



Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo

Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra



**“Análisis petrológico e isotópico del Complejo Batolítico
Aquila, suroccidente de México”**

T E S I S

MGyPT

Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias con especialidad en:
Geociencias y Planificación del Territorio

P R E S E N T A:

Ing. Geol. Francisco Javier Gómez Rivera

Director de tesis:
Dr. Pedro Corona Chávez

Codirectora de tesis:
Dra. María del Sol Hernández Bernal

Morelia, Mich., abril de 2019.

Dedicatoria

*A mi madre y mis hermanos, por ser las personas
mas importantes en mi vida, por su apoyo, sus
consejos y enseñanzas.*

*A todos y cada uno de ustedes los admiro y
créanme que he aprendido mucho de nuestra
convivencia. La vida ha sido muy buena conmigo
al colocarlos a mi lado. Nunca podría haber
llegado hasta aquí sin ustedes.*

¡Gracias por siempre estar ahí, familia!

*La vida no es fácil, para ninguno de nosotros.
Pero... ¡qué importa! Hay que perseverar y, sobre
todo, tener confianza en uno mismo. Hay que sentirse
dotado para realizar alguna cosa y que esa cosa hay
que alcanzarla, cueste lo que cueste.*

Marie Curie

Agradecimientos

Es para mí un verdadero placer agradecer a mi asesor el Dr. Pedro Corona Chávez, por cada esfuerzo y momento dedicado en la resolución de mis dudas, su gran confianza y motivación durante todo el desarrollo de esta tesis y sobre todo por su gran paciencia y apoyo en los momentos más complicados de este proceso. Gracias por todas sus enseñanzas y por haberme recibido como su tesista. Finalmente, gracias por brindarme su invaluable amistad.

A la Dra. María del Sol Hernández Bernal por brindarme su confianza, paciencia, conocimientos, por su apoyo en campo y en todas las técnicas desarrolladas en las instalaciones de la ENES-Morelia. Finalmente, por ser mi codirectora de tesis.

A la M. En C. María del Consuelo Macías Romo, por su amable y atenta ayuda durante las estancias en las instalaciones del laboratorio de separación de minerales del Instituto de Geología de la UNAM, en la Ciudad de México. Agradezco la supervisión durante la obtención de concentrados de zircones, así como el que me allá brindado sus amplios conocimientos, experiencia en el tema y sus acertados comentarios. Los cuales fueron de enorme utilidad en la obtención de zircones principalmente en muestras de gabros.

Al Ing. José Teodoro Hernández Treviño, por su valiosa, diligente y enriquecedora, supervisión e instrucción del método de separación de zircones, mediante bateo. Que me fue de gran utilidad principalmente en la obtención de concentrados de zircones en rocas granitoides.

Al Dr. Carlos Ortega Obregón, por su invaluable, enriquecedor y atento apoyo y coordinación, durante la realización de los análisis isotópicos de U-Pb en zircones, en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI), del Centro de Geociencias UNAM, en Juriquilla, Querétaro.

A los proyectos de la Dra. María del Sol Hernández Bernal, PAPIIT-IA104615 y PAPIIT-IA106217, mediante los cuales se financió parte de los análisis y estancias, de vital importancia para la realización de esta tesis.

Agradezco a la Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio (MGyPT) por haberme permitido ser parte de este posgrado. A sus doctores-investigadores y adjuntos por haber tomado la decisión de formar alumnos y por tal, aportar en mi proceso formativo. A todos aquellos que han contribuido en mi desarrollo profesional.

Mil gracias a los compañeros y amigos de la Maestría (MGyPT), a las alegrías, discusiones y compañía, durante esta aventura llamada ciencia que decidimos tomar en nuestras manos.

Especialmente a mi gran amiga y cómplice en incontables ocasiones, M. en C. Rosa Lilia Dorantes Zabaleta. Por siempre poder contar con ella de forma incondicional y durante todos estos años, desde la carrera, la industria y ahora en la maestría.

Al Ing. Rufino Lozano Santa Cruz técnico académico del Laboratorio de FRX Instituto Geología, UNAM, por su valioso trabajo en la obtención de las concentraciones de óxidos mayores.

A la M. en C. Ofelia Pérez Arbizu técnico académico del Laboratorio Ultralimpio e ICP-MS por su trabajo relacionado con la medición de elementos traza de algunas muestras.

A los revisores de este trabajo: Dr. Pedro Corona Chávez, Dra. María del Sol Hernández Bernal, Dr. Víctor Manuel Hernández Madrigal y Dr. Peter Ernst Georg Schaaf, a quienes agradezco sobremanera las observaciones y comentarios realizados, los cuales enriquecieron enormemente la versión final del manuscrito presente.

Finalmente, es imprescindible agradecer a CONACYT por su apoyo económico otorgado mediante la beca con No de Convocatoria 291025.

Índice

Dedicatoria	<i>i</i>
Agradecimientos	<i>ii</i>
Índice de figuras y tablas	<i>vii</i>
Resumen	<i>xii</i>
Abstract	<i>xiii</i>
1 Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Ubicación y vías de acceso	4
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos particulares	6
2 Antecedentes	7
2.1 Marco Tectónico	7
2.2 Marco Geológico	12
2.2.1 Formación La Alberca	14
2.2.2 Formación Tecalitlán	15
2.2.3 Formación Tepalcatepec	15
2.2.4 Formación Cerro de la Vieja	15
2.2.5 El CBA	16
3 Metodología	21
3.1 Compilación bibliográfica y cartográfica previa	21
3.2 Revisión de material litológico previo	21
3.3 Cartografía asistida por SIG	22
3.4 Trabajo de campo	22
3.5 Procesado de muestras	23
3.5.1 Láminas delgadas	23
3.5.2 Trituración y pulverización	23
3.5.3 Separación de zircones	24

3.5.4 Montado y pulido de zircones	25
3.6 Técnicas analíticas	27
3.6.1 Petrografía	27
3.6.2 Elementos mayores por fluorescencia de rayos x (FRX)	27
3.6.3 Elementos en traza por espectrometría de masas	28
3.6.4 Isotopía U-Pb en zircones	28
4 Resultados	29
4.1 Cartografía del CPA y sus relaciones de contacto con la roca encajonante	29
4.2 Unidades del CPA	32
4.2.1 Gabro Tierras Aradas (GTA)	32
4.2.2 Gabro híbrido Nuez-Otate (GHNO)	34
4.2.3 Granodiorita-Tonalita Huitzontla (GTH)	37
4.2.4 Gabro híbrido Caimán (GHC)	39
4.2.5 Granodiorita-Tonalita Solimán-Chafre (GTSC)	42
4.3 Petrografía del CPA	44
4.3.1 Gabro Tierras Aradas (GTA)	44
4.3.2 Gabro híbrido Nuez-Otate (GHNO)	47
4.3.3 Granodiorita-Tonalita Huitzontla (GTH)	50
4.3.4 Gabro híbrido Caimán (GHC)	52
4.3.5 Granodiorita-Tonalita Solimán-Chafre (GTSC)	54
4.4 Geoquímica	56
4.4.1 Elementos mayores y menores	56
4.4.2 Elementos traza	64
4.5 Tipología e isotopía U-Pb en zircones	68
4.5.1 Tipología	68
4.5.2 Isotopía	73
5. Discusión	79
5.1 Relaciones espaciales, secuencia de emplazamiento y volumen del CPA	79
5.2 Variaciones petrológicas y geoquímicas del CBA	82
5.3 Geocronología del CBA y su relación con el magmatismo en el suroccidente de México	86
5.4 Modelo de emplazamiento del CPA	89
6. Conclusiones	92

7. Referencias	94
----------------------	----

Anexos

I. Revisión de muestras de mano (briquetas)

II. Estructuras y texturas de hibridación

III. Descripción de campo de las unidades del Ensamble Plutónico Faro-Maruta (EPFM)
Castro-Ornelas 2013

IV. Anexo petrográfico

V. Tipología e isotopía U-Pb en Zircones

Índice de figuras y tablas

1 Generalidades	1
Figura 1. Diagrama de clasificación modal QAP de Streckeisen, (1976). Modificado de Nédélec y Bouchez (2015).	2
Figura 2. Mapa de ubicación del área en la que afloran los ensambles principales del CBA. A) mapa de la República Mexicana donde se resalta en color café el estado de Michoacán; B) Mapa del estado de Michoacán y algunas de sus colindancias con otros estados, se resalta en azul la capital del estado, Morelia; y C) Municipios de la costa michoacana dentro de los que se encuentra el CBA.	5
2 Antecedentes	7
Figura 3. Mapa geológico del sur de México que muestra las rocas magmáticas Cretácico tardío – Mioceno y el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano de edad Mioceno – Cuaternario, (modificado de mapas SGM, 1:50,000 y 1:250,000), modificado de Morán-Zenteno <i>et al.</i> , (2018). Con flechas verdes se indican: CBM: Complejo Batolítico Manzanillo; CBJ: Complejo Batolítico Jilotlán; CBA: Complejo Batolítico Aquila. En la esquina superior derecha, fragmento del mapa de terrenos tectonoestratigráficos de México, propuesto por Campa y Coney (1983). TMVB: Cinturón Volcánico Trans-Mexicano; G: Terreno Guerrero; MI: Terreno Mixteca; O: Terreno Oaxaca; J: Terreno Juárez; M: Terreno Maya.	9
Figura 4. Mapa geológico y geocronología (compilada de diversos autores) de la SMS entre Puerto Vallarta y Zihuatanejo (modificado de Morán-Zenteno <i>et al.</i> , 2018). Los puntos 2, 3 y 4 corresponden al CBMJA. 2: CBM; 3: CBJ; 4: CBA.	10
Figura 5. Relaciones de la geocronología en El CBC y las franjas metalogénicas, entre Puerto Vallarta y Acapulco, suroeste de México (tomado de Corona-Chávez, 2014).	12
Figura 6. El Terreno Guerrero, ubicación del área de estudio y otros terrenos tectonoestratigráficos de México (modificado de Centeno-García <i>et al.</i> , 2008).	13
Figura 7. Columna estratigráfica con las formaciones que afloran dentro del área de estudio y cercanas a la misma (in, Aguilar-Hernández, 2013).	14
Figura 8. Mapa geológico, donde las unidades de color Rosa corresponden al CBA. Modificado de Barrios-Rodríguez <i>et al.</i> (CRM; 2000).	17
Tabla1. Edades isotópicas en El CBA. 1: Pantoja-Alor (1983); 2: Murillo-Muñetón y Torres-Vargas (1987); 3: Schaaf (1990); 4: Schaaf (1990 in Schaaf <i>et al.</i> , 1995); 5: Corona-Chávez (inprep; 1999); 6: Iriondo <i>et al.</i> (2004). Las coordenadas presentan como Datum: WGS84; como Proyección: UTM; y están en la zona: 13N.	20
3 Metodología	21
Figura 9. Fotografías montado y pulido. a) Zircones montados en cinta adhesiva centrados en anillo de baquelita. b) Preparado de muestras bajo lámpara infrarroja, después de colocar resina. c) Anillos con zircones pulidos listos para análisis, en el recuadro amarillo perspectiva del espesor.	26
Figura 10. Fotografías de zircones montados y pulidos. a) zircones vistos con luz paralela. b) imagen de cátodoluminiscencia de zircones.	28
4 Resultados	29

4.1 Cartografía del CPA y sus relaciones de contacto con la roca encajonante	29
Figura 11. Mapa geológico del área de Aquila, donde se observa las 5 unidades propuesta para El Complejo Plutónico Aquila (CPA). A su vez se muestran las relaciones de contacto con la roca encajonante, representada por secuencias de El Subterreno Zihuatanejo. Finalmente se observa una porción de la unidad Granodiorita Ostula, que forma parte de El Ensamble Plutónico Faro Maruata (EPFM).	31
4.2 Unidades del CPA	32
Figura 12. Fotografías de la unidad GTA: (a) afloramientos continuos de ésta unida en la localidad de Tierras Aradas, de fondo C. La Aguja formado por ganitoides de la unidad GTSC; (b) boleos en las inmediaciones de La Roblera; (c) contacto neto entre variaciones composicionales internas de la unidad GTA; y (d) variaciones composicionales, texturales y de tamaño de grano de la unidad, en muestra de mano.	33
Figura 13. Fotografías de la unidad GHNO: (a) estructura de tipo “batching” contorneada de color azul y con un detalle en marcado en color rojo, donde se puede observar Am y Pl; (b) desmembramiento máfico al contacto con la unidad GTA, definido por estructuras tipo “shölen” con formas subredondeadas, que son cortados por delgados filones pegmatíticos y sinuosos; (c) imágenes de enclaves, en la 1 al contacto con la unidad GTH, donde se pueden observar bordes transicionales en los enclaves y en la 2 al contacto con la unidad GTA, donde podemos observar bordes tipo “chilled margin”; (d) filones básicos con formas sinuosas y discontinuos; (e) foliaciones miloníticas al contacto con la estructura de Chanviejo. 1 y 2 foliación milonítica sinuosa y paralela en la 1 con un dislocamiento, en la 3 clivaje espaciado por porfidoclastos de Cpx y Am sigmoidales; y (f) bolsas pegmatoides con crecimiento acicular, radial de Am, marcadas con un borde azul y con un detalle enmarcado en rojo.	36
Figura 14. Fotografías de la unidad GTH: (a) boleos en las inmediaciones del el Crucero de Naranjillo; (b) Dique máfico con contacto tipo “cusplate” con plutón tonalítico; (c) contacto tipo “cusplate” entre plutón tonalítico-granoditirítico y dique máfico con fenocristales de Pl en su borde marcado en azul y con un borde rojo pequeña infiltración de material félsico en el dique; y (d) foliación magmática, variaciones texturales, de tamaño de grano y composicionales, de la unidad en muestra de mano.	38
Figura 15. Fotos de la unidad GHC: (a) foto panorámica del contacto transicional con la unidad GHNO; (b) afloramiento de gabro en las inmediaciones de Puerto Caimán, que es cortado por un filón delgado, tonalítico con bordes irregulares y con un detalle de la textura enmarcado en rojo; (c) filones delgados tipo pegmatíticos con bordes irregulares, en la 1 blanquecino y con formas sinuosas y en la 2 de color rosa (rico en Kfs) y discontinuos; y (d) afloramiento en las inmediaciones de El Huizachito, donde se observa oxidción fuerte y el desarrollo de cuerpos filonianos, discontinuos, ricos en Mt con Sulf subordinados, que tienen un claro control estructural, señalado con líneas negras y con fracuramiento oblicuo resaltado con líneas rojas en el detalle enmarcado en rojo. Finalmente, en el detalle enmarcado en negro se observa la estructura craquelada relacionada con el contacto entre los filones y los gabros de la unidad.	41
Figura 16. Fotos de la unidad GTSC: (a) boleos en las inmediaciones de Puerto Solimán; (b) Afloramiento en corte de camino en las inmediaciones de La Aguja, de fondo C. con el mismo nombre; y (c) texturas y variaciones composicionales, de litologías en la unidad, en muestra de mano, de izquierda a derecha presenta disminución de feldespatos potásico.	43
4.3 Petrografía del CPA	44
Tabla 2. Resumen de abreviaturas de los minerales, modificada de las propuestas por la IUGS, (2007).	44
Figura 17. Microfotografías de la unidad GRTA: A) foliación magmática definida por Pl1-B y Am1; B) fenocristales de Pl1-A con contactos de inestabilidad, con las Pl1-B y los Am e interrumpiendo la orientación de estos; C) Pl1-A con recrystalización dinámica, dos generaciones de Cpx y	

minerales de la asociación secundaria en sitios intersticiales y como coronas; y D) mineralogía primaria Cpx-A, Cpx-B, Am1 y Pl1-A y secundaria Bt y Am2 con contactos de inestabilidad.

Figura 18. Microfotografías de la unidad GHNO: A) foliación magmática definida por Pl1-B, Cpx-B y Opx, más evidente en la esquina superior izquierda, así como Cpx-B y Ox1 con coronas de Bt y Opx con corona parcial de Am2; B) Pl1-A con texturas en parches y sutil de tamiz, acompañada por Pl2 con recristalización, Cpx-A con borde de Am1 y relacionado con la ocurrencia de la asociación Pl2+Qz en estructuras de infiltración de poro ("porous flow"); C) Pl1-B con su macla flexionada; y D) Kfs con contactos irregulares con Cpx-A remplazado parcialmente por Am1 y que además, presenta finos cristales Ox2 creciendo en su borde; E) vena pegmatoide con un contacto indentado con Pl1-A, compuesto por Pl3 que envuelve a Am3 y Ttn2; y F) interacción de mineralogía primaria (Pl1-A, Cpx-A y Am1) con mineralogía secundaria (Kfs y Am2), que son cortadas por micro zonas de cizalla señaladas con flechas rojas.

Figura 19. Microfotografías de la unidad GTH: A) foliación magmática definida por Pl-B y Am, acompañados por Qz y Cpx reemplazado por Am, con alteración por intemperismo; B) fenocristal de Pl1-A rodeado por cuarzo policristalino, con texturas de recristalización; C) Kfs en equilibrio con Pl-A y con Ep creciendo en su borde; y D) asociación mineral Pl + Qz + Kfs + Am + Bt + Cpx, también se observa alteración de Chl con hábito radial.

Figura 20. Microfotografías de la unidad GHC: A) cristales de Pl1-A con contactos irregulares (inestables) con el resto de la mineralogía. Cpx-A y Cpx B con contactos irregulares y relacionados con Ox1 con bordes coroníticos de Bt; B) mineralogía primaria (Pl1-A, Cpx y Ox1), en contacto con mineralogía secundaria (Qz + Pl2) mediante una estructura de infiltración ("porous flow"); C) fenocristal de Pl1-A con textura en parches, a su vez con inclusiones de Ox1, estos últimos presentan bordes coroníticos de Bt; D) Pl1-B con textura mirmequítica (señalada con un ovalo rojo), al con tacto con Qz; E) Cpx-A, Cpx-B y Opx con remplazamientos de Am2 y Bt, además de alteración de Ep en Cpx-B; y F) Pl1-B en contacto con Qz y Bt de la mineralogía secundaria. Es evidente la diferencia entre los contactos indentados entre la Bt y la Pl1-B y los contactos tendencialmente rectos entre la Bt y el Qz.

Figura 21. Microfotografías de la unidad GTSC: A) foliación magmática definida por Pl-A, Pl-B y Am, también se observan acumulaciones de Qz policristalino; B) fenocristal de Am con núcleo de Cpx.

4.4 Geoquímica

Tabla 3. Concentración en wt% de elementos mayores y menores de muestras pertenecientes al CBA. Están divididos en tres grupos separados en la tabla por líneas oscuras gruesas, que corresponden con el CPA, el EPFM y los AT. A su vez, el CPA y el EPFM están separados en unidades. Las unidades del CPA son: Gabro Tierras Aradas (GTA); Gabro híbrido Nuez-Otate (GHNO); Granodiorita-Tonalita Huitzontla; y Gabro híbrido Caimán (GHC). El EPFM está representado con muestras de las unidades de: Monzogranito-Granodiorita Pomaro-Coire (MGPC); Granodiorita Faro (GF); Granodiorita Ostula (GO) Monzogranito Coire-Estopila (MCE); y Monzogranito Maruata-Motín (MMM), las unidades del EPFM son las definidas por Castro-Ornelas (2013). Los valores de FeO representan el hierro total reportado como Fe3+. Se presentan datos de 1: Schaaf (1990); 2: Castro-Ornelas (2013); y 3: este trabajo.

Tabla 4. Contenido de elementos traza en ppm de muestras correspondientes al CBA. Los guiones (-) representan valores por debajo del límite de detección o sin analizar. Las siglas y citas corresponden con las de la tabla 3.

Figura 22. Mapa de distribución de las muestras con análisis geoquímicos, contenidas en la tabla 3 y 4. Se muestra la distribución del CPA y del EPFM (Castro-Ornelas, 2013).

46

49

51

53

55

56

57

58

59

Figura 23. Diagramas de variación binaria, donde se grafican muestras correspondientes con el CBA dividido en CPA, EPFM y AT. A su vez se muestran las unidades internas del CPA y del EPFM. A) SiO_2 vs $\# \text{Mg} [(\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeO})]$; donde el FeO = hierro total] y B) SiO_2 vs $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$.	60
Figura 24. Diagrama de clasificación TAS para rocas plutónicas modificado por Wilson (1989). Se grafican muestras pertenecientes al CBA.	61
Figura 25. Diagrama de clasificación normativa Ab-An-Or de Barker (1979), donde se grafican muestras pertenecientes al CBA.	62
Figura 26. Diagrama AFM Irvine y Baragar (1971), donde se grafican muestras del CBA.	63
Figura 27. Diagrama bivalente de Ba/Yb vs Nb/Yb donde se grafican muestras del CBA. En la parte superior Izquierda se presenta el diagrama de Pearce y Stern (2006) donde se señala con un recuadro gris con transparencia, el área correspondiente con el gráfico principal. El campo correspondiente con el Arco de las Marianas es el propuesto por Pearce y Stern (2006).	64
Figura 28. Diagrama multielemental de elementos traza, normalizado con N-MORB de Sun y MacDonough (1989), que presenta muestras del CBA, divididas entre unidades correspondientes con el CPA y unidades del EPFM.	65
Figura 29. Diagrama multielemental de tierras raras normalizado con la condrita de Sun y MacDonough (1989), que presenta muestras del CBA, divididas entre unidades correspondientes con el CPA (A) y unidades del EPFM (B).	66
Figura 30. Diagramas de discriminación tectónica para granitoides de Pearce et al. (1984). Se grafican muestras del CBA, divididas entre unidades correspondientes con el CPA y unidades del EPFM. A) Rb vs Y+Nb y B) Yb+Ta vs Rb.	67
4.5 Tipología e isotopía U-Pb en zircones	68
Figura 31. Microfotografías con luz polarizada (nicoses cruzados) de zircones montados y pulidos de muestras correspondientes con el CBA, tres del CPA y una del EPFM. Las muestras correspondientes con las unidades del CPA son UL-22-15, AQ-09-15 (de la unidad GHNO) y MICH-39-15 (de la unidad GHC). La muestra AQ-29B-15 corresponde con la unidad MGPC. Las formas redondas con los bordes oscurecidos, corresponden con burbujas dentro de la resina en la que están montados los zircones, generalmente por detrás de estos últimos.	69
Figura 32. Diagrama de clasificación tipológica de zircones (Pupin, 1980 y 1988). Los campos resaltados en amarillo, corresponden con las tipologías de los zircones observadas en el CBA.	71
Figura 33. Microfotografías de Cátodoluminiscencia de zircones montados y pulidos de muestras correspondientes al CBA, tres del CPA y una del EPFM. Las muestras correspondientes con las unidades del CPA son UL-22-15, AQ-09-15 (de la unidad GHNO) y MICH-39-15 (de la unidad GHC). La muestra AQ-29B-15 corresponde con la unidad MGPC.	72
Figura 34. Gráficas que muestran una comparación del comportamiento de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, obtenidos para cada zircón analizado en cada una de las muestras. Los resultados de un mismo análisis para ambos relojes isotópicos, corresponden con la posición que ocupan las barras en los dos gráficos de la misma muestra. Notar que en la mayoría de los casos las edades 207 son más antiguas que las edades 206 para un mismo análisis. Se utilizan letras mayúsculas del alfabeto (A, B, C y D) para discriminar entre los diagramas correspondientes a cada muestra y con apóstrofo (A', B', C' y D') para distinguir las edades de $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. Las barras indican un error simétrico en Ma, considerando dos desviaciones estándar (2σ).	74
Figura 35. Gráficas de edades U-Pb en zircones de la muestra UL-22-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).	76

Figura 36. Gráficas de edades U-Pb en zircones de la muestra AQ-09-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).	77
Figura 37. Gráficas de edades U-Pb en zircones de la muestra MICH-39-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).	77
Figura 38. Gráficas de edades U-Pb en zircones de la muestra UL-22-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).	78
5. Discusión	79
Figura 39. Mapa de distribución de los fechamientos previos (puntos negros) y los presentados en este trabajo (edades promedio; estrellas azules), para rocas del CBA representado por el CPA y el EPFM (Castro-Ornelas, 2013). A) Se muestran las unidades propuestas para formar el CPA, sobre un mapa de sombras de la topografía. Las referencias y los detalles de los fechamientos previos se presentan en la tabla 1 en el capítulo 2 de antecedentes.	81
Figura 40. Diagrama de Sr/Y vs Y que muestra los campos para las rocas de arco y de las adakitas. Los campos sombreados en tonalidades de grises son los presentados por Rodríguez et al. (2007), mientras que los campos delimitados por líneas continuas negras son los presentados por Jiangfeng et al. (2008), quienes se basaron en Defant y Drummond (1993) y Defant et al. (2002). Se grafican muestras del CBA específicamente de las unidades máficas del CPA y unidades félsicas del EPFM.	84
Figura 41. Diagrama de correlación de isótopos, que muestra relación entre los valores ϵNdi y $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$, propuesto por DePaolo y Wasserburg (1979). Se grafican los datos iniciales del CBA recalculados a 60 Ma. En el recuadro de la derecha se muestra un acercamiento (tomado de Castro-Ornelas, 2013).	85
Tabla 5. Edades isotópicas del CBA. 1: Pantoja-Alor (1983); 2: Murillo-Muñetón y Torres-Vargas (1987); 3: Schaaf (1990); 4: Schaaf (1990; en Schaaf et al., 1995); 5: Corona-Chávez (1999); 6: Iriondo et al., (2004); 7: Este trabajo.	86
Figura 42. Diagramas que ilustran el posible origen de los zircones en un sistema magmático compuesto, en un ambiente típico de arco continental maduro: a) (Miller et al., 2007); y b) diagrama esquemático de corteza inferior heterogénea, anatexis en facies de granulitas, tres escenarios distintos para la formación de zircones y apatitos Hammerli et al. (2018). Notar en el esquema de Hammerli op cit, como dos zircones con estructura interna similar, pueden poseer una dispersión natural de sus relaciones isotópicas particular, las cuales estarían reflejando las características de la zona fuente, la velocidad de ascenso y emplazamiento del magma en el que cristalizaron.	88
Figura 43. Modelo de evolución magmática y emplazamiento de plutones del CBA. Referencias de las edades isotópicas: 1: Pantoja-Alor (1983); 2: Murillo-Muñetón y Torres-Vargas (1987); 3: Schaaf (1990); 4: Schaaf (1990; en Schaaf et al., 1995); 5: Corona-Chavez et al., (inprep; 1999) 6: Iriondo et al., (2004); 7: Este trabajo. Las nomenclaturas tn-tn+4 mostradas en el modelo, indican la temporalidad relativa de amalgamación de las distintas unidades que conforman el CPA.	90

Resumen

El Complejo Plutónico Aquila (CPA) forma parte del Complejo Batolítico Aquila (CBA), el cual representa un evento tectonomagmático del Cretácico Tardío-Paleoceno y se encuentra aflorando como un sistema plutónico con una extensión de $\sim 732 \text{ km}^2$ a lo largo de la margen pacífica del suroccidente de México. El CPA se caracteriza por estar constituido por una relativa abundancia de cuerpos máficos ($>25\%$), el cual intrusión una serie de secuencias vulcano-sedimentarias cretácicas del Subterreno Zihuatanejo (Albiano-Cenomaniano).

Con base en un trabajo cartográfico detallado, el CPA ha sido dividido en cinco unidades de: gabros (GTA); gabros, dioritas, cuarzodioritas, cuarzomonzonitas y cuarzomonzodioritas (GHNO y GHC); y de granodioritas, tonalitas y cuarzomonzonitas (GTH y GTSC). Los límites entre las unidades son heterogéneos, discontinuos y algunas veces graduales y relacionados con una gran diversidad de estructuras de mezcla mecánica y química ("*mingling*"; "*mixing*"), que sugieren una evidente interacción de sistemas máfico-félsicos. Adicionalmente, se observa un claro control tectónico con dos sistemas: i) transtensivo dextral NO-SE (e.g. zona de cizalla milonítica Chanviejo) y ii) extensional NE-SO.

Petrográficamente el CPA presenta asociaciones máficas de Plg-Cpx-Opx $\pm$ Am con texturas de hibridación e intersticiales, las cuales son comúnmente reemplazadas y/o recrystalizadas por otras asociaciones félsicas de Plg-Qtz-Am-Bt-Kfs. Geoquímicamente son tipo calciálcas y toleíticas con concentraciones de SiO_2 que varían de 41.1 a 63.5 wt%, con valores de #Mg entre 0.24 y 0.56 y una relación $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 0.26-0.69. La concentración de sus elementos traza sugiere una afinidad tectónica de ambiente de arco magmático, sin embargo, la relación de Sr/Y vs. Y sugiere una firma de tipo adakítica. Los valores de $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ y de ϵ_{Ndi} varían de 0.70349 a 0.70354 y de 5.6 a 6.1 respectivamente, sugiriendo una fuente magmática relativa al manto.

Con base en el estudio de catodoluminiscencia en concentrados de zircones de 4 muestras, se observa que los cristales presentan esencialmente formas prismáticas piramidales con bandeamientos, núcleos corroídos, bordes concéntricos y semiconcéntricos, lo que sugieren una amplia diversidad en el proceso de cristalización y un tiempo sucesivo de incorporación de los zircones (e.g. heredados, ante-cristales y xenocristales), durante la evolución magmática del CPA. Por otro lado, con base en los resultados isotópicos y su correlación con fechamientos de estudios previos, se sugiere un modelo de emplazamiento y amalgamación. El CBA está relacionado con un pico magmático principal que ocurrió entre 63 y 61 Ma, sin embargo, existen otros dos grupos de edades: i) 80 y 70 Ma y ii) 57-56 Ma. Aunque estos dos grupos de edades son menos consistentes, Las edades cretácicas podrían representar un antiguo evento magmático obliterado, mientras que las edades del paleoceno coinciden con un último pulso magmático del CBA.

Palabras clave: tectonomagmático; interacción de magmas máfico-félsicos; Isotopía.

Abstract

The Aquila Plutonic Complex (CPA) as a part of the Aquila Batholithic Complex (CBA) represents a tectono-magmatic event of the Late Cretaceous-Paleocene which is largely outcropping (~732 km²) along the Pacific margin of southwestern Mexico. The CPA plutonic body is characterized by a relative abundance of mafic bodies (>25%) which has been intruded into the Cretaceous volcano-sedimentary sequences of the subterranean Zihuatanejo (Albian-Cenomanian).

Based on detailed mapping, the CPA has been divided into five units: gabbros (GTA); gabbros, diorites, quartz-diorites, quartz-monzonites and quartz-monzodiorites (GHNO and GHC); and granodiorites, tonalites and quartz-monzonites (GHT and GTSC). Contact relationships between the units are heterogeneous, discontinuous and sometimes gradual, related to a great diversity of mingling and mixing structures, that suggest an interaction of mafic-felsic systems. Additionally, the magmatic emplacement is closely associated with two tectonic systems: i) dextral transtensive NW-SE (e.g. mylonitic shear zone Chanviejo) and ii) extensive NE-SW.

Petrographically CPA shows mafic associations of Plg-Cpx-Opx±Am with hybridization and interstitial textures, which are commonly replaced and/or recrystallized by other felsic associations of Plg-Qtz-Am-Bt-Kfs. Geochemically they are calcalkaline and tholeiitic type with concentration values of SiO₂ between 41.1 and 63.5 wt.%; #Mg values range between 0.24 to 0.56, and CaO/Al₂O₃ ratios are 0.26-0.69. Trace element concentrations suggest a tectonic affinity of magmatic arc; however, relations of Sr/Y vs. Y suggest an adakitic type signature. Isotopic values of (87Sr/86Sr)_i and of εNdi vary from 0.70349 to 0.70354 and from 5.6 to 6.1 respectively, suggesting a primary mantle source for magmas.

Cathodoluminescence analysis in zircon concentrates of 4 samples shows that zircon crystals have essentially pyramidal prismatic shapes with banding, corroded cores, concentric and semi-concentric borders, which suggests a wide diversity in the crystallization processes and successive incorporation times of zircons (e.g. inherited, ante-crysts and xenocrysts), during evolution magma of the CPA. On the other hand, based on the isotopic results and their correlation with other dating of previous studies, a magmatic and amalgamation emplacement model is proposed. The CBA is related to main magmatic peak between 63 and 61 Ma, however, there are at least two other age groups: i) 80 and 70 Ma and ii) 57-56 Ma. Although these two groups of ages are less consistent, Cretaceous ages could represent an obliterated ancient magmatic event, whereas 57-56 Ma ages fit on a last Paleocene magmatic pulse of CBA.

keywords: tectonomagmatic; mafic-felsic magma interaction; isotopy.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Introducción

Las rocas ígneas plutónicas son aquellas que se forman por el enfriamiento, cristalización y solidificación de magmas, en profundidades de la corteza terrestre y que a su vez conforman la mayor parte de la corteza continental, a la cual se le ha estimado una composición promedio tonalítica (SiO_2 57-62 wt%; Clarke, 1992; Nédélec y Bouchez, 2015).

Un error habitual que además suele causar confusión, es la utilización indiscriminada de los términos granito y granitoide, por lo que es importante señalar de manera clara y concreta sus diferencias y sus relaciones espacio temporales en campo. Un *granito* es una roca plutónica cristalina, generalmente masiva de colores claros entre blanco y rosa, que basados en la clasificación modal de Streckeisen (1976; Figura 1), contiene entre 20 y 60 % de cuarzo, entre 90 y 65 % de feldespato potásico y de 10 a 35 % de plagioclasa. Mientras que, los *granitoides* son un grupo de rocas félsicas de origen plutónico con un porcentaje modal mayor al 20% de cuarzo, que se distribuyen a través del espectro completo de los posibles contenidos de feldespato potásico y plagioclasa, incluyendo el de los granitos. Las rocas que conforman el grupo de los granitoides son: granito de feldespato potásico (o feldespato alcalino), granito (sienogranito y monzogranito), granodiorita y tonalita. Brevemente podemos concluir que, los granitos forman parte del grupo de los granitoides, pero no todos los granitoides son granitos.

Como se ha mencionado las rocas plutónicas están ligadas con magmas en el interior de la corteza, es por esto que se vuelve importante conocer los procesos de evolución magmática que generan rocas plutónicas con distintas composiciones y afinidades geoquímicas. Estos procesos engloban la fusión parcial que ocurre en zonas fuente localizadas en el manto o en la corteza inferior o media, donde se forman

los magmas primigenios, los cuales por sus propiedades reológicas tienden a ascender y están sujetos a diversos mecanismos de evolución magmática. Los procesos de diferenciación magmática incluyen a la cristalización fraccionada, asimilación cortical y la mezcla de magmas (Wilson, 1989; Annen *et al.*, 2006; Nédélec y Bouchez, 2015). Cabe mencionar que estos procesos se identifican por medio de un análisis petrográfico y geoquímico, con la finalidad de estudiar las variaciones y relaciones entre las diferentes unidades observadas en campo.

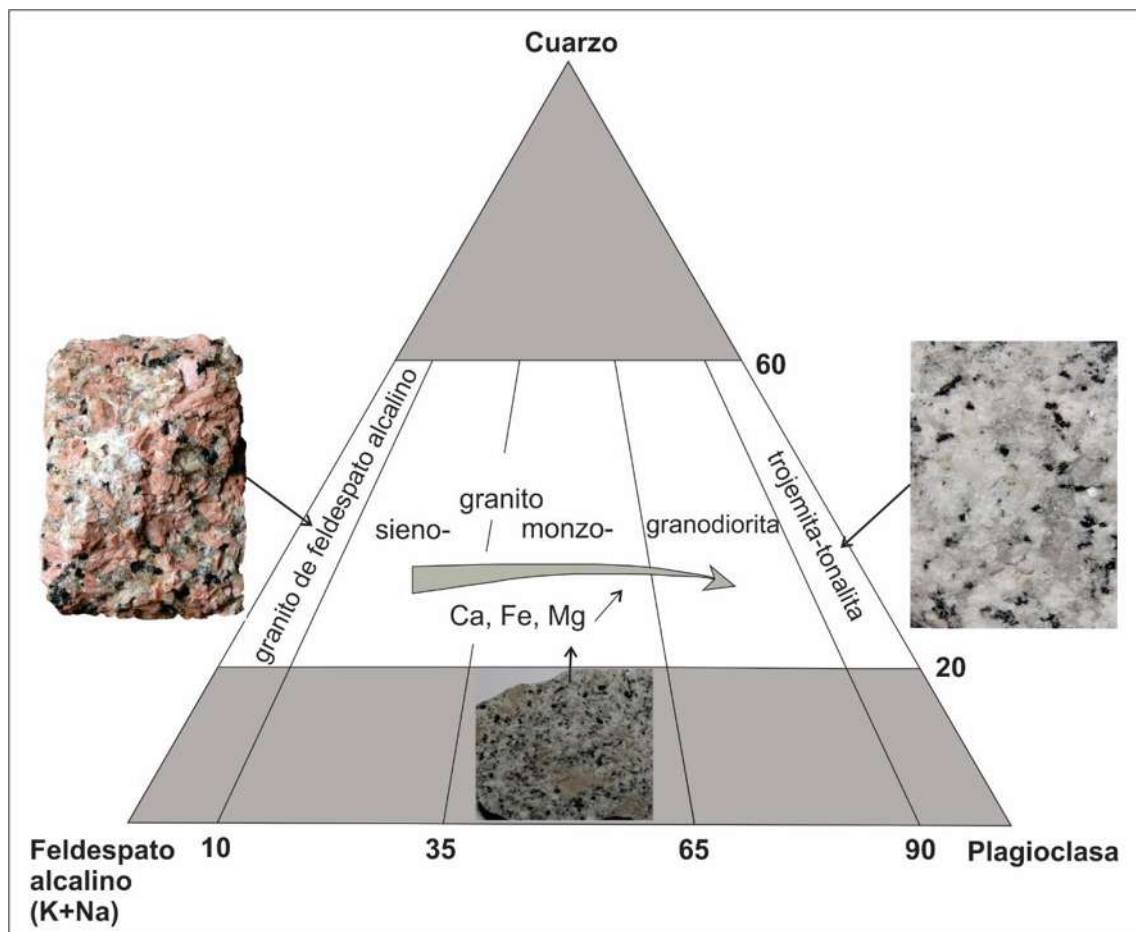


Figura 1. Diagrama de clasificación modal QAP de Streckeisen, (1976). Modificado de Nédélec y Bouchez (2015).

Por otro lado, los volúmenes expuestos de un sistema batolítico, están relacionados con las variaciones, que también ocurren durante el proceso de ascenso magmático. La dilatación de la corteza se relaciona de manera estrecha con los sistemas estructurales, generalmente de tipo extensional o transtensional, así como

con un mecanismo de tipo frágil, dúctil o dúctil-frágil. Actualmente se reconoce que la interacción de los sistemas estructurales y su ambiente tectónico determinan los mecanismos de emplazamiento que actúan para el ascenso de los magmas, el cual ocurre por uno o más pulsos que pueden sucesivamente participar en un proceso de “amalgamación” (Clarke, 1992; Glazner *et al.*, 2004; Annen *et al.*, 2006, 2008 y 2015). Esta amalgamación da lugar a un incremento exponencial a través del tiempo de un sistema batolítico, el cual nos muestra un ensamble compuesto por diversos tipos de granitoides al interior del mismo.

La historia de amalgamación de los distintos pulsos que formen el ensamble final de un cuerpo batolítico, pueden generar relaciones complejas dependiendo de las condiciones físicas, primordialmente de la viscosidad al momento de la coalescencia. Esto puede ser un escenario propicio para la ocurrencia de procesos de hibridación entre sistemas de diferente composición félsica y máfica, ya sea “*mingling*”, “*mixing*” o ambos. Los procesos de hibridación se han señalado como procesos importantes para la generación y aumento de volumen de los sistemas de batolitos graníticos en los cinturones plutónicos en los ambientes cordilleranos, como ocurre en la cordillera de Norte América (Nédélec y Bouchez, 2015). Vale la pena mencionar de manera breve que las estructuras tipo “*mingling*” se refieren a un proceso de mezcla principalmente mecánica, indicando que al menos alguno de los magmas, que intervienen presenta una viscosidad tal que impide una mezcla química, mientras que el “*mixing*” se trata propiamente de la ocurrencia de una mezcla química entre magmas, con viscosidades bajas e iguales o muy similares.

Por último, es importante señalar la relevancia de la evolución magmática y tectónica de los ensambles plutónicos, en la generación de anomalías químicas y el crecimiento de la corteza continental, así como, la relación entre la evolución de los magmas y los procesos de diferenciación (e.g. pneumatólisis, hidrotermalismo) para propiciar el emplazamiento de zonas mineralizadas de un cierto interés económico. Ambos aspectos, científico y económico que evidencian la importancia de entender los procesos intra-corticales del ascenso y ensamble de los sistemas plutónicos de granitoides.

1.2 Ubicación y vías de acceso

El CBA se localiza al SO de México, en su margen pacífica, dentro del estado de Michoacán, cerca de los límites con el estado de Colima, aproximadamente a 270 km en línea recta de la ciudad de Morelia y dentro de los municipios de Aquila, Coahuayana, Chinicuilá (Villa Victoria) y Coalcomán (Figura 2). Considerando las cartas de INEGI escala 1:50,000 aflora dentro de: Villa Victoria E13B55, Coalcomán de Vázquez Pallares E13B56, Coahuayana de Hidalgo E13B65, Tehuantepec E13B66, Colola E13B75, San Pedro Naranjestil E13B76 y Huahua E13B86. Los ensambles principales del CBA afloran en el área limitada por las coordenadas este de 648000 a 690000 m y norte de 2082000 a 2015500 m (datum WGS84, proyección UTM y zona 13N).

Las vías de acceso principales son las carreteras federales 14, 37, 120 y 200 en los tramos: Autopista Morelia-Pátzcuaro-Uruapan-Nueva Italia-Apatzingán-Tepalcatepec y la carretera estatal Tepalcatepec-Aquila; otra ruta es la de, Morelia-Uruapan, Uruapan-Playa Azul y Acalpican de Morelos-Cerro de Ortega; y finalmente por acceso vía Colima o vía Lázaro Cárdenas.

1.3 Justificación

Si bien, en la actualidad existen estudios entorno al CBA, estos son principalmente de carácter regional enfocados en la distribución de los batolitos aflorantes en la margen pacífica mexicana y realizando descripciones geoquímicas, geocronológicas y las relacionadas con yacimientos minerales (Schaaf *et al.*, 1995; Ferrari *et al.*, 1999; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2000; Gómez-Ordaz *et al.*, 2002; Morán-Zenteno *et al.*, 2018;). A su vez, se han realizado algunas tesis en el área donde se analiza parcialmente éste complejo, con un enfoque petrológico-geoquímico, así como, relacionados con la cualificación y cuantificación de los recursos ferríferos y su génesis (Peralta-Romero, 1985; Aguilar-Hernández, 2013; Castro-Ornelas, 2013).

Sin embargo y a pesar de que, estos trabajos han provisto de información valiosa acerca de El CBA, no brindan información suficientemente detallada y concluyente que permita proponer un modelo adecuado de la evolución genética, que

dio origen al estado actual de dicho complejo y su papel en la formación de los yacimientos asociados en la zona.



Figura 2. Mapa de ubicación del área en la que afloran los ensambles principales del CBA. A) mapa de la República Mexicana donde se resalta en color café el estado de Michoacán; B) Mapa del estado de Michoacán y algunas de sus colindancias con otros estados, se resalta en azul la capital del estado, Morelia; y C) Municipios de la costa michoacana dentro de los que se encuentra el CBA.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Entender la temporalidad, los rasgos geoquímicos y las condiciones físicas en las que ocurrieron cada uno de los procesos implícitos en la evolución magmática del CPA, relacionados con su historia de coalescencia y emplazamiento, así como los procesos tectónico-erosivos que expusieron dicho complejo y que en conjunto dieron la configuración actual del mismo. Obteniendo con esto la información que nos permita proponer un modelo adecuado de su evolución geológica.

1.4.2 Objetivos particulares

- I) Conocer el carácter de las relaciones de contacto externas e internas del CPA.
- II) Conocer las diferentes unidades que conforman el CPA.
- III) Describir las características petrológicas de cada una de las unidades que compongan el CPA, Haciendo énfasis en reconocer las asociaciones minerales relacionadas con los procesos diferenciables en las unidades.
- IV) Estimar el grado de influencia de los procesos de hibridación en las unidades pertinentes que se determinen en el CPA.
- V) Conocer la clasificación, discriminación y afinidad geoquímica de las unidades diferenciadas en el CPA.
- VI) Saber la edad de cada una de las unidades que conforman al CPA y de los procesos que estén asociados con su origen.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1 Marco Tectónico

Un rasgo característico de la Sierra Madre del Sur, es el Cinturón Batolítico Costero (CBC), expuesto en la margen Pacífica mexicana y que se emplaza dentro de un mosaico de basamentos de naturaleza y edad muy distinta. Utilizando la división de Campa y Coney (1983), podemos generalizar que los terrenos tectonoestratigráficos Mixteca y Oaxaca son el núcleo del basamento premesozoico y están limitados al este por el Terreno Juárez con basamento Paleozoico-Jurásico, al oeste por el Terreno Guerrero con basamento Triásico-Jurásico y al Sur por el Terreno Xolapa (Morán-Zenteno *et al.*, 1999).

El CBC se extiende por más de 1,200 km y tiene aproximadamente 30,000 km² de área expuesta, está conformado principalmente por una serie de cuerpos voluminosos, irregulares, de composición granodiorítica-granítica y con porciones menores de cuerpos máficos (Schaaf *et al.*, 1995; Morán-Zenteno *et al.*, 1999; Ferrari *et al.*, 1999). Sus relaciones de contacto son cortantes y generalmente asociados a fallas en régimen frágil, zonas de cizalla y ocasionalmente a zonas estrechas con metamorfismo de contacto de grado moderado, que muestran profundidades de emplazamiento en corteza superior entre 13 y 20 km (Morán-Zenteno *et al.*, 1996). Presenta una tendencia diacrónica ONO-ESE, con edades que fluctúan entre 105-90 Ma en Nayarit-Puerto Vallarta y 20-18 Ma en Huatulco (Figura 3; Schaaf *et al.*, 1995; Morán-Zenteno *et al.*, 1999; Ferrari *et al.*, 1999).

Desde el punto de vista geoquímico el CBC está caracterizado por contenidos de SiO₂ que varían entre 47 y 77 wt%, con un valor medio de 66 wt%. A su vez, la relación de SiO₂ y FeO* contra los álcalis indican un carácter calcialcalino, relativamente metaluminoso, de acuerdo con los valores del índice de Shand (1943) y generalmente se clasifican como granitos tipo I (Schaaf *et al.*, 1995; 2000). En relación

con los elementos traza, los batolitos muestran una afinidad de arco volcánico (VAG) de acuerdo con los diagramas de Pearce *et al.* (1984). Con respecto de la isotopía, se tienen relaciones iniciales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que varían de 0.7035 a 0.7055 y valores iniciales de ϵNd entre +0.5 y +7 con valores menores de hasta -3 y -7 (e.g. Puerto Escondido, Puerto Vallarta; Villanueva-Lascurain *et al.*, 2016 y referencias), que indican poca contaminación cortical.

A pesar de un comportamiento geoquímico relativamente homogéneo para todo el CBC, se ha reportado la presencia de un grupo de Complejos Batolíticos que muestra concentraciones anómalas en su proporción de cuerpos máficos, que pueden ocupar >20% del área total aflorante (Panseri *et al.*, 2007 *in* Corona-Chávez, 2014). Por lo tanto, también muestra algunas diferencias en sus firmas geoquímicas. Este grupo de ensambles batolíticos están alojados dentro de rocas del sub-Terreno Zihuatanejo, donde cortan formaciones Jurásico tardío (Titoniano) – Cretácico Tardío (Campaniano; Villanueva-Lascurain, 2011; Castro, 2013; Aguilar, 2013; Villanueva-Lascurain *et al.*, 2016). A este grupo en adelante lo denominaremos como el Complejo de Batolitos de Manzanillo–Jilotlán-Aguila (CBMJA).

El CBMJA aflora en el suroccidente de México, a lo largo de >250 km de la línea costera, con un área expuesta ~3250 km². Este complejo muestra una amplia variedad litológica, pues las porciones félsicas varían principalmente entre granito, granodiorita y tonalita, mientras que las porciones máficas varían entre gabros, dioritas y cuarzodioritas (Villanueva-Lascurain, 2011; Castro, 2013; Aguilar, 2013). Sus relaciones de contacto con la roca encajonante son generalmente cortantes, a partir de estructuras formadas en regímenes estructurales frágil-dúctil y frágil, en ocasiones con zonas estrechas de metamorfismo de contacto de grado variable. Los contactos internos entre los diversos litotipos de granitoide no son netos, más bien son transicionales (Villanueva-Lascurain, 2011; Castro, 2013; Aguilar, 2013); sin embargo, hasta el momento no han sido caracterizados con detalle.

Las edades de los granitoides del CBMJA varía entre 70 y 53 Ma y aparentemente siguen las tendencias regionales decrecientes hacia el SE. Sin embargo, también han sido reportadas edades de 114 a 84 Ma aisladas, en gabros y algunos granitoides (Figura 4; Schaaf, 1990; Schaaf *et al.*, 1995; Solé *et al.*, 2007; Villanueva-Lascurain *et al.*, 2016).

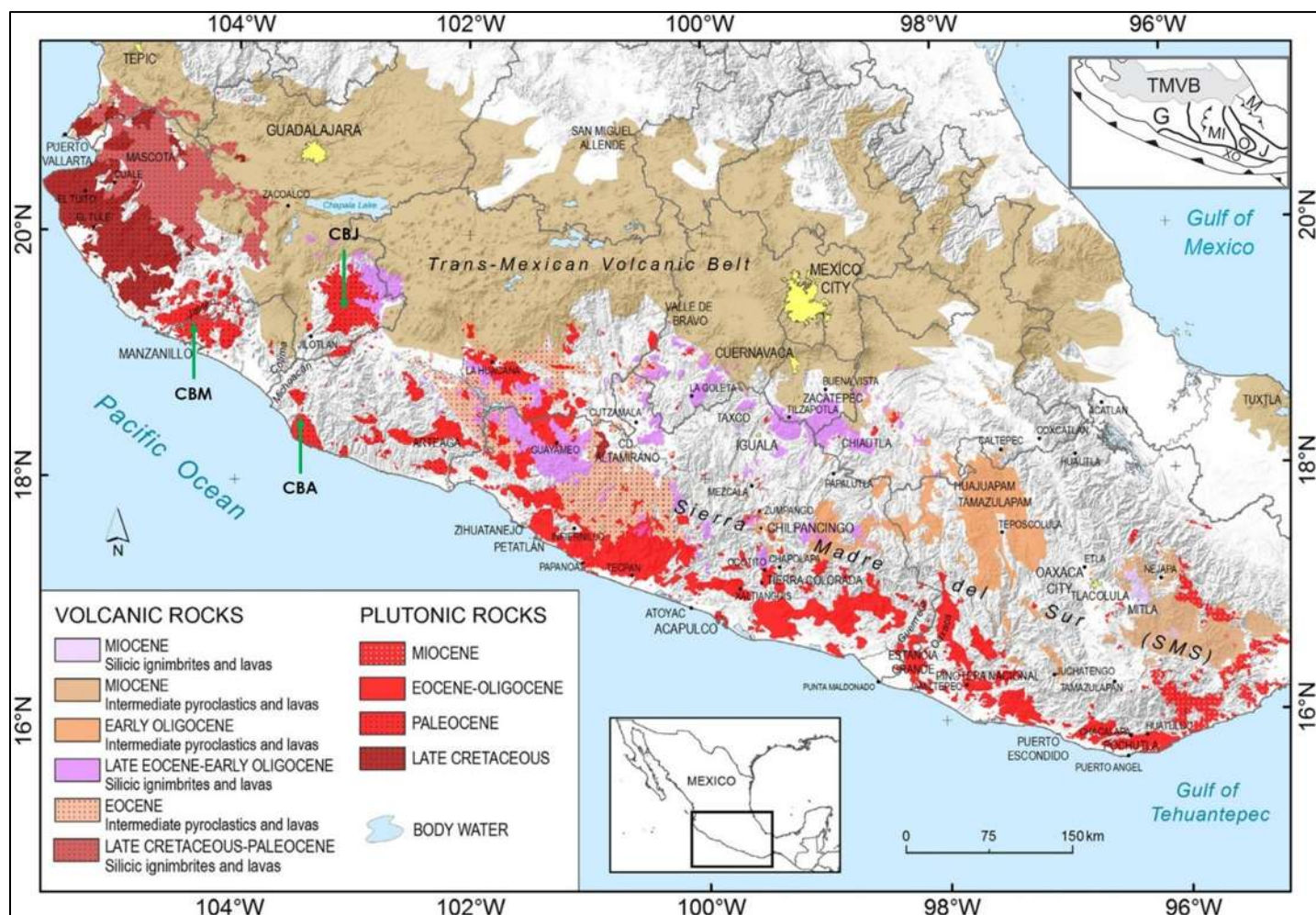


Figura 3. Mapa geológico del sur de México que muestra las rocas magmáticas Cretácico tardío – Mioceno y el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano de edad Mioceno – Cuaternario, (modificado de mapas SGM, 1:50,000 y 1:250,000), modificado de Morán-Zenteno et al., (2018). Con flechas verdes se indican: CBM: Complejo Batolítico Manzanillo; CBJ: Complejo Batolítico Jilotlán; CBA: Complejo Batolítico Aquila. En la esquina superior derecha, fragmento del mapa de terrenos tectonoestratigráficos de México, propuesto por Campa y Coney (1983). TMVB: Cinturón Volcánico Trans-Mexicano; G: Terreno Guerrero; MI: Terreno Mixteca; O: Terreno Oaxaca; J: Terreno Juárez; M: Terreno Maya.

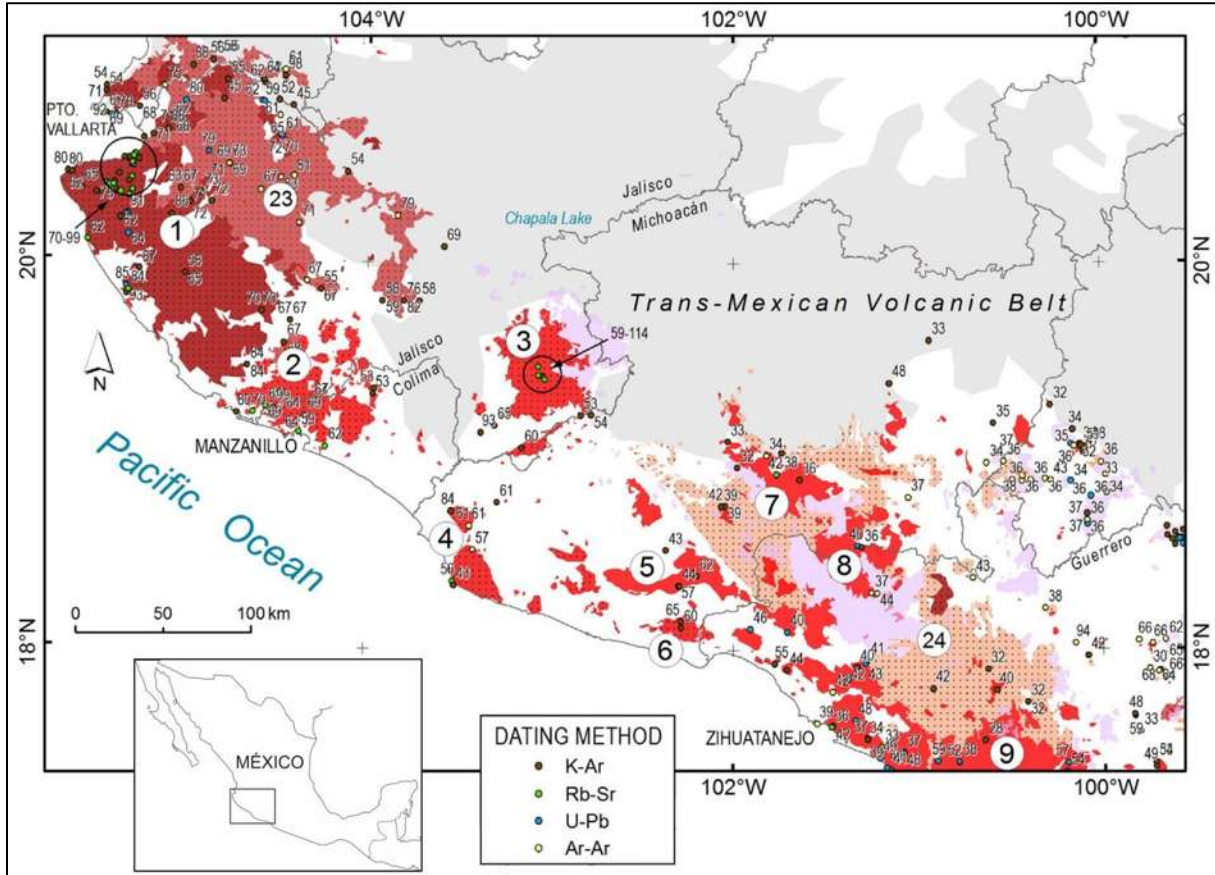


Figura 4. Mapa geológico y geocronología (compilada de diversos autores) de la SMS entre Puerto Vallarta y Zihuatanejo (modificado de Morán-Zenteno *et al.*, 2018). Los puntos 2, 3 y 4 corresponden al CBMJA. 2: CBM; 3: CBJ; 4: CBA.

Geoquímicamente el CBMJA presentan variaciones de SiO₂ de 44 a 70 wt%, con una tendencia principalmente sub-alcalina en el diagrama de TAS modificado por Wilson (1989), con un comportamiento diferenciado entre félsicos de carácter calcialcalino y máficos de carácter toleítico-calcialcalino en el diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971; Villanueva-Lascurain, 2011; Castro, 2013; Villanueva-Lascurain *et al.*, 2016). Los elementos en traza al ser comparados con N-MORB y condritas muestran un enriquecimiento en elementos incompatibles (LILE y LREE) respecto a los elementos menos incompatibles (HFSE y HREE), sugiriendo un origen de arco magmático (Villanueva-Lascurain, 2011; Castro, 2013; Villanueva-Lascurain *et al.*, 2016). A pesar de las similitudes en el comportamiento de los elementos traza tanto en félsicos como en máficos, éstos últimos muestran patrones más planos en contraste con los primeros.

El carácter bimodal del magmatismo del CBMJA, así como la interacción de los distintos cuerpos félsicos y máficos, caracterizada por procesos relacionados con la generación de los magmas en zonas profundas de la litósfera, el ascenso asociado a procesos de coalescencia y amalgamación y el emplazamiento final de los mismos en corteza superior, generan el ambiente propicio para la ocurrencia de procesos de hibridación (“*Mingling*” y “*Mixing*”), que ha sido señalado como un proceso importante, en la generación de rocas graníticas, en la cordillera de Norte América por Nédélec y Bouchez (2015).

Las diferencias composicionales del CBMJA podrían revelar *per se* diferencias importantes en los procesos magmáticos y tectónicos relacionados con su emplazamiento. Prueba de ello se refiere a la concentración de una serie de yacimientos de hierro alojados en los tres batolitos, que refleja una anomalía geoquímica ferrífera cortical, así como una mineralización menor de tipo polimetálica de Au-Ag-Cu (e.g. Peña Colorada, Aquila, La Guayabera, Sipimo; Tritlla *et al.*, 2003; figura 5), que actualmente es una de las principales reservas de los recursos ferríferos del país (Corona-Chávez, 2014).

Finalmente, otro de los aspectos relevantes del CBMJA se refiere a su posición a lo largo de la margen continental pacífica del sur de México y su posible relación con los procesos de fragmentación continental, bien reconocidos por diversos autores (Schaaf *et al.*, 1995 y referencias). Por un lado, se observa un límite cercano al norte relacionado con la fragmentación de Baja California, mediante un límite con movimiento lateral derecho (inicio ~ 6-12 Ma; Schaaf *et al.*, 1995 y referencias). Por otro lado, el límite o posición tectónica con los procesos de fragmentación hacia el sureste, relacionados con el desplazamiento, principalmente lateral izquierdo del Bloque Chortis (~40-45Ma; Pindell *et al.*, 1988; y referencias). Dichos modelos asociados con el origen del conspicuo carácter truncado de la margen Pacífica mexicana, para el cual también se ha señalado la importancia de la erosión tectónica (Schaaf *et al.*, 1995).

Por lo tanto, el estudio detallado de las características actuales de los complejos batolíticos que conforman El CBMJA, se vuelve de vital importancia para la

reconstrucción de su evolución petrotectónica. Estudios de: las relaciones de campo, con la roca encajonante y entre los diferentes litotipos amalgamados; la cuantificación y cualificación de la composición mineral de manera macro y microscópica; la caracterización geoquímica por litotipo, con el fin de clasificar el tipo de roca, discriminar su afinidad con el ambiente tectónico, identificar la afinidad con la fuente y finalmente trazar con proxys (elementos sensibles a los procesos) los procesos ligados con su petrotogénesis; la estimación de las condiciones termo dinámicas, a las que cristalizaron las asociaciones minerales dentro de las distintas unidades; así como, determinar la geocronología, de manera que permita discernir entre los distintos procesos implícitos en la evolución de los complejos.

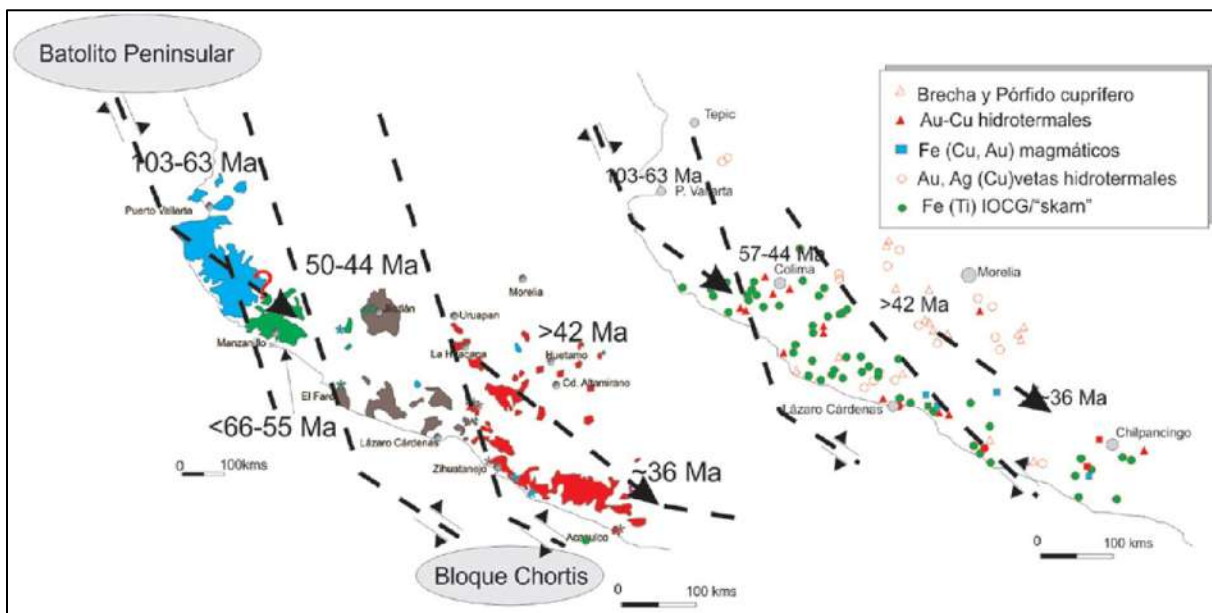


Figura 5. Relaciones de la geocronología en El CBC y las franjas metalogénicas, entre Puerto Vallarta y Acapulco, suroeste de México (tomado de Corona-Chávez, 2014).

2.2 Marco geológico

El Complejo Batolítico Aquila (CBA) es uno de los ensambles plutónicos, que conforman EL CBMJA. Aflora en la costa del estado de Michoacán, donde corta formaciones del Sub-terreno Zihuatanejo (Aguilar, 2013; Castro, 2013).

El subterreno Zihuatanejo (SZ) forma parte del Terreno Guerrero (TG) definido

por Campa y Coney (1983) y es uno de los terrenos más grandes de América del Norte. Está caracterizado como una secuencia de rocas volcánicas andesíticas de arco insular y sedimentarias submarinas, con porciones menores subaéreas del Mesozoico (Campa y Coney, 1983; Centeno-García *et al.*, 2008). Se ha considerado de origen autóctono (De Cserna, 1978) o para-autóctono (Elías-Herrera *et al.*, 2000; Talavera-Mendoza *et al.*, 2009), así como alóctono por otros (Lapierre *et al.*, 1992; Tardy *et al.*, 1994), y se sugiere la posibilidad de representar la amalgamación de una serie de arcos hacia el continente, asociadas con secuencias de rifting y/o apertura (Figura 6; Centeno-García *et al.*, 2008).

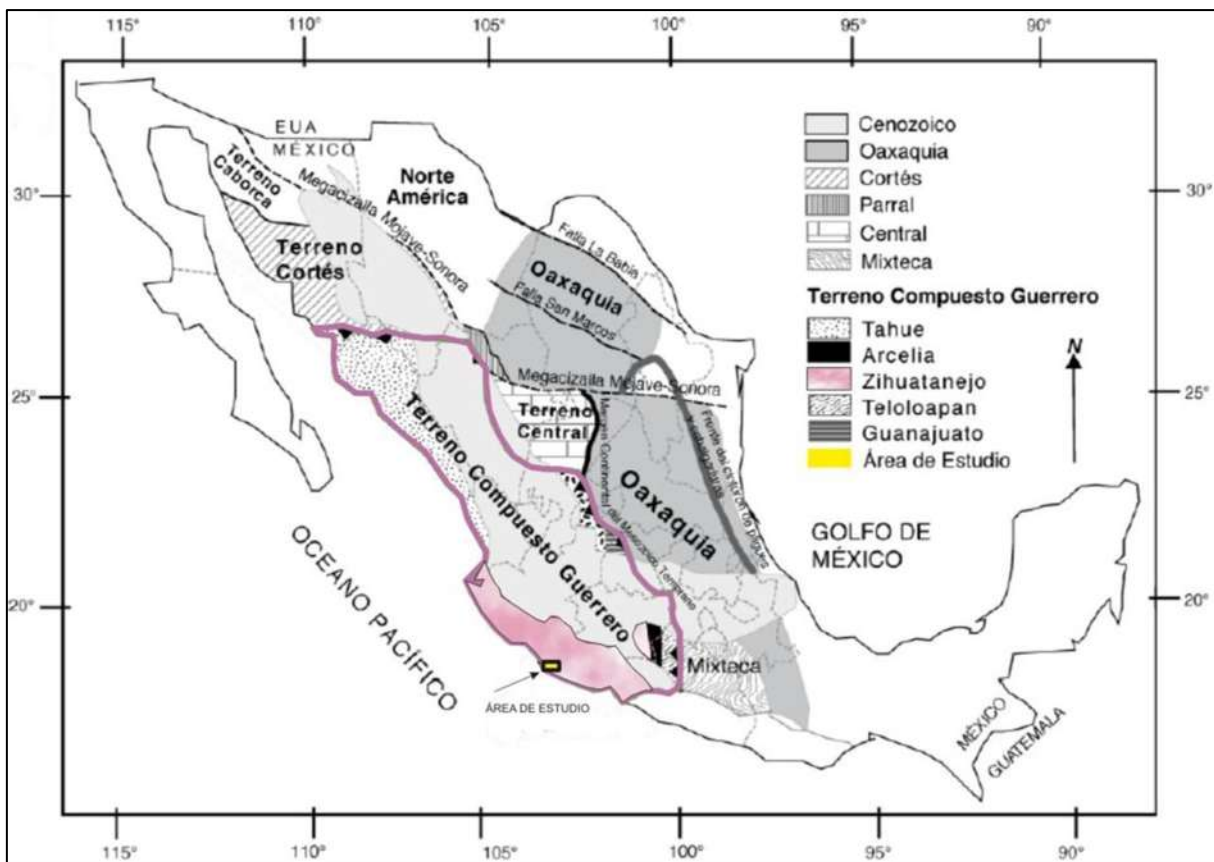


Figura 6. El Terreno Guerrero, ubicación del área de estudio y otros terrenos tectonoestratigráficos de México (modificado de Centeno-García *et al.*, 2008).

En la porción sur del TG, la mayor extensión es ocupada por El SZ (Centeno-García *et al.*, 1993b; Talavera-Mendoza *et al.*, 1995; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000), para el cual se ha inferido una columna estratigráfica compuesta por: I) basamento Metamórfico del Mesozoico Temprano; II) magmatismo del Jurásico

medio; III) secuencias volcanosedimentarias del Cretácico inferior; y IV) Magmatismo del Cretácico tardío y batolitos costeros del Paleoceno/Eoceno (que corresponde con el CBC).

En el área y zonas aledañas el SZ está conformado por cuatro formaciones que se han definido como: Formación La Alberca, Formación Tecalitlán, Formación Tepalcatepec y Formación Cerro la Vieja, que a continuación se describen (Figura 7).

