una temperatura mediana  $T_{(\bar{x})}$  de  $650 \pm 5$  °C.

A partir de los datos de presión se estima una profundidad de emplazamiento asumiendo una densidad de corteza promedia de  $2.4 \text{ kg/cm}^3$  para la columna de corteza superior y formaciones carbonatadas que hospedan en intrusivo. Los valores obtenidos de profundidad mediana  $d_{(\bar{x})}$  son de 6.2 km y de 18.6 km para la biotita y anfíbol respectivamente.

### **QUERENQUE (*Muestra Q2201*)**

Se calcularon condiciones de presión y temperatura en base a los análisis químicos de los fenocristales que presentaban un menor grado de alteración en cristales de biotita y anfíbol de la muestra Q2201.

La determinación de la presión de cristalización mediante el análisis de aluminio en biotita se realizó a partir de 23 análisis puntuales con microsonda electrónica, obteniendo presiones en un rango de 0.3 a 1.9 kbar con una presión mediana de  $P_{(\bar{x})}$  de  $1.3 \pm 0.4$  kbar. Las presiones

calculadas a partir de 19 análisis de anfíboles arrojaron valores significativamente más altos, con un rango de 2.73 a 5.23 kbar y una presión mediana de  $P_{(\bar{x})}$  de  $3.7 \pm 0.8$  kbar.

El rango de temperatura determinado para los análisis de biotita fue de 654 a 805 °C, con una temperatura mediana de  $T_{(\bar{x})}$  de  $737 \pm 31$  °C. Para los cristales de anfíbol, el rango de temperatura determinado varía de 647.2 a 664.4 °C, con una temperatura mediana  $T_{(\bar{x})}$  de  $655 \pm 5$  °C.

A partir de los datos de presión se estima una profundidad de emplazamiento asumiendo una densidad promedia de 2.4 kg/cm<sup>3</sup> para la columna de corteza superior y formaciones carbonatadas que hospedan en intrusivo. Los valores obtenidos de profundidad mediana  $d_{(\bar{x})}$  son de 5.5 km y de 15.5 km para la biotita y anfíbol respectivamente.

#### **TECATE (*Muestra T2202*)**

Se calcularon condiciones de presión y temperatura en base a los análisis químicos de los fenocristales que presentaban un menor grado de alteración en los cristales de biotita de la muestra T2202.

La determinación de la presión de cristalización mediante el análisis de aluminio en biotita se realizó a partir de 40 análisis puntuales con microsonda electrónica, obteniendo presiones en un rango de 1.1 a 1.8 kbar con una presión media  $P_{(\bar{x})}$  de  $1.2 \pm 0.2$  kbar. El rango de temperatura determinado fue de 678 a 730 °C, con una temperatura mediana  $T_{(\bar{x})}$  de  $710 \pm 13$  °C.

A partir de los datos de presión se estima una profundidad de emplazamiento asumiendo una densidad promedia de 2.4 kg/cm<sup>3</sup> para la columna de corteza superior y formaciones carbonatadas que hospedan en intrusivo. El valor obtenido para la profundidad mediana  $d_{(\bar{x})}$  es de 5.0 km.

### **ESPERENZA (*Muestra E2201*)**

Se calcularon condiciones de presión y temperatura en base a los análisis químicos de los fenocristales que presentaban un menor grado de alteración en biotitas de la muestra E2201.

La determinación de la presión de cristalización mediante el análisis de aluminio en biotita se realizó a partir de 42 análisis puntuales con microsonda electrónica, obteniendo presiones en un rango de 0.8 a 2.8 kbar con una presión mediana  $P_{(\bar{x})}$  de  $0.9 \pm 0.4$  kbar. El rango de temperatura determinado fue de 683 a 779 °C, con una temperatura mediana  $T_{(\bar{x})}$  de  $750 \pm 20$  °C.

A partir de los datos de presión se estima una profundidad de emplazamiento asumiendo una densidad promedia de  $2.4 \text{ kg/cm}^3$  para la columna de corteza superior y formaciones carbonatadas que hospedan en intrusivo. El valor obtenido para la profundidad mediana  $d_{(\bar{x})}$  es de 3.75 km.

### **ENCENERA (o el Rodado, *Muestra EN2201*)**

Se calcularon condiciones de presión y temperatura en los fenocristales que presentaban un menor grado de alteración en biotitas de la muestra EN2201.

La determinación de la presión de cristalización mediante el análisis de aluminio en biotita se realizó a partir de 10 análisis puntuales con microsonda electrónica, obteniendo presiones en un rango de 4.0 a 7.1 kbar con una presión mediana  $P_{(\bar{x})}$  de  $6.8 \pm 1.0$  kbar. El rango de temperatura determinado fue de 541 a 575 °C, con una temperatura mediana  $T_{(\bar{x})}$  de  $563 \pm 9$  °C.

A partir de los datos de presión se estima una profundidad de emplazamiento asumiendo una densidad promedia de  $2.4 \text{ kg/cm}^3$  para la columna de corteza superior y formaciones carbonatadas que hospedan en intrusivo. El valor obtenido para la profundidad mediana  $d_{(\bar{x})}$  es de 27.9 km.

### **MEDIA LUNA (*Muestra ML*)**

Se calcularon las condiciones de presión y temperatura con base en los análisis químicos de los fenocristales que presentaban un menor grado de alteración en biotitas de la muestra ML.

La determinación de la presión de cristalización mediante el análisis de aluminio en biotita se realizó a partir de 30 análisis puntuales con microsonda electrónica, obteniendo presiones en un rango de 0.4 a 0.7 kbar con una presión mediana  $P_{(\bar{x})}$  de  $0.6 \pm 0.1$  kbar. El rango de temperatura determinado fue de 741 a 845 °C, con una temperatura mediana  $T_{(\bar{x})}$  de  $782 \pm 26$  °C.

A partir de los datos de presión se estima una profundidad de emplazamiento asumiendo una densidad promedia de  $2.4 \text{ kg/cm}^3$  para la columna de corteza superior y formaciones carbonatadas que hospedan en intrusivo. El valor obtenido para la profundidad mediana  $d_{(\bar{x})}$  es de 2.5 km.

### **FILOS (*Muestra FL*)**

Se calcularon condiciones de presión y temperatura con base en los análisis químicos en los fenocristales que presentaban un menor grado de alteración en biotitas de la muestra FL.

La determinación de la presión de cristalización mediante el análisis de aluminio en biotita se realizó a partir de 30 análisis puntuales con microsonda electrónica, obteniendo presiones en un rango de 0.7 a 0.8 kbar con una presión mediana  $P_{(\bar{x})}$  de  $0.7 \pm 0.3$  kbar. El rango de temperatura determinado fue de 703 a 744 °C, con una temperatura mediana  $T_{(\bar{x})}$  de  $730 \pm 18$  °C.

A partir de los datos de presión se estima una profundidad de emplazamiento asumiendo una densidad promedia de  $2.4 \text{ kg/cm}^3$  para la columna de corteza superior y formaciones carbonatadas que hospedan en intrusivo. El valor obtenido de  $d_{(\bar{x})}$  es de 2.9 km.



## 5.6 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Los estudios petrogenéticos permiten distinguir las características de las fuentes magmáticas (Wilson, 2007), los procesos de evolución, y el ambiente geológico en el que las rocas se formaron (Maniar y Piccoli, 1989; Pearce et al., 1984; Barbarin, 1999). Para este estudio se obtuvieron análisis geoquímicos de cinco muestras de las cuales se realizó previamente un estudio petrográfico para su selección. Los criterios que se tomaron en cuenta fueron el grado de alteración y las relaciones texturales existentes en las fases minerales para asegurar la representatividad de los datos obtenidos. Las muestras analizadas tienen valores de pérdida por calcinación menores a 6%, lo que sugiere una mínima alteración secundaria en las muestras seleccionadas. Los valores reportados como porcentaje se refieren a % en peso. Los valores de  $Fe_2O_3T$  fueron recalculados según la relación  $(Fe_2O_3/FeO) = 0,2$  de acuerdo con Wilkinson (1986) y la norma CIPW fue calculada.

Para descartar la posibilidad de que las muestras seleccionadas para los análisis químicos se encontraran alteradas, se utilizó el diagrama  $Na_2O/K_2O$  vs  $Na_2O+K_2O$  de Miyashiro (1975) que separa las rocas frescas de las alteradas. Todas las muestras seleccionadas caen en el campo de rocas frescas, lo cual da certeza que la caracterización y clasificación geoquímica refleja la composición original de la roca (Fig. 26).

A continuación, se describen los resultados obtenidos para las muestras de los diferentes cuerpos intrusivos. Todos los datos obtenidos de la geoquímica de roca total se encuentran en el Anexo E.

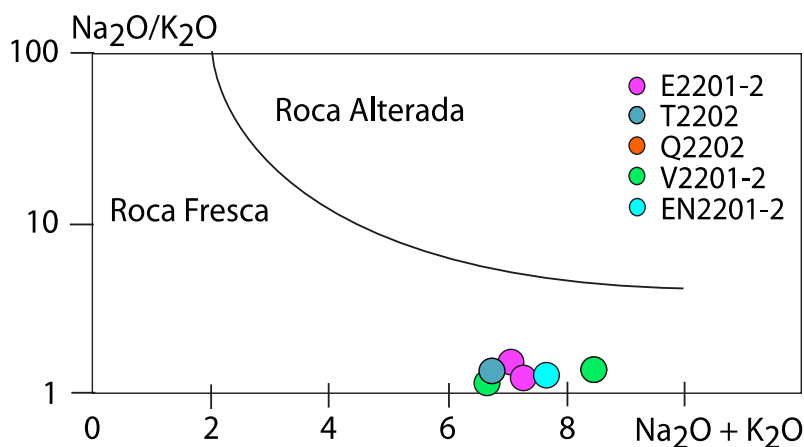


Figura 28. Diagrama  $Na_2O/K_2O$  vs  $Na_2O+K_2O$  para separar roca fresca de roca alterada, Miyashiro (1975).

## 5.6.1 ELEMENTOS MAYORES

### CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA

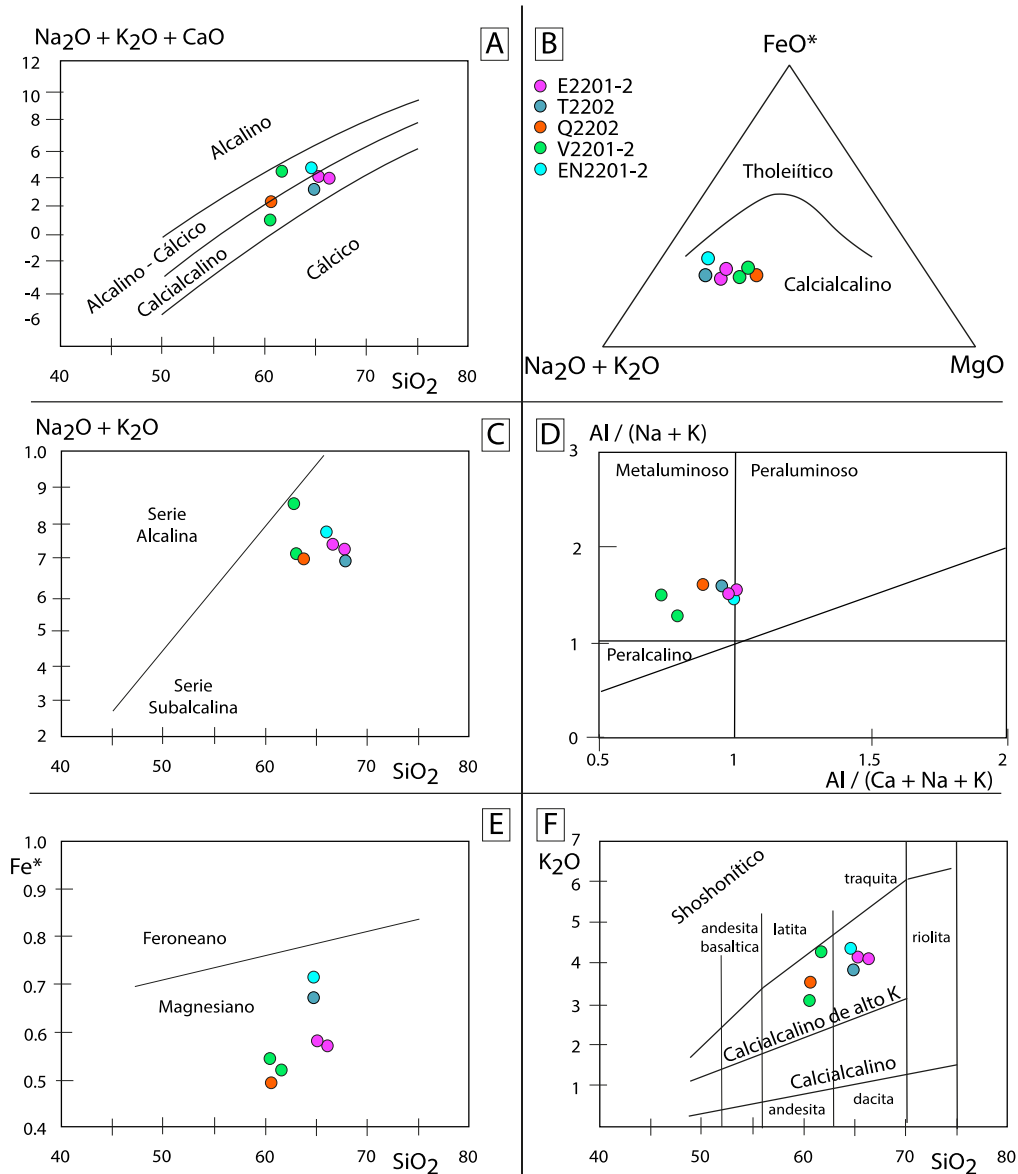
Las muestras se clasificaron químicamente por el diagrama MALI, basado en el índice modificado de  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$  (MALI: modified alkaline-lime index; (Frost et al., 2001; Frost y Frost, 2008) (Fig. 27A), por el diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971)(Fig.27B), el contenido de álcalis (Irvine y Baragar, 1971) (Fig. 27C), por el grado de saturación en alúmina (Maniar y Piccoli, 1989)(Fig. 27D), por el índice de Fe [ $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ ] contra  $\text{SiO}_2$  (Frost et al., 2008) (Fig. 27E) y por el contenido de potasio (Peccerillo y Taylor, 1976) (Fig. 27F).

En los análisis de elementos mayores obtenidos para todas las muestras se observa que estas presentan una composición intermedia con una variación restringida en el contenido de  $\text{SiO}_2$  de 60.54 a 66.10 %. Con base en su composición química las rocas son clasificadas como andesitas y dacitas, de la serie subalcalina con enriquecimiento en potasio, calcoalcalinas y metaluminosas.

**Tabla 7.** Localización y clasificación del tipo de roca de acuerdo con los análisis geoquímicos y estudio petrográfico

<b>Muestra</b>	<b>Latitud (°N)</b>	<b>Longitud (°W)</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Victoria</b>			
V2202	18.050788	-99.769538	<b>Pórdifo andesítico</b>
<b>Querenque</b>			
Q2202	18.011343	-99.797176	<b>Pórdifo andesítico</b>
<b>Tecate</b>			
T2202	18.042914	-99.783411	<b>Pórdifo dacítico</b>
<b>Esperanza</b>			
E2201	18.021994	-99.731929	<b>Pórdifo dacítico</b>
<b>Encenera</b>			
EN2201	17.904662	-99.7512	<b>Pórdifo dacítico</b>

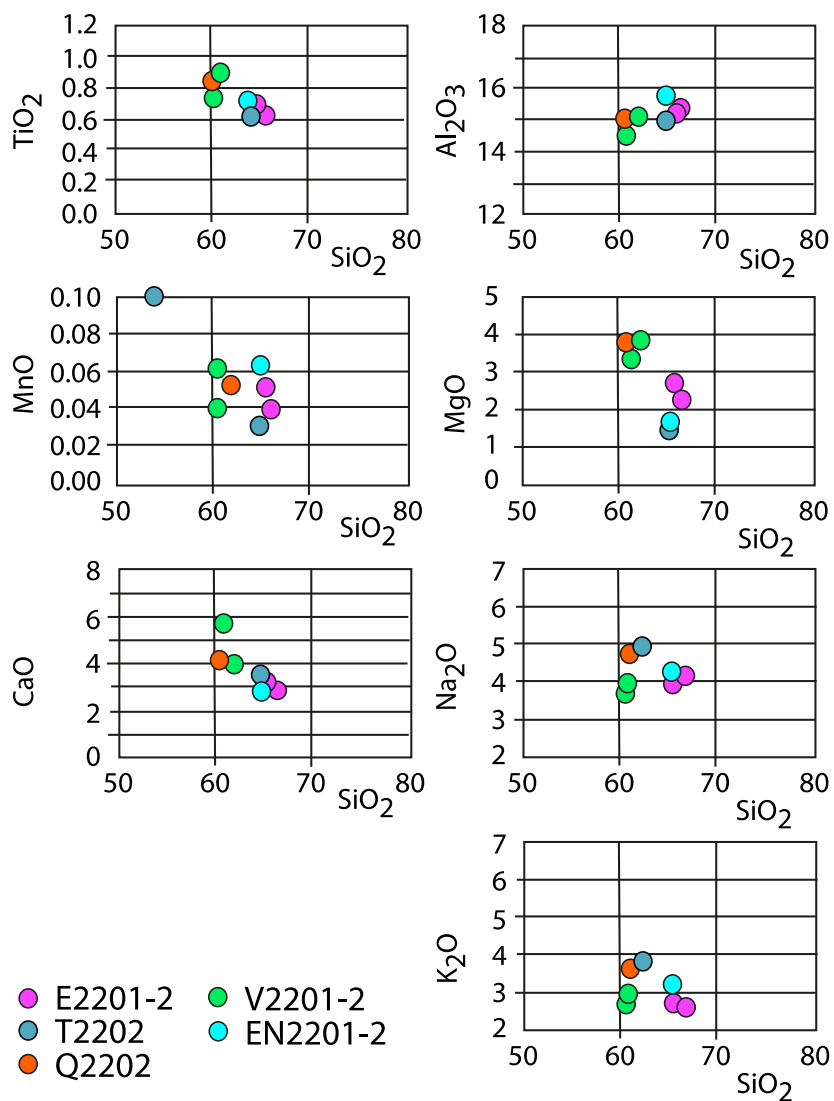
En el diagrama MALI ( $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ ) se observa que la mayoría de las muestras caen en el campo de los magmas calcialcalinos, y dos muestras en el campo de los magmas álcali-cálcicos (T2202 y EN2201). Frost y Frost (2008) interpretan altos valores del índice MALI al aumentar el contenido de  $\text{SiO}_2$  como resultado de la acumulación de feldespato potásico y/o albita. El diagrama de clasificación de  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$  contra  $\text{SiO}_2$  indica el límite entre granitoides ferroanos y magnesianos. Se observa que todas las muestras son clasificadas como pórfidos magnesianos (calcialcalinos).



**Figura 29.** Gráficos de clasificación geoquímica. A) Diagrama MALI propuesto por Frost (2001) y Frost y Frost (2008) B) Diagrama AFM para los pórfidos muestreados según (Irvine y Baragar, 1971). C) Diagrama  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  discriminando entre series alcalinas y subalcalinas. Línea divisoria basada en Irvine y Baragar (1971). D) Diagrama de índice de saturación de alúmina según Maniar y Piccoli (1989). E) Diagrama de clasificación según el índice Fe  $[\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})]$  contra  $\text{SiO}_2$  propuesto por Frost et al. (2008). F) Diagrama de clasificación de series subalcalinas según Peccerillo y Taylor (1976).

