



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS
DE LA TIERRA**



**Condiciones de emplazamiento del magmatismo Paleógeno
de la Sierra Madre del Sur: El Ensamble Plutónico de
Arteaga**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN DEL
TERRITORIO**

P R E S E N T A

Guillermo Suazo Cruz

ASESOR

Dr. Pedro Corona Chávez

CO-ASESORA

Dra. María del Sol Hernández Bernal

Morelia, Michoacán

Marzo, 2024

*Dedicado a Fabiola Carranza, Ericka Cruz,
Marcelo Suazo y Abraham Suazo.*

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Pedro Corona Chávez por dedicarme parte de su tiempo y esfuerzo a resolver mis dudas durante este proceso de construcción del proyecto de maestría. Así como a la calidez y la humanidad que lo caracteriza por decirme palabras de apoyo y no dejar perder mi rumbo en momentos complicados durante este tiempo.

A la Dr. María del Sol Hernández Bernal que desde que iniciamos el proyecto de trabajo en la zona de Arteaga, Michoacán en la licenciatura, estuvo ahí para apoyarme en mis dudas técnicas y existenciales, así como cuando era necesario hacerme ver las cosas desde otra perspectiva y aligerar mi carga emocional. También por brindar su apoyo del equipo y material que forma parte del Laboratorio de Separación de Minerales ubicado en las instalaciones de la UNAM, campus Morelia. A los revisores de este trabajo: Dra. Israde Alcántara, Dra. Gabriela Gómez, Dr. Boris Chako Tchamabe y Dr. Jorge Alejandro Ávila Olivera por haber aceptado formar parte de mi comité, así como de proporcionarme las correcciones y sugerencias para que este trabajo se nutriera.

Al M. en C. Felipe García por el apoyo y asistencia en la preparación de láminas delgadas para su estudio petrográfico y de microsonda en las instalaciones del IGUM, Morelia.

Por el análisis de elementos mayores (FRX) al M. en C. Rufino Lozano Santacruz del Instituto de Geología de la UNAM. CDMX.

Por el análisis de elementos traza (ICP-MS) a la M. en C. Ofelia Pérez Arvizu del Centro de Geociencias de la UNAM en Juriquilla, Qro.

Por el análisis de catodoluminiscencia e isotópico U-Pb (LA-ICPMS) de zircones al Dr. Carlos Ortega Obregón del Centro de Geociencias de la UNAM en Juriquilla, Qro.

Por los análisis de microsonda electrónica al Dr. Stefano Poli y a la Téc. Andrea Risplendente de la Università degli Studi di Milano, en Italia.

Por los análisis isotópicos Rb-Sr, Sm-Nd al Dr. Peter Schaaf, a la M. en C. Gabriela Solís Pichardo, al M. en C. Gerardo Arrieta García y al Ing. Teodoro Hernández Treviño del LUGIS, UNAM.

Por el apoyo financiero para la realización de la campaña de campo y análisis geoquímicos al proyecto **PAPIIT IN114521** “*Procesos de mezcla de magmas (mingling y mixing) en plutones paleógenos del suroccidente de México: el Ensamble Plutónico de Arteaga*”.

También al proyecto titulado “*MAGMATISMO Y METAMORFISMO JURÁSICO DEL TERRENO GUERRERO: GEOLOGÍA, GEOQUÍMICA Y PETROLOGÍA DE SECUENCIAS CLAVES EN JALISCO Y MICHOACÁN*” que coordinará el Dr. Peter Schaaf y que será sometido para su evaluación a la convocatoria de PAPIIT 2019 de la DGAPA de la UNAM.

Resumen

El magmatismo plutónico paleógeno de la región de Arteaga se ha emplazado en el Complejo Arteaga, así como en una serie de secuencias volcanosedimentarias cretácicas del subterreno Zihuatanejo y puede ser dividido en dos ensambles plutónicos: i) El Ensamble Plutónico de Arteaga (EPA) y ii) el Plutón de Agua Zarca (PAZ). El EPA aflora al noroeste y es el más extenso con un área de $\sim 617.21 \text{ km}^2$ y posee una composición heterogénea que va de: diorita, tonalita, cuarzo-monzonita, granodiorita, granito y sienogranito. Por su parte, el PAZ aflora al sureste, posee una extensión de $\sim 135.42 \text{ km}^2$ y presenta una composición más homogénea que va de granito a granodiorita.

Con base en el análisis morfoestructural, así como en el trabajo de campo, se sugiere que el EPA se conforma de 11 unidades, las cuales corresponden a: Arteaga (Tonalita), Vallecitos (Granodiorita), Parota de Cuevas (Cuarzodiorita), Las Juntas (Diorita), Espinosa (Granodiorita), Los Colorados (Cuarzodiorita), Parotita de Zúñiga (Granodiorita), Aguacates (Tonalita), Ordeña Vieja (Granito), Ollita Colgada (Sienogranito) y Pitahayo (Monzogranito). Los límites internos entre las unidades pueden ser graduales asociados a estructuras sin-magmáticas (noroeste-sureste) principalmente en las unidades del sureste del EPA; sin embargo, los límites externos principales son del tipo discontinuo y asociadas con dos mesoestructuras: i) Zona de Cizalla El Muleto (ZCM) (noroeste-suroeste) con una cinemática transtensivo sinistral y ii) un sistema de fallas extensionales noroeste-sureste relacionadas con la depresión tectónica de Tepalcatepec.

Petrográficamente el EPA presenta asociaciones máficas-intermedias de $\text{Pl}+\text{Cpx}\pm\text{Opx}\pm\text{Amp}$ en las unidades del suroeste, mientras que, al noreste, se observan asociaciones félsicas de $\text{Pl}+\text{Kfs}+\text{Qz}$; esta última composición granítica la comparte con el PAZ. Los análisis de química mineral muestran que la plagioclasa varía de anortita a oligoclasa, mientras que el mineral máfico dominante es una magnesio-hornblenda, que varía ligeramente a edenita y pargarsita en la unidad de Ollita Colgada. Geoquímicamente todas las unidades del EPA y el PAZ son de tipo calcialcalinas con concentraciones de SiO_2 que varían de 57.7 a 77.4 wt% mostrando un evidente enriquecimiento hacia las unidades del noreste del EPA y del PAZ. Los datos de elementos traza y tierras raras son más homogéneos, reflejan una afinidad típica de ambiente de arco magmático para ambos ensambles, mientras que los datos isotópicos recalculados a 50 Ma con valores de $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ y $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ que varían de 0.70263 a 0.70475 y de 0.51267 a 0.51296 respectivamente, definen una fuente magmática mantélica heterogénea.

Con base en los resultados obtenidos por el fechamiento U-Pb aplicado en zircones del EPA y el PAZ, se observó una edad relativamente homogénea entre 47.6 a 50.59 Ma lo que sugiere, se trate de pulsos magmáticos relativamente contemporáneos. A partir de las edades obtenidas, las relaciones de contacto y los cálculos de geotermobarometría del par anfíbol-plagioclasa, se concluye que ambos

ensambles plutónicos han sido emplazados en condiciones de corteza superior. Sin embargo, se observan ligeras variaciones de P-T entre las unidades del suroeste que van de $\sim 669.14 \pm 2.11$ °C; 1.85 ± 0.42 kbar y $\sim 771.46 \pm 1.9$ °C, 2.95 ± 0.34 kbar para Las Juntas y Arteaga respectivamente. Con base en las evidencias de emplazamiento cortical para el EPA y el PAZ se discuten dos posibles modelos de emplazamiento: i) **modelo A**: pulsos independientes con un reservorio magmático en común y ii) **modelo B**: reservorios magmáticos relativamente contemporáneos pero independientes seguidas de un proceso de amalgamación entre las unidades. También se propone que durante el proceso tardo-magmático y de exhumación coexistió en tiempo y espacio con la actividad de la ZCM, la cual causó que la tasa de exhumación fuera relativamente más rápida en las unidades del suroeste, provocando una exposición asimétrica de unidades de diferentes profundidades de emplazamiento. Por otro lado, la deformación extensional al norte ha dado origen a la yuxtaposición de las unidades plutónicas con la cobertura volcánica eocénica que aflora principalmente en la Depresión del Balsas. Por último, se discuten las similitudes y variaciones con otros cuerpos batolíticos del Paleoceno-Eoceno en el suroccidente de México.

Palabras clave: Geotermobarometría, amalgamación magmática de batolitos, geología de Arteaga, Michoacán

Abstract

Paleogene plutonic magmatism in the Arteaga region has been emplaced in the Arteaga Complex, as well as in a series of Cretaceous volcanosedimentary sequences of the Zihuatanejo subterranean and can be divided into two plutonic assemblages: i) the Arteaga Plutonic Assemblage (EPA) and ii) the Agua Zarca Pluton (PAZ). The EPA outcrops to the northwest and is the largest plutonic body with an area of ~ 617.21 km² and show a heterogeneous composition ranging from: diorite, tonalite, quartz-monzonite, granodiorite, granite and syenogranite. On the other hand, the PAZ to the southeast has an area of ~ 135.42 km² and show a more homogeneous composition ranging from granite to granodiorite. Based on the morphostructural analysis, as well as field work it is suggested that the EPA is made up of 11 units, which correspond to: Arteaga (Tonalite), Vallecitos (Granodiorite), Parota de Cuevas (Cuarzodiorite), Las Juntas (Diorite), Espinosa (Granodiorite), Parotita de Zúñiga (Granodiorite), Aguacates (Tonalite), Ordeña Vieja (Granite), Ollita Colgada (Syenogranite) and Pitahayo (Monzogranite). The internal boundaries between the units are relatively gradational

associated with syn-magmatic structures (northwest-southeast) mainly in the southeastern EPA units; however, the main external boundaries are discontinuous type and are associated with two mesostructures: i) Shear Zone El Muleto (ZCM) (northeast-southwest) with a sinistral transtensional kinematics and ii) a system of northwest-southeast extensional faults related to the Tepalcatepec tectonic depression. Petrographically the EPA shows mafic-intermediate associations $Pl+Cpx\pm Opx\pm Amp$ in the southwestern units, while to the northeast are observed felsic associations $Pl+Kfs+Qz$; the latter granitic composition is shared with the PAZ. Mineral chemistry analyses show that plagioclase varies from anorthite to oligoclase, while the dominant mafic mineral is a magnesio-hornblende, which varies slightly to edenite and pargasite in the Ollita Colgada unit. Geochemically all units of the EPA and PAZ are calc-alkaline type with SiO_2 concentrations ranging from 57.7 to 77.4 wt% showing an evident enrichment towards the northeastern EPA and PAZ units. The trace element and rare earth element data are more homogeneous, reflecting a typical magmatic arc environment affinity for both assemblages, while the isotopic data recalculated at 50 Ma with values of $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ and $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ that vary from 0.70263 to 0.70475 and from 0.51267 to 0.5296 respectively, define a heterogeneous mantle magmatic source. Based on the results obtained by U-Pb dating applied to zircons from the EPA and PAZ, an age range between 47.6 to 50.59 Ma was observed, suggesting relatively contemporaneous magmatic pulses.

From the obtained ages, contact relations and geothermobarometry calculations of the amphibole-plagioclase pair, it is concluded that both plutonic assemblages have been emplaced in upper crustal conditions. However, slight P-T variations are observed between the southwestern units ranging from $\sim 669.14 \pm 2.11$ °C; 1.85 ± 0.42 kbar and $\sim 771.46 \pm 1.9$ °C, 2.95 ± 0.34 kbar for Las Juntas and Arteaga respectively. Based on the cortical emplacement evidence for the EPA and PAZ two emplacement models are discussed: i) **model A**: independent pulses with a common magmatic reservoir and ii) **model B**: relatively contemporaneous but independent magmatic reservoirs followed by an amalgamation process between the units. It is also proposed that during the late-magmatic and exhumation processes coexisted in time and space with the activity of the ZCM, which caused the faster exhumation rate, specially in the southwestern units, causing an asymmetric exposure of units of different emplacement depths. On the other hand, extensional deformation to the north has given rise to the juxtaposition of the plutonic units with Eocene volcanic cover outcropping mainly in the

Balsas Depression. Finally, correlation and variations with other Paleocene-Eocene batholithic bodies in southwestern Mexico are discussed.

Keywords: Cordilleran magmatism, magmatic amalgamation of batholiths, geology of Arteaga, Michoacán

Índice

Resumen

Abstract

Capítulo 1: Generalidades.....p.1

1.1 Introducción.....p.1

1.2 Ubicación y vías de acceso.....p.3

Capítulo 2: Antecedentes.....p.6

2.1 Marco geológico: Terreno Guerrero compuesto.....p.6

2.2 El Subterreno Zihuatanejo en la región de Arteaga y Agua Zarca.....p.6

2.2.1 Complejo Arteaga.....p.10

2.2.1.1 Esquistos Arteaga.....p.10

2.2.1.2 Formación Varales.....p.10

2.2.1.3 Formación Jaltomate.....p.11

2.2.1.4 Formación Charapo.....p.11

2.2.1.5 Ensamble Plutónico de Tumbiscatío.....p.11

2.2.2 Secuencia volcanosedimentaria cretácica.....p.12

2.2.2.1 Unidad Ixtapa Mixto.....p.12

2.2.2.2 Formación Playitas.....p.12

2.2.2.3 Formación La Unión.....p.13

2.2.2.4 Formación Ixtapa Calcáreo.....p.13

2.3 Magmatismo continental post Laramídico.....p.14

2.3.1 Secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno.....p.17

2.4 Estructuras de deformación post Laramide.....p.17

2.4.1 Zona de Cizalla El Muleto (ZCM).....p.19

2.5 El Ensamble Plutónico de Arteaga: trabajos previos.....p.22

2.6 El Plutón de Agua Zarca: trabajos previos.....p.26

Capítulo 3: Justificación.....p.28

3.1 Objetivos.....p.29

3.1.1	Objetivo general.....	p.29
3.1.2	Objetivos particulares.....	p.29
Capítulo 4: Metodología.....		p.30
Capítulo 5: Resultados.....		p.33
5.1	Cartografía del Ensemble Plutónico de Arteaga.....	p.33
5.1.1	Unidades del EPA.....	p.37
5.1.1.1	Tonalita unidad Arteaga (Ton-Art).....	p.37
5.1.1.2	Granodiorita unidad Vallecitos (Grd-Val).....	p.38
5.1.1.3	Cuarzo-Diorita unidad Parota de Cuevas (QzDio-Cue).....	p.39
5.1.1.4	Diorita unidad Las Juntas (Dio-Jun).....	p.41
5.1.1.5	Granodiorita unidad Espinosa (Grd-Esp).....	p.42
5.1.1.6	Cuarzodiorita unidad Los Colorados (QzDio-Col).....	p.43
5.1.1.7	Granodiorita unidad Parotita de Zúñiga (Grd-Zuñ).....	p.46
5.1.1.8	Tonalita unidad Aguacates (Ton-Ag).....	p.48
5.1.1.9	Granito unidad Ordeña Vieja (Gr-Vij).....	p.48
5.1.1.10	Sienogranito unidad Ollita Colgada (Sien-Oll).....	p.49
5.1.1.11	Monzogranito unidad Pitahayo (MzGr-Pit).....	p.53
5.2	Cartografía del Plutón de Agua zarca.....	p.56
5.2.1	Unidad del PAZ.....	p.58
5.3	Petrografía del Ensemble Plutónico de Arteaga.....	p.61
5.3.1	Petrografía de la Ton-Art.....	p.61
5.3.2	Petrografía de la QzDio-Cue.....	p.63
5.3.3	Petrografía de la Dio-Jun.....	p.65
5.3.4	Petrografía de la QzDio-Col.....	p.67
5.3.5	Petrografía de la Grd-Zuñ.....	p.71
5.3.6	Petrografía de la Sien-Oll.....	p.72
5.4	Petrografía del Plutón de Agua Zarca.....	p.74
5.5	Clasificación de Streckeisen de las rocas del EPA y del PAZ.....	p.76
5.6	Geoquímica del EPA y el PAZ.....	p.78

5.6.1 Elementos mayores.....	p.81
5.6.2 Elementos traza.....	p.86
5.6.3 Geoquímica isotópica.....	p.88
5.7 Química mineral del EPA y el PAZ.....	p.92
5.7.1 Serie de los feldespatos y plagioclasas.....	p.92
5.7.2 Micas.....	p.96
5.7.3 Anfíbol.....	p.98
5.7.4 Piroxenos.....	p.101
5.7.5 Óxidos de Fe-Ti.....	p.102
5.8 Tipología y geocronología de U-Pb en zircones.....	p.103
5.8.1 Tipología de zircones.....	p.103
5.8.2 Edad isotópica U-Pb en zircones del EPA y PAZ.....	p.107
Capítulo 6: Discusión.....	p.110
6.1 Distribución espacial del EPA-PAZ: estructura sin- y post-magmatica.....	p.110
6.2 Variaciones petrológicas y geoquímicas del EPA-PAZ.....	p.111
6.3 Condiciones físicas y mecanismos de emplazamiento del EPA y el PAZ.....	p.112
6.3.1 Geotermobarometría.....	p.113
6.4 Modelo de emplazamiento del EPA-PAZ.....	p.115
6.5 Implicaciones regionales del emplazamiento del batolito EPA-PAZ.....	p.122
Capítulo 7: Conclusiones.....	p.124
Referencias.....	p.126
Anexos.....	p.139
Anexo 1. Marco Tectónico del Mesozoico en México.....	p.140
Anexo 2. Batolitos cordilleranos: Batolitos del Pacífico circundante.....	p.148
Anexo 3. El magmatismo plutónico paleógeno en el occidente de México.....	p.151
Anexo 4. Catodoluminiscencia y resultados de análisis isotópicos U-Pb en zircones.....	p.152
Anexo 5. Análisis químicos de minerales.....	p.162