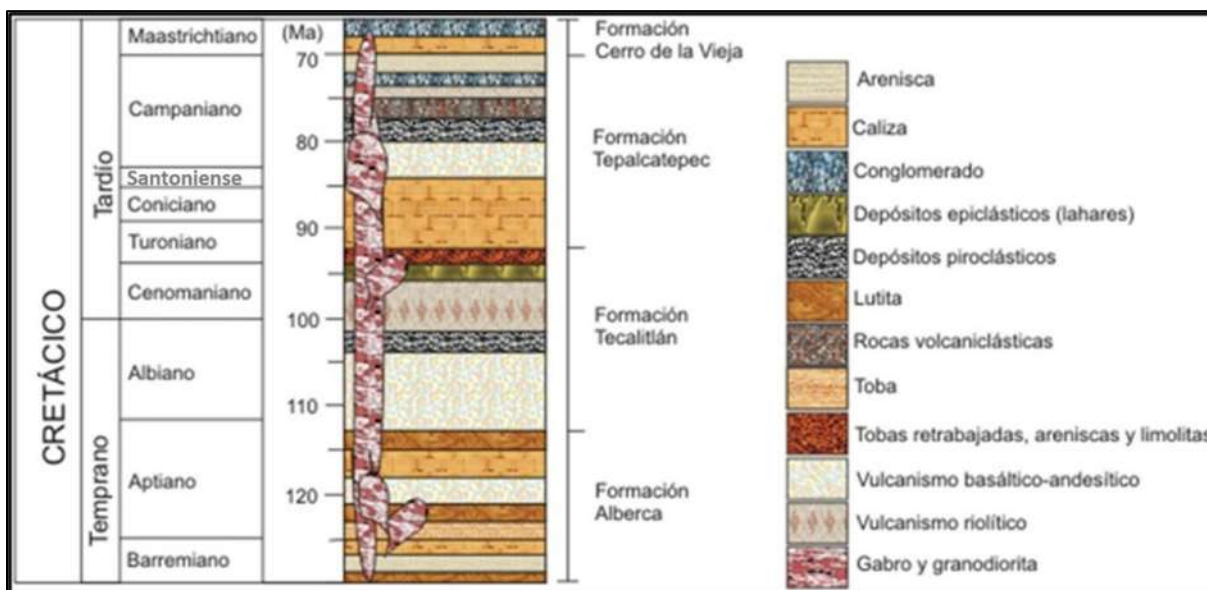


Figura 7. Columna estratigráfica con las formaciones que afloran dentro del área de estudio y cercanas a la misma (*in*, Aguilar-Hernández, 2013).

2.2.1 Formación La Alberca

La Formación Alberca fue nombrada informalmente por Pimentel en 1980 (*in* Corona-Esquivel y Henríquez, 2004), quien la dividió en dos miembros: inferior, constituido por lutitas, calizas arcillosas, tobas y areniscas, con abundante macrofauna, de edad Berriasiano-Hauteriviano (amonites; 145–130 Ma; Cuevas, 1981 *in* Villanueva-Lascurain *et al.*, 2016); y superior, constituido principalmente por calizas y lutitas silicificadas, tobas, derrames andesíticos escasos y areniscas de grano fino a medio. Corona-Chávez (1999) sugiere que las Formaciones Alberca y Tecalitlán son aparentemente un cambio de facies y se relacionan a una sucesión litológica que muestra un claro dominio de rocas volcánicas andesíticas, las cuales pueden estar

intercaladas o sobreyacidas por rocas sedimentarias del tipo de areniscas, conglomerados y más raramente calizas.

2.2.2 Formación Tecalitlán

La Formación Tecalitlán sobreyace de manera transicional a la Formación Alberca (Pantoja-Alor y Estrada-Barraza, 1986), se considera el principal evento magmático Cretácico constituido por derrames de lavas de composición riolítica y andesítica, alternados con lutitas y areniscas de origen volcánico y algunos conglomerados, todos formados en ambientes subaéreos. Por su posición estratigráfica sobre la Formación Alberca y bajo por la Formación Tepalcatepec, se le asigna una edad del Barremiano-Aptiano. Además, cerca de La Minita, en la región de Pihuamo, la Formación Tecalitlán contiene rudistas Aptianos tempranos (125 Ma; Centeno-García *et al.*, 2011 y referencias).

2.2.3 Formación Tepalcatepec

El depósito de esta formación se asocia con un aparente cese en la actividad volcánica disminuyendo en el Albiano temprano y que se suspendió en el Albiano medio-tardío. En este periodo de tiempo se depositó la Formación Tepalcatepec (Pimentel, 1980) formada por gruesas capas de calizas intercaladas con flujos andesíticos y algunos depósitos rítmicos volcanicoclásticos y calcáreos, tobas y riolitas, conglomerados y areniscas, limonitas rojas y algunas evaporitas (Grajales-Nishimura y López-Infanzón, 1984). Probablemente se depositó en una cuenca de intra arco. El registro fosilífero corresponde al Albiano-Cenomaniano, incluyendo un nuevo espécimen de rudista, nombrada como *Coalcomana ramosa*, de aparente afinidad tetisiana (o atlántica; Tardy *et al.*, 1992; Tardy *et al.*, 1986 in Corona-Chávez, 1999).

2.2.4 Formación Cerro de la Vieja

Mediante un contacto discordante con las formaciones anteriores, aflora la formación Cerro de la Vieja (Parga, 1977), formada por una sucesión de conglomerados con clastos de caliza, arenisca y limonita depositados en un ambiente fluvial y de abanicos aluviales. Existen flujos de riolita y dacita intercalados hacia el norte de la Salada, con edades del Campaniano (K/Ar; 80 ± 6 y 78 ± 6 Ma; Grajales-

Nishimura y López-Infanzón, 1984). En la región de Coalcomán estas mismas tienen edades U/Pb de 84 y 70 Ma. Se propone que la discordancia angular entre las formaciones previas del Cretácico inferior y la Formación de Cerro de la Vieja, permite establecer como rango de edad para el evento orogénico compresivo que plegó y cabalgó las rocas de la región (ejes con orientaciones N-S y NO-SE), aproximadamente entre el Turoniano y el Santoniano (90 y 84 Ma; Tolson *et al.*, 2009).

2.2.5 El CBA

Como se puede observar en la columna estratigráfica (Figura 7), posterior a las formaciones del SZ, se registra un evento de magmatismo plutónico, que en el área corresponde al CBA. Este complejo aflora a lo largo de ~70 Km y cuenta con un área expuesta ~732 km². Dicho complejo ha recibido distintos nombres en distintas porciones, dividiéndolo en tres principales Aquila, Ostula y Tizupan. La porción de Ostula fue denominada como Complejo Plutónico Faro-Maruta (CPFM) en el trabajo de Castro-Ornelas (2013) y que en el actual trabajo se denomina Ensamble Plutónico Faro-Maruta (EPFM). Particularmente en Aquila se menciona como un componente importante rocas de composición máfica, que en este trabajo se denomina Complejo Plutónico Aquila (CPA).

En el aspecto cartográfico se tienen propuestas hechas por el Consejo de Recursos Minerales, una de Barrios-Rodríguez *et al.* (2000; Figura 8) y otra por Gómez-Ordaz *et al.* (2002). En dichas cartografías proponen simetrías de contacto con la roca encajonante, así como algunas estructuras dentro de los cuerpos plutónicos, sin embargo, no realizan una división interna de los ensambles plutónicos. En la porción sur Castro-Ornelas (2013) hace una propuesta cartográfica, basada en análisis: morfoestructural, de relaciones de campo, petrográfico y geoquímico donde se proponen 6 litotipos para componer el ensamble en Faro-Maruta. Aguilar-Hernández (2013) hace una propuesta cartográfica compilativa de los rasgos metalogénicos en diversos yacimientos de la región definiendo franjas metalogénicas de Fe-Zn, Au y Fe orientadas ONO-SSE, que son paralelas entre sí y con la línea de costa.

Los trabajos previos hacen evidente que la estructura externa del CBA está

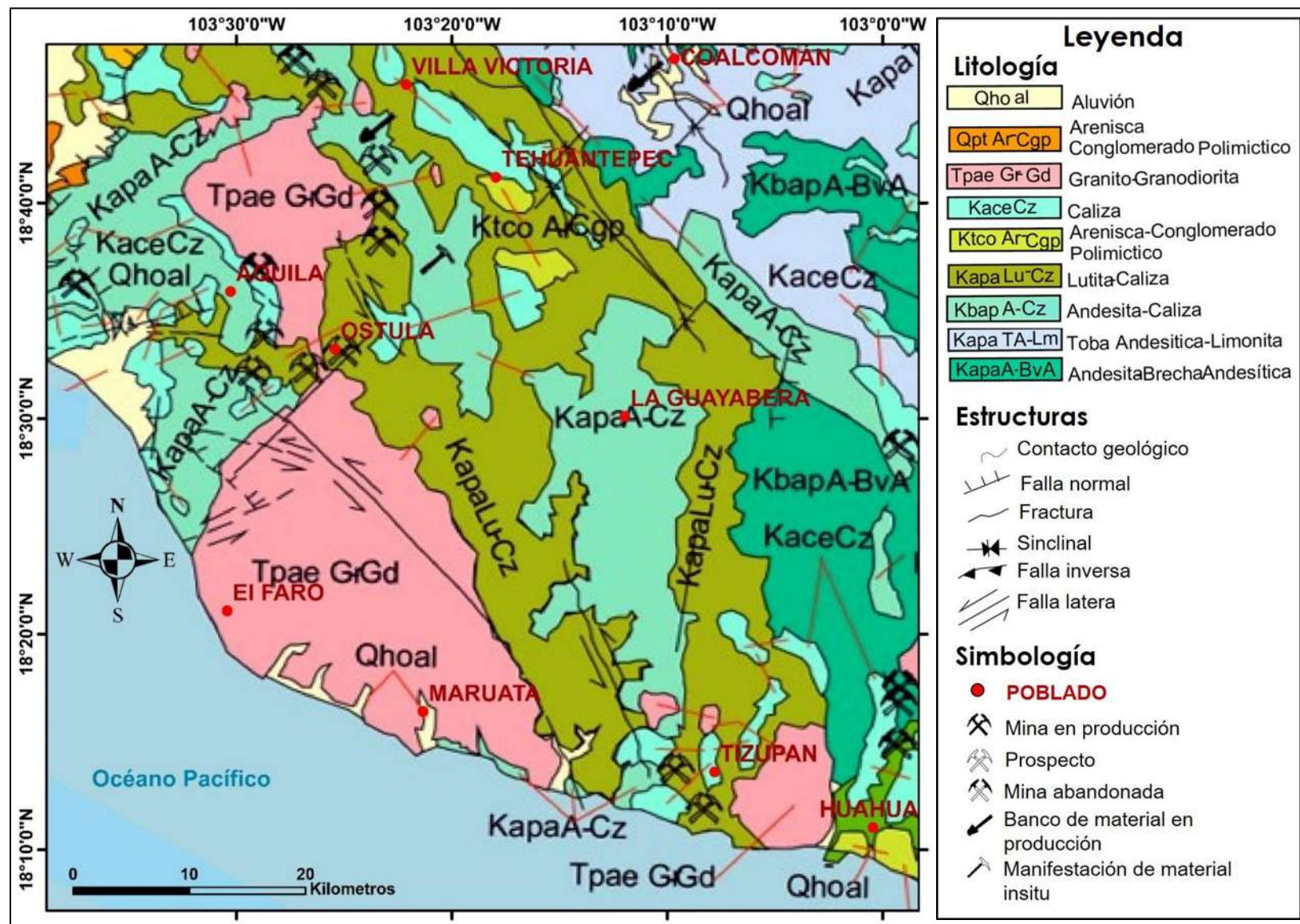


Figura 8. Mapa geológico, donde las unidades de color Rosa corresponden al CBA. Modificado de Barrios-Rodríguez *et al.* (CRM; 2000).

asociada, por una parte, con estructuras compresionales regionales representadas por anticlinales y sinclinales laramídicos, con ejes de orientación principales N-S y NO-SE, y por otra parte con estructuras frágil-dúctil ONO-ESE probablemente ligadas con los mecanismos de emplazamiento y que en conjunto esculpieron la forma actual del complejo.

El CBA ha sido descrito como cuerpos plutónicos compuestos por granito, granodiorita, diorita y pequeños cuerpos lamprófídicos, con variaciones en la granulometría entre finos y grueso (Figura 8; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2000; Gómez-Ordaz *et al.*, 2002; Bustamante-García *et al.*, 2006). Al este en las inmediaciones del yacimiento La Guayabera, López *et al.* (1970) describen granodioritas y cuarzodioritas, indicando que están estrechamente ligadas y no presentan un cambio definitivo entre una roca y otra, señalando además la existencia de diques andesíticos y micrograníticos. Por otra parte, al sur, Castro-Ornelas (2013) describe rocas predominantemente granodioríticas y monzograníticas así como monzodioríticas-gabróicas (en Aquila), que pueden presentar una mayor variación en su composición, textura y tamaño de grano en relación a cada litotipo. Así mismo, señala que los contactos internos entre los litotipos pueden variar en zonas de cizalla, falla y transicionales, a su vez, con actitudes estructurales variables entre NO-SE, NE-SO y E-O, pudiendo estar presentes todos estos tipos de contacto en los bordes de un mismo litotipo. En los contactos con la roca encajonante, se suelen formar delgadas zonas de metamorfismo de contacto de grado variable, donde se puede observar caliza recristalizada-mármol, skarn y hornfels dependiendo del tipo de roca encajonante.

Las rocas del CBA exhiben una gama de colores entre oscuros y claros (blanco, gris y rosa), presentan texturas generalmente faneríticas con tamaños de grano variable entre finos y gruesos y en varios sitios con foliación magmática y submagmática. Bajo el microscopio reportan texturas generalmente alotriomórfica-hipidiomórfica, granular e inequigranular seriada. Por una parte, las porciones félsicas están compuestas en orden de abundancia por Pl+Kfs+Qz+Bt+Amp ocurriendo como accesorios típicos Ap, Ttn, Zr, Ep, Ox y Sulf (e.g. pirita). Por su parte, las máficas están

compuestas por $Pl+Cpx+Opx\pm Anf\pm Bt$ y como accesorios típicos Mt , Ox y Ap . Se clasifican como granodioritas-granitos con una tendencia hacia las monzonitas-dioritas, según la clasificación modal de Streckeisen (1976; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2000; Gómez-Ordaz *et al.*, 2002; Castro-Ornelas, 2013), en el caso de las facies máficas se menciona una complejidad para su clasificación señalando la probabilidad de hibridación durante su formación (Castro-Ornelas, 2013).

La geoquímica de óxidos de elementos mayores del CBA se ha caracterizado por contenidos de SiO_2 que varían entre 60 y 70 wt%, mientras que, la relación de SiO_2 y FeO^* contra los álcalis indican un carácter calcialcalino, metaluminosos-peraluminosos, de acuerdo con los valores del índice de Shand (1943). En relación con los elementos traza, estos muestran una afinidad de arco volcánico (VAG) de acuerdo con los diagramas de Pearce *et al.* (1984). De forma similar al comportamiento de los mismos al ser comparados con N-MORB y condritas, que muestran un enriquecimiento en elementos incompatibles (LILE y LREE) respecto a los elementos menos incompatibles (HFSE y HREE), comportamiento típico de arco. Con respecto a los valores iniciales de $^{87}Sr/^{86}Sr$ que varían de 0.7035 a 0.7041 y valores iniciales de ϵNd entre +4 y +6, estos indican afinidad mantélica (Schaaf, 1990; Castro-Ornelas, 2013).

Actualmente se cuenta con 13 fechamientos por métodos isotópicos diversos que asignan edades entre 84 y 38 Ma (Tabla 1; referencias incluidas). Con las edades más antiguas en los cuerpos máficos y al parecer con una tendencia de rejuvenecimiento del complejo hacia el sur. Sin embargo, los trabajos de donde se extraen estas edades no se enfocaron en discriminar los diferentes eventos relacionados con la formación del CBA, de vital importancia para entender su evolución.

Como se ha mencionado anteriormente el CBA está relacionado con la mineralización principalmente ferrífera donde destacan los yacimientos de Aquila, La Guayabera y La Colomera. Los trabajos indican que la mineralización ocurre en forma masiva, stock-work, diseminada y brecha, siendo la mineralización masiva la más ampliamente distribuida (Peralta-Romero, 1985). Relacionado con la genética de los

depósitos, se tiene varias propuestas en distintas zonas mineralizadas, generalmente asociándolos con intrusivos, y con una variedad de mecanismos: inyección magmática, magmático-metasomático y magmático-hidrotermal. Estos relacionados con su origen mencionado en trabajos previos (E.g. Whittier, 1963; López *et al.*, 1970), que fueron retomados por Aguilar-Hernández (2013) en su propuesta de franjas metalogénicas, sin embargo, el sugiere que no se puede hablar de un solo tipo de mecanismo, ya que existen varios y presentan características típicas muy similares tanto geológicas como genéticas, de manera que pueden describirse como un conjunto tipo.

Localidad	Litología	E	N	Método	Material	Edad	Referencia
Aquila	Diorita	654639.4	2070112.9	K-Ar	Horblenda	84±3	2
Aquila	Granodiorita	665518.9	2060767.7	K-Ar	Horblenda	63±1	1
Aquila	Granodiorita	665518.9	2060767.7	K-Ar	Biotita	61±1	1
Pto. Caimán	Gabro	667858.5	2066075.4	Rb-Sr	Biotita-WR	56±1	5
Ostula	Granodiorita	664274.9	2046398.0	K-Ar	Horblenda	57±1	1
Ostula	Granodiorita	664274.9	2046398.0	K-Ar	Biotita	56±1	1
El Faro	Granodiorita	657717.3	2029212.7	K-Ar	Biotita	38	2
El Faro	Granodiorita	657717.3	2029212.7	K-Ar	Biotita	43	2
San Telmo (Faro)	Granodiorita	657258.5	2029775.1	K-Ar	Biotita	59.7±1.2	3
San Telmo (Faro)	Granodiorita	657258.5	2029775.1	Rb-Sr	Biotita-WR	56.5±1.1	4
Colola	Diorita	665112.3	2061777.5	Ar/Ar	Biotita	61.24±0.03	6
Colola	Diorita	667462.2	2047901.0	Ar/Ar	Horblenda	57.03±0.31	6
Cuilala	Tonalita	702795.4	2013908.2	Isocrona Rb/Sr	WR	57	3

Tabla1. Edades isotópicas en El CBA. 1: Pantoja-Alor (1983); 2: Murillo-Muñetón y Torres-Vargas (1987); 3: Schaaf (1990); 4: Schaaf (1990 *in* Schaaf *et al.*, 1995); 5: Corona-Chávez (*inprep*; 1999); 6: Iriondo *et al.* (2004). Las coordenadas presentan como Datum: WGS84; como Proyección: UTM; y están en la zona: 13N.

Capítulo 3

Metodología

3.1 Compilación bibliográfica y cartográfica previa

Se realizó la consulta y selección de material bibliográfico y cartográfico, relacionado con el CBA, para conocer el estado del arte del mismo, así como, para conocer el carácter tectónico y geológico en el cual se encuentra enmarcado. A la par se analizó la información relacionada con los procesos implicados en la formación de ensambles batolíticos. El material cartográfico consultado sirvió de base para la elaboración de una propuesta de mapa geológico, previa al trabajo de campo y para la propuesta final, y consistió en: a) bases topográficas de INEGI analógicas y digitales a escala 1:50,000: Villa Victoria E13B55, Coalcomán de Vázquez Pallares E13B56, Coahuayana de Hidalgo E13B65, Tehuantepec E13B66, Colola E13B75, San Pedro Naranjestil E13B76 y Huahua E13B86; b) Imágenes de satélite de Google Earth Pro; c) Mapa de geología general escala 1:50,000 (CFE, 1990, inédito); y d) las cartas geológicas mineras del SGM, de escala 1:50,000, Villa Victoria E13-B55, Coalcomán E13-B56, El Ranchito E13-B65, Tehuantepec E13-B66 y Lázaro Cárdenas E13-6-9 escala 1:250,000.

3.2 Revisión del material litológico previo

Se tuvo acceso a un acervo litológico de muestras tomadas en el área donde aflora el CBA, correspondiente a las muestras colectadas en diversas campañas de campo entre los años 2003 y 2011 que coordinó el Dr. Pedro Corona Chávez, pudiendo revisar briquetas y láminas delgadas de las mismas. De este acervo se seleccionaron las correspondientes a litotipos del CPA.

Se efectuó la descripción de briquetas del CPA y de muestras de mano en los casos donde la información que brinda la briqueta fue insuficiente. Con este análisis

se logró una aproximación a las litologías presentes en el complejo, lo que sirvió como un complemento de la información utilizada en la propuesta del mapa geológico tanto previo como final (anexo I).

Con respecto de la porción sureste del CBA, se consideró la propuesta de unidades hecha por Castro-Ornelas (2013) para el EPFM, en su tesis de maestría, precedente a este trabajo y que en conjunto con otros forman parte del mismo proyecto. Se hizo la revisión pertinente, de su material base y resultados de campo, (muestras en el laboratorio del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra “INICIT”), para la justificación de la propuesta de unidades para dicho ensamble, así como de la caracterización petrológica de los mismos. esta información está contenida en el anexo III.

3.3 Cartografía asistida por SIG

Además de los insumos ya mencionados utilizados en la elaboración de mapas, se generaron imágenes digitales procesadas con el software ArcGis 10.2, basadas en los datos vectoriales de INEGI antes mencionados. Se generó un mapa digital de elevaciones (MDE con resolución de 10m) y a partir de éste se construyeron mapas de sombras y pendientes. Además, con esta misma base vectorial se elaboró un mapa de elevaciones (hipsométrico) con ayuda del Software Surfer9, que sirvieron de base topográfica para el trazado de los contactos y lineamientos relacionados con el CPA.

La propuesta inicial de cartografía geológica estuvo sujeta a corrección a lo largo del desarrollo de este trabajo, conforme se realizaron verificaciones de campo y observaciones petrográficas, hasta llegar a la formulación de la propuesta final, que fue digitalizada en el programa ArcGis 10.2.

3.4 Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en dos campañas a los sitios donde afloran los principales ensambles que conforman el CBA. 1) la primera enfocada en el

reconocimiento y muestreo –colectando un total de 18 muestras de mano–, con fines petrológicos, geoquímicos y geocronológicos. Observando sistemáticamente sus relaciones de contacto y sus características composicionales y texturales; 2) la segunda campaña se enfocó en la verificación a detalle de la propuesta de cartografía geológica del ensamble nornoroeste del CBA denominado Complejo Plutónico Aquila (CPA). En esta segunda campaña se colectaron 14 muestras más.

3.5 procesado de muestras

3.5.1 Láminas delgadas

Las láminas delgadas se hicieron en el laboratorio de mineralogía y petrografía del INICIT de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Se elaboró un total de 24 láminas delgadas que se sumaron a las 21 láminas con las que ya contaba el acervo litológico. Todas las láminas corresponden a las distintas unidades del CBA. El proceso de elaboración es el descrito por Castro-Ornelas (2013).

3.5.2 Trituración y pulverización

Basados en la distribución de las unidades litológicas del CBA y la representatividad de las mismas, se eligió un total de 14 muestras –de las cuales cuatro son gabros dos son dioritas y el resto de composición entre granodiorita y tonalita– que se procesaron en el laboratorio de mineralogía y petrografía del INICIT de la UMSNH, con el fin de prepararlas para la extracción de zircones y la realización de análisis geoquímico. Para tales efectos se siguieron dos caminos realizados a la par y que se traslapan parcialmente. Todas las muestras fueron divididas en dos porciones; la mayor para separación de zircones (2-4 kg) y la menor (~1-1.5 kg) para análisis geoquímico.

Por la naturaleza de los estudios, se procedió con riguroso cuidado en la limpieza de los equipos utilizados antes y después de cada muestra, realizando tres repeticiones del proceso de limpieza. En este proceso se utilizó agua destilada, servilletas de papel y en el caso de las partes desmontables de los equipos, detergente, cepillos y fibra, así como en los casos precisos el baño ultrasónico.

Para el caso de las muestras para geoquímica se procedió a realizar un descostre para eliminar las partes meteorizadas de la roca y evitar así la alteración de los resultados. Se utilizó un tronco para apoyar la muestra y la ayuda de marro y pica para remover dichas zonas. Los fragmentos del descostre se incluyeron en las muestras para zircones.

Antes de iniciar con el procesamiento de cada muestra, se hace una contaminación de los equipos con la muestra a procesar desechando esa primera fracción. A continuación, se procesó la porción seleccionada para la geoquímica y continuando con la porción para zircones. Se procedió secuencialmente a utilizar una prensa hidráulica GIMSA para reducir las muestras a fragmentos no mayores de 3.5 cm, para después reducirlas a tamaños ≤ 2 mm utilizando una trituradora de quijadas. En el caso de la fracción utilizada para geoquímica se continuó con cuarteo y finalmente de una alícuota se tomaron 25-30 gr de muestra que fueron colocados en una pulverizadora de impacto con mortero de bolas (acero) de dos capsulas SpectroMill*II, reduciendo la muestra a tamaños de arenas muy finas-lodos.

3.5.3 Separación de zircones

Después de la trituración de las 14 muestras seleccionadas, se hizo un tratamiento diferenciado para las rocas máficas (gabros-dioritas) con respecto de las rocas félsicas (tonalitas-granodioritas), que a continuación se describe.

Las 6 muestras de rocas máficas se tamizaron en el taller de procesamiento de muestras de la ENES campus Morelia de la UNAM, utilizando los tamices 60, 100 y 200. Las fracciones correspondientes a <60 - >100 , >100 - >200 y <200 de estas muestras, fueron llevadas al laboratorio de separación de minerales del Instituto de Geología de la UNAM, en la Ciudad de México, donde fueron procesadas bajo la supervisión del técnico académico M. En C. María del Consuelo Macías Romo. Se utilizó una mesa Wilfley para obtener concentrados de minerales por su peso específico y forma, seleccionando las fracciones de mayor peso. En el Laboratorio de Separación de Minerales (LSM) de la ENES se utilizaron dos imanes con diferente intensidad de campo magnético –esto fue sugerido por la misma, María Del C. Macías R., basado en su amplia experiencia en el tema y considerado oportuno para nuestro

caso específico—, logrando con esto separar los minerales ricos en hierro, de la porción restante se colectaron los concentrados de zircones manualmente, utilizando un microscopio estereoscópico con luz transmitida, polarizador y luz reflejada, logrando coleccionar zircones de dos gabros y de una diorita.

Por su parte las 8 muestras de granodioritas-tonalitas se procesaron mediante el método de bateo, para el cual se hizo un ensayo supervisado por Ing. José Teodoro Hernández Treviño técnico académico del LUGIS de la UNAM. Para tal efecto se utilizaron tres vasos de precipitado (dos de 400 ml y uno de 600 ml), una batea de porcelana, tres pisetas (dos con agua de la llave y una con alcohol etílico), dos cajas petri de vidrio y finalmente una pipeta volumétrica. Antes y después de cada muestra se procede a lavar perfectamente todo el material con detergente y suficiente agua y a limpiar el sitio de trabajo. El proceso comienza colocando una cuchara de material triturado (≤ 2 mm) en un vaso de precipitado de 400 ml, vertiendo 100 ml de agua con ayuda del otro vaso de la misma capacidad, se agita de forma circular para de inmediato verter el agua con el material ligero suspendido en el vaso de 800 ml. Esto se repite hasta que el agua sale limpia (aproximadamente tres veces). A continuación, se vierte el resto de la muestra en la batea de porcelana, con ayuda de una piqueta con agua, para que con movimientos circulares se separe la fracción más pesada de los ligeros y gránulos gruesos, después se vierten los pesados en una caja petri quitando el agua y colocando alcohol para proceder a realizar la separación, bajo el microscopio estereoscópico y finalmente la extracción con la pipeta colocándolos en otra caja petri. Se obtuvieron concentrados de zircones de 7 muestras.

3.5.4 Montado y pulido de zircones

El montado de los zircones se realizó en el LSM de la ENES, montando ~50 zircones de cada una las diez muestras, exceptuando la muestra UL-22-15 de la que se montaron dos porciones de zircones por separado. Para montar se utilizan cuadros de vidrio de 5 cm por lado y 5 mm de espesor, cinta adhesiva de doble cara, anillos de baquelita de 1/2 pulgada, un kit de resina y secante EpoFix y finalmente una báscula digital. Con el material previamente limpio, se procede a marcar una cruz en el vidrio cuadrado y el código de la muestra correspondiente, a su vez se dibuja un círculo

centrado con la cruz, con ayuda de un anillo de baquelita, para después del lado contrario pegar un cuadro de cinta de doble cara. Se colocan los zircons teniendo cuidado de no montar juntos cristales que superen el doble del espesor entre sí y que no sean menores de 30 μm . Ya con los zircons en la cinta se colocan los anillos con los zircons centrados. Se prepara la resina y el secante con una relación de 8 a 1.2 gr respectivamente para cada muestra, utilizando uno de los vasos del kit y la báscula digital, a continuación se mezclan con suavidad hasta que se homogenizan por completo y tratando de evitar la formación de burbujas, posteriormente se deja reposar 15 min y después se procede a eliminar una primer porción en otro de los vasos, para después colocar resina 4 mm antes del borde del anillo y se dejan fraguar a una distancia pertinente de una lámpara de luz infrarroja por 4 horas y finalmente se dejan 12 horas fuera de la lámpara para que termine el proceso de fraguado (Figura 9).

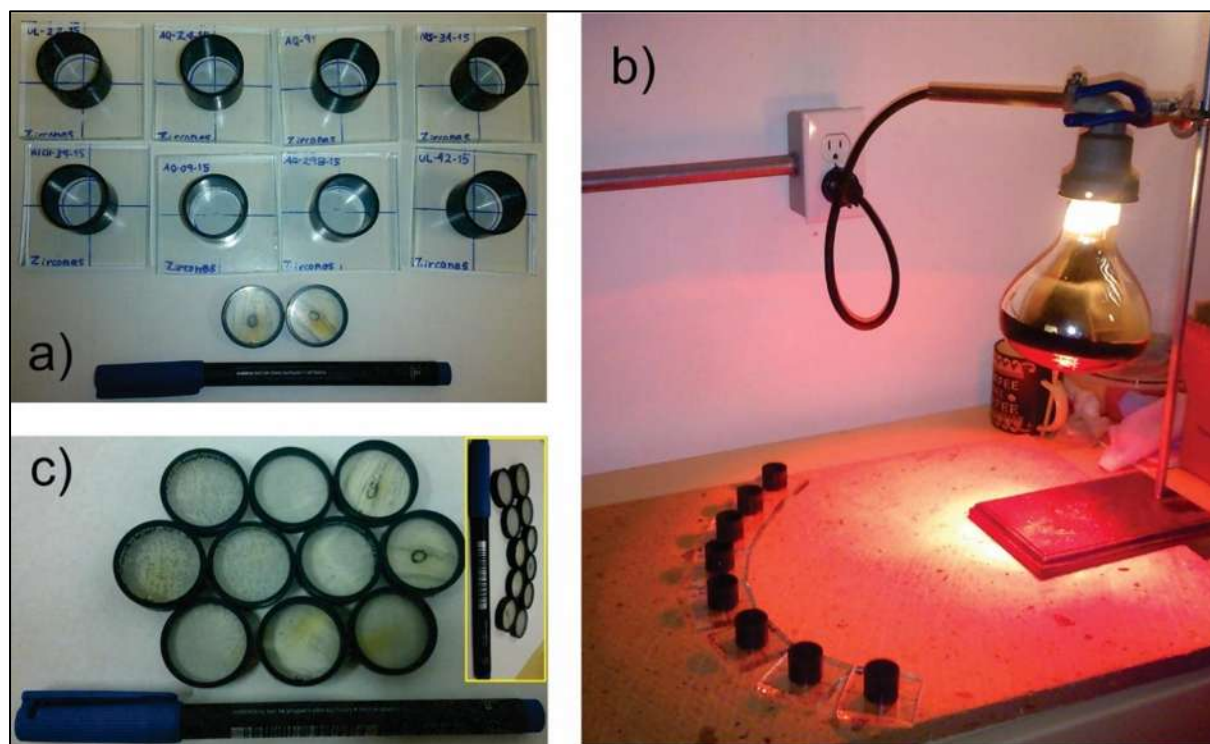


Figura 9. Fotografías montado y pulido. a) Zircons montados en cinta adhesiva centrados en anillo de baquelita. b) Preparado de muestras bajo lámpara infrarroja, después de colocar resina. c) Anillos con zircons pulidos listos para análisis, en el recuadro amarillo perspectiva del espesor.

El pulido de los zircones se realizó con la ayuda de lijas marca Bühler de malla 2500 y 4000, una piseta con agua y un microscopio estereoscópico de luz transmitida con polarizadores y luz reflejada. La finalidad del pulido es desbastar hasta la mitad los zircones montados en la resina iniciando con la lija de 2500 y terminado con la lija de 4000, finalmente se cortan los anillos para dejarlos de un espesor ≤ 5 mm (Figura 9).

3.6 Técnicas analíticas

3.6.1 Petrografía

Se realizó una revisión petrográfica detallada de 28 muestras pertenecientes al CBA (que incluye las 14 muestras antes mencionadas; anexo IV), hecha en el INICIT de la UMSNH, con un microscopio petrográfico marca OLYMPUS BX50 de doble observador. Para la revisión se propuso un formato descriptivo modificado del que comúnmente se usa en la descripción de muestras de origen similar, que se consideró más adecuado para la obtención de la información pertinente, dados los procesos implícitos en la evolución magmática del CBA. Este consistió en: a) la descripción detallada de las texturas magmáticas, tardo magmáticas y postmagmáticas, así como de las estructuras que puedan interaccionar con las mismas; b) caracterización de la ocurrencia y texturas minerales en cada especie identificada; c) clasificación de las distintas generaciones y/o asociaciones minerales en los casos pertinentes; y estimación de las proporciones minerales para clasificación modal.

3.6.2 Elementos mayores por fluorescencia de rayos x (FRX)

La determinación de los óxidos de elementos mayores se consiguió mediante el método usual de FRX, analizando 15 muestras de roca total, pertenecientes a las distintas unidades del CBA, con un espectrómetro secuencial LFRX-SIEMENS SRS 3000 con tubo de Rh y ventana de Berilio de 125 μ m, en el Instituto de Geología de la UNAM. La metodología seguida es la descrita por Aguilar-Hernández (2013) y Castro-Ornelas (2013).

3.6.3 Elementos en traza por espectrometría de masas

En el caso de la determinación de los elementos traza se analizaron 16 muestras, usando la técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), fueron realizados en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI), del Centro de Geociencias UNAM, en Juriquilla, Querétaro.

3.6.4 Isotopía U-Pb en zircones

Una vez lograda la separación y montado de la concentración de zircones, se procedió a sus análisis morfológico con base en la metodología de Pupin (1988), así como la caracterización por medio de la cátodoluminiscencia, con la finalidad de identificar variaciones en su tipología, en el desarrollo de bordes e identificación de núcleos de crecimiento (Figura 10).

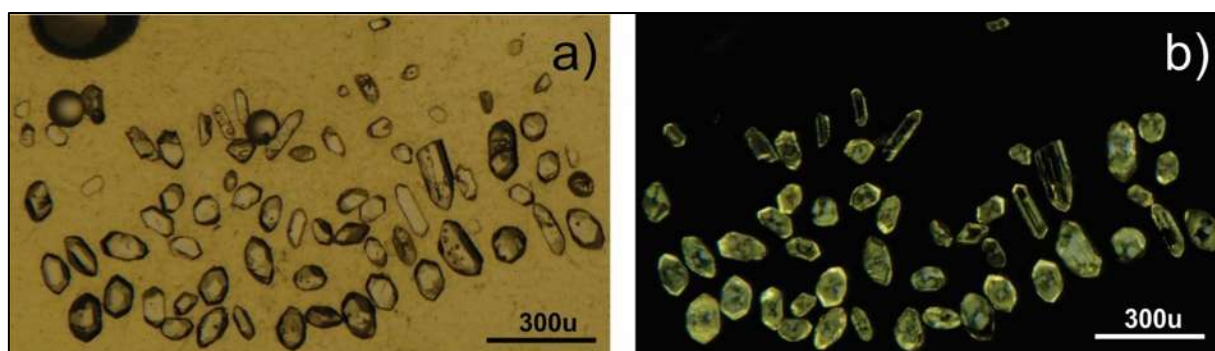


Figura 10. Fotografías de zircones montados y pulidos. a) zircones vistos con luz paralela. b) imagen de cátodoluminiscencia de zircones.

Los fechamientos fueron realizados en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI), del Centro de Geociencias UNAM, en Juriquilla, Querétaro, con la técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo por ablación láser (LA-ICP-MS). Se realizó análisis isotópico de U-Pb en los zircones de 10 muestras, de las cuales 7 corresponden a granodioritas-tonalitas, 2 gabros y una diorita. Los análisis se realizaron con el apoyo y supervisión del Dr. Carlos Ortega Obregón, técnico académico del LEI, siguiendo la metodología descrita en la página web del laboratorio (http://www.geociencias.unam.mx/~solar/index_files/LEI/LA-ICPMS.html). Los sitios de análisis se eligieron basados en la luminiscencia de cada uno de los zircones, tomando en cuenta la presencia de posibles núcleos heredados y las distintas familias separables por sus intensidades de luminiscencia en cada muestra.

Capítulo 4

Resultados

4.1 Cartografía del CPA y sus relaciones de contacto con la roca encajonante

La cartografía del CPA exhibe una estructura semi-rectangular con su eje más largo de 14.5 a 17.1 km, orientado en sentido noroeste-sureste y que se extiende hacia el noreste por 10.3 a 15.2 km. Cuenta con dos apófisis, uno en El Naranjillo y otro en El Volantín, con un área total aflorante de 200.2 km², emplazados en secuencias de rocas volcánicas, sedimentarias clásticas y químicas-bioquímicas (calizas) del Subterreno Zihuatanejo. Al igual que su borde, la distribución y contactos de las unidades internas del complejo están contraladas predominantemente por estructuras NO-SE y NE-SO, con una menor influencia de estructuras N-S y E-O. Se proponen un total de 5 unidades litológicas para la conformación del complejo, una de gabro, dos de gabros híbridos y dos de granitoides, las cuales se relacionan a partir de transiciones complejas, que se describirán más adelante (Figura 11).

Como se ha mencionado el CPA se encuentra intruyendo secuencias asociadas con El Subterreno Zihuatanejo, por lo que es oportuno hablar de las relaciones de contacto y de la influencia de las estructuras preexistentes en la roca encajonante antes del emplazamiento de dicho complejo, discriminando su papel en el control del mismo, así como de las estructuras sin y post-magmáticas. También se hablará de la influencia de las estructuras asociadas con el emplazamiento del complejo y su efecto en la roca encajonante (Figura 11).

Es indispensable señalar que las secuencias del Subterreno Zihuatanejo, se caracterizan por presentar estructuras frágil-dúctil laramídicas, definidas por pliegues con ejes N-S que cambian hacia NO-SE, las cuales son disectadas por estructuras frágiles NE-SW, E-O y subordinadas NE-SO.

Hacia el suroeste el CPA tiene un contacto controlado por la estructura Chanviejo de sentido NO-SE que relaciona a unidades del complejo con andesitas

sobreyacidas por calizas de la roca encajonante. Este contacto tiene asociadas estructuras y lineamientos, paralelos y subparalelos que ejercen mayor influencia en los cuerpos intrusivos que en la roca encajonante, a su vez, seccionando parcialmente a los pliegues de ésta última. Dicho contacto representa el de mayor complejidad en El CPA, el cual es caracterizado por ser un contacto de alta temperatura que provoco metamorfismo térmico en las rocas de la caja, así como por el desarrollo de una zona de cizalla, que formo un cinturón milonítico con componentes tanto del complejo como de la roca encajonante. Las foliaciones miloníticas presentan una actitud estructural dominante N310°/35°NE, además es posible observar indicadores cinemáticos tipo sigma con cinemática paralela a la foliación (Figura 11 y 13).

El contacto hacia El Sipimo al noroeste del CPA, está caracterizado por ser un contacto térmico de temperatura variable entre baja, intermedia y alta, que relaciona las unidades de granitoides Solimán-El Chafre y la de gabros híbridos de Puerto Caimán, con secuencias clásticas rítmicas (lutitas, calizas delgadas y margas), de andesitas y de calizas de la caja. Este contacto está caracterizado por la formación de zonas de hornfels y skarn de medio y alto grado metamórfico, así como la formación de alteraciones metasomáticas típicamente caracterizadas por silicificación (baja temperatura) y asociado con menas de hierro ricas en magnetita. Las zonas con metamorfismo de contacto de más alta temperatura típicamente están asociadas al contacto con los gabros híbridos.

El contacto hacia Villa Victoria en el margen noreste del CPA, comparte cierta similitud con el de El Sipimo, respecto a su carácter térmico, pero con rasgos característicos notables en su estructura, definida por lineamientos curvílineos con tendencia al noroeste y con influencia fuerte en la roca encajonante, que presentan una correlación espacial notable con los apófisis en El Naranjillo y El Volantín. Además, relaciona las unidades de granitoides de Huitzontla y Solimán-Chafre y los gabros híbridos de Puerto Caimán con secuencias de andesitas, areniscas, lutitas y calizas de la caja. Con respecto de los efectos térmicos, éstos son variables, dependiendo con que unidad del CPA ocurra la interacción, siendo de menor temperatura típicamente los contactos con las unidades de granitoides y de mayor temperatura cuando interactúan con los gabros híbridos.

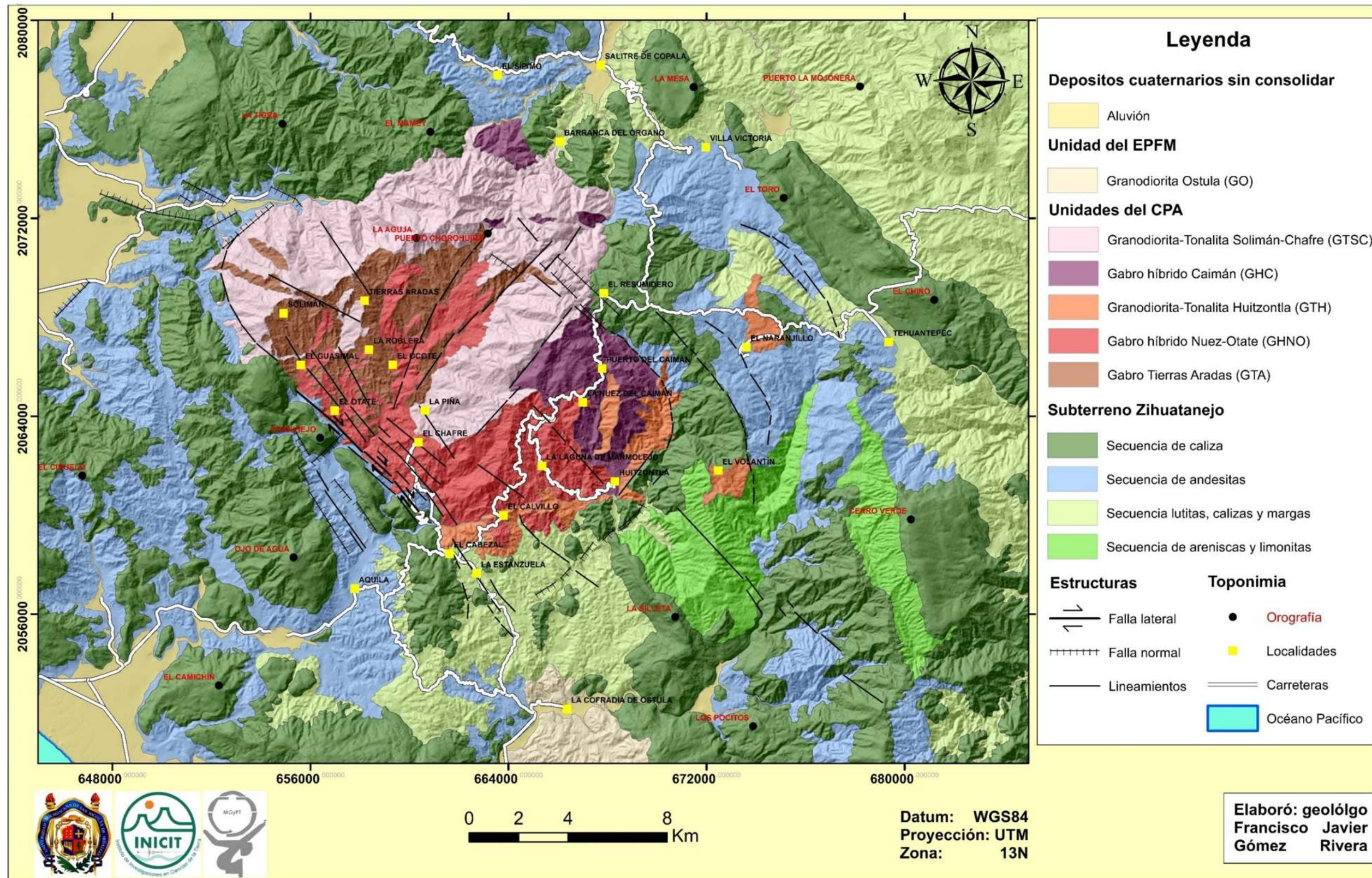


Figura 11. Mapa geológico del área de Aquila, donde se observa las 5 unidades propuesta para El Complejo Plutónico Aquila (CPA). A su vez se muestran las relaciones de contacto con la roca encajonante, representada por secuencias de El Subterreno Zihuatanejo. Finalmente se observa una porción de la unidad Granodiorita Ostula, que forma parte de El Ensamble Plutónico Faro Maruata (EPFM).

Finalmente, el contacto hacia La Estanzuela en el borde sureste de El CPA, es un contacto térmico de baja temperatura, asociado con curvilineamientos amplios con actitud estructural hacia el noreste que afectan primordialmente a la roca encajonante y que pone en contacto a la unidad de granitoides de Huitzontla y una porción menor de la unidad de gabros híbridos Nuez-Otate, con secuencias rítmicas de lutitas, calizas delgadas y margas, sobreyacidas por calizas masivas, de la roca encajonante. Este contacto presenta un efecto térmico caracterizado por zonas de recrystalización de baja temperatura.

4.2 Unidades del CPA

4.2.1 Gabro Tierras Aradas (GTA)

La unidad máfica más homogénea del CPA es la denominada GTA, definida por gabros de piroxeno y/o de anfíbol, con dioritas subordinadas y que, hacia sus contactos con otras unidades del CPA, puede presentar estructuras y texturas variables relacionadas con la interacción con las mismas.

La unidad GTA está expuesta en un área de 28.2 km², presenta forma irregular semi-triangular, con una orientación preferencial hacia el noreste y extendiéndose hacia el sureste en forma arborescente (Figura 11). En las inmediaciones de la comunidad de Tierras Aradas, se cuenta con afloramientos continuos con rocas sanas y moderadamente sanas, por lo que se le considera la localidad tipo. Así mismo en la comunidad de La Roblera se cuenta con afloramientos de roca principalmente sana dominados por zonas semi-planas (lomeríos) de boleos a borde de camino, como también en el camino de El Ocote hacia El Otate (no marcado en la carta de INEGI Coahuayana de Hidalgo E13B65), donde la roca está más intemperizada y finalmente en el camino entre Solimán y El Guasimal donde aflora principalmente en las cañadas.

En congruencia con la homogenidad relativa de la unidad GTA, existe poca variación de estructura y composición hacia el interior de la misma, ocurriendo de forma masiva, con foliación magmática y los contactos generalmente netos entre los gabros de piroxeno y los de anfíbol; en contraparte, hacia sus bordes esto cambia.

Cuando entra en contacto con la unidad de gabros híbridos de la Nuez-Otate se pueden observar infiltración, en los poros de la textura original (*“porous flow”*), dominada por composiciones tonalíticas, además de que se encuentra parcialmente desmembrada y en ocasiones llegando a formar verdaderos techos flotantes (*“roof pendant”*; Figura 11) que se alinean con estructuras internas SO-NE del CPA. A su vez, también se pueden observar *“roof pendant”* de esta unidad al contacto con la unidad de granitoides de Solimán, donde presentan una orientación preferencial NO-SE, además del desarrollo de filones tipo pegmatíticos de composición diorítica y granítica.

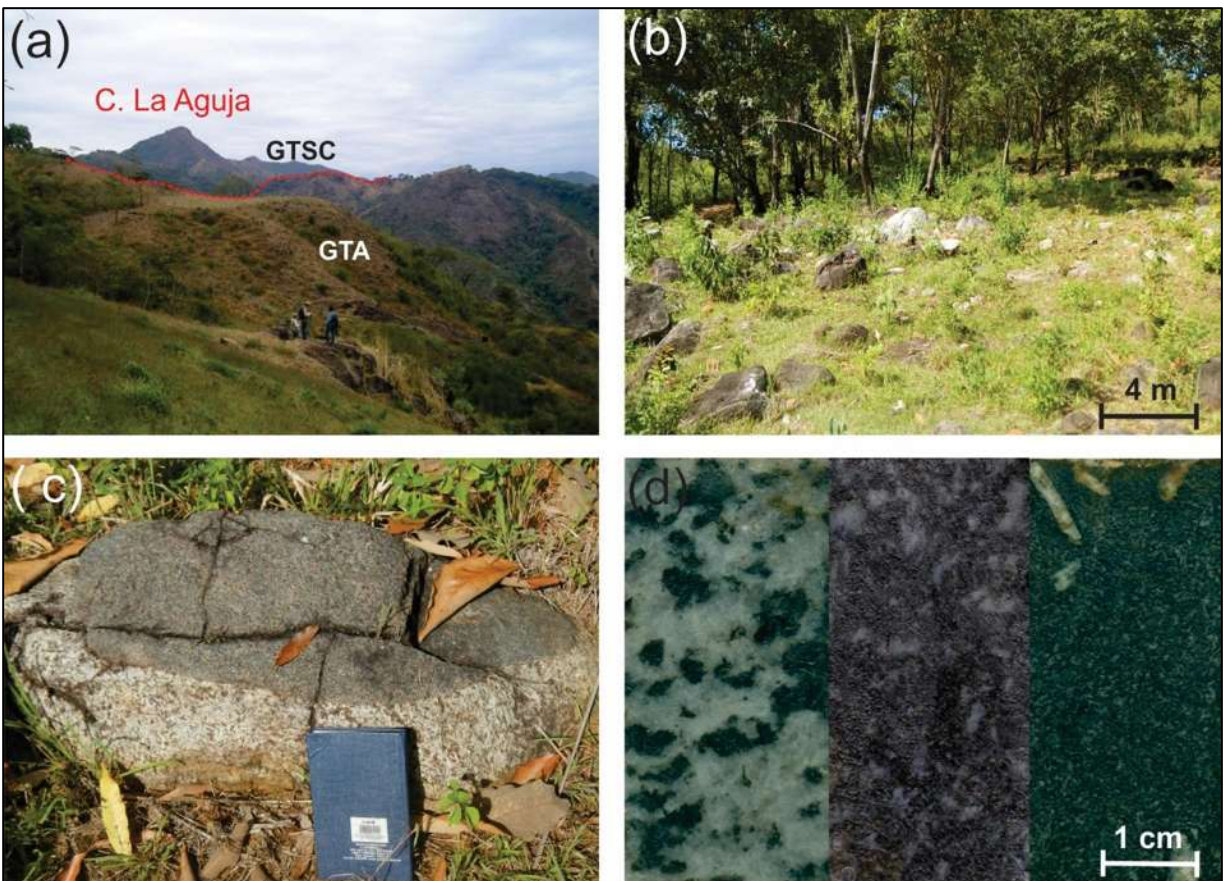


Figura 12. Fotografías de la unidad GTA: (a) afloramientos continuos de ésta unida en la localidad de Tierras Aradas, de fondo C. La Aguja formado por granitoides de la unidad GTSC; (b) boleos en las inmediaciones de La Roblera; (c) contacto neto entre variaciones composicionales internas de la unidad GTA; y (d) variaciones composicionales, texturales y de tamaño de grano de la unidad, en muestra de mano.

En muestra de mano se observan texturas faneríticas inequigranulares de grano

grueso a medio y subordinadas de grano fino, con un notable enriquecimiento en máficos conforme se reduce su tamaño (Figura 12. d). Es común el desarrollo de foliación magmática, definida por plagioclasa y ferromagnesianos. Con respecto de su composición mineral se observo en orden de abundancia plagioclasa, clinopiroxeno, anfíbol, óxidos (magnetita/ilmenita), y ortopiroxeno. Hacia los contactos con la unidad GHNO, se observan en sitios intersticiales de la textura original, asociaciones de cuarzo, biotita, anfíbol y plagioclasa.

La unidad GTA se considera la más antigua dentro del CPA, por las relaciones de contacto que guarda con las unidades internas del complejo, además de que se cuenta con un fechamiento K-Ar en una diorita de 84 ± 3 Ma (anfíbol; Murillo-Muñetón y Torres-Vargas, 1987). La geometría obtenida con la cartografía de esta unidad muestra una estructura inmersa, por un lado, mediante el contacto hacia el sureste con la unidad GHNO, evidenciando un proceso de desmembramiento intenso, que forma estructuras de “*roof pendant*”, y por otro lado, hacia el noroeste al contacto con la unidad GTSC, caracterizado por un desmembramiento de menor intensidad que igualmente produjo una menor cantidad de “*roof pendant*” (Figura 11). Con estas últimas estructuras de “*roof pendant*” se encuentra asociado el fechamiento isotópico antes mencionado.

4.2.2 Gabro híbrido Nuez-Otate (GHNO)

La unidad denominada GHNO, se caracteriza por presentar una gran variedad de estructuras de hibridación, ya sea de “*mingling*” (enclaves elongados, transicional, tipo “*schollen*”, infiltración), como de “*mixing*” (“*schlieren*”, gradual, etc...). Es decir, representa la unidad transicional de composición félsica y máfica con una amplia variación litológica y textural. Se estima que las porciones máficas son dominantes conformando entre 65 - 75% de la unidad total, compuestas por gabros de piroxenos, anfíbol y por dioritas subordinadas, mientras que las porciones félsicas están compuestas por granodioritas, tonalitas y cuarzomonzonitas.

La unidad GHNO es la segunda en extensión del CPA, con un área expuesta de 50.9 km², con forma de herradura, con un contacto con la roca encajonante hacia el suroeste y se extiende en forma arborescente, gradual y lenticular hacia el noreste

(Figura 11). Esta unidad presenta afloramientos de buena calidad en la entrada al poblado de La Nuez del Caimán, por lo cual se consideraría la localidad tipo. Sin embargo, también aflora en las inmediaciones y en los arroyos al norte del poblado de El Otate, que cortan el camino que conduce a Solimán y a su vez, en el arroyo al norte de El Ocote.

La estructura de la unidad GHNO es altamente heterogénea, ya sea en su composición como en sus variaciones texturales y en el tamaño de sus cristales. El aspecto estructural es variable, depende de la proporción félsica o máfica, así como del nivel de interacción y/o hibridación, mostrando a menudo acumulaciones de sacos (*"batching"*) de composición diorítica a cuarzo-diorítica, los cuales se presentan con estructuras típicas de flujo y foliación magmática. Hacia el contacto con la unidad de gabros de la Roblera, se observa un desmembramiento del sistema máfico, con fragmentos redondeados y raramente angulosos, a menudo con estructuras graduales, así como estructuras tipo *schöllen* con escasos bordes de cristalización. Se observan también filones dioríticos con bordes de enfriamiento (*"chilled margin"*) y con texturas de anfíbol-plagioclasa bajo forma de pegmatoides (Figura 13). Sin embargo, su estructura y contacto cambia relativamente hacia el contacto sureste, con la unidad de granitoides de Huitzontla, se observan texturas comunes de mingling, con concentraciones variables de enclaves, fracturamiento y numerosas interacciones de filones pegmatíticos, aplitas y diques máficos con contactos ondulados de temperatura alta. Un contacto que vale la pena mencionar de la unidad GHNO, se refiere al contacto con la zona de cizalla de Chanviejo, la cual nos muestra una intensa foliación milonítica, ya sea de la roca encajonante como de la misma unidad híbrida y transicional de esta unidad. Este contacto resulta aún más complejo, en cuanto a la deformación y metamorfismo dinámico; también puede mostrar una asociación de metamorfismo de contacto tipo skarn y hornfels con o sin deformación de cizalla.

En muestra de mano, en congruencia con la estructura variable de la unidad GHNO, se observan texturas que varían de faneríticas de grano grueso, medio y fino. Prevalen estructuras y texturas de foliación magmática, que involucran a las plagioclasas y a los minerales máficos, en ocasiones con bandas de acumulación. Particularmente en la zona de contacto con la estructura de Chanviejo presenta foliaci-

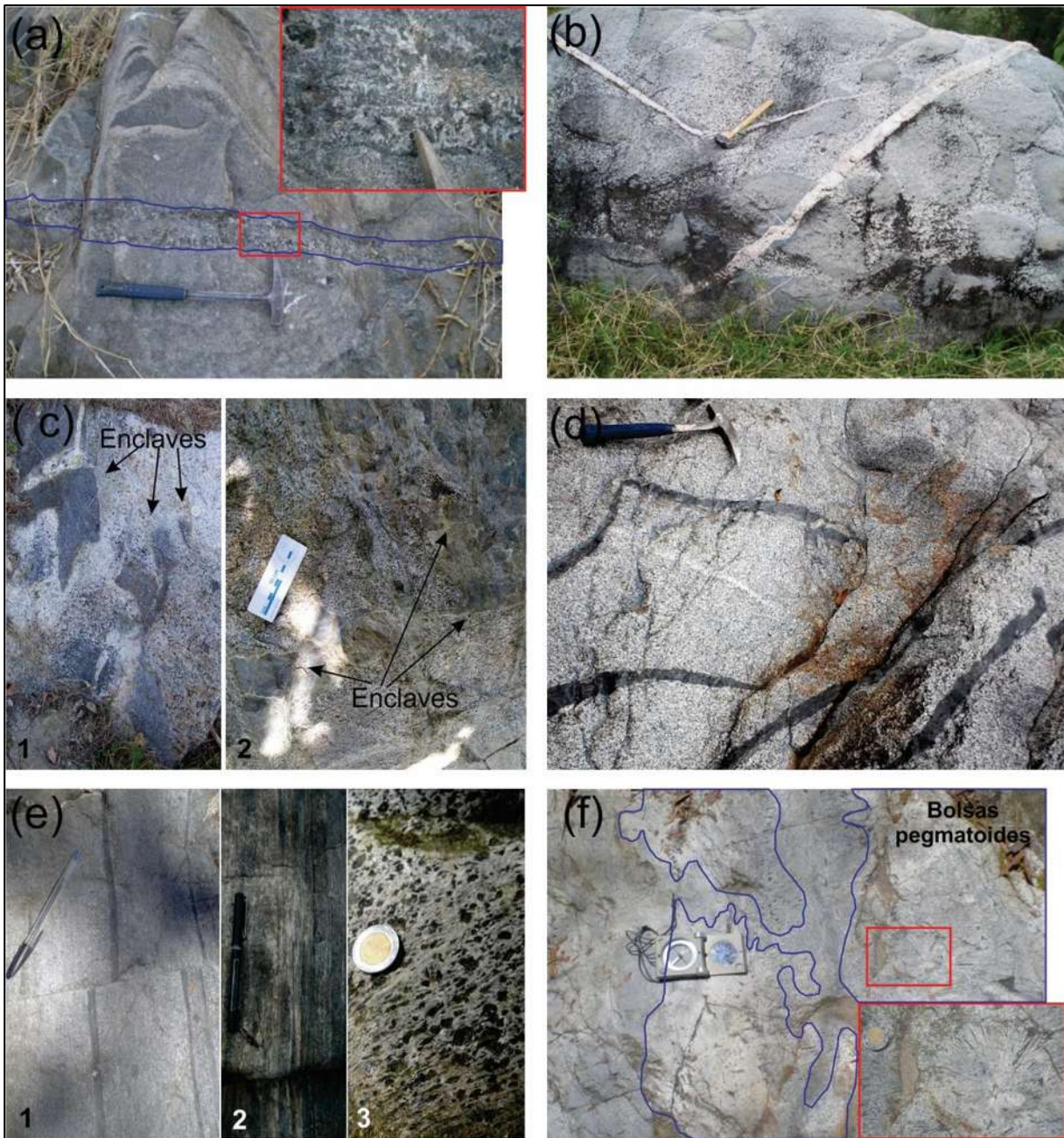


Figura 13. Fotografías de la unidad GHNO: (a) estructura de tipo “batching” contorneada de color azul y con un detalle en marcado en color rojo, donde se puede observar Am y Pl; (b) desmembramiento máfico al contacto con la unidad GTA, definido por estructuras tipo “shölen” con formas subredondeadas, que son cortados por delgados filones pegmatíticos y sinuosos; (c) imágenes de enclaves, en la 1 al contacto con la unidad GTH, donde se pueden observar bordes transicionales en los enclaves y en la 2 al contacto con la unidad GTA, donde podemos observar bordes tipo “*chilled margin*”; (d) filones básicos con formas sinuosas y discontinuos; (e) foliaciones miloníticas al contacto con la estructura de Chanviejo. 1 y 2 foliación milonitica sinuosa y paralela en la 1 con un dislocamiento, en la 3 clivaje espaciado por porfidoclastos de

Cpx y Am sigmoidales; y (f) bolsas pegmatoides con crecimiento acicular, radial de Am, marcadas con un borde azul y con un detalle enmarcado en rojo.

ción milonítica anastomosada y clivaje espaciado por porfidocalstos de clinopiroxeno, plagioclasa y anfíbol con formas sigmoidales, que se encuentran alineados con la estructura (Figura 13.). La asociación mineralógica visible, en orden de abundancia es plagioclasa, anfíbol, clinopiroxeno, cuarzo variable y hasta ausente, óxidos (magnetita/ilmenita), feldespato potásico, relictos de ortopiroxeno y biotita.

Con respecto de su temporalidad se cuenta con un fechamiento isotópico Ar-Ar realizado por Iriondo *et al.*, (en biotita; 2004) quienes obtuvieron una edad de 61.24 ± 0.03 Ma para una diorita, posicionando a esta unidad en un tiempo posterior al emplazamiento de la unidad GTA. La geometría obtenida con la cartografía de la unidad GHNO, nos muestra una estructura de núcleo que mantiene relaciones estructurales y petrológicas complejas de contactos transicionales, por un lado, de un relativo desmembramiento con las unidades de Tierras Aradas y Caimán, al norte y al noroeste respectivamente, así como con relaciones de borde de contacto granítico con la unidad de Huitzontla, así como, con carácter de “*roof pendant*” (Figura 11).

4.2.3 Granodiorita-Tonalita Huitzontla (GTH)

De las unidades félsicas del CPA la que presenta un mayor fraccionamiento de sus afloramientos es la denominada GTH, definida principalmente por tonalitas y granodioritas.

La unidad GTH es la que presenta una menor área expuesta dentro del CPA, contando con 17.1 km², distribuidos mediante formas irregulares de cintas que bordean parcialmente a otras unidades del complejo y con carácter de apófisis (Figura 11.). En las cercanías del poblado de Huitzontla en el camino que conduce a La Laguna del Marmolejo se encuentran afloramientos de buena calidad, por lo que se le considera la localidad tipo. También hay afloramientos en el camino entre El calvillo y El Cabezal, así como en las inmediaciones de El Naranjillo y El Volantín donde afloran apófisis de esta unidad.

La estructura interna de la unidad es muy homogénea y masiva, los contactos

son transicionales entre las composiciones que lo conforman y con desarrollo moderado de foliación magmática, así como fracturamiento moderado. Cuando entra en contacto al noroeste con los gabros híbridos de la unidad GHNO, actúa como un borde granítico, con desarrollo variable de enclaves (Figura 14). Finalmente es posible observar filones máficos afaníticos-porfiríticos con bordes de enfriamiento (“*chilled marging*”), así como diques félsicos tipo aplíticos y pegmatíticos.

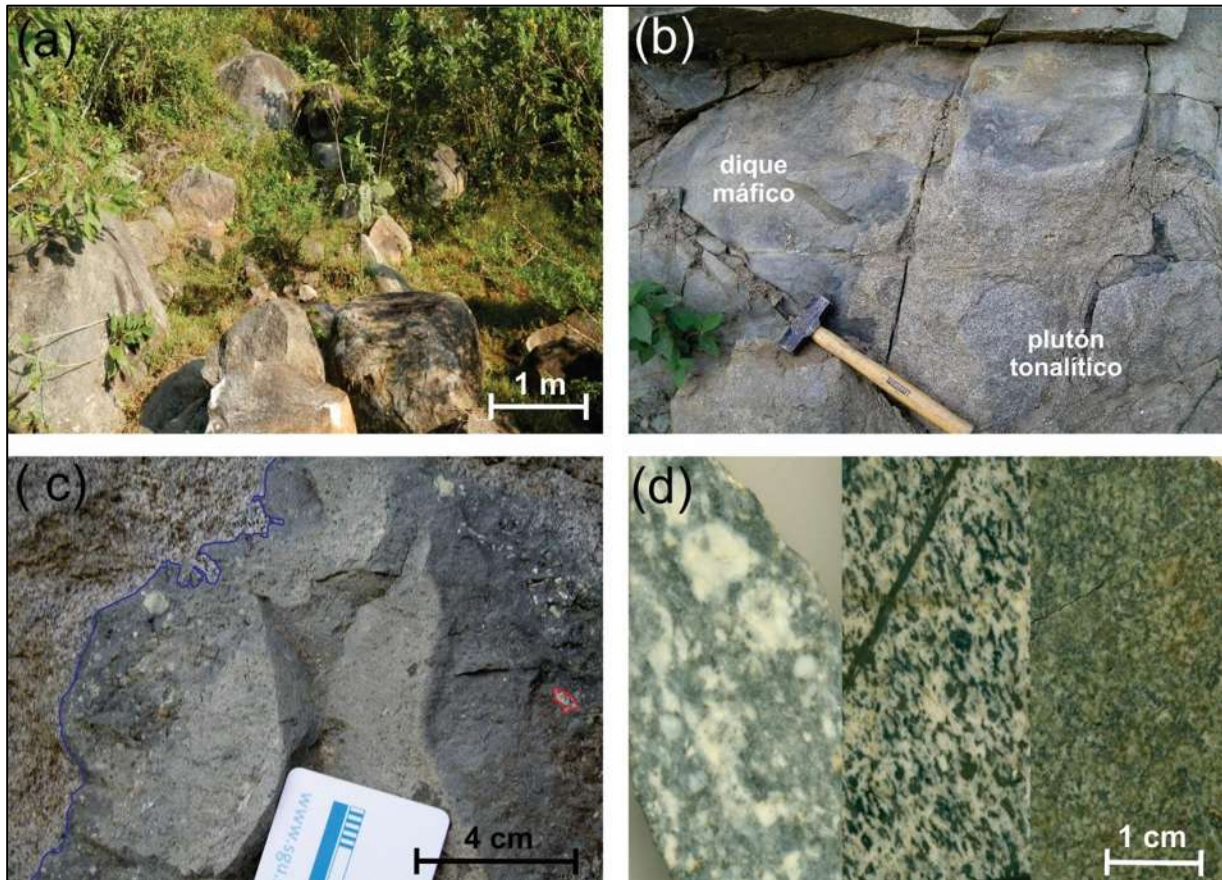


Figura 14. Fotografías de la unidad GTH: (a) boleos en las inmediaciones del el Crucero de Naranjillo; (b) Dique máfico con contacto tipo “*cusate*” con plutón tonalítico; (c) contacto tipo “*cusate*” entre plutón tonalítico-granoditirítico y dique máfico con fenocristales de PI en su borde marcado en azul y con un borde rojo pequeña infiltración de material félsico en el dique; y (d) foliación magmática, variaciones texturales, de tamaño de grano y composicionales, de la unidad en muestra de mano.

Al realizar las observaciones en muestra de mano se observa textura fanerítica pudiendo ser equigranular e inequigranular que varía en el tamaño de grano entre medio y grueso con tamaños finos subordinados. Es común observar foliación

magmática moderada a bien desarrollada, generalmente definida tanto por plagioclasa como por sus máficos (Figura 14. d). Se reconoció una asociación mineral en orden de abundancia de plagioclasa, anfíbol, cuarzo, feldespato potásico, biotita y $\pm$ clinopiroxeno.

Con respecto a la posición temporal de la unidad GTH, se cuenta con dos fechamientos realizados en una muestra de granodiorita por Pantoja-Alor (1983) en biotita y anfíbol con el método K-Ar, obteniendo 61 ± 1 y 63 ± 1 Ma, respectivamente. Lo anterior sitúa esta unidad contemporánea con el emplazamiento de los gabros híbridos de la unidad GHNO y por la misma razón posterior al emplazamiento de los gabros de la unidad GTA. La geometría que exhibe en la cartografía realizada, toma forma de un semi borde entre la roca encajonante y unidades internas del CPA. Cuando está en contacto con la roca encajonante muestra contactos netos de temperatura variable, generalmente con efectos en la roca encajonante de baja temperatura, que puede generar recristalización en la misma hacia sus bordes sureste y este, mientras que, hacia el oeste en el contacto con la unidad de gabros híbridos de Puerto Caimán, es dividido por estos, aunque sus relaciones no son claras (Figura 11).

4.2.4 Gabro híbrido Caimán (GHC)

Entre las dos unidades de gabros híbridos del CPA, la denominada GHC es la que cuenta con menor desarrollo de texturas y estructuras de hibridación, siendo la más característica infiltración en intersticios de la textura original ("*porous flow*"), estructura típica de "*mingling*". También muestra una menor variación composicional.

Dentro del CPA la unidad máfica de menor exposición es la correspondiente a GHC, que tienen un área expuesta de 22.1 km², con una forma principal de semi-rectángulo con bordes irregulares y que se extiende en forma fragmentada de cuerpos menores en o cerca del borde noreste del complejo (Figura 11). En la carretera federal Coalcomán-Aquila, en las inmediaciones del Poblado Puerto del Caimán y hacia el Resumidero y La Nuez del Caimán, se cuenta con afloramientos de buena calidad por lo que se le considera la sección tipo de esta unidad. Así mismo se cuenta con afloramientos discontinuos en el camino entre el poblado Barranca del Órgano y Puerto Chorohuira.

Con respecto a la estructura de la unidad GHC, ésta es homogénea en relación

a su composición y su estructura general masiva con fracturamiento débil a moderado. En contraste es variable en cuanto al tamaño de sus cristales, los cuales muestran transiciones graduales entre tamaños, es cortado por filones delgados tipo pegmatíticos, con formas rectas y sinuosas y con bordes irregulares (Figura 15. b y c). Sus estructuras de hibridación están definidas por la infiltración de material tonalítico en poros de la textura original y localmente con feldespato potásico inmerso entre la mineralogía original. Hacia el contacto con la unidad de GHNO ocurre mediante una transición presumiblemente gradual con un parcial desmembramiento, difícil de determinar por sus similitudes composicionales. Contrastantemente, los contactos con las unidades de granitoides, por un lado, con la unidad GTH es más cortante, y por otro lado de parcial desmembramiento con la unidad de Solimán-Chafre.

En muestra de mano presenta texturas faneríticas inequigranulares de tamaño de grano variable entre grueso y medio con tamaños finos subordinados, que se relacionan a partir de transiciones graduales entre tamaños y con un enriquecimiento notable en ferromagnesianos, conforme se reduce su tamaño. Como se ha mencionado la estructura de “*mingling*” característica es infiltración en los poros de la textura original. La asociación mineral visible en orden de abundancia es, plagioclasa, clinopiroxeno, óxidos (magnetita/ilmenita), ortopiroxeno, y en los intersticios es posible observar anfíbol, cuarzo, biotita y plagioclasa.