Los diagramas de variación para los elementos mayores (tipo Harker) (Fig. 28), se construyeron utilizando el contenido de  $\text{SiO}_2$  como índice de diferenciación. De manera general, se observa un mayor contenido de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{CaO}$  para las muestras Q2202 y V2201-02 mientras que las demás muestras (E2201-02, T2202, EN2201), se agrupan con porcentajes más bajos y valores similares.

El contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es mayor en las muestras (E2201-02, T2202, EN2201) que en las muestras Q2202 y V2201-02. Los contenidos de  $\text{MnO}$ ,  $\text{NaO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  son similares para el conjunto de muestras, siendo el contenido de  $\text{SiO}_2$  las que las diferencia, en donde los pórfidos Q2202 y V2201-02 son los de menor contenido en  $\text{SiO}_2$ .



**Figura 30.** Diagramas de variación multielemental tipo Harker para los elementos mayores de las cinco muestras analizadas. Concentración de  $\text{SiO}_2$  en % como índice de diferenciación.

## 5.6.2 ELEMENTOS TRAZA

El estudio de los elementos traza junto con los elementos de las tierras raras (REE) son empleados para conocer procesos de evolución magmática e identificar las diferentes fuentes magmáticas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de los elementos trazas del presente trabajo.

En la [Figura 29](#) se muestra la variación de algunos elementos traza con respecto al contenido de SiO<sub>2</sub>. De manera sistemática, la muestra EN2201 presenta una composición química diferente a las demás muestras analizadas (E2201-02, T2202, Q2202 y V2201-02).

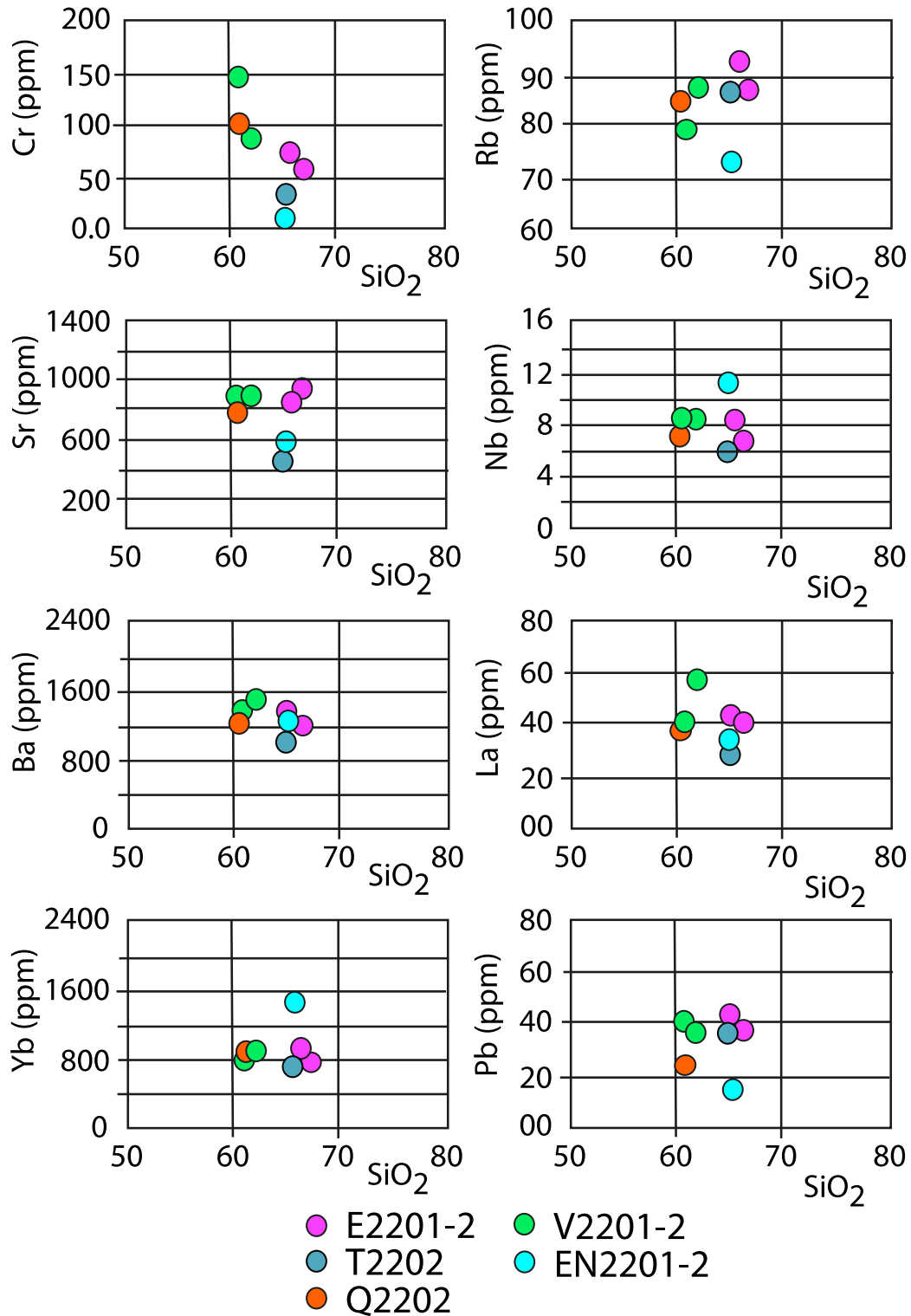
En los contenidos de Cr y Rb se observa una mayor variación entre las muestras siendo la muestra EN2201 la que presenta menor contenido de estos dos elementos.

En los valores de Cr se observa que las muestras Q2202 y V2201-02 presentan un mayor contenido y una mayor variación que va desde valores de 33.75 a 144 ppm, mientras que los pórfidos E2201-02, T2202 varían de 55.91 a 72.80. Por último, el pórfido EN2201 es el que presenta un menor contenido con un valor de 13.24 ppm.

Para los contenidos de Rb se observa una mayor concentración en los pórfidos E2201-02, T2202 (87.0-92.6 ppm), las muestras Q2202 y V2201-02 contiene valores entre 79.1 a 87.5 y por último la muestra EN2201 tiene concentraciones menores de 73.3 ppm.

Para los elementos de Ba y La se observa que las muestras E2201-02, EN2201, Q2202 y V2201-02 comparten un mismo rango de valores, con excepción de una muestra T2202, la cual presenta un menor contenido de Ba (996.29) y de La (58.3) que las demás muestras. Todas son consideradas como magma enriquecido en Ba.

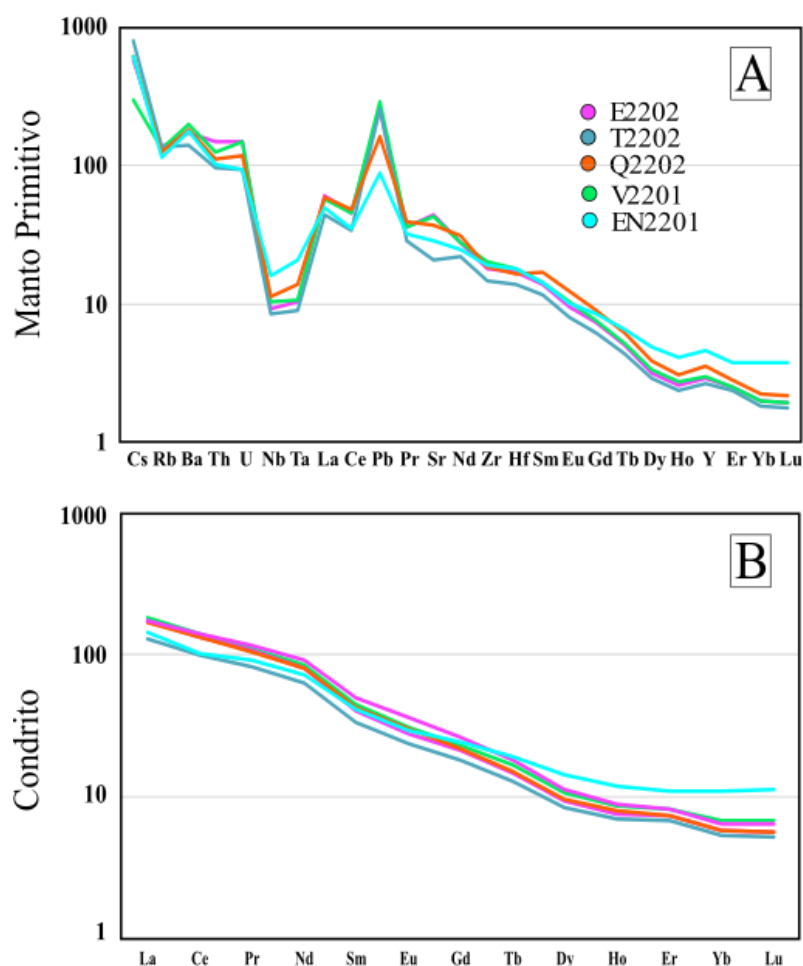
Para los contenidos de Sr (800-1000ppm), Nb (6-9 ppm), Yb (0.8-1.1 ppm) y Pb (11-20.5) se observa que las muestras E2201-02, T2202, Q2202 y V2201-02 comparten valores similares, mientras que EN2201 presenta contenidos mayores de Nb (11.3ppm) y Yb (1.8 ppm), y contenidos menores de Pb (6.3 ppm) y Sr (595.4 ppm).



**Figura 31.** Diagramas bivariados tipo Harker para elementos traza respecto al contenido de SiO<sub>2</sub> que presentan ligeras variaciones de acuerdo con las zonas de muestreo. Elementos traza expresados en partes por millón (ppm).

Con la finalidad de sintetizar las diferencias en los contenidos de los elementos traza se realizó el diagrama multi elemental normalizado a la composición del manto primitivo y el diagrama de tierras raras normalizado a la composición de condrito de Sun y McDonough (1989). En ambos se observa que todas las muestras analizadas presentan un patrón similar (Fig.30).

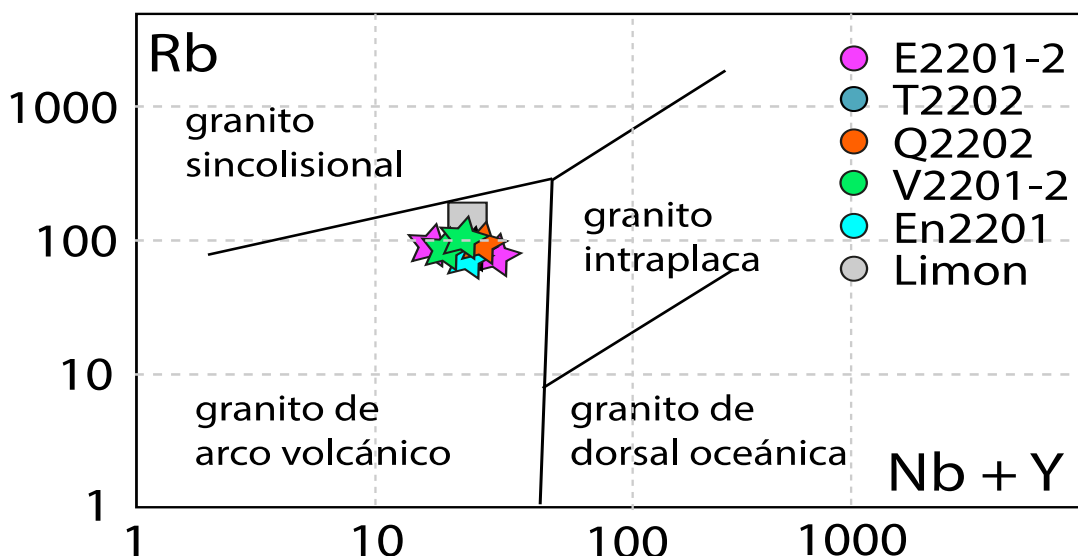
Los patrones para las cinco muestras analizadas presentan anomalías marcadas de U positiva y negativa de Pb, con una disminución continua de Pr a Yb, con una ligera anomalía positiva de Y (Fig.30A). Para los patrones de los contenidos de REE, en todas las muestras se observa una tendencia muy similar, en la que se presenta un enriquecimiento en elementos de tierras raras livianas (LREE) con respecto a las tierras raras pesadas (HREE) (Fig. 30B).



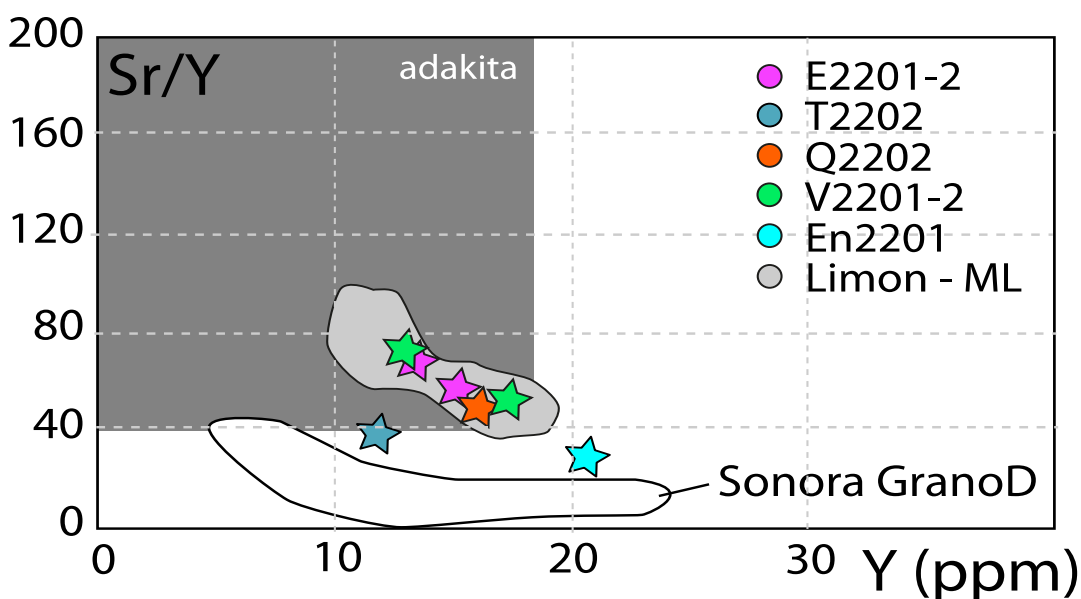
**Figura 32.** Diagramas de elementos traza de los porfidos de Esperanza, Querenque, Tecate, Victoria y Encenera. A) Diagrama multielemental. Analisis normalizados a valores del manto primitivo de Sun y McDonough (1989). B) Diagrama de tierras raras REE . Analisis normalizados a valores de la condrita de Sun y McDonough (1989).



Utilizando el diagrama de discriminación geotectónica de [Pearce et al. \(1984\)](#) se observa que los cinco pórfidos pertenecen a un ambiente de arco volcánico ([Fig. 31](#)) y cuentan con una relación estrecha entre la presencia de magmas de afinidad adakítica ([Fig. 32](#)). Las cinco muestras analizadas presentan una composición química de elementos mayores comparables a los reportados en la literatura para las granodioritas mineralizadas del área de estudio (El Limón; y Media Luna).



**Figura 33.** Diagrama de discriminación geotectónica de [Pearce et al. \(1984\)](#).



**Figura 34.** Relación Sr/Y vs Y que ilustra la afinidad adakítica en los magmas según [Thiéblemont et al. \(1997\)](#), las estrellas corresponden a los pórfidos muestreados en el presente estudio. La zona gris corresponde a los granodioritas del COG ([Gonzalez Partida et al., 2003](#)).

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1 CUADRO GEOCRONOLÓGICO DEL DISTRITO MINERO DE MEDIA LUNA- EL LIMÓN

Existe en la literatura un extenso reporte de edades de cristalización de las intrusiones granodioríticas mineralizadas en el COG. El rango de edades reportadas de los intrusivos mineralizados en el COG varían entre  $66.9\pm 0.4$  y  $64.7\pm 0.4$  (Meza-Figueroa et al., 2003; Levresse et al., 2004; Belanger, 2012). Recientemente se lograron fechar dos eventos de mineralización por método Re/Os sobre molibdenita y U/Pb sobre granate en la zona mineralizada de El Limón. Los rangos de edades determinadas varían de 66.6 a 65.5 y de 64.6 a 63.2 Ma, respectivamente (Burisch et al., 2022). Los rangos de edades del magmatismo y de los eventos de mineralización son comparables dentro del margen de error y bias analítico.

Para completar esta información realizamos un estudio de geocronología de 5 intrusivos mineralizados y de textura porfídica distribuidos en el distrito: Victoria, Tecate, Esperanza, Encenera y Querenque. Los datos obtenidos en este estudio por metodología U/Pb sobre cristales de circón representan las edades de cristalización de los magmas. Los 5 intrusivos analizados presentan dos grupos de edad de 66 a 64 Ma.

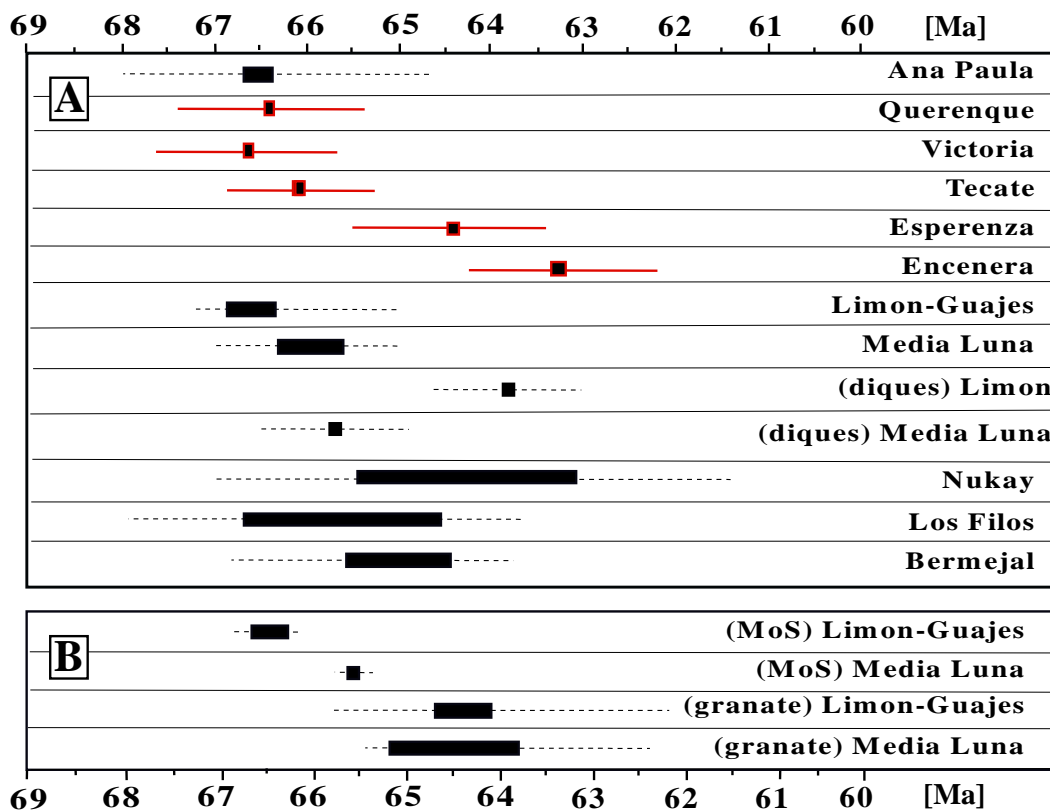
Los intrusivos de Tecate, Victoria y Querenque presentan una edad idéntica dentro del margen de error analítico en  $66.6\pm 1$  a  $66.1\pm 1$  Ma. Los intrusivos de Esperanza y Encenera presentan una edad sensiblemente más joven de  $64.4\pm 1$  Ma y  $63.0\pm 1$  Ma, respectivamente. El rango global de edad es comparable con las edades reportadas para los intrusivos mineralizados en el COG en la literatura (Meza-Figueroa et al. 2003; Levresse et al., 2004; Belanger, 2012). La característica más importante radica en que estos dos eventos se comparan directamente con la edad de los eventos de mineralización (66.5 - 64.5 Ma) establecidos por Burisch et al. (2022) (Fig. 33B).