Índice de figuras y tablas

Figura 1. Esquema (no sincrónico) mostrando la localización de las rocas ígneas en los distintos lugares de emplazamiento, adentro de la corteza continental. Imagen tomada de Castro (2015).....	p.1
Figura 2. Diagrama QAP de Streckeisen (1976) utilizado para una clasificación en rocas plutónicas a partir de su porcentaje modal de: cuarzo (Q), feldespato alcalino (A) y plagioclasa (P). (Imagen modificada de Nédélec y Bouchez, 2015).....	p.2
Figura 3. Mapa de localización de las áreas de estudio. Zona A: Ubicación del EPA. Zona B: Ubicación del PAZ. A) Ilustración de la República Mexicana en donde se observa la localización de ambos cuerpos plutónicos, los cuales pertenecen a la provincia fisiográfica de la SMS. B) Cartografía publicada en el trabajo de Morán-Zenteno <i>et al.</i> 2017, en donde se puede resaltar en el recuadro negro, la localización puntual de los cuerpos intrusivos que son objeto de estudio en este trabajo.....	p.5
Figura 4. Mapa de la propuesta más reciente de la distribución de los terrenos tectonoestratigráficos en toda la República Mexicana. En este modelo ya se define al TGc, así como a sus subterrenos. En los recuadros negros, resalta la localización aproximada del EPA y el PAZ. (Imagen modificada y tomada de: Centeno-García (2016)).....	p.7
Figura 5. Propuesta de mapa geológico del suroeste de la República Mexicana, en donde se puede observar la distribución espacial del subterreno Zihuatanejo, así como el de las unidades geológicas que lo conforman. A la par, se observan las unidades que pertenecen a la cobertura volcánica del Cenozoico. Del mismo modo, se puede observar la localización del EPA y PAZ. (Imagen tomada y modificada de: Centeno-García <i>et al.</i> (2008)).....	p.8
Figura 6. A) Columna estratigráfica propuesta para la zona en donde aflora el EPA, la cual, se sugiere es aplicable para la región de Tumbiscatío, Arteaga y una pequeña porción de Las Cruces. B) Columna estratigráfica propuesta para la región de Agua Zarca en donde aflora el PAZ.....	p.9
Figura 7. Mapa geológico de la región sur-suroeste de la República Mexicana, en donde se observa las rocas magmáticas (plutónicas y volcánicas) del Cretácico superior-Mioceno que conforman a la provincia fisiográfica de la SMS. (Imagen modificada de: Morán-Zenteno <i>et al.</i> (2017)).....	p.16
Figura 8. Propuesta del bloque Chortis a una posición adyacente del suroeste de México, en donde se puede correlacionar las estructuras y unidades geológicas pre-mesozoicas entre ambas regiones del mundo. 1) Arco volcánico del Cretácico; 2) Estratigrafía del Mesozoico; 3) Basamento greenvilliano expuesto en Honduras y 4) Rifts alineados del Cretácico (Imagen tomada y modificada de Rogers <i>et al.</i> 2007)).....	p.18
Figura 9. Mapa de localización de la ZCM. Esta estructura cortical que pone en contacto al área noroeste del EPA con unidades del Complejo Arteaga. A) Mapa de la República Mexicana en donde se delimita la zona en donde se expone la ZCM. B) Nomenclatura oficial del INEGI de las cartas topográficas escala 1:50,000 donde aflora la estructura de la ZCM. C) Vista de los lineamientos morfoestructurales, así como de los altos y bajos estructurales importantes que afloran y afectan al EPA.....	p.21
Tabla 1. Antología de edades publicadas por diferentes autores y obtenidas por diferentes métodos de fechamiento, las cuales corresponden a diferentes zonas del EPA. Se puede observar que la cantidad es relativamente pequeña si se compara con las dimensiones del intrusivo. No fue posible encontrar los informes técnicos originales del IMP, por lo que la referencia se escribió como se encuentra en la compilación de edades hecha por Corona-Chávez (1999) <i>in</i> Garduño-Monroy <i>et al.</i> (1999).....	p.24
Figura 10. Mapa de la región de Tumbiscatío-Las Cruces-Playitas-Arteaga en donde aflora el EPA. A) Mapa de la República Mexicana en donde resalta en negro el área de estudio, comprendida en el Edo. de Michoacán. B) Delimitación del área de interés en donde se observa la nomenclatura propuesta por INEGI para su cartografía a escala 1:50,000. A la par se aprecia las cartas topográficas que cubre la superficie del EPA. C) Proyección de los fechamientos citados en la Tabla 1 , en donde se puede observar que las zonas del noroeste, noroeste y sureste del EPA son las menos estudiadas.....	p.25
Tabla 2. Edad reportada para el PAZ por Martini <i>et al.</i> (2010).....	p.26
Figura 11. Mapa de localización y distribución del PAZ. A) Mapa de la República Mexicana en donde se delimita la zona en el recuadro negro, el área en que aflora el PAZ, el cual corresponde al estado de Guerrero. B) Nomenclatura utilizada por INEGI para su cartografía a escala 1:50,000, en donde se puede observar que el principal afloramiento del PAZ se concentra en la carta E14A81 (San Feliciano). C) Localización de la muestra fechada por Martini <i>et al.</i> (2010).....	p.27
Figura 12. Síntesis de la metodología descrita anteriormente y la cual fue utilizada para el estudio del EPA y del PAZ.....	p.32

Figura 13. Cartografía geológica elaborada en este trabajo de la zona en donde aflora el EPA, la cual se obtuvo a partir del análisis morfoestructural del paisaje, trabajo de campo y la recopilación de datos de muestreo hechos por el SGM. A) Mapa de localización en donde se puede observar que el EPA se encuentra al suroeste del río Balsas. B) Nomenclatura empleada por INEGI para sus cartas topográficas a escala 1:50,000 en donde se distingue la distribución del EPA, así como en cuales cartas se proyecta. C) Localización de los puntos de muestreo del SGM, que corresponden al EPA y a la roca encajonante, así como la localización de las muestras reportadas en este trabajo. También se muestran las unidades morfoestructurales en las que se ha dividido el EPA.....	p.36
Figura 14. Muestra recolectada en la antigua pista de aterrizaje de la cabecera municipal de Arteaga. Se puede observar la gran abundancia de minerales ferromagnesianos en contraste al contenido de plagioclasa.....	p.38
Figura 15. A) Muestra de mano correspondiente a la QzDio-Cue. extraída sobre la carretera federal 37, en donde se puede observar la abundancia de plagioclasa y el dominio de minerales ferromagnesianos. B) Afloramiento en donde se recolectó ART-21-12 cerca de la ranhería Las Camelinas; se puede observar el color predominantemente verde oscuro a negro del intrusivo en esta zona.....	p.40
Figura 16. A) Propuesta de afloramiento tipo para la Dio-Jun la cual se encuentra en las cercanías de la ranhería Las Juntas y sobre el río homónimo. Se puede observar algunas estructuras características de procesos <i>mingling</i> y <i>mixing</i> . B) Muestra de mano recolectada sobre el río Las Juntas y utilizada para hacer la descripción macro de los enclaves y del fluido magmático de composición tonalítica.....	p.42
Figura 17. A) Muestra de mano recolectada en la zona oeste noroeste de la QzDio-Col, la muestra se recolectó en el afloramiento que se observa en B) . B) Como se puede observar, en el río Las Lajas se encuentra la interacción de diques de composición máfica, con el granito (ART-21-14A); de estos diques proviene la muestra ART-21-14C . C) Afloramiento de fluidos magmáticos de composición tonalítica que se encuentran intrusionando al granito y que, al mismo tiempo, en algunas zonas interactúan con los diques que se observan en la imagen B)	p.45
Figura 18. Muestra de mano recolectada al sursureste-sureste de la QzDio-Col. Comparando con la muestra de la Figura 17 A) , se puede observar que la muestra ART-21-18 tiene mayor abundancia de plagioclasa, así como una menor abundancia de minerales ferromagnesianos.....	p.46
Figura 19. Muestra de mano recolectada sobre el río Los Salitrillos. Esta muestra corresponde a la unidad Grd-Zuñ se nota una gran similitud con la muestra de la Figura 18 . Destaca una mayor abundancia de minerales ferromagnesianos en esta muestra respecto a la muestra ART-21-18	p.47
Figura 20. Muestras de mano pertenecientes a la Sien-Oll. en su sección del sureste-este sureste. Las muestras de los incisos A , B y D son de composición sienogranítica, mientras que la muestra del inciso C se enriquece considerablemente en feldespato alcalino.....	p.51
Figura 21. Afloramientos pertenecientes a la región noreste-suroeste de la unidad Sien-Oll en donde predomina la composición de sienogranito. A la par, se observa que el granito tiene un grado de intemperismo y fracturamiento ligero-moderado. Todos los afloramientos se encuentran sobre la carretera federal 37, próximo a llegar a la cabecera municipal de Arteaga.....	p.51
Figura 22. Muestra perteneciente a la región sursureste-sureste de la unidad Sien-Oll en donde se puede observar un cambio composicional importante, manifestando en el color, el cual es más claro.....	p.52
Figura 23. A) Muestra colectada sobre el río Las Lajas, la cual es muy diferente a las muestras de la Figura 20. B) Estructura vista sobre el río donde se puede observar cómo la roca encajonante se encuentra asimilando parcialmente a otra roca que, a juzgar por su color, es de composición más máfica. C) Otra estructura similar a la descrita anteriormente, en donde resalta la forma geométrica muy bien definida, sin embargo, se observa una variación composicional y en el tamaño de grano.....	p.53
Figura 24. A) Muestra de mano perteneciente a la zona del EPA que se encuentra milonitizado. B) Afloramiento en donde se recolectó la muestra ART-21-08 , en donde se puede observar al granitoide de cataclástico a parcialmente milonitizado. C) Afloramiento de donde se extrajo ART-21-08 , sobre el río San Salvador.....	p.55
Figura 25. A) Muestra recolectada más al sur de donde se extrajo ART-21-08 . Algo contrastante, es que en esta zona el granitoide ya no se encuentra milonitizado. C) Muestra correspondiente a la parte más austral de la MzGr-Pit que se pudo recolectar en campo. Como se observa, es una muestra con menor grado de intemperismo, a diferencia de las anteriores.....	p.56

Figura 26. Cartografía geológica de la zona en donde aflora el PAZ, obtenida del análisis morfoestructural del paisaje y trabajo de campo. A) Mapa de localización a escala del estado de Guerrero, en donde se puede observar que el PAZ se encuentra al sureste del río Balsas. B) Nomenclatura empleada por INEGI para sus cartas topográficas a escala 1:50,000 en donde se puede distinguir la distribución del PAZ. C) Localización de los puntos de muestreo hechos en el trabajo de campo, correspondientes al EPA y a la roca encajonante, así como la ubicación de la roca fechada por Martini <i>et al.</i> (2010).....	p.59
Figura 27. A) Muestra de mano colectada pasando la caseta de cobro San Feliciano, se puede observar que se encuentra débil a moderadamente intemperizada. B) Afloramiento sobre la carretera federal 37 en donde se colectó ART-21-27 , se puede apreciar la textura característica del granito intemperizado.....	p.60
Figura 28. A) Muestra de mano perteneciente al PAZ, la cual se extrajo ~ 2 km delante de la muestra ART-21-28 . Se puede observar que los minerales presentan menor grado de intemperismo. B) Afloramiento localizado en la zona oriental de la carretera federal 37, en donde se puede apreciar las geoformas características de granito, las cuales son colinas de bajo grado de pendiente.....	p.60
Figura 29. Fotomicrografías de la Ton-Art. A) Se pueden observar los bordes de recrystalización entre Pl_A y Bt_B , así como en algunas Pl_A y Pl_B . B) Se puede distinguir la coexistencia entre los anfíboles de ambas secuencias, así como los bordes de recrystalización entre las plagioclasas.....	p.62
Figura 30. Continuación de las fotomicrografías de la muestra ART-21-13 . C) Se puede observar principalmente a Pl_B coexistiendo con Amp_B , observándose mayor abundancia de minerales pertenecientes a la S2. A la par se observan algunas Bt_B cristalizando en los intersticio.....	p.63
Figura 31. Fotomicrografías de la QzDio-Cue A) Se pueden observar los bordes de recrystalización entre Pl_A y Pl_B . En el centro, se observa un cristal que presenta las características de un Cpx, así como sus bordes de recrystalización. B) Se observan bordes de recrystalización entre Amp_A y Bt_B . C) En la Pl_B se puede observar zoneamiento oscilatorio, así como unas inclusiones de lo que parece ser Cpx.....	p.64
Figura 32. Fotomicrografías pertenecientes a la lámina delgada de la Dio-Jun. A) En el centro se puede observar el contacto entre los Amp de ambas secuencias, así como algunos bordes de recrystalización entre las Pl. B) Se presenta el contacto entre el enclave (derecha) y el granitoide (izquierda), destaca la variación en el tamaño de grano, así como en la distribución de estos.....	p.65
Figura 33. Fotomicrografías de la lámina delgada de la Dio-Jun de la zona que corresponde al enclave. A) Se puede observar la interacción entre Bt_B y Pl_A , así como sus bordes de recrystalización. B) Se observa los bordes de recrystalización de Pl, así como la textura poiquilítica en Amp_B	p.67
Figura 34. Fotomicrografías de la unidad QzDio-Col A) Representa al granitoide, en donde se observa los bordes de recrystalización de algunas Pl, así como la presencia de Amp_A . B) Representa al componente líquido de composición tonalítica, en donde se aprecia la textura mirmequítica, así como algunas Bt con hábito acicular. C) Representa al dique máfico, en donde se observa una Ttn con corona de Bt.....	p.69
Figura 35. Fotomicrografías correspondientes a la región sureste de la QzDio-Col. A) Se observan los bordes de recrystalización entre las Pl y algunos Kfs. B) Se observa la coexistencia, así como bordes de recrystalización entre los Amp de ambas secuencias.....	p.70
Figura 36. Fotomicrografías de la muestra de la unidad Grd-Zuñ. A) Se puede observar la acumulación de minerales máficos en el centro, así como Ttn. B) Destacan los bordes de recrystalización entre Qz y Pl_A , así como una probable Amp_B	p.71
Figura 37. Fotomicrografías de la zona sureste-sursureste de la Sien-Oll. A) Se puede observar la textura mirmequítica conformada por el Qz y Pl_B . B) Se observan bordes de recrystalización entre Pl_A y Pl_B	p.72
Figura 38. Fotomicrografías de la lámina delgada que pertenece a la Sien-Oll. A) Se observa la textura mirmequítica, así como escasos minerales máficos que parecen ser anfíboles. B) Se distinguen algunas Bt con hábito acicular.....	p.73
Figura 39. Fotomicrografías de la región del plutón que aflora cerca de la caseta de cobro. A) Se puede observar a los Qz del centro que presentan extinción del tipo <i>chessboard</i> , así como algunas Pl con bordes de recrystalización en contacto con el Qz. B) Acumulación de minerales máficos, en donde se observa Amp, Ox y algunas Bt.....	p.75

Figura 40. Fotomicrografías de la región de la roca que aflora pasando la caseta de cobro. A) Se puede observar la Pl con maclado típico de albita, así como bordes de recristalización en contacto con el Kfs. B) Se puede observar a la Bt cristalizada en los intersticios desarrollando clorita.....	p.76
Tabla 2.1 Se presenta la cantidad de minerales contados en cada una de las láminas delgadas utilizadas para la descripción petrográfica.....	p.77
Tabla 2.2 Se presenta la cantidad de minerales contados normalizado para su proyección en el diagrama de Streckeisen (1979).....	p.77
Figura 41. Diagrama QFP de Streckeisen (1979) para rocas plutónicas en donde se proyectan los resultados obtenidos por la estimación de minerales de las láminas delgadas pertenecientes a las unidades internas del EPA y del PAZ.....	p.78
Tabla 3. Concentración en wt% de los elementos mayores de las muestras pertenecientes al EPA y el PAZ. 1: Schaaf (1990) y 2: Suazo-Cruz (2020).....	p.79
Tabla 4. Contenido de elementos traza en ppm de muestras correspondientes al EPA y al PAZ.....	p.80
Figura 42. Diagramas binarios tipo Harker en donde se proyecta los elementos mayores vs SiO ₂	p.82
Figura 43. Diagrama de clasificación TAS para rocas plutónicas modificada por Wilson (1989). Se grafican las unidades internas del EPA y el PAZ.....	p.84
Figura 44. Diagrama de saturación de alúmina, conocido también como índice de Shand (1947).....	p.85
Figura 45. Diagrama ternario de clasificación normativa de Ab-An-Or propuesto por Barker (1979), en donde se proyectan las muestras pertenecientes al EPA y al PAZ. La flecha de color rojo indica la dirección de las unidades del EPA y el PAZ en sentido SW-NE.....	p.86
Figura 46. Diagrama multielemental de elementos traza, normalizado con N-MORB de Sun y McDonough (1989), en donde se proyectan las muestras pertenecientes a las unidades internas del EPA y al PAZ.....	p.87
Figura 47. Diagrama de los elementos de tierras raras normalizado con condrita de Sun y McDonough (1989), que presenta a las unidades internas del EPA y el PAZ	p.87
Figura 48. Diagramas de discriminación tectónica propuestos por Pearce <i>et al.</i> (1984) para granitoides. A) En el eje de las ordenadas se proyecta el contenido de Rb y en el eje de las abscisas el resultado de sumar Y+Nb. B) Se proyecta el mismo elemento en las ordenadas, es en el eje de las abscisas en donde se proyecta el resultado de la suma de Yb+Ta.....	p.88
Tabla 5. Relaciones isotópicas de ⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr, ¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd y ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd de roca total del EPA y el PAZ. Se presentan datos de 1: Schaaf (1990) y 3: Este trabajo.....	p.89
Figura 49. Diagrama en donde se observa la relación isotópica de εNd _i respecto a la relación (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i ; ambos recalculados a 50 Ma propuesto por DePaolo y Wasserburg (1979). Se grafican los datos del EPA y el PAZ recalculados a 50 Ma. A) Se presenta un acercamiento de los datos en donde se puede observar una separación entre las unidades del noreste y suroeste del EPA.....	p.91
Figura 50. A) Diagrama de variación Na vs Ca de las plagioclasas de las cuatro muestras descritas anteriormente. B) Diagrama ternario de la solución albita-anortita-feldespató potásico.....	p.93
Tabla 6. Unidades de concentración en wt% de los principales grupos minerales del EPA y el PAZ.....	p.94
Figura 51. Diagrama binario propuesto por Deer <i>et al.</i> (1992) para observar la química mineral de las biotitas que pertenecen al EPA y al PAZ. Al ^{IV} vs Fe/(Fe+Mg), ambos ejes se encuentran en a.p.f.u. B) Diagrama ternario (Fe _{tot} +Mn)-(Ti+Al ^{VI})...p.97	p.97
Figura 52. Diagrama binario Al _{tot} vs Mg, ambos ejes se encuentran en unidades de a.p.f.u. Este diagrama fue propuesto por Nachi <i>et al.</i> (1985) y utilizado por Mesquita <i>et al.</i> (2018). Fue empleado para visualizar mejor los campos de transición desde la perspectiva de las biotitas del EPA y el PAZ.....	p.98
Figura 53. A y B Diagramas binarios Mg/(Mg+Fe ²⁺) vs Si (APFU) tomados de Leake <i>et al.</i> (1997) para observar las variaciones y composición química de los anfíboles pertenecientes al EPA.....	p.100
Figura 54. Diagrama ternario de clasificación y composición química propuesto por Lindsey (1983) aplicado en los piroxenos pertenecientes al EPA.....	p.101
Figura 54.1 Diagrama ternario de clasificación química para los óxidos (TiO-FeO-Fe ₂ O ₃).....	p.102
Figura 55. Recopilación de fotografías de los zircones de las muestras que pertenecen al EPA y al PAZ, cuya tipología fue analizada con base en los trabajos de Pupin (1980, 1988), Corfu <i>et al.</i> (2003) y Miller <i>et al.</i> (2007).....	p.105