Con respecto de su posición en el tiempo, se cuenta con un fechamiento de Rb-Sr realizado por Corona-Chávez (biotita-WR; *inprep*; 1999) en un gabro, quienes obtienen una edad de 56 ± 1 Ma, colocando esta unidad en un momento posterior al emplazamiento de las unidades anteriores. La geometría obtenida con la cartografía de esta unidad, nos muestra una estructura smin-cuadrada de carácter sub-marginal. Entra en contacto hacia el noreste con la roca encajonante donde se produce metamorfismo de contacto y/o metasomático, de temperatura variable. Comúnmente forma skarn y hornfels, de temperatura alta y moderada, así como alteraciones de baja temperatura representadas por solidificación. Así mismo al interior de la unidad, se cuenta con el desarrollo de auténticos filones de hierro con un claro control estructural (de rumbo E-W y Echados sub-verticales), ricos en magnetita y con sulfuros

subordinados tipo pirita, calcopirita y esfalerita asociados con granate (Figura 15. d). Al contacto con dichos filones y de manera local las rocas adquieren una estructura craquelada (Figura 15. d). Mientras que hacia el suroeste mantiene relaciones estructurales y petrológicas complejas de contactos transicionales, al contacto con la unidad GHNO y de un relativo desmembramiento hacia el noroeste al contacto con los granitoides de Solimán-Chafre.

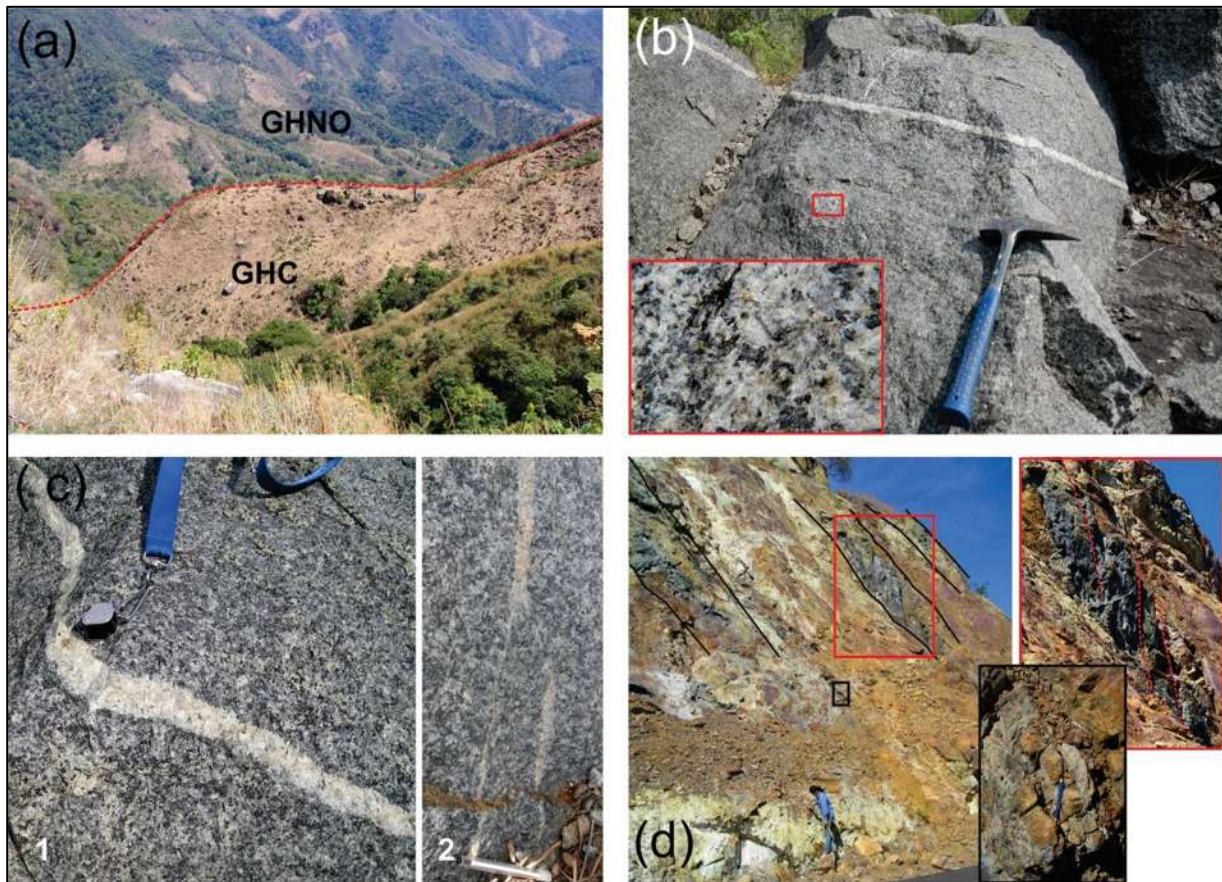


Figura 15. Fotos de la unidad GHC: (a) foto panorámica del contacto transicional con la unidad GHNO; (b) afloramiento de gabro en las inmediaciones de Puerto Caimán, que es cortado por un filón delgado, tonalítico con bordes irregulares y con un detalle de la textura enmarcado en rojo; (c) filones delgados tipo pegmatíticos con bordes irregulares, en la 1 blanquecino y con formas sinuosas y en la 2 de color rosa (rico en Kfs) y discontinuos; y (d) afloramiento en las inmediaciones de El Huizachito, donde se observa oxidción fuerte y el desarrollo de cuerpos filonianos, discontinuos, ricos en Mt con Sulf subordinados, que tienen un claro control estructural, señalado con líneas negras y con fracuramiento oblicuo resaltado con líneas rojas en el detalle enmarcado en rojo. Finalmente, en el detalle enmarcado en negro se observa la estructura craquelada relacionada con el contacto entre los filones y los gabros de la unidad.

4.2.5 Granodiorita-Tonalita Solimán-Chafre (GTSC)

La unidad GTSC es la unidad félsica dentro del CPA con una menor variación textural y composicional con una tendencia a enriquecimiento en máficos y a rocas de composición intermedia, definida por tonalitas, granodioritas y cuarzomonzodioritas.

Dentro del CPA la unidad GTSC es la que cuenta con una mayor área expuesta, aflorando en un área de 83.9 km², en forma de herradura. Tiene una gran área de contacto con la roca encajonante en el norte y este, extendiéndose hacia el sur con una relativa homogeneidad interna y con una tendencia gradual, transicional y de parcial desmembramiento de las unidades internas del complejo, con las que entra en contacto. En las inmediaciones del Puerto Solimán se cuenta con afloramientos de buena calidad, dominados por zonas boleas, distribuidas en laderas, por lo que se considera la localidad tipo. Sin embargo, también aflora en las cercanías de la comunidad de El Chafre en el camino que conduce a El Ocote y a La Piña, así como en el camino de Barranca del órgano a Puerto Chorohuira y en las inmediaciones del cerro de La Aguja (Figura 11).

De manera congruente con su homogeneidad relativa, presenta una estructura general masiva y con contactos transicionales, entre sus variaciones composicionales y con desarrollo moderado-débil de foliación magmática y fracturamiento. Hacia los contactos con las unidades gabraicas GTA, GHNO y GHC, esta unidad les produce un desmembramiento parcial formando estructuras de “*roof pendant*” hacia el interior de la misma (Figuras 11 y 16).

En muestra de mano presenta textura fanerítica, inequigranular de grano grueso a medio, con foliación magmática débil, definida por sus máficos y plagioclasa. En orden de abundancia se compone de plagioclasa, cuarzo, con feldespato potásico variable en ocasiones prácticamente ausente, anfíbol, clinopiroxeno y biotita (Figura 16 c).

La unidad GTSC se considera la unidad más joven del CPA, debido a las relaciones de contacto que guarda con las unidades internas del complejo. La geometría obtenida con su cartografía muestra principalmente una estructura de

margen hacia el noroeste y este del complejo, donde entra en contacto con la roca encajonante y hacia el interior del complejo con sus unidades como ya fue descrito anteriormente.

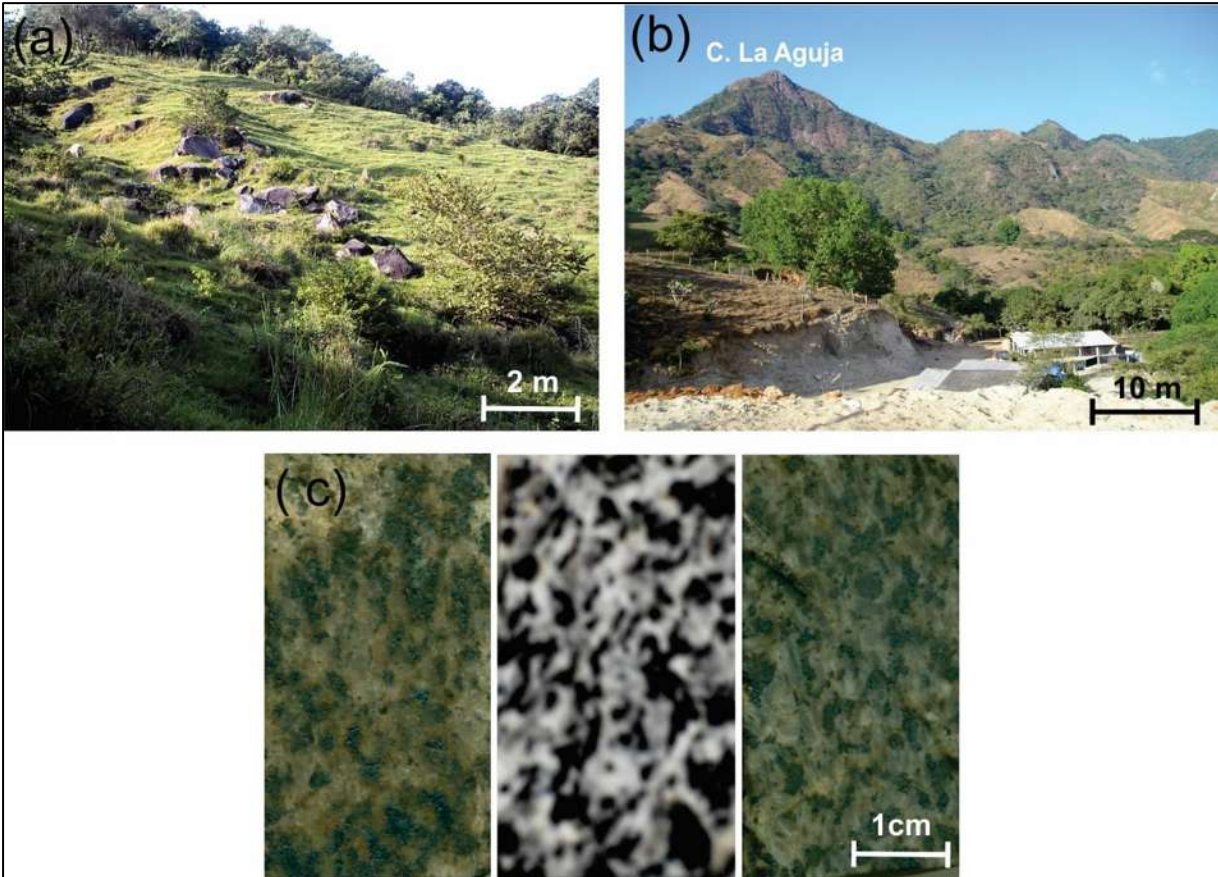


Figura 16. Fotos de la unidad GTSC: (a) boleos en las inmediaciones de Puerto Solimán; (b) Afloramiento en corte de camino en las inmediaciones de La Aguja, de fondo C. con el mismo nombre; y (c) texturas y variaciones composicionales, de litologías en la unidad, en muestra de mano, de izquierda a derecha presenta disminución de feldespatos potásicos.

4.3 Petrografía del CPA

A continuación, se presenta la descripción petrográfica de las 5 unidades propuestas para el CPA en el presente trabajo. Para la realización de las descripciones, se utilizan las abreviaturas de la Tabla 2, basadas en las propuestas en 2007 por la IUGS. En los casos cuando existen más de una generación de minerales asociadas con un mismo evento se distinguen entre sí, con letras mayúsculas del alfabeto en orden progresivo (e.g. Pl-A y Pl-B), y en los casos donde minerales del mismo tipo formen parte de dos asociaciones minerales distintas se colocarán números en forma ascendente para diferenciarlos (e.g. Am1, Am2...).

Mineral		Abreviación
Español	Inglés	
Anfíbol	Amphibole	Am
Apatito	Apatite	Ap
Biotita	Biotite	Bt
Clinopiroxeno	Clinopyroxene	Cpx
Clorita	Chlorite	Chl
Cuarzo	Quartz	Qz
Epidota	Epidote	Ep
Feldespato alcalino (potásico)	Alkali feldspar	Kfs
Muscovita	Muscovite	Ms
Ortopiroxeno	Orthopyroxene	Opx
Óxidos	Oxide	Ox
Plagioclasa	Plagioclase	Pl
Titanita (Esfena)	Titanite	Ttn
Zircón	Zircon	Zrn

Tabla 2. Resumen de abreviaturas de los minerales, modificada de las propuestas por la IUGS, (2007).

En el anexo IV se presenta la tabla A1, que muestra una síntesis petrográfica en la que se incluyen muestras de las distintas porciones del CBA, pertenecientes al CPA, al EPFM y a los AT. También se presentan descripciones en extenso de las mismas.

4.3.1 Gabro Tierras Aradas (GTA)

Esta unidad exhibe texturas, holocristlinas, hipidiomórficas e inequigranulares,

con variación de grano entre grueso, medio y fino. Presenta un enriquecimiento en minerales máficos, conforme su tamaño de grano disminuye. Las porciones de menor tamaño de grano, tienden a presentar mayor desarrollo de foliación magmática, que puede ser parcialmente interrumpida por la ocurrencia de fenocristales de plagioclasa ~ 1 cm y en ocasiones de Cpx, Am y Opx de 4 a 6 mm. Es común observar texturas poiquilíticas en sus distintas fases minerales. Estas texturas pueden ser afectadas parcialmente, hacia sus contactos con otras unidades del CPA, principalmente con la unidad GHNO, donde comúnmente presentan recristalización dinámica y estructuras de infiltración de poro (*"porous flow"*), en las que se encuentra asociada una mineralogía secundaria.

La asociación mineral primaria se compone de Pl1 con variaciones entre 30 y 60%, Cpx con variaciones entre 20 y 50%, Am1 de 30 a 40% y en ocasiones hasta ~ 60%, Ox1 entre 3 y 4% y Opx, con concentraciones ~1%. Presenta como minerales accesorios Ap y en ocasiones Ttn. Es importante señalar que, aunque se puede observar en una misma muestra esta asociación mineral completa, la generalidad en el caso de los máficos, es la predominancia del Cpx ± Opx y ausencia de Am1 y viceversa. Estas proporciones de minerales esenciales, clasifican a esta unidad como gabros y gabros de anfíbol.

En general los minerales son subhedrales, y menos común anhedrales y euhedrales, a excepción de los Ox que son tendencialmente anhedrales. Los contactos entre cristales pueden ser irregulares, entre caras definidas o indentados. El tamaño de los cristales tiene una variación entre 0.1 y 4 mm y en algunas ocasiones de hasta 10 mm. En general, los contactos entre los minerales de la asociación primaria sugieren condiciones de estabilidad, aunque algunas veces se observan dos generaciones diferentes, tanto de Pl1 como de Cpx. En estos casos se pueden observar contactos de inestabilidad de una de las generaciones de ambas fases, con el resto de minerales. Las diferencias entre generaciones están relacionadas con el tamaño de los cristales, con el fracturamiento interno, y con la presencia o ausencia de alteración (Figura 17). En el caso de la Pl1, también se consideró el desarrollo o no de texturas de tamiz y en parches. Por su parte los Ox1 ocurren en sitios intersticiales

y como inclusiones. Los minerales accesorios pueden estar asociados con la mineralogía primaria y secundaria.

En relación con las texturas de recrystalización, afectan principalmente a las Pl1, así mismo dichos minerales muestran texturas de deformación como crenulación y flexionamiento o dislocamiento cristalino de las maclas tipo albita y albita-Carlsbad (Figura 17. C).

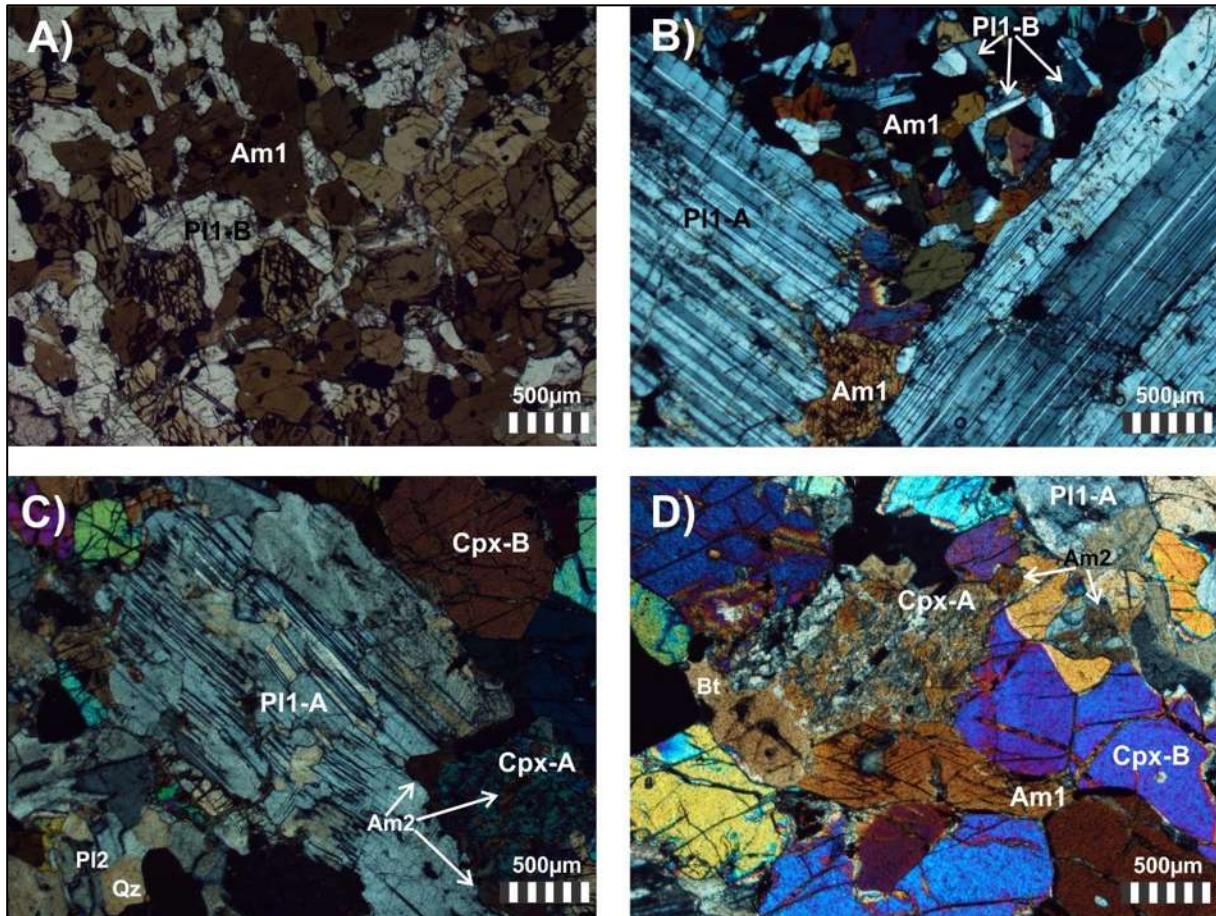


Figura 17. Microfotografías de la unidad GRTA: A) foliación magmática definida por Pl1-B y Am1; B) fenocristales de Pl1-A con contactos de inestabilidad, con las Pl1-B y los Am e interrumpiendo la orientación de estos; C) Pl1-A con recrystalización dinámica, dos generaciones de Cpx y minerales de la asociación secundaria en sitios intersticiales y como coronas; y D) mineralogía primaria Cpx-A, Cpx-B, Am1 y Pl1-A y secundaria Bt y Am2 con contactos de inestabilidad.

La mineralogía secundaria se refiere a una asociación de $Am2 + Bt + Pl2 + Qz \pm Ox2$, que se estima $\leq 5\%$ en conjunto. Esta asociación ocurre en texturas de infiltración tipo “porous flow”, reemplazando parcialmente los bordes de la asociación

primaria. Ocurren como cristales subhedrales-anhedrales y con tamaños entre 50 μm y 3.5 mm. Los Am2 varían de verde a café y en ocasiones son incoloros a verde pálido. Este último es común que se asocie con la Bt, típicamente formando bordes coroníticos y en zonas de clivaje en Cpx, Ox1, Am1 y Opx.

La alteración es generalmente débil y variable, está relacionada con un reemplazamiento de Pl1 por sericita y de Cpx por epidota.

4.3.2 Gabro híbrido Nuez-Otate (GHNO)

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior la unidad GHNO es la que presenta mayor heterogeneidad dentro del CPA, en coherencia con ello, las observaciones microscópicas son las siguientes: Texturalmente se observa holocristalina, hipidiomórfica-alotriomórfica e inequigranular, de grano medio, fino y grueso. Es común el desarrollo de foliación magmática con variación entre moderada y bien desarrollada, relacionada con plagioclasa y sus máficos. Estas texturas son comúnmente afectadas por la interacción entre los componentes máficos y félsicos característicos de esta unidad, relacionado con el desarrollo de feldespato potásico inmerso entre la mineralogía primaria de las porciones máficas, invariablemente en desequilibrio y el subsecuente desarrollo, de abundantes estructuras de infiltración de poro ("*porous flow*"), que en suma imprimen en los volúmenes máficos un aspecto de desequilibrio entre sus minerales (Figura 18). Es muy común el desarrollo de recristalización dinámica, con mayor influencia en las porciones félsicas.

Como se mencionó en el subcapítulo anterior, hacia el contacto con la estructura de Chanviejo, se desarrolla una zona milonítica y en su periferia se sigue observando su influencia, relacionada con microzonas de cizalla, con formas sinuosas y con zonas de dilatación, que desarrollan foliación interna, y que en ocasiones ocurren como distintas familias oblicuas entre sí (Figura 18 F). En estos casos es posible observar el desarrollo de acumulados policristalinos de cuarzos craquelados. Con respecto de su asociación mineral, se consideran dos asociaciones minerales primarias cuando la porción es predominantemente máfica y cuando es predominantemente félsica. La asociación mineral máfica en orden de abundancia es: Pl1 con concentración entre 40 y 70%, Cpx con variación entre 20 y 30%, Am1 con concentración de 20 a 40%, Opx

con concentración entre 2 y 8% y Ox con variación de 1 a 5%. Esta composición general varía en la ocurrencia de máficos que puede o no estar presentes simultáneamente. De acuerdo al porcentaje de los minerales esenciales en este litotipo, se clasifican entre gabros, gabros de anfíbol, dioritas, cuarzodioritas y cuarzomonzodioritas. Es importante señalar que esta cuantificación se ha realizado únicamente tomando en cuenta asociaciones primarias.

Por su parte las porciones félsicas presentan una asociación mineral general de: plagioclasa con concentración que varía de 25 a 45%, feldespato potásico con concentración entre 5 y 30%, cuarzo con variación entre 8 y 30, anfíbol con concentración entre 5 y 18%, biotita (Bt) con variaciones entre 3 y 8% y en ocasiones con Cpx con concentraciones ~1%. Con estos porcentajes las rocas se clasifican como granodioritas, tonalitas, monzonitas y cuarzomonzonitas.

como minerales accesorios se observan Ap, Zrn y Ttn; en el caso de los félsicos también se pueden observar Ox. Generalmente presentan formas euhedrales-subhedrales y típicamente ocurriendo como inclusiones.

Las fases minerales presentan formas anhedrales a subhedrales y escasamente euhedrales. Los contactos entre cristales son indentados e irregulares y de forma subordinada entre caras definidas. Los tamaños presentan una variación de 0.2 a 4.5 mm y en ocasiones de hasta 9.5 mm. Particularmente las Pl1 y Cpx, comúnmente ocurren como dos generaciones distintas con dimensiones y estructuras internas diferenciadas. En el caso de los Cpx, la primera generación Cpx-A presentan remplazamiento de Am1, por el contrario, los Cpx-B están en equilibrio con el Am1. Por su parte, las Pl1 presentan diferencias texturales entre sus generaciones, las Pl1-A con texturas de parches y/o de tamiz (Figura 18). Por otra parte los Am1 son generalmente de color marrón con variaciones de tono entre claros e intensos y donde se encuentra alterado se torna a color verde e incluso llegando a ser incoloro.

Con respecto de la recrystalización es común observarla en las Pl1 de las porciones máficas y en las porciones félsicas afectando toda su mineralogía. Comúnmente se asocia con texturas de deformación como dislocamiento y flexión de los cristales, así como avance de grano, formando límites indentados entre los cristales.

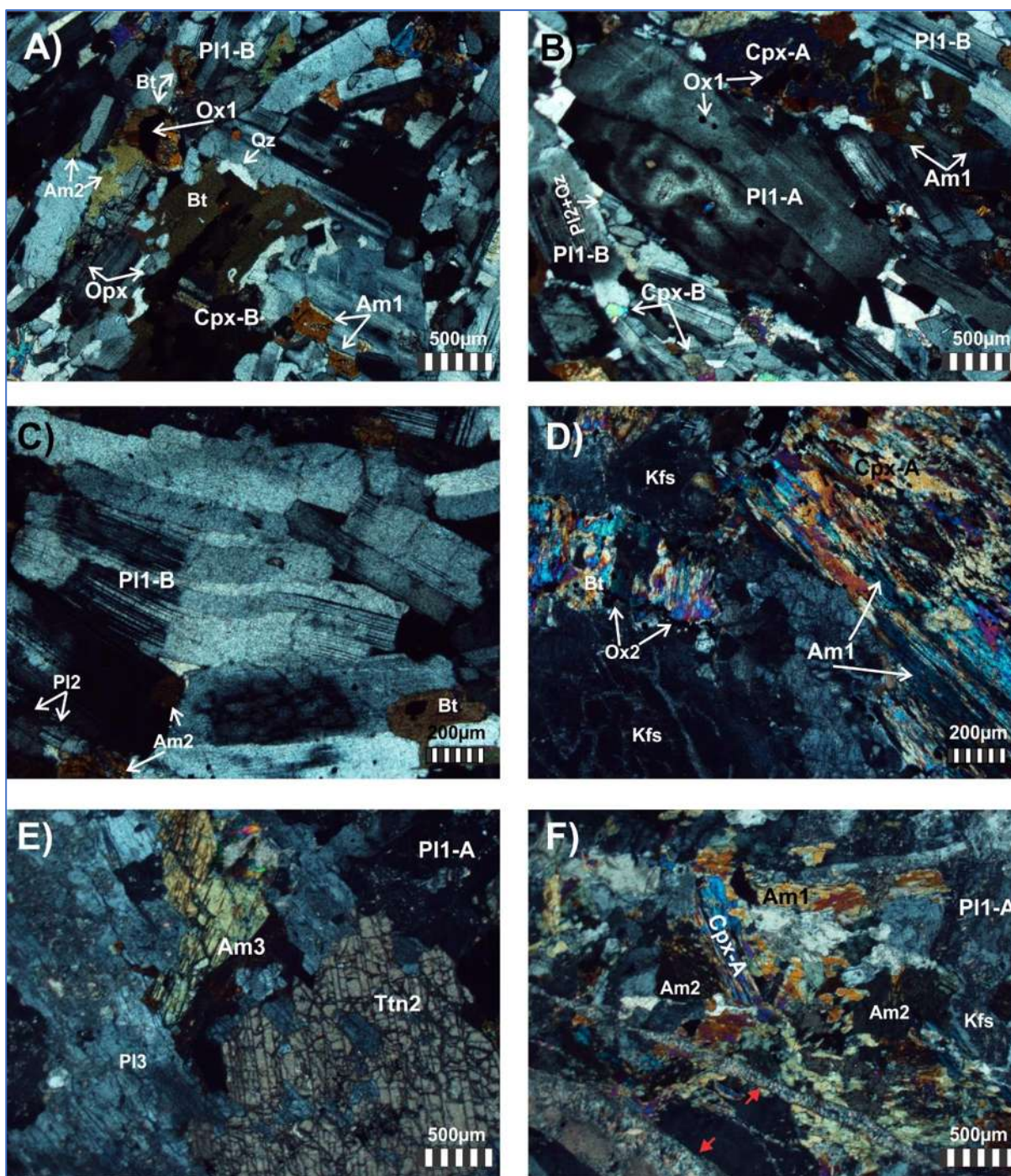


Figura 18. Microfotografías de la unidad GHNO: A) foliación magmática definida por PI1-B, Cpx-B y Opx, más evidente en la esquina superior izquierda, así como Cpx-B y Ox1 con coronas de Bt y Opx con corona parcial de Am2; B) PI1-A con texturas en parches y sutil de tamiz, acompañada por PI2 con recrystalización, Cpx-A con borde de Am1 y relacionado con la ocurrencia de la asociación PI2+Qz en estructuras de infiltración de poro (“porous flow”); C) PI1-B con su macla flexionada; y D) Kfs con contactos irregulares con Cpx-A remplazado parcialmente por Am1 y que además, presenta finos cristales Ox2 creciendo en su borde; E) vena

pegmatoide con un contacto indentado con Pl1-A, compuesto por Pl3 que envuelve a Am3 y Ttn2; y F) interacción de mineralogía primaria (Pl1-A, Cpx-A y Am1) con mineralogía secundaria (Kfs y Am2), que son cortadas por micro zonas de cizalla señaladas con flechas rojas.

Dentro de las porciones predominantemente máficas, existe una asociación mineral secundaria, conformada por, Kfs + Am2 + Bt + Pl2 + Qz ± Ox2. En conjunto puede formar una proporción de la roca total que varía entre 2 y 10%. Esta asociación ocurre en estructuras de infiltración tipo “*porous flow*”. En general presentan formas que van de anhedrales a subhedrales, con tamaños entre 40 µm y 4 mm. Comúnmente se observa el desarrollo de coronas de Am2 y/o Bt, que pueden estar acompañados por Ox2, alrededor de Cpx, Ox1 y Opx, (Figura 18).

La alteración es variable, entre moderada y débil. La más importante es la producida por Kfs distribuida por amplias zonas del cuerpo de manera prevasiva y asociadas con estructuras frágiles que la controlan. También se observa alteración tipo argílica, afectando a Pl y Kfs. Finalmente es posible observar alteración incipiente de Ep y Chl.

4.3.3 Granodiorita-Tonalita Huitzontla (GTH)

En esta unidad las texturas microscópicas son holocristalinas, hipidiomórficas e inequigranulares y en ocasiones seriadas, con variación de grano de medio a fino y subordinado grueso. Presentan foliación magmática, la cual tiene desarrollo variable entre moderado y débil. En algunas ocasiones se puede observar el desarrollo de acumulaciones de cuarzo policristalino con texturas de recristalización dinámica, en sitios intersticiales, donde pueden estar acompañados por plagioclasa (Figura 19).

La asociación mineral está compuesta por Pl entre 40 y 60%, Qz entre 15 y 25%, Kfs que varía de 5 a 15 %, Am entre 4 y 18 %, Bt entre 2 y 8% y en ocasiones Cpx pudiendo formar hasta ~6% y Opx ~1%. Como minerales accesorios se presentan típicamente Ox, Ap, Ttn, y Zrn. Con base en los porcentajes de los minerales esenciales, la unidad GTH se clasifica como granodiorita y tonalita con tendencias hacia las cuarzomonzodioritas y cuarzomonzonitas.

Los minerales se presentan con formas subhedrales a anhedrales. Los límites

intercristalinos pueden ser irregulares, entre caras definidas y subordinadamente indentados. Sus tamaños oscilan entre 100 μm y 6 mm. Algunas ocasiones es posible diferenciar dos generaciones de plagioclasa, con tamaños de grano contrastantes, además, una cuenta con formas tendencialmente más definidas (PI-B), y la otra con desarrollo de texturas tamiz (PI-A). cuando se cuenta con la presencia de Cpx y Opx, es común que presenten reemplazamiento de Am; en algunos casos quedando solo como núcleos relictos dentro del Am (Figura 19). Con respecto de los minerales accesorios generalmente ocurren en sitios intersticiales o como inclusiones, presentando formas subhedrales a euhedrales y de dimensiones $\leq 200 \mu\text{m}$.

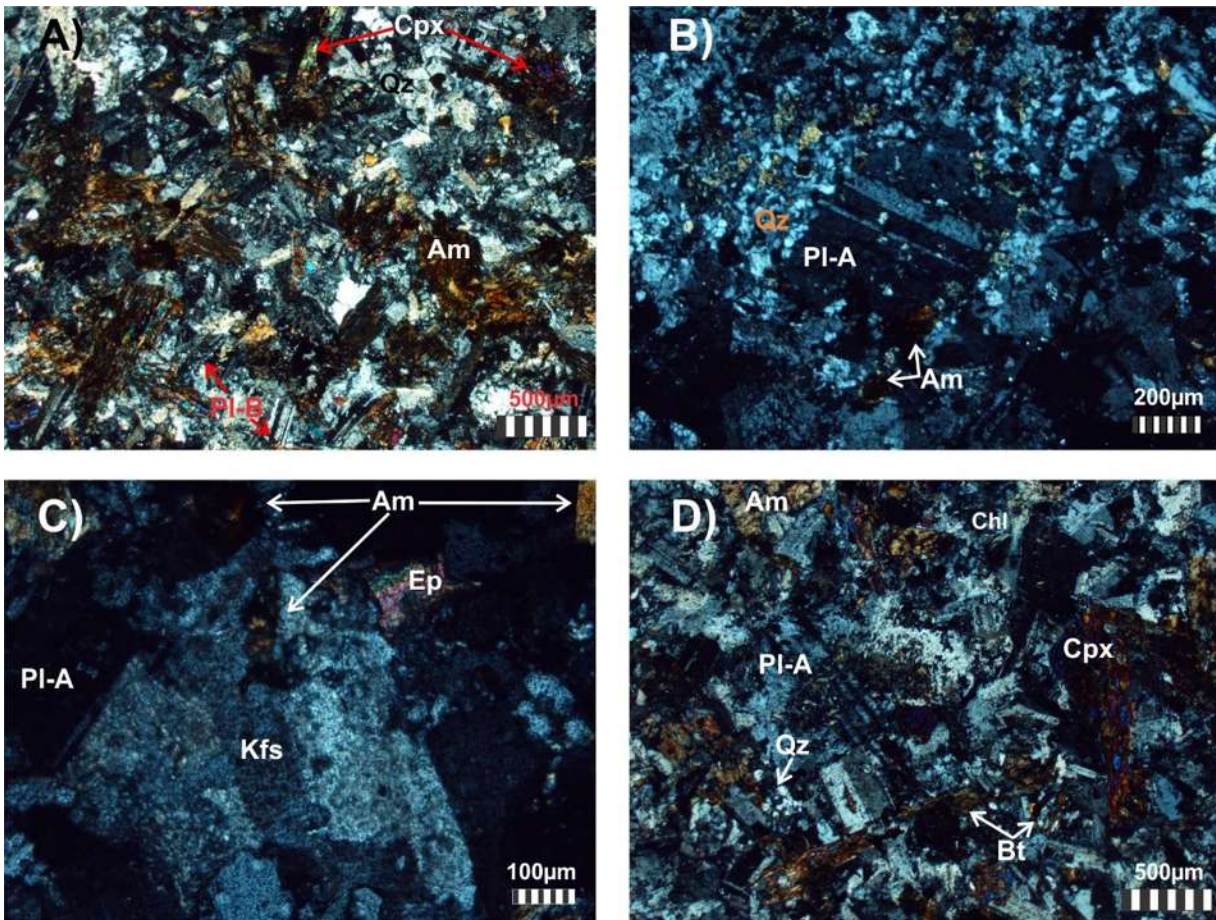


Figura 19. Microfotografías de la unidad GTH: A) foliación magmática definida por PI-B y Am, acompañados por Qz y Cpx reemplazado por Am, con alteración por intemperismo; B) fenocristal de PI-A rodeado por cuarzo policristalino, con texturas de recrystalización; C) Kfs en equilibrio con PI-A y con Ep creciendo en su borde; y D) asociación mineral PI + Qz + Kfs + Am + Bt + Cpx, también se observa alteración de Chl con hábito radial.

Acerca de la alteración, ésta es variable y en algunos casos asociada con intemperismo, siendo generalmente débil a moderada relacionada con argilización de Pl y Kfs, a su vez, es posible observar débiles remplazamientos de Chl y Ep (Figura 19).

4.3.4 Gabro híbrido Caimán (GHC)

En esta unidad se observan texturas holocristalinas, hipidiomórficas e inequigranulares de grano grueso a medio y en menor proporción de grano fino. Característicamente estas texturas están afectadas por estructuras de infiltración tipo “*porous flow*”, donde se observa una asociación mineral secundaria, así como recristalización dinámica y deformación frágil de baja intensidad (Figura 20).

Con respecto a su asociación mineral primaria se compone de Pl1 entre 55 y 70%, Cpx con variación de 15 a 25%, Opx de <1 a 4% y Ox1 entre 3 y 8%. Como minerales accesorios se observa Ap y en menor abundancia Zrn. Estos últimos comúnmente asociados con Bt, aunque también ocurren relacionados con la Pl1. Basados en los porcentajes de los minerales esenciales esta unidad se clasifica como gabro, sin embargo, se cuenta con proporciones variables de la asociación mineral secundaria, característicos en esta unidad y que pueden mover la composición hacia los campos de las monzodioritas, cuarzodioritas y cuarzomonzodioritas.

Típicamente los minerales presentan formas subhedrales, anhedrales y menos frecuentemente euhedrales. Los contactos entre cristales suelen ser irregulares, entre caras definidas e indentados. El tamaño de los cristales varía entre 4 y 10.5 mm y en menor proporción con tamaños finos de hasta 250 μm . Se pueden observar dos generaciones, tanto de Pl1 (Pl1-A y Pl1-B) como de Cpx (Cpx-A y Cpx-B), las cuales presentan diferencias en sus dimensiones, entre sus relaciones de contacto y texturales. En el caso de las Pl1 los contactos entre las dos generaciones suelen ser de inestabilidad y mientras que la Pl1-A está en equilibrio con los Opx, la Pl1-B no lo está. Una característica determinante, es la presencia de texturas en parches y en ocasiones de tamiz en las Pl-A y la ausencia de las mismas en las Pl1-B. Por su parte los Cpx-A se diferencia principalmente por el mayor grado de fracturamiento y alteración con respecto de los Cpx-B, siendo estos últimos generalmente de menor

tamaño. Finalmente, los minerales accesorios se relacionan con ambas asociaciones minerales, ocurriendo como inclusiones y en sitios intersticiales.

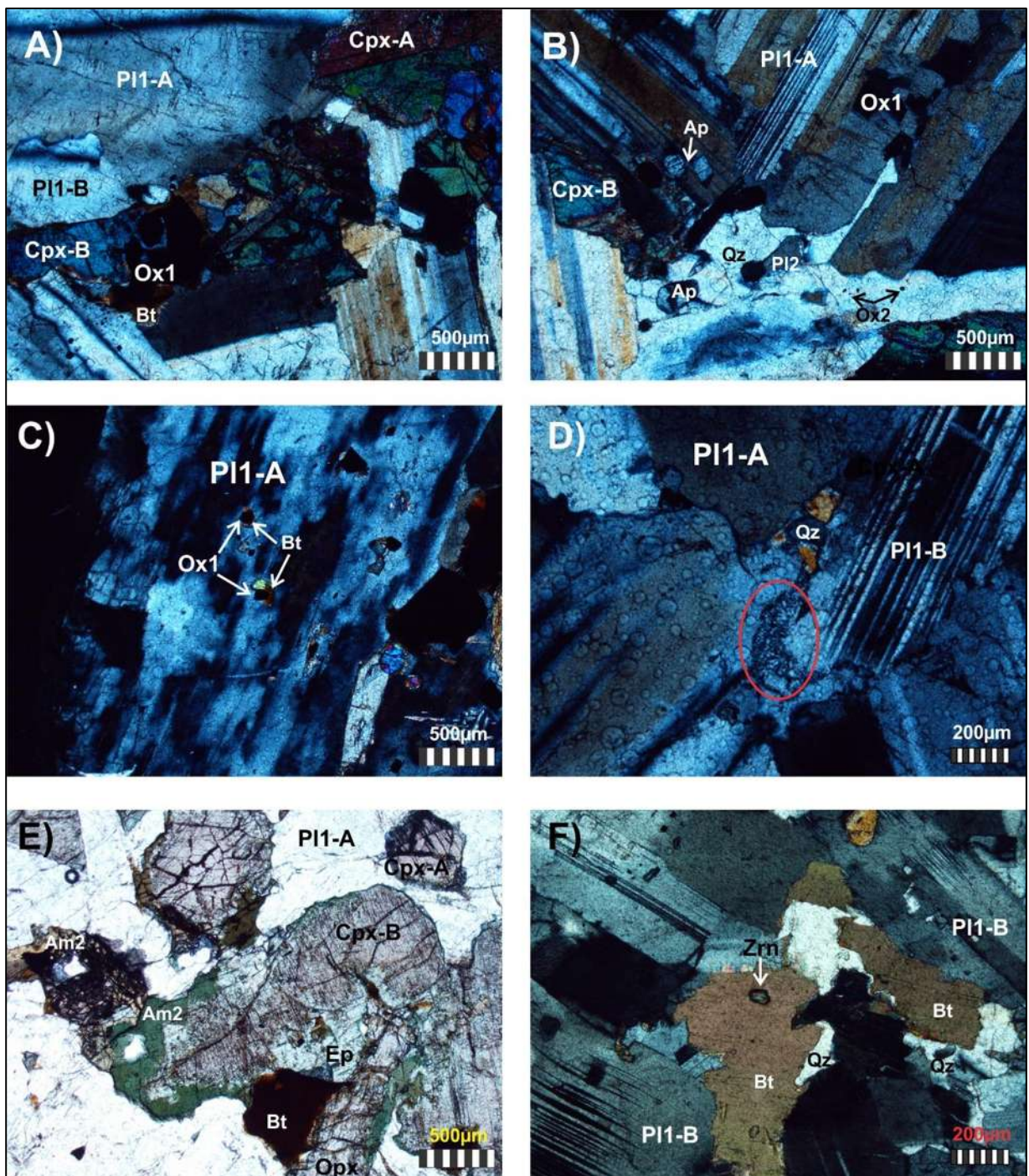


Figura 20. Microfotografías de la unidad GHC: A) cristales de PI1-A con contactos irregulares (inestables) con el resto de la mineralogía. Cpx-A y Cpx B con contactos irregulares y relacionados con Ox1 con bordes coroníticos de Bt; B) mineralogía primaria (PI1-A, Cpx y Ox1), en contacto con mineralogía secundaria (Qz + PI2) mediante una estructura de infiltración

("porous flow"); C) fenocristal de Pl1-A con textura en parches, a su vez con inclusiones de Ox1, estos últimos presentan bordes coroníticos de Bt; D) Pl1-B con textura mirmequítica (señalada con un ovalo rojo), al con tacto con Qz; E) Cpx-A, Cpx-B y Opx con remplazamientos de Am2 y Bt, además de alteración de Ep en Cpx-B; y F) Pl1-B en contacto con Qz y Bt de la mineralogía secundaria. Es evidente la diferencia entre los contactos indentados entre la Bt y la Pl1-B y los contactos tendencialmente rectos entre la Bt y el Qz.

La recrystalización dinámica afecta principalmente a Pl1 y cuarzo, asociada con el flexionamiento, la dislocación de los cristales y desarrollo de texturas de invasión de grano (Figura 18). por su parte la deformación frágil está asociada con la estructura fracturada y acumulaciones policristalinas de Qz.

La asociación mineral secundaria, que está formada por Qz + Bt + Am + Pl2 + Ox2 $\pm$ Kfs, puede representar entre 5 y 12%, típicamente ocurriendo en estructuras de infiltración tipo "*porous flow*" reemplazando a la mineralogía primaria. En general presentan formas anhedrales a subhedrales, con tamaños entre 30 μ m y 6 mm. La Bt y/o el Am2, comúnmente forman bordes coroníticos, parciales o totales alrededor de Cpx, Ox1 y Opx. Es común el desarrollo de texturas mirmequíticas en los sitios donde se encuentra en contacto la asociación Qz + Pl2 con las Pl1 (Figura 20).

Con respecto de la alteración es generalmente débil asociada con remplazamientos de Ep en Cpx y localmente de Kfs.

4.3.5 Granodiorita-Tonalita Solimán-Chafre (GTSC)

Esta unidad presenta texturas holocristalinas, hipidiomórficas e, inequigranulares y en ocasiones seriadas, con variación de grano de medio a grueso y subordinado fino. Se puede observar foliación magmática, la cual presenta desarrollo variable entre moderado y débil. En algunas ocasiones se puede observar el desarrollo de acumulaciones de cuarzo policristalino con estructura fracturada, en sitios intersticiales (Figura 21).

La asociación mineral está compuesta por Pl entre 40 y 60%, Qz entre 15 y 25%, Kfs que varía de 5 a 20%, Am entre 5 y 20 %, Bt entre 1 y 6% y en ocasiones el Cpx puede formar hasta ~8% y Opx ~1%. Como minerales accesorios se presentan típicamente Ox, Ap, Ttn, y Zrn. Con base en los porcentajes de los minerales esenciales, la unidad GTSC se clasifica como tonalitas y granodioritas con tendencias hacia las cuarzomonzodioritas y cuarzomonzonitas.

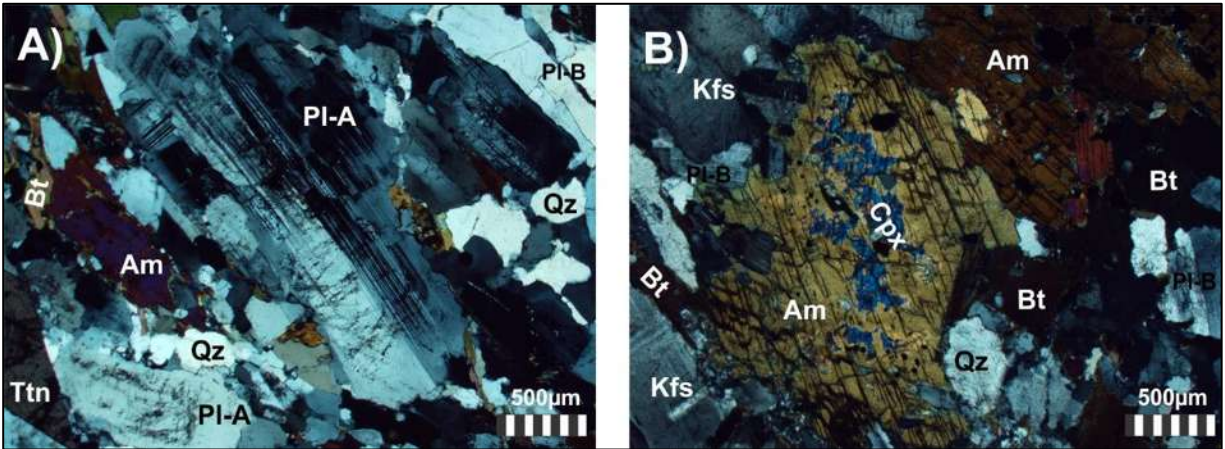


Figura 21. Microfotografías de la unidad GTSC: A) foliación magmática definida por PI-A, PI-B y Am, también se observan acumulaciones de Qz policristalino; B) fenocristal de Am con núcleo de Cpx.

Los minerales se presentan con formas subhedrales a anhedrales. Los contactos intercrystalinos pueden ser irregulares, entre caras definidas y subordinadamente indentados. Su tamaño oscila entre 0.4 y 6 mm. Es posible diferenciar al menos dos generaciones de plagioclasa, con tamaños de grano diferenciados y una de ellas con desarrollo de texturas tamiz (PI-A). Por su parte, los Cpx y Opx, es común que presenten remplazamientos de Am, en algunos casos quedando solo como núcleos relictos dentro del Am (Figura 21). Con respecto de los minerales accesorios generalmente ocurren en sitios intersticiales o como inclusiones, presentando formas subhedrales a euhedrales y de dimensiones variables entre 60 y 400 µm.

Las estructuras fracturadas de los Qz están relacionadas con deformación frágil, post-magmática (Figura 21).

Con respecto a la alteración ésta es en general débil relacionada con argilización de Pl y Kfs, así como de reemplazo de Chl en Bt.

4.4 Geoquímica

En este capítulo se analizan datos de análisis geoquímicos correspondientes con muestras de roca del Complejo Batolítico Aquila (CBA), haciendo énfasis en la comparación de los patrones de comportamiento de las porciones máficas de mayor importancia en el Complejo Plutónico Aquila (CPA), con respecto de las porciones félsicas dominantes en el Ensamble Plutónico Faro-Maruata (EPFM) y en los Apófisis de Tizupan (AT). En la tabla 3 se muestran los resultados de los análisis de 29 muestras, de las cuales 15 pertenecen a unidades del CPA, 12 a unidades del EPFM y 2 a los AT. En la tabla 4 se muestran los resultados del análisis de elementos traza de 30 muestras, de los cuales 16 corresponden al CPA, 12 al EPFM y 2 a los AT. Es importante precisar que 14 de los datos tanto de elementos mayores como de elementos traza son tomados de otros trabajos, 11 correspondientes a los presentados por Castro-Ornelas (2013) y 3 presentados por Schaaf (1990), que son señalados en las tablas 3 y 4. La localización de las muestras se presenta en el mapa de la figura 22, donde se observan los límites del CPA y del EPFM, diferenciados por polígonos de distinto color. La petrografía de estas muestras se presenta sintetizada en la tabla A1 y detallada en las fichas petrográficas, ambas en el anexo IV.

Es importante señalar que la clasificación de las muestras, en las tablas 3 y 4 y en los diagramas presentados a continuación, toma en cuenta la división del CBA en tres porciones, antes señaladas, así como en la división de unidades propuesta en el presente trabajo para el CPA y las unidades propuestas para el EPFM por Castro-Ornelas (2013) que se presenta en el anexo III.

4.4.1 Elementos mayores y menores

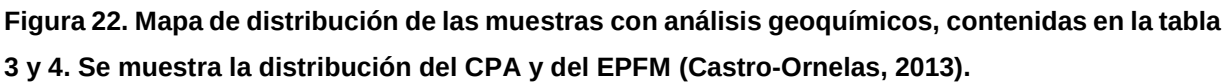
Con relación a los elementos mayores y menores las muestras presentan una variación de SiO_2 (41.1-69.6 wt%), Na_2O (1.4-7.3 wt%) y K_2O (0.05-3 wt%) con una tendencia de enriquecimiento en las unidades del EPFM y los AT, con respecto a las unidades del CPA. En relación con los contenidos de CaO (2.5-14.5 wt%), FeO (total; 1.2-15.2 wt%), MgO (0.4-7 y hasta 14.2 wt%), MnO (~0.20 wt%), y TiO_2 (0.2-2.2 wt%), se observa un tendencial enriquecimiento en las unidades correspondientes con el CPA con excepción de la muestra AQ-07 clasificada petrográficamente como grano-

		Clave	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	#Mg	CaO/ Al ₂ O ₃	Cita
Unidades del CPA	GTA	AQ72A	45.32	1.30	21.10	12.34	0.14	5.45	10.33	2.73	0.15	0.34	0.59	0.31	0.49	3
		UL28	43.66	1.16	14.88	13.61	0.20	14.19	10.29	1.52	0.20	0.05	0.16	0.51	0.69	3
		UL31	41.72	2.16	18.25	15.25	0.20	6.93	11.04	2.35	0.31	0.81	0.80	0.31	0.61	3
		AQ74	46.36	0.19	24.38	5.39	0.09	6.85	14.50	1.37	0.05	0.02	0.60	0.56	0.59	3
	GHNO	AQ03	51.42	0.94	19.43	8.65	0.12	4.62	9.38	4.05	0.41	0.36	0.40	0.35	0.48	3
		AQ07	63.45	0.87	16.15	5.35	0.07	1.89	4.27	4.48	2.96	0.24	0.10	0.26	0.26	3
		AQ05A	52.61	0.90	19.81	7.40	0.12	4.51	8.97	4.43	0.56	0.26	0.20	0.38	0.45	3
		AQ05B	41.08	1.75	20.02	15.04	0.14	6.65	11.53	2.37	0.60	0.31	0.30	0.31	0.58	3
		AQ09	53.01	1.04	18.73	9.38	0.14	4.06	8.24	4.07	0.68	0.23	0.20	0.30	0.44	3
		AQ64	55.26	0.97	19.16	8.11	0.13	3.03	7.06	4.38	1.21	0.27	0.46	0.27	0.37	3
		UL22	52.52	1.08	18.78	8.95	0.10	4.63	7.76	4.82	0.39	0.22	0.67	0.34	0.41	3
	GTH	AQ57	56.33	1.11	16.67	7.09	0.09	4.17	4.89	5.12	1.62	0.34	2.51	0.37	0.29	3
	GHC	AQ01	51.20	2.03	16.87	11.30	0.14	3.72	8.66	3.68	1.14	0.56	0.40	0.25	0.51	3
		Mi-05	54.35	1.36	17.88	8.66	0.11	2.77	7.53	4.27	1.59	0.64	0.09	0.24	0.42	3
		AQ69	55.03	1.38	17.42	9.32	0.15	3.85	7.05	3.85	1.54	0.46	-0.08	0.29	0.40	3
Unidades del EPFM	MGPC	AQ-25	66.73	0.38	17.21	2.87	0.05	0.89	3.61	5.30	2.09	0.14	0.50	0.24	0.21	2
		AQ-29	59.38	0.77	17.35	6.57	0.10	2.94	6.03	4.26	1.56	0.20	0.60	0.31	0.35	2
		AQ-30	61.44	0.73	16.78	5.43	0.08	2.65	5.02	4.56	2.12	0.18	0.80	0.33	0.30	2
	GF	MS34	66.80	0.48	16.96	2.94	0.07	0.91	3.35	5.15	2.02	0.15	0.47	0.24	0.20	1
		AQ-20	67.00	0.41	16.77	3.01	0.04	0.91	3.55	5.08	2.31	0.16	0.50	0.23	0.21	2
		AQ-21	66.35	0.45	17.01	3.13	0.05	1.03	3.61	5.38	2.14	0.15	0.50	0.25	0.21	2
	GO	UL38(AQ48)	65.37	0.59	17.10	4.09	0.06	1.23	4.00	4.98	1.94	0.20	0.32	0.23	0.23	2
	MCE	UL42	64.79	0.54	17.58	4.02	0.06	1.27	4.23	5.05	1.87	0.19	0.32	0.24	0.24	2
		UL45	66.97	0.39	17.48	3.08	0.04	0.75	3.24	5.17	2.19	0.14	0.64	0.20	0.19	2
	GTM	AQ31	69.25	0.32	16.34	2.57	0.05	0.47	2.91	5.15	2.41	0.12	0.34	0.15	0.18	2
AT	MMM	AQ-22	69.10	0.28	16.43	2.17	0.02	0.48	2.54	5.31	2.77	0.08	0.60	0.18	0.15	2
		AQ-24	68.18	0.31	16.65	2.45	0.05	0.71	3.03	5.28	2.42	0.12	0.60	0.22	0.18	2
		MS35	69.63	0.28	16.61	1.98	0.06	0.44	2.61	5.52	1.96	0.08	0.00	0.18	0.16	1
		MS36	69.61	0.29	16.37	1.23	0.02	0.64	2.56	7.33	0.52	0.07	0.60	0.34	0.16	1

Tabla 3. Concentración en wt% de elementos mayores y menores de muestras pertenecientes al CBA. Están divididos en tres grupos separados en la tabla por líneas oscuras gruesas, que corresponden con el CPA, el EPFM y los AT. A su vez, el CPA y el EPFM están separados en unidades. Las unidades del CPA son: Gabro Tierras Aradas (GTA); Gabro híbrido Nuez-Otate (GHNO); Granodiorita-Tonalita Huitzontla; y Gabro híbrido Caimán (GHC). El EPFM está representado con muestras de las unidades de: Monzogranito-Granodiorita Pomaro-Coire (MGPC); Granodiorita Faro (GF); Granodiorita Ostula (GO) Monzogranito Coire-Estopila (MCE); y Monzogranito Maruata-Motín (MMM), las unidades del EPFM son las definidas por Castro-Ornelas (2013). Los valores de FeO representan el hierro total reportado como Fe³⁺. Se presentan datos de 1: Schaaf (1990); 2: Castro-Ornelas (2013); y 3: este trabajo.

		Clave	Cr	Sc	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Au	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	P	Ti	Sn	Sb	Tl	Li	Cita			
Unidades del CPA	GTA	AQ72A	46.8	23.0	1.5	145.6	0.9	99.8	44.1	-	-	101.1	0.4	37.3	-	22.7	0.4	0.7	2.5	910.7	-	0.1	-	381.6	0.6	13.8	8.2	3.4	8.8	1.4	7.8	2.1	0.9	2.1	0.3	1.7	0.3	0.8	-	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	3			
		UL28	737.0	35.7	0.7	234.1	0.7	100.5	268.1	-	-	69.2	0.3	69.5	-	16.0	0.8	1.3	3.0	461.9	0.1	0.1	-	308.5	0.2	24.8	14.3	2.3	7.8	1.5	8.6	2.7	1.0	2.9	0.4	2.7	0.5	1.4	-	1.2	0.2	-	-	-	-	-	-	3			
		UL31	104.8	39.0	0.6	236.6	1.2	108.0	50.2	-	-	150.1	0.8	40.5	-	23.0	2.5	6.3	3.2	665.4	0.3	0.2	0.1	432.7	0.2	64.5	41.9	13.8	39.5	7.0	35.0	9.2	2.2	9.0	1.3	7.8	1.5	3.9	-	3.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-	3		
		AQ74	234.1	11.3	1.6	19.2	0.8	30.4	78.7	-	-	60.9	0.4	26.7	-	15.6	0.3	0.1	2.0	674.1	-	0.1	-	69.5	0.4	12.3	4.3	2.1	4.9	0.7	3.7	0.9	0.5	1.0	0.2	0.9	0.2	0.4	-	0.4	0.1	-	-	-	-	-	-	-	3		
	GHNO	AQ03	13.7	25.0	0.3	20.2	1.1	31.0	4.4	-	-	268.5	1.0	20.5	-	21.0	0.9	1.7	3.6	698.4	0.1	0.2	-	267.0	0.1	25.2	14.3	7.6	18.2	2.4	12.0	2.8	1.1	2.9	0.5	2.8	0.5	1.4	0.2	1.4	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
		AQ07	20.5	13.0	0.1	23.5	1.1	18.0	6.1	-	-	861.6	2.0	12.2	0.6	20.2	7.9	8.7	58.1	458.2	0.7	4.5	1.3	122.0	0.3	296.2	26.2	23.3	55.3	6.6	26.9	6.1	1.2	5.0	0.7	4.8	0.9	2.6	0.4	2.3	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
		AQ05A	6.8	21.0	0.5	35.0	0.9	22.0	4.0	-	3.2	372.4	1.0	20.6	0.2	21.7	2.5	3.4	4.1	751.0	0.2	-	0.1	233.0	0.1	94.3	20.2	9.8	23.6	3.1	13.8	3.5	1.3	3.7	0.6	3.2	0.7	1.9	0.3	2.0	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
		AQ05B	13.7	21.0	-	27.2	0.8	28.0	10.8	-	0.6	133.2	-	40.7	0.3	22.0	0.9	2.0	9.1	734.4	-	0.1	-	384.0	0.2	23.2	16.1	5.7	15.3	2.4	12.4	3.9	1.4	4.0	0.7	3.3	0.6	1.3	0.2	1.0	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
		AQ09	6.8	21.0	0.4	13.6	0.5	19.0	2.4	-	-	321.2	-	25.7	0.2	20.4	1.9	2.5	6.8	645.0	0.1	0.6	0.2	258.0	0.2	63.7	17.8	8.4	21.0	2.8	13.1	3.2	1.2	3.5	0.6	3.2	0.6	1.7	0.3	1.6	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
		AQ-09-15	20.4	12.1	2.5	63.7	3.5	84.8	5.8	-	-	330.3	0.9	20.2	0.2	20.3	1.1	3.0	9.4	602.1	0.2	0.9	0.3	187.8	0.4	39.5	13.8	9.4	21.9	3.1	13.8	3.2	1.2	3.2	0.5	2.7	0.5	1.4	-	1.3	0.2	0.3	0.9	0.8	0.1	-	6.2	3			
		AQ-90	18.4	21.1	2.3	30.7	2.2	104.1	20.9	-	-	242.7	0.7	25.8	-	20.7	0.6	1.7	3.3	625.5	0.1	0.3	-	312.0	0.2	21.7	12.6	5.9	14.2	2.1	10.2	2.6	1.2	2.7	0.4	2.4	0.5	1.3	-	1.2	0.2	0.3	1.2	0.4	0.1	-	9.3	3			
		UL22	59.5	20.5	2.3	26.8	2.7	42.3	48.5	-	-	242.0	0.8	24.7	0.1	19.4	2.0	3.7	7.1	560.5	0.2	0.6	0.2	286.0	0.4	80.6	16.8	8.6	19.7	2.9	13.2	3.3	1.1	3.3	0.5	3.0	0.6	1.6	-	1.6	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
	GHC	AQ01	13.7	29.0	1.1	490.4	1.5	45.0	17.9	0.8	5.0	368.0	1.0	26.0	0.8	21.4	3.7	5.6	21.8	624.6	0.4	1.6	0.7	328.0	0.3	140.0	26.8	16.9	42.7	5.4	23.4	5.8	1.6	5.9	0.9	4.9	0.8	2.5	0.3	2.2	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
		Mi-05	26.8	-	-	266.0	-	97.7	20.6	-	-	575.0	1.2	19.5	-	22.8	-	5.4	29.3	621.0	-	1.7	-	223.0	-	165.0	22.8	18.7	42.2	5.5	25.6	5.8	1.9	5.1	0.7	4.0	0.9	2.1	0.3	2.0	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
		MICH-39-15	34.7	22.2	4.2	202.8	7.1	116.0	14.2	-	-	807.0	1.5	21.0	1.1	20.3	4.4	12.9	39.9	450.7	0.7	1.9	0.8	218.8	0.6	177.9	39.8	29.2	65.4	9.5	41.6	9.7	2.1	8.8	1.3	7.3	1.4	3.7	-	3.3	0.5	0.6	1.7	1.5	0.4	-	15.8	3			
		AQ69	65.9	24.6	4.0	150.0	6.2	101.9	62.4	-	-	548.5	1.4	25.9	0.7	20.9	4.2	7.7	27.2	540.0	0.5	1.5	0.6	236.2	0.6	170.7	27.6	18.1	41.3	5.9	25.6	6.1	1.6	5.7	0.8	5.0	1.0	2.7	-	2.5	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
Unidades del EPFM	MGPC	AQ-25	-	4.0	1.2	10.8	0.5	38.0	6.5	0.5	1.2	849.0	1.0	5.0	0.6	17.5	3.1	3.9	34.1	676.6	0.3	1.7	0.5	46.0	0.5	116.4	6.1	11.9	22.8	2.9	10.7	2.1	0.6	1.6	0.2	1.0	0.2	0.5	0.1	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
		AQ-29	-	13.0	0.9	54.9	1.4	58.0	12.1	0.7	0.5	548.0	1.0	19.2	0.6	18.9	2.6	4.5	23.2	600.0	0.3	1.3	0.6	153.0	0.5	97.6	11.6	11.2	24.6	3.3	14.0	3.0	0.9	2.5	0.4	2.2	0.4	1.1	0.2	1.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
		AQ-30	-	13.0	0.4	83.1	0.8	32.0	11.0	<.5	5.6	699.0	1.0	15.5	0.3	18.8	3.8	5.2	31.0	582.4	0.3	1.5	0.7	130.0	0.5	146.7	13.6	13.0	29.9	4.0	16.2	3.3	0.9	2.8	0.4	2.2	0.4	1.3	0.2	1.3	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
	GF	MS34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.0	625.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.9	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
		AQ-20	-	5.0	1.2	7.9	0.6	33.0	7.1	0.5	1.0	888.0	1.0	6.2	0.3	19.7	3.5	3.9	36.7	706.5	0.3	1.7	0.5	60.0	0.5	113.5	6.2	12.9	24.7	3.0	11.3	2.2	0.7	1.6	0.2	1.1	0.2	0.5	0.1	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
		AQ-21	-	5.0	1.0	21.0	0.4	50.0	6.8	0.5	0.7	806.0	1.0	6.1	0.4	17.8	2.6	4.5	29.3	614.2	0.4	1.5	0.5	52.0	0.5	90.9	8.5	13.0	28.5	3.9	16.0	2.8	0.8	2.2	0.3	1.6	0.3	0.7	0.1	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
		AQ-91	76.7	3.2	9.2	22.1	6.4	48.0	62.2	-	-	736.0	1.3	5.8	0.5	19.2	2.6	4.2	27.5	629.3	0.3	1.3	0.5	55.4	0.7	106.6	5.4	12.0	24.2	3.0	11.6	2.2	0.8	1.7	0.2	1.1	0.2	0.5	-	0.5	0.1	0.2	0.4	0.6	0.1	0.1	18.3	3			
	GO	UL38(AQ48)	21.2	3.4	1.6	45.4	6.2	60.3	50.0	-	-	749.4	1.3	8.4	0.4	20.3	2.7	5.7	23.8	589.9	0.5	1.5	0.6	76.5	0.2	103.8	8.2	12.4	26.3	3.7	15.1	3.1	0.9	2.4	0.3	1.7	0.3	0.7	-	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
	MCE	UL42	23.9	4.0	1.8	41.7	5.9	58.5	20.7	-	-	786.5	1.2	8.6	0.7	20.3	2.2	5.1	24.8	650.6	0.3	1.5	0.6	76.9	0.3	86.7	7.1	12.7	26.6	3.5	13.8	2.6	0.8	2.0	0.3	1.4	0.3	0.6	-	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
		UL45	37.0	2.3	3.0	17.2	6.2	31.3	37.1	-	-	945.6	1.8	5.1	0.4	19.2	3.0	4.8	37.3	676.3	0.4	2.1	1.1	47.4	0.6	117.1	6.2	11.7	22.9	2.8	11.1	2.0	0.7	1.6	0.2	1.1	0.2	0.6	-	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
MMM	AQ-22	-	3.0	1.4	8.7	2.1	16.0	5.0	0.5	0.5	991.0	1.0	3.2	0.2	17.7	3.1	3.4	40.9	578.1	0.3	2.4	1.0	31.0	0.5	109.6	5.4	12.8	24.8	3.0	10.5	1.9	0.5	1.4	0.2	0.8	0.2	0.5	0.1	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2		
	AQ-24	-	4.0	0.9	12.0	0.5	38.0	5.5	0.6	0.5	905.0	1.0	3.7	0.5	18.7	3.5	4.4	40.6	602.0	0.3	2.1	0.5	33.0	0.5	115.5	5.4	12.3	22.1	2.5	8.7	1.6	0.5	1.2	0.2	0.8	0.2	0.5	0.1	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-			

Tabla 4. Contenido de elementos traza en ppm de muestras correspondientes al CBA. Los guiones (-) representan valores por debajo del límite de detección o sin analizar. Las siglas y citas corresponden con las de la tabla 3.



59

aparente enriquecimiento en las unidades correspondientes al CPA, pero los valores son variables. Queda en evidencia la virtual afinidad de la unidad MGPC correspondiente al EPFM, con las unidades del CPA, relacionado con las concentraciones de CaO, FeO MgO, TiO₂, Na₂O y K₂O (Tabla 3).

Con base en la distribución de las muestras, utilizando el contenido de sílice (SiO₂) como índice de diferenciación y comparándolo con el índice de magnesio (#Mg = MgO/MgO+FeO) y la relación de los porcentajes en óxidos de calcio y aluminio (CaO/Al₂O₃), se observa el comportamiento de las distintas porciones que componen el CBA. Estas relaciones se observan en los diagramas de variación binaria (Figura 23), donde se observa una tendencia general de relación inversa, con respecto del incremento del SiO₂ y la variación tanto del #Mg (0.15-0.56) como de la relación CaO/Al₂O₃ (0.15-0.69), mostrando una mayor correlación lineal con la segunda. Al mismo tiempo se definen tres grupos, dos consistentes con unidades del CPA y uno conformado por las unidades del EPFM y los AT (Figura 23).

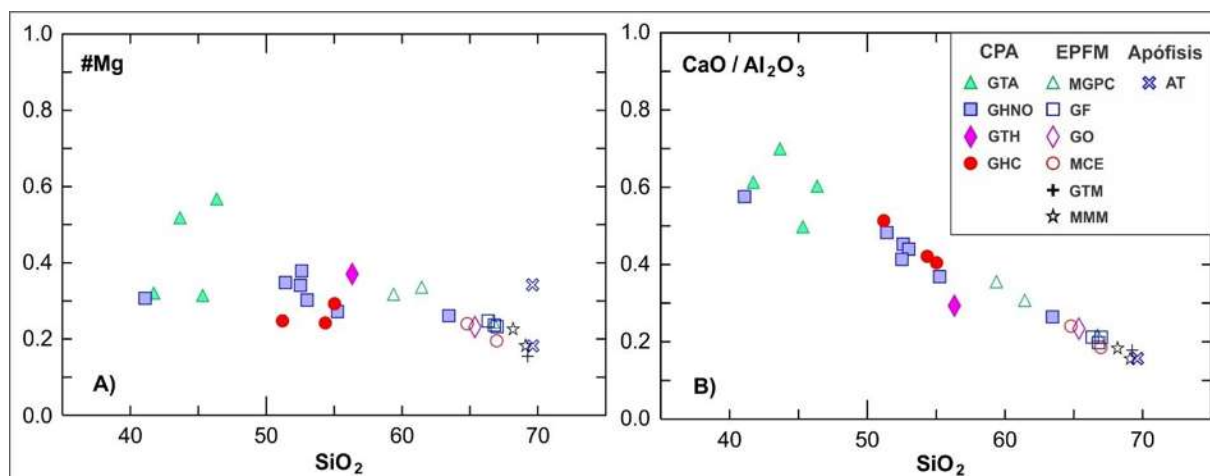


Figura 23. Diagramas de variación binaria, donde se grafican muestras correspondientes con el CBA dividido en CPA, EPFM y AT. A su vez se muestran las unidades internas del CPA y del EPFM. A) SiO₂ vs #Mg [(MgO/MgO+FeO); donde el FeO = fierro total] y B) SiO₂ vs CaO/Al₂O₃.