La distribución de las edades a nivel del distrito sugiere una evolución local N-S comparable (Fig. 33) a la evolución regional reportada y sugiere un control estructural importante sobre el emplazamiento de los intrusivos.

Los circones heredados en las diferentes muestras presentan la misma gama de edades, con edad Mesoproterozoico (1319 – 960 Ma), Neoproterozoico (738-633 Ma) y Cretácicas (100-70 Ma), con una población más abundante de circones de edad Cretácico Tardío (80-70 Ma).

Los circones heredados pueden ser recolectado por el magma durante su formación y ascenso, por lo cual representan un muestreo de la corteza continental y de su composición, o pueden ser de segunda generación y haber sido tomados de formaciones sedimentarias /metamórficas recortadas por el magma. Las edades identificadas corresponden a las edades conocidas del basamento del complejo Acatlán (540 hasta 320 Ma) y Oaxaquia (1300-100 Ma).

El grupo importante de circones de edad Cretácico Tardío (80-70 Ma) surgiere que es el último nivel de almacenamiento del magma antes su emplazamiento en una posición más somera en las calizas del Cretácico.



**Figura 35.** A) Resumen de los datos geocronológicos del distrito Morelos ordenados por la posición geográfica (N-S) de los intrusivos B) Edades obtenidas por los métodos geocronológicos a partir de granates y molibdenita en la mineralización asociada a los distintos distritos mineros. Modificado de [Burisch et. al \(2022\)](#) y referencias citadas.

## 6.2 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA MAGMÁTICO

Los diferentes cuerpos intrusivos muestreados (Querenque, Victoria, Tecate, Esperanza y Encenera) circundantes a las zonas mineras de Media Luna – El Limón, son porfídicos, con una masa base de microcristales de cuarzo y feldespatos. La mineralogía de los fenocristales esenciales está dominada por plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbol. Las plagioclasas presentan aureolas de reacción en contacto con la matriz.

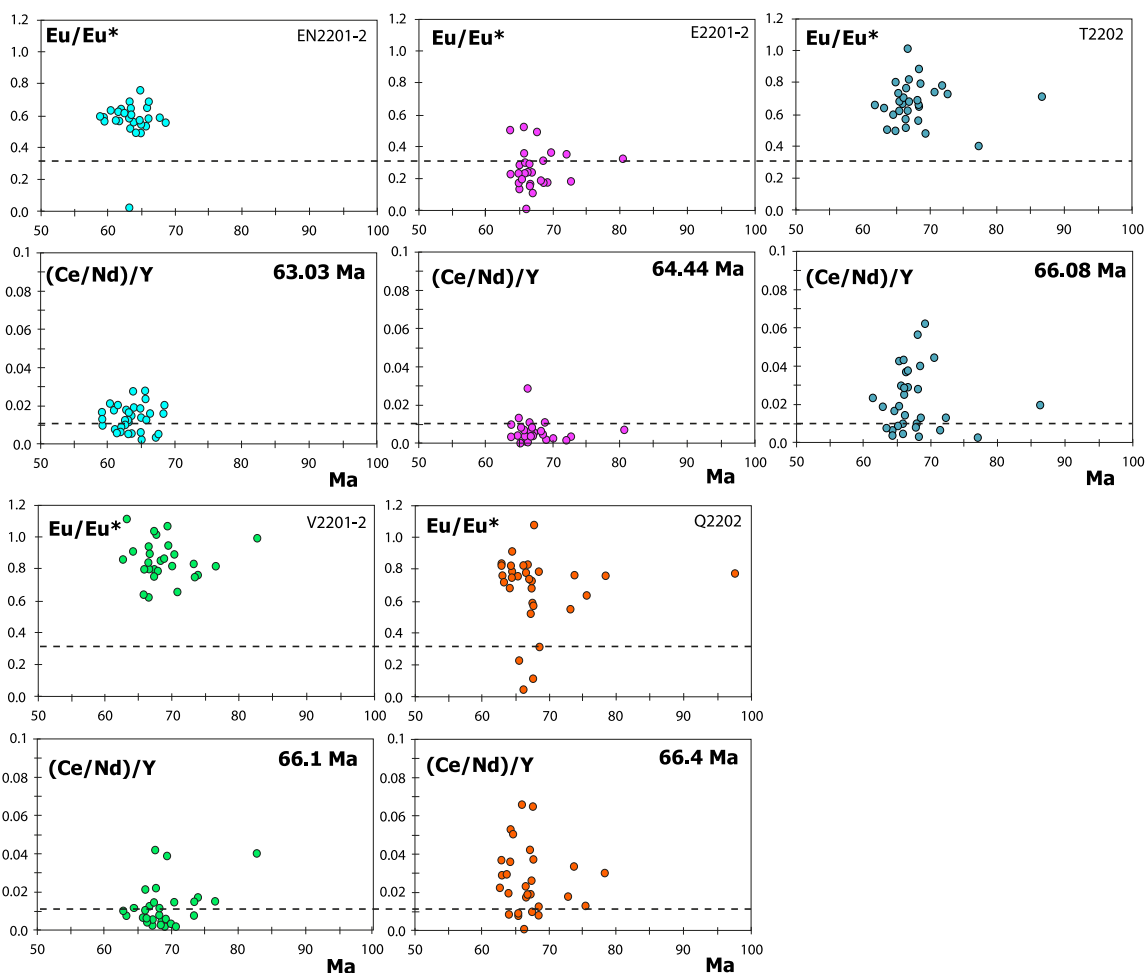
Los resultados de microanálisis químicos obtenidos sobre la plagioclasa son coherentes con las observaciones petrográficas y los ángulos de extinción de los minerales ( $An_{0-10}$  en la matriz y  $An_{20-40}$  para los fenocristales). La variación de composición química de los cristales de plagioclasa entre fenocristales y cristales de matriz ilustra la variación de composición química del magma.

La petrografía y los análisis geoquímicos de elementos mayores y trazas surgieron rocas dacíticas y andesíticas de tipo calci-alcalinas formadas en ambiente de arco magmático, con una tendencia a ser adakíticas. Sus composiciones químicas son comparables a las de las granodioritas mineralizadas reportadas en la literatura. Los enriquecimientos anómalos de MgO, Sr y Ba, observados son típicos de las adakitas de arco magmático, y han sido interpretados por [Kay y Kay \(1993\)](#) como un proceso de reacción de fundidos de la placa subducida con la cuña del manto superior. En un ambiente geodinámico de arco continental, las relaciones Sm/Yb y Sr/Y pueden servir como guía para el espesor relativo de la corteza ([Kay et al., 1999](#)).

La representación gráfica de las concentraciones de Hf en circones frente a U/Yb destaca una variación significativa de las contribuciones de la corteza en los magmas parentales en las diferentes muestras. Los dos extremos de esta variación son representados por las muestras E2201-02 y EN2201, siendo las muestras E2201-02 la que presenta más contribución cortical. Las muestras Q2202 y T2202 presentan una distribución más restringida a valores promedios y las muestras V2201-02 presenta una variación amplia a lo largo de todo el rango de distribución del conjunto de muestras ([Fig. 24A](#)). Los valores obtenidos son característicos del campo de arco magmático continental.

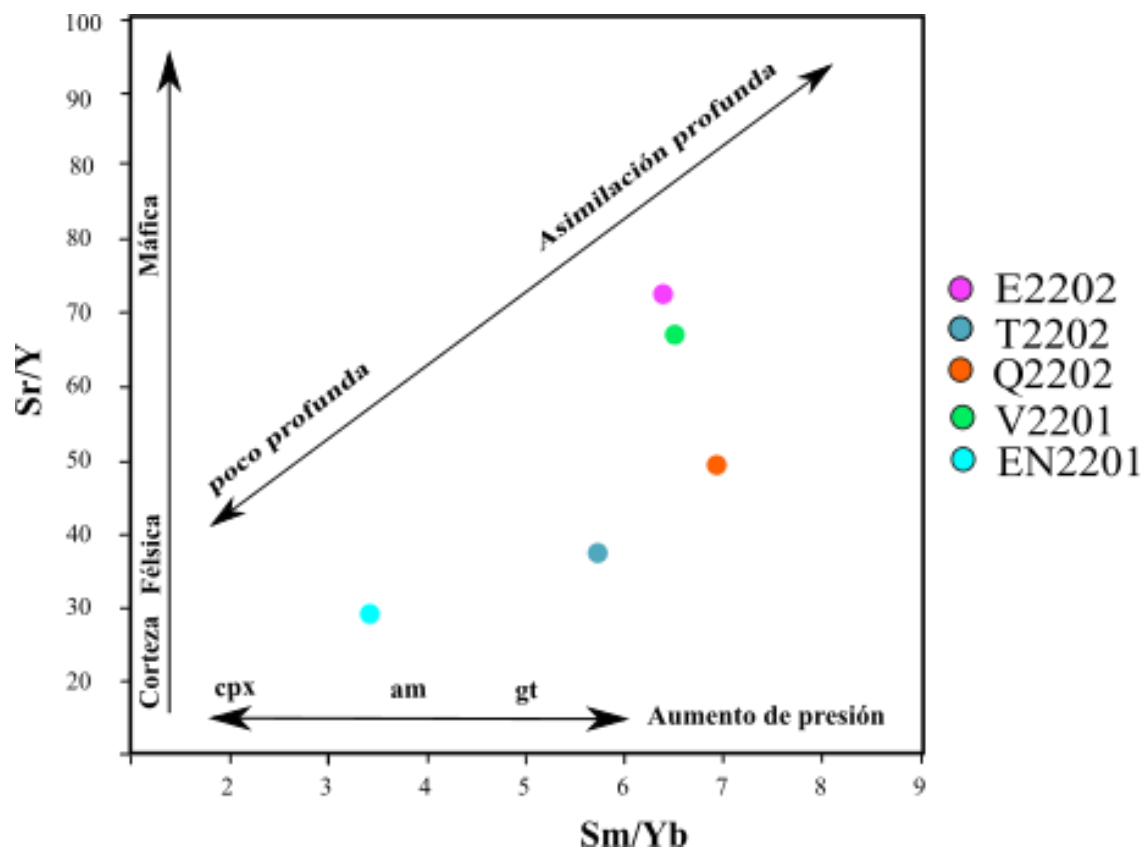
Tomando en cuenta el amplio rango de edad de los circones analizados (ca. 30 Ma), se plotearon los ratios  $Eu/Eu^*$  y  $(Ce/Nd)/Y$  versus su edad U/Pb para evidenciar los eventos de máxima

hidratación y los estados redox extremos. En la [Figura 34](#) las muestras están presentadas por su edad, de la más joven a la más antigua. Se observa que en las edades obtenidas para cada muestra existe una variación de 10 a 20 Ma. La distribución cronológica de los ratios  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  y  $(\text{Ce}/\text{Nd})/\text{Y}$  confirma las observación precedente de la [Figura 24](#) y además permite evidenciar la homogeneidad de las muestras T2202, V2201-02 y Q2202 que presentan edades y valores de  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  y  $(\text{Ce}/\text{Nd})/\text{Y}$  comparables. Este grupo de muestras representa el pico de las condiciones de fertilidad en particular para las mineralizaciones de cobre. La distribución de valores reportadas para las muestras E2201-02, ilustran ambientes magmáticos más reducidos, con un aporte cortical superior más marcado, típico de los magmas asociados a evento de mineralizaciones de oro. Esta distribución evidencia sobre todo la gran heterogeneidad de la fuente magmáticas en un periodo y un área muy reducida.



**Figura 36.** Ratios  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  y  $(\text{Ce}/\text{Nd})/\text{Y}$  vs. edad U/Pb que evidencian los eventos de máxima hidratación y los estados redox extremos.

La evolución creciente de las ratios Sm/Yb y Sr/Y reflejan principalmente cambios dependientes de la presión desde clinopiroxeno a anfíbol y a granate en el residuo mineral en equilibrio con el magma en evolución (Kay y Kay, 1993). El clinopiroxeno es dominante a profundidades de < 35 km, el anfíbol de ~30 a 45 km y el granate a > 45 a 50 km. El Y e Yb son fraccionados por granate, el cual es residual a la fusión parcial y/o cristaliza durante la asimilación cortical profunda.



**Figura 37.** Variaciones Sr/Y vs Sm/Yb de los pórfidos cinco muestreados en el presente estudio y de las granodioritas del distrito minero de Media Luna-Filos (ML-F). Cpx=clinopiroxeno, am=anfíbol, gt=granate. Campos obtenidos de (Mamani et al., 2010).

El rango de valores de las ratios Sr/Y y Sm/Yb para las muestras E2201-02, Q2202 y V2201-02 varían entre 49 y 72 y entre 5.7 y 6.5 respectivamente son directamente comparable con los valores obtenidos de la literatura por las granodioritas de Filos y Media Luna.

Los valores de las ratios elementales calculados indican que están fraccionados por granate, el cual es residual durante la asimilación cortical profunda y puede ser un líquido estable

durante la cristalización a alta presión (Macpherson et al., 2006). Las muestras EN2201 y T2202 presentan valores de Sr/Y más bajos (28 y 37 respectivamente) y de Sm/Yb más altos 6.9 y 9.9 respectivamente. Estas variaciones pueden reflejar una contaminación de la fuente o procesos de alteración tardío. En el COG el espesor es estimado a ~45 km (Molina-Garza y Urrutia-Fucugauchi, 1993), bastante para que la cristalización fraccionada a niveles profundos de la corteza sea dominada por granate, como lo indica las ratios elementales (Sm/Yb y Sr/Y).

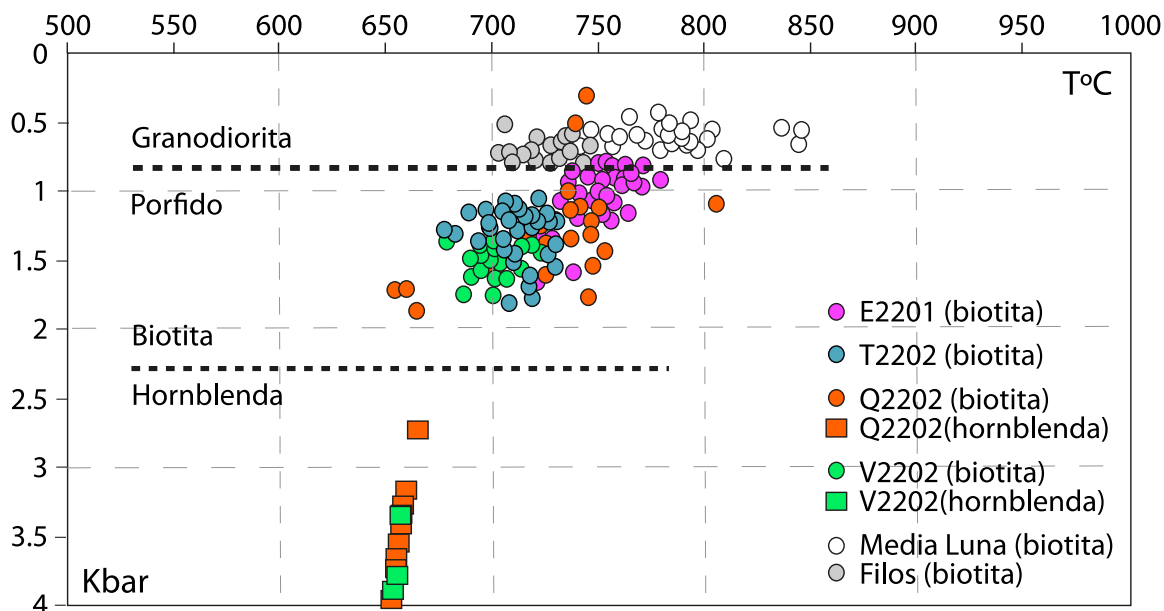
En la Figura 35 se representan los datos de temperatura y presión calculados para los minerales de biotita y anfíbol en las diferentes muestras de pórfido (E2201, T2202, Q2202, V2202; con la excepción de EN2202) y granodioritas (Media Luna y Filos). Se hace énfasis que los valores de temperatura y presión calculadas NO representan las condiciones de emplazamiento de la roca, sólo indican las condiciones de temperatura y presión al momento de la cristalización de los minerales analizados. En el diagrama ternario se observa que las biotitas de la granodiorita se plotean sobre la línea entre el campo de biotita primaria y biotita primaria reequilibrada. Las biotitas de los pórfidos presentan valores de Ti más bajas, sugiriendo la ocurrencia de un evento magmático hidrotermal tardío en sus procesos de cristalización o de reequilibrio). Los valores obtenidos por la muestra EN2201 indican claramente que sufrió un proceso de alteración y no se puede usar como mineral discriminante. Se observa un desacople de presión para los dos sets de datos. Esta diferencia de presión determinada entre biotitas y anfíboles puede ilustrar la existencia de dos eventos de almacenamiento en la evolución magmática. El primer evento es registrado por el anfíbol entre 20 y 15 km de profundidad, debajo del límite frágil/dúctil. El segundo evento es registrado por la biotita e ilustra la formación de cámara magmática somera entre 6 y 4 km de profundidad por los pórfidos y a ca. 3 km para las granodioritas (ML-Filos).

Esta hipótesis es bien soportada por la paragénesis mineral determinada con el estudio petrográfico de las muestras. Los cristales de anfíbol se presentan en su mayoría como fenocristales, los cuales, como los cristales de plagioclasas, no están en equilibrio químico con la matriz. Cuando se observa anfíbol y biotita en una misma muestra, la biotita es tardía comparadas con el anfíbol, de menor tamaño y no se observa desequilibrio químico con la matriz.



Si se observa más a detalle la distribución de presión obtenida en los cristales de biotita, ésta se relaciona muy bien con las evoluciones observadas en la química de circones. La muestra E222-01 se diferencia por una mayor contaminación cortical y por una menor profundidad de cristalización de biotita. Por el carácter cristalino de las granodioritas es posible que los 3 km de profundidad correspondan al nivel de emplazamiento final de los magmas.