Figura 56. Diagrama de clasificación tipológica de zircones propuesto por Pupin (1980, 1988). Se muestran las diferentes tipologías identificadas en las muestras del EPA y el PAZ. En la parte inferior del diagrama, resalta la simbología empleada para cada una de las muestras a las que se le aplicó la metodología de clasificación.....	p.106
Figura 57. A) Edad promedio calculada para la muestra ART-21-03. B) Diagrama de concordia para ART-21-03	p.107
Figura 58. A) Edad promedio calculada para la muestra ART-21-13. B) Diagrama de concordia para ART-21-13	p.108
Figura 59. A) Edad promedio estimada para la muestra ART-21-14A. B) Diagrama de concordia para ART-21-14A	p.108
Figura 60. A) Edad promedio estimada para la muestra ART-21-28. B) Diagrama de concordia para ART-21-28	p.109
Tabla 7. Cálculos geotermobarométricos representativos de las unidades Arteaga y Las Juntas.....	p.114
Figura 61. Diagrama P-T de las unidades Arteaga y Las Juntas producto del geotermobarómetro par Plg-Amp. Se puede distinguir la caracterización de cada una de ellas, permitiendo observar que la unidad Arteaga se encontraba en un ambiente relativamente más profundo que la unidad Las Juntas; en ambos casos, la profundidad corresponde a la corteza superior.....	p.116
Figura 62. Modelo A propuesto para el emplazamiento del EPA y el PAZ. Se propone que en un T ₁ durante el emplazamiento del EPA, este coexistió con las primeras etapas de formación de la ZCM la cual provocó acelerar la tasa de exhumación de la zona suroeste del EPA. También en que se tiene un reservorio magmático en común que dio origen al EPA y al PAZ.....	p.119
Figura 63. Modelo B propuesto para la exhumación del EPA y el PAZ. Para esta propuesta, el emplazamiento del EPA no coexistió con las primeras etapas de formación de la ZCM y durante el proceso de amalgamación, se fue construyendo el EPA. Posteriormente, ya en superficie, la ZCM afecta al EPA. También destaca la idea de que cada unidad del EPA y el PAZ, fue formado por un reservorio independiente a diferente P-T.....	p.121
Figura 1A. Reconstrucción paleogeográfica del norte y centro de México propuesta por Centeno-García (2005). Las flechas indican la posible procedencia de los sedimentos y las áreas que sufrieron una importante erosión (Imagen tomada y modificada de: Centeno-García (2005)). Abreviaturas: Cortés (Cs), Caborca (Ca), Tahué (T), Sierra Madre (Sm), Coahuila (Co), Maya (M), Arco (Arc).....	p.140
Figura 2A. Distribución regional de las rocas ígneas datadas a partir de zircones, mediante el método de U-Pb, las cuales arrojaron edades del Jurásico inferior-medio. En este esquema, no se muestran todos los afloramientos asociados al arco Nazas. (Imagen tomada y editada de: Centeno-García (2016)).....	p.142
Figura 3A. Reconstrucción paleogeográfica propuesta por Centeno-García (2016). Modelo A: La cuenca oceánica de Arteaga es consumida por la subducción hacia el oeste. (Imagen tomada y modificada de: Centeno-García (2016)).....	p.143
Figura 3B. Reconstrucción paleogeográfica propuesta por Centeno-García (2016). Modelo B: La cuenca oceánica de Arteaga es consumida por la subducción hacia el este (Imagen tomada y modificada de: Centeno-García (2016)).....	p.143
Figura 4A. Reconstrucción paleogeográfica de México propuesta por Centeno-García (2016) para el Cretácico inferior (Albiano-Aptiano). En este modelo se puede percibir la actividad de las dos cuencas activas, hacia el oeste se tiene a la cuenca de Arperos y, hacia el oeste, la cuenca del Golfo de México.....	p.145
Figura 5A. Mapa del suroeste de México en donde se puede percibir los diferentes tipos de deformación, así como la propuesta de su edad. Las áreas en donde presentan signo de interrogación, se desconoce el dato. Las estructuras activas hoy en día, son representadas con un cero. (Imagen tomada y modificada de: Morán-Zenteno et al. (1999)).....	p.146
Figura 6A. Mapa regional de Norteamérica en donde se observa la cartografía propuesta por Hildebrand (2013, 2014) de los batolitos cordilleranos y algunas áreas importantes (estrellas rojas) las cuales conservan la deformación ocasionada por la orogenia Laramide. El área de exhumación del Paleoceno es la región en donde se concentra la mayor cantidad de plutones del Cretácico superior-Cenozoico inferior (Hildebrand, 2009). (Imagen tomada y modificada de: Hildebrand (2014)).....	p.150
Figura 7A. Distribución de los principales cuerpos intrusivos en el suroeste de México. En color café resaltan los cuerpos intrusivos de edad Paleógeno, período al cual pertenece el EPA y el PAZ. En los recuadros negros resalta la zona en donde afloran dichos intrusivos. (Imagen tomada y modificada de: Ortega-Gutiérrez (2014)).....	p.151
Figura 8A. Recopilación de imágenes de los zircones de las muestras estudiadas vistas en catodoluminiscencia.....	p.153
Tabla 1A. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-03.....	p.154
Tabla 1B. Análisis de elementos traza de los zircones de la muestra ART-21-03.....	p.155
Tabla 2A. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-13.....	p.156
Tabla 2B. Análisis de elementos traza de los zircones de la muestra ART-21-03.....	p.157
Tabla 3A. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-14A.....	p.158
Tabla 3B. Análisis de elementos traza de los zircones de la muestra ART-21-14A.....	p.159
Tabla 4A. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-28.....	p.160

Tabla 4B. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-28.....	p.161
Tabla 5A. Resultados del grupo mineral de los anfíboles normalizados.....	p.163
Tabla 5B. Resultados del grupo mineral de las biotitas normalizados.....	p.164
Tabla 5C. Resultados del grupo mineral de los óxidos de Fe-Ti normalizados.....	p.166
Tabla 5D. Resultados del grupo mineral de los piroxenos normalizados.....	p.167
Tabla 5E. Resultados del grupo mineral de las plagioclasas-feldespatos potásicos normalizados.....	p.168

Capítulo 1. Generalidades

1.1 Introducción

El uso de la palabra granito es atribuido al italiano Andrea Cesalpino quién la utilizó para referirse a aquellas rocas de grano grueso (Johannsen (1932) y Tröger (1935); Johannes y Holtz (1996)). Sin embargo, fue el defensor del neptunismo Werner (1787) quién usó el término como lo empleamos hoy en día, ya que él fue capaz de reconocer las diferencias texturales entre granitos, gneises y otras rocas cristalinas (Johannes y Holtz, 1996).

Un granito es una roca cristalina que dispone de cristales de tamaño de milímetros a centímetros y usualmente evidenciará un color que va de blanco a tonos rosáceos. Debido al proceso de erosión y exhumación, es posible observarla en la superficie terrestre; por lo regular, es el resultado del enfriamiento de un magma a profundidad por un largo periodo de tiempo (**Figura 1**). Comúnmente tiene una composición mineral de: cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa. Como minerales máficos normalmente se observa anfíbol, piroxeno y/o biotita aunque hay ocasiones en donde la roca presenta micas claras (muscovita). Otros minerales que se pueden encontrar en menor cantidad, o sea, como minerales accesorios incluyen: turmalina, granate, apatito, zircón, ilmenita, magnetita y topacio (Nédlec y Bouchez, 2015).

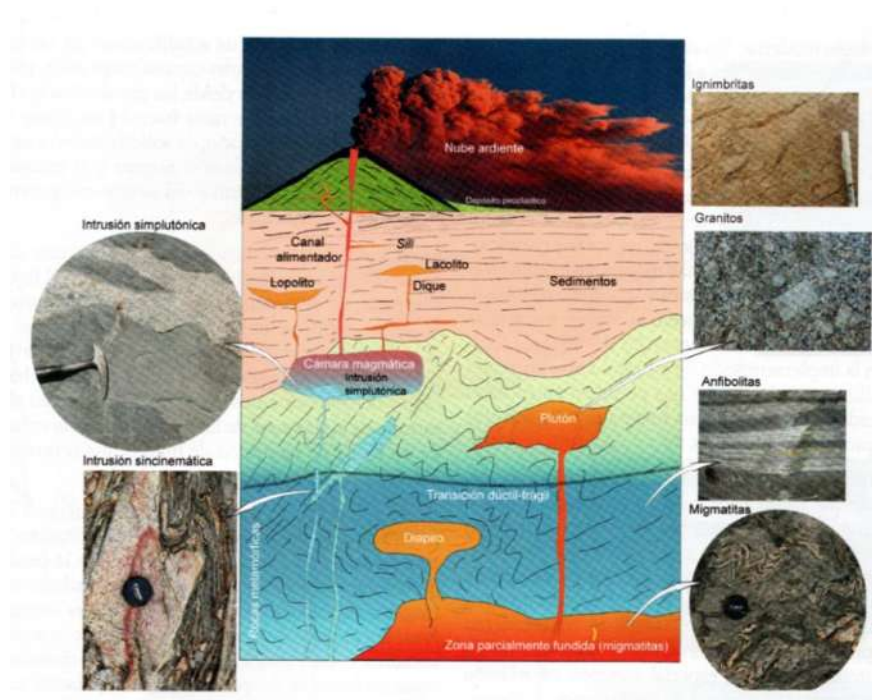


Figura 1. Esquema (no sincrónico) mostrando la localización de las rocas ígneas en los distintos lugares de emplazamiento, adentro de la corteza continental. Imagen tomada de Castro (2015).

El modelo vigente acerca de la génesis de los granitos se basa en la fusión parcial o total de la corteza terrestre, *a posteriori* el fundido se segrega en la parte inferior de dicha capa, continuando con un ascenso (puede ser constante o episódico), mediante diques que se localizan en la corteza superior a través de “trampas” estructurales y/o reológicas, o bien, el ascenso puede suceder a través de grandes diapiros globulares que después se enfriarán por completo en alguna zona de la corteza dando así, origen a un plutón (Petford y Clemens, 2000; Chen y Graspe, 2007). A pesar de ello, está última idea ha sido sustituida a través de los años, por modelos que consideran las propiedades reológicas de la corteza, como los presentados en los trabajos de Glazner *et al.* (2004), Blanquat *et al.* (2011), Annen (2011) y Annen *et al.* (2015), en donde en términos generales, se propone que los cuerpos ígneos intrusivos se van construyendo por un proceso de amalgamación de varias capas de magmas de diferente composición, lo cual puede suceder en diferentes niveles de la corteza.

Por otro lado, el diagrama de clasificación modal QAP de Streckeisen (1976) (**Figura 2**), ofrece una nomenclatura simple basado en el contenido en porcentaje de los minerales: cuarzo (Q), feldespato alcalino (A) y plagioclasa (P). La proporción relativa de A y P ayudan a definir los cuatro grupos de variación en granitos, los cuales de izquierda a derecha (de A hacia P) son: 1) Granito de feldespato alcalino; 2) granito *sensu stricto*; 3) granodiorita y 4) tonalita.

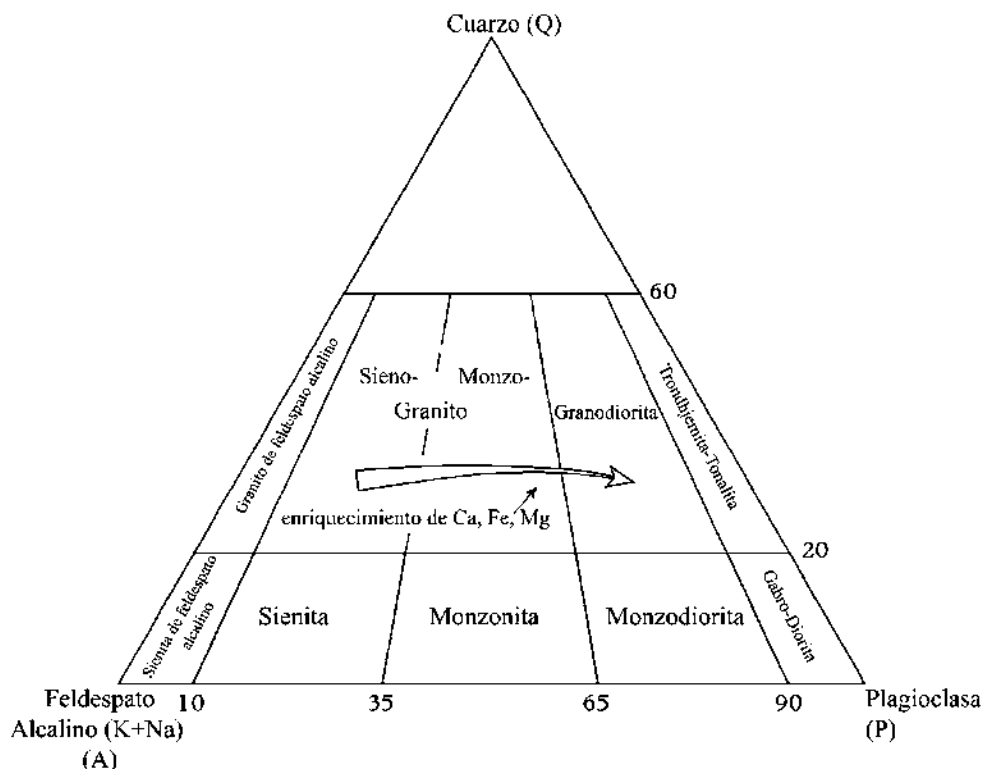


Figura 2. Diagrama QAP de Streckeisen (1976) utilizado para una clasificación en rocas plutónicas a partir de su porcentaje modal de: cuarzo (Q), feldespato alcalino (A) y plagioclasa (P). (Imagen modificada de Nédélec y Bouchez, 2015).

En la práctica se observa que hay un enriquecimiento de minerales oscuros (biotita, anfíbol y piroxeno) en la roca conforme nos acercamos a los campos de la granodiorita y tonalita, reflejando una mayor concentración de Fe+Mg, al mismo tiempo, la plagioclasa contenida se vuelve más cálcica (Nédélec y Bouchez, 2015). Es importante recalcar que esta clasificación modal propuesta por Streckeisen (1976), no toma en cuenta la textura ni la composición geoquímica de la roca.

Por otra parte, en el presente trabajo se manifiesta la conjugación de la investigación de la cartografía geológica, petrografía, geoquímica, isotopía, geocronología y la geotermobarometría, del Ensamble Plutónico de Arteaga (EPA), que aflora en el estado de Michoacán y del Plutón de Agua Zarca (PAZ) expuesto en el estado de Guerrero. Con base en 1.- Mapa de las unidades geológicas que afloran en la zona de Arteaga, Playitas, Tumbiscatío, Las Cruces (Michoacán) y San Feliciano (Guerrero); 2.- descripción petrográfica detallada de 19 muestras correspondientes a las unidades geológicas expuestas en la región en donde se encuentra el EPA y el PAZ; 3.- el procesamiento de 13 muestras para análisis geoquímicos y seis muestras para análisis isotópicos relacionados con el EPA y el PAZ; 4.- clasificación tipológica de zircones pertenecientes a ambos cuerpos intrusivos, firma isotópica y fechamiento mediante el método U-Pb y, por último; 5.- resultados de química mineral de tres diferentes zonas del EPA y una del PAZ, obtenidos por microsonda electrónica con la finalidad de realizar cálculos termobarométricos.

En virtud de los resultados obtenidos, se discuten sus implicaciones en la petrogénesis y se estiman las condiciones físico-químicas del emplazamiento de los magmas que dieron origen al EPA y al PAZ, así como su estructura y una propuesta del ambiente tectónico que favoreció el emplazamiento de cada uno de los cuerpos intrusivos.

1.2 Ubicación y vías de acceso

El EPA se localiza al suroeste de México cerca de la margen continental del Pacífico, en el estado de Michoacán, en la región conocida como: Tierra Caliente. Acerca de la fisiografía, el EPA forma parte de la provincia de la Sierra Madre del Sur (SMS), más específico, se encuentra en la subprovincia de la Cordillera Costera del Sur, colindando al norte y al noreste con la Cuenca Balsas-Mezcala y al sur y sureste con Taludes Meridionales (**Figura 3 Zona A**).