El primer grupo corresponde a las muestras de la unidad GTA y una muestra de la unidad GHNO (AQ05B) y quedan restringidos en una concentración de SiO₂ que varía entre 41 y 47 wt%, con valores de #Mg de 0.3 a 0.6 y con la relación CaO/Al₂O₃ entre 0.5 y 0.7. El segundo grupo corresponde a muestras de las unidades GHNO, GHC y GTH, la concentración de SiO₂ se ubica entre 50 y 57 wt%, con valores de #Mg

de 0.25 a 0.4 y de la relación $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ variando entre 0.3 y 0.5. Finalmente, el tercer grupo está conformado por muestras de las unidades del EPFM, los AT y una muestra correspondiente con la unidad GHNO (AQ07), con un rango de concentración de SiO_2 que varía de 59 a 70 wt%, con valores de $\# \text{Mg}$ y de la relación de $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ entre 0.15 y 0.35 (Figura 23).

Al graficar los valores de SiO_2 contra los valores de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) en el diagrama de TAS modificado por Wilson (1989; Figura 24) podemos observar que las muestras se clasifican desde gabros hasta granitos, mostrando una tendencia concordante con la curva de álcalis de Miyashiro (1978 *in* Wilson, 1989), con la mayoría de las muestras con afinidad subalcalina y algunas con afinidad alcalina. Al igual que en los diagramas de variación podemos observar los tres grupos, mostrando

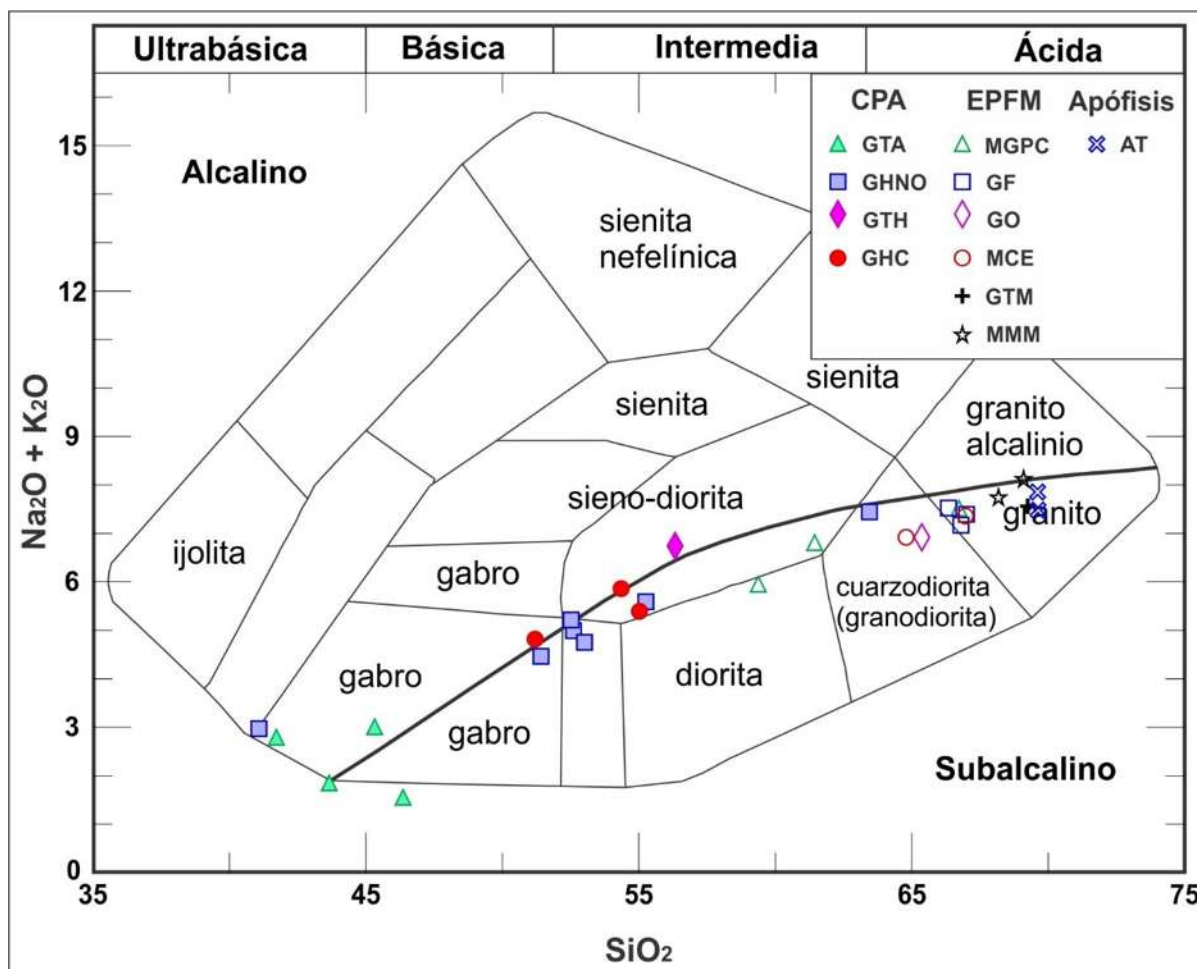


Figura 24. Diagrama de clasificación TAS para rocas plutónicas modificado por Wilson (1989). Se grafican muestras pertenecientes al CBA.

una correspondencia con la variación de álcalis. En el caso de las muestras correspondientes al primer grupo se clasifican como gabros; mientras que las muestras correspondientes con el segundo grupo se clasifican como gabros y sienodioritas; y las muestras correspondientes con el tercer grupo son principalmente granitos variando entre los campos de las cuarzodioritas (granodioritas), sienodioritas y dioritas (tonalitas; Figura 24).

Utilizando el diagrama de clasificación normativa de Ab-An-Or de Barker (1979; Figura 25) podemos observar que existe una tendencia general hacia el enriquecimiento de albita y anortita con respecto de la ortoclasa. Por otra parte, se observa una afinidad hacia la anortita, de las muestras pertenecientes al CPA con respecto del resto. Las muestras diferenciadas como el primer grupo en los diagramas de variación y el diagrama de clasificación anteriores, salen de los campos de clasificación con una tendencia hacia el vértice de la anortita. El resto de muestras pertenecientes al CPA se ubican en el campo de la tonalita a excepción de la muestra

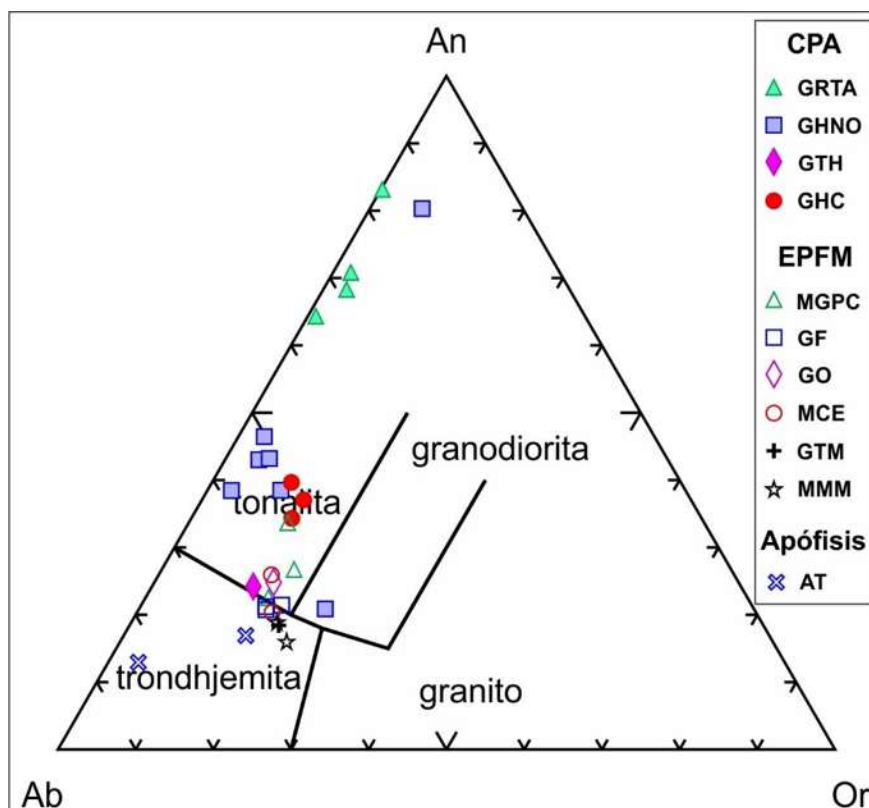


Figura 25. Diagrama de clasificación normativa Ab-An-Or de Barker (1979), donde se grafican muestras pertenecientes al CBA.

AQ07 que pasa al campo de las granodioritas. Con respecto de las muestras pertenecientes al EPFM, éstas grafican entre el campo de la trondhjemita y la tonalita y en el límite de dichos campos. La muestra AQ20 perteneciente a la unidad MGPC es la de mayor enriquecimiento en anortita del EPFM.

La relación entre FeO^* , álcalis y MgO observada en el diagrama de variación AFM de Irvine y Baragar (1971; Figura 26.), indica una tendencia de evolución progresiva de hierro hacia álcalis y una tendencia aparente de magnesio a hierro, con un paralelismo notable con la curva propuesta por estos autores y una afinidad geoquímica principalmente calcialcalina y en algunos casos pasando a toleítica. Las muestras de carácter toleítico son principalmente las correspondientes con el primer grupo diferenciado tanto en los diagramas de variación como en los diagramas de clasificación antes descritos (Figura 23, 24 y 25), e invariablemente pertenecientes a la unidad de gabros y las unidades de gabros híbridos.

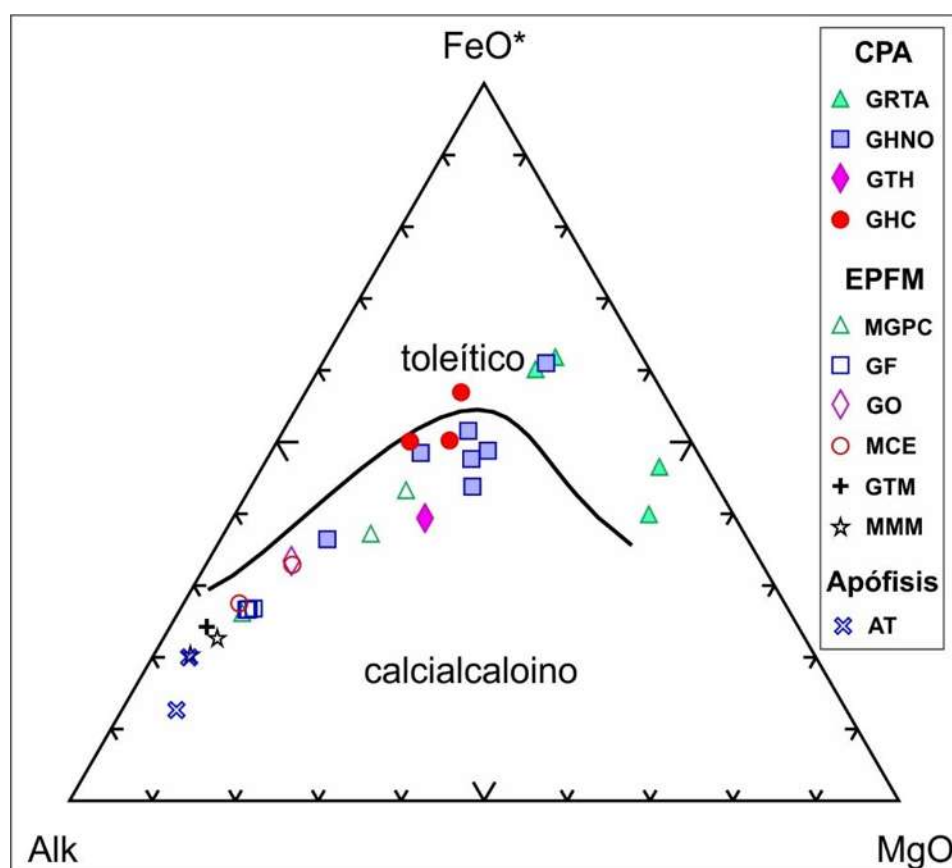


Figura 26. Diagrama AFM Irvine y Baragar (1971), donde se grafican muestras del CBA.

4.4.1 Elementos traza

Se consideraron las relaciones de Ba/Yb y Nb/Yb como componentes representantes de incompatibilidad y compatibilidad respectivamente, así como la anomalía negativa de Nb típica de los ambientes de arco. Dichas relaciones se graficaron en un diagrama bivalente, utilizando para comparación el diagrama de Pearce y Stern (2006; Figura 27), donde podemos observar que todas las muestras se localizan por encima del arreglo del MORB, mostrando una tendencia general de relativo paralelismo con el arreglo, particularmente las muestras del CPA. Las mues-

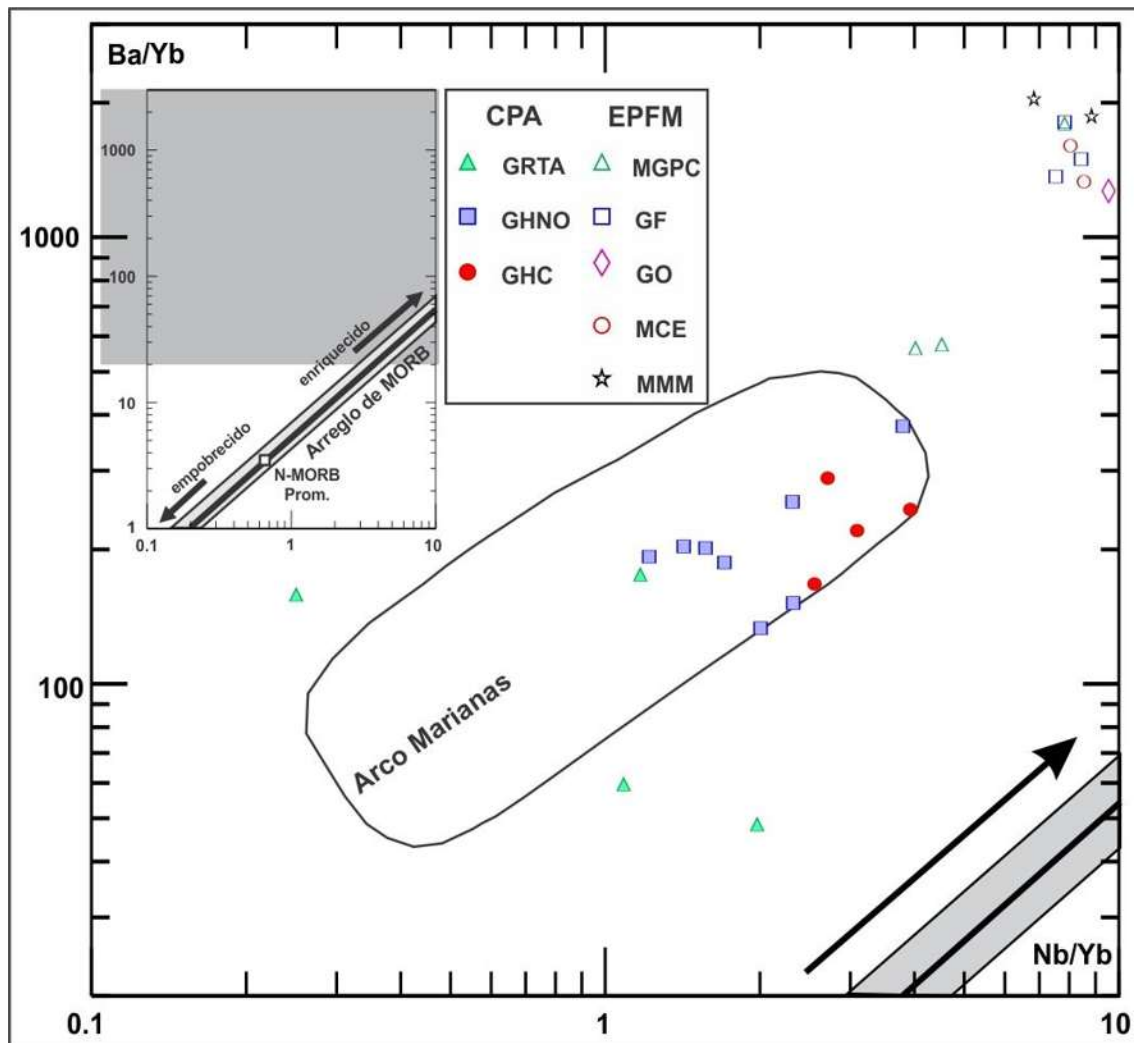


Figura 27. Diagrama bivalente de Ba/Yb vs Nb/Yb donde se grafican muestras del CBA. En la parte superior Izquierda se presenta el diagrama de Pearce y Stern (2006) donde se señala con un recuadro gris con transparencia, el área correspondiente con el gráfico principal. El campo correspondiente con el Arco de las Marianas es el propuesto por Pearce y Stern (2006).

tras AQ74; UL28 y UL31, pertenecientes a la unidad GTA, no muestran dicha tendencia. Se observan dos grupos principales uno coincidente con el campo del arco de las Marianas, relacionado con las muestras de las unidades GHNO, GHC y una muestra de la unidad GTA (AQ72A). el segundo está conformado por las muestras correspondientes con las unidades del EPFM, a excepción de las muestras AQ29 y AQ30 (de la unidad MGPC), localizadas entre los dos grupos y de mayor cercanía con el primero.

Comparando los elementos traza mediante un diagrama multielemental normalizado con N-MORB de Sun y MacDonough (1989; Figura 28), se observa un comportamiento general de las muestras del CBA, de un relativo enriquecimiento en los elementos LILE con respecto de los HFSE, configurando una pendiente típica de arco volcánico. A su vez, se pueden observar anomalías negativas de Nb, P, Zr y Ti, así como positivas de K y Pb, en general relacionadas con su carácter de relativa compatibilidad e incompatibilidad. Es común observar este tipo de anomalías, y princi-

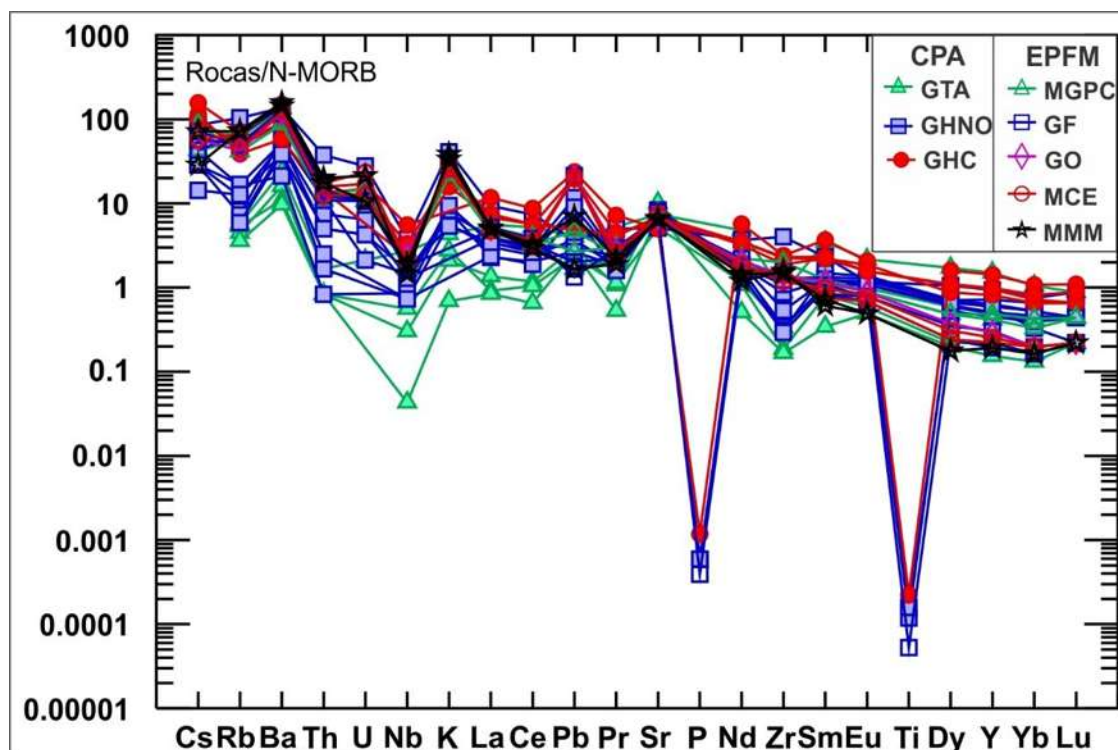


Figura 28. Diagrama multielemental de elementos traza, normalizado con N-MORB de Sun y MacDonough (1989), que presenta muestras del CBA, divididas entre unidades correspondientes con el CPA y unidades del EPFM.

palmente la de Nb, asociadas con rocas formadas en ambientes de arco volcánico.

Por su parte los diagramas multielementales de tierras raras normalizados a la condrita de Sun y MacDonough (1989; Figura 29.), presentan un enriquecimiento en tierras raras ligeras con respecto de las pesadas, tanto en las unidades del CPA como en las del EPFM, configurando pendientes de mayor ángulo en el EPFM, con tendencia a aplanarse a partir del Dy y en el caso del CPA con menor pendiente y relativamente constante. Este tipo de pendientes comúnmente se asocian con magmas de afinidad tipo calcalina o de arco magmático. En el caso de las muestras del CPA se aprecia una anomalía variable entre positiva, negativa y hasta imperceptible de Eu, y en el caso del EPFM es prácticamente inexistente. La variabilidad de dicha anomalía típicamente es asociada con el fraccionamiento o no de la plagioclasa, pero en nuestro caso al tratarse de rocas plutónicas puede estar relacionado a su vez con la cristalización de otras fases minerales como los ferromagnesianos o plagioclasas cálcicas, empobreciendo o enriqueciendo en Eu respectivamente.

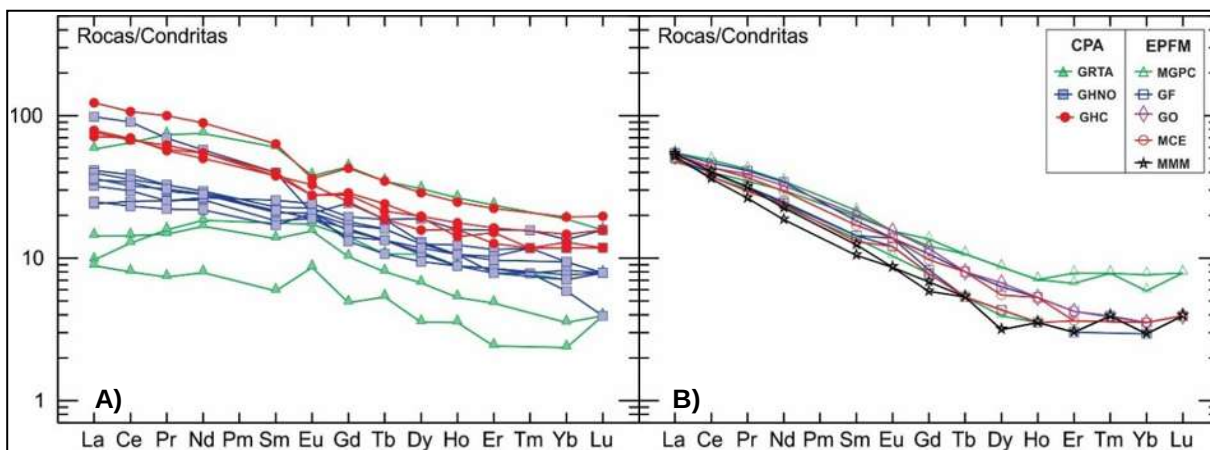


Figura 29. Diagrama multielemental de tierras raras normalizado con la condrita de Sun y MacDonough (1989), que presenta muestras del CBA, divididas entre unidades correspondientes con el CPA (A) y unidades del EPFM (B).

Por otro lado, comparando el Rb contra el Y+Nb y Yb+Ta en los diagramas de discriminación tectónica para granitoides, propuestos por Pearce *et al.* (1984; Figura 30), se nota que todas las muestras grafican en el campo de los granitos de arco volcánico (VAG) en ambos diagramas. Además, en ambos diagramas se sugiere la relativa formación de cuatro grupos de muestras, uno compuesto solo por muestras de

las unidades del EPFM y los otros tres por muestras de las unidades correspondientes al CPA. En el diagrama de Y+Nb (Figura 30. A) se puede ver en el límite con los granitos orogénicos (ORG) la muestra UL31 perteneciente a la unidad GTA, así como en el límite con los granitos de intra placa (WPG) la muestra MICH-39-15 correspondiente con la unidad GHC.

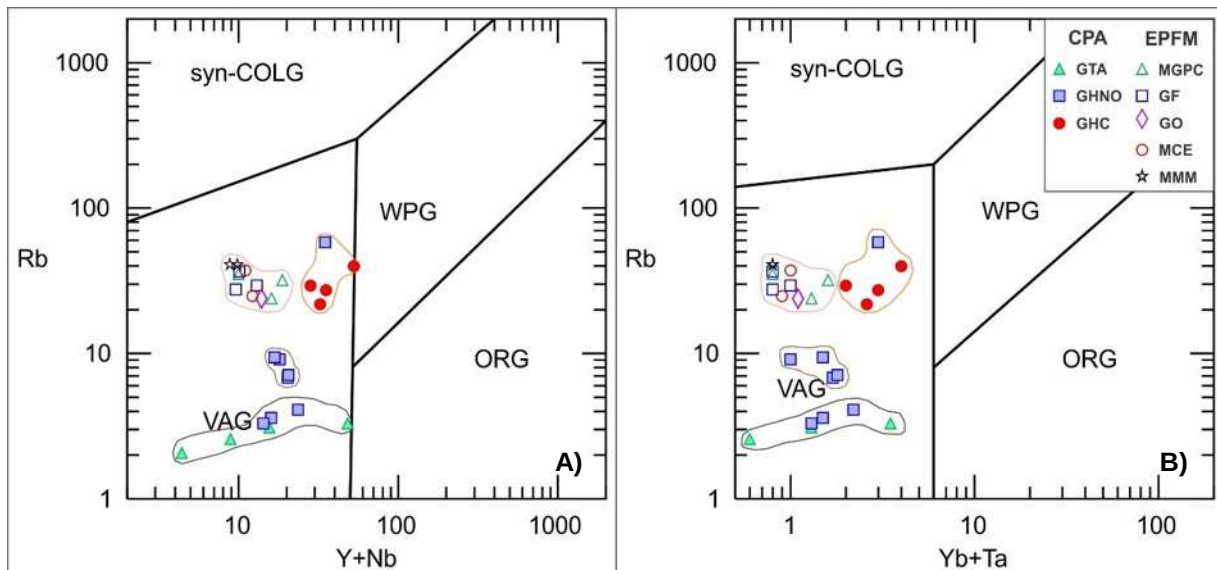


Figura 30. Diagramas de discriminación tectónica para granitoides de Pearce *et al.* (1984). Se grafican muestras del CBA, divididas entre unidades correspondientes con el CPA y unidades del EPFM. A) Rb vs Y+Nb y B) Yb+Ta vs Rb.

4.5 Tipología e isotopía U-Pb en zircones

Los conjuntos de zircones que a continuación se describen corresponden a cuatro muestras del CBA. Tres de ellos corresponden a unidades del CPA y el cuarto corresponde una unidad del EPFM. De las muestras correspondientes con el CPA dos pertenecen a la unidad GHNO (UL-22-15 y AQ-09-15) y una a la unidad GHC (MICH-39-15). La muestra del EPFM forma parte de la unidad MGPC (AQ-29B-15). Es importante puntualizar que la muestra UL-22-15 fue analizada en dos pastillas, pero los zircones no presentan diferencias tipológicas y de intensidad de luminiscencia significativas, así que en las imágenes se presenta solo una de ellas (UL-22B-15). En el anexo V, se presentan las imágenes en luz reflejada y los mapas de los análisis sobre imágenes de cátodoluminiscencia de las cuatro muestras analizadas, así como las tablas de datos.

En seguida se presenta una propuesta de tipificación de los zircones en las muestras analizadas, así como los resultados de los análisis de isotopía U-Pb en las mismas. Para tales efectos se presenta la descripción de características morfológicas externas, de inclusiones, la caracterización de la diversidad tipológica, su cátodoluminiscencia, finalmente, los resultados de análisis isotópico. Los resultados isotópicos U-Pb se discutirán a la par de la Isotopía de Sm-Nd y Rb-Sr en el capítulo 5.

4.5.1 Tipología

En general los cristales presentan un estado de conservación moderada, preservando al menos una de las pirámides y ~ 80% del prisma. En proporciones similares se cuenta con poblaciones de cristales mal conservados con menos del 50% de las caras y bien conservados con más del 95% de las caras. Sobresale la muestra AQ-29B-15 cuya mayoría de cristales está mal conservada. Con respecto al tamaño de los cristales, estos muestran una gran variabilidad comprendidos entre 40 y 550 μm . Sin embargo, la mayoría de cristales tienen entre 60 y 250 μm . La muestra MICH-39-15 es la que presenta desarrollo de cristales de mayor dimensión (Figura 31).



Figura 31. Microfotografías con luz polarizada (nicos cruzados) de zircons montados y pulidos de muestras correspondientes con el CBA, tres del CPA y una del EPM. Las muestras correspondientes con las unidades del CPA son UL-22-15, AQ-09-15 (de la unidad GHNO) y MICH-39-15 (de la unidad GHC). La muestra AQ-29B-15 corresponde con la unidad MGPC. Las formas redondas con los bordes oscurecidos, corresponden con burbujas dentro de la resina en la que están montados los zircons, generalmente por detrás de estos últimos.

Con respecto de las inclusiones observadas, se han clasificado en relación con la forma, el hábito y propiedades ópticas de las mismas. Dichas inclusiones son menores de 25 μm , tienen formas elongadas de hábitos prismáticos; en ocasiones con desarrollo de pirámides y con birrefringencia alta, que podrían corresponder principalmente con otros zircones y probablemente con apatitos. A su vez, se cuenta con otro tipo de inclusiones con formas irregulares, subredondeadas y en ocasiones cuadradas, que presentan los tamaños más finos y son isotrópicos. Estas últimas probablemente corresponden a minerales del grupo de los óxidos (Figura 31). Con respecto de la abundancia de inclusiones las muestras UL-22-15, AQ-09-15 y AQ-29B-15, exhiben inclusiones aproximadamente en 18 a 20% de sus cristales, mientras que en la muestra MICH-39-15 sólo ~ 10% de los cristales las presentan.

En general el hábito de cristalización de las muestras corresponde con formas prismáticas piramidales, piramidales con terminación modificada y piramidal con el centro rotado. Basados en la clasificación tipológica propuesta por Pupin (1980 y 1988; Figura 32) se observa una relativa abundancia de tipologías de los campos P_2 , P_3 y P_4 , con tendencias hacia los campos S_4 - S_{10} - S_{15} . En menor proporción se observan tipologías de los campos S_{19} y S_{23} . La muestra que presenta una mayor variabilidad es la UL-22-15, con una mayoría relativa de formas prismáticas piramidales (P_4 , P_2 y S_{10}) con respecto de las piramidales con terminación modificada (S_{19} y S_{23}). Por su parte, los cristales de la muestra AQ-09-15 generalmente son prismáticos piramidales y en ocasiones piramidales con terminación modificada, que coinciden con los campos P_2 - S_{10} y S_4 respectivamente. En el caso de la muestra MICH-39-15 todos los cristales son prismáticos piramidales coincidiendo con los campos P_2 , P_3 y P_4 . Finalmente, la muestra AQ-29B-15 presenta cristales en proporciones similares de tipo piramidales con el centro rotado y prismáticos piramidales, en coincidencia con los campos S_{15} y P_2 - P_4 respectivamente (Figura 31, 32 y 33), es importante señalar que esta muestra presenta una mala conservación de sus cristales, lo cual dificultó su tipificación.

Las imágenes obtenidas con la catodoluminiscencia muestran una relativa variabilidad dentro del campo de intensidad de luminiscencia intermedio, mostrando una gama de colores entre azules opacos, grises luminosos y amarillos (Figura 33). La

diferencia de intensidades de luminiscencia, definen principalmente bandeamientos, los cuales asemejan a maclas polisintéticas y están presentes en la mayoría de las muestras a excepción de la muestra AQ-29B-15. A su vez, la diferencia de intensidades permite observar crecimiento de bordes concéntricos y semi-concéntricos. En caso puntuales es posible observar el desarrollo de zonamiento oscilatorio que puede ser concordante o discordante con la forma del cristal; este último definiendo núcleos tal como se puede observar en la muestra UL-22-15. Mientras que en las muestras UL-22-15 y AQ-29B-15 se observar en cada una al menos dos grupos de cristales, con intensidades de luminiscencias contrastantes entre grises o azules-amarillos, en las muestras AQ-09-15 y MICH-39-15 podemos observar una relativa homogeneidad. Los grupos diferenciables son relativamente consistentes con su tipología, tanto para los cristales de la muestra UL-22-15, como para los de la muestra AQ-29B-15 (Figura 31 y 33).

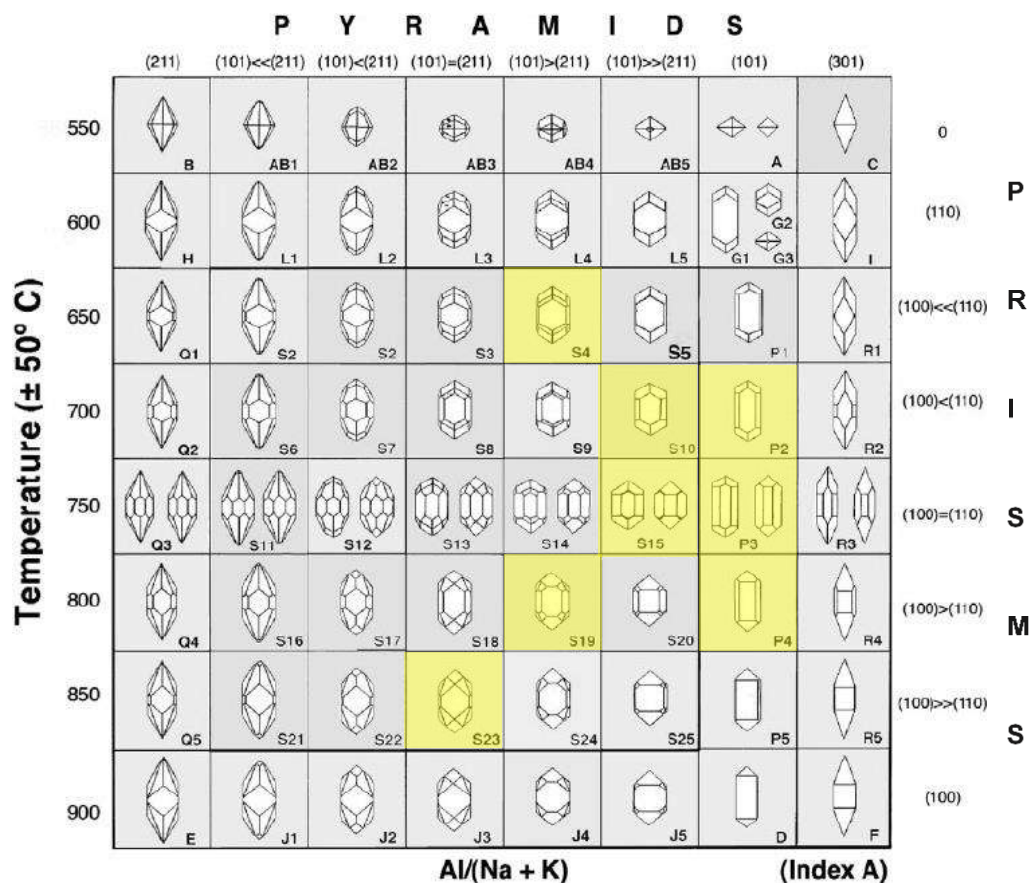


Figura 32. Diagrama de clasificación tipológica de zirrones (Pupin, 1980 y 1988). Los campos resaltados en amarillo, corresponden con las tipologías de los zirrones observadas en el CBA.

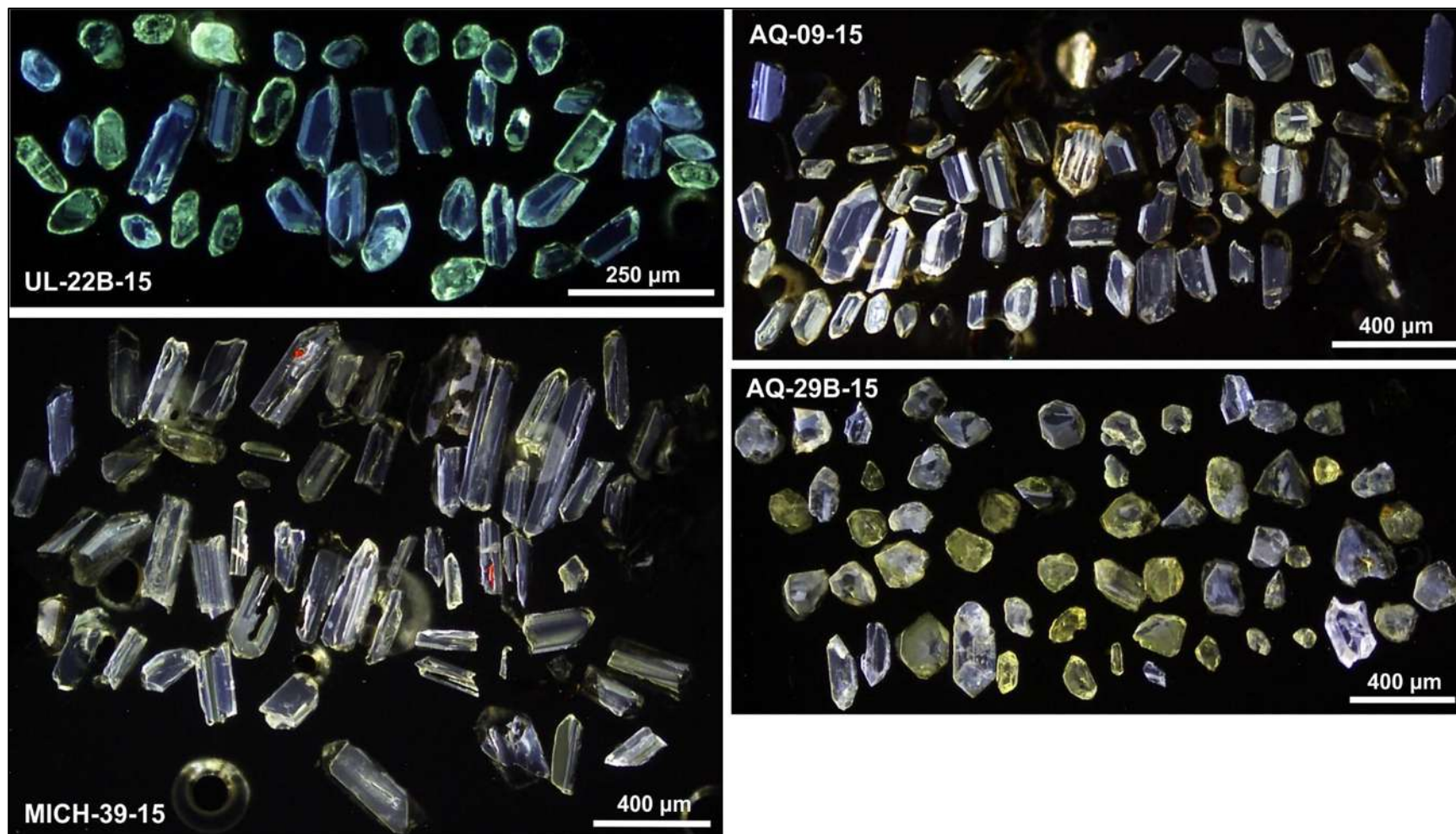
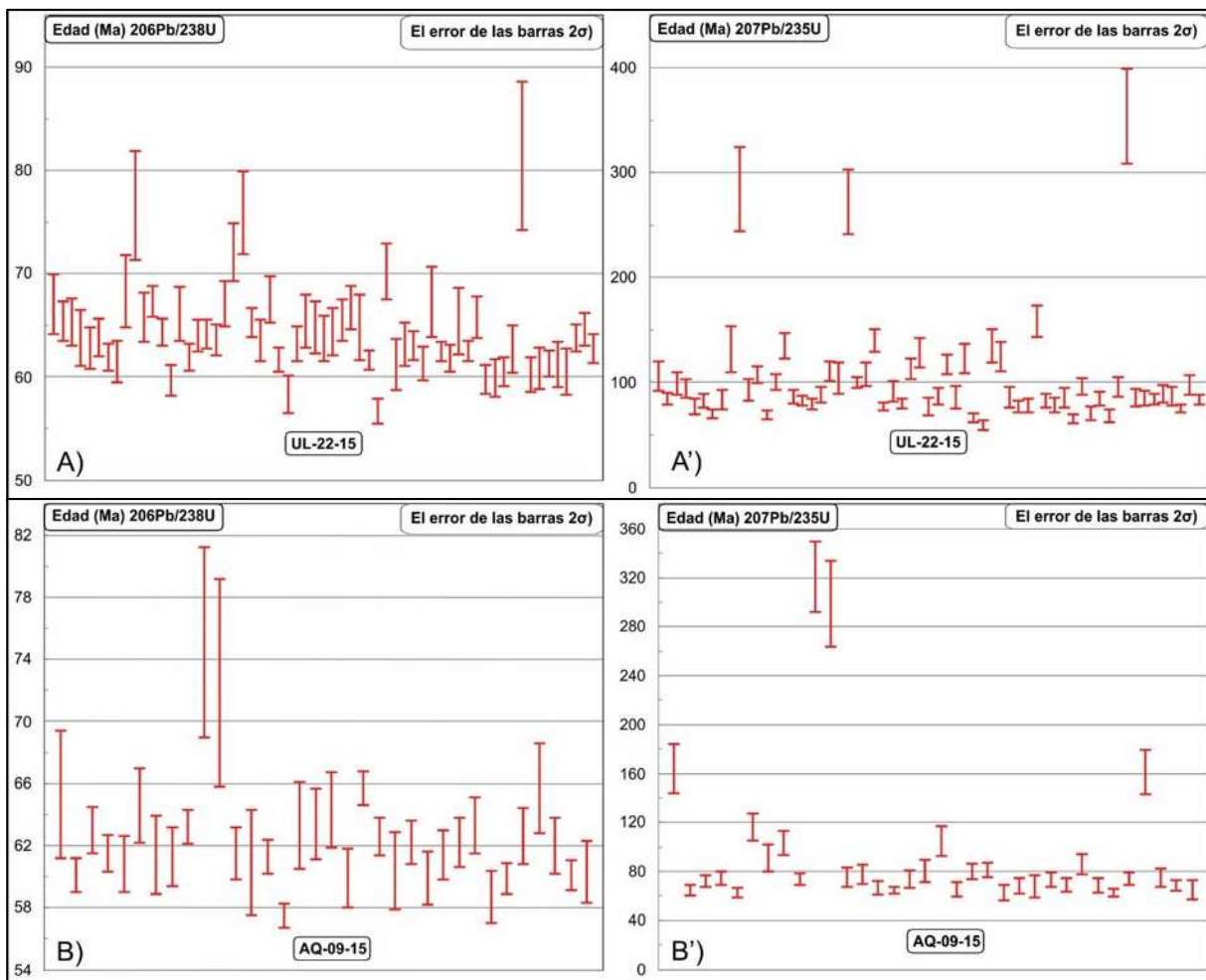


Figura 33. Microfotografías de Cátodoluminiscencia de zircones montados y pulidos de muestras correspondientes al CBA, tres del CPA y una del EPFM. Las muestras correspondientes con las unidades del CPA son UL-22-15, AQ-09-15 (de la unidad GHNO) y MICH-39-15 (de la unidad GHC). La muestra AQ-29B-15 corresponde con la unidad MGPC.

4.5.2 Isotopía

A continuación, se describen los resultados de los análisis isotópicos de U-Pb en zircones para las cuatro muestras antes mencionadas. Se realiza una comparación entre los resultados que arrojan las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, utilizando el total de análisis en cada muestra (Figura 34), para después mostrar los diagramas de edades promedio (ponderado) y de concordia, realizados con el complemento del software Excel isoplot 4.15 (Figura 34, 36, 37 y 38). Los datos utilizados para construir los diagramas de edades promedio, se discriminan con el criterio de porcentaje de discordancia $\leq 30\%$, obtenido con la ecuación $\{[(\text{edad } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - \text{edad } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / (\text{edad } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})] * 100\}$ propuesta en Ludwig (2003). Es importante mencionar que las edades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, obtenidas con la técnica analítica de LA-ICP-MS, no se consideran confiables para muestras relativamente jóvenes, como es nuestro caso. Lo



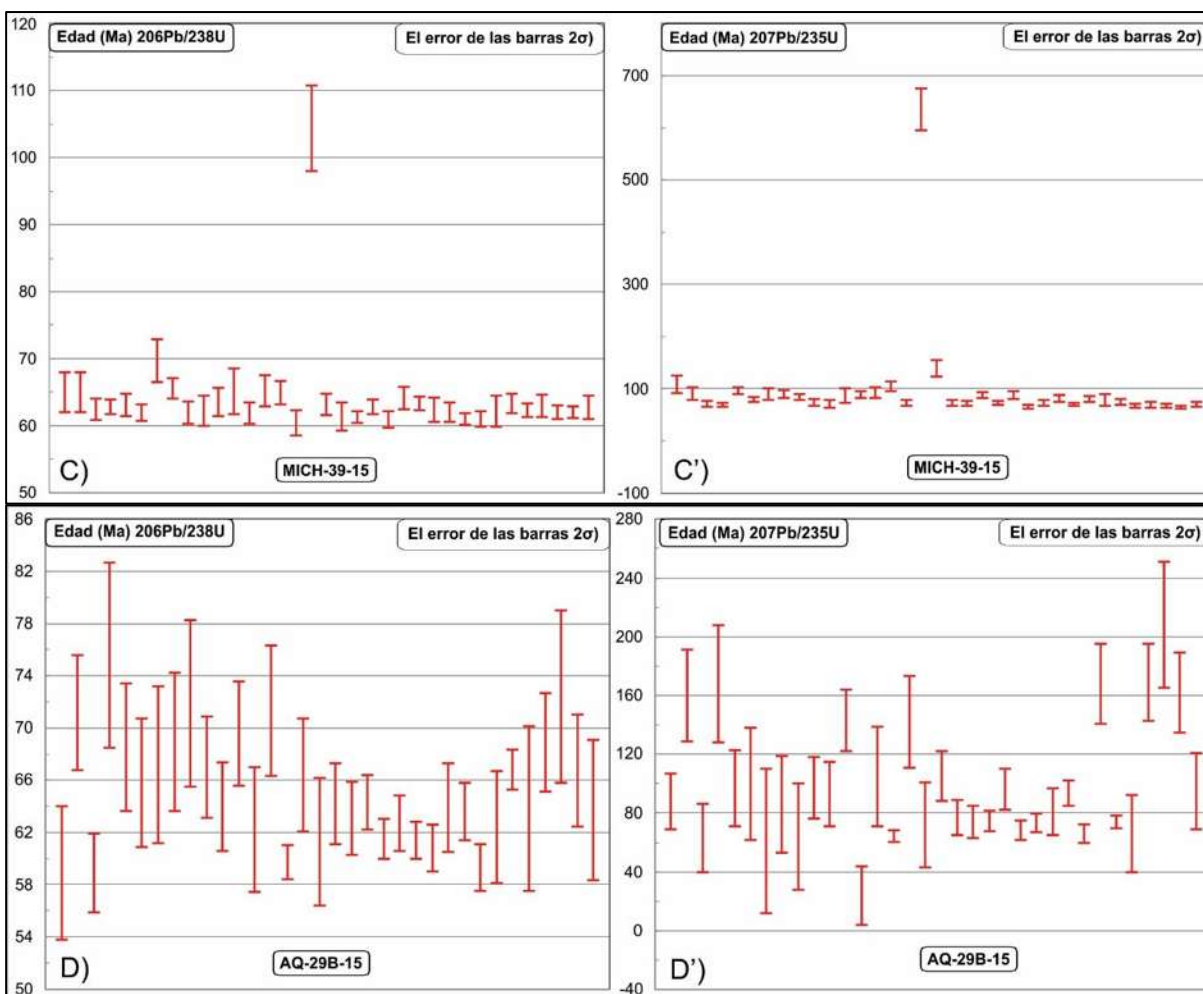


Figura 34. Gráficas que muestran una comparación del comportamiento de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, obtenidos para cada zircón analizado en cada una de las muestras. Los resultados de un mismo análisis para ambos relojes isotópicos, corresponden con la posición que ocupan las barras en los dos gráficos de la misma muestra. Notar que en la mayoría de los casos las edades 207 son más antiguas que las edades 206 para un mismo análisis. Se utilizan letras mayúsculas del alfabeto (A, B, C y D) para discriminar entre los diagramas correspondientes a cada muestra y con apóstrofo (A', B', C' y D') para distinguir las edades de $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. Las barras indican un error simétrico en Ma, considerando dos desviaciones estándar (2σ).

anterior relacionado con el volumen de muestra analizado, con los límites de detección del equipo y con la tendencia de baja concentración del isótopo ^{235}U para este tiempo. Los resultados de los análisis se presentan en las tablas del anexo V.

Cuando se observa el comportamiento de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ con respecto de las edades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ en cada una de las muestras, nos podemos percatar de un patrón general de relativo paralelismo, como se puede apreciar en las gráficas de la

Figura 34. Este relativo paralelismo en el patrón de comportamiento entre las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, no es consistente cuando se consideran las edades puntuales por análisis, evidenciando una tendencia de envejecimiento de las edades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ con respecto de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ análogas. De las cuatro muestras analizadas, la MICH-39-15 es la que presenta menor dispersión de las edades y mayor correlación en el patrón de comportamiento entre ambas edades (Figura 32 C-C'), mientras que la muestra AQ-29B-15 es la que tiene una relativa menor correlación en el patrón de comportamiento entre las dos edades (Figura 32 D-D').

Al revisar los datos considerando el sitio de análisis (borde o núcleo), así como las diferencias tanto tipológicas como de intensidad de luminiscencia, no se pudo identificar alguna relación o relaciones que se asocien con la dispersión natural de nuestros datos. Sin embargo, existen algunas excepciones que muestran núcleos más antiguos que su borde. Además, también se encontraron zircones que muestran relaciones anómalas de bordes más antiguos que sus núcleos. Con respecto a las características tipológicas y de intensidad de luminiscencia, no se logra trazar algún agrupamiento sistemático confiable de edades, el cual pudiera sugerir el registro de un evento temporal específico.

Al graficar los datos isotópicos U-Pb para cada muestra, en diagramas de edades promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y de concordia, se calcularon edades isotópicas. Las edades promedio se muestran en las gráficas de las barras en color rojo y azul, donde las barras azules se alejan demasiado del valor promedio por lo que no se descartan para el cálculo de la edad promedio (e.g. Figura 35). La zona sombreada representa el error estimado a dos desviaciones estándar (Figura 35, 36, 37 y 38).

Para la muestra UL-22-15 se obtuvo una edad promedio de 62.67 ± 0.61 Ma considerando 37 datos la mayoría en coincidencia con el error estimado (Figura 35. A), con una desviación media cuadrática ponderada (MSWD) de 5.9. Con respecto del diagrama de concordia se obtuvieron edades de intersección inferior de 56.1 ± 3.2 Ma y una intersección superior de 2700 ± 520 Ma con un MSWD de 5.6 (Figura 35. B). Es importante señalar que muy pocos datos son concordantes, entre estos es sobresale uno de mayor concordancia, con menor error y con edad de 56.7 Ma (Tabla A3).

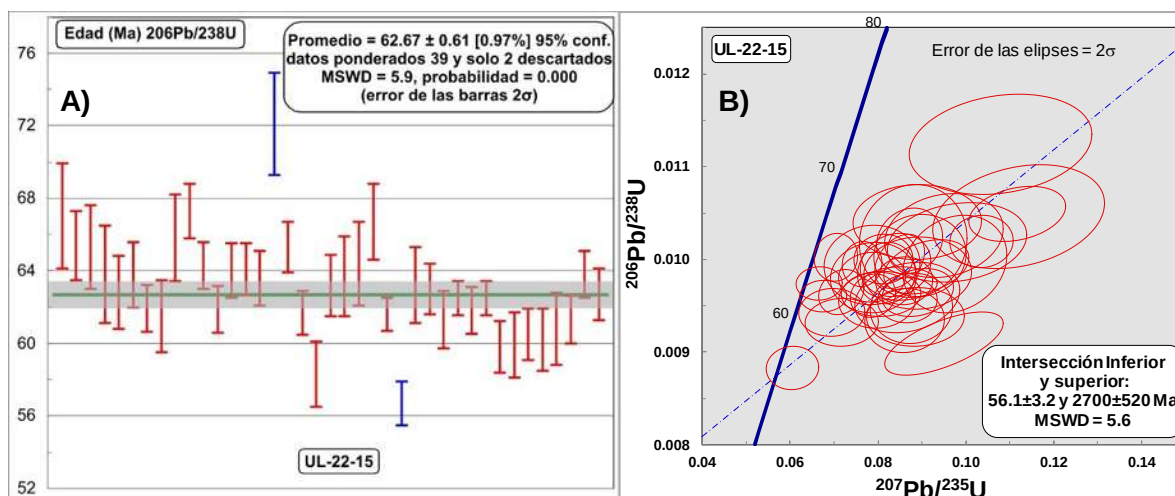


Figura 35. Gráficas de edades U-Pb en zirrones de la muestra UL-22-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).

Por su parte los resultados de los análisis en los zirrones de la muestra AQ-09-15, indican una edad promedio de 60.93 ± 0.54 Ma, con 19 datos, que invariablemente se encuentran dentro del rango de error señalado y con una MSWD igual a 2.4 (Figura 36. A). Al colocar los resultados de sus análisis en un diagrama de concordia se obtienen edades de intersección inferior de 58.3 ± 1.6 Ma y superior de 2882 ± 590 Ma con un MSWD de 1.8 (Figura 36. B). en este caso existe una relativa mayor concentración de análisis concordantes con respecto de la anterior, con edades entre 59 y 62 Ma.

Con respecto de la muestra MICH-39-15 la gráfica de edad promedio indica 62.04 ± 0.45 Ma ponderando 17 datos todos dentro del error estimado y con un MSWD de 2.0 (Figura 37. A). En la gráfica de la concordia se estiman edades de intersección inferior de 57.3 ± 3.7 Ma y superior de 2601 ± 770 Ma, con un MSWD igual a 2.8 (Figura 37. B). Al igual que en la muestra UL-22-15 se cuenta con pocos datos concordantes dentro de los cuales dos son los más concordantes, con menor error y con edades entre 62 y 63 Ma.

Por último, en la muestra AQ-29B-15 se obtuvo una edad promedio de 62.3 ± 1.5 Ma con la ponderación de 17 datos, solo con dos fuera del error estimado y con un MSWD de 7 (Figura 36. A). En la gráfica de la concordia se obtienen edades de

intersección inferior de 59.4 ± 3.9 Ma y superior de 3162 ± 930 Ma, con un MSWD de 2.9 (Figura 38. B). En esta muestra se observa la mayor concentración de análisis relativamente concordantes de entre las cuatro muestras analizadas, sin embargo, también posee la mayor dispersión en sus edades entre 59 y 69 Ma.

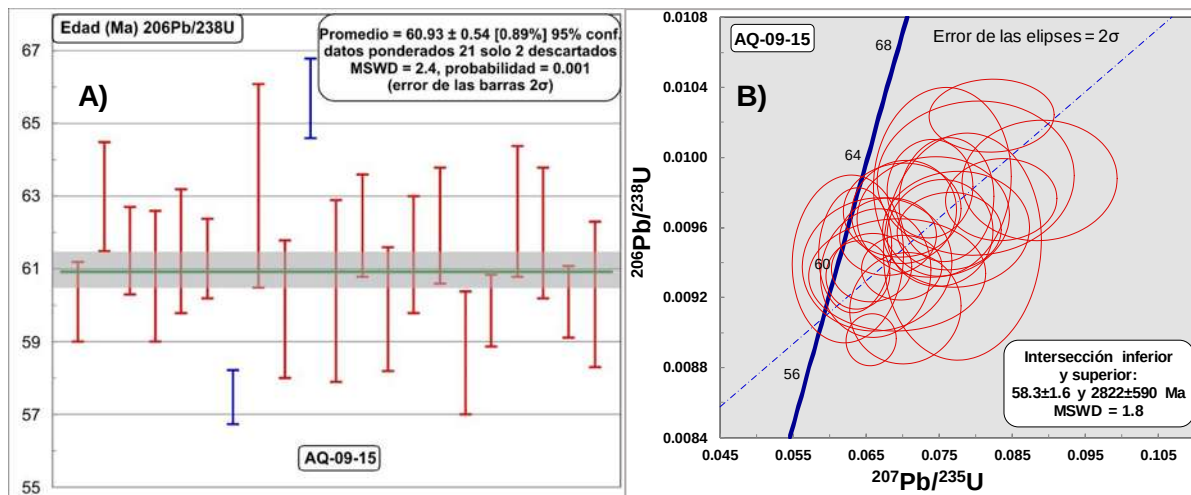


Figura 36. Gráficas de edades U-Pb en zirrones de la muestra AQ-09-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).

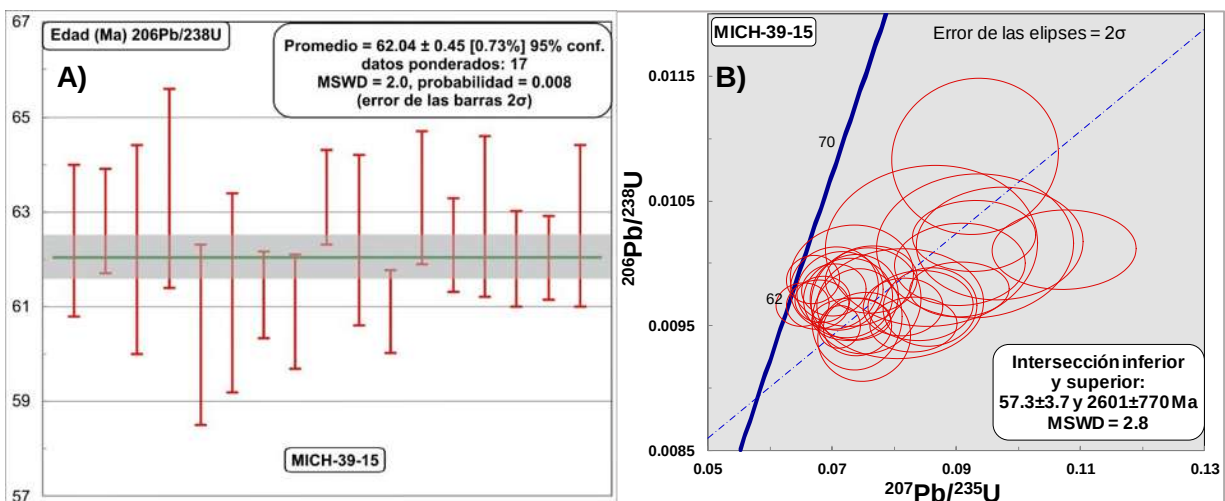


Figura 37. Gráficas de edades U-Pb en zirrones de la muestra MICH-39-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).

En los diagramas de concordia se observar dispersión de los datos y puntualmente algunas edades concordantes, además de una clara tendencia de

rejuvenecimiento de las edades de intersección inferior con respecto de las edades promedio. Por su parte las edades de intersección superior se comportan aparentemente de manera errática e incoherente, lo cual será discutido en el siguiente apartado.

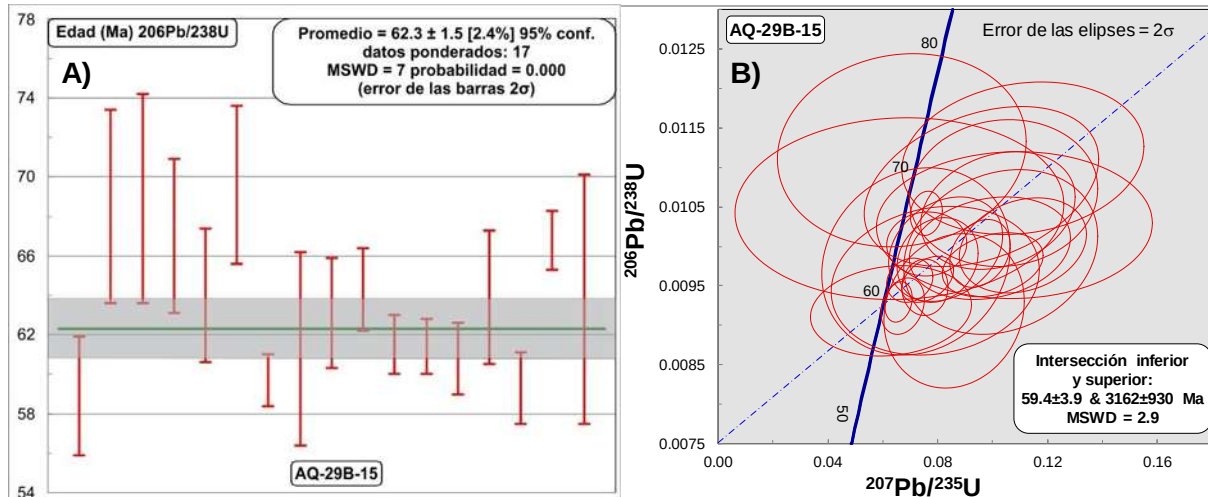


Figura 38. Gráficas de edades U-Pb en zircones de la muestra UL-22-15: A) edad promedio $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y B) gráfica de concordia. Los errores tanto en las barras como en las elipses representan dos desviaciones estándar (2σ).

Capítulo 5

Discusión

5.1 Relaciones espaciales, secuencia de emplazamiento y volumen de las unidades del CPA

El área total estimada del CPA es de 200.2 km². Si consideramos el área por unidad en orden jerárquico descendente, tendríamos la unidad GTSC con 81.8 km², la unidad GHNO con 50.9 km², la unidad GTA con 28.3 Km², la unidad GHC 22.1 km² y finalmente la unidad GTH con 17.1 km² (Figura 11 y 39).

Considerando que la interacción máfica-félsica es uno de los procesos magmáticos principales del CPA, resulta importante hacer notar que con base en la composición, mineralógica y química de estas unidades descrita en los capítulos 4.3 y 4.4, las unidades predominantemente máficas (e.g. gabros GTA), representan el 14.1%, mientras que las unidades félsicas (granitoides GTH y GTSC), suman el 49.4%; y las unidades transicionales representadas por los gabros híbridizados (enriquecidos de cuarzo y feldespato potásico), así como dioritas, cuarzodioritas, cuarzomonzodioritas, monzonitas y cuarzomonzonitas corresponderían a un 36.5% del total del área aflorante del CPA. Esta proporción de la composición de magmas implicaría que el CPA tendería a poseer una alta proporción de volumen máfico e intermedio (50.6%), proporción relativamente anómala para un sistema plutónico cordillerano.

En relación con la distribución de las unidades del CPA, se observa una relativa orientación y zoneamiento composicional, sugiriendo un proceso tectonomagmático asociado con estructuras de primer orden en sentido NO-SE y en algunos casos NE-SO. Las estructuras NO-SE se asocian principalmente con algunos contactos internos del CPA, pero sobre todo con la roca encajonante, destacando la falla lateral derecha Chanviejo que muestra una componente normal, y que representa la zona de contacto

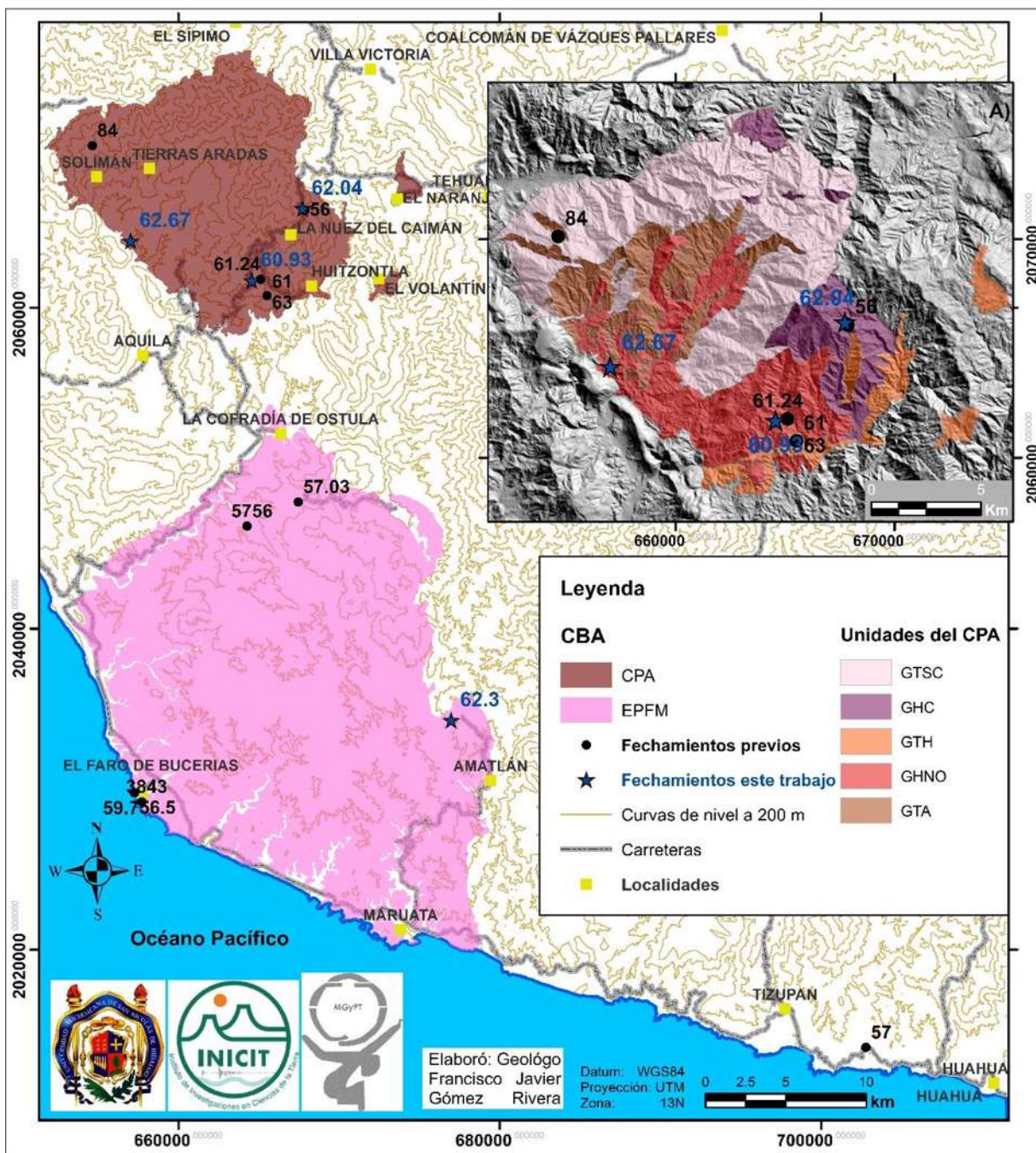
de mayor complejidad. Dicha falla pone en contacto la unidad GHNO con andesitas y calizas, generando una zona de cizalla milonítica de relativa alta temperatura y en algunos casos rocas metamórficas de contacto tipo Skarn.

Por su parte las estructuras NE-SO están relacionadas con la distribución interna de las unidades (Figura 11 y 39). La interacción NE-SO entre las unidades, nos muestra por un lado el desmembramiento intenso de la unidad GTA hacia el contacto este y sureste con la unidad GHNO o núcleo del CPA, que produce un incremento gradual de estructuras de “*mingling*” y “*mixing*” tipo “*schöllen*”, enclaves redondeados y en algunos casos de tipo “*roof pendant*” de hasta 4 Km de longitud (Figura 11). Sin embargo, en algunos casos también se observan límites o bordes de enfriamiento (“*chilled margin*”). Esta meso-estructura petrológica también se refleja a escala de afloramiento y muestra de mano (Figura 13 b y c2; Anexo II), presentando estructuras de desmembramiento, deformación y re-cristalización de fases gabróicas (plagioclasa y piroxenos), substituidas por fases hidratadas como anfíbol y biotitas, asociadas a zonas (pods), de asociaciones netamente graníticas (feldespato potásico, cuarzo, biotita).

Las estructuras de las unidades centrales GHNO y GTA por su parte son muy heterogéneas, con estructuras de mezcla mecánica (“*mingling*”) y mezcla química (“*mixing*”) de magmas, como: enjambre, flama y enclaves de bordes difusos, así como estructuras y texturas de infiltración granítica en el caso de unidades máficas. Los bordes hacia el resto de las unidades del CPA son transicionales y tienden a mostrar una mayor acumulación de zonas de granitoides hacia el este y norte, ya sea en forma de saco (“*batching*”), como en áreas extensas de decenas de metros (Figura 13 a y c1). Se observan texturas de gabros con texturas félsicas intersticiales y de reemplazamiento relacionado con una abundancia de anfíbol y en algunos casos de biotita-cuarzo.

Por su parte, las unidades félsicas GTH y GTSC, las cuales constituyen los bordes oriental y norte del CPA, se observan asociadas a estructuras con orientación principalmente NE-SO, así como en algunos casos por lineamientos curvilíneos internos y externos al CPA que sugieren una mayor extensión no expuesta. El contacto

de estas unidades con las unidades internas (e.g. GHC), son aparentemente cortantes y en algunos casos se observan diques aplíticos y pegmatíticos que revelan una mayor



actividad de la fase pneumatolítica.