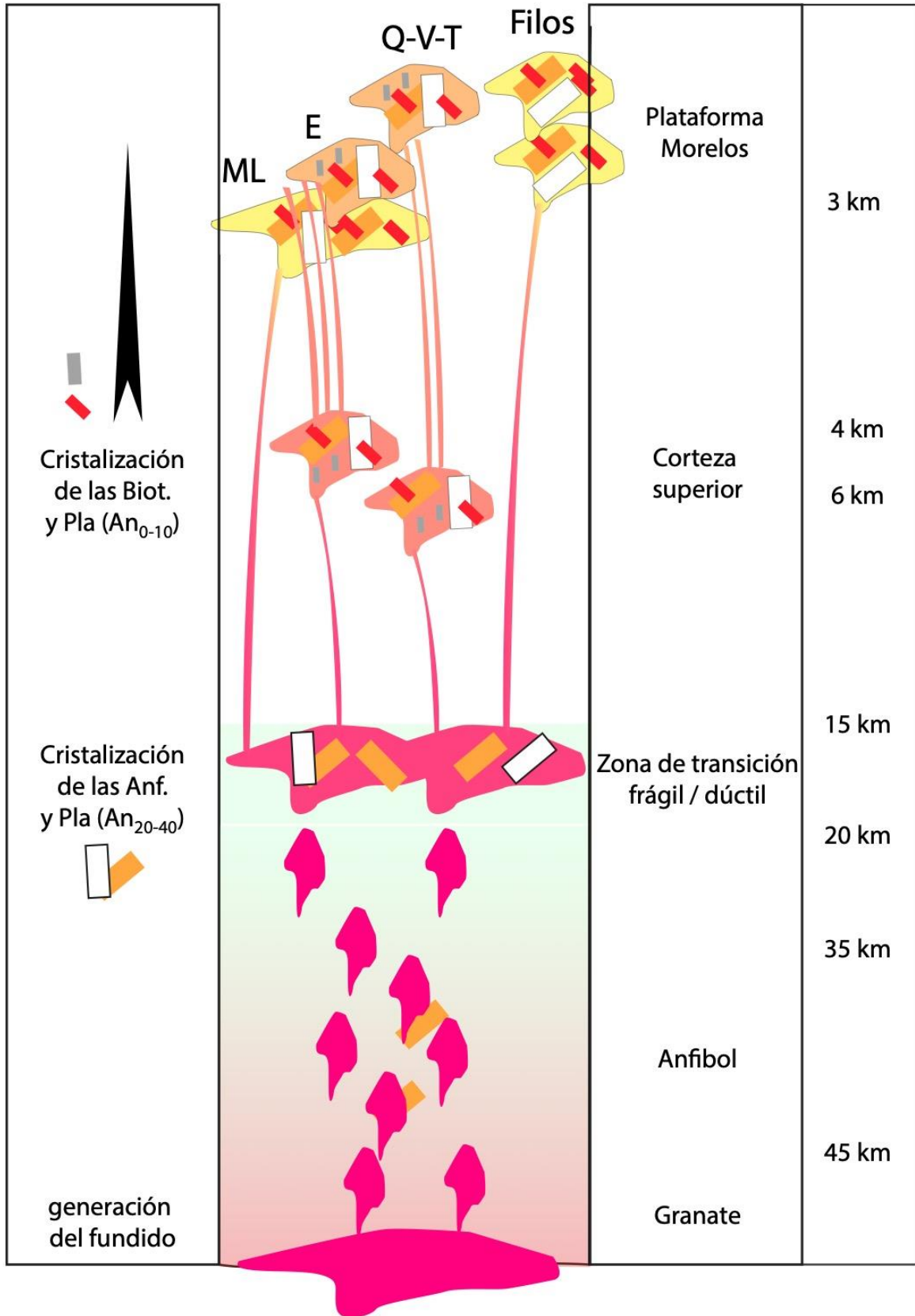
Por fin, es curioso poder identificar dos diferentes evoluciones de temperaturas que relaciona V2202, T2202 y Filos de un lado, con una menor temperatura y Q2202, E2201 y Media Luna de otro, con una temperatura mayor. El aumento de temperatura se correlaciona con la disminución de presión de los magmas en los pórfidos muestreados, mientras que para los granitos mineralizados la presión es constante a pesar del aumento de temperatura.



**Figura 38.** Termobarometría en anfíbol y biotita de los cinco pórfidos muestreados. Se presentan las variaciones de presión y temperatura de los granitos mineralizados. Rangos de presión y temperatura en biotita calculados con la calibración de Uchida et. al (2007). Rango de temperatura y presión en anfíbol determinado con el geotermómetro de Mutch et al. (2016).

Los datos de temperatura y presión calculados para los minerales de biotita y anfíbol en las diferentes muestras de pórfido (E2201, T2202, Q2202, V2202; con la excepción de EN2202) y granodioritas (Media Luna y Filos) permiten ilustrar la dinámica de migración y diferenciación de los magmas hacia la corteza superior (Fig. 36). El desacople de presión entre biotita y anfíbol ilustra la existencia de al menos tres eventos de almacenamiento

durante la migración de los magmas en la corteza. El primer evento es registrado por la química de los elementos mayores y traza, indicando que el fundido se generó en la corteza inferior teniendo al granate como mineral residual. El segundo evento es marcado por la cristalización de anfíbol entre 20 y 15 km de profundidad, debajo del límite frágil/dúctil. El tercer evento es registrado por la cristalización de la biotita e ilustra la formación de una cámara magmática somera entre 6 y 4 km de profundidad para los pórfidos y a ca. 3 km para las intrusiones mineralizadas (ML-Filos). Este evento es, probablemente, el evento de diferenciación mayor entre los magmas según su profundidad de emplazamiento y tiempo de residencia. Un cuarto evento debe ser mencionado para los pórfidos, su migración y emplazamiento en la parte somera de la corteza. Este último evento lo registra la textura de las rocas y la presencia de diques que recortan las intrusiones mineralizadas.



**Figura 39.** Esquema sintético de la evolución de los sistemas magmáticos en el distrito minero de Media Luna - El Limón durante el Paleoceno (66-64 Ma) ML: Media Luna; E: Esperanza; V: Victoria; Q: Querenque; T: Tecate.

## 7. CONCLUSIÓN

Los intrusivos muestreados alrededor de la zona minera de Media Luna - El Limón, en el Cinturón de Oro de Guerrero (COG), presentan edades del Paleoceno que van de 63 a 66 Ma. Estas edades concuerdan con las edades de emplazamiento de los cuerpos intrusivos relacionados al Arco Larámide y a los granitos del COG. Son intrusivos de tipo pórfidos dacíticos y andesíticos, con una mineralogía característica de fenocristales de plagioclasa, biotita anfíbol y cuarzo. Son ricos en minerales accesorios como apatito y circón; con escasa presencia de sulfuros.

Los pórfidos contienen valores promedio de  $\text{SiO}_2 = 63.39\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15.16\%$  y un ratio de  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.84$ . Además de la relación Sr/Y vs Y que ilustra la afinidad adakítica en los magmas, las muestras presentan concentraciones promedio de V=74 ppm, Cr=73 ppm, Ni=44 ppm, Sr=779 ppm que la confirman. Presentan valores altos de Ba que indican un ambiente de subducción con una cuña de manto hidratada. El ambiente geotectónico determinado para todas las muestras a través de la química de roca total concuerda con la ubicación geográfica, siendo este de arco magmático de corteza continental gruesa, que, a su vez, se encuentra relacionado con la interacción de la placa Farallón y la placa Norteamericana durante el Paleoceno. Los pórfidos muestreados en el presente estudio y los granitos del COG comparten la misma química, edades de emplazamiento entre 66 y 64 Ma y ambiente geotectónico.

La principal diferencia entre ambos intrusivos está en que los pórfidos no se encuentran mineralizados, mientras que los granitos sí contienen mineralización. Como lo ilustra la evolución de las condiciones de presión y temperatura registrados en los minerales (biotita y anfíbol), la riqueza o no en metales de los magmas pueden ser controlada por las diferentes etapas de almacenamiento durante la migración del magma desde la generación del fundido hacia la superficie. Los eventos principales de diferenciación ocurren probablemente entre la transición frágil /dúctil y las etapas de almacenamiento en la corteza superior. Las intrusiones mineralizadas representan un emplazamiento directo a niveles someros de un magma menos denso y más rico en elementos volátiles (incluyendo metales), en oposición con los pórfidos que son magmas que sufren una o varias etapas de almacenamiento en la corteza superior.

Su tiempo de residencia/contaminación cortical y las posibilidades de pulsos posteriores de recarga de magma van a modificar sensiblemente su composición química y su capacidad a expulsar sus metales.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Annen, C., Blundy, J. D., Leuthold, J. y Sparks J., R. S. (2015).** Construction and evolution of igneous bodies: Towards an integrated perspective of crustal magmatism. *Lithos*, 230, 206–221.
- Ballard, J. R., Palin, J. M. y Campbell, I. H. (2002).** Relative oxidation states of magmas inferred from Ce<sup>IV</sup>/Ce<sup>III</sup> in zircon: Application to porphyry copper deposits of northern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144(3), 347–364.  
<https://doi.org/10.1007/s00410-002-0402-5>.
- Barbarin, B. (1999).** review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46, 605–626.
- Belanger, M. (2012).** *Los Filos Gold Operation, Guerrero State, Mexico, NI 43-101 Technical Report: unpublished technical report prepared for Goldcorp Inc.*
- Belousova, E., Griffin, W. y Pearson, N. (1998).** Trace element composition and cathodoluminescence properties of southern African kimberlitic zircons. *Mineral Mag*, 62, 355–366.
- Belousova, E., Griffin, W., SY, R. O. y Nj, F. (2002).** Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib Mineral Petrol*, 143, 602–622.
- Burisch, M., Bussey, S. D., Landon, N., Nasi, C., Kakarieka, A., Gerdes, A., Albert, R., Gabites, J. A., Friedman, R. M., Stein, H. J. y Meinert, L. D. (2022).** Timing of magmatism and skarn formation at the Limon, Guajes and Media Luna Au±Cu Skarn deposits at Morelos, Guerrero State, Mexico. *Economic Geology*.
- Burnham, A. D., Berry, A. J., Wood, B. J. y Cibin, G. (2012).** The oxidation states of niobium and tantalum in mantle melts. *Chemical Geology*, 330–331, 228–232.
- Campa U., M. F., y Coney, P. J. (1983).** Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040–1051.

- Campa U., M. F., Oviedo, R. A., Tardy y Marc. (1976).** La cabalgadura laramídica del dominio volcánico sedimentario (Arco Alisitos-Teloloapan) sobre el miogeosinclinal mexicano en los límites de los Estados de Guerrero y México. *Congreso Latinoamericano de Geología*, 3, Acapulco, Resúmenes, 23 (resumen).
- Campa U., M. F. y Ramírez, J. (1979).** La evolución geológica y la metalogénesis del noroccidente de Guerrero. In *Plan Piloto Proyecto de Recursos Naturales de Guerrero* (p. 68).
- Centeno- García, E., Guerrero- Suastegui, M. y Talavera- Mendoza, O. (2008).** The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone. *Special Paper of the Geological Society of America*, 436(13), 279–308. [https://doi.org/10.1130/2008.2436\(13\)](https://doi.org/10.1130/2008.2436(13)).
- Cerca- Martínez, M. (2004).** *Deformación y magmatismo Cretácico- Terciario Temprano en la zona de la Plataforma GuerreroMorelos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cerca, M., Ferrari, L., López-Martínez, M., Martiny, B. y Iriondo, A. (2007).** *Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the central Sierra Madre del Sur, southern Mexico: Insights into the evolution of the Caribbean&ndash;North American plate interaction*. <https://doi.org/10.1029/2006TC001981>
- Chelle-Michou, C. y Rottier, B. (2022).** Transcrustal Magmatic Controls on the Size of Porphyry Cu Systems: State of Knowledge and Open Questions. *Society of Economic Geologists*, 24, 87–100. <https://doi.org/10.5382/sp.24.06>.
- Davidson, R., Bekkers, G., Makin, J., Saich, S., Burkhalter, C., Kingston, L., Garcia, D., Dobr, M., Pegnam, M., Hammett, R., Pratt, R., Correa, L., Halley, D. y Levy, M. (2022).** *Morelos Property NI 43-101 Report : Toronto, Canada, Torex Gold Resources Inc.* 608.
- De Cserna, Z., Ortega Gutiérrez, F. y Palacios Nieto, M. (1980).** Reconocimiento geológico de la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, estados de Guerrero y Puebla. *IV Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermia CFE, Libro Guía de La Excursión Geológica La Cuenca Del Alto Río Balsas, Libro Guía de La Excursión*



*Geológica La Cuenca Del Alto Río Balsas*, 1–33.

**De la Garza, V., Tellez, R., Díaz, R. y Hernández, A. (1996).** Geology of the Bermejil Iron- Gold Deposit, Mezcala, Guerrero, Mexico. *Geology and Ore Deposits of the American Cordillera*, 1355–1368.

**Decelles, P. G., Ducea, M. N., Kapp, P. y Zandt, G. (2009).** Cyclicity in Cordilleran orogenic systems. *Nature Geoscience*, 2(4), 251–257.  
<https://doi.org/10.1038/ngeo469>.

**Dickinson, W. R., Klute, M. A., Hayes, M. J., Janecke, S. U., Lundin, E. R., Mckittrick, M. A. y Olivares, M. D. (1988).** Paleogeographic and paleotectonic setting of Laramide sedimentary basins in the central Rocky Mountain region. *Geological Society of America Bulletin*, 100, 1023–1039.  
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1990\)102<0256:PAPSOL>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1990)102<0256:PAPSOL>2.3.CO;2).

**Ducea, M. N., Saleeby, J. B. y Bergantz, G. (2015).** The Architecture, Chemistry, and Evolution of Continental Magmatic Arcs. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 43:1, 299–331.

**Ferry, J. M., & Watson, E. B. (2007).** New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 154, 429–437.

**Fries, C. (1960).** Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central -meridional de México. In *Boletín del Instituto de Geología* (Vol. 60, pp. 60–236). <http://xcaret.igeofcu.unam.mx/bolgeol60.html>

**Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. y Frost, C. D. (2001).** A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42(11), 2033–2048.

**Frost, B. R., y Frost, C. D. (2008).** Geochemical classification for feldspathic. *Journal of Petrology*, 49(11), 1955–1969.

**Gardiner, N. J., Hawkesworth, C. J., Robb, L. J., Whitehouse, M. J., Roberts, N. M. W., Kirkland, C. L. y Evans, N. J. (2017).** Contrasting Granite Metallogeny through

the Zircon Record: A Case Study from Myanmar. *Scientific Reports*, 7(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-00832-2>.

**González-Partida, E., Levresse, G., Carrillo-Chávez, A., Cheilletz, A., Gasquet, D. y Jones, D. (2003).** Paleocene adakite Au-Fe bearing rocks, Mezcala, Mexico: Evidence from geochemical characteristics. *Journal of Geochemical Exploration*, 80(1), 25–40.  
[https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(03\)00180-8](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00180-8).

**Grimes, C. B., John, B. E., Kelemen, P. B., Mazdab, F. K., Wooden, J. L., Cheadle, M. J., Hanghøj, K. y Schwartz, J. J. (2007).** Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance. *Geology*, 35, 643–646.

Holtz, F., y Johannes, W. (1994). Maximum and minimum water contents of granitic melts: implications for chemical and physical properties of ascending magmas. *Lithos*, 32(1–2), 149–159. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0024-4937(94)90027-2).

**Hoskin, P. W. O. y Ireland, P. (2000).** Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. *Geology*, 28, 627–630.

**Hürlimann, N., Müntener, O., Ulmer, P., Nandedkar, R., Chiaradia, M., y Ovtcharova, M. (2016).** Primary magmas in continental arcs and their differentiated products: Petrology of a post-plutonic dyke suite in the Tertiary Adamello Batholith (Alps). *Journal of Petrology*, 57(3), 495–534.  
<https://doi.org/10.1093/petrology/egw016>

**Irvine, T. y Baragar, W. (1971).** A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523–548.

**Jones, D. y Jackson, P. R. (1999).** Geology and mineralization of the Los Filos gold deposit, Nukay district, Guerrero, México. *AIMMGM A.C., Memorias*, 38–41.

**Kay, R. W., y Kay, S. M. (1993).** Delamination and delamination. *Tectonophysics*, 219, 177–189.

**Leach, D. L., Bradley, D. C., Huston, D., Pisarevsky, S. A., Taylor, R. D. y Gardoll, S. J. (2010).** Sediment-Hosted Lead-Zinc Deposits in Earth History. *Economic Geology*,

105, 593–625.

- Levresse, G., González-Partida, E., Carrillo-Chavez, A., Tritlla, J., Camprubí, A., Cheilletz, A., Gasquet, D. y Deloule, E. (2004).** Petrology, U/Pb dating and (C-O) stable isotope constraints on the source and evolution of the adakite-related Mezcala Fe-Au skarn district, Guerrero, Mexico. *Mineralium Deposita*, 39(3), 301–312. <https://doi.org/10.1007/s00126-003-0403-y>.
- Li, H., Wu, J. H., Evans, N. J., Jiang, W. C. y Zhou, Z. K. (2018).** Zircon geochronology and geochemistry of the Xianghualing A-type granitic rocks: Insights into multi-stage Sn-polymetallic mineralization in South China. *Lithos*, 312–313, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.05.001>.
- Loader, M. A., Wilkinson, J. J. y Armstrong, R. N. (2017).** The effect of titanite crystallisation on Eu and Ce anomalies in zircon and its implications for the assessment of porphyry Cu deposit fertility. *Earth and Planetary Science Letters*, 472, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.05.010>.
- Lopez Ruiz, J. L. (1981).** La microsonda electrónica. Fundamentos, características y aplicaciones. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 20(3), 155–163.
- Lozano, R. y Bernal, J. P. (2005).** Characterization of a new set of eight geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 329–344.
- Luhr, J. F., Carmichael, I. A. N. S. E., Varekamp, J. C., College, M. y Pa, U. S. A. (1984).** The 1982 eruptions of El Chichón Volcano, Chiapas, México: Mineralogy and petrology of the anhydrite bearing pumices. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23, 6–108.
- Macpherson, C. G., Dreher, S. T. y Thirlwall, M. F. (2006).** Adakites without slab melting: High pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines. *Earth and Planetary Science Letters*, 243(3–4), 581–593.
- Mammerickx, J. y Klitgord, K. D. (1982).** Northern East Pacific Rise: Evolution from 25 m.y. B.P. to the present. *Journal of Geophysical Research*, 87(B8), 6751–6759.