La vía principal de acceso es la autopista Morelia-Lázaro Cárdenas, en donde al llegar a la localidad Las Cañas, es necesario tomar la desviación hacia la carretera federal número 37, la cual comunica de manera directa a la cabecera municipal de Arteaga. De esta vía, se derivan diferentes brechas que comunican con algunas rancherías distribuidas en la topografía; estas brechas son las que conducen a zonas más internas del EPA, principalmente en las porciones norte, noroeste y sureste.

Por otro lado, el PAZ se localiza en la zona costera del estado de Guerrero; con respecto a la fisiografía, al igual que el EPA forma parte de la SMS, mientras que localmente pertenece a la subprovincia de Taludes Meridionales (**Figura 3 Zona B**).

En cuanto a las vías de acceso, la principal es la carretera federal número 37, la cual termina en la localidad La Mira, Michoacán y cambia su nombre a la vía número 200; se conoce así hasta la desviación a Morelia, la cual sustituye su nombre por la vía número 37D. Manejando sobre esta última, pasando la caseta de cobro San Feliciano, aproximadamente a cuatro kilómetros de la desviación se observan los primeros afloramientos del PAZ muy cerca del poblado homónimo.

Localización de las áreas de estudio

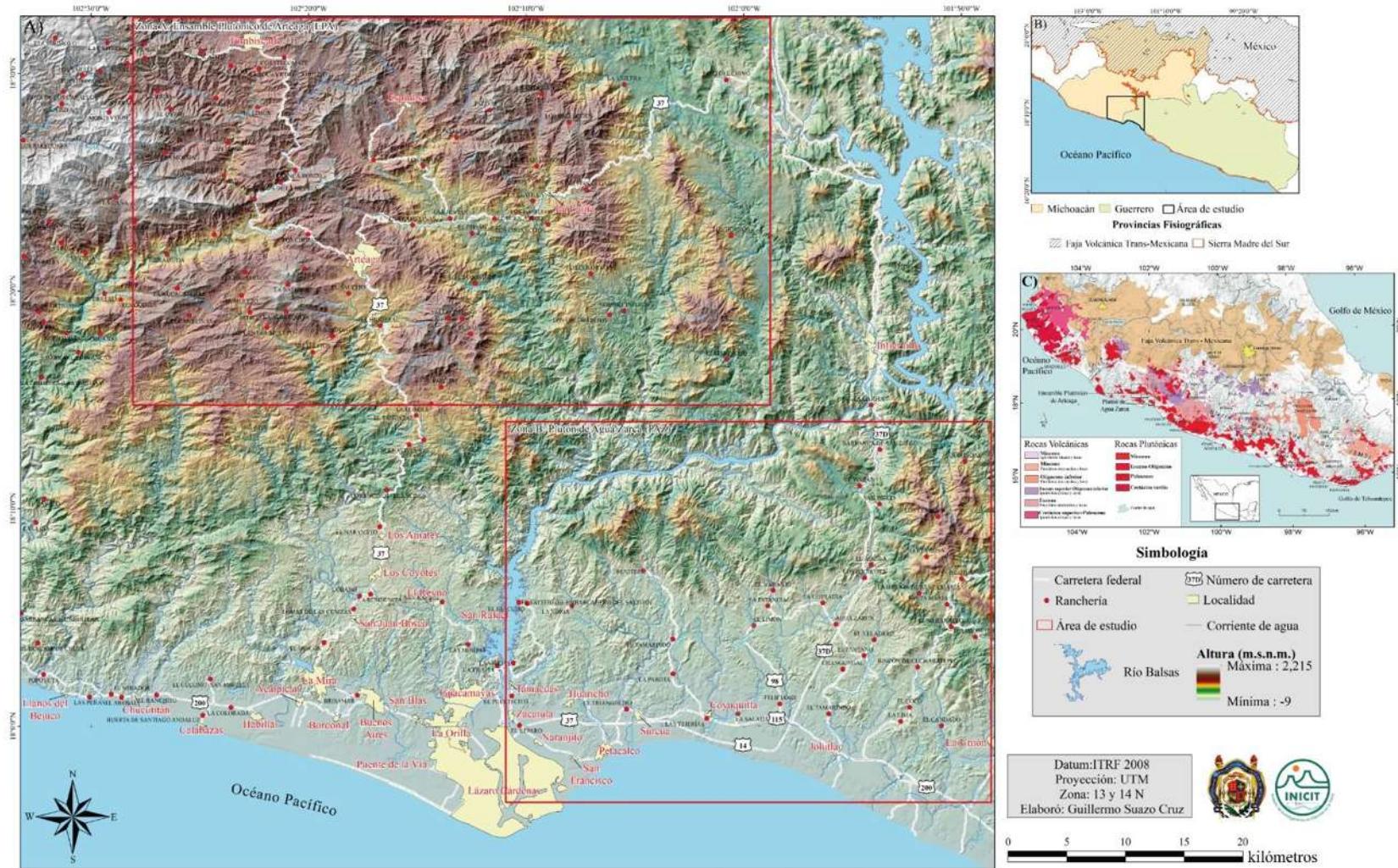


Figura 3. Mapa de localización de las áreas de estudio. **Zona A:** Ubicación del EPA. **Zona B:** Ubicación del PAZ. **A)** Ilustración de la República Mexicana en donde se observa la localización de ambos cuerpos plutónicos, los cuales pertenecen a la provincia fisiográfica de la SMS. **B)** Cartografía publicada en el trabajo de Morán-Zenteno *et al.* 2017, en donde se puede resaltar en el recuadro negro, la localización puntual de los cuerpos intrusivos que son objeto de estudio en este trabajo.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Marco geológico: Terreno Guerrero compuesto

El Ensamble Plutónico de Arteaga forma parte del Terreno Guerrero (TG). En la literatura clásica de la geología de México, se describe por primera vez al TG en el trabajo de Campa y Coney (1983) como uno de los terrenos más grandes de Norteamérica y se propone su distribución a lo largo del centro-sur de la actual margen de subducción del Pacífico. Con base en su estilo de deformación y grado de metamorfismo, estos autores proponen subdividirlo en tres subterrenos: Teloloapan, Huetamo y Zihuatanejo. Un año antes, en el trabajo de Campa *et al.* (1982) se reconocieron afloramientos asociados al basamento, el cual, a partir de radiolarios le asignaron una edad del Triásico superior.

Sin embargo, fue en las publicaciones de Centeno-García *et al.* (1993) y Centeno-García (1994) en donde se mostraron datos geoquímicos de las rocas del basamento, así como una descripción, una propuesta cartográfica de su distribución y una asignación de nombres a los afloramientos tipo (Complejo Arteaga, Complejo Las Ollas, Formación Zacatecas, Formación La Ballena y Formación Río Placeres del Oro).

Más tarde, Centeno-García *et al.* (2003) con base en los análisis geoquímicos, petrográficos y cartográficos proponen renombrar al Terreno Guerrero como Terreno Guerrero compuesto (TGc) y al mismo tiempo subdividirlo en cinco subterrenos: Zihuatanejo, Guanajuato, Arcelia, Teloloapan y San José de Gracia (más tarde Centeno *et al.* (2008) le cambian el nombre a Tahue) (**Figura 4**).

2.2 El Subterreno Zihuatanejo en la región de Arteaga y Agua Zarca

Es el subterreno con mayor superficie de los que conforma al TGc, ya que se puede encontrar a lo largo de la costa del Pacífico, en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero (Centeno-García, 1994) (**Figura 5**). Se constituye en su parte más basal de rocas del Triásico superior (Carniense-Noriense) con firma geoquímica típica de basaltos de dorsales meso-oceánicas (por sus siglas en inglés: MORB (*Mid-Ocean Ridge Basalt*)).

Sobre esta unidad se encuentran rocas de afinidad de arco volcánico del Jurásico medio, seguido de una discordancia y por último, se encuentran rocas volcanosedimentarias marinas y subaéreas del Cretácico inferior-superior (Centeno-García *et al.* 2008).

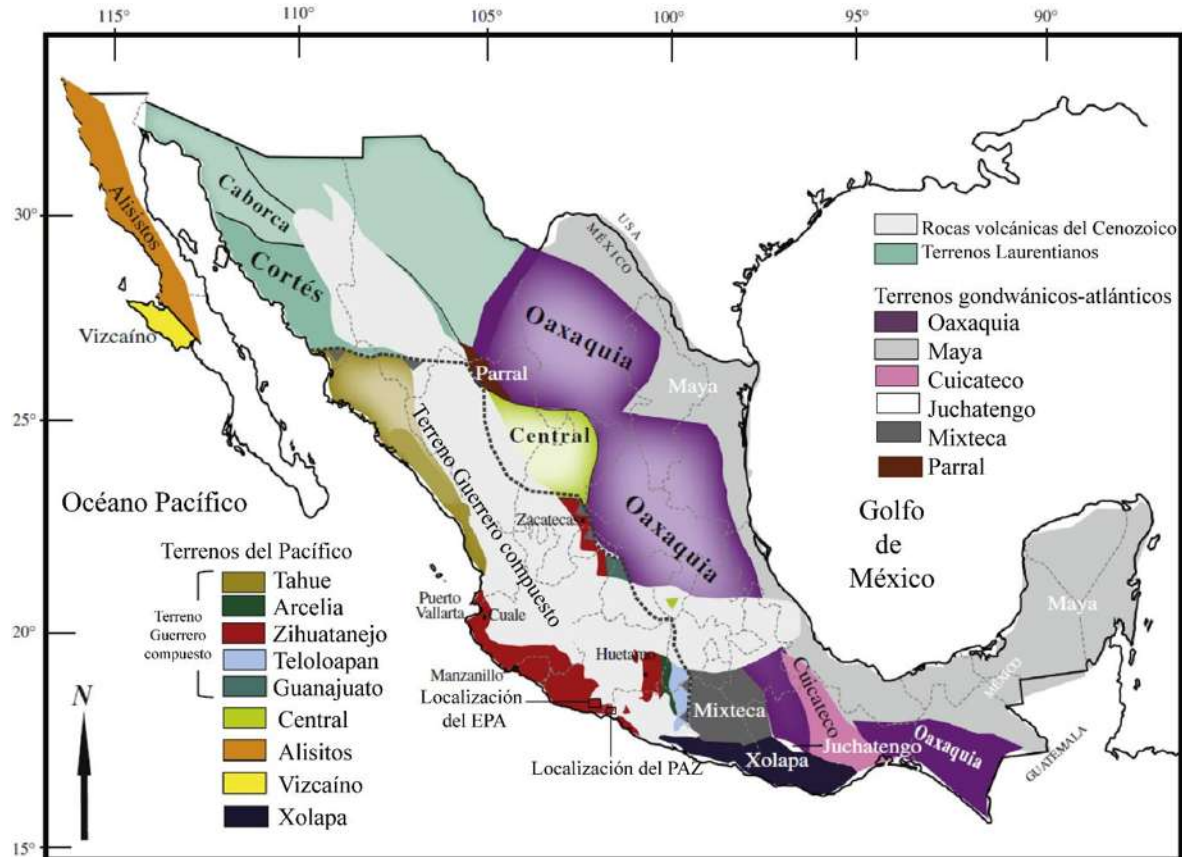


Figura 4. Mapa de la propuesta más reciente de la distribución de los terrenos tectonoestratigráficos en toda la República Mexicana. En este modelo ya se define al TGc, así como a sus subterrenos. En los recuadros negros, resalta la localización aproximada del EPA y el PAZ. (Imagen modificada y tomada de: Centeno-García (2016)).

El basamento de este subterreno se conforma de turbiditas ricas en cuarzo, las cuales contienen bloques de pedernal, calizas, lavas almohadilladas, diabasas, gabros bandeados y plagiogranitos (Centeno-García, 2016). El primer reporte cercano a la región de Arteaga fue realizado por Vidal (1984) quien le asignó el nombre de Complejo Las Ollas.

Por su parte, Pantoja-Alor (1990) describió a la Formación Río Placeres y más tarde, Centeno-García *et al.* (1993) caracterizaron por primera vez al Complejo Arteaga en la región de Tumbiscatío, en donde observaron y reportaron diferentes grados de deformación y de metamorfismo, con características que corresponden a facies de esquistos verdes; más tarde, Talavera-Mendoza (2000) reporta facies de esquistos azules en el Complejo Las Ollas.

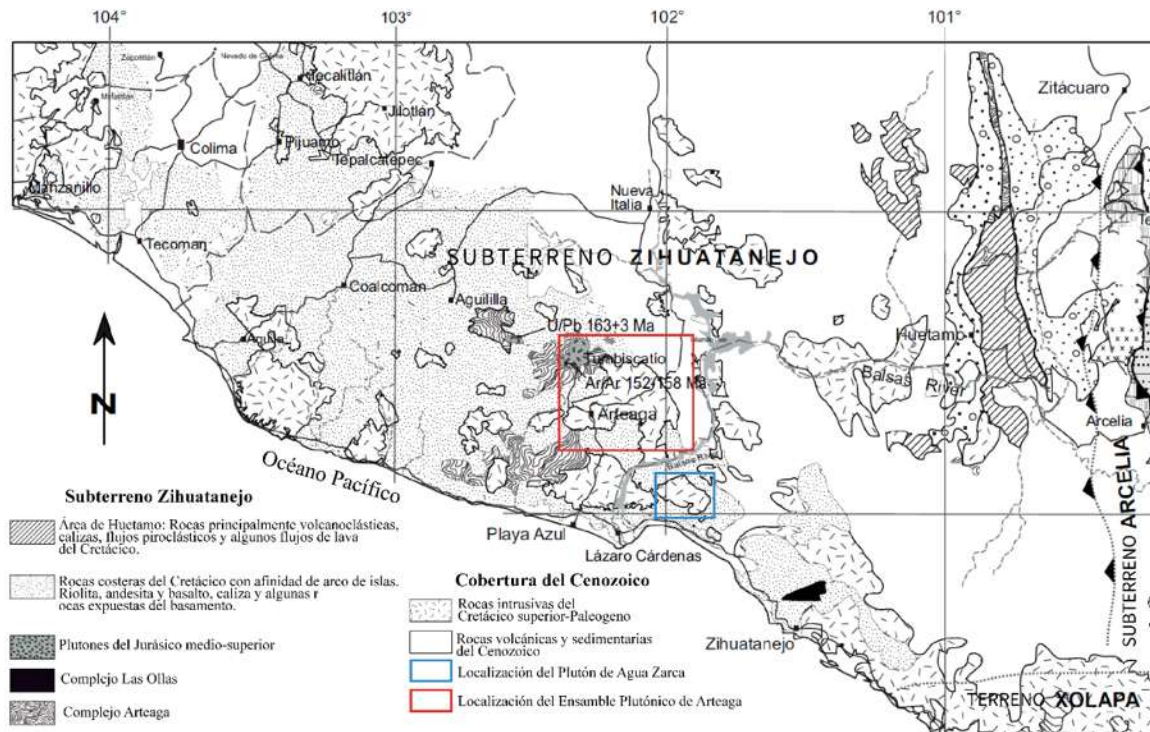


Figura 5. Propuesta de mapa geológico del suroeste de la República Mexicana, en donde se puede observar la distribución espacial del subterreno Zihuatanejo, así como el de las unidades geológicas que lo conforman. A la par, se observan las unidades que pertenecen a la cobertura volcánica del Cenozoico. Del mismo modo, se puede observar la localización del EPA y PAZ. (Imagen tomada y modificada de Centeno-García *et al.* (2008)).

Desde el punto de vista tectónico Centeno-García *et al.* (2008) propusieron la idea de que el basamento del subterreno Zihuatanejo representa un complejo de subducción del Triásico superior, que se acrecionó al continente en el Jurásico inferior.

Considerando que representan la estratigrafía regional (**Figura 6 A y B**) así como las unidades que constituyen a la roca encajonante del EPA y del PAZ, a continuación, se describe primeramente a las unidades del subterreno Zihuatanejo en la región de Arteaga (**Figura 6 A**), las cuales han sido separadas en: a) Complejo Arteaga, b) Secuencia volcanosedimentaria cretácica y c) Secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno. Posteriormente, se describirán las unidades de dicho subterreno, que afloran en la región de Agua Zarca (**Figura 6 B**).