En relación con la estimación del volumen, se puede señalar que con base en las relaciones de desmembramiento máfico, estructura lenticular y de inclusión que guarda la unidad GTA con las unidades GHNO y GTSC (Figura 11 y 39), ésta sería la de menor volumen relativo (notar que es el tercer lugar en área expuesta) y también indicaría ser la unidad plutónica relativamente más antigua. Por el contrario, y en congruencia con sus relaciones de contacto, se destaca que la unidad GTH, a pesar de contar con la menor área expuesta, podría representar la tercera en volumen relativo.

Los litotipos de la unidad GTH localizados en El Naranjillo y El Volantín, se asocian de manera estrecha con una distribución y una serie de curvilineamientos, que se extienden bajo forma de apófisis fuera del área de exposición principal del CPA. Lo anterior sugiere un volumen mayor que el relacionado con el área expuesta de la unidad GTH, colocándola incluso por encima del GHC y en seguida del GHNO.

5.2 Variaciones petrológicas y geoquímicas del CBA

Para facilitar la discusión El CBA se han dividido en tres grandes entidades regionales: i) el Complejo Plutónico Aquila (CPA); ii) el Ensamble Plutónico Faro-Marúata (EPFM; Castro-Ornelas, 2013) y los Apófisis de Tizupán (AT) (Figura 39). En este apartado se discutirán brevemente las variaciones petrológicas y geoquímicas del CPA y su relación con el magmatismo del EPFM y los AT.

Basados en las variaciones regionales de la composición mineralógica y geoquímica de las diferentes unidades plutónicas, se observa que: mientras en la porción norte del CBA prevalece una tendencia de interacción relativa máfico-félsica (CPA), que se asocia con: i) estructuras de “*mixing*”-“*mingling*”; ii) la ocurrencia de asociaciones Plg-Cpx±Opx reemplazados con diferentes tipos de texturas (recristalización, intersticiales) por asociaciones de Anf-Bt-Qz±Kfs; en la porción sur y sureste iii) el EPFM y los AT muestran un relativo enriquecimiento en Kfs ± Qz, con respecto al CPA; y iv) una correlación lineal inversa de la relación CaO/Al₂O₃ (diagrama de variación CaO/Al₂O₃ vs SiO₂; Figura 23 B), que es equivalente con las tendencias

observadas en el diagrama AFC (Figura 26). Esto pone en evidencia la relativa tendencia máfica del CPA con respecto del EPFM y los AT.

Por otro lado, vale la pena señalar que las variaciones petrológicas internas del CPA nos muestran que existe una notable diferencia química entre la unidad de gabros de Tierras Aradas (GTA), la cual es toleítica con valores de $\#Mg \leq 0.6$, en relación con una clara dispersión y mezcla de los gabros, monzogabros y monzodioritas de la unidad transicional de Nuez-Otate (GHNO), tipo calcialcalino y con valores de $\#Mg \leq 0.4$, las cuales además coinciden, tanto con los gabros, gabrodioritas y monzodioritas de la unidad GHC, como con las unidades de granodioritas, tonalitas, cuarzomonzodioritas y cuarzomonzonitas (GTH y GTSC). Estas últimas unidades félsicas, son similares desde el punto de vista geoquímico con las unidades del EPFM y los AT.

Por su parte los elementos en traza señalan una afinidad magmática de ambiente tectónico de arco magmático para el CBA. Esto es consistente con: i) con los patrones de elementos traza normalizados, incluyendo los diagramas multielementales LILE-HFSE, así como los REE; y iii) con los diagramas de discriminación de ambiente tectónico (apartado 4.4.1). Este comportamiento geoquímico, es consistente con lo esperado de acuerdo a su ubicación en la margen suroccidental de México, caracterizada por la presencia de arcos magmáticos.

Además de las firmas geoquímicas típicas de arco magmático, se observan firmas tipo adakíticas dentro del CBA, mostradas en el diagrama Sr/Y vs. Y (Figura 40). En este diagrama se presentan los campos sugeridos tanto por Rodríguez *et al.* (2007) como por Jiangfeng *et al.* (2008) para adakitas y rocas de arco. Se observa que todas las muestras del EPFM grafican dentro del campo de las adakitas, mientras que las muestras del CPA, correspondientes con las unidades GTA y GHNO, se distribuyen entre los campos de adakitas y rocas de arco magmático, con una mayor concentración en los campos de las adakitas. Por su parte las muestras de la unidad GHC coinciden con los campos de las rocas de arco.

El origen de las adakitas en los ambientes de arco se ha relacionado típicamente con fusión parcial de corteza oceánica (Defant y Drummond, 1993; Defant *et al.*, 2002),

la cual se incorpora en los magmas como un aporte en la zona fuente que da origen al magma primigenio. En este caso, se considera que no se tienen elementos suficientes para explicar de este modo la anomalía geoquímica registrada en el caso particular del CBA. El origen de esta firma geoquímica podría estar relacionado con un proceso de fusión parcial de la corteza inferior litosférica sub-continental, que podría estar asociado a un proceso de contaminación cortical durante el ascenso relativamente rápido del sistema magmático del CBA.

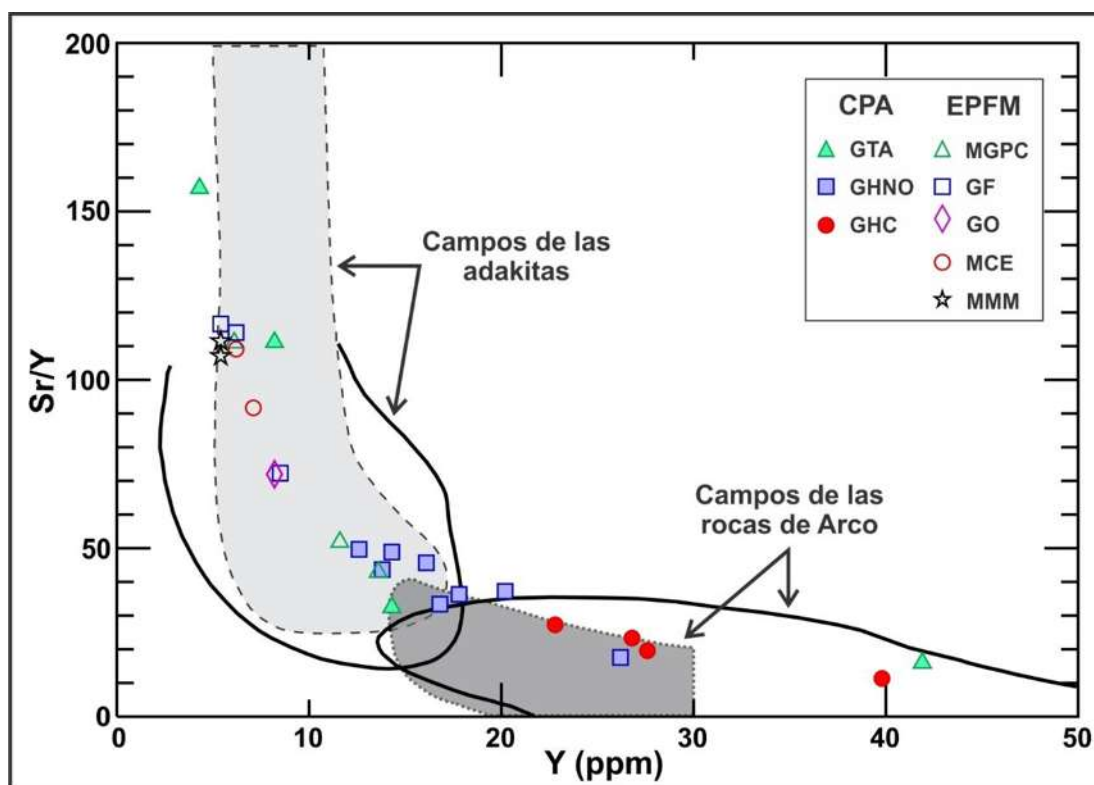


Figura 40. Diagrama de Sr/Y vs Y que muestra los campos para las rocas de arco y de las adakitas. Los campos sombreados en tonalidades de grises son los presentados por Rodríguez *et al.* (2007), mientras que los campos delimitados por líneas continuas negras son los presentados por Jiangfeng *et al.* (2008), quienes se basaron en Defant y Drummond (1993) y Defant *et al.* (2002). Se grafican muestras del CBA específicamente de las unidades máficas del CPA y unidades félsicas del EPFM.

Por su parte las relaciones isotópicas de $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ y de $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ del CBA, se presentan en la figura 41 (DePaolo y Wasseburg, 1979; después de Castro-Ornelas, 2013). Los valores isotópicos de Sr y Nd, éste último expresado como epsilon Nd, están corregidas a un valor común de 60 Ma. La mayoría de los datos están en una

región estrecha, sin mostrar variaciones importantes en sus valores isotópicos, localizados entre los límites del campo OIB y el campo MORB, con una tendencia hacia este último campo. La variación de los valores de relación $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ es de 0.70349 a 0.70354 con valores de hasta 0.70530, mientras que el ϵNd_i varía entre +5.6 y +6.1 con valores mínimos de +4.5.

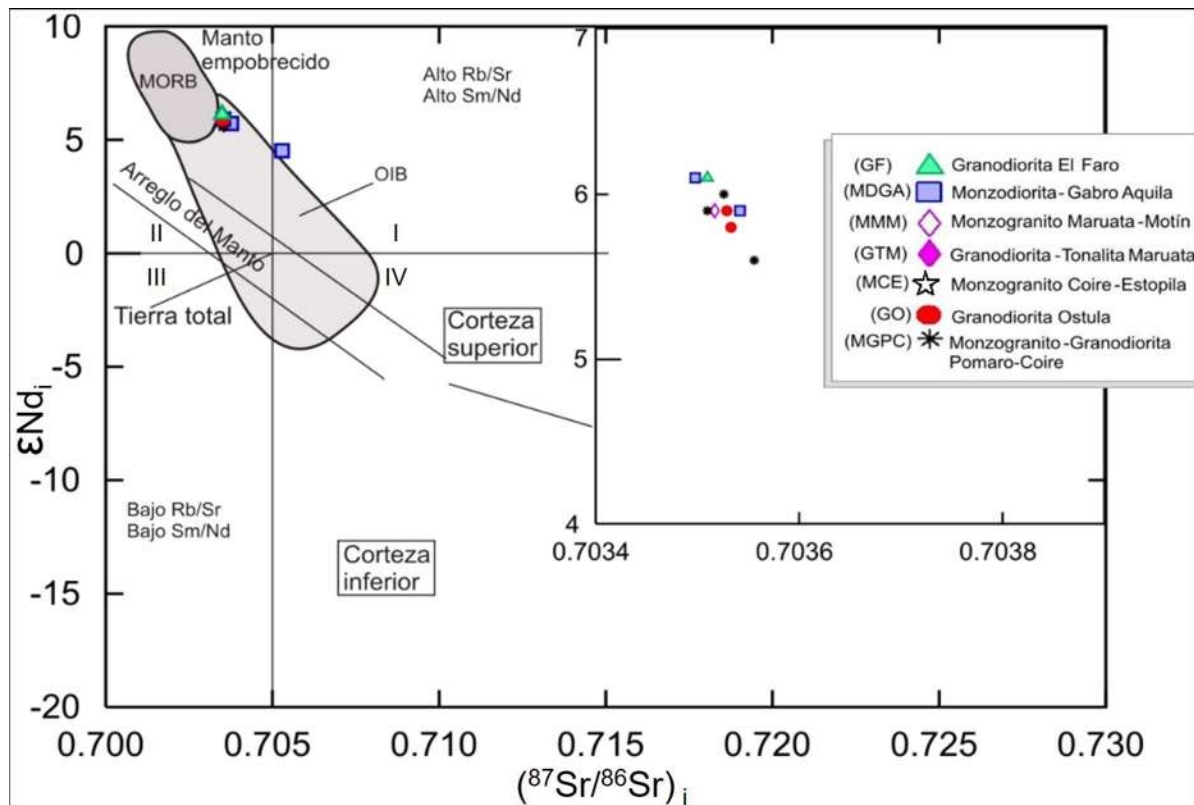


Figura 41. Diagrama de correlación de isótopos, que muestra relación entre los valores ϵNd_i y $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$, propuesto por DePaolo y Wasserburg (1979). Se grafican los datos iniciales del CBA recalculados a 60 Ma. En el recuadro de la derecha se muestra un acercamiento (tomado de Castro-Ornelas, 2013).

Esta distribución de los valores isotópicos, además de mostrar una fuente relacionada con el manto, también señala el cuadrante II con valores bajos de la relación Rb/Sr y altas en la relación Sm/Nd a excepción de una muestra que está en el cuadrante I de valores altos de ambas relaciones. En el acercamiento que se muestra en la parte superior derecha del diagrama (Figura 39), se puede observar una tendencia relativa, que puede estar relacionada con diferenciación magmática normal.

La tendencia de estas relaciones isotópicas con valores bajos de Rb/Sr y altas en Sm/Nd nos indican que el CBA, pueden provenir de un magma parental derivado de un manto relativamente empobrecido. Es probable que, durante el ascenso y emplazamiento de los magmas se haya registrado en parte, un proceso con una relativa movilización de elementos que afectó la composición inicial relacionada con la fusión parcial de sus magmas.

5.3 Geocronología del CBA y su relación con el magmatismo en el suroccidente de México

Considerando las edades compiladas en la Tabla 1 (capítulo 2), así como las edades isotópicas de U-Pb obtenidas en zircones en este trabajo (capítulo 4.5), se considera que las edades del CBA pueden ser agrupadas en al menos tres grupos (Tabla 5): i) 84-81 Ma y 73-70 Ma; ii) 63-61 Ma, y, iii) 57-56 Ma. La distribución espacial de las muestras dentro del CBA, se puede observar en el mapa de la figura 39.

Evento	Edad (Ma)	material	Método	Referencias
i	84-81 y 73-70	Hbl, Zr	K-Ar, U-Pb	2,7
ii	63-61	Hbl, Bt, Zr	K-Ar, Ar-Ar, U-Pb	1,6,7
iii	57-56	Hbl, Bt, WR, Zr	K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, U-Pb	1,3,4,5, 6,7

Tabla 5. Edades isotópicas del CBA. 1: Pantoja-Alor (1983); 2: Murillo-Muñetón y Torres-Vargas (1987); 3: Schaaf (1990); 4: Schaaf (1990; en Schaaf *et al.*, 1995); 5: Corona-Chávez (1999); 6: Iriondo *et al.*, (2004); 7: Este trabajo.

Como se puede observar en la Tabla 5, estos tres grupos de edades han sido producto del fechamiento de diferentes materiales y por diferentes técnicas analíticas, lo cual debe ser considerado al establecer un modelo regional, debido a las diferentes temperaturas de cierre de cada sistema. En este caso se discuten los resultados obtenidos por isotopía de U-Pb, en las muestras de zircones de este estudio y se concluye con una propuesta del modelo de emplazamiento del CPA.

Las edades promedio de las muestras fechadas en este estudio fueron la UL-22-15 de 62.67 ± 0.61 Ma, AQ-09-15, de 60.93 ± 0.54 Ma, ambas de la unidad Nuez-Otate (GHNO), así como MICH-39-15 con una edad de 62.04 ± 0.45 Ma, de la unidad

El Caimán (GHC) y se incluyó la AQ-29B-15 de la unidad Pómaro-Coire (MGPC), con una edad promedio de 62.3 ± 1.5 Ma. Todas estas edades nos muestran una importante consistencia que sugieren la edad del evento magmático principal del CBA. Sin embargo, en todas las muestras se obtuvieron otras edades más antiguas, entre 80 y 70 Ma, que podrían corresponder a eventos pre-CBA. En particular se obtuvieron edades en bordes de zircones, de 57-56 Ma, que podrían corresponder al último pulso magmático.

La diversidad de edades U/Pb en zircones puede ser explicada con base en el concepto de la diversidad de tipos de zircones que se ha reportado en otros trabajos (Miller *et al.*, 2007; Hammerli *et al.*, 2018), los cuales podrían ser: antecristales, autocristales, xenocristales, cristales heredados o cristales que nos podrían indicar un solo origen magmático (Figura 42). De hecho, de acuerdo a estos autores, la complejidad de los zircones podría revelar más información de los procesos de amalgamación de un sistema batolítico (Miller *et al.*, 2007).

En caso de estudio, los zircones muestran comunmente un hábito de cristalización con formas prismáticas piramidales, piramidales con terminación modificada y piramidal con el centro rotado. Presentan bandeamientos, núcleos corroídos, bordes concéntricos y semi-concéntricos, siendo en algunos casos posible observar el desarrollo de zonamiento oscilatorio. También es posible observar numerosas inclusiones menores de 25 μm . Estas diferencias nos sugieren que, a pesar de poder definir la edad promedio con un buen número de puntos, los zircones del CBA, registran más de un evento térmico (en este caso magmático). De hecho, en algunos casos fueron medidos bordes y núcleos con claras diferencias tanto tipológicas como de intensidad de luminiscencia, pero no se pudo identificar alguna relación o relaciones que se asocien con la dispersión natural de nuestros datos.

En relación con el primer grupo de edades de eventos de plutonismo antiguo de i) 84-81 Ma y 73-70 Ma, es oportuno señalar que, además de las edades K-Ar y U-Pb indicadas en la Tabla 5, Villanueva-Lascurain *et al.* (2016), también han reportado edades de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda y U-Pb en zircones de los gabros de Jilotlán de ~114 Ma, así como Schaaf (1990; isócrona Rb-Sr WR) en los granitos circundantes re-

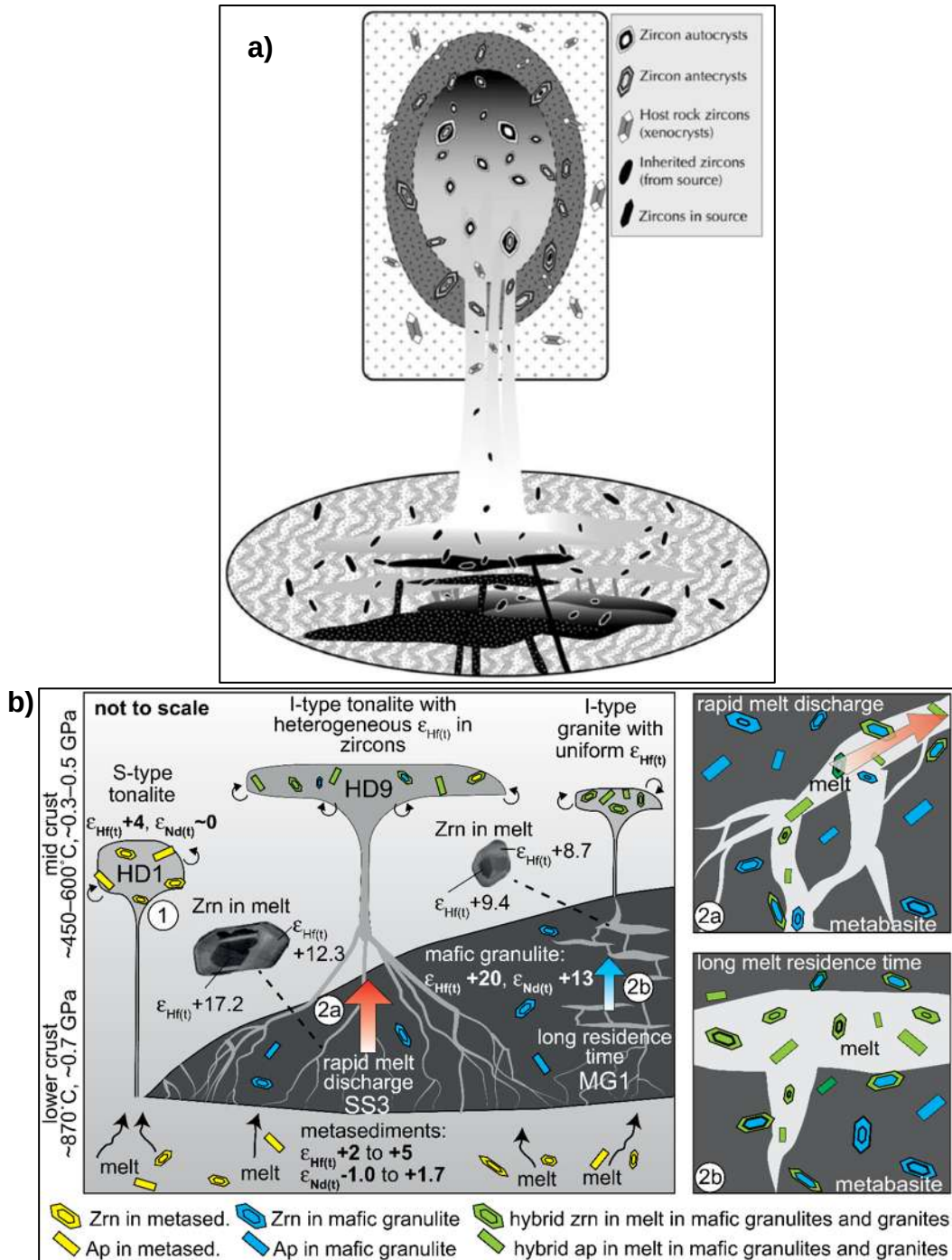


Figura 42. Diagramas que ilustran el posible origen de los zirrones en un sistema magmático compuesto, en un ambiente típico de arco continental maduro: a) (Miller *et al.*, 2007); y b) diagrama esquemático de corteza inferior heterogénea, anatexis en facies de granulitas, tres escenarios distintos para la formación de zirrones y apatitos Hammerli *et al.* (2018). Notar en el esquema de Hammerli *op cit*, como dos zirrones con estructura interna similar, pueden poseer una dispersión natural de sus relaciones isotópicas particular, las cuales estarían reflejando las características de la zona fuente, la velocidad de ascenso y emplazamiento del magma en el que cristalizaron.

porta una edad de ~70 Ma. Villanueva-Lascurain *et al.* (2016) sugieren que las edades de estos gabros podrían corresponder a la contraparte plutónica de la secuencia vulcanosedimentaria de la Formación Tecalitlán. Sin embargo, por la escasez de datos y sin un contexto geológico detallado, la interpretación de esta edad es incierta.

Por el contrario, las edades entre 63 y 61 Ma del segundo grupo, además de ser muy consistentes, también han sido reportadas en otros trabajos de los batolitos de Manzanillo y Jilotlán (Schaaf, 1990; Morán-Zenteno *et al.*, 2018 y referencias). Su consistencia y correlación sugiere que este habría sido el principal evento magmático con registro en los plutones de composición máfica (gabros) e intermedios (monzonitas, cuarzo-monzonitas y tonalitas) del suroccidente de México. De hecho, la consistencia con las edades de 57-56 Ma, del tercer grupo de edades nos sugiere también que este evento podría tener buena correlación y corresponder al último pulso magmático predominantemente félsico de granitoides (granodioritas y granitos). Al mismo tiempo, la cercanía temporal entre los dos últimos grupos de edades, nos sugiere que podrían corresponder a un evento magmático único, que habría ocurrido entre 63 y 56 Ma y que estaría relacionado al emplazamiento y amalgamación de diferentes pulsos magmáticos.

5.4 Modelo de emplazamiento del CPA

En la figura 43, se presenta un modelo de emplazamiento de los diferentes cuerpos plutónicos del CBA. El emplazamiento se ilustra a partir de un perfil ideal de las diferentes unidades plutónicas que conforman El CPA. El emplazamiento y amalgamación de los plutones se basa en el modelo propuesto por Annen *et al.* (2006 y 2015), mientras que la temporalidad se basa en las relaciones estructurales, petrológicas, geoquímicas y geocronológicas observadas en este trabajo. Dicha temporalidad se representa en el modelo de emplazamiento con la nomenclatura t_n - t_{n+4} (Figura 43).

Hacia la porción noroccidental del modelo, se puede observar la unidad máfica de Tierras Aradas (GTA) asociada a la unidad de granitoides Solimán-Chafre (GTSC). La unidad GTA ha sido parcialmente afectada y ampliamente desmembrada hacia el

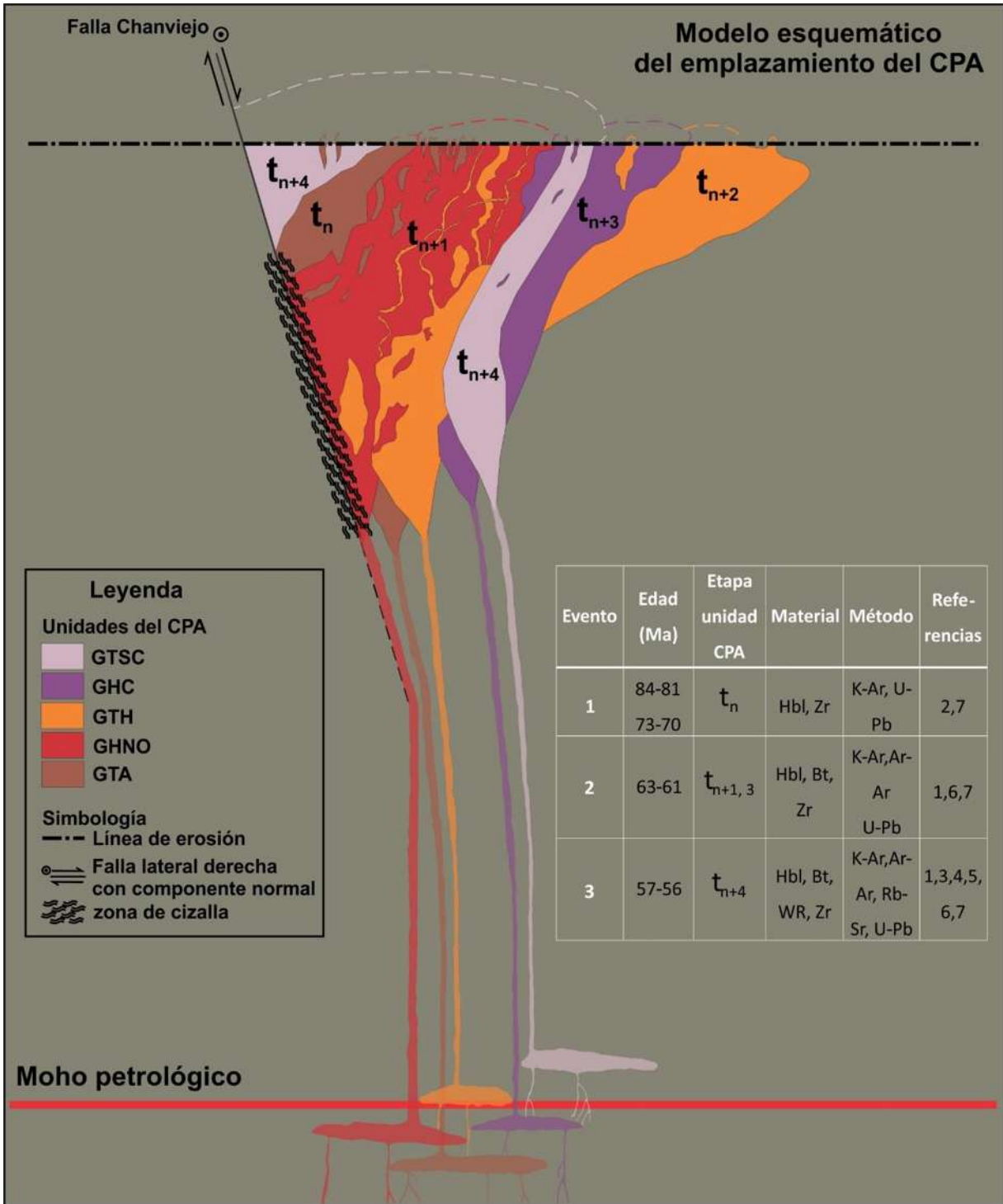


Figura 43. Modelo de evolución magmática y emplazamiento de plutones del CBA. Referencias de las edades isotópicas: 1: Pantoja-Alor (1983); 2: Murillo-Muñetón y Torres-Vargas (1987); 3: Schaaf (1990); 4: Schaaf (1990; en Schaaf et al., 1995); 5: Corona-Chavez et al., (*inprep*; 1999) 6: Iriondo et al., (2004); 7: Este trabajo. Las nomenclaturas t_n - t_{n+4} mostradas en el modelo, indican la temporalidad relativa de amalgamación de las distintas unidades que conforman el CPA.

núcleo del CPA en un contacto gradual y con numerosas estructuras de “*mixing*” y “*mingling*” que dan lugar a la formación de la unidad de gabros híbridos de Nuez-Otate (GHNO). Esta última unidad no solo muestra evidencias estructurales y petrológicas de campo que indican su emplazamiento sucesivo y posterior al principal sistema máfico de Tierras Aradas. De hecho, la heterogeneidad química de Sr/Y e isotópica de ϵNd y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, así como el enriquecimiento de firmas de tipo adakítico sugieren una relación de mezcla química o magmática. Hacia el este del modelo se ilustra el emplazamiento de los cuerpos plutónicos más jóvenes y con tendencia a un emplazamiento con un mecanismo de amalgamación más simple. Esta propuesta se basa en observar un comportamiento estructural que pasa de estructuras de tipo *mingling* hacia el núcleo a afloramientos más homogéneos hacia el este. Sin embargo, las estructuras y texturas del cuerpo gabróico El Caimán (GHC) nos indican relaciones de hibridación mecánicas con texturas intersticiales y en algunos casos un intenso hidrotermalismo causado por los emplazamientos de plutones félsicos tardíos, a los cuales se les puede atribuir el grupo de edades más joven entre 57 y 56 Ma, que están más representadas estadísticamente en los datos publicados (Tabla 5 y Figura 43) y que son los más consistentes con diferentes técnicas analíticas.

En síntesis, el modelo de emplazamiento de plutones del CBA sugiere la pre-existencia de un sistema plutónico predominantemente máfico (GTA) de edad pre-Campaniana (70 Ma), el cual fue dislocado y desmembrado por el emplazamiento de una serie de sistemas plutónicos durante el Cretácico Tardío-Paleoceno (63 y 56 Ma), asociado al emplazamiento de un ensamble de plutones félsico-máficos. El emplazamiento de los plutones paleocénicos estaría asociado a un sistema transtensivo de tipo progresivo que habría facilitado y orientado en un evento tectonomagmático el ensamble y amalgamación final del sistema plutónico del CBA.

Capítulo 6

Conclusiones

1. La cartografía y petrología del CPA, revelan que está conformado por al menos 5 unidades; una constituida esencialmente de gabros (GTA); dos unidades de gabros hibridizados (GHNO y GHC) y dos unidades de granitoides (GTH y GTSC). Las unidades están asociadas con una diversidad de estructuras y texturas de mezcla mecánica y química (*“mingling”* y *“mixing”*), así como con estructuras tectónicas.
2. El área expuesta y la composición mineralógica-química, indican que está conformado por: 14.1% de unidades predominantemente máficas (e.g. gabros GTA); 49.4% de unidades félsicas (granitoides GTH y GTSC); y 36.5% de unidades transicionales (e.g. gabros híbridos GHNO). Estas significan que ~50.6% presenta una proporción de área máfica e intermedia, la cual aflora predominante al centro-oeste del CPA.
3. La unidad de gabros híbridos GHNO, es el producto de una interacción intensa máfico-félsica, mostrando estructuras y texturas de mezcla química y física variables en el tiempo.
4. La geoquímica de elementos mayores y de elementos traza revelan una afinidad de ambiente tectónico de arco magmático para el CBA, que es coherente con su contexto geológico regional. Sin embargo, la relación Sr/Y vs. Y revelan la existencia de firmas tipo adakíticas dentro del CBA. No es claro el origen de ésta firma geoquímica, aunque se sugiere que la corteza inferior esté involucrada en la generación de estos magmas.
5. Las relaciones isotópicas de $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ y de $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$, así como la tendencia de valores bajos de Rb/Sr y altas en Sm/Nd del CBA, muestran una variación mínima de sus valores, así como sugieren una fuente relacionada al manto relativamente empobrecido, como roca parental.

6. Los zircones del CBA muestran un hábito de cristalización con formas prismáticas piramidales, piramidales con terminación modificada y piramidal con el centro rotado. Presentan bandeamientos, núcleos corroídos, bordes concéntricos y semi-concéntricos, así como en algunos casos es posible observar el desarrollo de zonamiento oscilatorio. Se observan numerosas inclusiones menores de 25 μm . Que sugieren el registro de más de un evento magmático-térmico.

7. Las edades promedio U-Pb en los zircones de las muestras analizadas del CBA muestran una importante consistencia que sugieren la edad de un evento magmático principal entre 63 y 61 Ma. Sin embargo, existen otros dos grupos de edades, uno entre 80 y 70 Ma y otro de 57-56 Ma, los cuales, aunque no son estadísticamente representativos si muestran una importante correlación con otros fechamientos obtenidos en trabajos previos.

8. Las evidencias petrológicas y geocronológicas indican un modelo que se basa en una secuencia de emplazamiento y amalgamación de los cuerpos plutónicos del CPA. Se sugiere la pre-existencia de un sistema plutónico predominantemente máfico (GTA) de posible edad pre-Campaniana (70 Ma), el cual fue obliterado parcialmente por el emplazamiento de una serie de sistemas plutónicos félsico-máficos durante el Cretácico Tardío-Paleoceno (63-61Ma; unidades: GHNO, GTH y GHC) y finalmente por el emplazamiento de una serie de cuerpos plutónicos predominantemente félsicos en el Paleoceno (57-56 Ma; unidad GTSC), cerrando con esto el evento tectonomagmático.

Capítulo 7

Referencias

- Aguilar-Hernández, J.A., 2013. Metalogénesis del Batolito Aquila-Maruata y su Relación con los Depósitos de Hierro del Suroccidente de México. Tesis inédita. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas: Departamento de Geología y Mineralogía. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Annen, C., Blundy, J.D., Sparks, R.S.J., 2006. The Genesis of Intermediate and Silicic Magmas in Deep Crustal Hot Zones. *Petrology*. 47 (3): p 505-539.
- Annen, C., Blundy, J.D., Sparks, R.S.J., 2008. The sources of granitic melt in Deep Hot Zones. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*. 97: p 297-309.
- Annen, C., Blundy, J.D., Leuthold, J., Sparks, R.S.J., 2015. Construction and evolution of igneous bodies: Towards an integrated perspective of crustal magmatism. *Lithos*. 230: p 206–221.
- Barrios-Rodríguez, F., Bastida-Jiménez, R., rosales-Franco, E., 2000. Informe Carta Geológico-Minera Lázaro Cardenas E13-6-9, Mich., Col., Gro., Esc. 1:250,000. Consejo de Recursos Minerales.
- Barker, F. 1979. Trondhjemite; definition, environment and hypotheses of origin. In Barker, F. (ed.), *Trondhjemites, dacites, and related rocks*. p 1-12.
- Bustamante-García, J., Piñeiro-Ramírez, F., Praga-Pérez, J.J., Castillo-Nieto, F., 2006. Inventario Físico de los recursos minerales del municipio Aquila, Mich. Servicio Geológico Mexicano, Fideicomiso de Fomento Minero.
- Campa, M. F., y Coney, P. J., 1983, Tectono-estratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*. 20: p. 1040-1051.

- Castro-Ornelas, E., 2013. Petrogénesis de rocas graníticas de la porción suroccidental del Estado de Michoacán. Tesis inédita. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas: Departamento de Geología y Mineralogía. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Centeno-García, E., Ruiz, J., Coney, P., Patchett, I. P., y Ortega, G. F., 1993b. Guerrero Terrane Mexico: Its role in the Southern Cordillera from new geochemical data. *Geology*. 21: p 419-422.
- Centeno-García E., Guerrero-Suastegui M., Talavera-Mendoza O., 2008. The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. The Geological Society of America, Special Paper. 436: p 279-308.
- Centeno-García Elena, Busby Cathy, Busby Michael and Gehrels George, 2011. Evolution of the Guerrero composite terrane along the Mexican margin, from extensional fringing arc to contractional continental arc. *GSA Bulletin*. 123 (9-10): p 1776-1797.
- CFE, 1990. Estudio geológico de prefactibilidad: P.T. Colmi, Mich. Comisión Federal de Electricidad, Unidad de Estudios Geológicos, Departamento de Geohidrología. Inédito.
- Clarke, D. B. (1992). *Granitoid Rocks*. Boundary Row, London. Chapman & Hall. p 1-74.
- Corona-Chávez, P., 1999. El basamento litológico y tectónico del estado de Michoacán. Carta geológica de Michoacán escala 1:250,000. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Departamento de Geología y Mineralogía. p 10-22.
- Corona-Chavez, P., 2014. Tectónica, geoquímica y mineralización de la asociación máfico-félsica de los cuerpos batolíticos en el sur de México. Resumen extenso. Memoria del XXIV congreso nacional de geoquímica. *Actas INAGEQ*. 20 (1): p 165-171.

- Corona-Esquivel, R., Henríquez, F., 2004. Modelo magmático del yacimiento de hierro Peña Colorada, Colima y su relación con la exploración de otros yacimientos de hierro en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Boletín 113: p 1-97.
- De Cserna, Z., 1978. Notas sobre la geología de la región comprendida entre Iguala, Ciudad Altamirano y Temascaltepec, Estados de Guerrero y México: Sociedad Geológica Mexicana. Libro Guía de la Excursión geológica a Tierra Caliente. p 1-25.
- Defant M.J., Drummond. M.S., 1993. Mount St. Helens: Potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc [J]. *Geology*. 21: p 547–550.
- Defant M.J., Xu J.F., Kepezhinskas P., 2002. Adakites: Some variations on a theme [J]. *Acta Petrologica Sinica*. 18: p 129–142.
- De Paolo, D. J., Wasseburg, G. J., 1979. Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns. *Gechim. Cosmochim. Acta* 43: p 615-627.
- Elías-Herrera, M., Sánchez-Zavala, J.L., Macías-Romo, C., 2000. Geologic and geochronologic data from the Guerrero terrane in the Tejupilco área, southern Mexico: new constraints on its tectonic interpretation. *Journal of South American Earth Sciences*. 13: p 355-375.
- Ferrari, L., Lopez-Martinez, M., Aguirre-Diaz, G., Carrasco-Núñez, G., 1999. Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: From the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology*. 27 (4): p 303–306.
- Glazner, A.F., Bartley, J.M., Coleman, D.S., Gray, W., Taylor, R.Z., 2004. Are plutons assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers?. *GSA Today*. 14 (4/5): p 4-11.
- Gómez-Ordaz, V., García-Ruiz, J.M., Vásquez Tortoledo, R., 2002. Carta Geológico-Minera El Ranchito E13B-65, Mich., Esc. 1:50,000. Consejo de Recursos Minerales.

- Grajales-Nishimura, J., López-Infanzón, M., 1984. Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas en el prospecto Tomatlán, Guerrero-Jalisco: México, D.F., Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto C-1160, Informe técnico, 69.
- Hammerli, J., Kemp, A.I.S., Shimura, T., Vervoort, J.D., EIMF., Dunkley, D.J., 2018. Generation of I-type granitic rocks by melting of heterogeneous lower crust. *Geology*. 46 (10): p 907-910.
- INEGI, 2001. Carta topográfica E13B55 (Villa Victoria) escala 1:50,000. Mich., Col. y Jal. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2001. Carta topográfica E13B56 (Coalcomán de Vázquez Pallares) escala 1:50,000. Mich. Y Jal. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2002. Carta topográfica E13B65 (Coahuayana de Hidalgo) escala 1:50,000. Mich. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2002. Carta topográfica E13B66 (Tehuantepec) escala 1:50,000. Mich. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2002. Carta topográfica E13B75 (Colola) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2002. Carta topográfica E13B76 (San Pedro Narajestil) escala 1:50,000. Mich. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2002. Carta topográfica E13B86 (Huahua) escala 1:50,000. Mich. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- Iriondo, A., Kunk, M.J., Winick, J.A., CRM, 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating Studies of Minerals and Rocks in Various Areas in Mexico: USGS/CRM Scientific Collaboration (Part II). Open-File Report 04–1444, U.S. Geological Survey. on-line ed. p 46.

- Irvine, T.N., y Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8: p 523-548.
- IUSG, 2007. List of Mineral Abbreviations: web version. International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. p 1-5.
- Jiangfeng, Q., Shaocong, L., Yongfei, L., 2008. Post-collisional plutonism with adakitic signatures: The Triassic Yangba granodiorite (Bikou terrane, northern Yangtze Block). *Chin.J.Geochem.* 27: p 072-081.
- Laboratorio de Estudios Isotópicos (consultado en marzo de 2018). Fechamientos por U-Pb en zircons. Juriquilla, Queretaro, México. Recuperado de http://www.geociencias.unam.mx/~solari/index_files/LEI/LA-ICPMS.html.
- Lapierre, H., Ortiz, L. E., Abouchami, W., Monod, O., Coulon, C., y Zimmermann, J. L., 1992. A crustal section of an intra-oceanic island arc-the Late Jurassic-Early Cretaceous Guanajuato magmatic sequence, Central Mexico: *Earth Planetary Science Letters*. 108: p 61-77.
- López, M.H., Castañeda, A., Salgado, U.B., 1970. Estudio geológico – magnetométrico del yacimiento ferrífero la guayabera, municipio de villa victoria, Michoacán. *Consejo de Recursos Naturales No Renovables*. 72: p 3-46.
- Ludwig, K.R., 2003, ISOPLOT, A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Version 3.00: Berkeley Geochronology Center Special Publication. 4: p 70.
- Morán-Zenteno, D. J., Corona-Chávez, P. y Tolson, G., (1996). Uplift and subduction erosion in southwestern México since the Oligocene: pluton geobarometry constraints: *Earth and Planetary Science Letters*. 141: 51-65.
- Morán-Zenteno, D.J., Tolson, G., Martínez-Serrano, R.G., Martiny, B., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macías-Romo, C., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M.S., 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. *J. S. Am. Earth Sci.* 12 (6): p 513–535.

- Morán-Zenteno, D.J., Martiny, B.M., Solari, L., Mori, L., Luna-González, L., González-Torres, E.A., 2018. Cenozoic magmatism of the Sierra Madre del Sur and tectonic truncation of the Pacific margin of southern Mexico. *Earth Sci.* 183: p 85-114.
- Murillo-Muñetón, G., Torres-Vargas, R., 1987. Mapa petrogenético y radiométrico de la República Mexicana. Project C-2010. Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración. p 78.
- Miller, J.S., Matzel, J.E.P., Miller, C.F., Burgess, S.D., Miller, R.B., 2007. Zircon growth and recycling during the assembly of large, composite arc plutons. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* 167: p 282-299.
- Nédélec, A., Bouchez, J.L., 2015. *Granites: Petrology, Structure, Geological Setting, and Metallogeny*. New York. United States of America. Oxford University Press. Traducción francés-ingles.
- Pantoja-Alor, J., 1983. Geocronometría del magmatismo Cretácico-Terciario de la Sierra Madre del Sur: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 44: p 1-20.
- Pantoja-Alor, J., Estrada-Barraza, S., 1986. Estratigrafía de los alrededores de la mina de fierro de El Encino, Jalisco. *Soc. Geol. Mexicana.* 47 (1): p 1-15.
- Parga, M. J. A., 1977. Estudio geológico del Prospecto Manzanillo, estado de Colima: México, D.F., Petróleos Mexicanos, IGPR-153, informe técnico (inédito).
- Pearce, J.A., Harris, B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.* 25: p 956-983.
- Pearce, J.A., Stern, R.J., 2006. Origin of Back-Arc Basin Magmas: Trace Element and Isotope Perspectives. *Geophysical Monograph Series. American Geophysical Union.* 166: p 63-86.
- Peralta-Romero, A., 1985. Análisis de variabilidad para la explotación de los cuerpos principal y mirador del yacimiento ferrífero de Aquila, Mich. Tesis inédita. Facultad de Minas Metalurgia y Geología. Universidad de Guanajuato.

- Pimentel, R. A., 1980. Prospecto Soyatlán de Adentro, Petróleos Mexicanos, IGPR-191, reporte interno (no publicado). Porción SW del Edo. de Jalisco mediante imágenes de satélite: Tesis Profesional, Instituto Politécnico Nacional.
- Pupin, J.P., 1980. Zircon and Granite Petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.* 73: p 207-220.
- Pupin, J.P., 1988. Granites as indicators in paleogeodynamics. *Società Italiana di Mineralogia e Petrologia.* 43 (-2): p 237-262.
- Ramírez-Espinoza, J., Campa-Uranga, M.F., Talavera-Mendoza, O., Guerrero-Suástegui, M., 1991. Caracterización de los arcos insulares de la Sierra Madre del Sur y sus implicaciones tectónicas: Congreso Evolución Geológica de México, Soc. Mex. Miner., Instituto de Geología, UNAM, Memorias, p 163-166.
- Rodríguez, C., Sellés, D., Dungan, M., Langmuir, C., Leeman, W., 2007. Adakitic Dacites Formed by Intracrustal Crystal Fractionation of Water-rich Parent Magmas at Nevado de Longaví Volcano (36.2°S; Andean Southern Volcanic Zone, Central Chile). *Journal of Petrology.* 48 (11): p 2033-2061.
- Shand, S.J. (1943) *Eruptive Rocks*. 2nd Edition, John Wiley and sons Inc., New York.
- Schaaf, P., 1990. Isotopengeochemische Untersuchungen an Granitoiden Gesteinen eines aktiven Kontinentalrandes. Alter und Herkunft der Tiefengesteinskomplexe an der Pazifikküste Mexikos zwischen Puerto Vallarta und Acapulco: Dissertation, Ludwig-Maximilians Universität, München. p 202.
- Schaaf, P., Morán-Zenteno, D., Hernández-Bernal, M.D.S., Solís-Pichardo, G., Tolson, G., Köhler, H., 1995. Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: geochronological evidence. *Tectonics* 14 (5): p 1339–1350.
- Schaaf, P., Böhnell, H., Pérez-Venzor, J.A., 2000. Pre-Miocene palaeogeography of the Los Cabos Block, Baja California Sur: geochronological and palaeomagnetic constraints. *Tectonophysics.* 318 (2000): p 53–69.
- SGM, 2002. Carta geológico-minera E13-6-9 (Lázaro Cárdenas) escala 1:250,000. Mich., Col., Gro. y Jal. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hgo.

- SGM, 2003. Carta geológico-minera E13-B65 (El Ranchito) escala 1:50,000. Mich. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hgo.
- SGM, 2004. Carta geológico-minera E13-B56 (Coalcomán) escala 1:50,000. Mich. y Jal. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hgo.
- SGM, 2008. Carta geológico-minera E13-B66 (Tehuantepec) escala 1:50,000. Mich. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hgo.
- SGM, 2011. Carta geológico-minera E13-B55 (Villa Victoria) escala 1:50,000. Mich., Col. y Jal. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hgo.
- Solé, J., Salinas, J.C., Gónzalez-Torres, E., Cendejas-Cruz, J.E., 2007. Edades K/Ar de 54 rocas ígneas y metamórficas del occidente, centro y sur de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 24 (1): p 104–119.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.* 12: p 1-33.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt: implications for mantle composition and process. In: Saunders A. D. and Norry M. J. (Eds, *Magmatism in ocean basins*. Geol. Soc. London. Spec. Pub. 42: p 313-345.
- Talavera-Mendoza, O., Ramirez-Espinosa, J., Guerrero-Suástegui, M., 1995, Petrology and geochemistry of the Teloloapan subterranean, a Lower Cretaceous evolved intra-oceanic island-arc. *Geofísica Internacional*. 34: p 3-22.
- Talavera-Mendoza, O., Guerrero-Suastegui, M., 2000. Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implications for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the Late Mesozoic. *Journal of South American Earth Sciences*. 13 (2000): p 297-324.
- Talavera-Mendoza, O., Elías-Herrera, M., García-Díaz, J. L., 2009. Libro guía de la excursión geológica al sector sur-oriental del Terreno Guerrero en las regiones de Tejupilco-Palmar Chico, Estado de México y Arcelia-Teloloapan, Guerrero.

Simposio Geo Guerrero, 16-21 de febrero de 2009, Taxco, Guerrero, México. (Memorias de resúmenes).

Tardy Marc, Lapierre Henriette, Bourdier Jean Louis, Coulon Christian, Ortiz-Hernández Luis Enrique y Yta Mieriam, 1992. Intraoceanic setting of the western Mexico Guerrero Terrane-Implications for the Pacific-Tethys Geodynamic relationships during the Cretaceous. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. 10 (2): p 118-128.

Tardy, M., Lapierre, H., Freydier, C., Coulon, C., Gill, J. B., Mercier de Lepinay., Beck, C., Martinez, j., Talavera, M., Ortiz, E., Stern, G., Bourdier, J. L., e Yta, M., 1994. The Guerrero suspect terrane (western Mexico) and coeval arc terranes (the Greather Antilles and the Western cordillera of Colombia) a late Mesozoic intra-oceanic arc accreted to cratonal America during the Creteaceous. Tectonophysics. 234 (4): p 49-73.

Tolson, G., Camprubí, A., Romero., M.F., y Centeno-García, E., 2009. Cartografía geológica y estructural, y modelo de los yacimientos de hierro, de las áreas mineralizadas de Peña Colorada y Arrayanes, Colima. Informe del estudio realizado para la compañía Consorcio Minero Benito Juárez-Peña Colorada S.A. de C.V. 3-73pp (inedito).

Tritlla, J., Camprubí, A., Centeno-García, E., Corona-Esquivel, E., Iriondo, A., Sánchez-Martínez, S., Gasca-Durán, A., Cienfuegos-Alvarado, E., Morales-Puente, E., 2003. Estructura y edad del depósito de hierro de Peña Colorada (Colima): un posible equivalente Fanerozoico de los depósitos de tipo IOCG: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 20 (3): p 182-201.

Villanueva-Lascurain, D., 2011. Petrogénesis de la parte gabroica del Plutón de jilotlán, Jalisco. Tesis Inédita. Facultad de Ingeniería: División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México.

Villanueva-Lascurain, D., Solís-Pichardo, G., Schaaf, P., Hernández-Treviño, T., Salazar-Juárez, J., Corona-Chavez, P., 2016. Age and origin of the gabbros in

- the Jilotlán pluton, Jalisco: primitive magmatic rocks in the southern part of the Guerrero terrane. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 33 (1): p 136–156.
- Whittier, D.A., 1963. Character and distribution of mineralization associated with magnetite bodies northeast of Aguila, Michoacán, Mexico: Tucson, University of Arizona, disertación doctoral, 123.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin y Hyman, London. p 466.

Anexo I

Revisión de muestras de mano (briquetas) de El CPA

Gabro Tierras Aradas (GTA)



AQ-72A, rumbo Rancho El Otate, coordenadas UTM W:
658794, N: 2065044.

Color: gris medio.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Qz+Am+Cpx.

Clasificación: cuarzodiorita.



AQ-72B, rumbo Rancho El Otate, coordenadas UTM W:
658794, N: 2065044.

Color: gris oscuro.

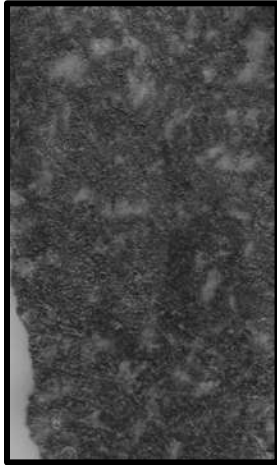
Textura: fanerítica inequigranular de grano medio a fino. Se observa fábrica foliada definida por Pl y ferromagnesianos.

Asociación mineral:

Primaria: Opx+Pl+Cpx±Am?

Secundaria: Py.

Clasificación: gabro.



**AQ-72C, rumbo Rancho El Otate, coordenadas UTM W:
658794, N: 2065044.**

Color: gris oscuro.

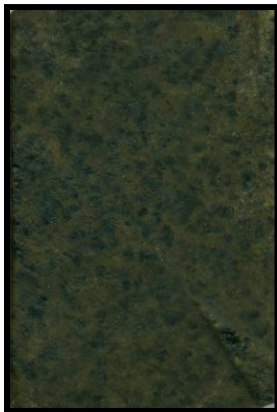
Textura: fanerítica inequigranular de grano medio a fino. Se observa fábrica foliada definida por Pl y Cpx.

Asociación mineral:

Primaria: Cpx+Pl+Opx.

Secundaria: Am+Bt+Qz+Pl.

Clasificación: gabro (contacto con GHNO).



**AQ-73, rumbo Rancho El Otate, coordenadas UTM W: 659172,
N: 2065434.**

Color: amarillento con motas negras.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx.

Alteración: con intemperismo moderado que le da la tonalidad amarillenta.

Clasificación: gabro.



**AQ-74, rumbo Rancho El Otate, coordenadas UTM W: 659172,
N: 2065434.**

Color: gris claro con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso. Foliación débil definida por los clinopiroxenos.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx.

Clasificación: gabro.



AQ-82, camino a La Aguja, coordenadas UTM (W: 660245, N: 2069154).

Color: gris oscuro.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso a medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx+Opx.

Secundaria: Qz.

Clasificación: gabro o cuarzogabro.



AQ-84, antes desviación a El Anono coordenadas UTM W: 659552, N: 2066936.

Color: gris oscuro con tonalidades blancas.

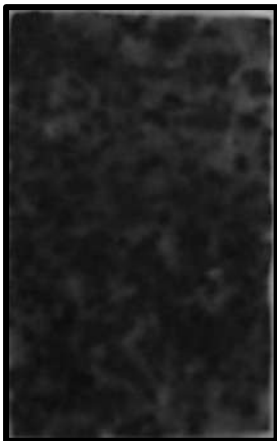
Textura: fanerítica equigranular de grano grueso. Presenta dominio de foliación moderadamente desarrollada definida por Opx.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx±Opx.

Clasificación: gabro.

Observaciones: similar al gabro AQ-69.



AQ-102, entre El Guasimal y La Roblera, coordenadas UTM W: 655951, N: 2067062.

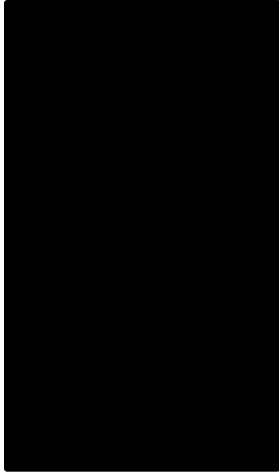
Color: gris oscuro a medio.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso-medio. Se observa una foliación magmática poco desarrollada definida por Pl y Cpx.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx±Opx.

Clasificación: gabro.



AQ-103, Cañada a la salida de Solimán, coordenadas UTM W: 655009, N: 2068225.

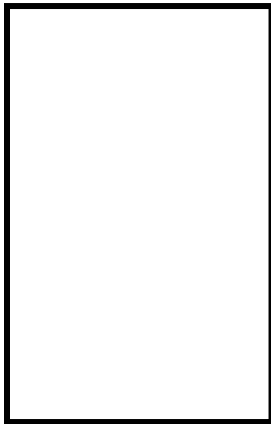
Color: gris oscuro con tonalidades amarillo opaco.

Textura: fanerítica inequigranular de grano fino-medio. Se observa foliación moderadamente desarrollada definida por los Pl y Cpx.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx±Opx.

Clasificación: gabro.



UL-29, rumbo Tierras Aradas, coordenadas UTM W: 658333, N: 2066698.

Color: gris claro con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso a medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx.

Clasificación: gabro.



UL-30, rumbo Tierras Aradas, coordenadas UTM W: 658333, N: 2066698.

Color: gris claro con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso-medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx.

Clasificación: gabro.



UL-31 (igual a la 28), La Roblera, coordenadas UTM W: 658116, N: 2066698.

Color: gris oscuro.

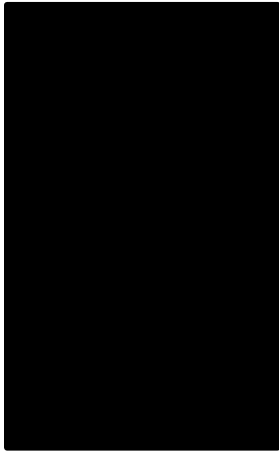
Textura: porfídica definida por cristales de plagioclasas inmersas en una mesostasis de grano fino rica en máficos.

Asociación mineral:

Primaria: Am+Pl.

Clasificación: gabro de Anfíbol.

Gabro híbrido Nuez-Otate (GHNO)



AQ-03, La Nuez, coordenadas UTM W: 666968, N: 2064817.

Color: gris medio a oscuro.

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio. Presenta una textura transicional y se puede observar foliación magmática.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am+Cpx.

Clasificación: gabro de Anfíbol-piroxeno.



AQ-04, La Nuez, coordenadas UTM W: 666968, N: 2064817.

Color: gris medio a oscuro.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso-medio. Presenta desarrollo de una fábrica foliada definida por Pl y máficos.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am+Cpx.

Clasificación: gabro de Anfíbol-piroxeno.



AQ-04A, La Nuez, coordenadas UTM W: 666968, N: 2064817.

Color: gris oscuro.

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio a fino. Fábrica foliada definida por alineamiento de Am en al menos dos direcciones. Se observan pequeños parches de Pl con óxidos en el centro.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am.

Clasificación: gabro de Anfíbol.



AQ-11, El Moro, coordenadas UTM W: 674574, N: 2068077.

Color: gris medio a claro.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio. Se observan escasos enclaves ricos en Am parcialmente rodeados de Pl.

Asociación mineral:

Primaria: Pl±Am.

Alteración: cloritización del Am y oxidación débil.

Clasificación: diorita o gabro de Anfíbol.



AQ-14, La Nuez, coordenadas UTM W: 666968, N: 2064817.

Color: gris medio a oscuro.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio. Fábrica foliada bien desarrollada definida por Am y Pl.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am±Mt.

Secundarios: Kfs (abundante) que se encuentran típicamente en los dominios de la Pl.

Clasificación: gabro o diorita de anfíbol.



AQ-15, La Nuez, coordenadas UTM W: 666968, N: 2064817.

Color: rosa obscuro con tonalidades blancas y gris obscuro

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio a grueso. Textura transicional de un dominio de grano grueso rico en Pl a uno más fino rico en Am y Kfs.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am.

Secundarios: Kfs (abundante) y trazas de Py y Mt

Clasificación: gabro o diorita de anfíbol.



AQ-16, La Nuez, coordenadas UTM W: 666968, N: 2064817.

Color: gris medio a oscuro

Textura: fanerítica equigranular de grano medio. Fábrica foliada bien desarrollada definida por Am y Pl

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am±Mt

Secundarios: Kfs (abundante) que se encuentran típicamente en los dominios de la Pl.

Clasificación: gabro o diorita de anfíbol.



**AQ-61, Desviación a Huitzontla, coordenadas UTM W: 665554,
N: 2063692.**

Color: gris medio.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio. Se observa fábrica foliada moderadamente desarrollada definida por Am y Pl.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am+Mt.

Secundario: Kfs (moderado).

Clasificación: gabro o diorita de anfíbol.

Observaciones: similar a AQ-14.



**AQ-63, Desviación Huitzontla, coordenadas UTM W: 664840,
N: 2063073.**

Color: gris oscuro a medio.

Textura: fanerítica equigranular de grano fino. Desarrolla una fábrica foliada definida por Pl y Am.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am. Las Pl están zonadas.

Clasificación: gabro de Anfíbol o diorita de Anfíbol.



**AQ-64, Desviación Huitzontla, coordenadas UTM W: 666576,
N: 2061737.**

Color: gris medio.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am.

Secundario: Ep.

Alteración: los Am están afectados por una alteración que le imprime un color bronce

Clasificación: gabro de Anfíbol o diorita de Anfíbol.



AQ-76, R. Otate-Ocote, coordenadas UTM W: 659609, N: 2066473.

Color: gris oscuro con blanco.

Textura: fanerítica equigranular de grano grueso. Se observa una fábrica foliada moderadamente desarrollada definida por Cpx. Se observan vetillas de Qz+Ep que cortan la foliación.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx±Opx.

Clasificación: gabro.



AQ-80, Arroyo camino, coordenadas UTM (W: 659557, N: 2066670).

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso. Se observa una fábrica foliada pobremente desarrollada.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Qz+Am+Cpx.

Clasificación: tonalita.



AQ-83, Camino a La Aguja, coordenadas UTM W: 660241, N: 2066418.

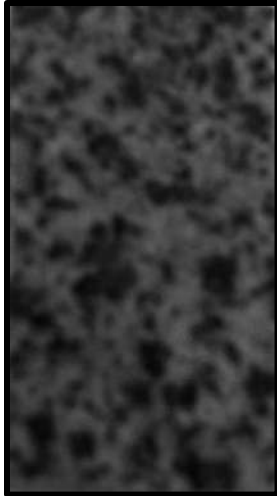
Color: gris oscuro con tonalidades gris claro.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso-medio. Se observa foliación magmática definida por los Cpx.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx.

Clasificación: gabro.



AQ-95, pasando Puerto del Caimán, coordenadas UTM W: 667805, N: 2065826.

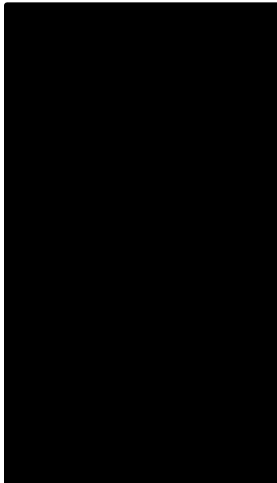
Color: blanca con manchas negras (sal y pimienta)

Textura: fanerítica equigranular de grano medio. Exhibe una foliación magmática poco desarrollada definida por Pl y máficos. se observan coronas de Am alrededor de Opx.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx+Opx+Am+Kfs+Qz.

Clasificación: cuazomonzodiorita.



AQ-96, Antes de la desviación a La Coyulera, coordenadas UTM W: 664502, N: 2062172.

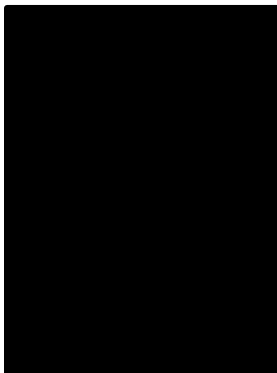
Color: gris claro con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano fino-medio. Se observa un contacto entre una porción enriquecida en máficos y una más leucocrática.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx+Opx.

Clasificación: gabro.



AQ-98, a la salida de El Otate en dirección a La minita, coordenadas UTM W: 656612, N: 2064564.

Color: gris medio.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso-medio, con foliación magmática definida por Pl y máficos.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx±Am.

Secundaria: Bt+Qz.

Alteración: de Kfs penetrativa que afecta principalmente a las zonas dominadas por Pl.

Clasificación: gabro con textura de infiltración de poro.



AQ-100, entre La minita y El Guasimal, coordenadas UTM W: 655603, N: 2065577.

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

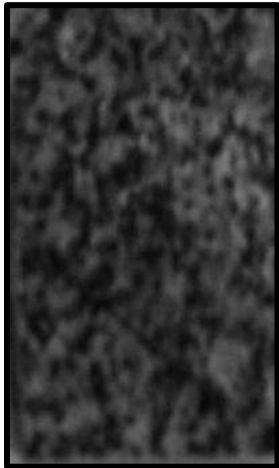
Textura: fanerítica inequigranular de grano medio-grueso, foliación magmática definida por Pl y máficos.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am+Cpx+Opx

Alteración: de Kfs penetrativa ligada con las Pl.

Clasificación: gabro de anfíbol-piroxeno.



AQ-101, antes de El Guasimal, coordenadas UTM (W: 655503, N: 2065942).

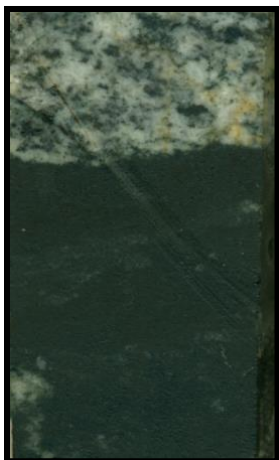
Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio-grueso.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Kfs+Qz+Am.

Clasificación: cuarzomonzonita o granodiorita.



AM-24, 3-4, Puerto del Caimán-Aguila, coordenadas UTM W: 666973, N: 2064811.

Color: Gris obscura.

Textura: afanítica.

Asociación mineral:

Primaria: Máficos+Pl.

Clasificación: andesita.

Observaciones: dique que corta a AM-24.



AM-25, Mina Aquila, coordenadas UTM W: 660928, N: 2060502.

Color: gris medio a oscuro.

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx+Am.

Clasificación: gabro.



**UL-22, rumbo Tierras Aradas, coordenadas UTM W: 658333,
N: 2066698.**

Color: gris claro con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso a medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx.

Clasificación: gabro.



UL-32, El Chafre, coordenadas UTM (W: 660380, N: 2063095).

Color: gris oscuro- amarillento opaco.

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio a grueso

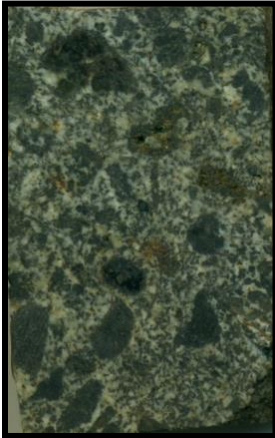
Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx+Opx+Am

Secundaria: Qz+Pl

Clasificación: gabro o cuarzogabro.

Granodiorita-Tonalita Huitzontla (GTH)



AQ-56, Naranjillo, coordenadas UTM W: 674400, N: 2068074.

Color: gris medio.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio a fino. Se observan algunos enclaves de entre 4mm y 1 cm ricos en Am y Cpx y desarrollan bordes Pl.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Qz±Am.

Clasificación: cuarzomonzodiorita.

Observaciones: los pequeños enclaves pueden representar evidencias de mezclas de magmas.



AQ-57, Naranjillo, coordenadas UTM (W: 674400, N: 2068074).

Color: verde pálido.

Textura: fanerítica equigranular de grano fino a medio.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am+Qz±Cpx

Alteración: Los Am se encuentran parcialmente cloritizados

Clasificación: tonalita.



AQ-58, Naranjillo, coordenadas UTM W: 674400, N: 2068074.

Color: gris medio con tonalidades naranjas.

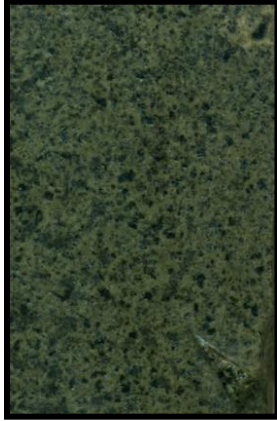
Textura: fanerítica equigranular de grano fino. Presenta fábrica foliada moderadamente desarrollada definida por Am. Muestra fracturamiento débil.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Kfs±Qz±Am.

Alteración: cloritización del Am y oxidación débil.

Clasificación: cuarzomonzodiorita.



AQ-59, Naranjillo, coordenadas UTM W: 673374, N: 2066570.

Color: verde grisáceo.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio a fino. Presenta foliación magmática débilmente desarrollada definida por Pl.

Asociación mineral:

Primaria: Pl±Am

Alteración: Chl que reemplaza total o parcialmente al Am.

Clasificación: andesita.

Observaciones: Roca encajonante.



AQ-60, Crucero Naranjillo, coordenadas UTM W: 673470, N: 2062803.

Color: Gris Medio a claro con tonalidades blancas.

Textura: pofirítica definida por cristales de Kfs y Pl embebidos en una mesostasis rica en Qz y Kfs.

Asociación mineral:

Primaria: Qz+Kfs+Pl+Am.

Secundarios: Py diseminada en la mesostasis.

Clasificación: granito.



AQ-87, R. El Inmediato, coordenadas UTM W: 662847, N: 2059187.

Color: blanca con manchas negras.

Textura: fanerítica equigranular de grano medio. Exhibe una foliación definida por Anfíbol y plagioclasa. Presenta una vetilla de Anfíbol y vetillas más finas rellenas de Ep que cortan a la foliación.

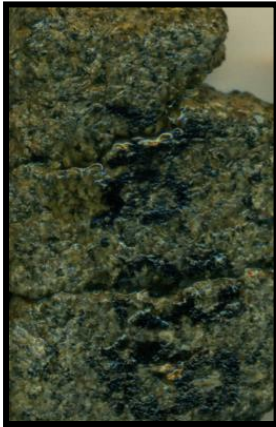
Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am+Kfs+Qz.

Alteración: en los Anfíboles tanto en la vetilla como a los alrededores desarrollan un borde clorítico.

Clasificación: cuarzomonzodiorita.

Observaciones: las vetillas pueden estar relacionadas con episodios de hidrotermalismo o eventos plutónicos posteriores a la formación de la roca.



AQ-88, R. El Inmediato, coordenadas UTM W: 662847, N: 2059187.

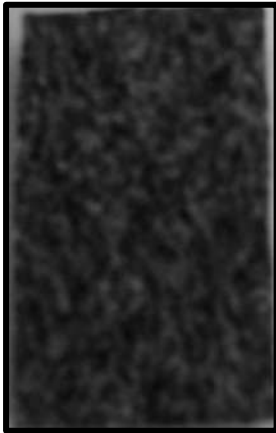
Color: gris oscuro a medio.

Textura: fanerítica equigranular de grano fino. Desarrolla una fábrica foliada definida por Pl y Am.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am. Las Pl están zonadas.

Clasificación: monzodiorita.



AQ-97, sobre la desviación a El Cuasuchil, coordenadas UTM W: 663858, N: 2059704.

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio-grueso, con foliación magmática definida por Pl y Am.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Kfs+Qz+Am+Cpx±Bt.

Clasificación: granodiorita.

Gabro híbrido Caimán (GHC)



AQ-01, Puerto El Caimán, coordenadas UTM W: 667727, N: 2066198.

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso. Se observa una textura intersticial definida por Pl, en la que se observa una asociación mineral secundaria.

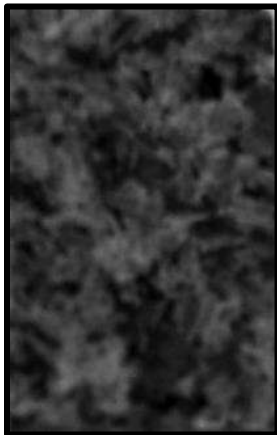
Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx+Opx+Ox.

Secundarios: Bt+Qz+Am+Pl.

Clasificación: gabro o monzogabro.