- Maniar, P. y Piccoli, P. (1989).** Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 7(5), 313–319.
- Martini, M. y Ortega-Gutiérrez, F. (2016).** Tectono-stratigraphic evolution of eastern Mexico during the break-up of Pangea: A review. *Earth-Science Reviews*, 183, 38–55.
- Meinert, L. D., Dipple, G. M. y Nicolescu, S. (2005).** World Skarn Deposits. *Economic Geology*, 100, 299–336. <https://doi.org/10.5382/av100.11>
- Menand, T. (2011).** Physical controls and depth of emplacement of igneous bodies : A review. *Tectono- Physics*, 500, 11-19.
- Meza-Figueroa, D., Valencia-Moreno, M., Valencia, V. A., Ochoa-Landín, L., Pérez-Segura, E. y Díaz-Salgado, C. (2003).** Major and trace element geochemistry and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of Laramide plutonic rocks associated with gold-bearing Fe skarn deposits in Guerrero state, southern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(4), 205–217. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00068-3)
- Michel, J., Baumgartner, L., Putlitz, B., Schaltegger, U., y Ovtcharova, M. (2008).** Incremental growth of the Patagonian Torres del Paine laccolith over 90 ky, Patagonia. *Geology*, 36, 459–462.
- Miyashiro, A. (1975).** Volcanic Rock Series in Island Arcs and Active Continental Margins. *American Journal of Science*, 274, 321–355.
- Molina-Garza, R. y Urrutia-Fucugauchi, J. (1993).** Deep crustal structure of central Mexico derived from interpretation of Bouguer gravity anomaly data. *Journal of Geodynamics*, 17(4), 181–201.
- Morán-Zenteno, Dante J., Corona-Chavez, P. y Tolson, G. (1996).** Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: Pluton geobarometry constraints. *Earth and Planetary Science Letters*, 141(1–4), 51–65. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(96\)00067-2](https://doi.org/10.1016/0012-821x(96)00067-2).
- Morán-Zenteno, Dante Jaime, Tolson, G., Martínez-Serrano, R. G., Martiny, B., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macías-Romo, C., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M. S. y Solís-Pichardo, G. N. (1999).** Tertiary arc-magmatism of the Sierra

Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 12(6), 513–535.

[https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(99\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00036-X)

**Mori, L., Gómez-Tuena, A., Cai, Y. y Goldstein, S. L. (2007).** Effects of prolonged flat subduction on the Miocene magmatic record of the central Trans-Mexican Volcanic Belt. *Chemical Geology*, 244(3–4), 452–473.

<https://doi.org/10.1016/J.CHEMGEO.2007.07.002>.

**Nachit, H., Ibhi, A. y Abia, H. E. (2005).** Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites. *Comptes Rendus Geosciences*, 16, 1415–1420.

**Neff, D. H., Davidson, R., Proudfoot, D., Eng, P., Lafleur, C., Eng, P., Monaghan, J. J., Eng, P., Kaplan, P., Huls, B. J. y Eng, P. (2018).** *Property Morelos NI 43-101 Technical Report*. 587.

**Ortega-Gutierrez, F. (1981).** Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance. *Geofísica Internacional*, 20(3), 177–202.

<https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1981.20.3.1085>

**Pardo, M. y Suarez, G. (1995).** Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 100(B7). <https://doi.org/10.1029/95jb00919>

**Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J. y Hergt, J. (2011).** Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. *Analytical Atomic Spectrometry*.

<https://doi.org/10.1039/c1ja10172b>

**Paton, C., Woodhead, J. D., Hellstrom, J. C., Hergt, J. M., Greig, A. y Maas, R. (2010).** Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, 1–36.

**Pearce, J. ., Harris, N. y Tindle, A. (1984).** Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4), 956–983.

- Peccerillo, A. y Taylor, S. (1976).** Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(63–81).
- Petrus, J. y Kamber, B. S. (2012).** VizualAge: A Novel Approach to Laser Ablation ICPMS U-Pb Geochronology Data Reduction. *Geostandars and Geoanalytical Research*, 36(1), 247–270.
- Salinas-Prieto, J. C., Monod, O. y Faure, M. (2000).** Ductile deformations of opposite vergence in the eastern part of the Guerrero Terrane (SW Mexico). *Journal of South American Earth Sciences*, 13(4–5), 389–402. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00031-6)
- Salinas Prieto, J. C. (1984).** Los límites tectónicos sur y occidental del Terreno Mixteco. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 45(1), 73–85. <https://doi.org/10.18268/bsgm1984v45n1a7>
- Schellart, W. y Rawlinson, N. (2010).** Convergent plate margin dynamics: New perspectives from structural geology, geophysics and geodynamic modelling. *Tectonophysics*, 483(1–2), 4–19.
- Sedlock, R. L., Ortega-gutierrez, F., Speed, R. C. y Ortega-gutierrez, F. (1993).** Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. In *Special Paper of the Geological Society of America* (Vol. 278). <https://doi.org/10.1130/SPE278-p1>
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D., Crowley, J. ., Gerdes, A., Hanchar, J. ., Matthew, S. ., Horstwood, M. ., Morris, G. ., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M. y Whitehouse, M. . (2008).** Plešovice zircon-A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249(1–2), 1–35.
- Solari, L. A., Gómez-Tuena, A., Bernal, J. y Ofelia, A. (2009).** U-Pb Zircon Geochronology with an Integrated LA-ICP-MS Microanalytical Workstation: Achievements in Precision and Accuracy. *Geostandars and Geoanalytical Research*, 34(1), 5–18.

- Sun, S. S. y McDonough, W. F. (1989).** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society Special Publication*, 42(1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Teck Resources Ltd. (2008).** *Morelos Property Mine and Process Plant Internal Study: confidential internal report prepared for Teck Resources Ltd.*
- Thiéblemont, D., Gilbert, S. y Lescuyer, J. (1997).** Gisements épithermaux et porphyriques : la connexion adakite. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 325, 103–109.
- Tolson, G. (1998).** *Deformación, Exhumación y Neotectónica de la Margen Continental de Oaxaca: Datos Estructurales, Petrológicos y Geotermobarométricos.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trail, D., Watson, E. B., & Tailby, N. D. (2012).** Ce and Eu anomalies in zircon as proxies for the oxidation state of magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 97, 70–87.
- Uchida, E., Endo, S., & Makino, M. (2007).** Relationship between solidification depth of granitic rocks and formation of hydrothermal ore deposits. *Resource Geology*, 57, 47–56.
- Watson, E. B., Wark, D. A. y Thomas, J. B. (2006).** Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 151(4), 413–433. <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0068-5>.
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W., Meier, M., Oberli, F., Von Quadt, A., Roddick, J. y Spiegel, W. (1995).** THREE NATURAL ZIRCON STANDARDS FOR U-TH-PB, LU-HF, TRACE ELEMENT AND REE ANALYSES. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 19(1), 1–23.
- William- Jones, A., Samson, I., Ault, K., Gagnon, J. y Fryer, B. (2010).** The Genesis of Distal Zinc Skarns: Evidence from the Mochito Deposit, Honduras. *Economic Geology*, 105, 1411–1440.
- Wilson, B. (2007).** *Igneous petrogenesis a global tectonic approach.* Springer Science y Business Media.



**Zhang, Z. K., Ling, M. X., Zhang, L. P., Sun, S. J. y Sun, W. (2022).** Pluton incremental growth by multi-stage magma pulsations: Evidence from the Fangshan pluton, North China Craton. *Tectonophysics*, 838(July), 229480.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229480>.

## **9. ANEXOS**

# **ANEXO A. PETROGRAFÍA**

<b>Muestra</b>	<b>V2201</b>
----------------	--------------

**Fecha de muestreo:** 25/Mayo/2022

**Localización:** Victoria, Guerrero

**X:** 419708, **Y:** 1995234, **Z:** 527; **UTM:** WGS 84 14N

**Latitud:** 18.044142832060018

**Longitud:** -99.7586256286357

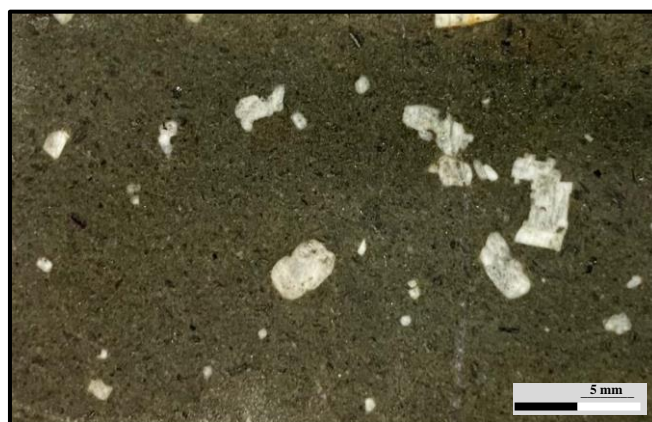
**Tipo de roca**

**Clasificación:** Andesita porfídica



**Figura 40.** Fotografía muestra de mano obtenida en campo.

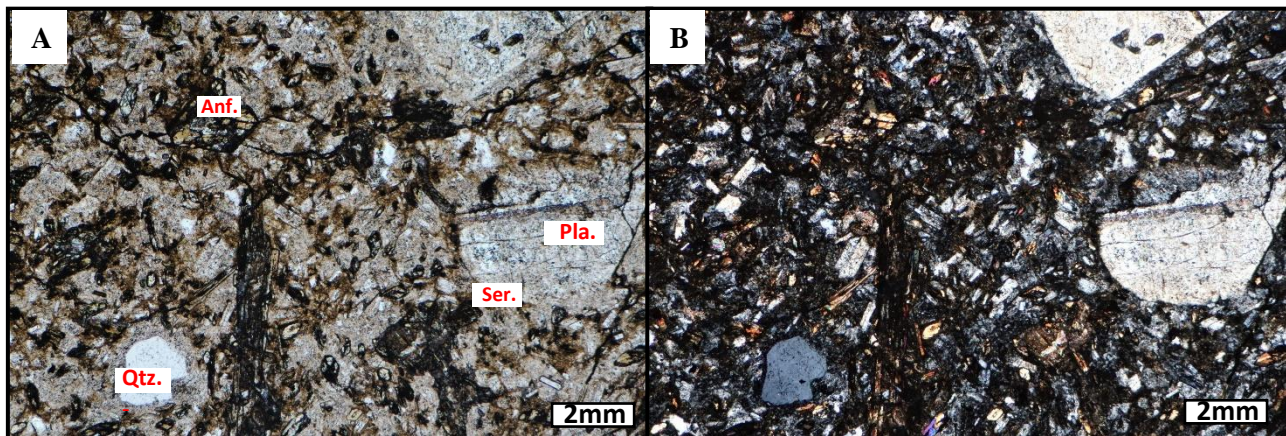
### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA



**Figura 41.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

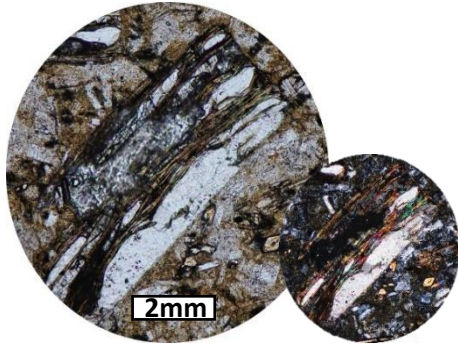
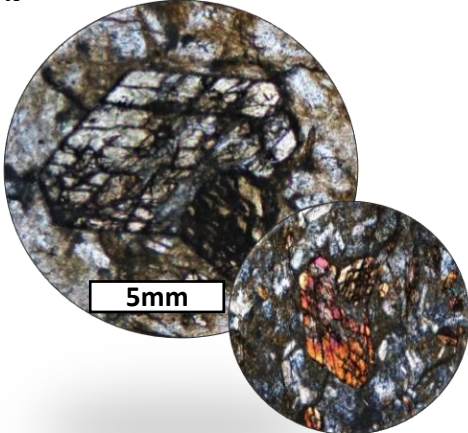
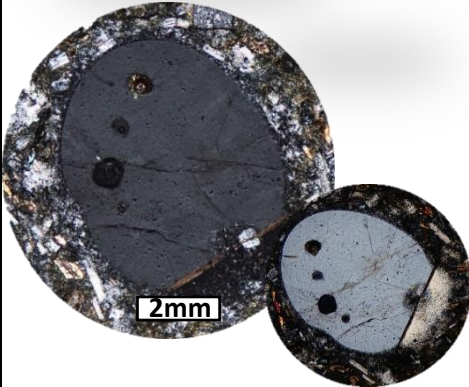
<b>Descripción general</b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa y biotita. En algunos cristales de plagioclasa se observan inclusiones de biotita.
<b>Patrón textural</b>	
<b>Tamaño de cristales</b>	Fenocristales de tamaños medio (< 5 mm)
<b>Distribución tamaño cristales</b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 42.** Microfotografías de la muestra V2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, hornblenda y cuarzo en matriz subafanítica con sericitización y cristales de menor tamaño de hornblenda. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Anf. =hornblenda, Ser. =sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicoles cruzados. Objetivo 10x.

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
Matriz	<b>60</b>		<p>Matriz subafanítica compuesta por cristales subafaníticos subhedrales de plagioclasa y hornblenda y cristales anhedrales de cuarzo. Presenta alteración de sericita y calcita</p>
Plagioclasa	<b>16</b>		<p>Cristales faneríticos, subhedrales, con textura poikilitica de sericita, biotita. Presenta texturas de reabsorción, glomeroporfídica y fracturas.</p>

Biotita	11	10x 	Cristales faneríticos, subhedrales, con alteración a clorita, textura sieve, de reabsorción e inclusiones de apatito y circón.
Anfibol	8	5x 	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura esquelética y glomeroporfídica. Algunos cristales presentan maclas simples
Cuarzo	4	 10x	Cristales faneríticos, anhedrales, con texturas de reabsorción y poco fracturados.
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita y Calcita	Cristales subfaneríticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasa y matriz		
<b>Minerales accesorios</b>			
Circón, apatito	Cristales subfaneríticos, euhedrales, como inclusiones encristales de biotita		
Óxidos de Fe-Ti	Cristales subfaneríticos, subhedrales a anhedrales, pervasivos en matriz.		



<b>Muestra</b>	<b>V2202</b>
----------------	--------------

**Fecha de muestreo: 25/ Mayo/ 2022**

**Localización: Victoria, Guerrero**

**X: 418556, Y: 1995974, Z: 600; UTM: WGS 84 14**

**Latitud: 18.05078777706299**

**Longitud: -99.76953848600198**

**Tipo de roca**

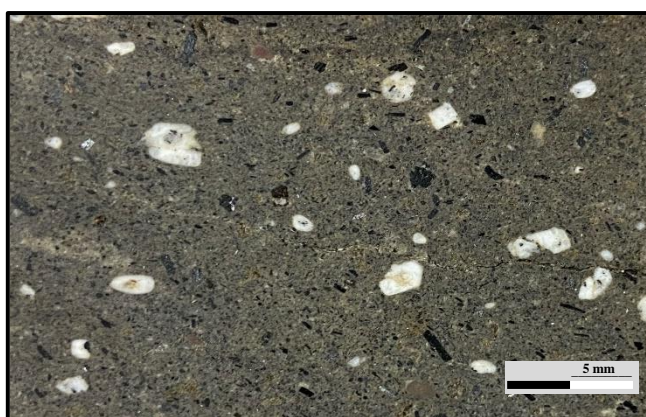
**Clasificación: Pórfido andesítico.**

**Edad: 66.6±1.0 Ma.**



**Figura 43.** Fotografía muestra de mano obtenida en campo.

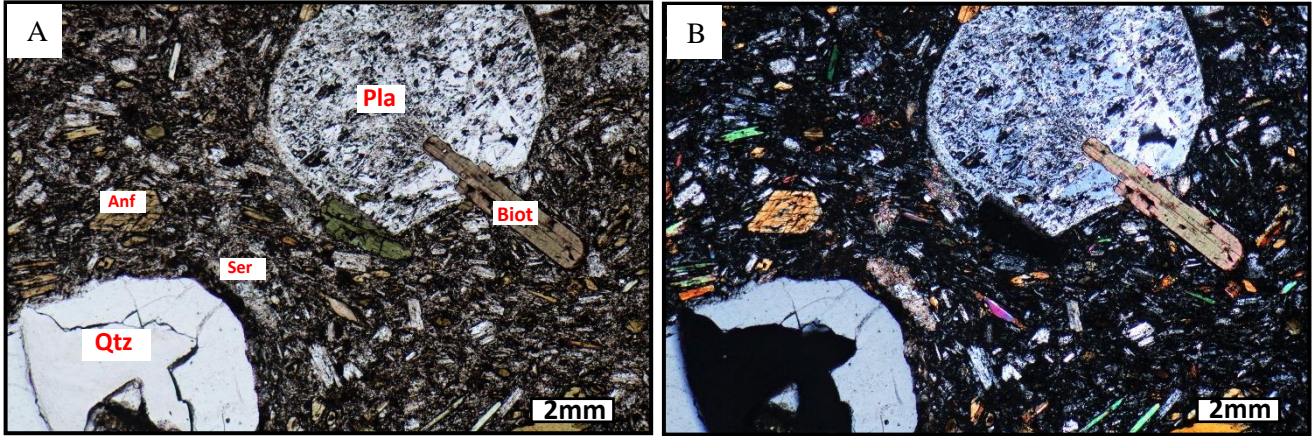
### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**



**Figura 44.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

<b><i>Descripción general</i></b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa y biotita. En algunos cristales de plagioclasa se observan inclusiones de biotita.
<b>Patrón textural</b>	
<b><i>Tamaño de cristales</i></b>	Fenocristales de tamaños medio a grueso (1mm a 1 cm)
<b><i>Distribución tamaño cristales</i></b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

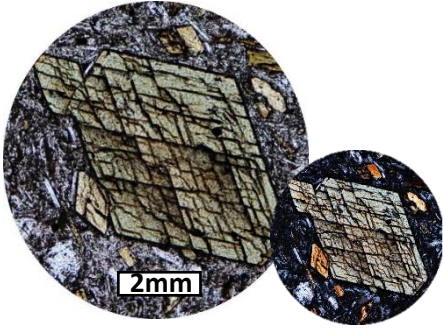
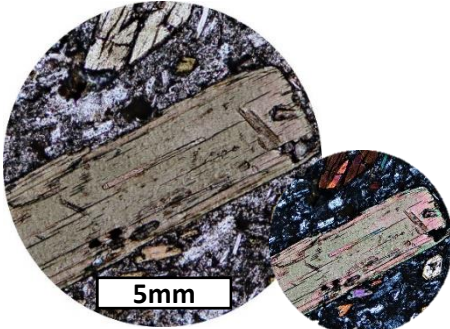
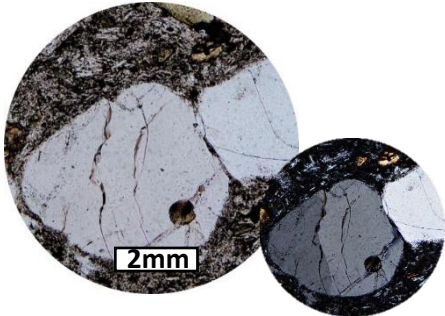
**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 45.** Microfotografías de la muestra V2202. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, hornblenda, biotita y cuarzo en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Anf. =hornblenda, Biot. =biotita, Ser. =sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicoles cruzados. Objetivo 10x.

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>	<b>40</b>	<p align="center">5mm</p> <p align="center">10x</p>	Matriz subafanítica/criptocristalina compuesta por cristales subafaníticos subhedrales de plagioclasa y hornblenda y cristales anhedrales de cuarzo. Presenta alteración de sericita y calcita
<b>Plagioclasa</b>	<b>14</b>	<p align="center">2mm</p> <p align="center">5x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura poikilitica de sericita, biotita, hornblenda y titanita. Presenta texturas de reabsorción y glomeroporfídica.