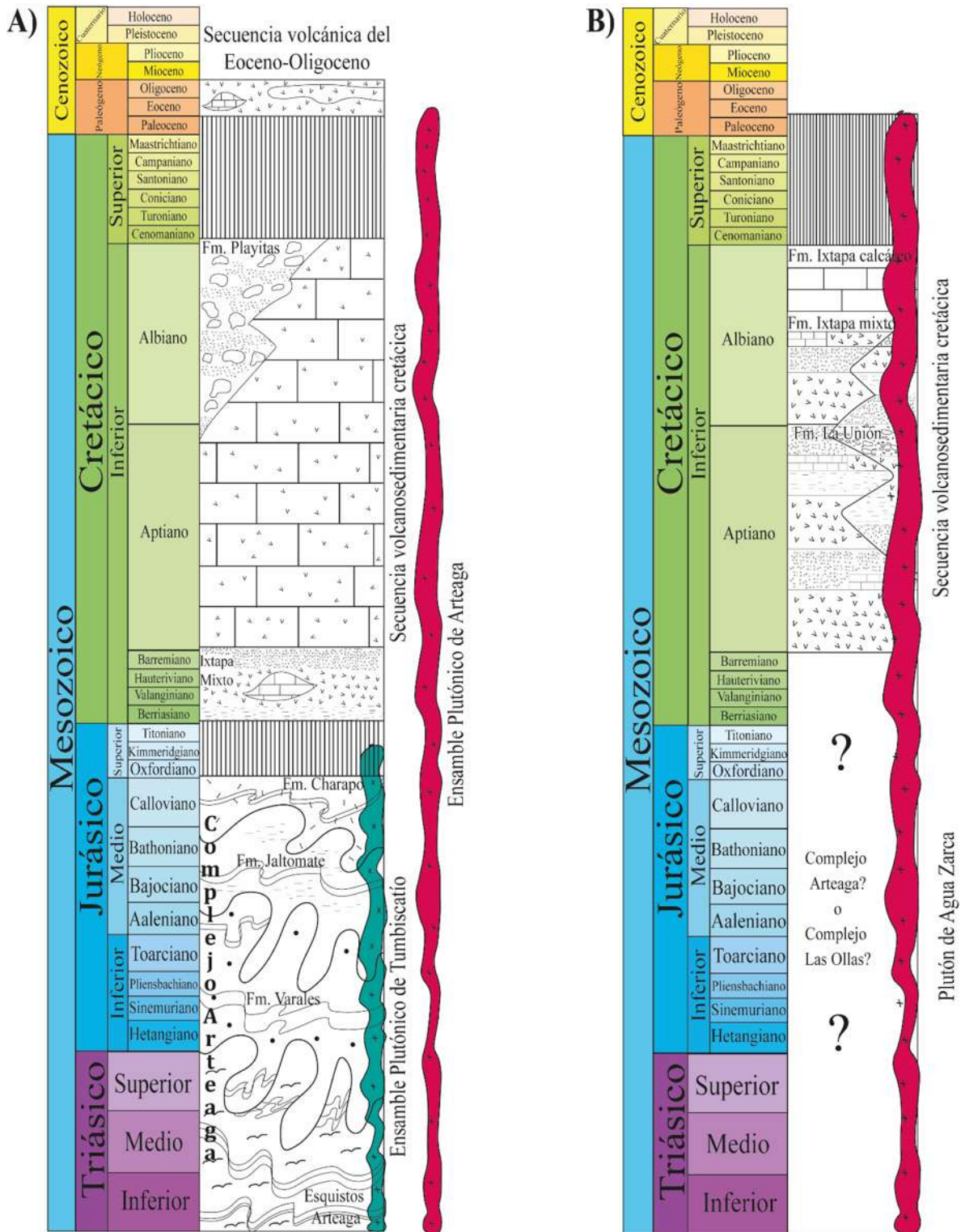


Figura 6. A) Columna estratigráfica propuesta para la zona en donde aflora el EPA, la cual, se sugiere es aplicable para la región de Tumbiscatio, Arteaga y una pequeña porción de Las Cruces. **B)** Columna estratigráfica propuesta para la región de Agua Zarca en donde aflora el PAZ.

2.2.1 Complejo Arteaga

En la década de 1970 no existían mapas geológicos de la región de Arteaga-Tumbiscatío, por lo que la información estratigráfica que se conocía se limitaba a los informes técnicos inéditos elaborados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). En ellos se describe a una secuencia volcanosedimentaria metamorfoseada, la cual fue nombrada por Gutiérrez (1975) como Esquistos Arteaga. Más tarde, en el trabajo de Campa *et al.* (1982) se encontraron fósiles de radiolarios en pedernal de una secuencia no metamorfoseada de la misma región, obteniéndose una edad del Ladiniano-Carniano (Triásico superior).

Centeno-García (1994) propone formalmente al Complejo Arteaga y a partir de variaciones litológicas, así como del grado de deformación, define cinco unidades que constituyen al Complejo Arteaga, las cuales son Formación Varales, Formación Charapo, Formación Jaltomate, Metadiorita Las Juntas y el Granito Tumbiscatío-Macías. Recientemente en el área de Tumbiscatío, Montiel-Escobar (2013) reporta un régimen de deformación noroeste-sureste en el Complejo Arteaga y lo interpreta como resultado de la acreción del TGc durante el Jurásico.

Finalmente, como se mencionó el Complejo Arteaga ha sido propuesto como el basamento del subterreno Zihuatanejo en el estado de Michoacán (Centeno-García *et al.* 2003).

2.2.1.1 Esquistos Arteaga

Centeno-García (1994) describe a una secuencia de color amarillo conformada por pelitas, grauvacas de grano fino, esquistos, filitas y pizarras, las cuales se encuentran afectadas por un metamorfismo en facies de esquistos verdes. Las rocas se pueden observar en la región de Arteaga-Tumbiscatío, en las localidades El Muleto, Plan del Muleto, Vallecitos y El Chicharrón.

2.2.1.2 Formación Varales

Esta unidad fue descrita por Centeno-García (1994) como una secuencia siliciclástica de areniscas ricas en cuarzo, intercaladas con lutitas negras con algunos lentes de pedernal y conglomerado. El espesor real es desconocido, sin embargo, la misma autora sugiere un espesor de alrededor de 1,500 m.

Montiel-Escobar (2013) realizó estudios estructurales y de cinemática en esta formación destacando un cambio en el estilo de deformación, subdividiendo a la Formación Varales en dos zonas: Formación Varales Norte y Formación Varales Sur siendo la referencia la Zona de Cizalla El Muleto (ZCM), con base en este criterio, la Formación Varales Sur es la que aflora al sur-suroeste del EPA.

2.2.1.3 Formación Jaltomate

Centeno-García (1994) define a esta formación como una sucesión de pelitas y grauvacas, intercalada con sedimentos de la Formación Varales. Esta formación presenta un grado de metamorfismo de facies de esquistos verdes a anfibolitas de bajo grado. La misma autora propone la asociación mineralógica: sericita, clorita, epidota, actinolita, clinozoisita y cuarzo.

2.2.1.4 Formación Charapo

Centeno-García (1994) describe a esta formación como una secuencia de *pillow* lavas basálticas y flujos volcánicos de afinidad toleítica con presencia de plagioclasa y escaso olivino. Como minerales de alteración y metamorfismo, se observa clorita, epidota y leucoxeno, así como minerales metamórficos de la serie actinolita-tremolita. Las firmas geoquímicas e isotópicas que reporta la misma autora de estas rocas volcánicas, permiten asignarle una afinidad de basaltos tipo MORB.

2.2.1.5 Ensamble Plutónico de Tumbiscatío

El Ensamble Plutónico de Tumbiscatío (EPT) fue descrito por Centeno-García (1994) bajo el nombre de Granito Tumbiscatío-Macías, y más tarde por Centeno-García *et al.* (2003, 2008 y 2011). Dicha autora define al intrusivo como un cuerpo plutónico con variaciones composicionales que van de granodiorita a granito, con presencia de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, clinopiroxeno, biotita y muscovita.

En Centeno-García *et al.* (2003) se define como granito tipo I, calcoalcalino con afinidad a zonas de subducción y se presentan sus valores de $\epsilon\text{Nd}_{\text{inicial}}$ (-4.9) reflejando ser los más negativos de rocas ígneas localizados en el TGc.

Recientemente, Guevara Alday (2020) publicó datos isotópicos iniciales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.708705-0.710295) y un valor de $\epsilon\text{Nd}_{\text{inicial}}$ de -5.7 a +6.4, reflejando una fuente primigenia mantélica que sufrió cierta asimilación de la corteza. Al mismo tiempo reporta una composición que varía de sienogranito, monzogranito y cuarzo-monzonita. En este mismo trabajo se presentan mediante el método U-Pb aplicado en zircones, edades de 162.30 ± 0.36 Ma y 161.75 ± 0.36 Ma, lo cual coloca al EPT en el Jurásico superior.

2.2.2 Secuencia volcanosedimentaria cretácica

La secuencia volcanosedimentaria cretácica sobreyace de manera discordante al Complejo Arteaga; esta relación es clara, sin embargo, no es común encontrarla en campo. Su composición es variable y ha tenido diversas descripciones estratigráficas (Centeno *et al.* 2003, 2011). Para este caso en particular, sólo se describirán las unidades que han sido reportadas en la región de Arteaga, y que pueden constituir a la roca encajonante.

2.2.2.1 Unidad Ixtapa Mixto

La unidad Ixtapa Mixto fue propuesta informalmente por Vidal (1984) como resultado de haber dividido a la Formación Zihuatanejo. Dicha segmentación la realizó debido a que encontró en ella secuencias volcanosedimentarias no metamorfoseadas que yacen interestratificadas con calizas del Albiano-Aptiano, y con rocas volcánicas de composición andesítica-basáltica. En un intento de separar las litologías presentes en la formación Vidal (1984) sugirió a la unidad Ixtapa Mixto (caliza interestratificada con rocas volcánicas) y el miembro La Unión; este último, Centeno-García (1994) lo correlaciona con la Formación Madrid del estado de Colima.

2.2.2.2 Formación Playitas

Esta unidad la describen Centeno *et al.* (1994) y recientemente Guevara Alday (2020) como una secuencia sedimentaria conformada por limos, cuarzoarenitas y conglomerados que tienen un color amarillo ocre, rojizo y malva. En la base de la unidad se puede observar una secuencia rítmica de intercalaciones de estratos de limo y cuarzoarenita con espesores que varían de 1-3 cm.

Los clastos que conforman al conglomerado, la misma autora los reporta como fragmentos de granito, cuarzoarenita, pizarra y limo. Mientras tanto, Guevara Alday (2020) identifica una gradación inversa y un basculamiento con tendencia hacia el sur.

Centeno-García (1994) correlaciona a esta unidad con la Formación Vallecitos (estado de Colima), Formación Tepalcatepec (estado de Michoacán) y Formación San Lucas (municipio de Huetamo, Michoacán).

2.2.2.3 Formación La Unión

Centeno-García (1994, 2003) la describe como una secuencia de capas rojas (*redbeds*) con intercalación de lutita, arenisca, conglomerado y brecha volcánica, superpuestas con flujos andesíticos y riolíticos. Martini *et al.* (2010) mencionan que tiene una edad del Cretácico superior, sin embargo, Centeno-García *et al.* (2011) presentan evidencia geológica y edades obtenidas de zircones detríticos del transecto Cachan-Neixpa-Chuta, asignándole una edad del Cretácico inferior (~98.8-120 Ma) siendo en estas últimas dos localidades en donde aflora la Formación La Unión; además de eso Ferrusquía *et al.* (1978) reportaron huellas de dinosaurio en dicha formación.

2.2.2.4 Formación Ixtapa Calcáreo

Barrios-Rodríguez *et al.* (2000) describen estratos gruesos de caliza relativamente pura, que van de 0.50 m a 2 m, los cuales asocian a un ambiente de arrecife-subarrecife. Por otro lado, Martini *et al.* (2010) mencionan que la Formación Ixtapa Calcáreo se constituye de caliza masiva, lutita y brecha calcárea, adicional mencionan la posibilidad de encontrar fósiles de rudistas, gasterópodos, bivalvos y corales.

Los mismos autores destacan que la formación se encuentra ligeramente a moderadamente plegada, evidenciando pliegues con orientación noroeste-sureste. Finalmente, Vidal (1984) con base en material fosilífero encontrado en la secuencia le asigna una edad del Albiano.

2.3 Magmatismo continental post-Laramídico

A pesar de que se cuenta con un registro de actividad magmática del tipo continental de al menos 90 Ma (véase Batolito de Puerto Vallarta y Manzanillo (Schaaf (1990), Schaaf *et al.* (1995, 2022)), y a la par, se tiene identificado un evidente decremento en las edades que va del Paleoceno al Mioceno, desde las costas de Manzanillo en dirección noroeste-sureste, hasta llegar a la región del estado de Chiapas, sólo se describirá a los cuerpos plutónicos de edad del Paleógeno, los cuales se denominan en este trabajo como magmatismo típico continental de origen post-Laramídico.

A partir de los trabajos de Schaaf (1990), Schaaf *et al.* (1995) y Morán-Zenteno *et al.* (1999), en la provincia fisiográfica de la SMS es posible caracterizar dos zonas principales de actividad ígnea asociadas a un arco magmático. La primera se distingue por extensos cuerpos plutónicos y algunas rocas volcánicas distribuidas en la costa de los estados de Jalisco, Colima y Michoacán. Mientras tanto, la segunda zona se caracteriza por cuerpos intrusivos y en menor cantidad de rocas volcánicas, distribuidas en los estados de Guerrero y Estado de México (**Figura 7**).

Las edades reportadas en los trabajos de González-Partida *et al.* (2003), de Jones y Jackson (2001) y Levresse *et al.* (2004) de rocas volcánicas e intrusivas de la región de Mezcala (67-55 Ma), insinúan la posibilidad de un evento magmático post-orogénico en el estado de Guerrero. Por su parte, Schaaf (1990) y Schaaf *et al.* (1995) compilaron todas las edades publicadas hasta los años noventa y muestran que aquellas que varían entre 60 y 70 Ma, obtenidas por los métodos de Rb-Sr y K-Ar, se concentran en la región de Manzanillo y Aquila. Más tarde, Morán-Zenteno (1992) publicó edades obtenidas por el método Rb-Sr aplicado en rocas intrusivas no deformadas pertenecientes a las zonas de Tierra Colorada, Acapulco y Cruz Grande (estado de Guerrero), restringiendo la edad del magmatismo en 55 ± 1 Ma. Luego, Garduño-Monroy *et al.* (1999) hicieron una compilación de edades K-Ar en rocas del estado de Michoacán, en donde se observó que existen rocas volcánicas asociadas al sector norte del subterreno Zihuatanejo que van de 52-32 Ma. Las edades publicadas en distintos trabajos (Schaaf (1990), Morán-Zenteno (1992), Schaaf *et al.* (1995), Morán-Zenteno *et al.* (1999), Garduño *et al.* (1999) y Morán-Zenteno *et al.* (2017)) han permitido observar una variación en la edad del magmatismo que inicia en Jalisco con 100 Ma y termina en 27 Ma en Oaxaca, sugiriendo una migración de magmatismo hacia el sureste.

Las edades del Eoceno-Oligoceno predominan en la región de Arteaga y aunque muestran edades relativamente más jóvenes, las rocas plutónicas de Arteaga muestran una clara correlación con las rocas del Batolito de La Huacana (*ver*: Schaaf *et al.* 1995). Los complejos plutónicos de la región de Arteaga (el EPA y el PAZ) pertenecen a estas unidades plutónicas de composición predominantemente granítica-granodiorítica, con edades que varían del Eoceno al Oligoceno.

La composición de las rocas plutónicas que constituyen a la SMS es mayoritariamente granodiorítica-tonalítica, en menor cantidad se encuentra la composición granítica, siendo los minerales ferromagnesianos dominantes; la biotita y el anfíbol. Sin embargo, Schaaf (1990) reporta una zona restringida de intrusivos máficos de composición gabraica-diorítica en Manzanillo.

La variabilidad restringida de las firmas isotópicas (relación ^{87}Sr - ^{86}Sr , ^{143}Nd - ^{144}Nd y de Pb) y su tendencia hacia valores primitivos (+ ϵNd) de las rocas magmáticas cenozoicas de la SMS (*véase*, Schaaf (1990), Morán-Zenteno (1992), Schaaf *et al.* (1995), Morán-Zenteno *et al.* (1996) y Morán-Zenteno *et al.* (2017)), indican una baja contaminación por componentes de corteza antigua.

En términos de petrogénesis, este plutonismo se ha asociado a un proceso de dos etapas (siguiendo el modelo de Pitcher (1993)), o que pudo ser continuo (según el modelo de Kemp y Hawkesworth (2004)); ambas propuestas intentan explicar el proceso de construcción de grandes cuerpos plutónicos con variaciones composicionales. La primera etapa supone la acumulación de una capa de composición basáltica en la base de la corteza (*underplating*) o, la hibridación de la base de la corteza continental por la intrusión de magmas máficos provenientes del manto; en una segunda etapa, ocurre una fusión parcial de la base máfica metasomatizada o hibridizada de la corteza por el nuevo arribo de magmas máficos y, la mezcla de estos con los productos de la fusión parcial de la base de la corteza (Morán-Zenteno *et al.* 2005, 2017).

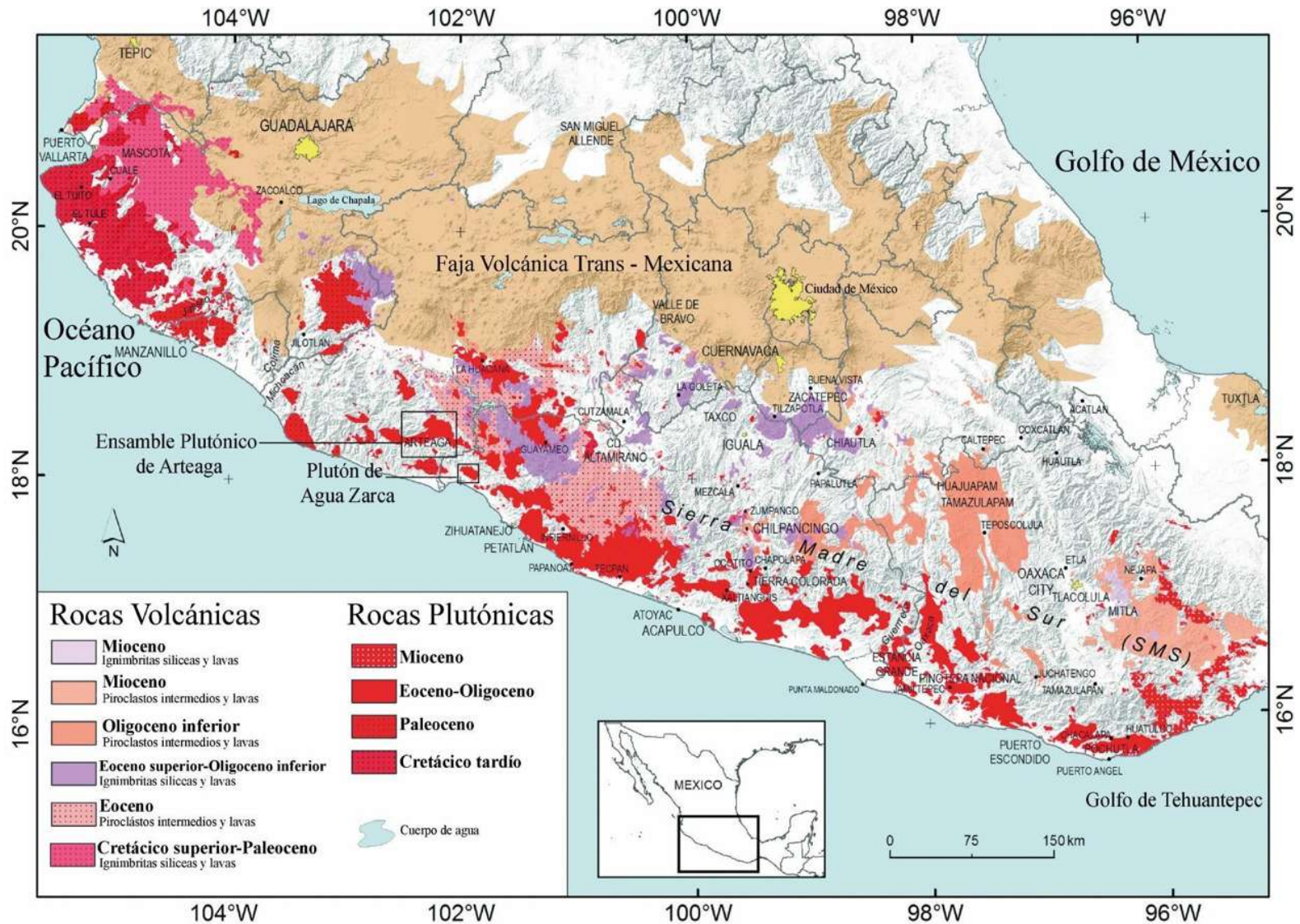


Figura 7. Mapa geológico de la región sur-suroeste de la República Mexicana, en donde se observa las rocas magmáticas (plutónicas y volcánicas) del Cretácico superior-Mioceno que conforman a la provincia fisiográfica de la SMS. (Imagen modificada de: Morán-Zenteno *et al.* (2017)).