Observaciones: La ocurrencia de minerales más félsicos de la textura intersticial original del gabro nos habla de un evento posterior al gabro que los introdujo en este.



AQ-01B, Puerto El Caimán, coordenadas UTM W: 667727, N: 2066198.

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso. Se observa una textura intersticial definida por Pl.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx±Opx.

Secundarios: Am+Mt+Qz? y trazas de Py.

Clasificación: gabro.

Observaciones: La ocurrencia de minerales más félsicos de la textura intersticial original del gabro nos habla de un evento posterior al gabro que los introdujo en este.



AQ-02, Puerto El Caimán, coordenadas UTM W: 667727, N: 2066198.

Color: gris oscuro con tonalidades blancas.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso a medio. Se observa una transición gradual de grano grueso a fino y que a la vez se enriquece en ferromagnesianos.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx+Am.

Clasificación: gabro.



AQ-68A, Villa Victoria-Rancho Chorohuira, coordenadas UTM W: 663331, N: 2071671.

Color: gris con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica equigranular de grano grueso. Textura intersticial definida por plagioclasas.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Opx+Cpx.

Secundaria: Bt+Qz.

Clasificación: gabro.

Observaciones: Gabro muy similar al de puerto caimán.



AQ-68B, Villa Victoria-Rancho Chorohuira, coordenadas UTM W: 663331, N: 2071671.

Color: gris oscuro con tonalidades blancas.

Textura: fanerítica equigranular de grano grueso.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Opx+Cpx. Típicamente los Opx (gris medio a verde opaco) se encuentran en el núcleo de los clinopiroxenos (negros).

Clasificación: gabro.

Observaciones: similar al gabro AQ-68A. el contenido de Opx y Cpx es casi igual.



**AQ-69, Villa Victoria-Rancho Chorohuira, coordenadas UTM
W: 663223, N: 2071613.**

Color: gris medio a oscuro

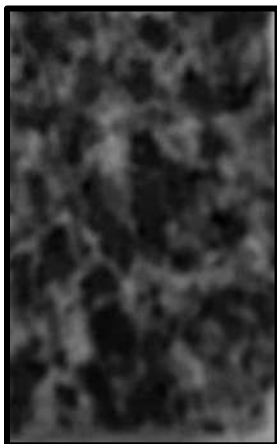
Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso.

Asociación mineral:

Primaria: Plagioclasas (gris)+Cpx+Opx. Las Pl y Cpx definen una foliación incipiente

Clasificación: gabro.

Observaciones: similar al gabro AQ-68a



**AQ-107, antes de llegar a Puerto Churohuira, UTM W: 663341,
N: 2071668.**

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica equigranular de grano grueso. Texturas intersticiales definidas por Pl, donde cristaliza una asociación mineral secundaria.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Cpx±Opx.

Secundaria: Bt+Am+Qz.

Clasificación: gabro.



UL-03, Puerto El Caimán, coordenadas UTM W: 667727, N: 2066198.

Color: gris medio con tonalidades blancas.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso. Se observa una textura intersticial definida por Pl.

Asociación mineral:

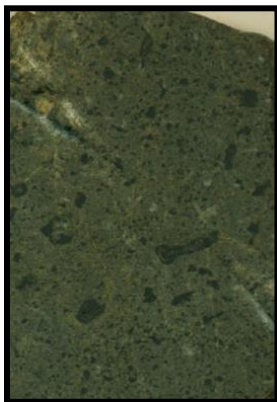
Primaria: Pl+Cpx±Opx.

Secundarios: Am+Bt+Qz±Kfs, además se pueden ver trazas de Py.

Clasificación: gabro o monzogabro.

Observaciones: La ocurrencia de minerales más félsicos de la textura intersticial original del gabro nos habla de un evento posterior al gabro que los introdujo en este.

Granodiorita-Tonalita Solimán-Chafre (GTSC)



AQ-67, Villa Victoria-Rancho Chorohuira, coordenadas UTM (W: 665230, N: 2074540).

Color: gris medio, con tonalidades verdes

Textura: porfídica seriada, definida por plagioclasas y Anfíboles. Tiene fracturamiento débil. Mesostasis rica en plagioclasa.

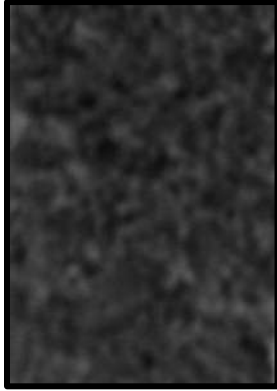
Asociación mineral:

Primaria: Pl+Qz+Am.

Alteración: Cerca de las fracturas se observan óxidos de hierro.

Clasificación: Granodiorita.

Observaciones: Roca con apariencia hipabisal.



AQ-104, Puerto Solimán, coordenadas UTM W: 654310, N: 2068472.

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano medio-grueso.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Qz+Kfs+Cpx+Bt±Opx.

Clasificación: tonalita.



AQ-106, 40m antes de Rancho Chorohuira, coordenadas UTM W: 663196, N: 2071538.

Color: gris medio con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso, con foliación magmática pobremente desarrollada.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Am+Kfs+Cpx±Qz.

Clasificación: cuarzomonzonita o cuarzomonzodiorita.



AM-26, Hacia el Choco Huiztal, coordenadas UTM (W: 660283, N: 2063274).

Color: Rosa clara con tonalidades oscuras.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso a medio. Se observa foliación magmática moderadamente desarrollada, definida por máficos y Kfs. Los minerales leucocráticos en la foliación se observan policristalinos, como si la misma foliación los rompiera.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Kfs+Qz+Am+Cpx.

Clasificación: granodiorita.



**AQ-71, Villa Victoria-Rancho Chorohuira, coordenadas UTM
W: 664103, N: 2073389.**

Color: verde oscuro con tonalidades blancas.

Textura: fanerítica inequigranular de grano grueso. Las Pl y Kfs tienen en su núcleo inclusiones de Ox (se disemina por toda la lámina). Todos los minerales son anhedrales.

Asociación mineral:

Primaria: Pl+Kfs+Am.

Alteración: alteración moderada de clorita que imprime el color verde a la roca.

Clasificación: monzonita o monzodiorita

Observaciones: la alteración en la roca enmascara las características originales.

Anexo II

Estructuras y texturas de hibridación

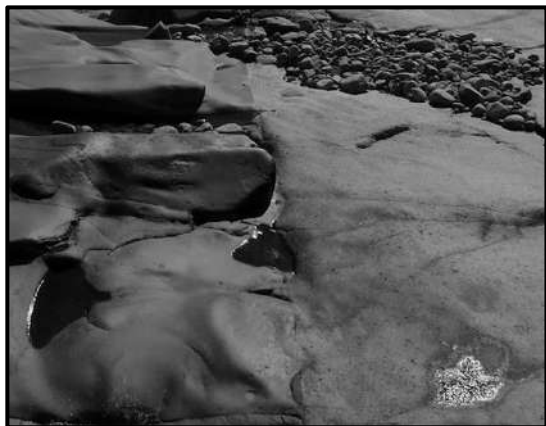
(“*mingling*” y “*mixing*”)



Dique máfico desmembrado por líquido aplítico que intrusiona un cuerpo granítico con texturas rapakivi (evidencia de “*mingling*” y de “*mixing*” local; Tomado de: 1).

1 <http://www.travelinggeologist.com/2012/02/coastal-maine-magmatism/>; 2 Salvatore *et al.*, 2013; 3 http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/Magma_source_processes_KI/Magma_mixing_source_KI.htm; 4 Suzaño *et al.*, 2015; 5 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/enclaves/>; 6 <http://geologiadesevilla.blogspot.mx/2011/08/segun-el-cartelito-de-la-foto-el.html>; 7 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/otras-estructuras/>; 8 <http://www.biodiversidadvirtual.org/geologia/Granitoide-porfidico-con-diques-apliticos-y-enclaves-de-corneanas-peliticas-img4132.html>; 9 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/texturas-plano-lineales-igneas/>

Tipos de contactos entre rocas magmáticas con y sin procesos de hibridación



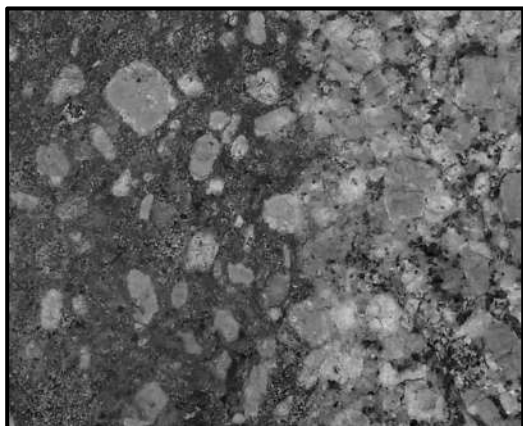
Contacto recto o angular (neto; Sharp). Contacto frío, no indica procesos de hibridación (tomado de: 1).



Borde de enfriamiento (chilled margin). Indica contraste térmico entre los cuerpos magmáticos. Borde rico en Bt tomado de: 2).



Contacto apuntado o picudo (irregular; "cusped"). Contacto relativamente caliente (en condiciones plásticas) puede ocurrir "mingling" (mezcla mecánica) local (tomado de: 3).



Contacto transicional (permeated- diffuse boundaries). Contacto caliente, indica proceso de hibridación ("mingling"). Inclusión mecánica de Fk (tomado de: 1).



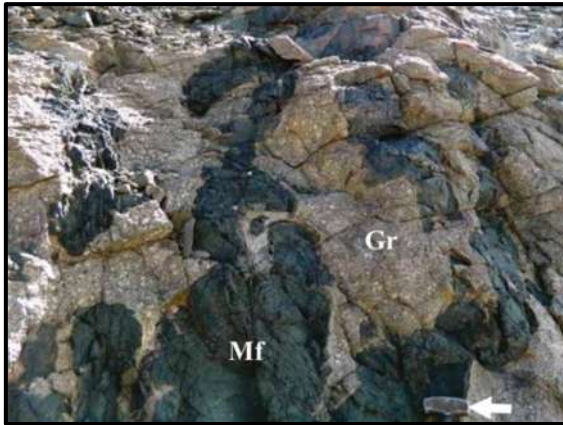
Contacto con desmembramiento máfico (Gr = Monzogranito y Mf = diorita). Estructuras "schollen" ("mingling"; tomado de: 4).



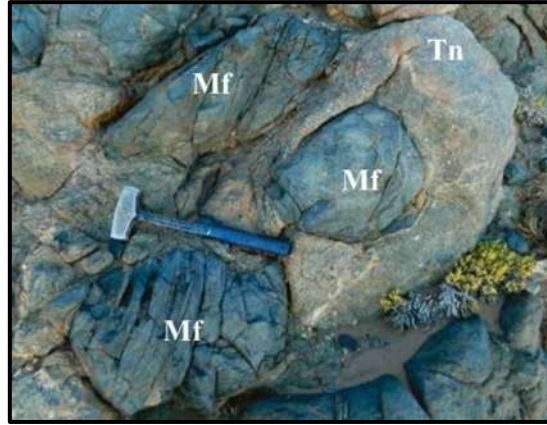
Contacto con estructuras tipo "schlieren" subparalelas (tomado de: 1; "mixing").

1 <http://www.travelinggeologist.com/2012/02/coastal-maine-magmatism/>; 2 Salvatore *et al.*, 2013; 3 http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/Magma_source_processes_KI/Magma_mixing_source_KI.htm; 4 Suzaño *et al.*, 2015; 5 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/enclaves/>; 6 <http://geologiadesevilla.blogspot.mx/2011/08/segun-el-cartelito-de-la-foto-el.html>; 7 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/otras-estructuras/>; 8 <http://www.biodiversidadvirtual.org/geologia/Granitoide-porfidico-con-diques-apliticos-y-enclaves-de-corneanas-peliticas-img4132.html>; 9 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/texturas-plano-lineales-igneas/>

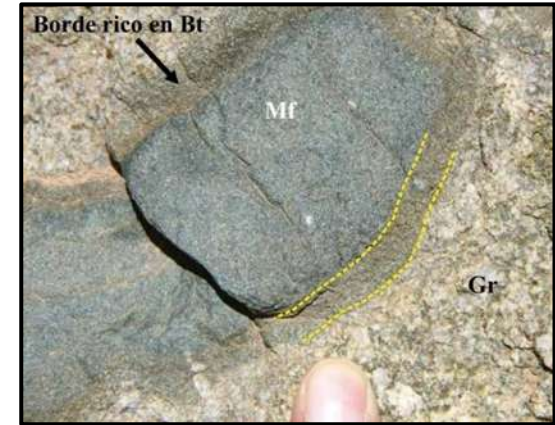
Estructuras relacionadas con enclaves



Desmembramiento máfico para formar enclaves ("mingling"; tomado de: 4).



Enclaves con contactos tendencialmente angulares (Tn= tonalita; "Sharp"; tomado de: 4).



Enclave con borde de enfriamiento ("chilled margin"; tomado de: 4). Contraste



Enjambre de enclaves (alineados con el flujo; "swarm"; tomado de: 5; "mingling")



Conducto de enclaves con borde subangulares-redondeados. Se observan contactos netos y algunos parcialmente reabsorbidos (tomado de: 5; "mixing" local).

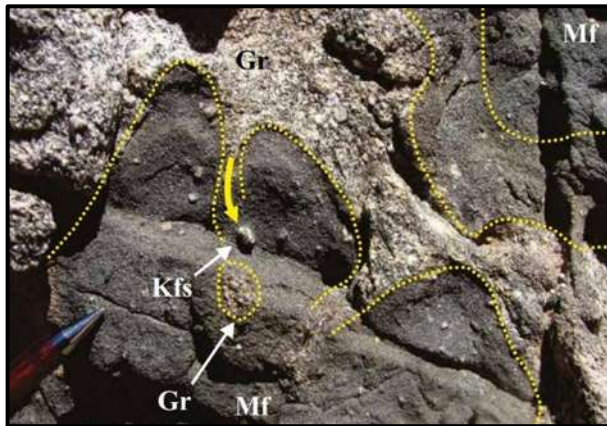


Enclaves con borde ovoidal neto y transicional (arriba de la moneda; tomado de: 5; "mixing" local).

1 <http://www.travelinggeologist.com/2012/02/coastal-maine-magmatism/>; 2 Salvatore *et al.*, 2013; 3 http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/Magma_source_processes_KI/Magma_mixing_source_KI.htm; 4 Suzaño *et al.*, 2015; 5 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/enclaves/>; 6 <http://geologiadesevilla.blogspot.mx/2011/08/segun-el-cartelito-de-la-foto-el.html>; 7 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/otras-estructuras/>; 8 <http://www.biodiversidadvirtual.org/geologia/Granitoide-porfidico-con-diques-apliticos-y-enclaves-de-corneanas-peliticas-img4132.html>; 9 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/texturas-plano-lineales-igneas/>



Detalle de enclave con borde transicional con la roca que lo contiene. Las líneas punteadas amarillas delimitan la formación de una zona híbrida entre el enclave y la roca que lo contiene. Gd=granodiorita (tomado de: 4; “mingling”).



Enclave con infiltración mecánica de Kfs y entradas de líquido granítico (“pores flow”; tomado de: 4; “mingling”).



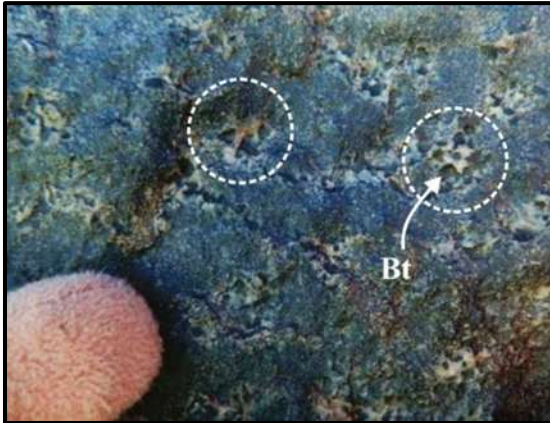
Enclaves con estructura de flama (modificado de: 6; “mingling”).



Enclave máfico con infiltración de líquido granítico, en forma de bolsas o parches (“patch”) y en venillas (“veined”; tomado de: 5; “mingling”).

1 <http://www.travelinggeologist.com/2012/02/coastal-maine-magmatism/>; 2 Salvatore *et al.*, 2013; 3 http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/Magma_source_processes_KI/Magma_mixing_source_KI.htm; 4 Suzaño *et al.*, 2015; 5 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/enclaves/>; 6 <http://geologiadesevilla.blogspot.mx/2011/08/segun-el-cartelito-de-la-foto-el.html>; 7 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/otras-estructuras/>; 8 <http://www.biodiversidadvirtual.org/geologia/Granitoide-porfidico-con-diques-apliticos-y-enclaves-de-corneanas-peliticas-img4132.html>; 9 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/texturas-plano-lineales-igneas/>

Otras estructuras



Infiltración en “pots” (parches; “pores flow”) de líquido granítico en diorita (tomado de: 4; “mingling”).



Estructura de cavidad miarolítica. Bolsa pegmatítica rica en Qz y Fk con borde de reacción fino rico en Fk, post-magmática (tomado de: 7).



Dique inyectado con roca granítica no totalmente fría y ligada con un fallamiento que disloca el dique en forma lateral derecha. Los bordes son irregulares debido a la temperatura de los cuerpos cuando actuó el mecanismo de falla (tomado de: 1).



Dique y venas (aplíticos) inyectados en encajonante (granito porfírico) relativamente caliente (tomado de: 8).



Estructuras tipo “schlieren” curvadas; detalle en el recuadro de la izquierda (tomado de: 9; “mixing”).

1 <http://www.travelinggeologist.com/2012/02/coastal-maine-magmatism/>; 2 Salvatore *et al.*, 2013; 3 http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/Magma_source_processes_KI/Magma_mixing_source_KI.htm; 4 Suzaño *et al.*, 2015; 5 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/enclaves/>; 6 <http://geologiadesevilla.blogspot.mx/2011/08/segun-el-cartelito-de-la-foto-el.html>; 7 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/otras-estructuras/>; 8 <http://www.biodiversidadvirtual.org/geologia/Granitoide-porfidico-con-diques-apliticos-y-enclaves-de-corneanas-peliticas-img4132.html>; 9 <https://petroigne.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-volcanicas/texturas-plano-lineales-igneas/>

Anexo III

Descripción de campo de las unidades del Ensamble Plutónico Faro-Maruta (EPFM) Castro-Ornelas 2013

Monzogranito-granodiroita Pómaro-Coire (MGPC)

Cuerpo granítico leucocrático que generalmente manifiesta un aspecto sano. En algunas zonas se observa un fracturamiento que va de intenso a moderado. Su textura es fanerítica cristalina de grano medio-fino, con abundancia de minerales máficos. Las plagioclasas son euhedrales comúnmente de aspecto lechoso; el feldespato potásico es anhedral e intersticial y puede presentarse como fenocristal. Los minerales máficos son cristales de biotita que pueden aparecer como fenocristales (Figura A1.) con bordes de reacción, el anfíbol se manifiesta de manera heterogénea incluso en ocasiones puede no estar presente. Sin embargo, cuando se observa, exhibe alteraciones de clorita. Los minerales accesorios son cristales euhedrales de titanita



Figura A1. Litotipo granítico MGPC a escala de muestra de mano. En este leucogranito se logran observar los fenocristales de biotita.

(esfena) y apatitos euhedrales finos. De este litotipo se colectaron algunas muestras y en campo se clasificó como un monzogranito-granodiorita de biotita y anfíbol. Este litotipo puede presentar una foliación penetrativa con orientaciones 180N/68E, 235N/45SE, 165N/55NE, y un sistema de planos de falla 20N/45NO, 122N/72NE.

El afloramiento tipo de esta unidad se distribuye de manera intermitente sobre el camino pavimentado que va de la comunidad de Pómaro a la comunidad de El Coire a lo largo de poco más de 7 km. La unidad MGPC entra en contacto hacia el suroeste y oeste con la unidad de Ostula en donde pasa de manera gradual y no se reconocen diferencias o límites cartográficos. Sin embargo, como será descrito en el apartado de la petrografía, se verifican una serie de texturas y variaciones composicionales importantes que nos permiten proponer una sub-unidad. Hacia el sur se pone en contacto con el GTM y al norte y noroeste está en contacto con una secuencia tipo flysch con calizas estratificadas. El contacto tiene una clara forma concéntrica y desarrolla una aureola térmica de media a alta temperatura relacionada con skarns y hornfels con texturas ocasionalmente foliadas. En esta zona se concentran importantes filones pegmatíticos.

Esta unidad cuenta con una subdivisión denominada Monzogranito Coire-Estopilas (MCE).

Granodiorita El Faro (GF)

Cuerpo granítico leucocrático (tonos rosados) con diaclasas, intemperizado de aspecto deleznable con bordes redondeados y se encuentra moderadamente argilizado (Figura A2. A). Se caracteriza por un tamaño de grano medio. En muestra de mano la roca tiene un aspecto sano y coloraciones claras. Presenta una texturalmente fanerítica, cristalina de grano medio-fino, Su mineralógicamente se compone de abundante feldespato potásico, que le proporciona el color rosado, las plagioclasas se encuentran generalmente alteradas evidenciadas por su aspecto lechoso. Los minerales máficos son abundantes, representados por cristales de anfíbol y biotita en algunos casos ambos manifiestan bordes de reacción. Los minerales accesorios abundantes son cristales euhedrales de titanita (esfena). De este litotipo se

colectaron algunas muestras y en campo se clasificó como una granodiorita de biotita y anfíbol.

Desde el punto de vista estructural es común encontrar planos de una foliación magmática con orientación 355N/65SO y planos de fallas frágiles posteriores que cortan al plutón con orientaciones 130N/32NE y 260N/45NE. Esta unidad presenta bordes de enfriamiento ("*chilled margin*") de proporciones centimétricas (Figura A2. B) muy bien expuestos.

La localidad tipo es la playa de El Faro, se extiende a lo largo de poco más de 13 km sobre la línea de costa hasta la localidad de Ixtapilla y hacia continente en la comunidad de Canoitas. Se encuentra en contacto hacia el noroeste con la Granodiorita Ostula, donde el contacto muestra importantes lineamientos y aparece un cierto control estructural y litológico por zona de cizalla. Así mismo en la comunidad de Ixtapilla el contacto es por falla con una orientación NE-SO. Sus límites hacia el NE y SE muestran relaciones no claras hacia la Granodiorita-Tonalita de Maruata, en donde podría ser un límite transicional pasando por Motín del Oro. Hacia la porción más septentrional la GF se relaciona con una serie de estructuras ONO-ESE con desplazamientos de corte y en ocasiones cambios de relieve que pone en contacto al GE con las unidades plutónicas de Coire.

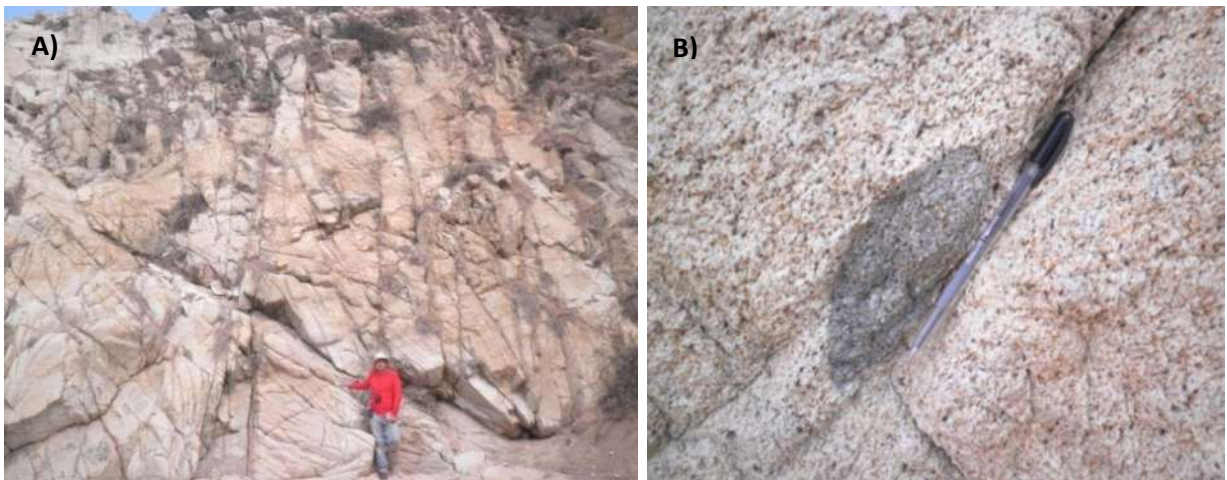


Figura A2. A) Imagen representativa a escala afloramiento del GF. Notar el abundante fracturamiento. B) Enclave máfico de decenas de centímetros orientado en el sentido de la foliación y asociado con bordes de enfriamiento (Chilled margin).

Las edades compiladas de dos muestras referentes con este litotipo fueron obtenidas por el método K/Ar en cristales de biotita con edades de 38 y 43 Ma (IMP, 1977).

Granodiorita Ostula (GO)

A escala afloramiento se observa en tonos oscuros con alteración de comportamiento heterogéneo. En muestra de mano la roca es leucocrática, su textura es fanerítica cristalina de grano medio-fino, compuesta de plagioclasas euhedrales-subeuhedrales, cuarzo anhedral-intersticial y feldespato potásico anhedral-intersticial. Por otra parte, los minerales máficos como el anfíbol y la biotita son subeuhedrales y abundantes. Las fases accesorias están representadas por titanitas euhedrales de grano fino muy abundantes y distribuidas de manera uniforme.

Sobre el camino que conduce hacia la comunidad de El Potrero de Ostula se revela un evento de deformación asociado a una zona de cizalla con una componente lateral izquierdo nombrada Falla Pabellón por el SGM la cual generó una zona de protomilonitas catalogada así debido a que aún es posible determinar las fases minerales. Además, se observaron foliaciones magmáticas con orientaciones 60N/25NO y 65/22 NO. Así mismo evidentes filones aplíticos en tonos rojizos-marrones de aspecto masivo que lo intrusionan (Figura A3.), se trata de una zona de cataclasis. Adicionalmente se observaron indicadores cinemáticos con forma de budín que evidencian cizallamiento con una componente lateral izquierda.

La extensión de la unidad GO es de pocos kilómetros y la localidad tipo puede observarse en el tramo pavimentado de La Cobanera-Marielitos en contacto con los derrames andesíticos con estructura de almohadilla (Figura 19B).

Finalmente, las relaciones de contacto de la unidad GO son muy variables. Como ya se mencionó presenta una cierta gradualidad hacia la unidad del MGCP hacia el este y hacia el sur-sureste se pone en contacto de manera compleja y asociado con zonas de cizalla con la unidad GF, hasta el punto que podría representar la unidad GF, pero deformada (o autodeformada) durante el mecanismo de emplazamiento.

Finalmente, hacia la parte norte y noroeste entra en contacto con un paquete de rocas andesíticas de manera cortante y abrupta, aparentemente sin una clara aureola de metamorfismo.



Figura A3. Imagen del afloramiento del GO sobre la carretera hacia Ostula donde se observan las dimensiones del dique aplítico.

Se cuenta con edades reportadas por parte del SGM (Pantoja-Alor, 1983) de dos muestras fechadas por el método K/Ar en biotitas y hornblendas con edad de 56 ± 1 y 57 ± 1 Ma respectivamente.

Granodiorita-Tonalita Maruata (GTM)

Cuerpo leucocrático en tonos marrones e intemperizado con bordes redondeados de aspecto deleznable y muy fracturado. Esta unidad se presenta generalmente masiva, sin embargo, exhibe variaciones texturales y de tamaño de grano (Figura A4.), su aspecto es variable y se ha notado un cambio en relación a estructuras frágiles y dúctil-frágiles desarrolladas internamente.

Este litotipo presenta una textura fanerítica caracterizada por cristales subeuhedrales-euhedrales de tamaño fino-medio. La mineralogía se compone de plagioclasas con bordes definidos y escasos de feldespato potásico, el cuarzo se

presenta intersticial. Los minerales máficos como cristales de biotitas subeudrales son abundantes, por otra parte, los anfíboles se encuentran muy escasos e incluso pueden no presentarse. El litotipo se ha clasificado como granodiorita-tonalita de biotita.

En algunos puntos se observa una foliación magmática con una orientación de 50N/62SE. Se manifiestan planos de falla de las cuales no se definió su tipo debido a la mala exposición y al intemperismo que presenta, sin embargo, sus orientaciones corresponden a 125N/62NE y 145N/72NE. Se observaron también filones porfídicos aplíticos de color claro y de espesores centimétricos. La unidad tipo aflora en la localidad de Maruata en la parte sureste del plutón.

El GTM está en contacto al norte con el Monzogranito de Coire-Pómaro, su contacto está controlado por una serie de lineamientos, fallas y zonas discretas de cizalla con dirección E-O y N-S, las cuales generan cambios abruptos de su morfoestructura o bien planos de foliación de extensión regional. Por otro lado, hacia el oeste pasa con una relativa gradualidad hacia la unidad GF. Si bien no son perceptibles las diferencias en campo y cartografía, si se presentan algunas diferencias petrográficas hacia la localidad de Motín del Oro. Hacia el este se pone en contacto con la roca encajonante por medio de una zona termal de baja a media



Figura A4. Imagen textural de la unidad GTM a escala de muestra de mano. Si bien las fases minerales no se distinguen con claridad si es posible observar una coloración diferente en relación a la GF que expone una abundancia de feldespato potásico.

temperatura y estructuras lineares que tienen una orientación N-S. Finalmente al noroeste la GTM se pone en contacto con el litotipo de Ostula, en donde aparece un contacto también condicionado por un sistema de fallas NO-SE.

Esta unidad cuenta con una subdivisión denominada Monzogranito Maruta-Motin del Oro (MMM).

IV. Anexo petrográfico

	Clave	Localidad	Textura	Abreviaturas minerales														Clasificación				Observaciones
				Pl1	Pl2	Qz	Kfs	Am1	Am2	Bt	Cpx	Opx	Ox1	Ox2	Zrn	Ap	Ttn	Ms	Chl	Ep		
CPA	AQ-72A	Cam. Ocote-Otate	Hipidiomórfica de gr. f-m	A	T	T			M	T	B	B	B	T		T			T	Gabro	Existe una asociación 2 Qz + Bt + Am2 + Pl2 + Ox2 ocurriendo en intersticios de la textura. Cercano al contacto con la unidad GHNO.	
	AQ-72C	Cam. Ocote-Otate	Alotromórfica de gr. m-f	A	T	T	T		B	T	MA	B	B	T		T				Gabro	Existe una asociación 2 Qz + Bt + Am + Pl + Ox2 ± Kfs ocurriendo en intersticios de la textura. Cercano al contacto con la unidad GHNO.	
	UL-28	La Roblera	Hipidiomórfica de gr. f-m	A				MA			B	B	B						T	Gabro	Existen dos generaciones de Pl, en desequilibrio entre sí y una de ellas con el Am.	
	UL-31	La Roblera	Hipidiórmorfica de gr. f-m	A				MA					B			T				Gabro	Desarrollo de foliación magmática, moderado.	
	AQ-03	La Nuez del Caimán	Alotromórfica de gr. m-f	A	T	T	T	M	B	B	B		B	T		T				Gabro o Diorita	Existe una asociación 2 Qz + Bt + Am + Pl + Ox2 ± Kfs ocurriendo en intersticios de la textura.	
	AQ-07	Desv. Huitzontla	Hipidiomorfica de gr. m-g-f	A		M	M	B		B			T		T	T		T		Granodiorita	Se observa foliación magmática y recrystalización dinámica de sus minerales.	
	AQ-09	Desv. Huitzontla (camino)	Hipidiomórfica de gr. m-f	MA	T	T			B	B	M	B	B		T	T				Gabro	Existe una asociación 2 Bt + Am + Qz + Pl2, ocurriendo en intersticios de la textura.	
	AQ-90	Desv. trunca Huitzontla	Hipidiomórfica de gr. m-f	MA		T			T	T	M	B				T				Gabro o diorita	Existe una asociación 2 Qz + Pl2 + Kfs + Bt + Am2, ocurriendo en intersticios de la textura.	
	UL-22	El Otate	Alotromórfica de gr. g-m-f	MA	T	T	B	A	B	T	B		B			T	T			Gabro o diorita	Se observa foliación magmática y desequilibrio entre los minerales. Afectado por múltiples eventos.	
	AQ-57	Crucero Naranjillo + 1 km	Hipidiomórfica de gr. f-m	MA		M	B	B		B	B	T	T				T		T	Tonalita	Presenta foliación magmática y deformación dúctil, relacionada con texturas de recrystalización en Qz y Pl.	
	MICH-39	Pto. del Caimán	Hipidiomórfica de gr. g	MA	T	B			B	B	M	B	B	T		T			T	Gabro	Existe una asociación 2 Am + Bt + Pl2 + Qz + Ox2 ocurriendo en intersticios de la textura.	
	AQ-01	Pto. del Caimán	Hipidiomórfica de gr. g	MA	T	B			B	B	M	B	B	T	T	T			T	Gabro	Existe una asociación 2 Am + Bt + Pl2 + Qz + Ox2 ocurriendo en intersticios de la textura.	
	AQ-69	Pto. Chorohuira	Hipidiomórfica de gr. g	MA	T	B			T	B	B	B	B	T	T	T			T	Gabro	Existe una asociación 2 Am + Bt + Pl2 + Qz + Ox2 ocurriendo en intersticios de la textura.	

EPFM	AQ-25	Cam. Pomaro-El Colás	Hipidiomórfica-seriada de gr. m-f	A		M	A	B		B			T			T		T		Monzogranito	Presenta ligera deformación transpresiva, postmagmática.	
	AQ-29	El Coire	Hipidiomórfica de gr. g-m	A		M	B	M		B			T		T	T	T			Granodiorita	Presenta ligera deformación transpresiva, postmagmática. Relacionada con bordes indentados de los minerales.	
	AQ-29B-15	El Coire	Hipidiomórfica-seriada de gr. g-m	A		M	B	M		B			T		T	T	T			Granodiorita	Registra un deformación frágil-dúctil.	
	MS-34-15	El Faro de Bucerías	Hipidiomórfica-seriada de gr. m-g	A		M	M	B		B			T		T		T			Granodiorita	Presenta foliación magmática y submagmática.	
	AQ-20	La LLorona	Hipidiomórfica-seriada de gr. m-g	MA		M	B	B		B			T		T	T	T		T	Granodiorita-tonalita	Se observan texturas de deformación frágil, relacionada con cataclasis débil, de carácter postmagmático.	
	AQ-21	Las Canoyitas	Hipidiomórfica de gr. m-f	MA		M	B	T		B			T				T			Granodiorita-tonalita	Presenta recristalización y deformación frágil, postmagmática.	
	AQ-91	Arroyo Crucero del Faro	Hipidiomórfica-seriada de gr. m-g	MA		M	M	B		B			T		T	T	T		T	Granodiorita	Presenta foliación magmática moderadamente desarrollada, así como deformación platica y frágil.	
	UL-38	Marealitos	Hipidiomórfica-seriada de gr. m-g - foliación magmática.	MA		A	B	B		B			T		T	T	T		T	T	Tonalita	Presenta foliación magmática y protomilonítica subparalelas.
	UL-42	El Potreo de Ostula + 2.8 Km	Hipidiomórfica-seriada de gr. m-g	A		A	B	B		B			T		T	T	T		T	Tonalita-granodiorita	Presenta foliación magmática y protomilonítica subparalelas.	
	UL-45	Cam. El Achote-Salitre de Estopila	Hipidiomórfica de gr. g-f	A		M	M	B		B			T				T		T	Granodiorita-monzogranito	Se observa deformación frágil-dúctil.	
	AQ-31	El Marquez	Hipidiomórfica de gr. m-g	A		M	M	B		T			T		T	T	T		T	Granodiorita-monzogranito	Se observa textura potomilonítica, relacionada con recristalización dinámica de sus minerales.	
	AQ-22	Los Platitos	Porfídica-seriada de gr. m-f	A		M	B	T		B			T		T	T	T		T	Tonalita porfídica	Roca filoniana, con textura holocristalina, su mesostasis es microcristalina.	
	AQ-24	Desv. B. de las Campanas	Hipidiomórfica de gr. m-f	MA		M	B	B		B			T			T	T	T	T	Tonalita-granodiorita	Presenta texturas de deformación dinámica.	
	AQ-24A	Desv. B. de las Campanas	Hipidiomórfica de gr. m-f	MA		A	B	B		B			T			T	T		T	Tonalita-granodiorita	Los contactos entre cristales son indentados y los Qz forman agregados policristalinos localmente.	
AT	MS-36	Puente Cuilala	Hipidiomórfica de gr. m-f y g	A		M	M	B		B	T				T	T		T	T	Granodiorita	Desarrolla microfracturamiento que, craquela cuarzos y deforma dúctilmente Bt.	

Tabla A1. Donde se muestra una síntesis petrográfica de muestras pertenecientes al Complejo Batolítico Aquila (CBA), que se dividen en tres porciones la denominada Complejo Plutónico Aquila (CPA), el Ensamble Plutónico Faro-Maruta (EPFM) y los Apófisis de Tizupan (AT). En la columna de textura se usa la abreviación gr. Para grano, que es acompañada de las letras g (grueso), m (medio) y f (fino). En las columnas de los minerales: MA = $\geq 50\%$; A $\geq 30 - < 50\%$; M = $\geq 15 - < 30\%$; B = $\geq 1\% - < 15\%$; y T = $< 1\%$. Las descripciones detalladas de estas muestras se encuentran a continuación.

Complejo Plutónico Aquila (CPA)



Clave: AQ-72A

Localidad: camino (terracería) entre El Ocote y El Otate.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 658794 y N: 2065044.

Clasificación: gabbro

Descripción de muestra de mano

Roca melanocrática, de textura fanerítica foliada de grano medio-fino con abundancia de minerales máficos. Las plagioclasas subeuhedral-euhedrales tabulares de grano medio. Compuesta por Pl, Kfs, Qz, Am y Bt y subordinados Ox y Py. Las Pl son cristales subeuhedral de color blanco y traslucidas con núcleos grises. Los Kfs son anhedrales de color rosa. Los minerales máficos predominantemente son Anfíboles Subeuhedrales tabulares alargados de color verde oscuro y de aspecto fibroso, con biotitas subordinadas que se presentan anhedrales-Subeuhedrales con hábito hojoso típico. Los Ox y Py se encuentran diseminados en la muestra.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-fino. En general los bordes de los minerales son irregulares e indentados. Presenta una estructura general de infiltración de poro, relacionada con una asociación mineral secundaria que ocupa los espacios intercristalinos y es común que presente bordes de inestabilidad, con las fases de la asociación mineral primaria. Localmente se pueden observar Pl con desarrollo de crenulación, así como inclusiones orientadas de Am en Kfs.

Composición mineral: Pl1>Cpx>Opx + Ox ± Ap

Pl1: se presentan como cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes irregulares e indentados. de 1.3-2.2 mm. Típicamente con desarrollo de maclas tipo albita y combinadas con Carlsbad, en ocasiones ausentes o complejas, con zonamiento local. Algunos cristales con textura poiquilítica definida por inclusiones de Cpx, Opx y Ox. Se observan recrystalizadas y raramente con alteración débil de sericita. En ocasiones con crenulación definida por un parcial desplazamiento de sus maclas.

Cpx: son cristales Subeuhedrales-anhedrales con bordes irregulares, indentados y algunos rectos, de 0.1-1 mm. Generalmente con coronas de reacción de Am y/o Bt,

así como con recristalización y en ocasiones con algunas inclusiones de Ox. Los bordes indentados se observan al contacto con minerales de la asociación secundaria y los rectos al contacto con los minerales de la asociación primaria. Algunas veces, solo quedan remanentes, como núcleos en los Am.

Opx: son cristales generalmente elongados, Subeuhedrales-anhedrales, con bordes irregulares, indentados y algunos rectos, de 0.15-1 mm. Mayormente con coronas parciales o totales de Am, algunas veces con pocas inclusiones de Ox. Los bordes se comportan de la misma manera que en los Cpx.

Ox: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes curvilíneos, irregulares y en ocasiones rectos, de 50-500 μm . Es común verlos con coronas de Am y/o Bt. Se observa otra generación ocurriendo como inclusiones en Cpx, Opx y Pl.

Ap: se presentan como cristales euhedrales-Subeuhedrales, típicamente elongados, con bordes rectos y puntas arredondeadas, de 100-150 μm . Poco abundantes.

Asociación mineral secundaria: Am + Bt + Pl₂ + Qz + Ox $\pm$ Kfs

Am: se presenta como minerales color café-marrón, anhedrales-Subeuhedrales y en ocasiones euhedrales, con bordes irregulares, indentado y en ocasiones rectos, de 50 μm -3.5 mm. Generalmente con inclusiones de Ox y Pl. casi siempre como coronas de reacción en los Cpx, Opx y Ox. Al contacto los minerales secundarios sus bordes son rectos.

Bt: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes indentados y rectos, de 0.3-1.8 mm. con ocurrencias muy similares a las del Am, rodeando Ox y al Borde de Cpx. Presenta inclusiones de Ox. Se pueden observar maclas polisintéticas.

Pl₂: son cristales Subeuhedrales-euhedrales, con bordes irregulares, indentados y rectos al contacto con los minerales secundarios, presentan tamaños de 0.2-0.5 mm. Típicamente con maclado tipo albita.

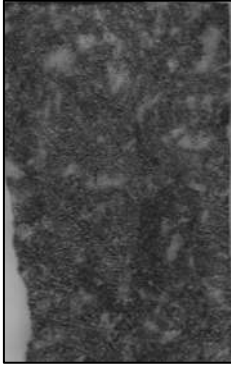
Qz: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes indentados a curvilíneos, de 50 μm -2 mm. En ocasiones con inclusiones de Ox.

Ox: ocurren como cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares y rectos, de 50-150 μm . Observándose típicamente como inclusiones en Am y Bt.

Kfs: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 0.5-2.5 mm. Generalmente sin macla y en ocasiones con maclas complejas y exsoluciones esporádicas. Algunas veces con inclusiones de Pl y Am.

Alteración: débil de Ep en zonas intersticiales, que ocurren como cristales Subeuhedrales, con forma arredondeada, de bordes irregulares y rectos, de 250-500 μm y muy débil tipo sericita en Pl₁.

Observaciones generales: en general los máficos dominantes son los Am secundarios. La deformación plástica relacionada con la Pl1 puede ser de origen submagmático.



Clave: AQ-72C

Localidad: camino (terracería) entre El Ocote y El Otate.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 659094 y N: 2065406.

Clasificación: gabro

Descripción de muestra de mano

Roca melanocrática con tonalidades blancas, de textura fanerítica inequigranular de grano medio-fino. Está compuesta por Cpx, Pl, Opx, Ox y subordinadamente se puede observar Am, Bt y Qz, como una asociación secundaria. Los Cpx son los más abundantes en la muestra presentan formas Subeuhedrales son de color negro típicamente con Bt y Am en su borde. Las Pl son cristales Subeuhedral de color blanco con textura poiquilítica. Los Opx son poco comunes presentan formas Subeuhedrales elongadas, de color gris. Los Ox son abundantes diseminados por toda la roca e incluso como inclusiones en Pl. El Am, Bt y Qz son invariablemente finos y de formas anhedrales, por su parte los Am presentan color verde.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-fino. Con foliación magmática moderadamente desarrollada, definida por la orientación de Cpx y Pl. presenta estructura de infiltración de poro, definida por la ocurrencia de una asociación mineral secundaria, que ocupa los espacios intercristalinos. comúnmente se observan bordes recrystalizados en los minerales y localmente crenulación en Pl.

Composición mineral: $Cpx > Pl1 > Opx + Ox \pm Ap$

Cpx: como las Pl1 se dividen en dos grupos: Cpx-A) caracterizados por formar cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, rectos e indentados al contacto con la asociación mineral secundaria, de 0.7-3.0 mm. Mostrándose poco nítidos debido al crecimiento de Ep sobre su clivaje y fracturas, son poiquilíticos con inclusiones de Opx, Cpx, Pl y Ox, típicamente se observa Am y/o Bt formando coronas en sus bordes y es común observar Am creciendo en el interior de estos y alrededor de las inclusiones; Cpx-B) son cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares y rectos, de

0.3-1.5 mm. Típicamente con fracturamiento moderado-fuerte, el clivaje no es tan evidente con una mayor cantidad de inclusiones de óxidos que los Cpx-A y muy nítidos. Guarda las mismas relaciones con el Am que el Cpx-A. Los contactos entre los Cpx-A y Cpx-B son irregulares curvilíneos. Mientras que los Cpx-A tienen contactos de este mismo tipo con las Pl1-A y Pl1-B, los Cpx-B tienen contactos tendencialmente rectos con las Pl1-B e irregulares con las Pl1-A.

Pl1: podemos dividirlos al menos en dos grupos: Pl1-A) Se presentan como cristales Subeuhedrales-anhedrales de 1.5-4.0mm, típicamente fracturadas con las maclas desplazadas por crenulación y con textura poiquilítica definida por inclusiones de Cpx y Opx. También es posible observar Bt y Am secundarios creciendo dentro y hacia el borde de los cristales, así como, recristalización en sus bordes y ocasionalmente perversiva en el cristal. Algunos ejemplares presentan alteración débil a sericita; Pl1-B) son cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 0.75 hasta 2 mm, en ocasiones con algunas inclusiones de Cpx.

Opx: están representados por cristales anhedrales de 1.5 a 4.0 mm, con texturas poiquilíticas definidas por las inclusiones de Pl, Cpx y Ox, se observa Bt y Am secundarios circundando parcialmente el borde y creciendo en el interior de los cristales a partir del clivaje o imperfecciones.

Ox: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, curvilineares, de 50 μ m-1 mm. Ocurren típicamente como inclusiones y de forma intersticial.

Ap: se presentan como minerales euhedrales prismáticos de $\leq 50\mu$ m, incluidos en las Pl y asociados con la Bt.

Ttn: son cristales euhedrales, prismáticos en ocasiones con formas trapezoides, de $\sim 100 \mu$ m.

Asociación mineral secundaria: Am + Bt + Pl2 + Qz $\pm$ Kfs

Am: se presenta como minerales color café-marrón, verde e incoloros anhedrales y pocos Subeuhedrales, de 50 μ m-2 mm. Ocurren como coronas en Ox, en los bordes y dentro de Cpx y Opx, principalmente los cafés y verdes.

Bt: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, de 0.1-2.0 mm. con ocurrencias muy similares a las del Am, rodeando Ox al Borde de Cpx y Opx y en debilidades internas de los cristales.

Qz: es un mineral anhedral con los bordes indentados a redondeados, elongados, de 0.5-3.5 mm. Ocurre en los intersticios de la Pl, Cpx y Opx o como agregados en los bordes de las mimas.

Pl2: son cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes indentados y rectos, de 0.2-1.0 mm. Típicamente con maclado tipo albita. Con los bordes rectos al contacto con los cristales de la asociación mineral secundaria.

Alteración: débil de epidota en zonas de debilidad de Cpx-A y remplazando Pl1 y como cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 0.5-0.8 mm, ocurriendo de manera intersticial. Así como de tipo sericita en algunas Pl1-A.

Observaciones generales: los bordes irregulares de los minerales, indican inestabilidad de las asociaciones minerales. Relacionado con el contacto, con la unidad GHNO.



Clave: UL-28

Localidad: La Roblera.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 658116 y N: 2066698.

Clasificación: gabro de Anfíbol y clinopiroxeno

Descripción de muestra de mano

Roca melanocrática, de textura fanerítica inequigranular de grano fino-medio enriquecida en minerales máficos. Está compuesta por Am, Pl, Cpx con Ox subordinados. Las plagioclasas de color gris, con formas subeuhedral-euhedrales tabulares. Los Am son finos y relativamente dominantes. Los Cpx son minerales oscuros finos y poco abundantes. Los Ox se encuentran diseminados en la muestra.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-fino. Se observa foliación magmática bien desarrollada, definida por la orientación de las Pl, Am y Cpx finos, que es parcialmente interrumpida por fenocristales de Cpx, Am y Opx. Es común observar coronas de Am en Cpx y Opx. En general con texturas poiquilíticas en sus máficos.

Composición mineral: $Am \geq Pl > Cpx > Opx + Ox \pm Ep$

Am: se presentan como cristales color café, Subeuhedrales, anhedrales y euhedrales, de 0.1-1.8 mm. Presenta texturas poiquilíticas definidas por inclusiones de Ox y Pl y en ocasiones maclas polisintéticas. Es común observarlo como sobrecrecimientos en los bordes y al interior de Cpx y Opx, cuando está en el interior es común observarlo asociado con Ox formando un halo alrededor de estos últimos.

PL: son cristales Subeuhedrales, con bordes rectos y redondeados, de 0.1-0.6 mm. Típicamente con maclas tipo albita, aunque no siempre las presenta.

Cpx: se presentan en dos generaciones: Cpx-A) son anhedrales-Subeuhedrales con bordes irregulares e indentados, de 0.5-4 mm. Característicamente con una gran cantidad de inclusiones de Ox y Pl, de aspecto sub-esqueletal y con fracturamiento moderado. Generalmente con coronas de Am y en ocasiones con sobrecrecimientos de otro Cpx. Los contactos con las otras fases son generalmente de inestabilidad; Cpx-B) ocurre como cristales tendencialmente elongados, anhedrales, con bordes semi-rectos y curvados, de 0.2-3 mm. En ocasiones con inclusiones de Ox y Pl. sus contactos con la Pl y el Am son de equilibrio.

Opx: se presenta como cristales Subeuhedrales-anhedrales con bordes irregulares, indentados y rectos, de 1-3 mm. Típicamente con inclusiones de Ox. Sus contactos con Am y Pl son de inestabilidad.

Ox: son cristales anhedrales, con bordes curvilíneos y ocasionalmente rectos, de 25-500 µm, generalmente ocurriendo como inclusiones.

Ep: son cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes rectos y redondeados, de 150-200 µm. poco abundantes.

Alteración: se presenta como sericita, ocurriendo como finos cristales que remplazan a la Pl-A, generalmente en su núcleo, poco frecuente.

Observaciones generales: gabro con un episodio de hidratación, relacionado con sus Am.



Clave: UL-31

Localidad: La Roblera.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 658116 y N: 2066698.

Clasificación: gabro de Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca melanocrática, de textura fanerítica inequigranular de grano fino-grueso enriquecida en minerales máficos. Está compuesta por Am y Pl con Ox subordinados. La Pl es de color blanco con formas tabulares, subeuhedrales-ehedrales y presenta dos poblaciones diferenciadas principalmente por su tamaño y distribución, por una parte, existen cristales finos que formarían parte de una relativa matriz y por otra,

fenocristales elongados que están inmersos en dicha matriz. Los Am son finos, relativamente dominantes y se encuentran acompañando a las Pl finas en la matriz.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-fino y grueso subordinado. Desarrolla pobre foliación magmática de finida por la orientación de Am y Pl. Se observan grandes fenocristales de Pl los cuales están rodeados de cristales de Am y Pl más finos, que entran en contacto mediante bordes sinuosos (en desequilibrio).

Composición mineral: $Am > Pl + Ox \pm Ap$

Pl: se dividen en dos grupos: Pl-A) son cristales Subeuhedrales con bordes irregulares e indentados, de 3-10 mm. Típicamente con maclas tipo albita y combinadas con carlsbad, en ocasiones parcialmente borradas. Comúnmente con texturas de tamiz sutiles y alteración débil de sericita, así como pocas inclusiones de Am. Pl-B) Se presentan como cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.1-0.6 mm. Típicamente con texturas tipo albita y/o carlsbad.

Am: son cristales cafés Subeuhedrales, anhedrales y euhedrales, con bordes irregulares y rectos, de 50 μ m-1.5 mm. Generalmente con texturas poiquilíticas definidas por inclusiones de Ox y esporádicas de Pl. ocasionalmente con maclado polisintético. Cuando están en contacto con la Pl-A suele encontrarse fases incoloras a verdes, de hábito radial probablemente de composición actinolítica.

Ox: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes curvilineares y ocasionalmente rectos, de 30-500 μ m. Generalmente ocurriendo en sitios intersticiales y como inclusiones.

Ap: se presentan como minerales euhedrales prismáticos de ~100 μ m. Escasos en la lámina.

Alteración: débil de sericita que reemplaza de manera parcial a las a Pl-A.

Observaciones generales: es evidente que las Pl-A están en desequilibrio con las Pl-B y los Am.



Clave: AQ-04 = AQ-03

Localidad: en la entra al poblado de La Nuez del Caimán.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 659094 y N: 2065406.

Clasificación: Gabro o diorita de anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca mesocrática-melanocrática de textura fanerítica, con foliación magmática, de grano medio-fino con abundancia de minerales máficos. está compuesta por Pl, Am, Cpx, Ox y subordinada Py. Las plagioclasas subeuhedral-euhedrales tabulares de grano medio. Las Pl son cristales Subeuhedral de color blanco a gris. Los minerales máficos dominantes son Am de color negro, Subeuhedrales, tabulares elongados y de aspecto fibroso, con Cpx subordinado que se presentan Subeuhedrales con hábito prismático. Los Ox y Py se encuentran diseminados en la muestra. se observa una asociación mineral secundaria compuesta por Am, Bt y Qz ocurriendo en intersticios de la textura definida por la composición mineral principal.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, alotriomórfica, inequigranular de grano medio-fino. Se puede observar foliación magmática, bien desarrollada definida por la orientación de Pl, Am y Cpx. Se observa deformación plástica, relacionada con la flexión de la macla en Pl. La mayoría de los bordes cristalinos son irregulares e indentados. Es común el desarrollo de texturas de infiltración de poro, definidas por la ocurrencia de una asociación de minerales secundarios, creciendo en espacios intercristalinos. Es común observar remplazamiento mediante coronas de minerales ferromagnesianos primarios, por minerales secundarios.

Composición mineral: Pl1>Am1>Cpx + Ox $\pm$ Ap

Pl1: son cristales generalmente anhedral, con bordes irregulares e indentados, de 0.25-2 mm. Generalmente con malclas tipo albita y en ocasiones combinada con carlsbad. Con alteración débil a moderada de sericita. Con contactos de inestabilidad y con recrystalización. Se observa moderadamente fracturadas.

Am1: son cristales cafés-verdes pálidos, anhedral, con bordes indentados e irregulares, de 0.3-3.5 mm. Presentan inclusiones variables de Ox. Comúnmente con sobrecrecimiento de Bt en coronas o en zonas de debilidad internas, así como de Am secundario creciendo en su borde o núcleo.

Cpx: son cristales anhedral, con bordes difusos, de 0.4-2 mm. típicamente con inclusiones de Ox. Se observan Invariablemente con remplazamiento de Am secundario, que forma coronas y en ocasiones invade zonas nucleares de los cristales, consumiéndolo casi por completo.

Opx: ocurren como cristales poco abundantes, anhedral, con bordes difusos, de ~ 1 mm. parcialmente remplazados por Am, mediante coronas y en zonas de debilidad internas.

Ox: son cristales anhedral, con bordes indentados y rectos, de 0.1-1 mm. ocurriendo generalmente como inclusiones y en intersticios de la textura.

Ap: ocurre como cristales generalmente cortos, euhedrales, con bordes rectos, de ~ 40 μm . poco comunes en la lámina.

Asociación mineral secundaria: $\text{Am2} + \text{Bt} \pm \text{Pl2} \pm \text{Qz} \pm \text{Kfs} \pm \text{Ox}$.

Am2: se puede dividir en dos generaciones: Am2-A) se presenta como cristales de color verde, anhedrales con bordes indentados y difusos, de 0.5-1.8 mm. típicamente reemplazando a los Cpx, Opx y en coronas en óxidos. Presentan inclusiones de Ox y/o Pl. es posible observar fantasmas de Cpx relictos en sus núcleos, imprimiéndoles una birrefringencia anómala; Am2-B) son cristales de color café, con formas tendencialmente euhedrales y con bordes tendencialmente rectos, de 0.3-1.2 mm. ocurre generalmente al borde o en el interior de los Am1, pero puede estar junto con los Am2-A. En general con inclusiones de Ox.

Bt: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 50 μm -2.5 mm. generalmente formando cintas que crecieron siguiendo la foliación magmática, como acumulados policristalinos en intersticios de la textura primaria y comúnmente reemplazando a los Am1, en forma de coronas parciales, a partir de zonas de debilidad y en ocasiones reemplazándolo casi por completo.

Pl2: son cristales Subeuhedrales, con bordes curvilíneos, irregular e indentados (al contacto con la mineralogía primaria), de 50-150 μm . típicamente con maclado tipo albita. Ocurrendo en espacios intersticiales de la textura primaria en agregados policristalinos asociada con Qz.

Qz: se observan como minerales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes indentados y rectos, de 0.2-1 mm. típicamente con extinción ondulante. Característicamente ocurriendo en espacios intercrystalinos de la textura primaria, en forma de agregados policristalinos y como cristales elongados.

Kfs: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, indentados y rectos, de 0.5-2.8 mm. generalmente sin desarrollo de maclas y en ocasiones con maclas complejas. De ocurrencia en sitios intersticiales de la textura primaria.

Ox: sin cristales anhedrales, con bordes curvilíneos, de 40-250 μm . ocurriendo típicamente como inclusiones en Am2 y Bt y en sitios intersticiales de la textura primaria, donde está en equilibrio con la mineralogía secundaria.

Alteración: pervasiva, con intensidad moderada a débil, de tipo argílica.

Observaciones generales: Gabro o diorita de anfíbol con fuerte desequilibrio entre las fases minerales primarias y secundarias. Evidente en los contactos entre minerales. La asociación mineral secundaria corresponde con un evento de hibridación.



Clave: AQ-07

Localidad: desviación Huitzontla.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 665175 y N: 2064008.

Clasificación: granodiorita de Anfíbol y biotita

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática, con textura fanerítica de grano grueso-medio, compuesta de: plagioclasas blancas y con núcleo gris, Subeuhedrales, prismáticas; el feldespato es anhedral, intersticial y abundante; el cuarzo es anhedral e intersticial; Los Anfíboles son Subeuhedrales-anhedrales de grano grueso-medio con alteración en el centro del cristal; y finalmente las biotitas son Subeuhedrales con su hábito y exfoliación característica.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, hipidomórfica, inequigranular de grano medio-grueso y fino. Presenta foliación magmática, no muy bien desarrollada definida por la orientación de Pl. La mayoría de los cristales tienen bordes indentados y con recrystalización. Generalmente los Am tienen núcleos o fantasmas de Cpx. Se pueden observar sus cuarzoes craquelados.

Composición mineral: $Pl > Kfs \geq Qz + Am + Bt \pm Ox \pm Ap \pm Zrn$

Pl: son cristales Subeuhedrales y pocos euhedrales, con bordes irregulares, indentados y rectos, de 0.1-9.5 mm. Generalmente con maclas albita, complejas, combinada con carlsbad y zonamiento. Es común el desarrollo de texturas de tamiz de intensidad variable hacia sus núcleos o en bandas específicas del zonamiento, textura de parches, así como, texturas poiquilíticas definidas por inclusiones de Am, Bt y Ox y con pseudoexsoluciones. Comúnmente con avance de borde de grano y recrystalización. En algunos cristales hay reemplazo de sericita generalmente hacia su núcleo.

Kfs: ocurren como cristales anhedrales, con bordes irregulares, indentados y escasos rectos, de 1.8-4 mm. en ocasiones con maclas complejas y tipo carlsbad. Desarrolla texturas pseudopertíticas, mirmequíticas y poiquilíticas, definidas por inclusiones de Pl, Bt y Am. Comúnmente con bordes de reacción y con recrystalización. Creciendo en sitios intersticiales.

Qz: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes indentados y pocos rectos, de 0.25-3 mm. Típicamente con extinción ondulante y generalmente con recrystalización. Ocurren comúnmente en sitios intersticiales, donde se pueden observar craquelados.

Am: son cristales verdes con pleocroísmo a café, Subeuhedrales-anhedrales con bordes, irregulares indentados y rectos, de 0.4-4.5 mm. característicamente con núcleos y fantasmas de Cpx relictos, que se asocian con Ox, así como, con inclusiones de Bt y Pl. con bordes de inestabilidad, al contacto con las otras fases minerales.

Bt: se presentan como cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes irregulares, rectos e indentados, de 0.3-1.8 mm. Generalmente con pocas inclusiones de Ox. Es común observar bordes de inestabilidad con las otras fases cristalinas y con recrystalización de los mismos.

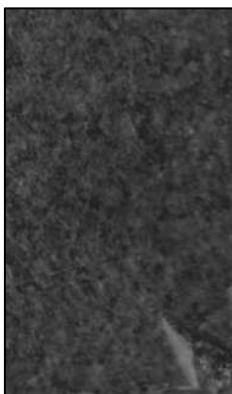
Ox: son cristales anhedrales, con bordes curvilineares, indentados y algunos rectos de 10 μ m-2 mm. Comúnmente ocurriendo como inclusiones y en espacios intersticiales.

Ap: son cristales típicamente elongados, euhedrales-Subeuhedrales, con bordes rectos, de 100-650 μ m. en ocasiones con una sola pirámide.

Zrn: son cristales cortos y elongados, Subeuhedrales-euhedrales, con bordes rectos y redondeados, de 60-400 μ m. Comúnmente ocurriendo como inclusiones en Bt y Am y relacionados con Ox, aunque también se los puede ver relacionados con otros minerales como Kfs.

Alteración: argílica pervasiva, de intensidad entre débil y moderada. Así como, débil de Chl que en ocasiones remplaza Bt.

Observaciones generales: granodiorita de Anfíbol y biotita con recrystalización dinámica de baja presión, que causó contactos aparentemente de inestabilidad entre las distintas fases minerales, recrystalización de las distintas fases y craquelación de Qz.



Clave: AQ-09-15 = AQ-09

Localidad: desviación Huitzontla (camino).

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 664557 y N: 2061715.

Clasificación: Gabro

Descripción de muestra de mano

Roca melanocrática, de textura fanerítica, equigranular de grano medio, con foliación magmática poco desarrollada, con una relativa abundancia de minerales máficos. Está compuesta por Pl, Cpx, Opx. Las Pl son cristales color gris con formas prismáticas subeuhedral. Los minerales máficos dominantes son Cpx de color negro, Subeuhedrales, prismáticos y con Opx grises subordinados que se presentan Subeuhedrales, prismáticos, elongados. Se observa una asociación mineral secundaria de Bt y Am, anhedrales, que ocurre de forma intersticial y remplazando parcialmente los bordes de los máficos. Los Am son de color verde.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio a fino. Presenta foliación magmática definida por Pl, Cpx y Opx. Los bordes de la mayoría de los minerales son irregulares e indentados, aunque se pueden observar también rectos, comúnmente con recristalización. Se pueden observar Pl con sus maclas flexionadas. Con estructura de infiltración de poro, en los intersticios de la textura primaria, donde se observa una asociación mineral secundaria.

Composición mineral: Pl1>Cpx>Opx>Ox $\pm$ Ap $\pm$ Zrn

Pl1: podemos dividirlos al menos en dos grupos: Pl1-A) cristales Subeuhedrales con bordes irregulares, indentados y rectos, con tamaños de 1.5 a 2.5 mm. Presentan zonado con textura en parches, con inclusiones de Cpx, Ox (con bordes de Bt) y Opx. Desarrollan textura de tamiz sutil; Pl1-B) Se presenta como cristales Subeuhedrales, con bordes tendencialmente rectos, con tamaños de 1.0 a 2.5mm. En algunos sitios con las maclas flexionadas. Presentan inclusiones de Cpx, Opx y Ox. Ambas plagioclasas pueden presentar recristalización en sus bordes.

Cpx: son cristales Subeuhedrales, con bordes rectos e irregulares-indentados cuando están en contacto con fases minerales secundarias, sus tamaños varían entre 0.7 y 1.8 mm. En ocasiones con maclas polisintéticas. Se presentan muchas veces con un aspecto alterado que modifica los colores de interferencia, es común observar coronas de Bt, Am o ambos, a veces está casi totalmente reemplazado. Típicamente en sus bordes hay Ox. En ocasiones ocurriendo en espacios intercristalinos.

Opx: son cristales Subeuhedrales con bordes tendencialmente rectos, e irregulares cuando están en contacto con las fases minerales secundarias, sus tamaños varían de 0.5 a 1.5 mm, presenta bordes de reacción de Am, Bt o ambos ocurriendo como coronas o semicoronas. En ocasiones con inclusiones de Ox.

Ox: son cristales anhedrales con formas irregulares, con bordes indentados, de 50-625 μ m. Generalmente ocurren como minerales intersticiales o inclusiones, es típico verlos con coronas de reacción de Bt y ocasionalmente Bt-Am.

Ap: son cristales elongados, euhedrales, con bordes rectos, de 125-500 μ m.

Zrn: son cristales Subeuhedrales con bordes arredondeados y rectos, de ~75 µm. comúnmente se presentan como inclusiones en Bt.

Asociación mineral secundaria: Bt + Am + Qz + Pl2

Bt: se presentan como minerales anhedrales a Subeuhedrales con bordes indentados, astillados y rectos, de 50 µm-1 m. típicamente forman coronas de reacción en Cpx, Opx y Ox, al contacto con las Pl1 sus bordes son irregulares. es común verlos en intersticios asociados con Pl2 y Am.

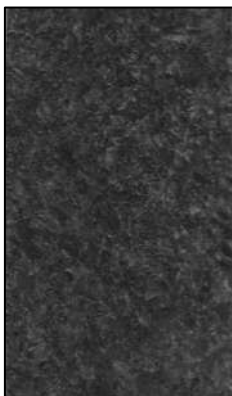
Am: son cristales de color verde, anhedrales, con bordes generalmente irregulares e indentados, con tamaños de 100 a 500 µm. forman coronas de reacción en Cpx y más finas en Opx.

Qz: son cristales anhedrales, con bordes irregulares, indentados y rectos, de 100-500 µm. típicamente con extinción ondulante. Ocurriendo en espacios intersticiales, donde se asocia, mediante contactos de equilibrio, con los minerales secundarios.

Pl2: son cristales Subeuhedrales, con bordes rectos e indentados, de 125 µm -1 mm. con contactos de disequilibrio con las fases primarias y de equilibrio con las fases secundarias. Característicamente ocurriendo en sitios intersticiales.

Alteración: la sericita ocurre como finos cristales que remplazan a la Pl-A generalmente en su núcleo, poco frecuente.

Observaciones generales: gabro con fuerte disequilibrio entre las fases minerales primarias y secundarias. Evidente en los contactos entre minerales. La asociación mineral secundaria corresponde con un evento de hibridación, relacionado con la estructura de flujo de poro. además de la recristalización dinámica de alta temperatura, relacionada con las Pl.



Clave: AQ-90

Localidad: desviación trunca a Huitzontla.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 666172 y N: 2063619.

Clasificación: gabro o diorita

Descripción de muestra de mano

Roca melanocrática, de textura fanerítica inequigranular de grano medio con relativa abundancia de minerales máficos. está compuesta por Pl, Cpx, Opx y subordinadas

Ttn. Las Pl son cristales color gris medio-oscuro, subeuhedral. Los Cpx son cristales negros más finos que las Pl, mientras que los Opx son color café traslucidos, con formas prismáticas y de tamaños finos. Existe una asociación mineral secundaria muy poco abundante, compuesta por Am y Bt, con formas anhedrales y ocurren remplazando los bordes de los máficos. los Am son oscuros.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-fino. Los bordes de la mayoría de los minerales son irregulares e indentados, aunque se pueden observar también rectos, así como, con recristalización. Se pueden observar estructuras de infiltración de poro, en los intersticios de la textura primaria, donde se observa una asociación mineral secundaria.

Composición mineral: Pl1>Cpx>Opx>Ox $\pm$ Ttn $\pm$ Ap $\pm$ Zrn $\pm$ Ep

Pl1: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, indentados y pocos rectos, con tamaños de 1.2 a 4.8 mm. Típicamente con maclas tipo albita, combinadas con carlsbad y complejas, con zonado, que son deformadas de manera dúctil. Se pueden observar texturas de tamiz sutiles, que siguen parcialmente el zonado y en sus núcleos. Generalmente con recristalización principalmente en sus bordes. Es común observar inclusiones de Ox y menos de Cpx y Opx. Algunas ocasiones con sericitización débil en sus núcleos y en ocasiones llegando a formar cristales de Ms, que se superponen a su deformación.

Cpx: son cristales Subeuhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.2-2.5 mm. comúnmente con relictos de Cpx en su interior, así como inclusiones de Ox y Pl. en ocasiones con semi-coronas de Bt y/o Am, secundarios. Generalmente con bordes de desequilibrio al contacto con otras fases.

Opx: son cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares de 0.3-1.5 mm. presenta escasas inclusiones de Ox. Sus contactos con los Cpx son irregulares, de inestabilidad.

Ox: son cristales anhedrales con formas irregulares, con bordes indentados, de 0.1-2 mm. Generalmente ocurren como minerales intersticiales o rodeando a Cpx y Opx y como inclusiones. Localmente con aspecto esquelético. Se pueden ver con coronas de reacción de Bt.

Ttn: son cristales subeuhedrales-euhedrales, con los bordes rectos, de 60-900 μ m. es el mineral accesorio más abundante.

Ap: son cristales cortos, euhedrales-Subeuhedrales, con bordes rectos y redondeados, de 25-80 μ m. comúnmente como inclusiones en Pl1. Poco abundantes en la lámina.

Zrn: son cristales cortos, Subeuhedrales con bordes arredondados y rectos, de 30-75 μ m. comúnmente como inclusiones en Pl1. Poco abundantes en la lámina.

Ep: ocurren como cristales, anhedrales-Subeuhedrales, con bordes redondeados y rectos, de ~ 250 µm. poco común en la lámina.

Asociación mineral secundaria: Qz + Pl2 + Kfs + Bt + Am

Qz: son cristales anhedrales, con bordes irregulares, indentados y pocos rectos, de 0.2-2 mm. Típicamente con extinción ondulante. Ocurriendo en espacios intersticiales, donde se asocia, mediante contactos de equilibrio, con los minerales secundarios y de desequilibrio con los minerales primarios.

Pl2: son cristales Subeuhedrales, con bordes rectos, irregulares y pocos indentados, de 0.6-1.2 mm. típicamente con maclas tipo albita. Presenta contactos de desequilibrio con las fases primarias y de equilibrio con las fases secundarias. Característicamente ocurriendo en sitios intersticiales.