<b>Anfíbol</b>	<b>11</b>	 <p>10x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura esqueletal y glomeroporfídica. Algunos cristales presentan maclas simples.
<b>Biotita</b>	<b>9</b>	 <p>5x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, algunos cristales presentan texturas de quiebre tipo kink e inclusiones de apatito y circón.
<b>Cuarzo</b>	<b>5</b>	 <p>10x</p>	Cristales faneríticos, anhedrales, con texturas de reabsorción y fracturas
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita y Calcita	Cristales subfaníticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasa y matriz		
<b>Minerales accesorios</b>			
Circón, apatito	Cristales subfaníticos, euhedrales, como inclusiones en biotitas.		
titanita	Cristales subfaníticos, euhedrales, como inclusiones en plagioclasa		
Óxidos de Fe-Ti	Cristales subfaníticos, anhedrales, pervasivos en matriz.		

Muestra	Q2201
---------	-------

**Fecha de muestreo:** 25/Mayo/2022

**Localización:** Querенque, Guerrero

**X:** 415570, **Y:** 1991750, **Z:** 772; **UTM:** WGS 84 14 N

**Latitud:** 18.012498030641765

**Longitud:** -99.79757830550696

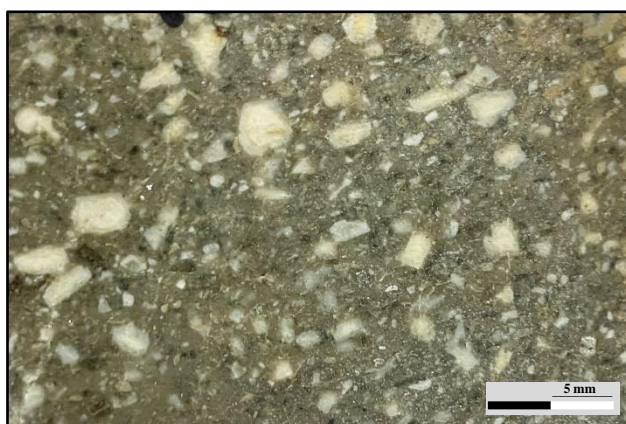
**Tipo de roca**

**Clasificación:** Pórfido andesítico.



**Figura 46.** Fotografía muestra de mano obtenida en campo.

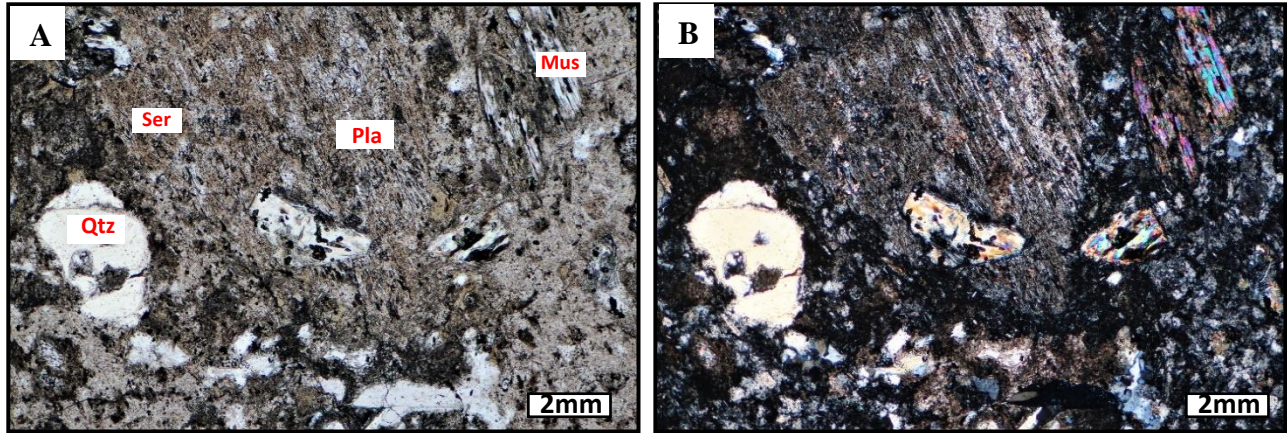
### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA



**Figura 47.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa con zoneamiento y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

<b>Descripción general</b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa y biotita. En algunos cristales de plagioclasa se observa zoneamiento.
<b>Patrón textural</b>	
<b>Tamaño de cristales</b>	Fenocristales de tamaños medio a grueso (1 cm a 1 mm)
<b>Distribución tamaño cristales</b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

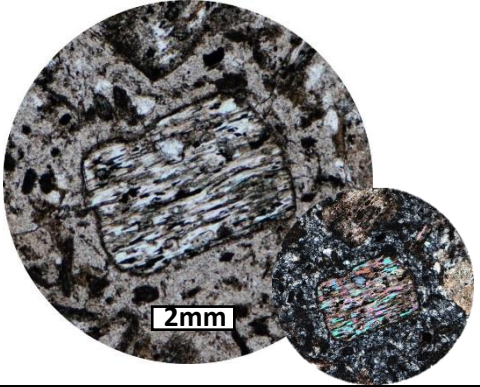
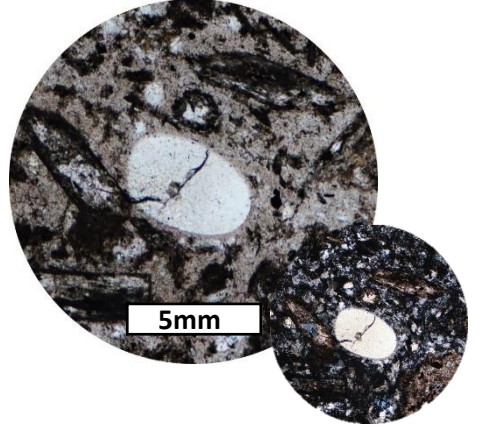
**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 48.** Microfotografías de la muestra Q2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, muscovita y cuarzo en matriz subafanítica/microcristalina con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Musl. = muscovita, Qtz. = Cuarzo, Ser. =sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicoles cruzados. Objetivo 10x.

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>	<b>60</b>		Matriz subafanítica a microcristalina compuesta por cristales subafaníticos anhedral de plagioclasa y cuarzo. Presenta alteración de sericita y calcita
<b>Plagioclasa</b>	<b>25</b>		Cristales faneríticos, subhedral, con textura poikilitica de sericita, calcita y muscovita y textura de reabsorción.



<p><b>Moscovita</b></p>	<p>10</p>	<p>10x</p>  <p>2mm</p>	<p>Cristales faneríticos, subhedrales, con textura sieve, de reabsorción, poikilitica de sericita e inclusiones de apatito y circón.</p>
<p><b>Cuarzo</b></p>	<p>4</p>	 <p>5mm</p> <p>5x</p>	<p>Cristales faneríticos, anhedrales, con texturas de reabsorción y fracturas.</p>
<p><b>Minerales secundarios</b></p>			
<p>Sericita y Calcita</p>	<p>Cristales subfaníticos, anhedrales. Pervasiva, como producto de alteración en plagioclasa y matriz</p>		
<p><b>Minerales accesorios</b></p>			
<p>Circón, apatito</p>	<p>Cristales subfaníticos, euhedrales.</p>		
<p>Pirita</p>	<p>Cristales subhedrales a anhedrales, subfaníticos, rellenando texturas sieve en muscovita.</p>		

<b>Muestra</b>	<b>Q-22-02</b>
----------------	----------------

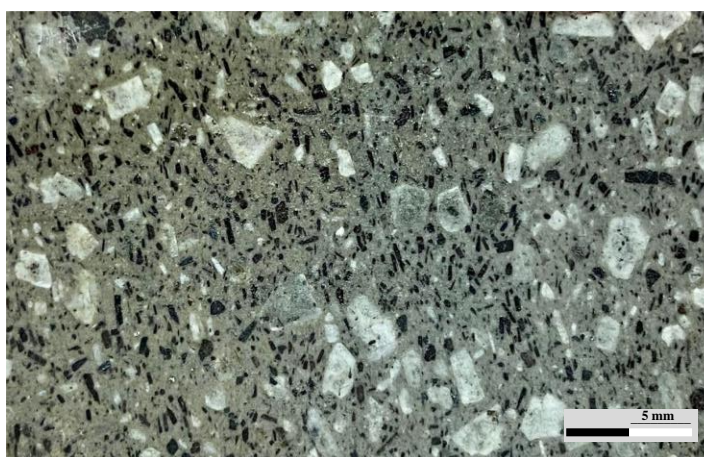
**Fecha de muestreo:** 25/Mayo/2022

**Localización:** Querenqueue, Guerrero; **X:** 415612, **Y:** 1991622, **Z:** 720; **UTM:** WGS 84 14N

**Latitud:** 18.011342832406246, **Longitud:** -99.79717637350475

**Edad:** 66.4±1.1 Ma

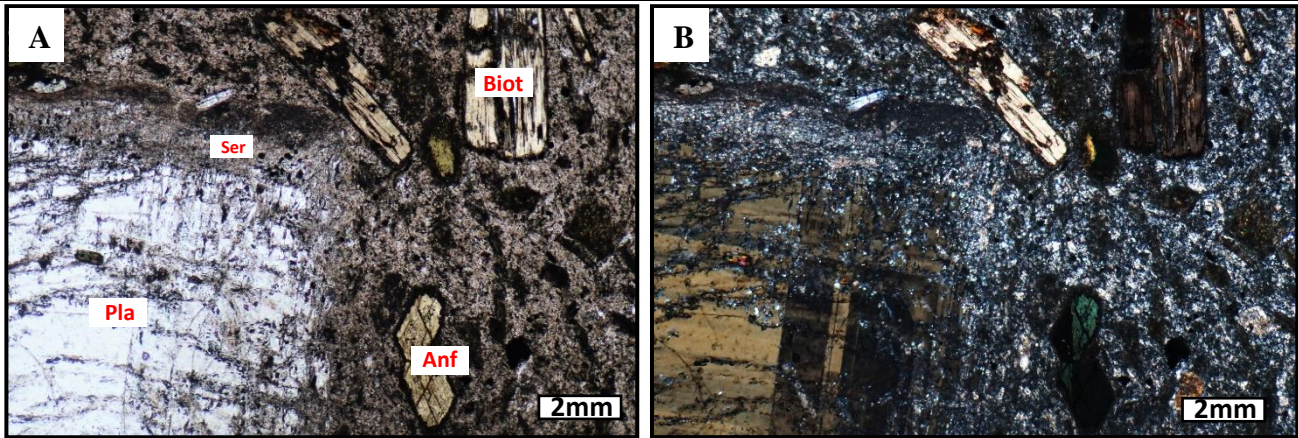
### ***DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA***



**Figura 49.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

<b><i>Descripción general</i></b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa y biotita. En algunos cristales de plagioclasa se observan inclusiones de biotita.
<b>Patrón textural</b>	
<b><i>Tamaño de cristales</i></b>	Fenocristales de tamaños medio a grueso (6 mm a 1 mm)
<b><i>Distribución tamaño cristales</i></b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

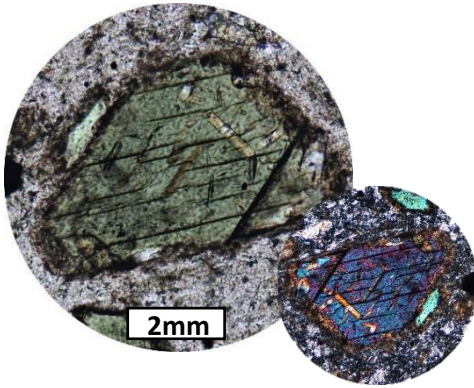
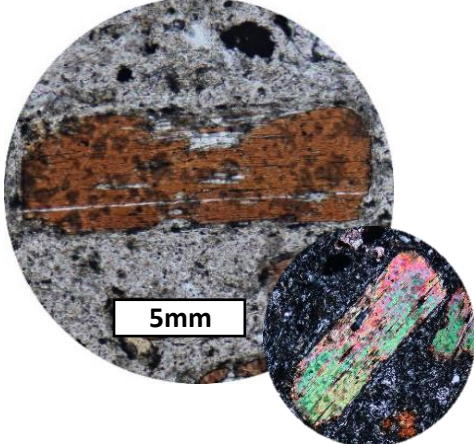
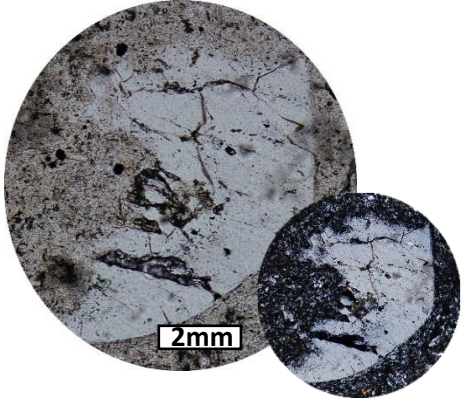
**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 50.** Microfotografías de la muestra Q2202. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, hornblenda y biotita en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Anf. =hornblenda, Bt. =biotita, Ser. =sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>	<b>45</b>	<p align="center">10x</p>	Matriz subafanítica a microcristalina compuesta por cristales subafaníticos anhedral de plagioclasa y cuarzo. Presenta alteración de sericita y calcita
<b>Plagioclasa</b>	<b>25</b>	<p align="center">5x</p>	Cristales faneríticos, subhedral a anhedral, con textura poikilitica de sericita, biotita, hornblenda y titanita. Presenta texturas de reabsorción, glomeroporfídica, zoneamiento normal e inclusiones de apatito y circón.



Anfibol	15	 <p>2mm</p> <p>10x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura esqueletal, glomeroporfídica, fracturas e inclusiones de apatito y circón.
Biotita	10	 <p>5mm</p> <p>5x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura sieve e inclusiones de apatito y circón.
Cuarzo	5	 <p>2mm</p>	Cristales faneríticos, con texturas de reabsorción y fracturas.
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita y Calcita	Cristales subfaneríticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasa y matriz		
<b>Minerales accesorios</b>			
Circón, apatito	Cristales subfaneríticos, euhedrales, como inclusiones en biotita.		
Titanita	Cristales subfaneríticos, euhedrales, en textura poikilitica de plagioclasa.		
Pirita	Cristales subfaneríticos, anhedrales a subhedrales, pervasiva en matriz.		

<b>Muestra</b>	<b>T-22-01</b>
----------------	----------------

**Fecha de muestreo:** 25/Mayo/2022

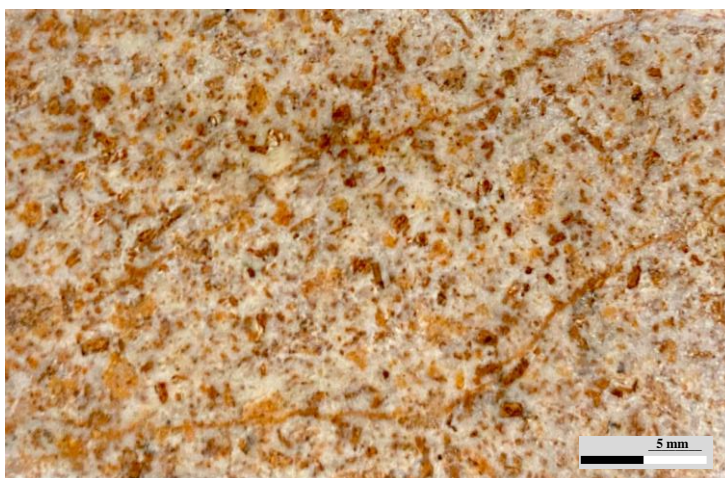
**Localización:** Tecate, Guerrero

**X:** 417084, **Y:** 1995109, **Z:** 548; **UTM:** WGS 84 14N; **Latitud:** 18.04291425684324 **Longitud:** 99.78341138025195

**Tipo de roca**

**Clasificación petrográfica:** Pórfido dacítico

***DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA***

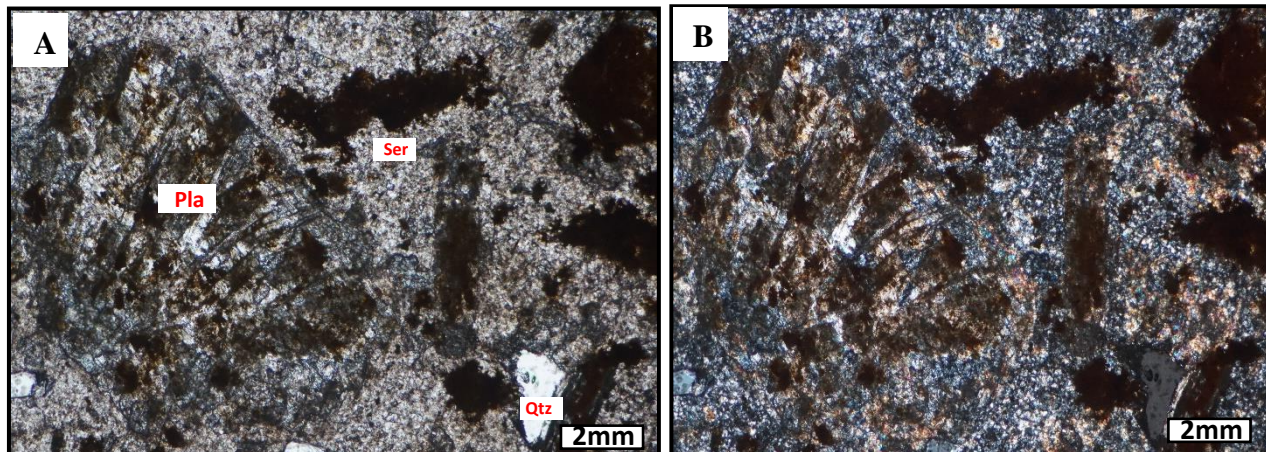


**Figura 51.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada.

<b><i>Descripción general</i></b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa, biotita y vetas. Presenta un alto grado de alteración por oxidación en toda la mineralogía.
<b>Patrón textural</b>	
<b><i>Tamaño de cristales</i></b>	Fenocristales de tamaños medio (< 4 mm)
<b><i>Distribución tamaño cristales</i></b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

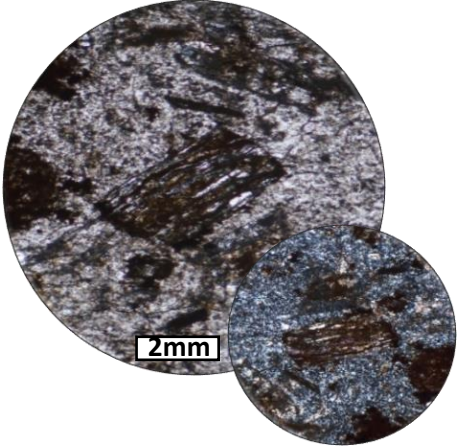
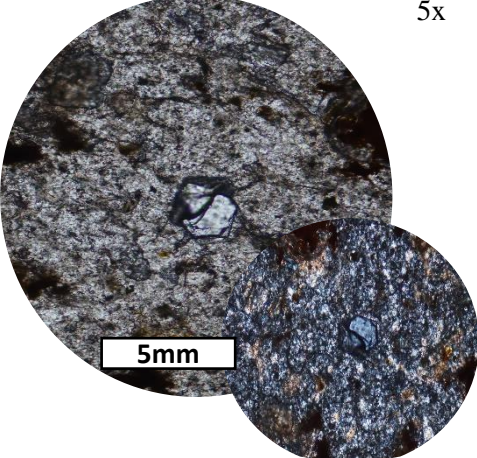


**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 52.** Microfotografías de la muestra T2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo con alteración fuerte en matriz microcristalina. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Qtz. = Cuarzo, Ser. =sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicoses cruzados. Objetivo 10x

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>		<p align="center">2mm</p>	Matriz microcristalina compuesta por cristales anhedrales de plagioclasa y cuarzo. Presenta alteración fuerte de sericita y calcita
<b>Plagioclasa</b>		<p align="center">5mm</p>	Cristales faneríticos, subhedrales a anhedrales, con textura poikilitica de sericita y calcita, de reabsorción y fuerte alteración.