2.3.1 Secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno

Se refiere a una secuencia voluminosa de rocas volcánicas de composición félsica que aflora a lo largo de toda la porción central y oriental de la depresión del Balsas. Se caracteriza por presentar una estructura pseudoestratificada constituida por derrames y depósitos volcánicos re-transportados (Morán-Zenteno *et al.* 2017). Gámez Ordaz *et al.* (2009) reportaron unidades volcánicas de composición riolítica las cuales se conforman de derrames de ignimbritas, tobas y brechas; en algunos lugares es posible observar la formación de pseudoestratos.

Estas unidades volcánicas se observan en la cima de los cerros La Aguja y El Chivo. En cuanto a su edad, Gámez Ordaz *et al.* (2009) correlacionan a esta unidad con la secuencia volcánica riolítica de la parte superior de la Sierra Madre Occidental descrita por Pasquarè *et al.* (1991), los cuales reportan una edad de 33.4 Ma obtenida por el método K-Ar.

2.4 Estructuras de deformación post Laramide

Los ensambles plutónicos del Eoceno-Oligoceno generalmente presentan estructuras de deformación por fallas y zonas de cizalla (Morán *et al.* 2017). De acuerdo con estos autores, las estructuras pueden asociarse a procesos de deformación de fragmentación continental, así como al proceso de desplazamiento del bloque Chortis. Sin embargo, no se sabe con certeza cuando inició el régimen lateral post-orogénico, lo que sí se tiene caracterizado es la actividad tectónica reflejada en fallas laterales izquierdas de orientación noroeste-sureste y este-oeste. Estas estructuras se reconocen principalmente en la zona centro-norte de la SMS y a lo largo de la actual margen continental, entre Zihuatanejo y Puerto Escondido (Morán-Zenteno *et al.* 2005).

Tolson (1998) menciona que en la región de la costa de Oaxaca, la zona milonítica que limita la parte septentrional del Complejo Xolapa, afecta al intrusivo de Huatulco (29 Ma), proponiendo que la etapa de deformación dúctil de cizalla se prolongó y estuvo activa más allá del emplazamiento de los plutones del Oligoceno.

Con base en las edades de magmatismo, trabajo de campo y el geobarómetro de aluminio total aplicado en anfíboles de los cuerpos intrusivos, Morán-Zenteno *et al.* (1996) proponen que los batolitos que se exponen en el transecto Acapulco-Huatulco (35-25 Ma) fueron emplazados a una profundidad de 13-20 km.

En síntesis, la propuesta de la migración del magmatismo hacia el sureste y el desarrollo de estructuras de falla con componente lateral izquierdo, han sido asociados al desplazamiento del bloque Chortis a lo largo de la actual margen de subducción del Pacífico (**Figura 8**); tal hipótesis ha sido propuesta en trabajos de Schaaf *et al.* (1995) y Morán-Zenteno *et al.* (1999, 2017).

La propuesta del desplazamiento del bloque Chortis surge de los trabajos de Anderson y Schmidt (1983) y Ross y Scotese (1988), los cuales se enfocan en las reconstrucciones paleogeográficas con la finalidad de observar la evolución de la placa del Caribe en el sur de México.

La hipótesis más extendida es aquella en donde colocan (Schaaf *et al.* (1995), Morán-Zenteno *et al.* (1999, 2017) al bloque Chortis próximo a Puerto Vallarta, sugiriendo un desplazamiento hacia el sureste en dirección al Istmo de Tehuantepec. Sin embargo, presenta algunas limitantes que hasta la fecha no se han podido explicar por lo cual, continua en tema de debate entre la comunidad científica.

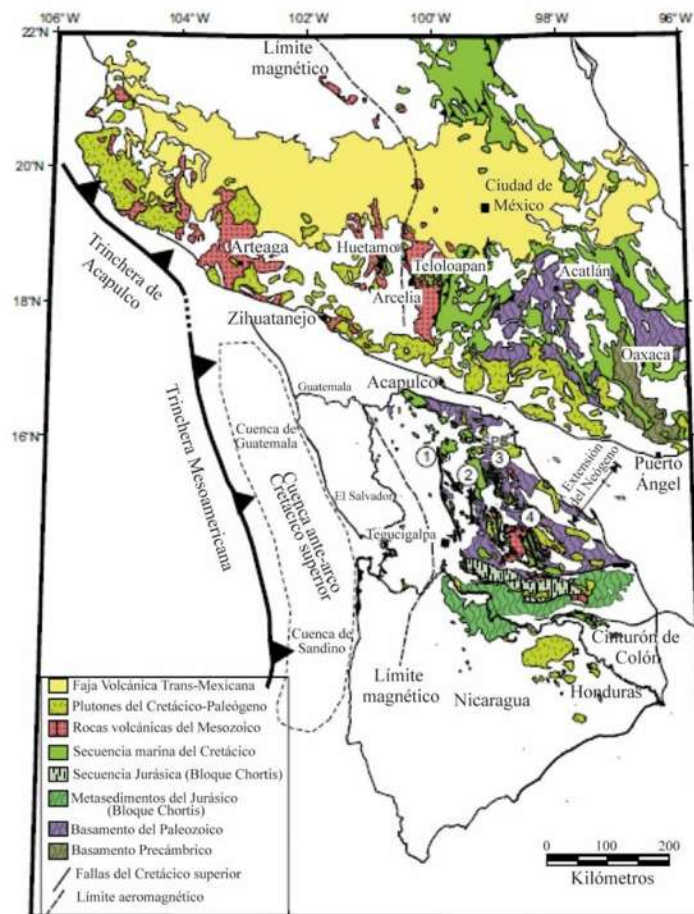


Figura 8. Propuesta del bloque Chortis a una posición adyacente del suroeste de México, en donde se puede correlacionar las estructuras y unidades geológicas pre-mesozoicas entre ambas regiones del mundo. 1) Arco volcánico del Cretácico; 2) Estratigrafía del Mesozoico; 3) Basamento greenvilliano expuesto en Honduras y 4) Rifts alineados del Cretácico (Imagen tomada y modificada de Rogers *et al.* 2007)).

2.4.1 Zona de Cizalla El Muleto (ZCM)

La ZCM se localiza en la porción sur-suroriental del estado de Michoacán, en el municipio de Arteaga. En términos generales presenta una orientación noreste-suroeste; esta tendencia se nota claramente en la porción noroeste del EPA. Se estima que tiene una longitud de 58 kilómetros y un ancho que ronda los 10 kilómetros (**Figura 9**). Montiel-Escobar (2013) propone que la ZCM tiene una geometría anastomosada, que secciona y desplaza al EPA con un movimiento relativo izquierdo; tal hipótesis la sustenta con análisis espacial de las formas topográficas, mapa geológico, imágenes satelitales y observaciones de campo.

En contraste, los antecedentes de esta estructura cortical son escasos, siendo en el segundo perfil magnético, publicado en García-Pérez y Urrutia-Fucugauchi (1997), del recorrido Los Pozos-San José de los Milagros, en donde se observa una estructura de primer orden que separa litologías, así como una variación en el espesor del basamento.

Más tarde en Centeno-García *et al.* (2003), a dicha estructura se le nombra Zona de Cizalla El Muleto; en este trabajo se visitaron dos áreas en donde se aprecia que el EPA y la secuencia volcanosedimentaria de la Formación Playitas, se encuentran milonitizadas como consecuencia de la interacción que existe con la ZCM. Durante el trabajo de campo, se pudo observar que la ZCM tiene una orientación N60° a 70°E, con un echado hacia al sureste. Con base en indicadores cinemáticos vistos en campo y en lámina delgada, se sugiere que el proceso de deformación ocurrió bajo condiciones de 450° a 500° C (Centeno-García *et al.* 2003).

Montiel-Escobar (2013) presentó un estudio petrológico, estructural y geoquímico de esta estructura, describiendo la relación que tiene con los yacimientos de oro orogénicos de la región de Arteaga. A partir de su investigación concluye que al menos tres eventos de deformación constituyen la ZCM:

- Estructuras Dn+2 (denominadas pre-cizalla con orientación noroeste-sureste y este noreste-oeste suroeste) que afectan al Complejo Arteaga y a la secuencia volcanosedimentaria del Cretácico.
- Estructuras D3 con orientación noreste-suroeste y las cuales truncan a las estructuras Dn+2.
- Las estructuras D3 internamente son afectadas por una deformación frágil-dúctil (denominada D4 y clasificándolo como post-cizalla) con una orientación noroeste-sureste.

El mismo autor, con base en la observación de las estructuras de las milonitas, reconoce indicadores cinemáticos (por ejemplo: peces de mica en biotita, sombras de presión y estructuras S-C), que indican una cinemática de tipo lateral izquierda. Él concluye con la hipótesis de que la actividad inicial de la ZCM es sincrónica al emplazamiento del EPA.

Dejando en claro los puntos descritos anteriormente, el estudio de Montiel-Escobar (2013) deja la premisa de considerar que la ZCM es el reflejo de un límite tectónico interno del subterreno Zihuatanejo, el cual podría estar separando variaciones litológicas internas de este, pero a la vez formando parte de la serie de arcos insulares que se ha propuesto para la génesis del TGC.

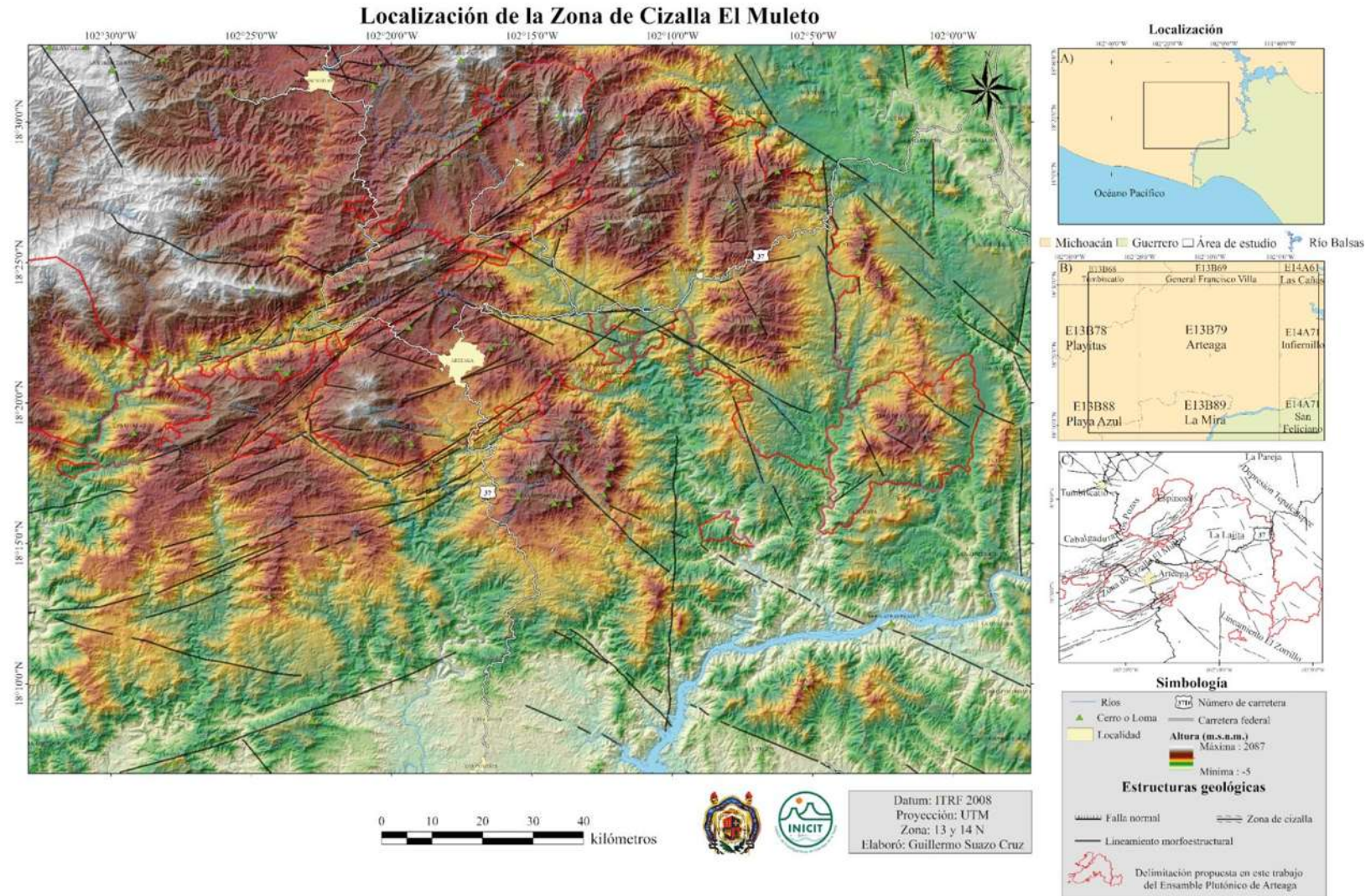


Figura 9. Mapa de localización de la ZCM. Esta estructura cortical que pone en contacto al área noroeste del EPA con unidades del Complejo Arteaga. **A)** Mapa de la República Mexicana en donde se delimita la zona en donde se expone la ZCM. **B)** Nomenclatura oficial del INEGI de las cartas topográficas escala 1:50,000 donde aflora la estructura de la ZCM. **C)** Vista de los lineamientos morfoestructurales, así como de los altos y bajos estructurales importantes que afloran y afectan al EPA.

2.5 El Ensamble Plutónico de Arteaga: trabajos previos

El EPA junto a los intrusivos de San José de Chila, La Mira, Ostula, Los Pozos y Tizupan, forma parte de una serie de cuerpos intrusivos que se emplazaron en el Cretácico superior-Paleógeno, en la región occidental de Michoacán.

Una característica que comparten es la heterogeneidad en sus composiciones, las cuales varían de granito, granodiorita y diorita con facies de monzonita y tonalita (Barrios-Rodríguez *et al.* 2000). De Cserna *et al.* (1978) sugirieron que este cuerpo intrusivo extenso pertenece a una estructura aún más grande y heterogénea, la cual nombraron Batolito Michoacán-Guerrero. En la misma publicación, reportan composiciones de granito, granodiorita y diorita, resultado de la diferenciación magmática que ocurrió durante su emplazamiento.

Desde entonces y debido a que en dicha estructura se han localizado vetas importantes de minerales metálicos y no metálicos, se han hecho estudios de metalogenia, como los efectuados por el extinto Consejo de Recursos Minerales (CRM), hoy Servicio Geológico Mexicano (SGM).

En cuanto al aspecto cartográfico del EPA, desde Schaaf (1990) se puede observar las primeras propuestas, las cuales a través del tiempo han sufrido cambios sutiles, a cargo de autores como: Centeno-García (1994), Schaaf *et al.* (1995), Centeno-García *et al.* (2008, 2011), Montiel-Escobar (2013), Morán-Zenteno *et al.* (2017), Suazo-Cruz (2020) y dependencias gubernamentales como el SGM (*ver:* carta geológica E13B78 (Arteaga) y su informe técnico hecho por Torreblanca Castro *et al.* (2004)). No obstante, no existe una propuesta cartográfica basada en el análisis morfoestructural, relaciones de campo, petrografía, geoquímica isotópica y geotermobarometría, así como una propuesta en la división interna del EPA.

Los trabajos mencionados anteriormente dejan claro que la estructura externa del EPA se encuentra delimitada en su porción noroeste por la estructura frágil-dúctil de la ZCM (con orientación noreste-suroeste) (*ver:* Montiel-Escobar (2013)) y en su porción noreste por las estructuras extensionales y trastensionales asociadas a la depresión Tepalcatepec (con orientación noroeste-sureste) (**Figura 9 C**).

En la recopilación de trabajos (De Cserna *et al.* (1978), Schaaf (1990) Centeno-García (1994), Schaaf *et al.* (1995), Centeno-García *et al.* (2011), Suazo-Cruz (2020)) se resalta la heterogeneidad petrológica presente en el EPA, observándose composiciones mineralógicas que van de granito hasta diorita con facies de tonalita y monzonita.

En ese sentido, en la región noreste, cerca de los poblados Los Vallecitos y Ollita Colgada Schaaf (1990) reporta granito, mientras que, en el centro del EPA en el poblado Las Juntas, Suazo-Cruz (2020) resalta la presencia de diorita. Centeno-García (1994) describe en el área del sureste del EPA una composición de granito-granodiorita (**Figura 10**).