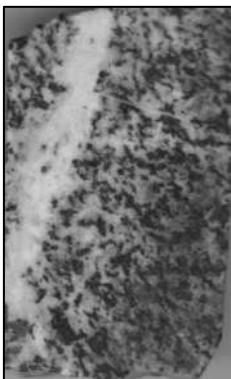
Kfs: son cristales, anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 1.5-2.2 mm. generalmente sin desarrollo de maclas y con exsoluciones de formas lamelares. Generalmente ocurriendo en intersticios de la textura primaria.

Bt: son minerales anhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 100-500 µm. típicamente formando bordes de reacción, delgados, en Ox y ocasionalmente en Cpx.

Am: son cristales de color café, anhedrales, con bordes generalmente irregulares e indentados, con tamaños de 250 a 400 µm. forman coronas de reacción en Cpx, donde se encuentra asociado con Bt.

Alteración: débil de sericita, que ocurre como finos cristales que rempazan a la Pl1 generalmente en su núcleo y en ocasiones son acompañados por Ms.

Observaciones generales: gabro o diorita con deformación dúctil, relacionada con la flexión de las Pl y recristalización de las mismas.



Clave: UL-22-15 = UL-22

Localidad: desviación Huitzontla (camino).

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 657019 y N: 2064173.

Clasificación: gabro o diorita de anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca mesocrática con tonalidades rosas, con textura fanerítica equigranular de grano medio, con foliación magmática bien desarrollada definida por sus máficos, que son abundantes. Se observa una vena pegmatoide que corta la foliación. Está compuesta

por Pl, Am, Cpx y Ox. Las Pl son cristales color blanco, de formas Subeuhedral, con reemplazamiento intenso de Kfs. Los minerales máficos predominantemente son Anfíboles de color negro, Subeuhedrales, tabulares, alargados y de aspecto fibroso, con Cpx subordinados que se presentan anhedrales-Subeuhedrales, comúnmente con bordes de Am. Los Ox se encuentran diseminados en la muestra. se observa una asociación mineral secundaria compuesta de Bt, Qz y Am, el Am y la Bt reemplazan los máficos de la mineralogía principal mientras que el cuarzo se observa en sitios intersticiales de la textura definida por la mineralogía principal.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, alotromórfica, inequigranular de grano grueso, medio y fino. Presenta foliación magmática definida por Pl y Cpx. En general los bordes de los minerales son irregulares e indentados, pero se pueden apreciar algunos rectos. Se cuenta con una vena pegmatoide, con bordes sinuosos y compuesta por Pl que rodea Pl, Qz, Am, y Ttn. Finalmente, de forma cortante se observan dos familias de microzonas de cizalla, con formas anastomosadas y zonas de dilatación, que son oblicuas entre sí y desarrollan una foliación interna, a su vez, relacionadas con finas venas de cuarzo sinuosas y discontinuas.

Composición mineral: Pl1>Am>Cpx + Ox ± Ttn ± Ap

Pl1: son cristales subeuhedrales-anhedrales, con bordes irregulares, indentados y algunos rectos, de 1-9.5 mm. típicamente con maclas tipo albita y combinadas con carlsbad, que pueden estar parcialmente flexionadas. Presentan desarrollo de texturas antiperitéticas, mirmequíticas y con inclusiones comunes de Am y Ox. Generalmente con alteración de sericita moderada-fuerte. Se observa recristalización dinámica hacia sus bordes.

Am1: son cristales verdes pálidos con pleocroísmo a incoloros, Subeuhedrales-anhedrales, de 0.5-6 mm. con clivaje bien desarrollado, que les imprime un aspecto fibroso. Comúnmente con relictos y fantasmas de Cpx en su núcleo, que le imprimen una birrefringencia anómala. Es común que formen coronas en los Cpx. Comúnmente con desarrollo de coronas de Am2 y/o Bt, y en ocasiones de asociaciones microcristalinas de Ox2+Qz+Pl2. Típicamente con relaciones de contacto de inestabilidad con las otras fases minerales. Aunque en ocasiones se observan contactos tendencialmente estables con la Pl1.

Cpx: son cristales anhedral-subeuhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 0.8-8 mm. típicamente con pocas inclusiones de Ox y parcial a totalmente remplazado por Am1 a través de bordes coronarios y zonas de debilidad. a su vez, presenta coronas parciales de Am2 y asociaciones, microcristalinas de Ox2+Qz+Pl2.

Ox: son cristales, anhedral-subeuhedrales, con bordes indentados y rectos, de 25 µm -2 mm. generalmente ocurriendo como inclusiones y en sitios intersticiales de la textura primaria.

Ttn: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes tendencialmente rectos, de 50-250 μm . en ocasiones con Ox y Bt creciendo en su borde.

Ap: son cristales cortos, ehedrales, con bordes rectos, de $\sim 50 \mu\text{m}$. son escasos en la lámina.

Asociación mineral secundaria: Kfs + Pl2 + Qz + Am2 + Bt + Ox2

Kfs: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes indentados, irregulares y rectos, cuando está en contacto con las fases minerales secundarias, con tamaños de 1.5 a 3.5 mm. Ocasionalmente con maclas tipo Carlsbad. Comúnmente con exsoluciones y con escasas inclusiones de Ox. Exhibe recristalización en sus bordes. Abundante en la lámina.

Pl2: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregular, indentados, de 50-400 μm . en ocasiones con maclas tipo albita. Ocurren en sitios intersticiales y asociados con Qz y Ox formando semi-coronas en Am y Cpx.

Qz: son cristales anhedrales, con bordes indentados e irregulares, de 50-500 μm . típicamente con bordes indentados.

Am2: son cristales verdes, anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 50-250 μm . En general ocurriendo como coronas en Am1 y Cpx y en ocasiones creciendo con formas prismáticas, en los bordes de los mismos.

Bt se presenta como minerales anhedrales con los bordes astillados, sus tamaños varían entre 0.2 y 1 mm. Es común verlo formar coronas alrededor de Cx1 y Am1.

Ox2: son cristales anhedrales-euhedrales, con bordes curvilíneos y rectos, de 50-250 μm . típicamente ocurriendo en coronas alrededor de Cpx y Am1.

Alteración: se observa alteración argílica y potásica fuerte, de manera pervasiva.

Observaciones generales: el aspecto general de la lámina es turbio y sus contactos entre cristales comúnmente de desequilibrio. Se observa una sucesión relativa de eventos que afectan a un gabro – diorita de anfíbol, que es híbridizado asociado con sus reemplazamientos y texturas intersticiales, para después ser cortado por un filón pegmatítico cuando aún está en un estadio subsolvus, posteriormente es afectado por cizallamiento en condiciones frágil - dúctil y que finalmente es alterado por argilización y reemplazamientos de Kfs.



Clave: AQ-57

Localidad: Crucero del Naranjillo + 1 Km.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 674400 y N: 2068074.

Clasificación: tonalita de Anfíbol y piroxeno

Descripción de muestra de mano

Roca verde opaco, de textura fanerítica inequigranular de grano fino-medio, con foliación magmática moderadamente desarrollada. Se compone por Pl, Qz, Kfs, Am y Cpx y subordinados Ox. Las Pl son cristales de color blanco con formas irregulares. Los cuarzos son cristales finos anhedral, de ocurrencia intersticial. Los Kfs son cristales color blanco, grueso poco abundantes. Los Anfíboles son minerales oscuros, de forma subeuhedral, finos, con aspecto alterado por óxidos. Por su parte los Cpx son minerales oscuros cortos, con formas subeuhedrales. Los Ox se encuentran diseminados en la muestra.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano fino-medio. Se observa foliación magmática definida por Pl, Am, y Cpx. Localmente se observan agregados policristalinos de Qz $\pm$ Pl al borde de Pl. La mayoría de constituyentes a excepción del Qz, se observan turbios debido a intemperismo.

Composición mineral: Pl > Qz > Kfs + Am $\pm$ Bt $\pm$ Cpx $\pm$ Opx $\pm$ Ox $\pm$ Ttn.

Pl: son cristales Subeuhedrales-anhedrales con bordes rectos e irregulares, de 0.25-1.25 mm. típicamente con maclas tipo albita. Desarrollan moderada textura de tamiz y poiquilítica definida por inclusiones de Cpx y Ox. Con recristalización débil.

Qz: se presenta como cristales anhedral con bordes irregulares y forma redondeada, de 0.3-5.5 mm, típicamente con extinción ondulante y fracturados. Se pueden observar como agregados policristalinos alrededor de Pl, donde miden $\sim 20\mu\text{m}$. con recristalización dinámica.

Kfs: se presentan como cristales anhedral de 0.5-2.0mm, con bordes generalmente irregulares. Pocas veces con macla tipo carlsbad. Algunas veces con textura mirmequítica y poiquilítica definida por inclusiones de Cpx y Ox.

Am: se presentan como cristales café-verde pálido, Subeuhedrales a euhedrales, con bordes irregulares y rectos, de 0.3-0.8 mm. Comúnmente con relictos y fantasmas de Cpx en su interior y formando bordes de coronarios en Cpx y Opx.

Bt: son cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes rectos, irregulares y astillados, de 0.1-1.5 mm. en ocasiones con alteración de Chl que se interdigita.

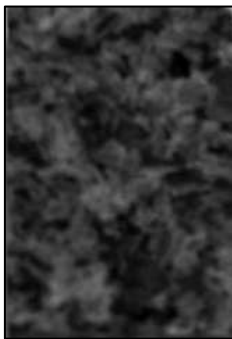
Cpx: ocurren como cristales Subeuhedrales elongados de 0.5-1.5mm, en ocasiones con bordes de Am verde. Comúnmente con aspecto esquelético presentando inclusiones de Pl, es común observar maclado polisintético.

Opx: se presentan como cristales Subeuhedrales de 0.3-0.5 mm poco abundantes y con pocas inclusiones de Pl.

Ox: son cristales con tonos oscuros-marrones rojizos mezclados, anhedrales, de ~100 μm .

Alteración: débil de Chl, que se encuentra reemplazando los minerales ferromagnesianos, comúnmente con hábito acicular. También de Ep diseminada.

Observaciones generales: tonalita de Anfíbol y piroxeno con deformación dúctil débil.



Clave: MICH-39 = MICH-39-15

Localidad: desviación Huitzontla (camino).

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 667727 y N: 2066198.

Clasificación: gabro

Descripción de muestra de mano

Roca mesocrática con textura fanerítica inequigranular de grano grueso-medio, sus plagioclasas suelen formar puntos triples en sus contactos con aspecto de textura intersticial. Se compone de Pl, Cpx, Opx y con Ox subordinados. Las Pl son minerales blancos-grises traslucidos, con formas prismáticas, subeuhedrales-euhedrales, elongadas. Los Cpx son minerales oscuros, con formas prismáticas, subeuhedrales, en ocasiones de ocurrencia intersticial. Los Opx son cristales color gris, con formas prismáticas, subeuhedrales, de mayor elongación que los Cpx y poco abundantes. Los Ox se observan diseminados en la muestra. se puede observar una asociación mineral secundaria compuesta de Bt, Am, Qz y Pl, tanto la Bt como el Am se encuentran típicamente reemplazando los bordes de los minerales máficos de la composición original, mientras que el Qz y la Pl ocurren típicamente asociados y en los intersticios de la textura primaria.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso. La mayoría de los contactos intercristalinos es irregular e indentada y algunos rectos. Se observa una estructura de infiltración de poro, donde se cristalizó una asociación mineral secundaria. Es común observar coronas de Bt en Ox y Cpx y de Am en Cpx y Opx.

Composición mineral: Pl1>Cpx>Opx + Ox1 ± Ap

Pl1: podemos dividirlos en dos grupos: Pl1-A) se presenta como cristales Subeuhedrales-anhedrales, generalmente con los bordes indentados, de 0.4-1.0 cm. Típicamente con maclado albita y en ocasiones con zonamiento, se pueden apreciar también algunos ejemplares que contienen inclusiones de Opx, Cpx y óxidos; Pl1-B) son cristales Subeuhedrales de 8.0-1.5mm característicamente con textura en parches y al igual que las anteriores con inclusiones de los mismos minerales, se observan acompañando a las Pl1-A para formar la textura intersticial. Ambas plagioclasas pueden presentar, texturas antipértíticas y mirmequíticas, además de recristalización dinámica.

Cpx: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 0.75-6.5 mm. Generalmente con fracturamiento moderado a fuerte. Es común observarlo con bordes de reemplazamiento de Am e incluso en fracturas y planos de clivaje. Casi siempre se encuentra acompañado por Ox en el borde o dentro del cristal, estos Ox generalmente con sobrecrecimiento de Bt.

Opx: se encuentra como cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 1.1-5.5 mm. al igual que el Opx presenta bordes de reemplazamiento de Am, con Ox al borde e incluidos, los Ox con sobrecrecimiento de Bt. Asociado siempre con Cpx.

Ox: se presentan generalmente como minerales anhedrales, con algunos bordes rectos, de 0.5-5mm. Generalmente reemplazado parcial o totalmente por Bt. Se localizan en el borde e incluidos en Pl, Cpx y Opx.

Ap: son cristales euhedrales con hábito prismático y en ocasiones en corte basal, de 0.25-1.25 mm. Generalmente incluidos dentro de Pl1 o creciendo en Cpx y Opx, así como relacionados con la mineralogía secundaria.

Secundaria: Qz + Bt + Am + Pl2 + Ox2

Qz: es un mineral anedral, con bordes indentados, de 1.5-3.0 mm. típicamente con extinción ondulante. ocurre en los intersticios de la Pl1 o como agregados policristalinos en los bordes de las mimas.

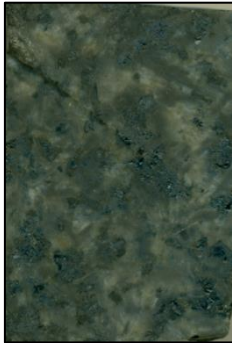
Bt: se presenta como minerales anhedrales a Subeuhedrales, con sus bordes astillados, de 0.25-1 mm y de ~ 50 µm en los bordes de Ox. Generalmente ocurriendo como coronas en Ox. Ocasionalmente cloritizada parcial o totalmente.

Am: son cristales verdes, anhedrales, con bordes irregulares, de 40-100 µm. Típicamente formando delgados bordes coronarios alrededor de Cpx y Opx.

PI2: son cristales Subeuhedrales 0.5 - 1.0 mm, con maclado albita. Se encuentra asociado con Qz. se localiza en los intersticios de PI1. Con contacto de inestabilidad con los minerales de la asociación primaria.

Alteración: débil de Chl, en Bt.

Observaciones generales: gabro con deformación plástica débil, relacionada con los bordes de los minerales y con la recrystalización.



Clave: AQ-01

Localidad: desviación Huitzontla (camino).

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 667727 y N: 2066198.

Clasificación: gabro

Descripción de muestra de mano

Roca mesocrática con textura fanerítica inequigranular de grano grueso-medio, sus plagioclasas suelen formar puntos triples en sus contactos con aspecto de textura intersticial. Se compone de Pl, Cpx, Opx, Ox y con Py subordinados. Las Pl son minerales blancos-grises traslucidos, con formas prismáticas, subeuhedrales-euhedrales, elongadas. Los Cpx son minerales oscuros, con formas prismáticas, subeuhedrales, en ocasiones de ocurrencia intersticial. Los Opx son cristales color gris, con formas prismáticas, subeuhedrales, de mayor elongación que los Cpx y poco abundantes. Los Ox y la Py se observan diseminados en la muestra. se puede observar una asociación mineral secundaria compuesta de Bt, Am, Qz y Pl, tanto la Bt como el Am se encuentran típicamente reemplazando los bordes de los minerales máficos de la composición original, mientras que el Qz y la Pl ocurren típicamente asociados y en los intersticios de la textura primaria.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso. La mayoría de los contactos intercristalinos es irregular e indentada y algunos rectos. Se observa una estructura de infiltración de poro, donde se cristalizó una asociación mineral secundaria. Es común observar coronas de Bt en Ox y Cpx y de Am en Cpx y Opx.

Composición mineral: Pl>Cpx>Opx + Ox $\pm$ Ap $\pm$ Zrn

Pl1: podemos dividir las en dos grupos: Pl1-A) se presenta como cristales Subeuhedrales-anhedrales, generalmente con los bordes indentados, de 4-10.5 mm. Típicamente con maclado albita, combinado con Carlsbad y en ocasiones complejo, con zonamiento, que puede presentar textura en parches. Se observan texturas de tamiz sutiles y algunas veces inclusiones de Opx, Cpx y Ox. Con contactos rectos con Opx; Pl2-B) son cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares, rectos e indentados, de 0.8-1.5 mm. típicamente con macla tipo albita y con textura de parches. Al contacto con los Cpx y Opx sus bordes son rectos, a diferencia de cuando entra en contacto con Pl1. Ambas plagioclasas pueden presentar, texturas antipertíticas y mirmequíticas, además de recristalización dinámica de mayor intensidad en las Pl1-A.

Cpx: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 1-5 mm cuando se encuentran como inclusiones de Pl son de ~ 100 µm. Generalmente con fracturamiento moderado a fuerte. Es común observarlo con bordes de reemplazamiento de Am y/o Bt e incluso en fracturas y planos de clivaje. Casi siempre se encuentra acompañado por Ox en el borde o dentro del cristal, estos Ox generalmente con sobrecrecimiento de Bt. Se puede distinguir una segunda generación con menor desarrollo de fracturamiento y de inclusiones de Ox.

Opx: se encuentra como cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 1- 5.3 mm. al igual que el Opx presenta bordes de reemplazamiento de Am, con Ox al borde e incluidos, los Ox con sobrecrecimiento de Bt. Asociado siempre con Cpx.

Ox: se presentan generalmente como minerales anhedrales, con algunos bordes rectos, de 0.6-2 mm. Generalmente reemplazado parcial o totalmente por Bt. Se localizan en el borde e incluidos en Pl1, Cpx y Opx.

Ap: son cristales euhedrales con habito prismático y en ocasiones en corte basal, de 50 µm-1 mm. relacionado con Pl1, Cpx y la mineralogía secundaria, creciendo sobre los mismos.

Zrn: son cristales cortos y elongados, con bordes rectos y arredondeados, de 30-120 µm. Comúnmente ocurriendo como inclusiones en Bt, Qz y en Pl1.

Secundaria: Qz + Bt + Am + Pl2 ± Kfs

Qz: es un mineral anhedral, con bordes indentados, de 1.5-3.0 mm. típicamente con extinción ondulante. ocurre en los intersticios de la Pl1 o como agregados policristalinos en los bordes de las mimas.

Bt: se presenta como minerales anhedrales a Subeuhedrales, con sus bordes astillados, de 0.25-1 mm y de ~ 50 µm en los bordes de Ox. Generalmente ocurriendo como coronas en Ox. Ocasionalmente cloritizada parcial o totalmente.

Am: son cristales verdes, anhedrales, con bordes irregulares, de 40-100 µm. Típicamente formando delgados bordes coronarios alrededor de Cpx y Opx.

Pl2: son cristales Subeuhedrales 0.5-1.0mm, con maclado albita. Se encuentra asociad con Qz. se localiza en los intersticios de Pl1. Con contacto de inestabilidad con los minerales de la asociación primaria.

Kfs: son cristales subeuhedrales-anhedrales con bordes indentados y pocos rectos, de 0.5-4.5 mm. generalmente sin desarrollo de maclas y con texturas pertíticas. Ocurrendo en los intersticios de la textura primaria. Los contactos con la mineralogía primaria son a través de contactos indentados (desequilibrio).

Alteración: débil de Chl, en Bt.

Observaciones generales: gabro con deformación plástica débil, relacionada con los bordes de los minerales y con la recrystalización.



Clave: AQ-69

Localidad: Puerto Chorochoira

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 663223 N: 2071613

Clasificación: gabro

Descripción de muestra de mano

Roca mesocrática con textura fanerítica inequigranular de grano grueso-medio, sus plagioclasas suelen formar puntos triples en sus contactos con aspecto de textura intersticial. Se compone de Pl, Cpx, Opx y con Ox subordinados. Las Pl son minerales blancos-grises traslucidos, con formas prismáticas, subeuhedrales-euhedrales, elongadas. Los Cpx son minerales oscuros, con formas prismáticas, subeuhedrales, en ocasiones de ocurrencia intersticial. Los Opx son cristales color gris, con formas prismáticas, subeuhedrales, de mayo elongación que los Cpx y poco abundantes. Los óxidos se observan diseminados en la muestra. se puede observar una asociación mineral secundaria compuesta de Bt, Am, Qz y Pl, tanto la Bt como el Am se encuentran típicamente reemplazando los bordes de los minerales máficos de la composición original, mientras que el Qz y la Pl ocurren típicamente asociados y en los intersticios de la textura primaria.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso. La mayoría de los contactos intercristalinos es irregular e indentada y algunos rectos. Se observa una

estructura de infiltración de poro, donde se cristalizó una asociación mineral secundaria. Es común observar coronas de Bt en Ox y Cpx y de Am en Cpx y Opx.

Composición mineral: $Pl > Cpx > Opx + Ox \pm Ap \pm Zrn$

Pl1: podemos dividirlos en dos grupos: Pl1-A) se presenta como cristales Subeuhedrales-anhedrales, generalmente con los bordes indentados, de 3-8.5 mm. Típicamente con maclado albita, combinado con Carlsbad y en ocasiones complejo, con zonamiento, que puede presentar textura en parches. Se observan texturas de tamiz sutiles y algunas veces inclusiones de Opx, Cpx y Ox. Con contactos rectos con Opx; Pl2-B) son cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares, rectos e indentados, de 0.5-2.5 mm. típicamente con macla tipo albita y con textura de parches. Al contacto con los Cpx y Opx sus bordes son rectos, a diferencia de cuando entra en contacto con Pl1. Se observan acompañando a las Pl1-A para formar la textura intersticial. Ambas plagioclasas pueden presentar, texturas antipertíticas y mirmequíticas. Además de recrystalización débil.

Cpx: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, de 0.3-10.5 mm. Generalmente con fracturamiento moderado a fuerte y en ocasiones con textura poiquilítica definida por inclusiones de Pl, Ox y otro Cpx. Es común observarlo con bordes de reemplazamiento de Bt y/o Am e incluso en fracturas y planos de clivaje. Casi siempre se encuentra acompañado por Ox en el borde o dentro del cristal, estos Ox generalmente con sobrecrecimiento de Bt. Se puede distinguir una segunda generación típicamente con los tamaños más finos y en ocasiones ocurriendo como inclusiones.

Opx: se encuentra como cristales Subeuhedrales, con bordes irregulares, de ~ 1.5 mm. al igual que el Opx presenta bordes de reemplazamiento de Am.

Ox: se presentan generalmente como minerales anhedrales, con algunos bordes rectos, de 0.6-2 mm. Generalmente reemplazado parcial o totalmente por Bt. Se localizan en el borde e incluidos en Pl1, Cpx y Opx.

Ap: son cristales cortos, euhedrales-Subeuhedrales, de 100-800 μm . Relacionado con Pl1, Cpx y la mineralogía secundaria, creciendo sobre los mismos.

Zrn: son cristales cortos y elongados, con bordes rectos y arredondados, de 30-400 μm . Comúnmente ocurriendo como inclusiones en Bt, Qz y en Pl1.

Asociación mineral secundaria: $Qz + Bt + Pl2 \pm Am$

Qz: es un mineral anhedral, con bordes indentados, de 1.5-3.0 mm. típicamente con extinción ondulante. ocurre en los intersticios de la Pl1 o como agregados policristalinos en los bordes de las mimas.

Bt: se presenta como minerales anhedrales a Subeuhedrales, con sus bordes astillados, de 0.2-2.1 mm. Generalmente ocurriendo como coronas en Ox, Cpx y Opx.

PI2: son cristales Subeuhedrales, con bordes indentados y rectos, de 50-200 μm . típicamente con maclado tipo albita. Se encuentra asociad con Qz. se localiza en los intersticios de PI1, mediante contactos de indentados con los minerales de la asociación primaria.

Am: son cristales verdes, anhedrales, con bordes irregulares, de 20-250 μm . Típicamente formando delgados bordes coronarios alrededor de Cpx y Opx.

Alteración: débil-moderada de Ep, que ocurre como cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes rectos e indentados, de 0.2-1 mm. típicamente en intersticios y superpuesto a las dos asociaciones minerales.

Ensamble Plutónico Faro-Maruata (EPFM)



Clave: AQ-25

Localidad: Camino Pomaro-El Colás

Ubicación: (UTM_WGS84_13N)

Clasificación: monzogranito de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática cristalina de textura fanerítica de grano fino, compuesta de plagioclasas subeuhedrales finas de aspecto lechoso, el cuarzo es anhedral intersticial, se observan fenocristales anhedrales de feldespato de color rosado. Los minerales máficos que se observan son Anfíboles subeuhedrales tabulares de color verdoso, las biotitas se presentan anhedral-subeuhedral con su exfoliación característica, los minerales accesorios que se observan son fenocristales euhedrales de esfena (titanita) de color amarillo canario. Presencia de oxidación en puntos aleatorios muy finos.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina hipidiomórfica, inequigranular seriada de grano medio a fino. Con foliación sub-magmática en relación con zonas locales de plagioclasas, presenta zonas de microbrechas con cizallamiento y se asocia con un efecto de textura de cataclasis, definida por bordes dentados en todos los minerales. Presenta texturas de exsolución tipo mirmequita.

Composición mineral: asociación mineralógica $Kfs > Pl > Qz \pm Am \pm Bt \pm Ox \pm Ttn$

Pl: Cristales subeuhedrales, con bordes de reacción, presentan desarrollo de intercrecimiento entre sí y alteración de sericitica en el centro del cristal. Se observan dos generaciones de Pl, la primera con fenocristales con maclado carlsbad, albita y polisintético, con tamaños que varían entre 2 y 2.5 mm. La segunda generación es predominante y se presenta ya sea como borde de reacción, así como, en cristales euhedrales, con maclado tipo carlsbad, zonado y Carlsbad albita, con tamaños ~1mm.

Kfs: Fenocristales anhedrales con desarrollos poiquilíticos de cristales de Pl, Ttn y Ox. Representado también por texturas mirmequíticas y pseudopertíticas.

Am: Cristales subeuhedrales de hornblenda verde olivo, que se encuentran ligeramente alterados y reemplazados por Ox y Chl.

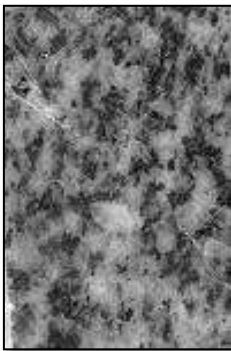
Bt: Cristales subeuhedrales-anhedrales café a marrón. en algunos casos presenta bordes metamicticos, y en otros con texturas esqueléticas, siempre asociados con Am, Ox. y cloritización.

Ttn: Fenocristales euhedrales poco abundantes.

Minerales opacos: de sulfuros con textura de reemplazamiento de pirrotita por pirita conocida como "birt eye", se pueden encontrar diseminados y son de ocurrencia secundaria.

Alteración: muestra una alteración pervasiva de argilización y cloritización parcial de los máficos, asociada con sus zonas de debilidad y sus núcleos.

Observaciones generales: granodiorita con ligera deformación transpresiva, postmagmática.



Clave: AQ-29

Localidad: El Coire.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E:676974 y N:2034305.

Clasificación: Granodiorita de Anfíbol y biotita

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática-mesocrática, de textura fanerítica foliada de grano grueso-medio con abundancia de minerales máficos. Las plagioclasas subeuhedral-euhedrales tabulares de grano medio. Compuesta por Pl, Kfs, Qz, Am y Bt y subordinados Ox. Las

Pl son cristales son Subeuhedral de color blanco y traslucidas con núcleos grises. Los Kfs son anhedral de color rosa salmón. Los minerales máficos predominantemente son Anfíboles subeuhedrales tabulares alargados de color verde oscuro y de aspecto fibroso con biotitas subordinadas que se presentan anhedral-subeuhedrales. Los Ox se encuentran diseminados en la muestra.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso-medio. Foliación magmática bien desarrollada definida por la orientación de las Pl. presenta también una foliación submagmática, sub-paralela, relacionada con la orientación del Kfs, el Qz y la Bt. Presenta rasgos de deformación en condiciones plásticas, probablemente relacionados con la foliación submagmática.

Composición mineral: $Pl > Qz > Kfs + Am + Bt \pm Ox \pm Ttn \pm Ap \pm Zrn$.

PL: las plagioclasas ocurren como dos grupos Pl-A) cristales Subeuhedrales con bordes indentados de 1.5-5.5mm, generalmente sonados, que se les puede ver fracturados con las maclas crenuladas. Exhibiendo textura de tamiz sutil, siguiendo el sonado y en los núcleos, además en ocasiones con textura poiquilítica definida por inclusiones de Am y Bt y otras veces con alteración débil de sericita; Pl-B) son cristales Subeuhedrales con bordes tendencialmente rectos de 0.35-2.0mm, comúnmente ocurriendo de forma intersticial y acompañando a los agregados policristalinos de Qz.

Qz: se presenta como cristales anhedral con bordes indentados de 0.1-2.0mm, y típicamente con extinción ondulante, invariablemente ocurriendo como agregados policristalinos en los espacios intercristalinos.

Kfs: se presentan como cristales anhedral con bordes generalmente irregulares de 0.5-2.0mm. presenta algunos fenocristales con maclado complejo de albita, microclina y texturas de exsolución, que se presentan con extinción ondulante.

Am: se presentan como cristales verdes Subeuhedrales a euhedrales de 0.25-3.0mm, típicamente con un halo de un color verde más intenso al parecer del mismo Am y otro incoloro de composición actinolítica. Exhiben texturas poiquilíticas definidas por inclusiones de Ox, Pl y Qz en ocasiones tan abundantes que imprimen al cristal un aspecto esquelético.

Bt: se presenta como minerales Subeuhedrales-anhedral con bordes metamórficos, de 0.2 a 2.5mm. Es común encontrarlos con inclusiones de Pl, Am, Qz y Ox.

Ox: se observan como minerales anhedral típicamente redondeados de 25-250µm, generalmente ocurriendo como inclusiones. Con luz reflejada, Minerales de solución sólida ilmenita con lamelas posiblemente de magnetita a hematita en contacto con magnetita que presentan oxidación a través de planos.

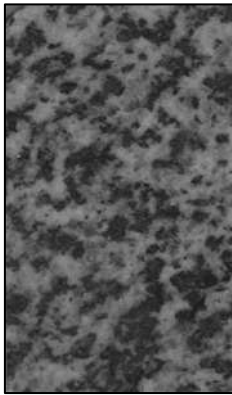
Ttn: son minerales Subeuhedrales con formas irregulares de 0.2-0.4mm.

Ap: se presentan como minerales euhedrales, prismáticos y elongados de ~125µm, poco abundantes.

Zrn: se presentan como cristales euhedrales de ~200µm, con inclusiones de Bt y Ox.

Alteración: se presenta como sericita, ocurriendo como finos cristales que remplazan a la Pl-A generalmente en su núcleo, poco frecuente.

Observaciones generales: la deformación plástica y foliación submagmática pueden estar asociadas con un reacomodo de la unidad, en un estado de subsolidus de la misma.



Clave: AQ-29B-15

Localidad: El Coire.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E:676974 y N:2034305.

Clasificación: granodiorita-tonalita de Anfíbol y biotita

Descripción de muestra de mano

Roca mesocrática, de textura fanerítica foliada de grano grueso-medio con abundancia de minerales máficos. Las plagioclasas subeuhedral-euhedrales tabulares de grano medio. Compuesta por Pl, Kfs, Qz, Am y Bt y subordinados Ox y Py. Las Pl son cristales subeuhedrales de color blanco y traslucidas con núcleos grises. Los Kfs son anhedral de color rosa. Los minerales máficos predominantemente son Anfíboles subeuhedrales tabulares alargados de color verde oscuro y de aspecto fibroso, con biotitas subordinadas que se presentan anhedral-subeuhedrales con hábito hojoso típico. Los Ox y Py se encuentran diseminados en la muestra.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso-medio. Foliación magmática moderadamente desarrollada definida por la orientación de las Pl. presenta también una foliación submagmática, subparalela, relacionada con la orientación del Qz y la Bt. Presenta rasgos de deformación en condiciones plásticas probablemente relacionados con la foliación submagmática.

Composición mineral: Pl>Qz>Kfs + Am + Bt ± Ox ± Ttn ± Ap ± Zrn

PL: las plagioclasas ocurren como dos grupos Pl-A) cristales subeuhedrales con bordes indentados de 1.5-5.5mm, generalmente sonados, que se les puede ver fracturados con las maclas crenuladas. Exhibiendo textura de tamiz sutil, siguiendo el

sonado y en los núcleos, además en ocasiones con textura poiquilítica definida por inclusiones de Am y Bt y otras veces con alteración débil de sericita; Pl-B) son cristales Subeuhedrales con bordes tendencialmente rectos de 0.35-2.0mm, comúnmente ocurriendo de forma intersticial y acompañando a los agregados policristalinos de Qz.

Kfs: se presentan como cristales anhedrales con bordes generalmente irregulares de 0.5-2.0mm. presenta algunos fenocristales con maclado complejo de albita, microclina y texturas de exsolución, que se presentan con extinción ondulante.

Qz: se presenta como cristales anhedrales con bordes indentados de 0.1-2.0mm, y típicamente con extinción ondulante, invariablemente ocurriendo como agregados policristalinos en los espacios intercristalinos.

Am: se presentan como cristales verdes Subeuhedrales a euhedrales de 0.25-3.0mm, típicamente con un halo de un color verde más intenso al parecer del mismo Am y otro incoloro de composición actinolítica. Exhiben texturas poiquilíticas definidas por inclusiones de Ox, Pl y Qz en ocasiones tan abundantes que imprimen al cristal un aspecto esquelético.

Bt: se presenta como minerales Subeuhedrales-anhedrales con bordes metamórficos, de 0.2 a 2.5mm. Es común encontrarlos con inclusiones de Pl, Am, Qz y Ox.

Ox: se observan como minerales anhedrales típicamente redondeados de 25-250µm, generalmente ocurriendo como inclusiones. Con luz reflejada, Minerales de solución sólida ilmenita con lamelas posiblemente de magnetita a hematita en contacto con magnetita que presentan oxidación a través de planos.

Ttn: son minerales Subeuhedrales con formas irregulares de 0.2-0.4mm.

Ap: se presentan como minerales euhedrales, prismáticos y elongados de ~125µm, poco abundantes.

Zrn: se presentan como cristales euhedrales de ~200µm, con inclusiones de Bt y Ox.

Alteración: la sericita ocurre como finos cristales que remplazan a la Pl-A generalmente en su núcleo, poco frecuente.

Observaciones generales: la deformación plástica y foliación submagmática pueden estar asociadas con un reacomodo de la unidad, en un estado de subsolidus de la misma.



Clave: MS-34-15 = MS-34

Localidad: El Faro de Bucerías.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E:657221 y N:2029743.

Clasificación: granodiorita de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática con meteorización moderada, con textura fanerítica inequigranular de grano grueso-medio, con foliación magmática moderada. La componen Pl, Qz, Kfs, Bt, Am y como accesorios Ttn y Ox. Las Pl son blancas, con forma subeuhedrales, elongada, de aspecto lechoso. El Qz ocurre como cristales anhedral en sitios intersticiales. Los Kfs son fenocristales de color rosado-blanco, de formas anhedrales. Los minerales máficos dominantes son las Bt que se presentan anhedral-subeuhedral con su hábito hojoso característico. Los Am son minerales oscuros, elongados, subeuhedrales-anhedrales, fibrosos. Los minerales accesorios que se observan son fenocristales euhedrales Ttn de color amarillo canario y Ox de color oscuro y formas generalmente anhedrales.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, hipidiomórfica e inequigranular seriada de grano medio-grueso. Presenta foliación magmática bien desarrollada, definida por Am, Pl, y Bt, así como foliación submagmática oblicua, relacionada con la orientación de Qz y Bt y deformación plástica de Pl y Bt. Exhibe fracturamiento irregular moderado, y los cuarzos presentan fracturamiento fuerte formando agregados policristalinos distribuidos en toda la lámina.

Composición mineral: $Pl > Kfs > Qz + Bt + Am \pm Ox \pm Ttn \pm Zrn$

Pl: ocurren como cristales Subeuhedrales con bordes indentados y rectos de 0.5-5 mm, comúnmente sonados, también desarrollan sutil textura de tamiz, Algunos cristales presentan reemplazamiento débil a moderado de sericita.

Qz: se presenta como cristales anhedrales con bordes indentados, de 1-3mm, típicamente con extinción ondulante, con fracturamiento fuerte. Localizados en espacios intercristalinos formando agregados policristalinos.

Kfs: se presentan como cristales anhedrales con bordes generalmente irregulares de 3-6.5 mm, característicamente envolviendo Pl y Ox al crecer, definiendo así una textura poiquilítica. Es posible observar perfitas al contacto con las Pl.

Bt: se presenta como minerales Subeuhedrales-anhedrales con puntas astilladas, de 0.5 a 3.5mm y algunas ocasiones tienen flexionando su clivaje. Presentan pocas inclusiones de Qz y Ox. Localmente se observó con corona de Am.

Am: son cristales Subeuhedrales-euhedrales, rectos e irregulares, de color verde y en ocasiones con pleocroísmo a café claro, con tamaños de 0.5-3.5mm. presentan algunas inclusiones de Bt, Ox, Qz y en ocasiones núcleos de Am café.

Ox: son minerales anhedrales-Subeuhedrales con bordes irregulares, de 50-500µm, en ocasiones con bordes de Bt. Generalmente ocurriendo como inclusiones

Ttn: se presenta como cristales generalmente euhedrales prismáticos de 0.25-2.0 mm, que presentan fracturamiento moderado y que crecieron siguiendo la foliación.

Zrn: son cristales euhedrales-Subeuhedrales, con bordes redondeados de 25-50 µm, presenta inclusiones de minerales opacos (¿Ox?).

Alteración: Se presenta sericitización débil que ocurre como finos cristales que rempazan Pl.

Observaciones generales: la deformación plástica y foliación submagmática pueden estar asociadas con un reacomodo de la unidad, en un estado de subsolidus de la misma.



Clave: AQ-20

Localidad: La Llorona.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 658848 y N: 2028266.

Clasificación: granodiorita-tonalita de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática cristalina de textura fanerítica inequigranular de grano medio-fino, con foliación magmática poco desarrollada. Está formada por Pl, Qz, Kfs, Bt, Am y como accesorios Ttn y Ox. La Pl es blanca, con formas euhedrales-subeuhedrales finas, de aspecto lechoso y otras de aspecto nacarado. El Qz un mineral anhedral y

ocurre de forma intersticial. Los minerales máficos que se observan son Bt que son fenocristales anhedral-subeuahedral con su hábito hojoso y su exfoliación característicos. Los Am son cristales oscuros, de formas subeuahedrales, elongados finos. Los minerales accesorios que se observan son abundancia de fenocristales euahedrales de Ttn de color amarillo canario y Ox oscuros y anhedrales.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica e inequigranular seriada de grano medio-grueso. Presenta foliación magmática moderadamente desarrollada, definida por la orientación de Pl y Bt. La mayoría de sus cristales presentan bordes indentados y los Qz comúnmente forma agregados policristalinos.

Composición mineral: $Pl > Qz > Kfs + Bt \pm Am \pm Ox \pm Ttn \pm Zrn \pm Ap$

Pl: Cristales subeuahedrales con bordes indentados, de 0.7-4 mm. Presenta texturas mirmequíticas y exsoluciones muy comunes, maclas tipo albita que en ocasiones se encuentran flexionadas. Finalmente, con alteración de sericita en el núcleo de los cristales.

Qz: son cristales anhedrales-Subeuahedrales con borde indentados y escasos rectos, de 0.5-4 mm. Característicamente con extinción ondulante y ocurriendo como agregados policristalinos en sitios intersticiales. Localmente se observa recristalización.

Kfs: Fenocristales anhedrales-Subeuahedrales con borde indentados, de 1-7 mm. Muestra texturas abundantes de mirmequitas, pseudopertitas y exsoluciones, así como poiquilítica definida por inclusiones de Pl, Am y Ox.

Bt: son cristales subeuahedrales-anhedrales con bordes indentados y rectos, de 0.25-3.5 mm. Comúnmente con inclusiones de Ox, localmente con deformación tipo “*Kink band*” y en algunas fases con bordes metamórficos, a su vez, se observan dislocaciones cristalinas.

Am: Cristales verdes, subeuahedrales-anhedrales con bordes rectos e indentados, de 0.2-1.5 mm. Algunos cristales presentan macla polisintética e inclusiones de Ox, así como núcleos de Bt.

Ttn: cristales euahedrales-Subeuahedrales con borde rectos e irregulares, de 0.5-1.25 mm. Algunas veces con inclusiones de Ox

Ap: Dos generaciones; una de grano medio euahedral y la otra es fina subeuahedral

Zrn: cristales euahedrales-subeuahedrales 50-250 μm .

Ox: son anhedrales con borde irregulares, de 0.2-0.5 mm. En luz reflejada se observan fases de magnetita-ilmenita con lamelas de hematita asociadas con la Bt, los granos

se observan con borde de penetración en algunos casos cuando están dentro de la Bt. Hay fases de hematita diseminada asociados con la hornblenda.

Alteraciones: es débil de sericita en Pl, en sus núcleos y siguiendo las maclas, así como de Chl en Bt, ocurriendo interdigitada con la misma.

Observaciones generales: los bordes de los minerales, así como la ocurrencia común de agregados de Qz policristalinos, sugieren un proceso de cataclasis débil, postmagmático.



Clave: AQ-21

Localidad: Las Canoyitas.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 660542 y N: 2033169.

Clasificación: granodiorita-tonalita biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática cristalina de textura fanerítica inequigranular de grano medio-fino, con foliación magmática moderadamente desarrollada. Está formada por Pl, Qz, Kfs, Bt, Am y como accesorios Ttn y Ox. La Pl es blanca, con formas euhedrales-subeuhedrales finas, de aspecto lechoso y otras de aspecto nacarado. El Qz un mineral anhedral y ocurre de forma intersticial. Los minerales máficos que se observan son Bt que son fenocristales anhedral-subeuhedral con su hábito hojoso y su exfoliación característicos. Los Am son cristales oscuros, de formas subeuhedrales, elongados finos. Los minerales accesorios que se observan son abundancia de fenocristales euhedrales de Ttn de color amarillo canario y Ox oscuros y anhedrales.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-fino. Se observa foliación magmática moderadamente desarrollada definida por la orientación de las Pl, Am y Bt. Se observan agregados policristalinos de cuarzos con borde indentados, así como recristalización local de los mismos.

Composición mineral: $Pl > Qz > Kfs + Bt \pm Am \pm Ox \pm Ttn$

Pl: Cristales subeuhedrales con bordes rectos y sinuosos, de 1-2.5 mm. Se observa desarrollo de texturas mirmequíticas y exsoluciones, dos generaciones de Pl, con

texturas de avance de borde de grano, reemplazo poco abundante de sericita texturas de tamiz, poco desarrolladas.

Kfs: cristales anhedrales-subeuهدral con borde rectos e irregulares, de 1-3 mm. Presenta desarrollo de texturas pseudopertitas y poiquilíticas definidas por inclusiones de Am, Pl y Bt. En ocasiones ocurriendo de manera intersticial.

Qz: cristales anhedrales-Subeuهدrales, con bordes indentados y rectos, de 0.5-1.25 mm. Comúnmente formando agregados policristalinos y ocurriendo en sitios intersticiales de la textura.

Am: Cristales verdes, subeuهدrales-anhedrales, con bordes rectos y sinuosos, de 0.3-2 mm. Algunos granos presentan macla e inclusiones de Ox y Bt.

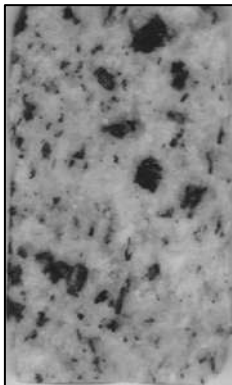
Bt: son cristales subeuهدrales-anhedrales, con bordes rectos y astillados, algunas fases presentan inclusiones de Pl, Ox y Py.

Opacos: son cristales ehuedrales-Subeuهدrales, con bordes rectos e indentados, de 100-500 μm . En luz reflejada se observaron como granos diseminados de pirita asociados con la biotita.

Ttn: son cristales euهدrales-Subeuهدrales, con bordes rectos-irregulares, de 0.25-1.75 mm. Invariablemente fracturados.

Alteración: débil de Chl remplazando Bt, mediante los planos de clivaje.

Observaciones generales: la recristalización del Qz, puede estar asociada con la interacción de esta unidad con las unidades internas del ensamble. Por su parte los bordes indentados de los minerales y la ocurrencia de acumulados policristalinos de Qz evidencian un evento de deformación frágil postmagmático.



Clave: AQ-91

Localidad: arroyo Crucero del Faro.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E:660079 y N:2031491.

Clasificación: granodiorita de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática con textura fanerítica inequigranular de grano grueso-medio, con foliación magmática. La componen Pl, Qz, Kfs, Bt, Am y como accesorios Ttn y Ox.

Las Pl son cristales blancos translucidos a los que es posible observarles el maclado, con formas euhedrales-subeuhedrales. Los Qz son minerales con formas anhedrales y de ocurrencia intersticial. Los Kfs son cristales color rosa pálido a blanco, anhedrales-subeuhedrales, en ocasiones prismáticos cortos. Las Bt son minerales color café oscuro, de formas subeuhedrales, con su hábito hojoso y exfoliación típicos. Los minerales accesorios que se observan son cristales euhedrales de Ttn de color amarillo canario y Ox diseminados en la muestra.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, hipidiomórfica, seriada de grano medio-grueso. Se observa foliación magmática, bien desarrollada definida por Pl, Am y Bt. En algunos sitios se observan agregados policristalinos de Qz.

Composición mineral: $Pl > Qz > Kfs + Bt \pm Am \pm Ox \pm Ttn \pm Ap \pm Zrn$

Pl: ocurren como cristales Subeuhedrales con bordes indentados y rectos de 0.5-5mm, comúnmente sonados, desarrollan sutil textura de tamiz que puede o no seguir el zonamiento, localmente se observan texturas mirmequíticas y/o antipertíticas y exsoluciones. Algunos cristales presentan débil a moderada alteración de sericita.

Qz: se presenta como cristales anhedrales con bordes indentados, de 0.75-2.5mm, típicamente con extinción ondulante, con fracturamiento fuerte. Localizados en espacios intercristalinos formando agregados policristalinos, debido al fracturamiento.

Kfs: se presentan como cristales anhedrales con bordes generalmente irregulares de 2.5-6.5mm, característicamente envolviendo Pl y Ox al crecer, definiendo así una textura poiquilítica. Es posible observar pertitas al contacto con las Pl, así como, bordes de reacción entre estos.

Bt: se presenta como minerales Subeuhedrales-anhedrales con bordes rectos y astillados, de 0.5-2.5mm. en ocasiones con flexión de su clivaje. Presentan pocas inclusiones de Qz y Ox. Ocasionalmente con alteración débil de Chl en bordes y centro.

Am: se presentan como cristales color verde, Subeuhedrales a euhedrales con bordes tendencialmente rectos, de 0.25-2.0mm. presentan algunas inclusiones de Bt, Ox y Qz y en ocasiones con maclas polisintéticas.

Ox: son minerales anhedrales-Subeuhedrales con bordes irregulares, de 25-725µm. Generalmente ocurriendo como inclusiones.

Ttn: se presenta como cristales generalmente euhedrales prismáticos de 25-725µm, que presenta fracturamiento moderado, que crecen en la dirección de la foliación.

Zrn: se presentan como cristales euhedrales-Subeuhedrales con bordes redondeados y rectos de 25-130µm. Comúnmente observados como inclusiones en Bt.

Alteración: en general es débil tipo sericítica que ocurre como cristales finos que rempazan a la Pl, así como cloritización en Bt.

Observaciones generales: la deformación plástica, puede estar relacionada con episodios finales del emplazamiento, cuando la unidad se encontraba en subsolidus. Por su parte los bordes indentados y acumulaciones policristalinas de Qz, pueden estar asociadas con deformación frágil postmagmática.



Clave: UL-38 = UL-38-15

Localidad: Marealitos.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E:658410 y N:2044986.

Clasificación: tonalita de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca color blanco con manchas negras, con textura inequigranular de grano medio-grueso, con foliación magmática bien desarrollada. Está compuesta por Pl, Qz, Kfs, Bt, Am y como accesorio se observa Ttn y Ep. Las Pl son minerales translucidos-blanquecinos, también es posible observar sus maclas. Los Qz son minerales color gris translucido, con formas irregulares, ocurriendo de forma intersticial. Los Kfs se presentan como cristales de color rosa pálido-blanco lechoso, de formas anhedrales-Subeuhedrales y con inclusiones de Ox. Las Bt se presentan como minerales oscuros con hábito hojoso y su exfoliación típica. Los Am son cristales de color oscuro, como prismas elongados. Las Ttn se presentan como minerales de color amarillo canario, prismáticos de formas romboides. Finalmente, las Ep son cristales de color verde, de forma irregular y poco abundante.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso-medio. Se observa foliación magmática y protomilonítica subparalelas, bien desarrolladas y definidas por Pl, Bt y Am. El 80% de los bordes de los cristales es indentado y constantemente con recrystalización dinámica. Es común que los Qz formen agregados policristalinos que siguen la orientación de la foliación.

Composición mineral: $Pl > Qz \pm Kfs + Bt + Am \pm Ttn \pm Ap \pm Zrn \pm Ox \pm Ep$

Pl: se presentan como dos grupos característicos: Pl-A) son cristales Subeuhedrales con los bordes indentados de 1-4.5 mm. Generalmente con zonamiento y textura de tamiz que en ocasiones sigue el zonado, localmente desarrollan mirmequitas y antipertitas, finalmente con alteración moderada de sericita. Algunos cristales presentan inclusiones de Bt, actinolita y Zrn; Pl-B) son cristales Subeuhedrales de 0.5-1.0mm, zonados que presentan textura de parches y poiquilítica definida por inclusiones de Am, presentan alteración débil de sericita, son evidentemente más nítidas que las Pl-A.

Qz: se presenta como cristales anhedrales, con bordes indentados. de 0.6-2 mm. Generalmente elongados en la dirección de la foliación y típicamente con extinción ondulante.

Kfs: se presentan como cristales anhedrales con bordes generalmente irregulares de 1.2-2.8mm. Algunas ocasiones se puede observar macla enrejada poco desarrollada e inclusiones de Bt.

Bt: son cristales anhedrales-Subeuhedrales con bordes rectos y astillados de 0.25 a 2 mm, algunas veces con Ox creciendo a partir de su clivaje y con alteración débil de clorita.

Am: se presentan como cristales verdes-café claro Subeuhedrales, con bordes tendencialmente rectos de 0.2-1.3 mm, comúnmente con maclas polisintéticas. En algunos casos hacia su borde se desarrolla un Anfíbol actinolítico, aunque también, es posible observarlo de forma individual.

Ttn: se presentan como minerales euhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.25-3.0 mm y comúnmente asociada con los Am.

Ap: se presentan como cristales elongados, euhedrales, con bordes rectos de 70-500 μm . También existe una generación de cristales con una menor elongación.

Zrn: se presentan como minerales euhedrales de 70-150 μm generalmente con una sola pirámide y con morfologías variables desde elongados delgados a más gruesos con los bordes arredondados y con inclusiones de otros Zrn.

Ox: se encuentran como cristales anhedrales con bordes indentados y sinuosos de 10-300 μm .

Ep: ocurre como cristales intersticiales, anhedrales de 50-250 μm y son poco abundantes.

Alteración: en general es débil, tipo sericítica que ocurre como cristales finos que rempazan a la Pl, así como cloritización en Bt.

Observaciones generales: la deformación observada relacionada con los bordes indentados de la mayoría de los minerales, recristalización y los agregados policristalinos de Qz siguiendo la orientación de la foliación, son evidencia de que esta roca a sufrido un proceso muy probablemente de cizalla, cuando la unidad continuaba en un estado de subsolidus. Las fases finales como la Ttn no se encuentran afectadas por esta deformación, pero en este caso crecen siguiendo la misma.



Clave: UL-42

Localidad: El Potreo de Ostula + 2.8 Km.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E:668199 y N:2047929.

Clasificación: tonalita-granodiorita de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca color blanco con manchas negras, con textura inequigranular de grano grueso-medio, con foliación magmática bien desarrollada. Está compuesta por Pl, Qz, Kfs, Bt, Am y como accesorio se observa Ttn. Las Pl son minerales translucidos-blanquecinos, también es posible observar sus maclas. Los Qz son minerales color gris translucido, con formas irregulares, ocurriendo de forma intersticial. Los Kfs se presentan como cristales de color rosa pálido-blanco lechoso, de formas anhedrales-Subeuhedrales y con inclusiones de Ox. Las Bt se presentan como minerales oscuros con hábito hojoso y su exfoliación típica. Los Am son cristales de color oscuro, como prismas elongados. Las Ttn se presentan como minerales de color amarillo canario, prismáticos de formas romboides.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso-medio. Presenta foliación magmática y protomilonítica, bien desarrolladas definidas por Pl, Bt y Am. El 80% de los bordes de los cristales es indentado y generalmente con recristalización dinámica. Los Qz forman agregados policristalinos en algunos sitios y se encuentran orientados con la foliación.

Composición mineral: Pl>Qz>Kfs + Bt + Am ± Ttn ± Ap ± Zrn ± Ox ± Ms

Pl: se presenta como cristales Subeuhedrales-anhedrales, con borde indentados e irregulares, de 0.5-4.0mm. Presenta desarrollo de texturas, sutiles de tamiz, tipo

mirmequitas, poiquilíticas definidas por inclusiones de Bt, Am y Ox y ocasionalmente zonado. Finalmente presentan alteración débil de sericita.

Qz: se presenta como cristales anhedral, con bordes indentados y elongado en la dirección de la foliación, de 0.6-3.0 mm. Característicamente con extinción ondulante. Es común encontrarlo en sitios intersticiales y como agregados policristalinos que siguen el sentido de la foliación.

Kfs: se presentan como cristales anhedral, con bordes generalmente indentados e irregulares, de 1.5-2.8 mm. Presenta desarrollo de texturas tipo pertitas y probablemente micrográficas, así como, poiquilítica definida por inclusiones de Pl y Ox.

Bt: se presenta como minerales subeuhedrales con tamaños de 0.3 a 5mm con puntas astilladas y algunas ocasiones presentan deformación de aspecto dúctil, con alteración débil de clorita. Localmente se observa interdigita con Ms.

Am: se presentan como cristales verdes-café claro, subeuhedrales, con bordes tendencialmente rectos de 0.4-2.5mm, exhiben pocas inclusiones de óxidos.

Ttn: se presenta como cristales euhedrales, con bordes rectos, de 0.4-1.6 mm. Generalmente creciendo en el sentido de la foliación y sin evidencia de deformación.

Ap: se presentan como cristales prismáticos elongados, euhedrales, con bordes rectos, de 50-200 μm .

Zrn: se presentan como cristales euhedrales de $\sim 150 \mu\text{m}$, existen de formas elongadas y cortos, los más gruesos son arredondados.

Ox: son anhedral 50-300 μm , algunas veces con inclusiones de Zrn. En luz reflejada se observan como cristales finos subeuhedrales-euhedrales de magnetita diseminada con textura "bird eye" desarrollados de manera intersticial y en inclusiones.

Ms: presenta cristales anhedral de $\sim 0.1 \text{ mm}$, asociada a la Bt, con la que se interdigita. Relacionada con la recristalización.

Alteración: generalmente es débil tipo sericita en algunas Pl y en algunas Bt remplazamientos de Chl.

Observaciones generales: la deformación observada relacionada con los bordes indentados de la mayoría de los minerales, recristalización y los agregados policristalinos de Qz siguiendo la orientación de la foliación, son evidencia de que esta roca a sufrido un proceso muy probablemente de cizalla, cuando la unidad continuaba en un estado de subsolidus. Las fases finales como la Ttn no se encuentran afectadas por esta deformación, pero en este caso crecen siguiendo la misma.



Clave: UL-45

Localidad: camino entre El Achote y Salitre de Estopila

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 670050 y N: 2047950.

Clasificación: granodiorita-monzogranito de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática cristalina de textura fanerítica inequigranular de grano grueso-fino. compuesta de plagioclasas subeuhedrales finas de aspecto lechoso, el cuarzo es anhedral intersticial, se observan fenocristales anhedrales de feldespato de color rosado. Los minerales máficos que se observan son Anfíboles subeuhedrales tabulares de color verdoso, las biotitas se presentan anhedral-subeuhedral con su exfoliación característica, los minerales accesorios que se observan son cristales finos euhedrales de titanita de color amarillo canario escasos. Presencia de oxidación en forma diseminada.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano grueso-fino. La mayoría de los cristales presenta bordes irregulares e indentados. Es común observar acumulados policristalinos de Qz y localmente recrystalización de los mismos.

Composición mineral: $Pl > Kfs > Qz + Bt + Am \pm Ox \pm Ttn$

Pl: Cristales subeuhedrales-euhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.25-3 mm. Generalmente con zonamiento y con desarrollo de bordes de reacción al contacto con los Kfs. Se pueden distinguir dos generaciones una típicamente más fina y con desarrollo de texturas de tamiz intensas y sericitización. La otra con texturas de tamiz menos invasivas y siguiendo el zonamiento.

Kfs: cristales anhedrales, con borde rectos e irregulares, de 2-5.5 mm. Ocurriendo de manera intersticial y típicamente con textura poiquilítica, definida por inclusiones de Am, Pl y Bt. Localmente con texturas pertíticas.

Qz: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes indentados y rectos, de 0.6-3 mm. Ocurren de manera intersticial, característicamente con extinción ondulante y se les puede observar con texturas poiquilíticas definidas por inclusiones de Pl, Bt, Am y Ox.

Bt: Cristales Subeuhedrales-euhedrales, con bordes rectos y astillados, de 0.3-1 mm. Algunos granos presentan inclusiones de Pl y Ox.

Am: son cristales verdes, euhedrales-Subeuhedrales, con bordes rectos y sinuosos, de 0.25-1.5 mm. Las fases más gruesas presentan inclusiones de Ox y Pl y ocasionalmente se pueden observar núcleos de Am café.

Ox: son cristales Subeuhedrales-euhedrales, con bordes rectos e indentados, de 0.25-1 mm. Con luz reflejada se observa, magnetita diseminada con textura "birt eye" se encuentran desarrollados de manera intersticial y como inclusiones.

Ttn: son cristales prismáticos, euhedrales-Subeuhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.4-1.5 mm. Poco abundantes.

Alteración: es moderada de sericita pervasiva y débil de Chl en Bt.

Observaciones generales: granodiorita con débil deformación frágil-dúctil.



Clave: AQ-31

Localidad: El Marquez.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 663599 y N: 2028903.

Clasificación: granodiorita-monzogranito de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática con intemperismo moderado, de textura fanerítica de grano grueso-fino, compuesta de plagioclasas subeuhedrales finas, algunos cristales se encuentran alterados probablemente a sericita, el cuarzo es anhedral intersticial. Los minerales máficos que se observan son Anfíboles subeuhedrales-anhedrales de color verdoso, las biotitas se presentan anhedral-subeuhedral con su exfoliación característica, los minerales accesorios que se observan son cristales finos euhedrales de titanita (esfena) de color amarillo canario escasos.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-grueso. El 90% de los bordes en los cristales es irregular a indentado, con avance de borde de grano entre fases. Generalmente los Qz forman agregados policristalinos y con recristalización dinámica.

Composición mineral: $Pl > Qz > Kfs + Bt \pm Am \pm Ox \pm Ttn \pm Ap \pm Zrn$

Pl: Cristales subeuhedrales con bordes rectos e indentados, de 0.9-4 mm. Generalmente zonadas, y con avance de borde de grano. Se pueden distinguir dos generaciones una la más gruesa con desarrollo intenso de texturas de tamiz que suelen seguir el zonado y generalmente con alteración moderada de sericita. La segunda generación característicamente es más nítida y con zonado en parches.

Kfs: son cristales anhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 1.7-9.5 mm. desarrolla texturas pseudopertíticas, abundantes mirmequíticas y poiquilítica definida por inclusiones de Pl, Bt y Am.

Qz: cristales anhedrales, con bordes indentados e irregulares, de 0.5-3.5 mm. Característicamente con extinción ondulante, en ocasiones con textura poiquilítica definida por inclusiones de Pl y Bt.

Am: se presentan como cristales subeuhedrales-euhedrales con bordes tendencialmente rectos e indentados, de 0.25-1.5 mm. Algunas veces con macla simple e inclusiones de Bt.

Bt: son cristales subeuhedrales-anhedrales, con bordes rectos y astillados, de 0.25-2 mm. En ocasiones con inclusiones de Ox y Zrn.

Ox: son cristales anhedrales-Subeuhedrales, con bordes irregulares, indentados y ocasionalmente rectos, de 50-500 μm . Generalmente ocurriendo como inclusiones.

Ttn: son cristales euhedrales-Subeuhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.7-2.5 mm. Se pueden ver dos generaciones la más gruesa con golfos de corrosión e inclusiones de Pl y la otra sin perturbaciones.

Ap: son cristales elongado y cortos, euhedrales-subeuhedrales, con bordes rectos, de 30-100 μm .

Zrn: son cristales elongados, Subeuhedrales-euhedrales, con bordes rectos, de 50-125 μm . Generalmente como inclusiones de Bt.

Alteración: argilización modera pervasiva y débil de Chl en Bt.

Observaciones generales: granodiorita-monzogranito con protomilonitización débil. Probablemente deformada en un estado plástico de la unidad, es decir en un estadio de subsolidus.



Clave: AQ-22

Localidad: Los Plátitos.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 662578 y N: 2034450.

Clasificación: tonalita porfírica (filoniana)

Descripción de muestra de mano

roca mesocrática, con textura porfírica, inequigranular de grano medio-fino, con aspecto hipabisal. Está compuesta por Pl, Qz, Kfs, Bt, Am y como accesorios Ox y Ttn. las plagioclasas son minerales blancos, con formas subeuhedrales. Los cuarzos son anhedrales. Los Kfs son minerales blancos lechosos, con formas Subeuhedrales, cortos. Las Bt son minerales subeuhedrales con su hábito y exfoliación típica. Los Am son minerales oscuros, con formas Subeuhedrales y elongadas. Los minerales accesorios ocurren diseminados en la roca generalmente finos.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, porfídica seriada, de grano medio-fino. Se observan fenocristales, embebidos en una mesostasis microcristalina, rica en Pl y Qz.

Composición mineral: $Pl > Qz > Kfs + Bt \pm Am \pm Ox \pm Ttn \pm Ap \pm Zrn$

Pl: se presenta como cristales Subeuhedrales-euhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.1-2.5 mm. Generalmente zonadas y con sutil textura de tamiz y en ocasiones intensa. Algunas veces se le puede observar con inclusiones de otra Pl, Am y Bt. Finalmente, con alteración débil de sericita

Qz: se presenta como cristales Subeuhedrales-euhedrales, con bordes rectos e irregulares, de 0.1-1.25 mm. Característicamente con extinción ondulante.

Kfs: son cristales euhedrales-Subeuhedrales, con bordes rectos y algunos irregulares, de 0.2-2 mm. Generalmente sin desarrollo de maclas.

Bt: son cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes rectos y astillados, de 100-300 μm . Presenta alteración débil de clorita.

Am: se presentan como cristales verdes-café claro, Subeuhedrales-euhedrales, con bordes tendencialmente rectos, de 100-750 μm . Localmente con golfos de corrosión y bordes de Bt. Se pueden observar maclas polisintéticas simples.

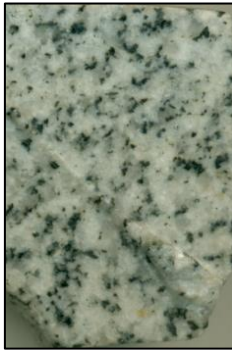
Ox: son anhedrales y alguna euhedrales, con bordes irregulares y en ocasiones rectos, de 50-400 μm . Diseminados en la mesostasis.

Ttn: se presenta como cristales anhedrales, con bordes irregulares, de 0.2-0.5 mm.

Ap: se presentan como cristales elongados, euhedrales, con bordes rectos, de 100-150 μm .

Zrn: se presentan como cristales elongados, euhedrales, con bordes rectos de ~ 50 μm . Poco abundantes.

Alteración: generalmente es débil tipo sericita en algunas Pl y de Chl en Bt.



Clave: AQ-24

Localidad: desviación Barranca de las Campanas.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 674540 y N: 2026814.

Clasificación: tonalita-granodiorita

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática con textura fanerítica, inequigranular, de grano medio-fino. Se compone de Pl, Kfs, Qz, Bt, Am y como accesorios presenta Ttn. Las plagioclasas son cristales blancos traslucidos, con formas subeuhedrales-euhedrales, prismáticas. Los Kfs fenocristales de color rosa pálido, con aspecto lechoso y de formas anhedrales. Los Qz son minerales anhedrales y de ocurrencia intersticial. Las Bt son minerales oscuro-ocre, con formas subeuhedrales, con sus hábitos hojosos y exfoliación típicos. Los Am son cristales verdes oscuros, con formas subeuhedrales, tabulares elongadas. Los minerales accesorios que se observan son cristales finos euhedrales de Ttn de color amarillo canario abundantes.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio-fino. Se observa una orientación insipiente de Pl y Am. El 70% de los cristales tiene bordes

irregulares e indentados y en algunos sitios se observan Qz policristalinos, con recristalización dinámica.

Composición mineral: $Pl > Qz > Kfs + Bt + Am \pm Ttn \pm Ap \pm Ms \pm Ox$

Pl: se dividen en dos grupos: Pl-A) cristales Subeuhedrales con bordes indentados de 1.2-2.5mm, zonadas, con sutil textura de tamiz que sigue el zonamiento, ocasionalmente se observan texturas mirmequíticas y antipertíticas, finalmente con alteración moderada de sericita; Pl-B) son cristales muy nítidos Subeuhedrales con más bordes rectos, de 0.7-2.5mm, con zonado y ligera alteración de sericita generalmente hacía centro de los cristales.

Qz: se presenta como cristales anhedrales, de 0.3-1.5mm, con bordes indentados y típicamente con extinción ondulante, es común encontrarlo como agregados policristalinos.

Kfs: se presentan como cristales anhedrales de 1.2-2.3mm, con bordes generalmente irregulares y escasas texturas pertíticas, no se aprecia macla y en ocasiones están alterados fuertemente a caolín.

Bt: se presenta como minerales Subeuhedrales con tamaños de 50 a 700µm con puntas astilladas generalmente con alteración débil de clorita y en ocasiones con inclusiones de otra Bt.

Am: se presentan como cristales de color verde-café Subeuhedrales de 175µm-3.5mm. En algunos sitios la Bt se superpone parcialmente a los cristales de Am y además es posible ver Ap como inclusiones.

Ttn: se presentan como cristales euhedrales con bordes rectos y formas de romboides y elongadas, de 0.2-2.5mm.

Zrn: se presentan como cristales euhedrales, elongados y solo con una pirámide, de 30-150 µm, muy comunes como inclusiones en Bt.

Ap: se presentan como minerales euhedrales elongados de 30-300 µm.

Ms: presenta cristales anhedrales de ~0.1mm, ocasionalmente asociada a la Bt. Algunas veces se observan cristales de 1.3 mm, con texturas esqueléticas inmersos en Pl1.

Cpx: ocurren como cristales euhedrales de 60-200µm

Ox: se presentan como minerales anhedrales con bordes irregulares, de 50-325µm.

Py?: Son cristales euhedrales con forma de cuadro de, 50-250µm

Alteración: en general es débil, definida por sericita que reemplaza algunas plagioclasas y Chl que reemplaza a Bt.

Observaciones generales: es evidente que la roca experimento un proceso que produjo una deformación frágil, registrado en los bordes de la mayoría de los cristales y en los Qz policristalinos.



Clave: AQ-24A.

Localidad: desviación Barranca de las Campanas.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 674540 y N: 2026814.

Clasificación: tonalita-granodiorita.

Descripción de muestra de mano

Roca leucocrática con textura fanerítica, inequigranular, de grano medio-fino. Se compone de Pl, Kfs, Qz, Bt, Am y como accesorios presenta Ttn. Las plagioclasas son cristales blancos traslucidos, con formas subeuhedrales-euhedrales, prismáticas. Los Kfs fenocristales de color rosa pálido, con aspecto lechoso y de formas anhedrales. Los Qz son minerales anhedrales y de ocurrencia intersticial. Las Bt son minerales oscuro-ocre, con formas subeuhedrales, con sus hábitos hojosos y exfoliación típicos. Los Am son cristales verdes oscuro, con formas subeuhedrales, tabulares elongadas. Los minerales accesorios que se observan son cristales finos euhedrales de Ttn de color amarillo canario abundantes.

Descripción microscópica

Textura: holocristalina, hipidiomórfica de grano medio-fino. La mayoría de los cristales tiene bordes indentados y en algunos sitios se observan Qz policristalinos con recristalización dinámica.

Composición mineral: $Pl > Qz + Kfs + Bt + Am \pm Ox \pm Ttn \pm Ap$

Pl: se dividen en dos grupos: Pl-A) cristales Subeuhedrales con bordes irregulares e indentados de 1-3.5 mm. Generalmente zonadas, con sutil textura de tamiz que sigue el zonamiento, ocasionalmente se observan texturas mirmequíticas y antipertíticas, finalmente con alteración moderada de sericita; Pl-B) son cristales muy nítidos Subeuhedrales con más bordes rectos, de 0.8-1.5mm. con zonado y ligera alteración de sericita generalmente hacia centro de los cristales.

Qz: son cristales anhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 0.5-3 mm. típicamente con extinción ondulante. Ocurre de manera intersticial, comúnmente como agregados policristalinos y con recristalización.

Kfs: se presentan como cristales anhedrales, con bordes irregulares e indentados, de 0.7-5 mm. Desarrolla escasas texturas peritéticas y poiquilíticas definidas por inclusiones de Pl, Am y Bt. Generalmente sin macla y en pocas ocasiones con macla enrejada.

Bt: son cristales Subeuhedrales-anhedrales, con bordes rectos y astillados, de 0.1-1.5 mm. En ocasiones con inclusiones de Ox y con alteración débil de Chl.