<b>Biotita</b>		 <p>10x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura sieve y de reabsorción. Presenta alteración fuerte a modera de oxidación.
<b>Cuarzo</b>		 <p>5x</p>	Cristales faneríticos, anhedrales, con fracturas.
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita y Calcita	Cristales subfaneríticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasa y matriz		
<b>Minerales accesorios</b>			
Circón, apatito	Cristales subfaneríticos, euhedrales.		
óxidos de Fe	pervasivos en matriz y en fenocristales		

<b>Muestra</b>	<b>T-22-02</b>
----------------	----------------

**Fecha de muestreo:** 25/Mayo/2022

**Localización:** Tecate, Guerrero

**X:** 417084, **Y:** 1995109, **Z:** 548; **UTM:** WGS 84 14 N

**Latitud:** 18.04291425684324

**Longitud:** -99.78341138025195

**Tipo de roca**

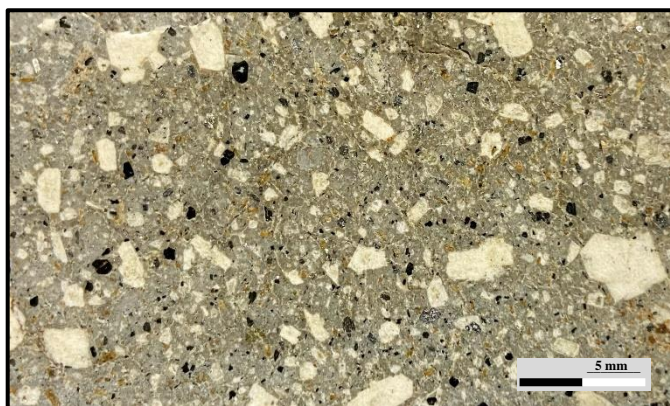
**Clasificación petrográfica:** Pórfido dacítico

**Edad:** 66.08±0.87 Ma.



**Figura 53.** Fotografía muestra de mano obtenida en campo.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

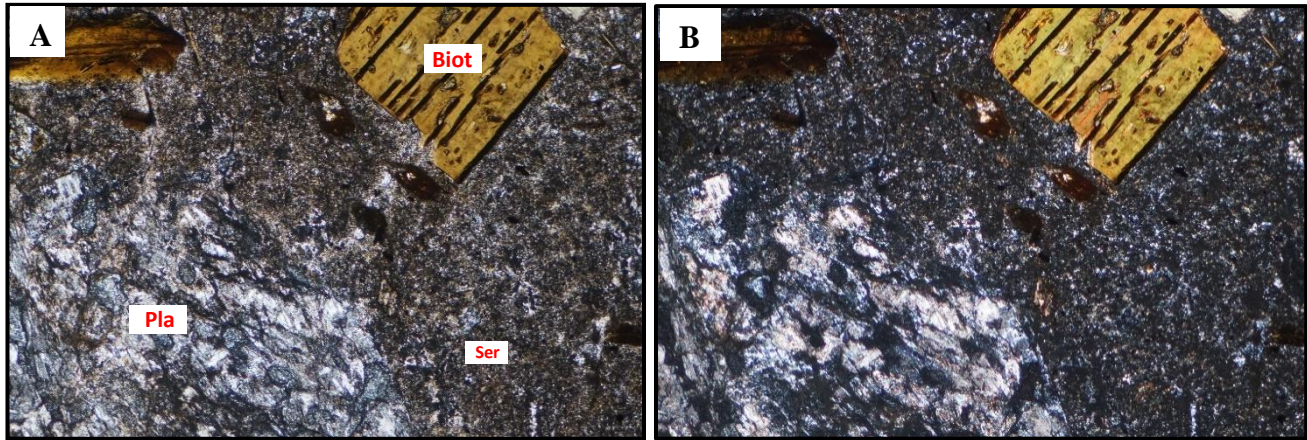


**Figura 54.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

<b>Descripción general</b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa y biotita.
<b>Patrón textural</b>	
<b>Tamaño de cristales</b>	Fenocristales de tamaños medio a grueso (7 mm a 1 mm)
<b>Distribución tamaño cristales</b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

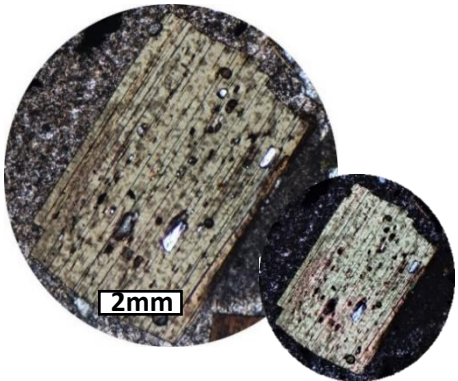


**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 55.** Microfotografías de la muestra T2202. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa y biotita en matriz microcristalina con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Biot. =biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicoles cruzados. Objetivo 10x.

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>	60	<p align="center">2mm</p>	Matriz microcristalina compuesta por cristales de plagioclasa y de cuarzo. Presenta alteración moderada a fuerte de sericita y calcita
<b>Plagioclasa</b>	25	<p align="center">5mm</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura poikilitica de sericita, biotita y calcita. Presenta texturas de reabsorción y glomeroporfídica.

<b>Biotita</b>	15	<p>10x</p>  <p>2mm</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura de reabsorción, quiebre kink e inclusiones de circón y apatito.
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita	Cristales subafaníticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasa y matriz		
Calcita	Cristales subafaníticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasas y matriz. Se encuentran también en forma de pequeñas vetas.		
<b>Minerales accesorios</b>			
Óxidos de Fe-ti	Cristales subafaníticos, subhedrales a anhedrales, pervasivos en matriz.		

<b>Muestra</b>	<b>E2201</b>
----------------	--------------

**Fecha de muestreo:** 25/Mayo/2022

**Localización:** Esperanza, Guerrero

**X:** 422524, **Y:** 1992772, **Z:** 599; **UTM:** WGS 84 14 N

**Latitud:** 18.021994157695087

**Longitud:** -99.73192875334833

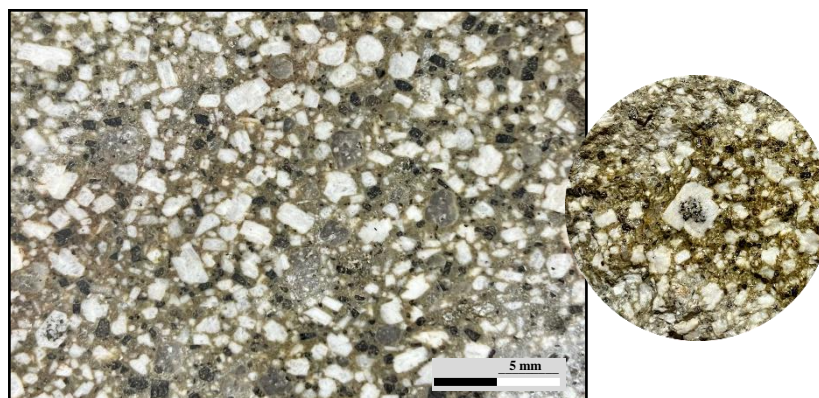
**Tipo de roca**

**Clasificación petrográfica:** Pórfido dacítico



**Figura 56.** Fotografía muestra de mano obtenida en campo.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

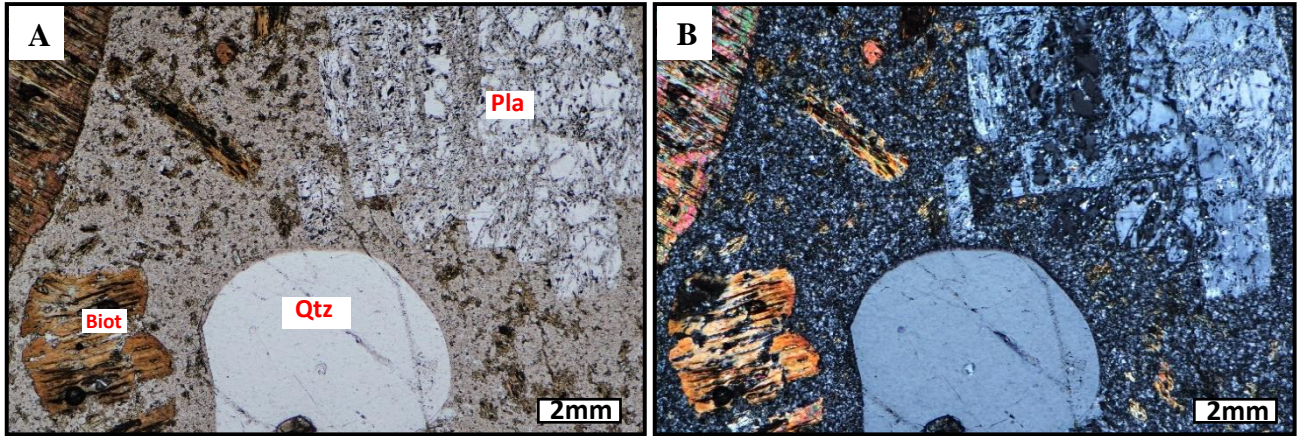


**Figura 57.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

<b>Descripción general</b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. En algunos cristales de plagioclasa se observan inclusiones de biotita.
<b>Patrón textural</b>	
<b>Tamaño de cristales</b>	Fenocristales de tamaños medio a grueso (2 mm a 5 mm)
<b>Distribución tamaño cristales</b>	Porfídica seriada /matriz afanítica



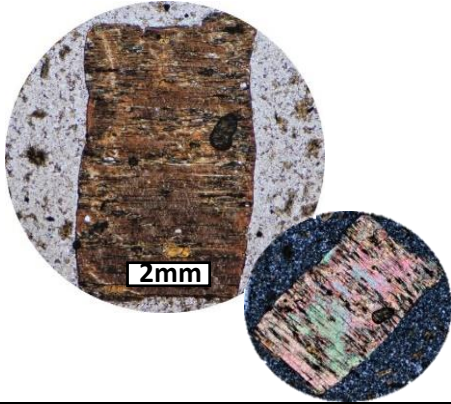
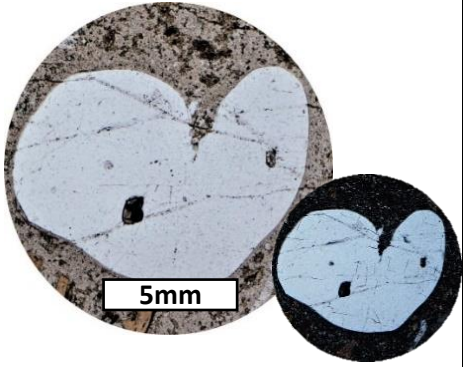
**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 58.** Microfotografías de la muestra E2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Biot. =biotita, Ser.=sericita, NP= nicoles paralelos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x.

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>	55		Matriz microcristalina compuesta por cristales anhedrales de plagioclasa y cuarzo. Presenta alteración de sericita.
<b>Plagioclasa</b>	25		Cristales faneríticos, subhedrales, con textura poikilitica de sericita, biotita, hornblenda y titanita. Presenta texturas de reabsorción y glomeroporfídica.



<b>Biotita</b>	15	<p>10x</p>  <p>2mm</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con textura sieve, de reabsorción e inclusiones de apatito y circón. Presentan alteración a clorita.
<b>Cuarzo</b>	5	 <p>5mm</p> <p>5x</p>	Cristales faneríticos, anhedrales, con texturas de reabsorción y fracturas.
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita y Calcita	Cristales subafaníticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración débil en plagioclasa y matriz		
<b>Minerales accesorios</b>			
Circón, apatito	Cristales subafaníticos, euhedrales como inclusiones en biotita		
Pirita	Cristales subafaníticos, subhedrales, pervasiva en matriz y textura sieve de biotitas.		
Óxidos de Fe-Ti	Cristales subafaníticos, anhedrales, pervasiva en matriz y textura sieve de biotitas.		

<b>Muestra</b>	<b>E2202</b>
----------------	--------------

**Fecha de muestreo:** 25/Mayo/2022

**Localización:** Esperanza, Guerrero

**X:** 421260, **Y:** 1993858, **Z:** 508; **UT:** WGS 84 14N

**Latitud:** 18.031763740990144

**Longitud:** -99.74391046281804

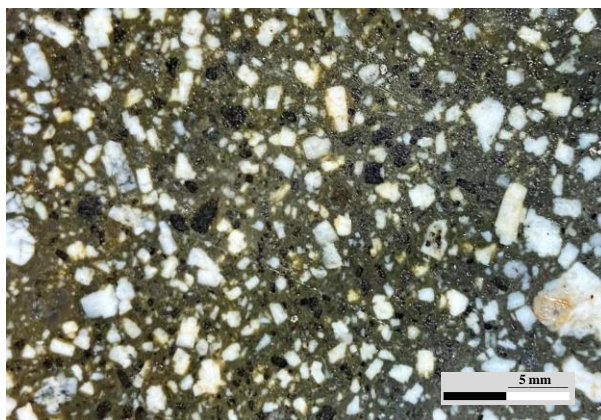
**Tipo de roca**

**Clasificación petrográfica:** Pórfido dacítico



**Figura 59.** Fotografía muestra de mano obtenida en campo.

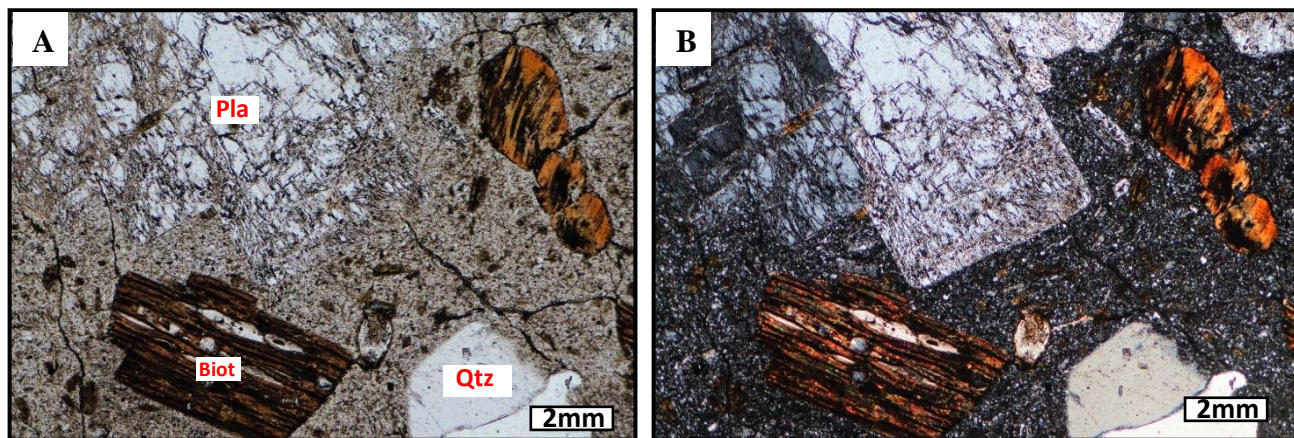
### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA



**Figura 60.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

<b>Descripción general</b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. En algunos cristales de plagioclasa se observan inclusiones de biotita.
<b>Patrón textural</b>	
<b>Tamaño de cristales</b>	Fenocristales de tamaños medio a grueso (1 cm a 1 mm)
<b>Distribución tamaño cristales</b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

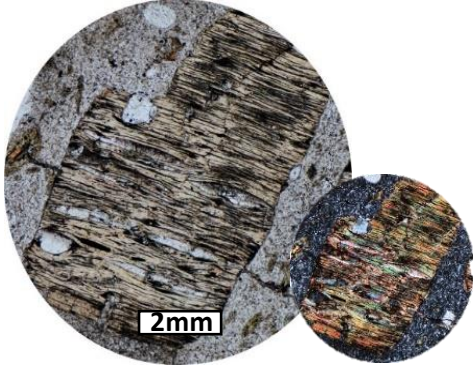
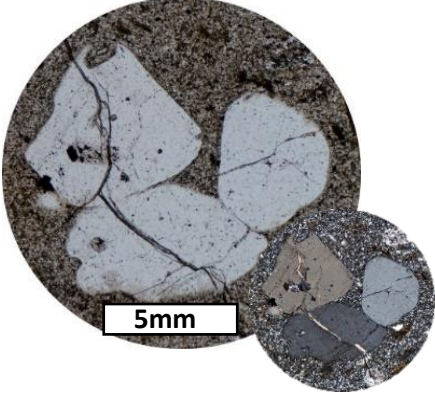
**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 61.** Microfotografías de la muestra E2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, hornblenda, biotita y cuarzo en matriz subafánica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Plg= plagioclasa, Biot. =biotita, NP= nicoles paralelos, NX=nicoles cruzados. Objetivo 10x.

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>	60		Matriz microcristalina compuesta por cristales anhedrales de plagioclasa y cuarzo. Presenta alteración de sericita
<b>Plagioclasa</b>	20		Cristales faneríticos, subhedrales, con textura poikilitica de sericita y biotita, texturas de reabsorción, glomeroporfídica y fracturas.



<b>Biotita</b>	15	 <p>10x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, con texturas sieve, de reabsorción e inclusiones de apatito y circón
<b>Cuarzo</b>	5	 <p>5x</p>	Cristales faneríticos, anhedrales, con texturas de reabsorción, glomeroporfídica y fracturas.
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita	Cristales subfaneríticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasa y matriz		
<b>Minerales accesorios</b>			
Circón, apatito	Cristales subfaneríticos, euhedrales, como inclusiones en biotita.		
Pirita	Cristales subfaneríticos, subhedrales, pervasiva en matriz y textura sieve de biotitas.		
Óxidos de Fe	Cristales subfaneríticos, anhedrales, pervasiva en matriz y textura sieve de biotitas.		

<b>Muestra</b>	<b>EN-22-01</b>
----------------	-----------------

**Fecha de muestreo:** 26/Mayo/2022

**Localización:** X: 420431, Y: 1979798, Z: UTM: WGS 84 14

**Latitud:** 17.904662 **Longitud:** -99.75120

**Tipo de roca:** Clasificación petrográfica: Pórfido dacítico

**Edad:** 63.03±0.96 Ma.

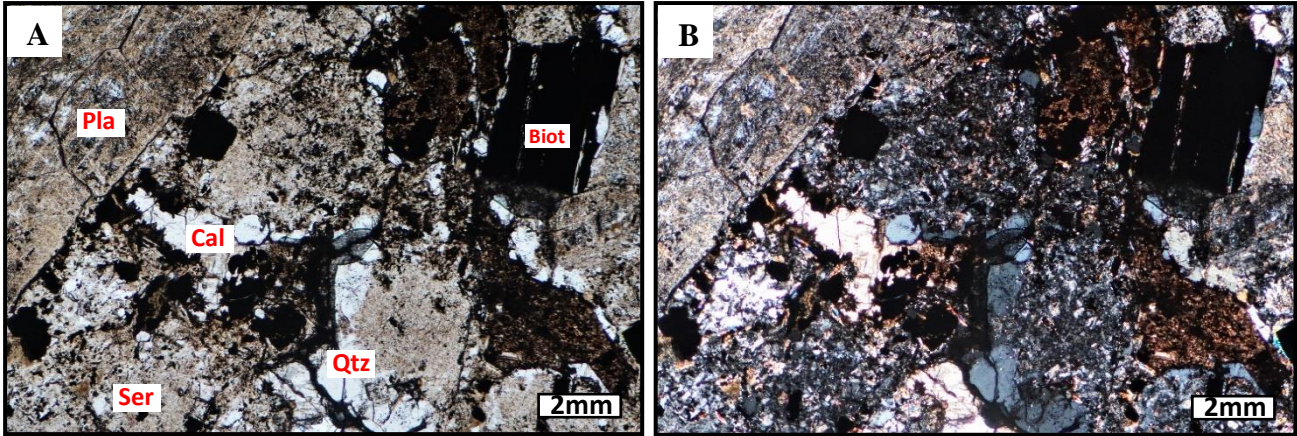
### ***DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA***



**Figura 62.** Fotografía de la muestra de mano con un mayor acercamiento. Se observa la textura porfídica seriada con fenocristales de plagioclasa y biotita embebidos en matriz afanítica de color grisácea.