Respecto a la geoquímica de los óxidos de los elementos mayores del EPA, los datos se restringen a los publicados por Schaaf (1990) y Suazo-Cruz (2020); en los cuales podemos observar valores de SiO₂ que van de: 58-73 wt%. Entre tanto, la relación entre el SiO₂ con álcalis refleja un carácter subalcalino y metaluminoso, de acuerdo con el índice de Frost *et al.* (2008).

En lo que se refiere a los elementos traza, con base en los diagramas de Pearce *et al.* (1984) se refleja una afinidad de granitos de arco volcánico (por sus siglas en inglés VAG: *Volcanic Arc Granite*). Los datos disponibles de elementos traza (Suazo 2020) normalizados con MORB y con condrita, muestran un enriquecimiento de los elementos LILE (por sus siglas en inglés: *Large-Ion Lithophile Element*) respecto a los HFSE (por sus siglas en inglés: *Highfield-Strength Elements*), comparables con los asociados a rocas de arco continental. A su vez, los datos isotópicos ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (Schaaf, 1990) varían desde 0.704426 hasta 0.704995.

Los trabajos previos reportan diez edades isotópicas obtenidas por los métodos Rb-Sr, K-Ar en micas, anfíboles y roca entera y más recientemente U-Pb en zircones, construyendo la edad de cristalización del EPA entre 57 y 49 Ma (Paleoceno-Eoceno) (**Tabla 1**).

Para concluir la descripción de las unidades geológicas que se exponen en la zona de estudio correspondiente al EPA (**Figura 10 Zona A**), como se mencionó al inicio de este capítulo, se propone una columna estratigráfica en donde se relaciona a todos los componentes geológicos descritos anteriormente (**Figura 6 A**).

Muestra	Longitud	Latitud	Edad (Ma.)	Error ($\pm$)	Localización	Litología	Método	Material	Referencia
Arteaga 001	-102.299803°	18.332625°	57	2	Cerca de la localidad El Saucito	Granodiorita de Bt-Amp	K-Ar	Biotita	IMP, 1984 inédito
Las Juntas	-102.205466°	18.383512°	62	1	En el Cerro Santa Ana	Granodiorita de Bt-Amp			IMP, 1978 inédito
Arteaga 002	-102.287109°	18.335468°	44	3	Cerca del río Carrizal de Arteaga	Tonalita de Bt-Amp			
Arteaga 003	-102.383333°	18.316667°	46	2	En el río El Muleto cerca de la localidad	Esquisto micáceo		Roca total	IMP, 1983 inédito
Arteaga 004	-102.293176°	18.324980°	46	1	Al sureste de la localidad El Saucito	Pizarra de sericita			
Arteaga 005	-102.273072°	18.354912°	52	4	En el Cerro La Cruz	Granodiorita de Bt-Amp		Biotita	
MS 37	-102.277776°	18.322398°	57		Al sur de Arteaga, próximo a llegar a la localidad El Tumbiriche	Tonalita	Rb-Sr	Roca total	Schaaf (1990)
MS 38	-102.234593°	18.384940°	57		En el kilómetro 260, próximo a la comunidad Las Camelinas	Granodiorita			
MS 39	-102.142181°	18.408431°	57		Cerca del kilómetro 247, aledaño a la comunidad Ollita Colgada	Granodiorita			
ART-21-01-WR	-102.224020°	18.388273°	49.83	0.29	En la localidad Las Juntas, en donde coexisten los ríos Espinosa, Las Juntas y El Tarro	Diorita	U-Pb	Zircón	Suazo-Cruz (2020)

Tabla 1. Antología de edades publicadas por diferentes autores y obtenidas por diferentes métodos de fechamiento, las cuales corresponden a diferentes zonas del EPA. Se puede observar que la cantidad es relativamente pequeña si se compara con las dimensiones del intrusivo. No fue posible encontrar los informes técnicos originales del IMP, por lo que la referencia se escribió como se encuentra en la compilación de edades hecha por Corona-Chávez (1999) in Garduño-Monroy *et al.* (1999).

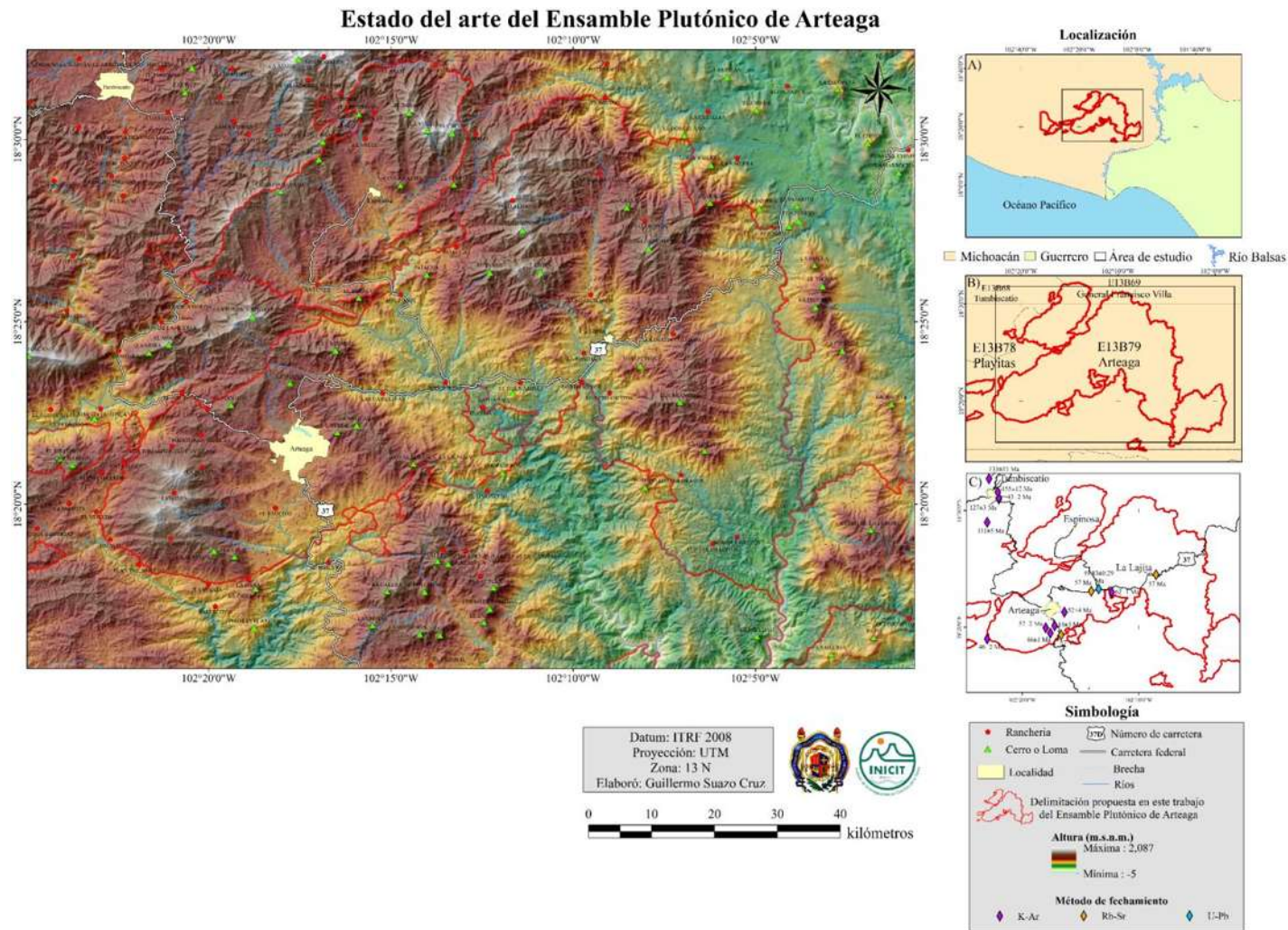


Figura 10. Mapa de la región de Tumbiscatio-Las Cruces-Playitas-Arteaga en donde aflora el EPA. **A)** Mapa de la República Mexicana en donde resalta en negro el área de estudio, comprendida en el estado de Michoacán. **B)** Delimitación del área de interés en donde se observa la nomenclatura propuesta por INEGI para su cartografía a escala 1:50,000. A la par se observan las cartas topográficas que cubren la superficie del EPA. **C)** Localización de las rocas fechadas reportadas en la **Tabla 1**, en donde se puede observar que las zonas del noroeste, nornoroeste y sureste del EPA son las menos estudiadas.

2.6 El Plutón de Agua Zarca: trabajos previos

El PAZ se ubica al suroeste de México, en la zona costera colindante de los estados de Guerrero y Michoacán. No hay, hasta la fecha, reportes específicos de este cuerpo plutónico.

Recientemente, por la construcción de la autopista siglo XXI, se han abierto vías de comunicación que han facilitado mucho el acceso y la exposición de la superficie de este intrusivo. A pesar de ello, se puede encontrar una cartografía propuesta por el SGM a escala 1: 250 000 y otra a escala 1:50 000, sin embargo, la cartografía no es detallada, lo cual se refleja en los límites imprecisos propuestos para el PAZ.

Martini *et al.* (2010) utilizaron esta cartografía para la localización y descripción de la muestra (**MIKE 14-1-1**) y obtener una edad por el método U-Pb en zircones. En tal publicación, los autores se refieren a este intrusivo como Batolito de Agua Zarca, trazando el límite norte del mismo, a 8 kilómetros hacia el noreste del poblado homónimo (**Figura 11**). En este mismo trabajo, ellos describen a la muestra **MIKE 14-1-1** como un granito conformado por feldespato potásico, plagioclasa, biotita, cuarzo y óxidos.

Entre las conclusiones de la publicación, se describe que se obtuvo una edad de cristalización de 45.8 ± 0.8 Ma. (**Tabla 2**)

Muestra	Longitud	Latitud	Edad (Ma.)	$\pm$	Localización	Litología	Método	Material	Referencia
MIKE 14-1-1	-101.908707°	18.108998°	45.8	0.8	A 8 km hacia el noreste de la localidad Agua Zarca	Granito	U-Pb	Zircón	Martini <i>et al.</i> (2010)

Tabla 2. Edad reportada para el PAZ por Martini *et al.* (2010).



Figura 11. Mapa de localización y distribución del PAZ. **A)** Mapa de la República Mexicana en donde se delimita la zona en el recuadro negro, el área en que aflora el PAZ, el cual corresponde al estado de Guerrero. **B)** Nomenclatura utilizada por INEGI para su cartografía a escala 1:50,000, en donde se puede observar que el principal afloramiento del PAZ se concentra en la carta E14A81 (San Feliciano). **C)** Localización de la muestra fechada por Martini *et al.* (2010).

Capítulo 3. Justificación

Debido al potencial minero que tiene la región de Arteaga principalmente en Fe y Au, desde la década de los sesenta se han hecho reportes por parte del extinto CRM, hoy SGM, de levantamientos geológicos en distintos puntos para conocer el potencial minero de los mismos, de lo cual resultaron algunos mapas geológicos a escala 1:50 000 (cartas: E13B79 (Arteaga), E13B78 (Playitas), E13B68 (Tumbiscatío) y E13B69 (General Francisco Villas), a la vez que se publicó a escala 1:250 000 la carta E13-6-9 (Lázaro Cárdenas).

Sin embargo, estos trabajos se encuentran más orientados a la prospección minera que a la resolución del problema geológico que alberga el EPA. Con los trabajos de Schaaf (1990) y Schaaf *et al.* (1995) es que comienzan a realizarse estudios en la distribución de los cuerpos intrusivos que afloran actualmente en la margen activa del Pacífico, (entre ellos el EPA y el PAZ), publicándose en estos trabajos, datos geoquímicos isotópicos y fechamientos de roca total (WR) obtenidos por el método Rb-Sr y K-Ar de carácter regional.

En Suazo-Cruz (2020) se logra publicar la primera edad obtenida por U-Pb en zircones para el EPA, así como datos geoquímicos y un análisis de cristales, de roca entera y enclaves característicos de la localidad Las Juntas.

En cambio, el PAZ no tiene reportes de mineralización importante y la cartografía geológica disponible es a escala 1:250,000 (carta E14-4 Ciudad Altamirano). También, en Martini *et al.* (2010) describen la zona e incluyen una edad obtenida en zircones de este intrusivo.

En dicha publicación, definen a este cuerpo como Batolito de Agua Zarca; sin embargo, en este trabajo se denomina como Plutón de Agua Zarca porque tiene una superficie menor a 100 km².

Se concluye entonces que, los estudios previos son muy generales, cubren grandes extensiones y no brindan información detallada que permita desarrollar un modelo adecuado que explique la evolución genética, que dio lugar a la morfología actual del EPA y del PAZ, al mismo tiempo que explique, en el caso del EPA, el origen de su composición heterogénea.

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

Describir las características petrológicas, geoquímicas, isotópicas y condiciones termobarométricas del EPA y del PAZ para interpretar el mecanismo de emplazamiento, la evolución magmática y sus implicaciones tectónicas en el magmatismo post-Laramídico del suroeste de México.

3.2.2 Objetivos particulares

- Reconocer las asociaciones minerales fundamentales, para poder identificar las variaciones y facies petrológicas y geoquímicas para el EPA y el PAZ, así como la correlación espacial que existe entre ellos y sus relaciones de contacto térmico y/o tectónico con la roca encajonante.
- Determinar la edad de las diferentes facies petrológicas del EPA y el PAZ.
- Con base en la estructura interna, las relaciones de contacto y cálculos geotermobarométricos; proponer un modelo de emplazamiento para el EPA y el PAZ, así como sus implicaciones tectónicas.

Capítulo 4. Metodología

Para la primera fase de trabajo, se elaboró un inventario de los trabajos geológicos publicados en relación con el EPA y con el PAZ, con el propósito de conocer el estado del arte para cada uno de los intrusivos, así como la interpretación geológica que algunos autores han propuesto para cada área (ver: Schaaf (1990), Schaaf *et al.* (1995), Garduño-Monroy *et al.* (1999), Martini *et al.* (2010), Morán-Zenteno *et al.* (2017)).

De manera simultánea, se recopiló el material cartográfico disponible impreso y digital en la plataforma del INEGI, (incluyendo ortofotos y modelos digitales de elevación) a escala 1:50, 000 de las regiones de Tumbiscatío de Ruíz (E13B68), General Francisco Villa “Las Cruces” (E13B69), Las Cañas (E14A61), Playitas (E13B78) y Arteaga (E13B79); el material descrito previamente fue utilizado para el estado de Michoacán. Por otro lado, para el análisis del PAZ se reunió el mismo tipo de material pero de las regiones de San Feliciano (E14A81) y La Unión (E14A11), las cuales se encuentran en el estado de Guerrero.

En este trabajo el material cartográfico constituye el componente principal y la base, para generar los diversos mapas preliminares (por ejemplo: hipsométrico, de pendientes y de sombras) utilizando los *software* especializado como el ArcGIS 10.2, *Global Mapper* y *Surfer* v.10. Esto se hizo con la finalidad de describir detalladamente la morfología y del basamento del TGc (Complejo Arteaga), las unidades volcanosedimentarias cretácicas (subterreno Zihuatanejo) y la secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno que afloran en la zona de Michoacán y Guerrero, así como la delimitación geográfica del EPA y del PAZ.

Los productos cartográficos generados, fueron complementados y cotejados con la información disponible por el SGM, en sus cartas geológicas-mineras a escala 1:50, 000 (Tumbiscatío de Ruíz (E13B68), General Francisco Villa “Las Cruces” (E13B69), Playitas (E13B78) y Arteaga (E13B79)) y 1:250, 000 (Lázaro Cárdenas (E1369), Ciudad Altamirano (E144) y Zihuatanejo (E14710)).

Como resultado de esta metodología se obtuvo una propuesta cartográfica para cada una de las zonas, así como de sus lineamientos morfoestructurales. Por otro lado, el trabajo de campo tuvo una duración de una semana y se realizó en el mes de junio del 2021; durante este proceso, se recolectaron un total de 28 muestras correspondientes al EPA, al PAZ y a la roca encajonante presente en cada una

de las zonas en donde afloran los intrusivos. De forma adicional, al inicio del trabajo ya se contaba con muestras colectadas en campañas de campo previas.

Concluida la campaña de campo, así como la posterior descripción y organización de las muestras recolectadas, se seleccionaron aquellos especímenes representativos de las unidades internas del EPA, de la roca encajonante y del PAZ para iniciar la segunda fase de trabajo, la cual incluye procesos de preparación mecánica de las muestras para sus respectivo análisis petrográfico y geoquímico.

Finalizada esta etapa de selección se preparó un conjunto de 19 láminas delgadas de la roca encajonante, del EPA y del PAZ. Una vez listas las láminas delgadas, se describió la petrografía a detalle de cada una de ellas, en donde se caracterizaron sus fases mineralógicas, cambios texturales, la relación entre los contactos de los minerales, y en los casos en donde fuera posible distinguir, las microtexturas.

A partir de las observaciones petrográficas se seleccionó un conjunto de muestras para su preparación mecánica y envío a los laboratorios para su análisis geoquímico con la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) para determinar el contenido de elementos mayores, también por el método de acoplamiento inductivo por ablación láser (LA-ICP-MS) para calcular el contenido de elementos traza y por último, la técnica de espectrometría de masas de ionización térmica (por sus siglas en inglés TIMS: *Thermal Ionization Mass Spectrometry*) para calcular las relaciones isotópicas de los sistemas Rb-Sr y Sm-Nd.

Los análisis de FRX se realizaron en el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) perteneciente al Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Cd. de México, utilizando el espectrómetro secuencial SIEMENS SRS-3000 con tubo de Rh y ventana de Berilio de 125 μm .

Las determinaciones del contenido de elementos traza se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) perteneciente al Centro de Geociencias de la UNAM (CGEO-UNAM) Unidad Juriquilla, Qro. utilizando el equipo THERMO SERIES XII. Mientras tanto, las determinaciones isotópicas se realizaron en las instalaciones del Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS-UNAM), Cd. de México, utilizando los espectrómetros de masas TRITON PLUS (Sr,Nd) y Finnigan MAT 262 (Rb,Sm).