Am: son cristales de color verde, Subeuhedrales, con bordes irregulares, 0.25-1.25 mm. En ocasiones con inclusiones de Ox y con reemplazamiento de Bt.

Ox: se presentan como minerales anhedrales, con bordes irregulares, de 50-500 μm .

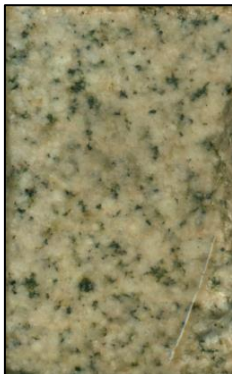
Ttn: se presentan como cristales Subeuhedrales-euhedrales con bordes rectos e irregulares, de 0.4-0.5 mm.

Zrn: son cristales euhedrales, elongados, con bordes rectos y con sus pirámides redondeadas, de tamaños $\sim 30 \mu\text{m}$. Se encuentran asociados con Ox y son poco abundantes.

Ap: son cristales euhedrales elongados, con bordes rectos, de 30-70 μm .

Alteración: en general es débil, definida por sericita que reemplaza algunas plagioclasas y Chl que reemplaza a Bt.

Observaciones generales: la deformación frágil-dúctil, puede estar relacionada con cizallamiento débil, cuando la unidad se encontraba en subsolidus.



Clave: MS-36 = Mi-09 = MS-35-15

Localidad: puente de Cuilala.

Ubicación: (UTM_WGS84_13N) E: 702750 y N: 2013950.

Clasificación: Granodiorita de biotita y Anfíbol

Descripción de muestra de mano

Roca color rosa pálido-blanco, con textura equigranular de grano fino-medio, foliación magmática no muy bien desarrollada. Está compuesta por Pl, Kfs, Qz, Am y como accesorio Ox y Ep. Las Pl son cristales traslucidos a blanquecinos y en ocasiones es posible observar la macla. Los Kfs son cristales de color rosa claro de aspecto cristalino con formas Subeuhedrales-anhedrales, prismáticas. Los Qz son cristales color gris traslucido de forma anedral. Los Am son cristales de color verde, subeuhedrales, elongados finos. Los minerales accesorios se encuentran diseminados en la roca.

Descripción microscópica

Textura: Holocristalina, hipidiomórfica de grano medio-fino y grueso. Presenta microzonas de cizalla no muy bien desarrolladas, rellenas de Chl y Ms, dos familias oblicuas entre sí, cuando se propagan las fracturas en el Qz lo craquelan localmente, mientras que cuando atraviesan Bt la deforman de manera dúctil, imprimiéndole forma de ganchos.

Composición mineral: $Pl > Kfs > Qz + Bt + Am \pm Zrn \pm Ap \pm Ms$.

Pl: podemos dividirlos al menos en dos grupos: Pl-A) cristales Subeuhedrales de 2-8mm, con alteración moderada de sericita y con sutil textura de tamiz. Ocasionalmente se observan texturas de intercrecimiento mirmequítica. Algunos cristales presentan inclusiones de Bt, Ms y Zrn; Pl-B) son cristales Subeuhedrales de 0.5-2.0mm, con reemplazamiento de sericita fuerte y con textura de tamiz mejor desarrollada que las Pl-A, generalmente concentrada en el núcleo de los cristales.

Kfs: se presentan como cristales anhedrales de 2-7 mm, con bordes generalmente irregulares. Típicamente con texturas de intercrecimiento micrográfica. Generalmente con macla enrejada poco desarrollada. Exhibe inclusiones de Pl, Bt, Ap y Cpx.

Qz: se presenta como cristales anhedrales de 0.6-2.0mm, con bordes dentados y típicamente con extinción ondulante, algunas veces con inclusiones de Pl₂, Bt, Zrn y Ox. se pueden observar con fracturamiento moderado y puntualmente desarrollando carquel.

Bt: se presenta como minerales Subeuhedrales con tamaños de 0.4 a 2 mm con puntas astilladas y algunas ocasiones presentan deformación de aspecto dúctil (Principalmente cuando interactúa con el fracturamiento). Típicamente con clivaje bien desarrollada. Es común encontrarlos con intrusiones de yeso (Gy) que aprovechan sus planos de clivaje y los deforman. En algunas ocasiones crece en los bordes de los Am. Contienen inclusiones de Pl, Zrn, Cpx y Ox.

Am: se presentan como cristales incoloros Subeuhedrales a euhedrales de 0.3-3.4 mm, típicamente con clivaje bien desarrollado en una dirección y en ocasiones en dos direcciones. Algunos cristales presentan sobrecrecimientos de Bt en el borde y en

ocasiones hacia el interior, generalmente muy fracturados. Se observan inclusiones Zrn.

Zrn: se presentan como cristales euhedrales de 40-200 μm , con coronas metamórficas.

Ap: se presentan como minerales euhedrales de 30-100 μm .

Ms: presenta cristales anhedrales de $\sim 0.1\text{mm}$, ocasionalmente asociada a la Bt. Algunas veces se observan cristales de 1.3 mm, con texturas esqueléticas inmersos en Pl-A.

Secundaria: se observa una asociación de Chl y Ms, que ocurren rellenando fracturas. Por su parte la Chl presenta característicamente hábito radial y se presenta también interdigitada con la Bt.

Alteración: débil de tipo sericita que se encuentra remplazando las Pl-A, en general en forma de agregados microcristalinos al interior de los cristales, está a su vez en algunas ocasiones es acompañada por Chl.

Observaciones generales: granodiorita con deformación frágil relacionada con las texturas del cuarzo y las microzonas de cizalla.

Anexo V

Tipología e isotopía U-Pb en zircones

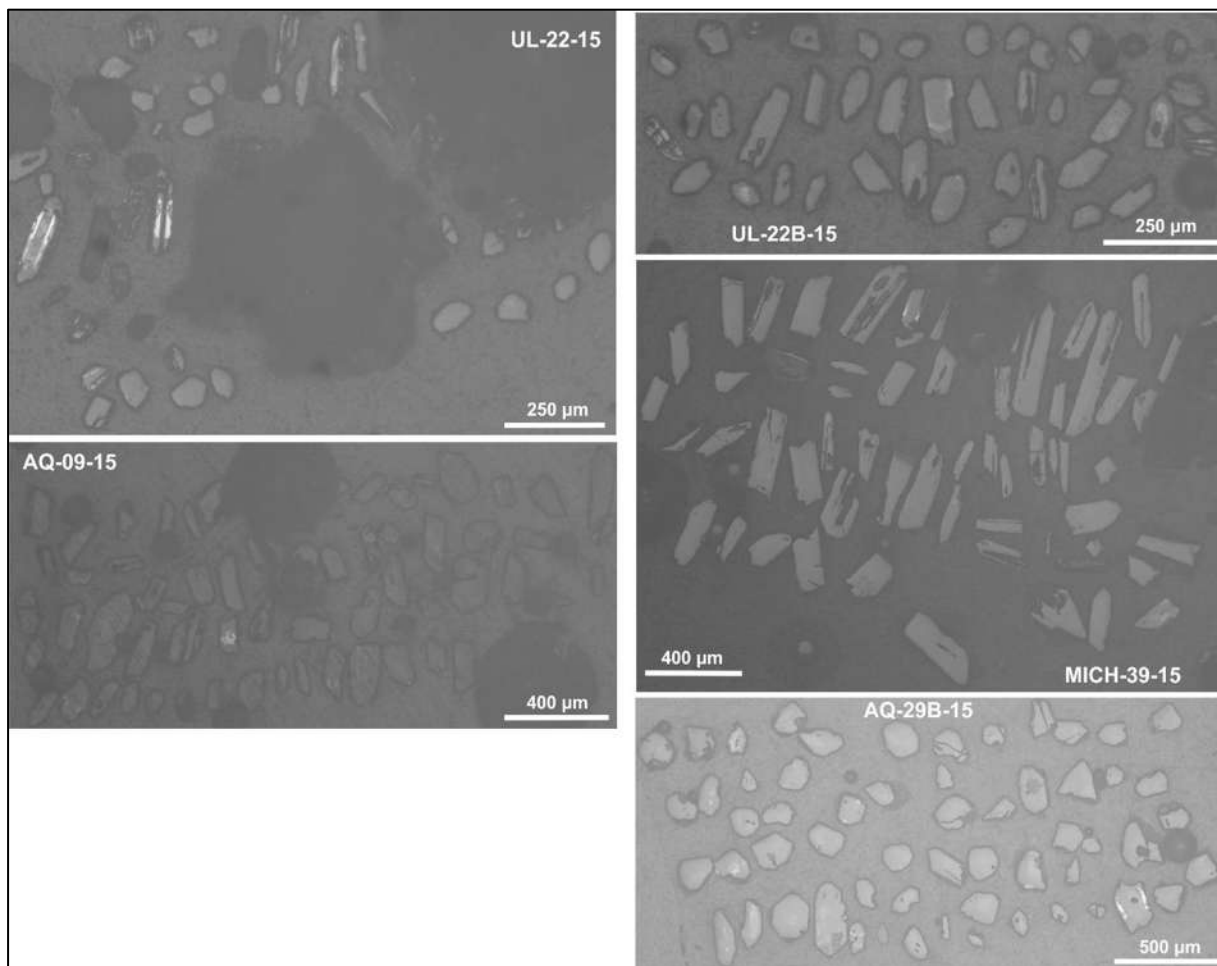


Figura A IV 2. Microfotografías en luz reflejada de los zircones pertenecientes a las muestras analizadas. Notar que la muestra UL-22-15 fue analizada en dos pastillas, distinguidas en las imágenes y en las tablas de análisis, como UL-22-15 Y UL-22B-15, sin embargo, los cristales analizados se colectaron juntos.

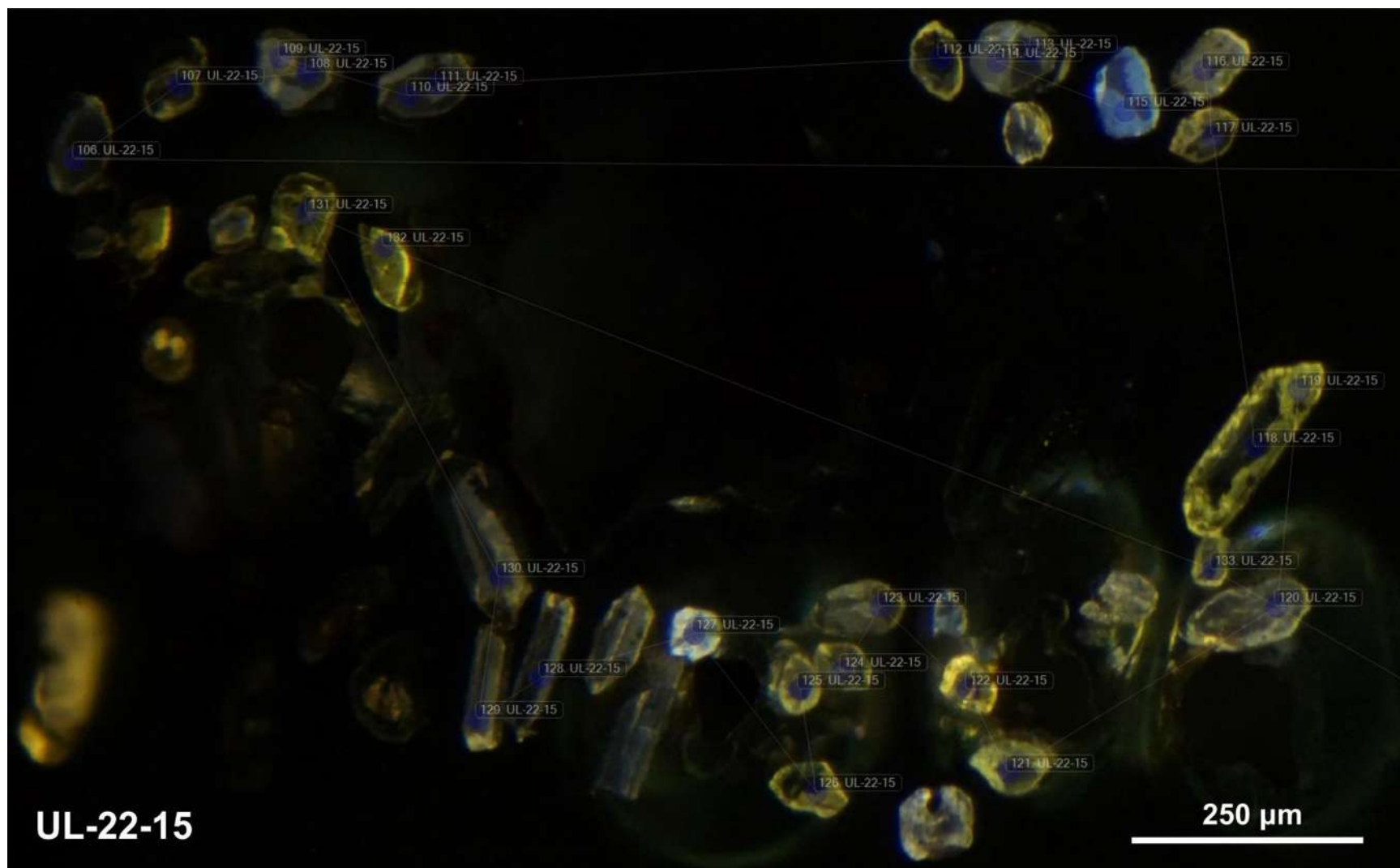


Figura A IV 2. Microfotografía de cátodolumiscencia de zircones pertenecientes a la muestra UL-22-15. Se presentan los zircones y sitio analizado de los mismos (distinguido con una circunferencia azul). El numero de análisis coincide con los que se presentan en la tabla A2.

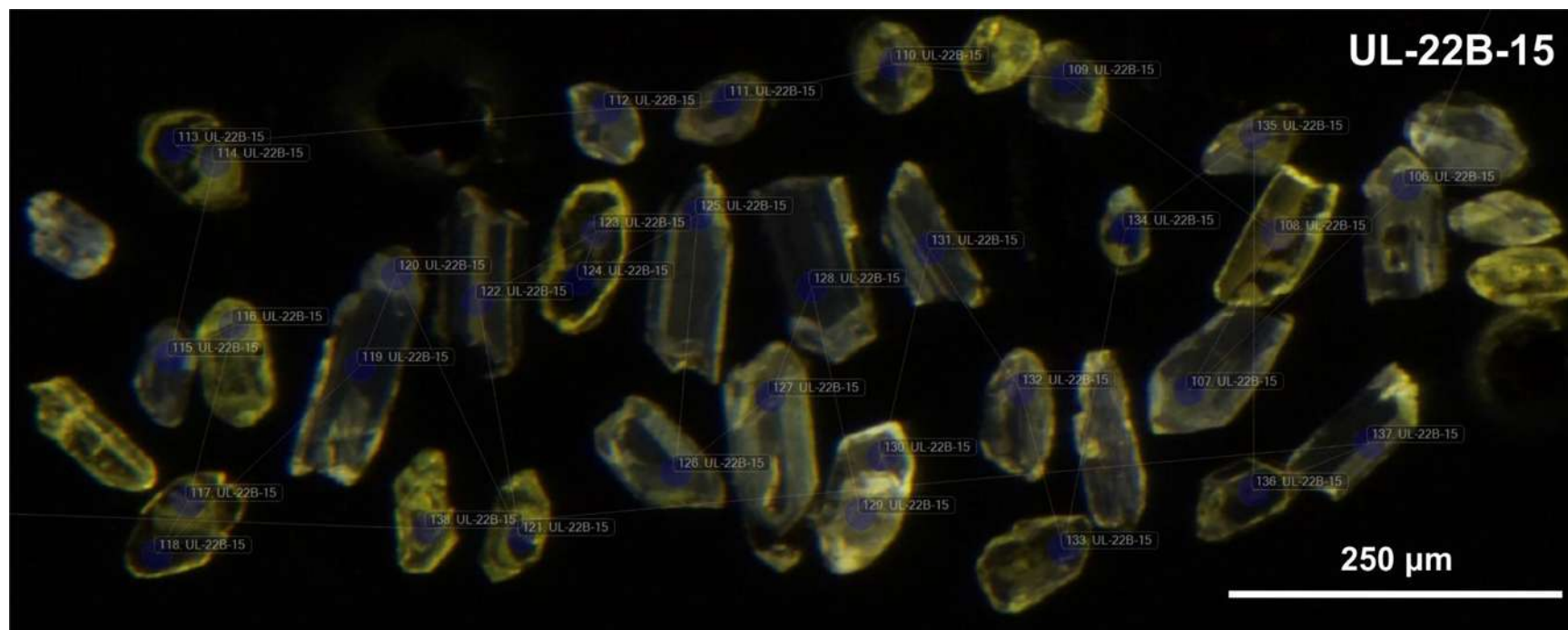


Figura A IV 3. Microfotografía de cátodolumiscencia de zircones pertenecientes a la muestra UI-22B-15. Se presentan los zircones y sitio analizado de los mismos (distinguido con una circunferencia azul). El número de análisis coincide con los que se presentan en la tabla A3.

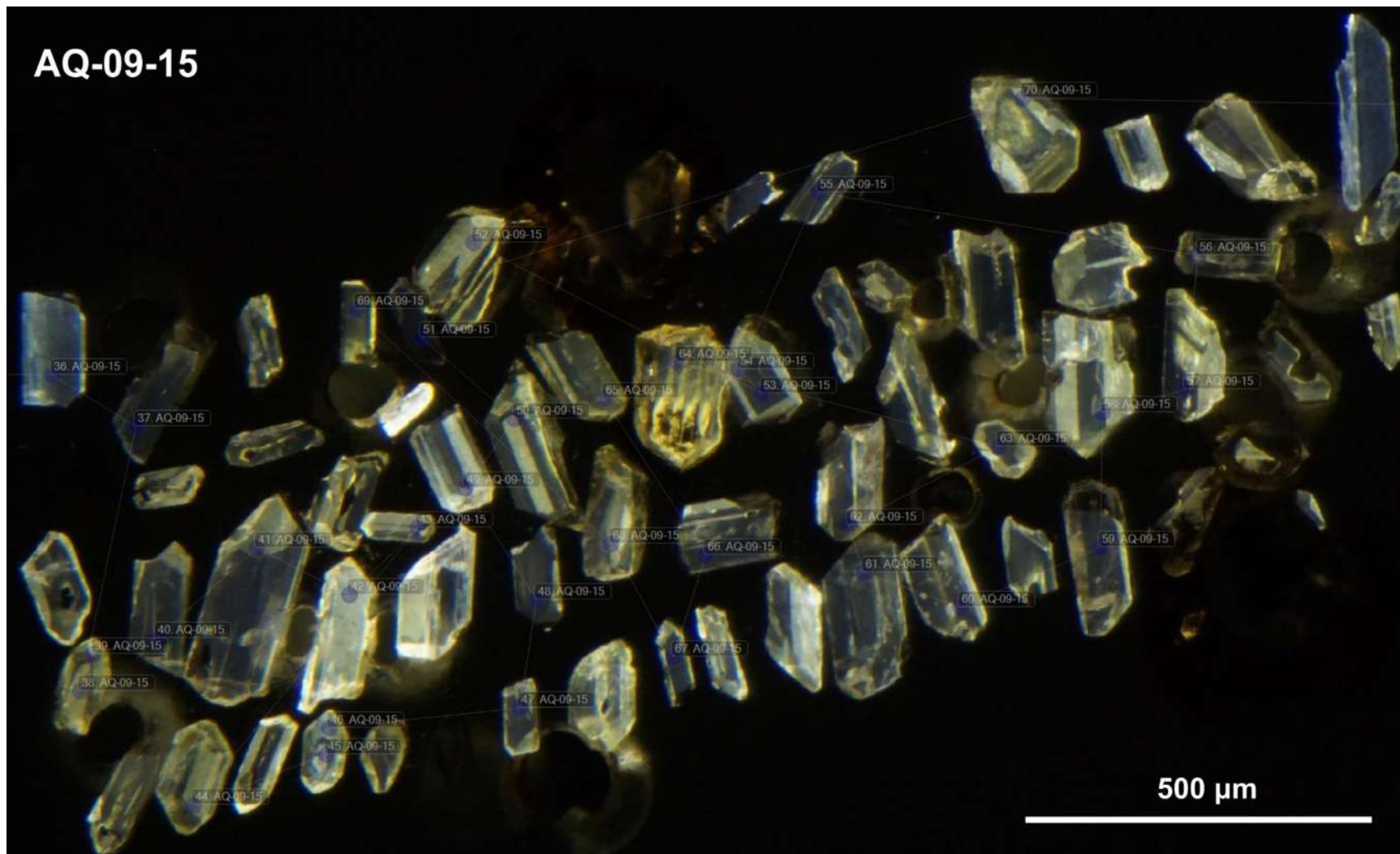


Figura A IV 4. Microfotografía de cátodolumiscencia de zircones pertenecientes a la muestra AQ-09-15. Se presentan los zircones y sitio analizado de los mismos (distinguido con una circunferencia azul). El número de análisis coincide con los que se presentan en la tabla A4.

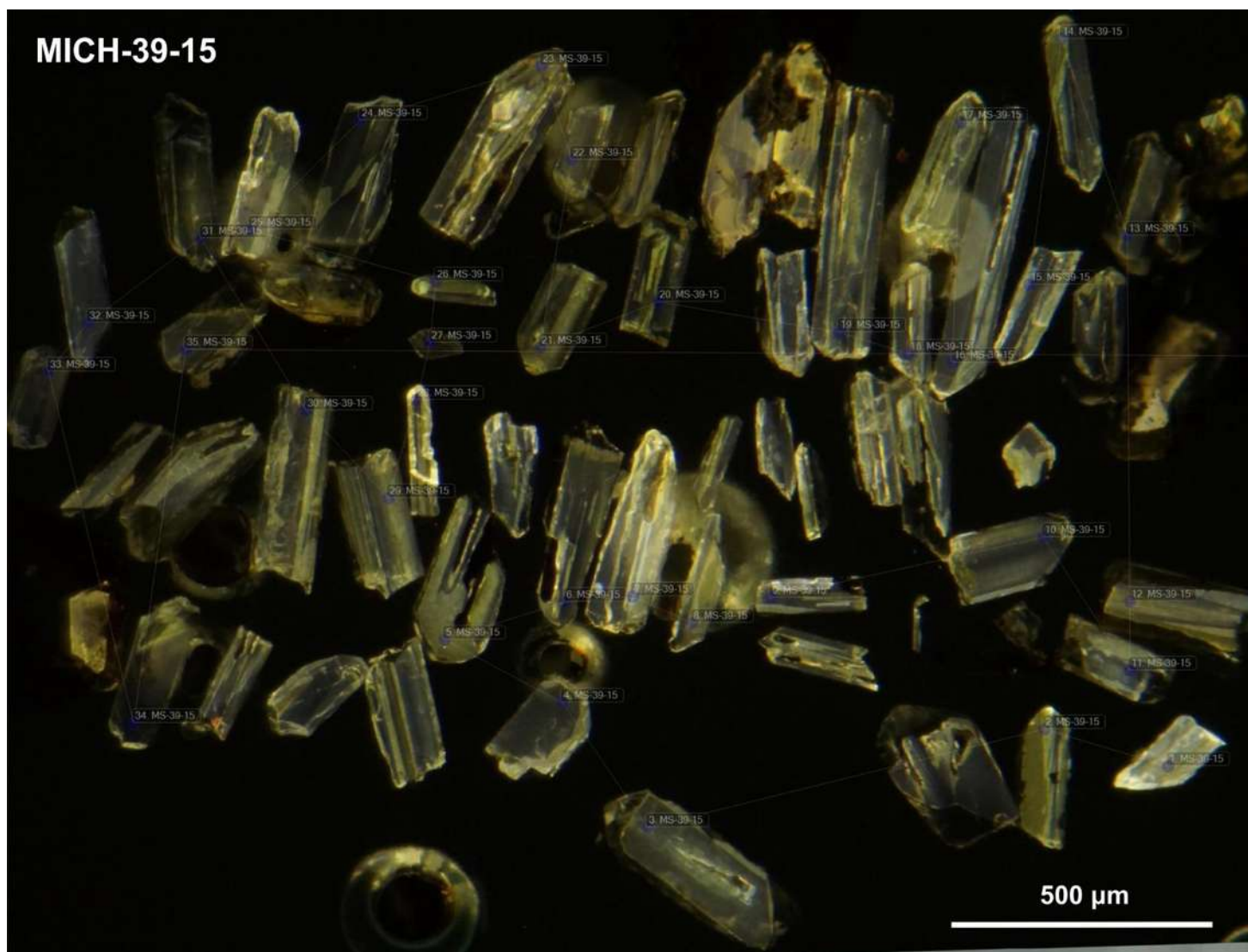


Figura A IV 5. Microfotografía de cátodolumiscencia de zirrones pertenecientes a la muestra MICH-39-15. Se presentan los zirrones y sitio analizado de los mismos (distinguido con una circunferencia azul). El número de análisis coincide con los que se presentan en la tabla A5.

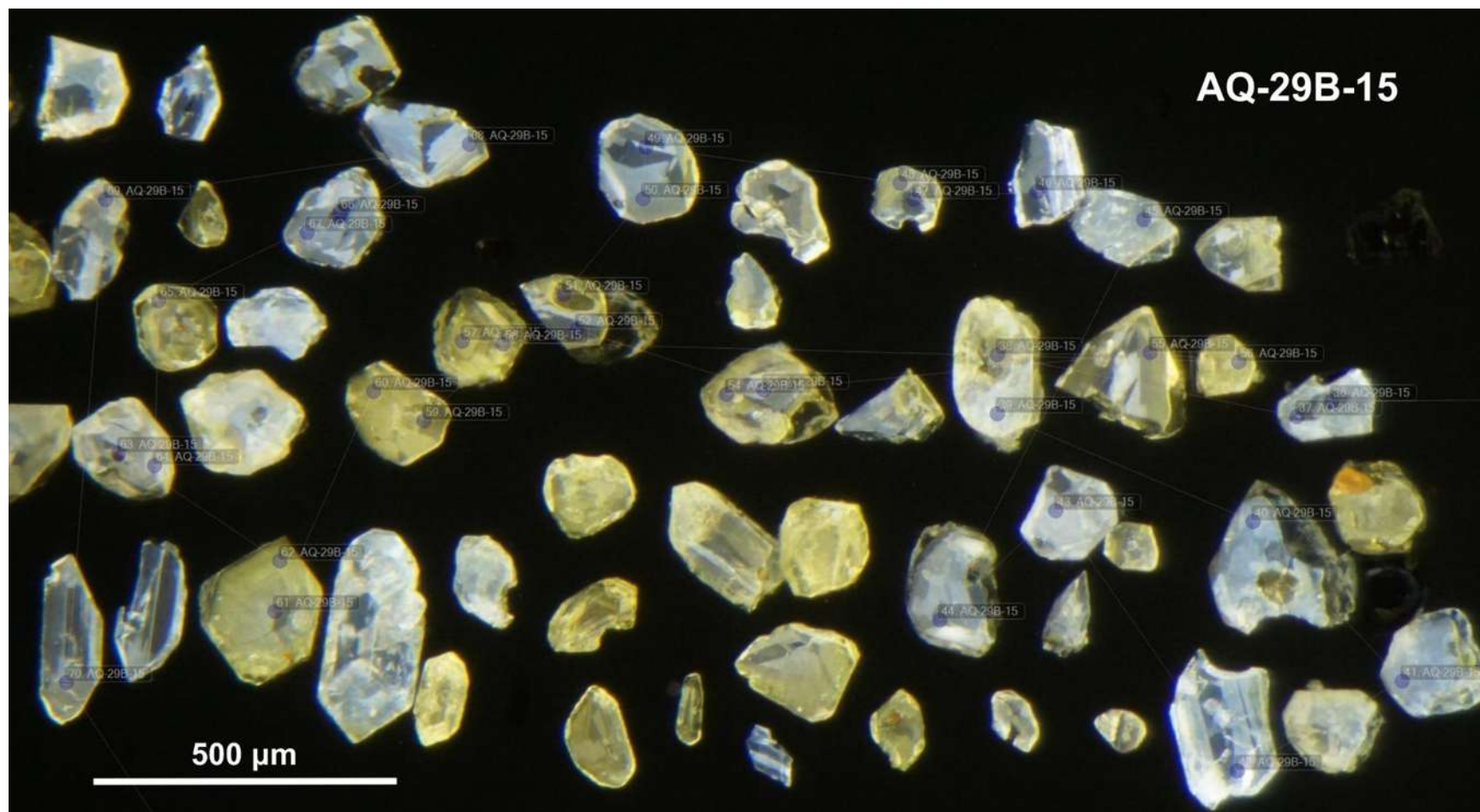


Figura A IV 6. Microfotografía de cátodolumiscencia de zirrones pertenecientes a la muestra AQ-29B-15. Se presentan los zirrones y sitio analizado de los mismos (distinguido con una circunferencia azul). El número de análisis coincide con los que se presentan en la tabla A6.

A continuación, se presentan las tablas con los resultados de los análisis isotópicos U-Pb en zircones de cada una de las muestras. $\pm 2\sigma$ abs = error absoluto considerando dos desviaciones estándar; y Rho = Coeficiente de correlación de error diferido entre los relojes isotópicos. En la columna final de porcentaje de discordancia (Disc %) los valores por fuera del intervalo >30 y <-5 % se encuentran tachados y marcados en rojo brillante. Los valores que se aproximan a estos se observan en rojo opaco.

Tabla A2. Muestra: UL-22-15				CORRECTED RATIOS ²									CORRECTED AGES (Ma)								Disc %
# análisis	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	$\pm 2\sigma$ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 2\sigma$ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	$\pm 2\sigma$ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	$\pm 2\sigma$ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	$\pm 2\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 2\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	$\pm 2\sigma$	Best age (Ma)	$\pm 2\sigma$	
Zr-106	111.5	50.5	0.45	0.0780	0.0110	0.1120	0.0160	0.0105	0.0005	0.0056	0.0007	0.2567	67.0	2.9	106.0	14.0	1160.0	180.0	67.0	2.9	36.79
Zr-107	381.0	170.0	0.45	0.0615	0.0044	0.0872	0.0061	0.0102	0.0003	0.0039	0.0003	0.1303	65.4	1.9	84.7	5.7	693.0	84.0	65.4	1.9	22.79
Zr-108	119.0	70.5	0.59	0.0692	0.0090	0.0980	0.0130	0.0102	0.0004	0.0052	0.0005	0.1899	65.3	2.3	99.0	11.0	990.0	150.0	65.3	2.3	34.04
Zr-109	147.4	82.5	0.56	0.0715	0.0080	0.0975	0.0097	0.0100	0.0004	0.0043	0.0004	0.1825	63.8	2.7	93.9	8.9	1010.0	130.0	63.8	2.7	32.06
Zr-110	308.0	90.5	0.29	0.0591	0.0061	0.0790	0.0080	0.0098	0.0003	0.0042	0.0004	0.0441	62.8	2.0	76.9	7.5	820.0	120.0	62.8	2.0	18.34
Zr-111	324.0	146.0	0.45	0.0613	0.0055	0.0840	0.0066	0.0099	0.0003	0.0038	0.0003	0.1151	63.8	1.8	82.5	6.4	707.0	97.0	63.8	1.8	22.67
Zr-112	1232.0	1568.0	1.27	0.0543	0.0032	0.0717	0.0042	0.0097	0.0002	0.0031	0.0001	0.1859	61.9	1.3	70.2	4.0	436.0	78.0	61.9	1.3	11.78
Zr-113	154.9	103.6	0.67	0.0644	0.0078	0.0867	0.0098	0.0096	0.0003	0.0037	0.0004	0.2182	61.5	2.0	83.8	9.1	880.0	150.0	61.5	2.0	26.61
Zr-114	74.0	30.9	0.42	0.1040	0.0190	0.1490	0.0280	0.0107	0.0006	0.0065	0.0010	0.6960	68.3	3.5	132.0	22.0	1640.0	210.0	68.3	3.5	48.26
Zr-115	33.3	15.3	0.46	0.2010	0.0310	0.3310	0.0530	0.0120	0.0008	0.0135	0.0019	0.2446	76.6	5.3	284.0	40.0	2890.0	200.0	76.6	5.3	73.03
Zr-116	168.5	78.4	0.47	0.0671	0.0076	0.0950	0.0110	0.0103	0.0004	0.0042	0.0004	0.1656	65.8	2.4	93.0	10.0	1020.0	150.0	65.8	2.4	29.25
Zr-117	780.0	617.0	0.79	0.0771	0.0061	0.1118	0.0090	0.0105	0.0002	0.0042	0.0002	0.2812	67.3	1.5	107.2	8.2	1070.0	130.0	67.3	1.5	37.22
Zr-118	1025.0	800.0	0.78	0.0506	0.0030	0.0704	0.0041	0.0100	0.0002	0.0034	0.0001	0.0545	64.3	1.3	69.0	3.9	354.0	89.0	64.3	1.3	6.81
Zr-119	361.0	529.0	1.47	0.0778	0.0060	0.1030	0.0079	0.0093	0.0002	0.0035	0.0002	0.2189	59.7	1.5	100.3	7.5	1149.0	100.0	59.7	1.5	40.48
Zr-120	216.6	136.6	0.63	0.0980	0.0100	0.1400	0.0140	0.0103	0.0004	0.0058	0.0005	0.1031	66.1	2.6	135.0	12.0	1680.0	100.0	66.1	2.6	51.04
Zr-121	452.0	377.4	0.83	0.0673	0.0048	0.0891	0.0067	0.0096	0.0002	0.0036	0.0002	0.2228	61.9	1.3	86.4	6.3	820.0	110.0	61.9	1.3	28.39
Zr-122	782.0	570.0	0.73	0.0623	0.0036	0.0849	0.0046	0.0100	0.0002	0.0036	0.0002	0.3563	64.0	1.5	82.6	4.4	663.0	81.0	64.0	1.5	22.52
Zr-123	593.0	273.0	0.46	0.0589	0.0042	0.0812	0.0055	0.0100	0.0002	0.0038	0.0002	0.0315	64.1	1.4	79.1	5.2	564.0	97.0	64.1	1.4	18.96
Zr-124	472.0	273.0	0.58	0.0654	0.0054	0.0910	0.0079	0.0099	0.0002	0.0038	0.0002	0.3328	63.6	1.5	88.0	7.3	820.0	130.0	63.6	1.5	27.73
Zr-125	302.0	184.0	0.61	0.0783	0.0070	0.1160	0.0100	0.0105	0.0003	0.0048	0.0004	0.1612	67.1	2.2	110.7	9.4	1050.0	110.0	67.1	2.2	39.39
Zr-126	630.0	930.0	1.48	0.0684	0.0099	0.1080	0.0170	0.0112	0.0004	0.0039	0.0003	0.2009	72.1	2.8	104.0	15.0	910.0	160.0	72.1	2.8	30.67
Zr-127	39.1	18.2	0.47	0.1780	0.0260	0.3090	0.0390	0.0118	0.0006	0.0124	0.0019	0.1403	75.9	4.0	272.0	31.0	2660.0	160.0	75.9	4.0	72.10
Zr-128	570.0	535.0	0.94	0.0724	0.0043	0.1036	0.0059	0.0102	0.0002	0.0040	0.0002	0.0364	65.3	1.4	100.0	5.4	1050.0	69.0	65.3	1.4	34.70
Zr-129	256.2	186.0	0.73	0.0813	0.0079	0.1110	0.0120	0.0099	0.0003	0.0042	0.0004	0.4187	63.5	2.0	108.0	11.0	1240.0	150.0	63.5	2.0	41.20
Zr-130	238.2	133.7	0.56	0.1042	0.0086	0.1490	0.0120	0.0105	0.0004	0.0059	0.0005	0.3463	67.5	2.2	140.0	11.0	1674.0	100.0	67.5	2.2	51.79
Zr-131	1281.0	1650.0	1.29	0.0596	0.0032	0.0788	0.0042	0.0096	0.0002	0.0032	0.0002	0.1150	61.7	1.2	77.0	3.9	580.0	87.0	61.7	1.2	19.91
Zr-132	651.0	508.0	0.78	0.0734	0.0071	0.0950	0.0110	0.0091	0.0003	0.0037	0.0004	0.6445	58.3	1.8	91.4	10.0	960.0	170.0	58.3	1.8	36.21
Zr-133	474.0	461.0	0.97	0.0598	0.0041	0.0820	0.0054	0.0099	0.0003	0.0036	0.0002	0.0540	63.2	1.7	79.9	5.0	610.0	91.0	63.2	1.7	20.90

Tabla A3. Muestra: UL-22B-15				CORRECTED RATIOS ²									CORRECTED AGES (Ma)									
# análisis	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	Best age (Ma)	±2σ	Disc %	
Zr-106	164.9	67.2	0.41	0.0845	0.0084	0.1190	0.0110	0.0102	0.0004	0.0055	0.0006	0.0373	65.4	2.6	113.0	10.0	1410.0	160.0	65.4	2.6	42.12	
Zr-107	172.0	96.1	0.56	0.0990	0.0120	0.1360	0.0150	0.0101	0.0004	0.0058	0.0005	0.0267	64.8	2.5	128.0	14.0	1550.0	130.0	64.8	2.5	49.38	
Zr-108	930.0	680.0	0.73	0.0570	0.0075	0.0787	0.0089	0.0099	0.0004	0.0038	0.0003	0.0393	63.7	2.2	76.7	8.3	590.0	150.0	63.7	2.2	16.95	
Zr-109	313.0	176.8	0.56	0.0632	0.0069	0.0896	0.0086	0.0100	0.0004	0.0039	0.0004	0.0419	64.4	2.3	86.9	8.1	740.0	130.0	64.4	2.3	25.89	
Zr-110	188.0	99.0	0.53	0.0894	0.0085	0.1230	0.0100	0.0102	0.0003	0.0061	0.0005	0.0310	65.5	2.0	117.4	9.4	1470.0	110.0	65.5	2.0	44.21	
Zr-111	235.0	138.3	0.59	0.0659	0.0094	0.0890	0.0120	0.0104	0.0003	0.0042	0.0004	0.0275	66.7	2.1	86.0	11.0	820.0	140.0	66.7	2.1	22.44	
Zr-112	126.4	64.3	0.51	0.0960	0.0120	0.1290	0.0150	0.0101	0.0005	0.0053	0.0007	0.0340	64.8	3.2	123.0	14.0	1590.0	150.0	64.8	3.2	47.32	
Zr-113	855.0	759.0	0.89	0.0514	0.0037	0.0675	0.0044	0.0096	0.0001	0.0032	0.0002	0.0318	61.6	0.9	66.3	4.2	281.0	73.0	61.6	0.9	7.07	
Zr-114	654.0	363.0	0.56	0.0511	0.0042	0.0606	0.0049	0.0088	0.0002	0.0031	0.0002	0.0388	56.7	1.2	59.7	4.7	300.0	78.0	56.7	1.2	5.03	
Zr-115	129.1	62.2	0.48	0.0990	0.0130	0.1430	0.0180	0.0110	0.0004	0.0061	0.0006	0.0239	70.2	2.7	135.0	16.0	1630.0	170.0	70.2	2.7	48.00	
Zr-116	451.0	932.0	2.07	0.0957	0.0091	0.1310	0.0160	0.0095	0.0004	0.0036	0.0002	0.0250	61.2	2.5	125.0	14.0	1540.0	160.0	61.2	2.5	51.04	
Zr-117	230.3	94.4	0.41	0.0657	0.0085	0.0890	0.0100	0.0099	0.0003	0.0046	0.0004	0.0320	63.2	2.1	85.8	9.7	910.0	120.0	63.2	2.1	26.34	
Zr-118	909.0	1185.0	1.30	0.0583	0.0049	0.0787	0.0062	0.0098	0.0002	0.0034	0.0002	0.0355	63.0	1.4	76.8	5.8	628.0	89.0	63.0	1.4	17.97	
Zr-119	467.0	392.0	0.84	0.0618	0.0058	0.0798	0.0071	0.0096	0.0003	0.0035	0.0002	0.0352	61.3	1.6	77.8	6.7	650.0	120.0	61.3	1.6	21.21	
Zr-120	103.9	45.7	0.44	0.1220	0.0160	0.1700	0.0180	0.0105	0.0005	0.0070	0.0009	0.0300	67.3	3.4	158.0	15.0	2000.0	170.0	67.3	3.4	57.41	
Zr-121	1218.0	829.0	0.68	0.0637	0.0054	0.0850	0.0070	0.0097	0.0002	0.0038	0.0003	0.0214	62.5	0.9	82.7	6.5	790.0	130.0	62.5	0.9	24.46	
Zr-122	741.0	658.0	0.89	0.0617	0.0060	0.0807	0.0074	0.0096	0.0002	0.0033	0.0002	0.0270	61.8	1.3	78.6	6.9	650.0	160.0	61.8	1.3	21.37	
Zr-123	380.0	640.0	1.68	0.0623	0.0065	0.0880	0.0100	0.0102	0.0005	0.0032	0.0002	0.0500	65.4	3.2	85.5	9.4	780.0	130.0	65.4	3.2	23.51	
Zr-124	1041.0	1300.0	1.25	0.0500	0.0033	0.0666	0.0043	0.0097	0.0002	0.0031	0.0001	0.0349	62.5	1.0	65.4	4.1	255.0	53.0	62.5	1.0	4.45	
Zr-125	283.0	168.0	0.59	0.0700	0.0061	0.0998	0.0085	0.0103	0.0003	0.0043	0.0003	0.0365	65.8	2.0	96.3	7.9	1080.0	110.0	65.8	2.0	31.67	
Zr-126	335.6	144.5	0.43	0.0578	0.0056	0.0718	0.0068	0.0093	0.0002	0.0038	0.0002	0.0309	59.8	1.4	70.2	6.4	603.0	84.0	59.8	1.4	14.81	
Zr-127	290.0	162.4	0.56	0.0683	0.0057	0.0860	0.0074	0.0093	0.0003	0.0035	0.0003	0.0378	59.9	1.8	84.8	6.6	880.0	120.0	59.9	1.8	29.36	
Zr-128	538.0	413.5	0.77	0.0537	0.0049	0.0695	0.0062	0.0094	0.0002	0.0032	0.0002	0.0339	60.5	1.4	68.1	5.9	402.0	77.0	60.5	1.4	11.16	
Zr-129	206.9	95.0	0.46	0.0762	0.0080	0.0995	0.0099	0.0098	0.0004	0.0047	0.0004	0.0354	62.7	2.3	95.9	9.1	1090.0	130.0	62.7	2.3	34.62	
Zr-130	149.0	63.0	0.42	0.2470	0.0320	0.4270	0.0650	0.0127	0.0011	0.0177	0.0027	0.0169	81.4	7.2	354.0	45.0	3320.0	150.0	81.4	7.2	77.01	
Zr-131	193.9	106.4	0.55	0.0692	0.0076	0.0885	0.0091	0.0094	0.0003	0.0038	0.0005	0.0286	60.2	1.7	85.8	8.5	963.0	92.0	60.2	1.7	29.84	
Zr-132	302.5	102.2	0.34	0.0693	0.0066	0.0876	0.0076	0.0095	0.0003	0.0043	0.0004	0.0408	60.8	2.0	85.0	7.1	938.0	89.0	60.8	2.0	28.47	
Zr-133	1035.0	1177.0	1.14	0.0660	0.0042	0.0867	0.0056	0.0096	0.0002	0.0034	0.0002	0.0357	61.3	1.3	84.4	5.2	779.0	77.0	61.3	1.3	27.37	
Zr-134	507.0	456.0	0.90	0.0671	0.0068	0.0920	0.0094	0.0095	0.0003	0.0041	0.0003	0.0362	61.2	2.2	89.2	8.8	940.0	190.0	61.2	2.2	31.39	
Zr-135	231.0	132.3	0.57	0.0694	0.0082	0.0896	0.0097	0.0094	0.0003	0.0040	0.0004	0.0351	60.5	2.2	86.9	9.1	1050.0	130.0	60.5	2.2	30.38	
Zr-136	841.0	532.0	0.63	0.0560	0.0030	0.0763	0.0037	0.0100	0.0002	0.0035	0.0002	0.0541	63.8	1.3	75.1	3.6	500.0	59.0	63.8	1.3	15.05	
Zr-137	655.0	481.0	0.73	0.0727	0.0068	0.0997	0.0097	0.0101	0.0002	0.0040	0.0002	0.0247	64.6	1.6	97.9	9.3	1050.0	130.0	64.6	1.6	34.01	
Zr-138	1430.0	3900.0	2.73	0.0641	0.0043	0.0859	0.0053	0.0098	0.0002	0.0019	0.0003	0.0396	62.7	1.4	83.7	4.9	764.0	97.0	62.7	1.4	25.09	

Tabla A4. Muestra: AQ-09-15				CORRECTED RATIOS ²									CORRECTED AGES (Ma)										
# análisis	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	Best age (Ma)	±2σ	Disc %		
Zr-36	36.1	23.0	0.64	0.1290	0.0200	0.1730	0.0230	0.0102	0.0006	0.0052	0.0008	0.0278	65.3	4.1	164.0	20.0	2110.0	140.0	65.3	4.1	60.18		
Zr-37	1218.0	1277.0	1.05	0.0508	0.0039	0.0657	0.0045	0.0094	0.0002	0.0032	0.0002	0.0356	60.1	1.1	64.6	4.3	301.0	76.0	60.1	1.1	6.97		
Zr-38	544.0	347.0	0.64	0.0534	0.0039	0.0738	0.0048	0.0098	0.0002	0.0034	0.0002	0.0479	63.0	1.5	72.2	4.6	388.0	74.0	63.0	1.5	12.74		
Zr-39	588.0	381.0	0.65	0.0570	0.0046	0.0764	0.0058	0.0096	0.0002	0.0034	0.0002	0.0310	61.5	1.2	74.7	5.4	601.0	100.0	61.5	1.2	17.67		
Zr-40	521.0	429.0	0.82	0.0501	0.0033	0.0635	0.0041	0.0095	0.0003	0.0031	0.0002	0.0707	60.8	1.8	62.5	3.9	249.0	55.0	60.8	1.8	2.72		
Zr-41	113.8	44.8	0.39	0.0840	0.0090	0.1220	0.0120	0.0101	0.0004	0.0062	0.0009	0.0317	64.6	2.4	116.0	11.0	1290.0	100.0	64.6	2.4	44.31		
Zr-42	160.1	113.8	0.71	0.0723	0.0091	0.0940	0.0120	0.0096	0.0004	0.0042	0.0003	0.0325	61.4	2.5	91.0	11.0	960.0	110.0	61.4	2.5	32.53		
Zr-43	245.3	118.9	0.48	0.0807	0.0077	0.1080	0.0110	0.0096	0.0003	0.0048	0.0003	0.0264	61.3	1.9	103.5	9.8	1250.0	110.0	61.3	1.9	40.77		
Zr-44	790.0	653.0	0.83	0.0553	0.0037	0.0756	0.0050	0.0099	0.0002	0.0033	0.0002	0.0340	63.2	1.1	74.0	4.7	442.0	73.0	63.2	1.1	14.59		
Zr-45	46.4	39.7	0.86	0.2200	0.0340	0.3680	0.0420	0.0117	0.0010	0.0093	0.0011	0.0229	75.1	6.1	321.0	29.0	3090.0	170.0	75.1	6.1	76.60		
Zr-46	38.7	18.5	0.48	0.2240	0.0360	0.3410	0.0490	0.0113	0.0011	0.0138	0.0018	0.0224	72.5	6.7	299.0	35.0	3090.0	160.0	72.5	6.7	75.75		
Zr-48	324.0	224.0	0.69	0.0586	0.0063	0.0773	0.0082	0.0096	0.0003	0.0037	0.0002	0.0329	61.5	1.7	75.3	7.7	599.0	100.0	61.5	1.7	18.33		
Zr-49	125.7	85.2	0.68	0.0614	0.0075	0.0782	0.0088	0.0095	0.0005	0.0039	0.0004	0.0602	60.9	3.4	77.5	7.9	800.0	130.0	60.9	3.4	21.42		
Zr-50	743.0	815.0	1.10	0.0507	0.0040	0.0680	0.0054	0.0096	0.0002	0.0031	0.0001	0.0333	61.3	1.1	66.6	5.2	370.0	55.0	61.3	1.1	7.96		
Zr-51	2340.0	2350.0	1.00	0.0529	0.0024	0.0657	0.0028	0.0090	0.0001	0.0030	0.0001	0.0429	57.5	0.8	64.9	2.6	294.0	55.0	57.5	0.8	11.42		
Zr-52	254.2	162.0	0.64	0.0550	0.0057	0.0754	0.0077	0.0099	0.0004	0.0038	0.0003	0.0571	63.3	2.8	73.6	7.2	660.0	130.0	63.3	2.8	13.99		
Zr-53	231.0	168.0	0.73	0.0607	0.0071	0.0800	0.0110	0.0099	0.0004	0.0038	0.0004	0.0327	63.4	2.3	80.4	9.1	790.0	160.0	63.4	2.3	21.14		
Zr-54	133.2	48.6	0.36	0.0793	0.0098	0.1090	0.0130	0.0100	0.0004	0.0056	0.0007	0.0292	64.3	2.4	105.0	12.0	1140.0	160.0	64.3	2.4	38.76		
Zr-55	363.0	290.1	0.80	0.0523	0.0056	0.0663	0.0062	0.0093	0.0003	0.0031	0.0002	0.0484	59.9	1.9	65.1	5.9	520.0	140.0	59.9	1.9	7.99		
Zr-56	869.0	586.0	0.67	0.0579	0.0051	0.0822	0.0070	0.0102	0.0002	0.0038	0.0002	0.0243	65.7	1.1	80.1	6.6	550.0	130.0	65.7	1.1	17.98		
Zr-57	461.0	342.0	0.74	0.0619	0.0046	0.0835	0.0062	0.0098	0.0002	0.0037	0.0003	0.0306	62.6	1.2	81.3	5.8	758.0	73.0	62.6	1.2	23.00		
Zr-58	300.0	225.0	0.75	0.0467	0.0048	0.0625	0.0062	0.0094	0.0004	0.0032	0.0002	0.0629	60.4	2.5	62.8	6.4	490.0	160.0	60.4	2.5	3.82		
Zr-59	521.0	428.0	0.82	0.0517	0.0052	0.0699	0.0066	0.0097	0.0002	0.0033	0.0002	0.0333	62.2	1.4	68.4	6.2	460.0	84.0	62.2	1.4	9.06		
Zr-60	261.2	174.6	0.67	0.0541	0.0077	0.0693	0.0099	0.0093	0.0003	0.0033	0.0003	0.0263	59.9	1.7	67.8	9.4	520.0	120.0	59.9	1.7	11.65		
Zr-61	607.0	457.0	0.75	0.0574	0.0047	0.0751	0.0059	0.0096	0.0003	0.0034	0.0002	0.0424	61.4	1.6	73.4	5.6	464.0	88.0	61.4	1.6	16.35		
Zr-62	589.0	509.9	0.87	0.0516	0.0049	0.0702	0.0059	0.0097	0.0002	0.0033	0.0002	0.0407	62.2	1.6	68.8	5.6	427.0	91.0	62.2	1.6	9.59		
Zr-63	380.0	253.0	0.67	0.0683	0.0064	0.0888	0.0087	0.0099	0.0003	0.0044	0.0004	0.0322	63.3	1.8	86.1	8.1	835.0	93.0	63.3	1.8	26.48		
Zr-64	383.8	287.3	0.75	0.0556	0.0050	0.0704	0.0062	0.0091	0.0003	0.0033	0.0002	0.0419	58.7	1.7	69.0	5.9	530.0	110.0	58.7	1.7	14.93		
Zr-65	1298.0	1222.0	0.94	0.0495	0.0031	0.0639	0.0036	0.0093	0.0002	0.0031	0.0001	0.0444	59.9	1.0	62.8	3.4	295.0	76.0	59.9	1.0	4.68		
Zr-66	416.0	317.0	0.76	0.0574	0.0048	0.0760	0.0053	0.0098	0.0003	0.0033	0.0002	0.0547	62.6	1.8	74.2	5.0	508.0	84.0	62.6	1.8	15.63		
Zr-67	159.0	81.0	0.51	0.1240	0.0160	0.1730	0.0210	0.0102	0.0005	0.0064	0.0006	0.0214	65.7	2.9	161.0	18.0	2050.0	170.0	65.7	2.9	59.19		
Zr-68	283.8	185.2	0.65	0.0558	0.0062	0.0742	0.0085	0.0097	0.0003	0.0034	0.0002	0.0329	62.0	1.8	74.9	7.5	590.0	100.0	62.0	1.8	17.22		
Zr-69	849.0	869.0	1.02	0.0537	0.0036	0.0699	0.0045	0.0094	0.0002	0.0030	0.0001	0.0333	60.1	1.0	68.5	4.2	395.0	73.0	60.1	1.0	12.25		
Zr-70	253.9	160.5	0.63	0.0524	0.0073	0.0665	0.0084	0.0094	0.0003	0.0033	0.0002	0.0369	60.3	2.0	65.2	8.0	460.0	150.0	60.3	2.0	7.52		

Tabla A5. Muestra: MICH-39-15				CORRECTED RATIOS ²									CORRECTED AGES (Ma)									
# análisis	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th ±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±2σ	Best age (Ma) ±2σ	Disc %									
Zr-01	69.0	24.7	0.36	0.0830	0.0150	0.1150	0.0190	0.0101	0.0005	0.0055	0.0008	0.0253	65.0	3.0	108.0	17.0	1260.0	190.0	65.0	3.0	39.81	
Zr-02	155.0	88.0	0.57	0.0670	0.0110	0.0930	0.0130	0.0101	0.0005	0.0044	0.0007	0.0362	65.0	3.0	90.0	12.0	970.0	170.0	65.0	3.0	27.78	
Zr-03	424.0	256.0	0.60	0.0544	0.0045	0.0726	0.0059	0.0097	0.0003	0.0036	0.0003	0.0441	62.4	1.6	71.0	5.5	492.0	74.0	62.4	1.6	12.11	
Zr-04	685.0	467.0	0.68	0.0515	0.0031	0.0703	0.0042	0.0098	0.0002	0.0033	0.0002	0.0405	62.8	1.1	68.9	4.0	356.0	80.0	62.8	1.1	8.85	
Zr-05	297.0	114.6	0.39	0.0749	0.0059	0.1000	0.0076	0.0098	0.0003	0.0044	0.0004	0.0355	63.1	1.7	96.5	7.0	1096.0	97.0	63.1	1.7	34.61	
Zr-06	640.0	465.0	0.73	0.0609	0.0042	0.0814	0.0052	0.0097	0.0002	0.0035	0.0002	0.0365	61.9	1.2	79.4	4.9	666.0	110.0	61.9	1.2	22.04	
Zr-07	230.0	110.0	0.48	0.0610	0.0100	0.0930	0.0110	0.0109	0.0005	0.0041	0.0006	0.0464	69.7	3.2	90.0	11.0	660.0	190.0	69.7	3.2	22.56	
Zr-08	347.0	167.3	0.48	0.0676	0.0061	0.0929	0.0081	0.0102	0.0002	0.0048	0.0003	0.0284	65.5	1.5	89.9	7.4	860.0	110.0	65.5	1.5	27.14	
Zr-09	409.0	107.0	0.26	0.0645	0.0047	0.0858	0.0062	0.0097	0.0003	0.0049	0.0003	0.0419	61.9	1.7	83.4	5.8	730.0	100.0	61.9	1.7	25.78	
Zr-10	203.0	86.4	0.43	0.0567	0.0059	0.0755	0.0072	0.0097	0.0004	0.0040	0.0004	0.0486	62.2	2.2	73.6	6.8	580.0	110.0	62.2	2.2	15.49	
Zr-11	430.0	308.0	0.72	0.0541	0.0059	0.0732	0.0081	0.0099	0.0003	0.0038	0.0004	0.0407	63.5	2.1	71.6	7.6	530.0	110.0	63.5	2.1	11.31	
Zr-12	112.2	35.7	0.32	0.0660	0.0120	0.0860	0.0140	0.0101	0.0005	0.0050	0.0007	0.0379	65.1	3.4	86.0	14.0	1040.0	170.0	65.1	3.4	24.30	
Zr-13	356.0	204.0	0.57	0.0699	0.0065	0.0915	0.0078	0.0096	0.0002	0.0041	0.0002	0.0308	61.8	1.6	88.7	7.2	880.0	130.0	61.8	1.6	30.33	
Zr-14	205.0	99.0	0.48	0.0700	0.0084	0.0970	0.0110	0.0102	0.0004	0.0052	0.0006	0.0336	65.2	2.3	93.0	10.0	930.0	140.0	65.2	2.3	29.89	
Zr-15	380.0	253.0	0.67	0.0799	0.0075	0.1074	0.0095	0.0101	0.0003	0.0044	0.0004	0.0274	64.9	1.7	105.0	9.3	1150.0	130.0	64.9	1.7	38.19	
Zr-16	297.0	196.6	0.66	0.0561	0.0054	0.0752	0.0061	0.0094	0.0003	0.0034	0.0002	0.0475	60.4	1.9	73.4	5.8	539.0	89.0	60.4	1.9	17.71	
Zr-17	76.2	33.8	0.44	0.3450	0.0410	0.8770	0.0710	0.0163	0.0010	0.0345	0.0044	0.0141	104.4	6.4	636.0	40.0	3784.0	81.0	104.4	6.4	83.58	
Zr-18	227.3	153.0	0.67	0.1040	0.0120	0.1480	0.0170	0.0099	0.0003	0.0051	0.0004	0.0147	63.2	1.6	139.0	15.0	1680.0	180.0	63.2	1.6	54.53	
Zr-19	582.0	457.0	0.79	0.0558	0.0046	0.0740	0.0059	0.0096	0.0003	0.0031	0.0002	0.0559	61.3	2.1	72.4	5.6	460.0	110.0	61.3	2.1	15.33	
Zr-20	723.0	467.0	0.65	0.0560	0.0038	0.0731	0.0052	0.0096	0.0001	0.0033	0.0002	0.0269	61.3	0.9	72.2	4.8	465.0	80.0	61.3	0.9	15.17	
Zr-21	498.0	208.0	0.42	0.0672	0.0049	0.0905	0.0065	0.0098	0.0002	0.0046	0.0004	0.0277	62.8	1.1	87.8	6.0	860.0	130.0	62.8	1.1	28.47	
Zr-22	633.0	421.0	0.67	0.0564	0.0036	0.0741	0.0045	0.0095	0.0002	0.0034	0.0002	0.0422	60.9	1.2	72.5	4.2	528.0	92.0	60.9	1.2	16.00	
Zr-23	200.3	84.4	0.42	0.0687	0.0071	0.0906	0.0086	0.0100	0.0003	0.0044	0.0003	0.0314	64.1	1.7	87.7	8.1	890.0	110.0	64.1	1.7	26.91	
Zr-24	862.0	578.0	0.67	0.0487	0.0029	0.0669	0.0035	0.0099	0.0002	0.0032	0.0002	0.0457	63.3	1.0	65.7	3.3	305.0	69.0	63.3	1.0	3.64	
Zr-25	295.5	190.0	0.64	0.0556	0.0047	0.0736	0.0058	0.0097	0.0003	0.0033	0.0002	0.0483	62.4	1.8	72.7	5.6	565.0	94.0	62.4	1.8	14.17	
Zr-26	406.0	108.5	0.27	0.0631	0.0047	0.0842	0.0069	0.0097	0.0002	0.0048	0.0004	0.0333	62.0	1.4	81.9	6.4	722.0	110.0	62.0	1.4	24.30	
Zr-27	2240.0	1483.0	0.66	0.0538	0.0022	0.0712	0.0028	0.0095	0.0001	0.0033	0.0001	0.0500	60.9	0.9	69.8	2.6	351.0	42.0	60.9	0.9	12.75	
Zr-28	647.0	367.5	0.57	0.0625	0.0043	0.0831	0.0057	0.0095	0.0002	0.0035	0.0002	0.0316	61.0	1.2	80.9	5.4	698.0	96.0	61.0	1.2	24.60	
Zr-29	122.6	57.4	0.47	0.0592	0.0088	0.0810	0.0110	0.0097	0.0004	0.0033	0.0005	0.0327	62.1	2.3	78.0	11.0	810.0	140.0	62.1	2.3	20.38	
Zr-30	541.0	342.0	0.63	0.0551	0.0044	0.0763	0.0060	0.0099	0.0002	0.0033	0.0002	0.0367	63.3	1.4	74.5	5.7	518.0	80.0	63.3	1.4	15.03	
Zr-31	657.1	406.8	0.62	0.0509	0.0028	0.0685	0.0036	0.0097	0.0002	0.0032	0.0002	0.0417	62.3	1.0	67.7	3.6	292.0	54.0	62.3	1.0	7.98	
Zr-32	297.3	199.7	0.67	0.0508	0.0049	0.0704	0.0058	0.0098	0.0003	0.0033	0.0002	0.0466	62.9	1.7	69.0	5.5	501.0	93.0	62.9	1.7	8.84	
Zr-33	694.0	499.0	0.72	0.0503	0.0032	0.0677	0.0041	0.0097	0.0002	0.0033	0.0002	0.0390	62.0	1.0	67.0	4.1	254.0	59.0	62.0	1.0	7.45	
Zr-34	1324.0	781.0	0.59	0.0487	0.0028	0.0653	0.0035	0.0097	0.0001	0.0031	0.0002	0.0400	62.0	0.9	64.1	3.3	279.0	69.0	62.0	0.9	3.23	
Zr-35	440.0	219.0	0.50	0.0530	0.0047	0.0713	0.0057	0.0098	0.0003	0.0033	0.0002	0.0456	62.7	1.7	69.8	5.4	470.0	69.0	62.7	1.7	10.17	

Tabla A6 Muestra: AQ-29B-15				CORRECTED RATIOS ²									CORRECTED AGES (Ma)										
# análisis	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th ±2σ abs	Rho		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±2σ	Best age (Ma)	±2σ								Disc %	
Zr-36	37.0	28.1	0.76	0.0740	0.0190	0.0860	0.0210	0.0092	0.0008	0.0033	0.0007	0.1236		58.9	5.1	88.0	19.0	1460.0	230.0	58.9	5.1		33.07
Zr-37	35.9	19.7	0.55	0.1210	0.0250	0.1790	0.0370	0.0111	0.0007	0.0066	0.0011	0.3175		71.2	4.4	160.0	31.0	1920.0	230.0	71.2	4.4		55.50
Zr-38	0.0	0.0	0.00	no value	NAN	no value	NAN	no value	NAN	no value	NAN	#iVALOR!		no value	NAN	no value	NAN	no value	NAN	#iVALOR!	#iVALOR!	#iVALOR!	
Zr-39	32.7	21.6	0.66	0.0490	0.0190	0.0630	0.0240	0.0092	0.0005	0.0031	0.0006	0.1364		58.9	3.0	63.0	23.0	1360.0	230.0	58.9	3.0		6.51
Zr-40	25.5	12.3	0.48	0.1360	0.0370	0.1930	0.0480	0.0118	0.0011	0.0083	0.0016	0.2425		75.6	7.1	168.0	40.0	2170.0	270.0	75.6	7.1		55.00
Zr-41	31.6	18.5	0.59	0.0690	0.0180	0.1040	0.0280	0.0107	0.0008	0.0041	0.0009	0.0591		68.5	4.9	97.0	26.0	1520.0	290.0	68.5	4.9		29.38
Zr-42	22.6	14.6	0.64	0.0790	0.0290	0.1080	0.0410	0.0103	0.0008	0.0057	0.0011	0.0271		65.8	4.9	100.0	38.0	1910.0	300.0	65.8	4.9		34.20
Zr-43	19.8	11.9	0.60	0.0480	0.0380	0.0660	0.0490	0.0105	0.0009	0.0050	0.0015	0.0478		67.2	6.0	61.0	49.0	2130.0	530.0	67.2	6.0		-10.16
Zr-44	25.0	13.6	0.55	0.0750	0.0310	0.0960	0.0350	0.0108	0.0008	0.0032	0.0014	0.3423		68.9	5.3	86.0	33.0	2060.0	240.0	68.9	5.3		19.88
Zr-45	23.4	13.7	0.59	0.0580	0.0300	0.0670	0.0370	0.0112	0.0010	0.0045	0.0013	0.0924		71.9	6.4	64.0	36.0	1620.0	280.0	71.9	6.4		-12.34
Zr-46	54.8	38.2	0.70	0.0660	0.0150	0.1020	0.0230	0.0105	0.0006	0.0041	0.0007	0.2313		67.0	3.9	97.0	21.0	1070.0	160.0	67.0	3.9		30.93
Zr-47	57.9	40.8	0.70	0.0700	0.0170	0.0990	0.0240	0.0100	0.0005	0.0042	0.0006	0.2030		64.0	3.4	93.0	22.0	1470.0	200.0	64.0	3.4		31.18
Zr-48	63.0	23.8	0.38	0.1100	0.0170	0.1550	0.0250	0.0109	0.0006	0.0077	0.0010	0.2132		69.6	4.0	143.0	21.0	1850.0	180.0	69.6	4.0		51.33
Zr-49	32.4	21.2	0.65	0.0310	0.0190	0.0260	0.0210	0.0097	0.0008	0.0026	0.0007	0.2797		62.2	4.8	24.0	20.0	1000.0	280.0	62.2	4.8		-159.17
Zr-50	24.6	12.1	0.49	0.0810	0.0280	0.1110	0.0360	0.0111	0.0008	0.0056	0.0012	0.1533		71.3	5.0	105.0	34.0	1690.0	280.0	71.3	5.0		32.10
Zr-51	833.0	46.3	0.06	0.0504	0.0032	0.0657	0.0041	0.0093	0.0002	0.0046	0.0006	0.2058		59.7	1.3	64.5	3.9	335.0	81.0	59.7	1.3		7.44
Zr-52	34.4	25.3	0.74	0.1090	0.0270	0.1480	0.0350	0.0104	0.0007	0.0054	0.0008	0.0930		66.4	4.3	142.0	31.0	1910.0	280.0	66.4	4.3		53.24
Zr-53	25.4	13.2	0.52	0.0540	0.0240	0.0790	0.0310	0.0096	0.0008	0.0028	0.0009	0.1473		61.3	4.9	72.0	29.0	1270.0	260.0	61.3	4.9		14.86
Zr-54	71.5	27.1	0.38	0.0810	0.0140	0.1110	0.0190	0.0100	0.0005	0.0065	0.0009	0.2328		64.2	3.1	105.0	17.0	1350.0	160.0	64.2	3.1		38.86
Zr-55	78.5	27.1	0.35	0.0610	0.0110	0.0800	0.0120	0.0098	0.0004	0.0044	0.0007	0.1591		63.1	2.8	77.0	12.0	830.0	140.0	63.1	2.8		18.05
Zr-56	139.9	46.9	0.34	0.0550	0.0084	0.0760	0.0120	0.0100	0.0003	0.0041	0.0005	0.0351		64.3	2.1	74.0	11.0	710.0	140.0	64.3	2.1		13.11
Zr-57	278.0	95.9	0.34	0.0573	0.0055	0.0765	0.0077	0.0096	0.0002	0.0037	0.0004	0.4004		61.5	1.5	74.6	7.2	620.0	130.0	61.5	1.5		17.56
Zr-58	264.0	115.5	0.44	0.0720	0.0110	0.1000	0.0150	0.0098	0.0003	0.0053	0.0007	0.2874		62.7	2.1	96.0	14.0	1020.0	240.0	62.7	2.1		34.69
Zr-59	309.0	176.9	0.57	0.0517	0.0049	0.0699	0.0068	0.0096	0.0002	0.0031	0.0002	0.1580		61.4	1.4	68.3	6.4	488.0	93.0	61.4	1.4		10.10
Zr-60	214.8	74.6	0.35	0.0574	0.0054	0.0754	0.0068	0.0095	0.0003	0.0035	0.0004	0.0150		60.8	1.8	73.5	6.4	680.0	110.0	60.8	1.8		17.28
Zr-61	63.9	26.4	0.41	0.0610	0.0120	0.0830	0.0170	0.0100	0.0005	0.0038	0.0006	0.2567		63.9	3.4	81.0	16.0	910.0	150.0	63.9	3.4		21.11
Zr-62	213.0	72.9	0.34	0.0720	0.0072	0.0955	0.0089	0.0099	0.0004	0.0049	0.0005	0.2628		63.6	2.2	93.5	8.6	970.0	120.0	63.6	2.2		31.98
Zr-63	586.0	69.3	0.12	0.0511	0.0045	0.0672	0.0065	0.0092	0.0003	0.0034	0.0006	0.2488		59.3	1.8	66.0	6.2	370.0	130.0	59.3	1.8		10.15
Zr-64	41.2	20.8	0.51	0.1280	0.0210	0.1730	0.0310	0.0097	0.0007	0.0071	0.0010	0.1836		62.4	4.3	168.0	27.0	2120.0	160.0	62.4	4.3		62.86
Zr-65	466.6	213.4	0.46	0.0519	0.0031	0.0758	0.0048	0.0104	0.0002	0.0041	0.0002	0.1158		66.8	1.5	74.1	4.5	374.0	87.0	66.8	1.5		9.85
Zr-66	30.0	19.2	0.64	0.0570	0.0240	0.0720	0.0280	0.0098	0.0010	0.0036	0.0009	0.1390		63.8	6.3	66.0	26.0	1710.0	340.0	63.8	6.3		3.33
Zr-67	30.9	15.9	0.51	0.1270	0.0220	0.1800	0.0290	0.0107	0.0006	0.0070	0.0009	0.1268		68.9	3.8	169.0	26.0	2120.0	230.0	68.9	3.8		59.23
Zr-68	22.9	10.5	0.46	0.1730	0.0420	0.2330	0.0520	0.0113	0.0010	0.0094	0.0019	0.0660		72.4	6.6	208.0	43.0	2420.0	240.0	72.4	6.6		65.19
Zr-69	35.0	17.5	0.50	0.1350	0.0270	0.1790	0.0320	0.0104	0.0007	0.0076	0.0014	0.2785		66.7	4.3	162.0	27.0	2240.0	210.0	66.7	4.3		58.83
Zr-70	26.2	15.4	0.59	0.0870	0.0250	0.1030	0.0290	0.0099	0.0009	0.0037	0.0010	0.1914		63.7	5.4	95.0	26.0	1790.0	230.0	63.7	5.4		32.95