<b><i>Descripción general</i></b>	Roca ígnea hipabisal, holocristalina, mesocrática, homogénea masiva, isótropa, de textura porfídica, matriz soportada con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. En algunos cristales de plagioclasa se observan inclusiones de biotita.
<b>Patrón textural</b>	
<b><i>Tamaño de cristales</i></b>	Fenocristales de tamaños medio (5 mm a 1 mm)
<b><i>Distribución tamaño cristales</i></b>	Porfídica seriada /matriz afanítica

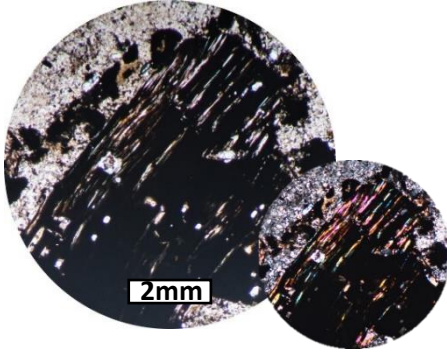
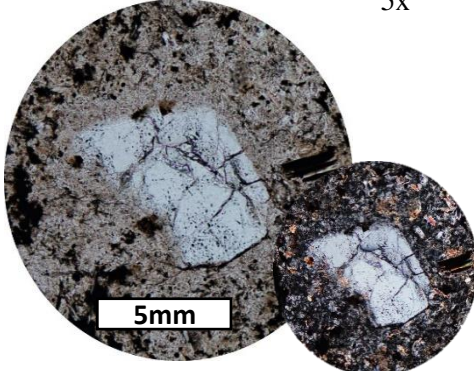
**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**



**Figura 63.** Microfotografías de la muestra EN2201. A) Fotografía tomada en NP, se observan fenocristales de plagioclasa, biotita, cuarzo y calcita en matriz subafanítica con sericitización. B) Misma zona en NX. Abreviaturas: Pla= plagioclasa, Biot. =biotita, Ser. =sericita, Cal.=calcita, NP= nicoles paralelos, NX=nicos cruzados. Objetivo 10x.

<i>Mineral</i>	<i>%</i>	<i>Imagen</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Matriz</b>	<b>40</b>	<p align="center">10x</p>	<p>Matriz subafanítica a microcristalina compuesta por cristales de plagioclasa y cuarzo. Presenta alteración de sericita y calcita</p> <p>Alteración moderada</p>
<b>Plagioclasa</b>	<b>20</b>	<p align="center">5x</p>	<p>Cristales faneríticos, subhedrales, con textura poikilitica de sericita, biotita y calcita. Presenta texturas de reabsorción y glomeroporfídica. Inclusiones de apatito y circón.</p> <p>Alteración moderada a fuerte</p>



<b>Biotita</b>	15	 <p>10x</p>	Cristales faneríticos, subhedrales, texturas sieve, de reabsorción e inclusiones de apatito y circón. Alteración fuerte a moderada de óxido de Fe.
<b>Cuarzo</b>	5	 <p>5x</p>	Cristales faneríticos, anhedrales, con texturas de reabsorción, fracturas y glomeroporfídica.
<b>Minerales secundarios</b>			
Sericita y Calcita	Cristales subfaníticos, anhedrales. Pervasivos, como producto de alteración en plagioclasa y matriz		
<b>Minerales accesorios</b>			
Circón, apatito	Cristales subfaníticos, euhedrales como inclusiones en plagioclasa y biotitas		
Óxidos de Fe	Cristales subfaníticos, subhedrales a anhedrales relleno de textura sieve de biotitas y pervasivos en matriz.		
Titanita	Cristales subfaníticos, euhedrales.		

**ANEXO B.**  
**QUÍMICA MINERAL**















**ANEXO C.**  
**GEOCRONOLOGÍA U-Pb EN CIRCÓN**



EN_Zrn-09	B	343.51	185.88	0.54	0.06	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	65.78	3.03	89.19	8.82	654.86	198.70	65.78	3.03	26.25
EN_Zrn-10	B	212.71	139.43	0.66	0.07	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	63.07	3.41	93.25	13.28	866.30	287.29	63.07	3.41	32.38
EN_Zrn-11	B	178.83	103.98	0.58	0.07	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	65.60	4.19	93.32	13.28	805.78	305.81	65.60	4.19	29.71
EN_Zrn-12	B	462.36	387.78	0.84	0.06	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	63.48	2.07	74.77	8.21	365.64	251.23	63.48	2.07	15.09
EN_Zrn-13	B	425.07	359.14	0.84	0.05	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	61.83	2.22	69.17	7.76	212.50	256.53	61.83	2.22	10.61
EN_Zrn-14	B	257.68	233.68	0.65	0.05	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	62.53	2.06	67.40	9.12	210.23	360.63	62.53	2.06	7.21
EN_Zrn-15	N	214.79	66.13	0.31	0.12	0.00	5.94	0.35	0.35	0.01	0.11	0.00	0.18	1928.69	34.69	1965.65	51.13	1994.15	60.69	1994.15	60.69	1.88
EN_Zrn-16	N	267.69	165.67	0.62	0.07	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	63.84	3.13	95.89	12.47	842.29	288.68	63.84	3.13	33.42
EN_Zrn-17	B	423.87	338.30	0.80	0.05	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	62.92	2.33	69.70	7.89	182.25	253.40	62.92	2.33	9.73
EN_Zrn-18	B	279.50	199.81	0.71	0.10	0.01	0.14	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.53	68.39	2.92	134.46	20.58	1407.97	264.37	68.39	2.92	49.14
EN_Zrn-19	N	227.92	209.80	0.92	0.08	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	67.49	3.94	107.90	10.70	1054.29	220.75	67.49	3.94	37.45
EN_Zrn-20	B	431.84	263.13	0.61	0.06	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	59.30	2.25	77.43	7.87	605.77	225.15	59.30	2.25	23.41
EN_Zrn-21	B	273.50	119.98	0.44	0.06	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	61.16	3.57	72.21	12.24	255.98	383.85	61.16	3.57	15.30
EN_Zrn-22	B	905.14	84.46	0.09	0.07	0.00	0.75	0.05	0.08	0.00	0.03	0.00	0.26	517.39	12.76	568.53	26.26	776.40	79.79	517.39	12.76	8.99
EN_Zrn-23	B	371.61	189.71	0.51	0.06	0.01	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.33	64.85	4.44	78.03	15.53	317.92	411.38	64.85	4.44	16.89
EN_Zrn-24	N	371.61	189.71	0.51	0.06	0.01	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.33	64.85	4.44	78.03	15.53	317.92	411.38	64.85	4.44	16.89
EN_Zrn-25	N	285.22	103.35	0.36	0.07	0.01	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.22	66.03	2.92	95.94	16.83	596.72	560.25	66.03	2.92	31.18
EN_Zrn-26	B	252.21	114.37	0.45	0.06	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	67.63	4.06	85.95	12.42	527.00	311.88	67.63	4.06	21.32
EN_Zrn-27	B	506.21	336.48	0.66	0.07	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	62.69	2.20	91.46	12.81	967.65	350.37	62.69	2.20	31.45
EN_Zrn-28	B	283.77	140.59	0.50	0.07	0.01	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	68.40	4.32	92.91	15.97	624.38	437.63	68.40	4.32	26.37
EN_Zrn-29	B	332.35	142.96	0.43	0.07	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	64.86	4.04	92.93	13.24	718.97	374.59	64.86	4.04	30.20
EN_Zrn-30	B	933.34	414.65	0.44	0.06	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.49	59.48	3.08	73.70	9.80	470.50	286.12	59.48	3.08	19.29	
EN_Zrn-31	B	292.74	212.44	0.73	0.07	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	61.53	3.03	91.25	9.86	960.43	206.92	61.53	3.03	32.57
EN_Zrn-32	B	399.82	236.89	0.59	0.06	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	59.14	2.79	70.04	7.68	363.73	266.22	59.14	2.79	15.56
EN_Zrn-33	B	288.02	175.53	0.65	0.07	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	65.70	2.89	98.58	12.29	916.06	291.90	65.70	2.89	33.35
EN_Zrn-34	B	787.93	583.77	0.74	0.06	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.22	65.03	3.25	86.49	11.17	650.77	297.96	65.03	3.25	24.81
EN_Zrn-35	B	351.04	274.71	0.78	0.05	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	65.11	3.44	70.46	13.20	-106.25	537.64	65.11	3.44	7.58

**ANEXO D.**  
**GEOQUÍMICA DE CIRCÓN**



Tabla D. Datos geoquímicos de círculo obtenido por abanición lateral de los círculos pierdidos

No. Abanición	P	Sr	Th	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Th	Ho	Er	Tm	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U	To/REE	TbU	Yb/Gd	U/Yb	Co/Co*	Eu/Eu*	Ti/Co			
V202-004-1	491.99	28.00	8.35	906.88	1.54	0.28	19.05	0.18	2.17	3.83	2.63	23.02	4.59	76.89	25.92	125.21	262.33	60.33	11377.29	4.59	125.21	411.47										

Geomorfología de la zona NW-1002

161 (Sierra Grande NW-1002)

EN_Zon01	EN_Zon02	EN_Zon03	EN_Zon04	EN_Zon05	EN_Zon06	EN_Zon07	EN_Zon08	EN_Zon09	EN_Zon10	EN_Zon11	EN_Zon12	EN_Zon13	EN_Zon14	EN_Zon15	EN_Zon16	EN_Zon17	EN_Zon18	EN_Zon19	EN_Zon20	EN_Zon21	EN_Zon22	EN_Zon23	EN_Zon24	EN_Zon25	EN_Zon26	EN_Zon27	EN_Zon28	EN_Zon29	EN_Zon30	EN_Zon31	EN_Zon32	EN_Zon33	EN_Zon34	EN_Zon35		
315.35	206.61	7.38	907.17	2.03	0.08	19.39	0.10	1.31	3.60	1.61	18.13	6.13	71.70	27.55	139.06	293.34	44.81	9317.62	2.04	125.41																

EN_Zon36	EN_Zon37	EN_Zon38	EN_Zon39	EN_Zon40	EN_Zon41	EN_Zon42	EN_Zon43	EN_Zon44	EN_Zon45	EN_Zon46	EN_Zon47	EN_Zon48	EN_Zon49	EN_Zon50	EN_Zon51	EN_Zon52	EN_Zon53	EN_Zon54	EN_Zon55	EN_Zon56	EN_Zon57	EN_Zon58	EN_Zon59	EN_Zon60	EN_Zon61	EN_Zon62	EN_Zon63	EN_Zon64	EN_Zon65	EN_Zon66	EN_Zon67	EN_Zon68	EN_Zon69	EN_Zon70			
85.13	239.46	14.11	2154.03	10.50	0.02	48.27	0.10	2.44	6.29	3.12	40.28	14.54	177.00	67.48	334.21	683.98	133.28	11576.87	8.87	547.59	942.99																

EN_Zon71	EN_Zon72	EN_Zon73	EN_Zon74	EN_Zon75	EN_Zon76	EN_Zon77	EN_Zon78	EN_Zon79	EN_Zon80	EN_Zon81	EN_Zon82	EN_Zon83	EN_Zon84	EN_Zon85	EN_Zon86	EN_Zon87	EN_Zon88	EN_Zon89	EN_Zon90	EN_Zon91	EN_Zon92	EN_Zon93	EN_Zon94	EN_Zon95	EN_Zon96	EN_Zon97	EN_Zon98	EN_Zon99	EN_Zon100	EN_Zon101	EN_Zon102	EN_Zon103	EN_Zon104		
649.05	0.68	16.18	0.62	40.83	0.61	74.99																													

EN_Zon105	EN_Zon106	EN_Zon107	EN_Zon108	EN_Zon109	EN_Zon110	EN_Zon111	EN_Zon112	EN_Zon113	EN_Zon114	EN_Zon115	EN_Zon116	EN_Zon117	EN_Zon118	EN_Zon119	EN_Zon120	EN_Zon121	EN_Zon122	EN_Zon123	EN_Zon124	EN_Zon125	EN_Zon126	EN_Zon127	EN_Zon128	EN_Zon129	EN_Zon130	EN_Zon131	EN_Zon132	EN_Zon133	EN_Zon134	EN_Zon135	EN_Zon136	EN_Zon137	EN_Zon138	EN_Zon139	EN_Zon140	
447.15	3.21	120.08	3.12	2188.72	14.18	1.95	0.02	10.01	1.28	1.45	14.57	10.42	74.86	26.22	161.31	388.74	12.74	1181.16	6.21	114.88	52.97															

EN_Zon145	EN_Zon146	EN_Zon147	EN_Zon148	EN_Zon149	EN_Zon150	EN_Zon151	EN_Zon152	EN_Zon153	EN_Zon154	EN_Zon155	EN_Zon156	EN_Zon157	EN_Zon158	EN_Zon159	EN_Zon160	EN_Zon161	EN_Zon162	EN_Zon163	EN_Zon164	EN_Zon165	EN_Zon166	EN_Zon167	EN_Zon168	EN_Zon169	EN_Zon170	EN_Zon171	EN_Zon172	EN_Zon173	EN_Zon174	EN_Zon175	EN_Zon176	EN_Zon177	EN_Zon178	EN_Zon179	EN_Zon180	
70.24	30.32	6.32	7.29	1374.89	2.48	0.13	30.52	0.13	4.65	1.70	12.24	34.46	10.14	117.74	40.93	19.91	484.44	82.62	1026.27	4.51	214.24	20.72														

**ANEXO E.**  
**GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL**

MUESTRAS								
	V2201	V2202	Q2201	T2202	E2201	E2202	EN2201	PROM.
<b>ÓXIDOS PRINCIPALES</b>								
<i>SiO<sub>2</sub></i>	60.54	61.63	60.60	64.81	65.22	66.10	64.84	63.39
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	14.55	15.10	15.04	15.07	15.13	15.36	15.89	15.16
<i>TiO<sub>2</sub></i>	0.75	0.91	0.85	0.62	0.71	0.61	0.72	0.74
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	4.04	4.17	3.76	3.08	3.59	3.11	4.25	3.71
<i>MnO</i>	0.04	0.05	0.06	0.03	0.05	0.04	0.06	0.05
<i>CaO</i>	5.84	4.03	4.24	3.51	3.10	2.94	2.96	3.80
<i>MgO</i>	3.38	3.82	3.84	1.50	2.62	2.33	1.70	2.74
<i>K<sub>2</sub>O</i>	2.88	3.53	3.01	2.87	3.21	2.82	3.31	3.09
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	3.89	4.95	3.72	3.83	4.02	4.18	4.31	4.13
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0.30	0.49	0.32	0.21	0.26	0.22	0.27	0.30
<i>PXC</i>	3.79	1.34	4.57	4.47	2.09	2.30	1.69	2.89
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
<b>ELEMENTOS TRAZA (ppm)</b>								
<i>Ni</i>	95.25	68.53	66.34	20.35	30.71	26.27	4.14	44.51
<i>Cr</i>	144.71	88.86	103.48	33.76	72.80	55.92	13.25	73.25
<i>Co</i>	16.04	13.71	14.93	7.96	9.64	8.46	4.39	10.73
<i>Cs</i>	2.37	1.47	4.96	6.41	5.50	4.70	4.98	4.34
<i>V</i>	81.18	85.70	95.23	60.70	71.07	60.54	65.89	74.33
<i>Ba</i>	1416.85	1519.24	1283.55	996.29	1393.90	1223.90	1247.40	1297.31
<i>Rb</i>	84.94	87.60	79.15	87.02	92.68	87.05	73.40	84.55
<i>Sr</i>	895.19	906.81	794.48	442.48	883.25	934.95	595.43	778.94
<i>Zr</i>	225.91	255.43	204.26	162.00	236.76	203.59	214.15	214.59
<i>Nb</i>	7.45	8.46	8.08	5.95	8.31	6.63	/	7.48
<i>Ga</i>	19.45	19.91	21.31	20.39	21.08	21.31	20.47	20.56
<i>Cu</i>	31.96	16.13	11.52	6.33	12.91	6.30	1.91	12.44
<i>Zn</i>	70.28	69.73	46.87	62.01	64.60	61.66	35.44	58.66
<i>Pb</i>	20.54	17.96	11.62	18.41	20.05	18.35	6.35	16.18
<i>Hf</i>	5.60	6.43	5.14	4.23	6.09	5.21	5.50	5.46
<i>Th</i>	10.81	11.90	9.59	8.26	13.57	12.82	8.74	10.81
<i>Ta</i>	0.44	0.45	0.57	0.37	0.55	0.42	0.85	0.52
<i>U</i>	3.12	2.43	2.51	1.99	3.86	3.19	1.97	2.72
<i>W</i>	0.42	0.41	1.02	0.43	0.58	0.36	1.00	0.60
<b>TIERRAS RARAS (ppm)</b>								
<i>La</i>	39.98	58.31	41.16	30.25	42.78	41.57	33.95	41.14
<i>Ce</i>	81.39	125.15	86.42	60.67	85.04	80.31	62.67	83.09
<i>Pr</i>	10.00	14.71	10.98	7.80	10.61	10.06	8.79	10.42
<i>Nd</i>	37.64	65.20	42.27	29.70	39.78	37.12	33.71	40.77
<i>Sm</i>	6.39	11.00	7.50	5.13	6.84	6.14	6.28	7.04
<i>Eu</i>	1.73	2.78	2.08	1.35	1.76	1.59	1.67	1.85
<i>Gd</i>	4.49	7.26	5.37	3.68	4.72	4.30	4.96	4.97
<i>Tb</i>	0.56	0.87	0.67	0.47	0.62	0.54	0.71	0.63
<i>Dy</i>	2.43	3.31	2.85	2.11	2.68	2.33	3.60	2.76
<i>Ho</i>	0.44	0.55	0.50	0.39	0.48	0.42	0.67	0.49
<i>Er</i>	1.21	1.47	1.35	1.11	1.34	1.19	1.81	1.35
<i>Yb</i>	0.98	1.11	1.08	0.89	1.13	0.96	1.82	1.14
<i>Lu</i>	0.14	0.16	0.16	0.13	0.17	0.14	0.28	0.17
<i>Y</i>	13.41	17.17	16.14	11.90	15.25	12.92	20.57	15.33

*PXC= Pérdida de calcinación*