A la par, se escogieron las unidades representativas para la búsqueda y extracción de zircones, con la finalidad de aplicar el método de fechamiento U-Pb; el cual se efectuó en el LEI-CGEO-UNAM utilizando el sistema integrado de ablación láser de excímeros, marca ASI (antes *Resonetics*), modelo *Resolution M050*.

Se seleccionó cuatro muestras representativas (tres del EPA y una del PAZ) para determinar la composición química mineral con análisis de microsonda electrónica. Una vez obtenidos estos datos, fue posible estimar las condiciones de presión-temperatura utilizando el geotermobarómetro del par anfíbol-plagioclasa (Amp-Plg).

Los análisis de microsonda electrónica se realizaron en las instalaciones del departamento de Ciencias de la Tierra, perteneciente a la Universidad de Milán, en Italia, utilizando un equipo JEOLJXA-8200 que trabajó en modo de dispersión de longitud de onda (WDS: *Wavelength Dispersive Spectrometers*).

El último paso empleado durante la realización de este estudio consistió en integrar y correlacionar los resultados cartográficos y los analíticos que se ilustran en la **Figura 12**. La integración de los resultados se ha orientado en plantear un modelo de emplazamiento del EPA y del PAZ.

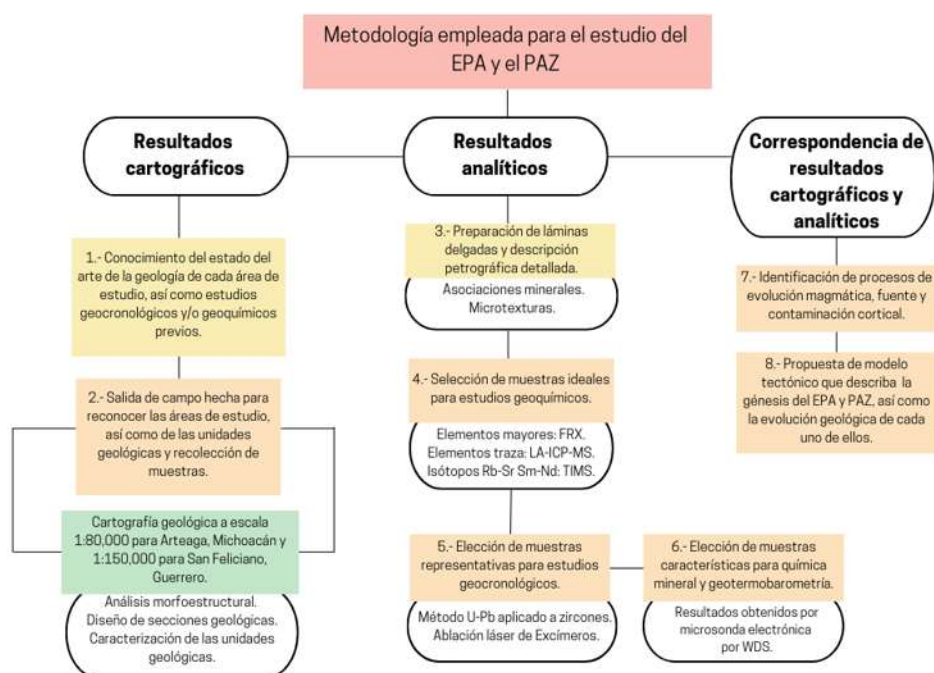


Figura 12. Síntesis de la metodología descrita y utilizada en el estudio del EPA y del PAZ.

Capítulo 5. Resultados

5.1 Cartografía del Ensemble Plutónico de Arteaga

Como se presenta en la **Figura 13**, la cartografía presentada en este trabajo para el EPA refleja una distribución superficial elongada similar a un frijol, donde su eje más largo tiene una longitud de 34 kilómetros orientado en sentido noreste-suroeste. Usando el *software* ArcGIS 10.2 se calculó el área total aflorante del EPA la cual resultó en 617.21 km². La disposición del EPA está controlada primordialmente por estructuras de primer orden con rumbo noreste-suroeste, las cuales están asociadas a la actividad tectónica de la Zona de Cizalla El Muleto. También se aprecian en menor cantidad, lineamientos morfoestructurales con rumbo oeste noroeste-este sureste, este noreste-oeste suroeste y este-oeste.

Se presentan en este trabajo un total de once subunidades que componen al EPA las cuales, basándonos en su composición, se clasifican en dos unidades de tonalita, tres de granodiorita, una de granito, una de diorita, dos de cuarzodiorita, una de monzogranito y una de sienogranito. *A posteriori* se explicará la correlación que existe entre ellas a partir de las transiciones observadas en campo y en la descripción petrografía.

El EPA se emplazó en el subterreno Zihuatanejo, por lo que es idóneo describir las relaciones de contacto y la secuela en las estructuras preexistentes de la roca encajonante, en el momento en que se emplazó el intrusivo.

En la extensión noreste del EPA, entre la ranchería El Olvido y los cerros Borcelano y La Bandera; en la región más septentrional, se encuentra la Depresión de Tepalcatepec. Esta estructura condiciona al EPA para desarrollar un alto estructural. Observándose con detalle la morfología del intrusivo, destacan los lineamientos con rumbo noroeste-sureste, algunos de ellos tienen trazas curvilíneas y paralelas al contacto del EPA con la roca encajonante.

Con relación al contacto térmico observado, se considera que ocurrió en un rango amplio de temperatura (baja-intermedia) reflejándose en el límite irregular que presenta el intrusivo en esta zona. Acerca de la relación intrusivo-encajonante, se propone a las unidades Ollita Colgada y Pitahayo como las que se emplazaron en la secuencia volcánica. Sin embargo, en la localidad El Olvido la unidad Ollita Colgada intrusiona a la Formación Varales; en esta área, el SGM recolectó la muestra **LC102** que corresponde a micaesquistos foliados con contenido de cuarzo, biotita, clorita y piritita.

Durante el trabajo de campo en esta porción del EPA sobre la carretera federal número 37, se observaron vetas de cuarzo con importante mineralización de sulfuros (galena y pirita). En el sector noroeste del EPA, en dirección a los cerros Boloncho, La Humedad y a la ranhería El Papayito, se reconocen lineamientos con rumbo noroeste-sureste y en menor cantidad, con rumbo nornoroeste-sursuroeste y este noreste-oeste suroeste.

En el área sur de este polígono, se observa una zona de cizalla que está afectando al EPA, y que pertenece al sistema de la ZCM. En la cartografía local el SGM la nombró Zona de Cizalla Antúnez (ZCA) y las relaciones de contacto entre la roca encajonante y el intrusivo se infieren de alta temperatura, reflejado en metamorfismo de contacto y regional, así como el propio desarrollo de la ZCA. Se observa que esta porción del EPA se emplazó en la Formación Varales, en los Esquistos Arteaga y en la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto (hacia el noroeste, suroeste y sureste). En cambio, se encuentra yuxtapuesta con la secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno (hacia el noreste). Cercano al cerro Boloncho el SGM recolectó la muestra **AR001** la cual describen como micaesquisto foliado rico en muscovita, albita y cuarzo, mientras tanto, cerca del cerro La Humedad obtuvieron la muestra **LC111** la cual describen como metalutita silicificada con contenido de materia orgánica.

Hacia el sur en dirección al cerro Patacua, El Calvario y a las ranherías Patacuas y Los Chupaderos, se observan lineamientos con rumbo noroeste-sureste pertenecientes a la ZCA y en menor cantidad con rumbo nornoroeste-sursuroeste, algunos de ellos tienen trazas curvilíneas paralelas al límite del EPA con el encajonante en este sector. Con relación al contacto térmico se interpreta como de alta temperatura, caracterizado en esencia por la ZCA. Se propone que esta porción del intrusivo se emplazó en los Esquistos Arteaga y en la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto (al nornoroeste y oeste suroeste). En las cercanías del cerro Patacuas el SGM recolectó la muestra **AR016** la cual describen como andesita rica en augita que presenta bajo grado de metamorfismo, mientras que en la localidad Los Chupaderos, recogieron la muestra **PL073** la cual describen como esquisto de actinolita-biotita, reflejando metamorfismo regional de bajo grado en facie de esquistos verdes para esta zona, mientras que en el cerro El Rincón y El Chicharrón el SGM recogieron la muestra **PL067**, la cual describen como *skarns* con contenido de diópsido y granate. Durante el trabajo de campo, se observaron afloramientos con abundante presencia de enclaves máficos en las unidades de Las Juntas y Parota de Cuevas.

En la zona sureste del EPA en dirección a los cerros Vallecitos, Otatera, La Lumbre y las rancherías Los Ciriancitos, Nombre de Dios y El Limoncito se reconocen lineamientos principalmente con rumbo oeste noroeste-este sureste y nornoroeste-sursureste y en menor medida con rumbo este noreste-oeste suroeste. En referencia a las relaciones de contacto se estima que ocurrió en un rango amplio de temperatura (baja-intermedia), manifestándose por el límite irregular del EPA en esta área. Se observa que este sector del intrusivo se emplazó en la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto (al sureste y sureste), mientras que al noreste se encuentra yuxtapuesto con la secuencia volcánica del Oligoceno-Eoceno.

El SGM, en los alrededores del poblado El Limoncito recolectó la muestra **AR111** la cual describen como *skarn* de grosularia indicando metamorfismo de contacto en la zona. Durante la salida de campo, se observó en el límite noroeste del intrusivo la coexistencia entre enjambre de diques máficos y líquidos tonalíticos residuales junto con enclaves máficos. Mientras al sur, se observó la transición composicional de cuarzodiorita a granodiorita a partir de muestras muy frescas y con relativa abundancia de enclaves máficos.

Finalmente, en la parte del suroeste del EPA, en dirección a la cabecera municipal de Arteaga y a los cerros La Alberca y La India destacan lineamientos de primer orden principalmente de rumbo noreste-suroeste, oeste suroeste-este noreste y oeste noroeste-este sureste. En ese sentido, en el límite septentrional del polígono, destaca la Zona de Cizalla La Peña (ZCP), mientras que en la parte más meridional destaca la Zona de Cizalla Cañitas (ZCC) ambas nombradas así por el SGM; sin embargo, ambas pertenecen regionalmente a la ZCM. Las relaciones de contacto del intrusivo con la roca encajonante en esta zona son las que tienen mayor complejidad en el EPA, lo cual se refleja en el grado de metamorfismo regional y de contacto reportado por el SGM y observado en campo, así como el desarrollo de dos zonas de cizalla. Debido al desarrollo de rasgos metamórficos más complejos, este se asocia a un contacto de alta temperatura, también se observa que el límite del EPA en esta zona es muy rectilíneo y más abrupto que en el resto de las zonas descritas anteriormente.

Para esta porción del intrusivo se interpreta que se emplazó en la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto (al norte) y en los esquistos Arteaga y en la Formación Varales (al suroeste y sursureste). El SGM recolectó dos muestras (**AR062** y **AR063**) en los alrededores de la ranchería El Higueral, las cuales describe como micaesquistos ricos en andalucita.

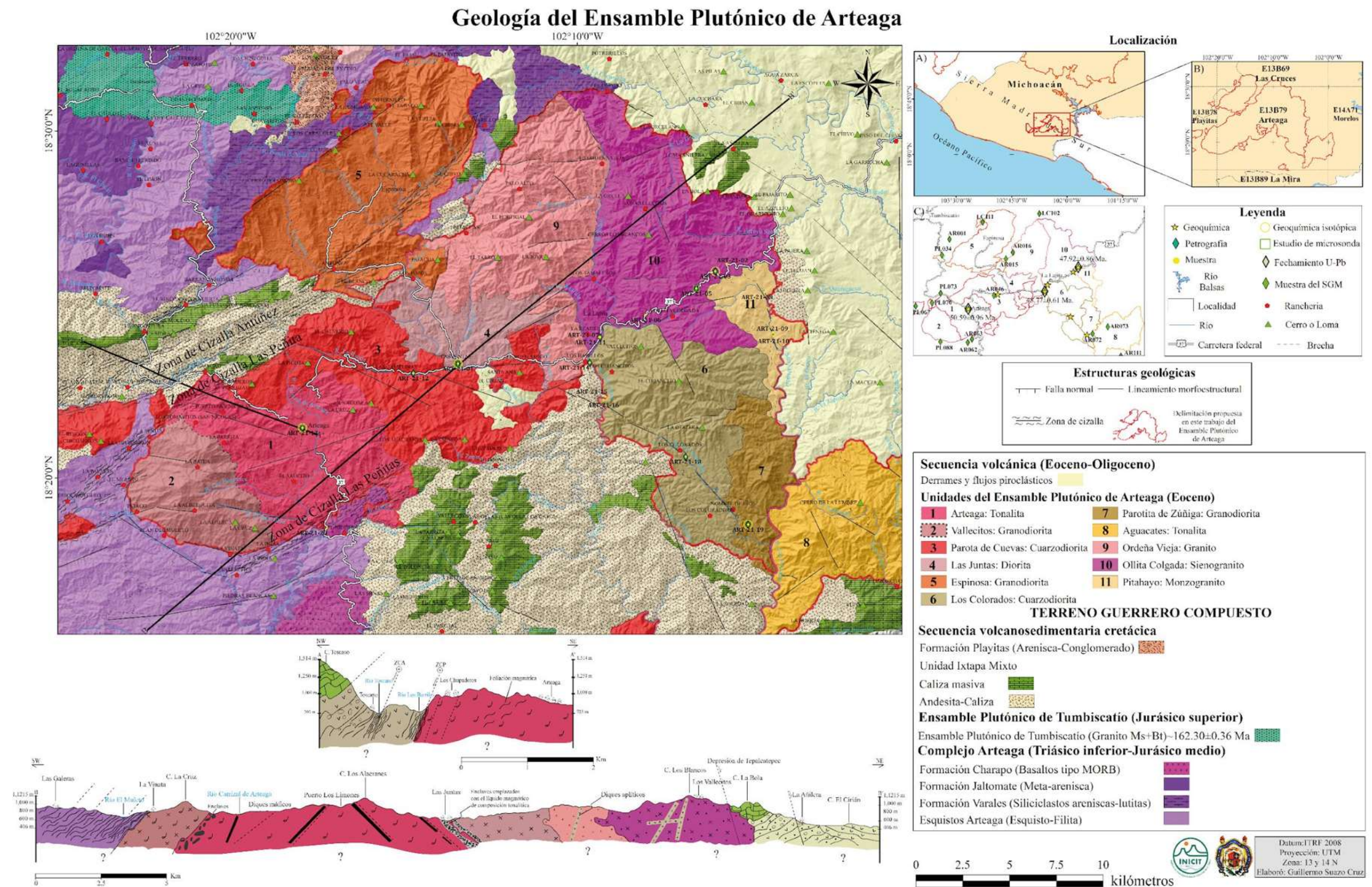


Figura 13. Cartografía geológica elaborada en este trabajo de la zona en donde aflora el EPA, la cual se obtuvo a partir del análisis morfoestructural del paisaje, trabajo de campo y la recopilación de datos de muestreo hechos por el SGM. A) Mapa de localización en donde se puede observar que el EPA se encuentra al suroeste del río Balsas. B) Nomenclatura empleada por INEGI para sus cartas topográficas a escala 1:50,000 en donde se distingue la distribución del EPA, así como en cuales cartas se proyecta. C) Localización de los puntos de muestreo del SGM, que corresponden al EPA y a la roca encajonante, así como la localización de las muestras reportadas en este trabajo. También se muestran las unidades morfoestructurales en las que se ha dividido el EPA.

5.1.1 Unidades del EPA

5.1.1.1 Tonalita unidad Arteaga (Ton-Art)

La Ton-Art se constituye de tonalita con alto contenido en minerales ferromagnesianos (biotita, hornblenda y en menor cantidad piroxeno). En el afloramiento observado en campo no se observaron estructuras complejas, conservado la homogeneidad mineralógica de la unidad.

Con base en los cálculos hechos en ArcGIS 10.2 se observa un área expuesta de 60.98 km², el cual presenta una distribución irregular con una orientación preferencial hacia el noroeste y extendiéndose hacia el sureste (**Figura 13**). Esta unidad aflora en la antigua pista de aterrizaje de la cabecera municipal de Arteaga, en donde se observaron afloramientos continuos de roca sana, fue en este punto donde se recolectó la muestra **ART-21-13** por lo que se sugiere como la localidad tipo.

A partir de sus características morfoestructurales y verificación de campo, se estima que la Ton-Art se extiende hacia el noroeste hasta las rancherías Los Tomasitos y Chupaderos, mientras que hacia el sureste-este sureste aflora hasta las cercanías de la ranchería El Tumbiriche.

Se estima que caminando aguas arriba sobre el río Los Horcones y/o El Imposible existe una variación composicional, así como el contacto con la unidad Vallecitos. Se puede observar que en su límite meridional y sursureste intrusiona a los Esquistos Arteaga, mientras que en la región sureste está en contacto con la Formación Charapo. Es notorio que en ambas direcciones se encuentra afectada por la ZCC. Por otro lado, en la región noroeste se emplazó en la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto; en esta zona la Ton-Art es afectada por la ZCP.

La muestra de mano (**Figura 14**) tiende a ser melanocrática, con minerales félsicos, principalmente plagioclasas, y minerales ferromagnesianos. En cuanto al contenido mineral, las plagioclasas, biotitas y anfíboles son predominantemente de grano medio (1-5 mm), mientras que el cuarzo, óxidos, clinopiroxenos, ortopiroxenos y feldespato potásico se encuentran en tamaño de grano fino (0.5-1 mm); en conjunto definen una textura inequigranular porfirítica. Respecto a su composición mineral, se observó en orden de abundancia: plagioclase, anfíbol, biotita, clinopiroxeno, óxidos, cuarzo, ortopiroxeno y feldespato potásico.



Figura 14. Muestra recolectada en la antigua pista de aterrizaje de la cabecera municipal de Arteaga. Se puede observar la gran abundancia de minerales ferromagnesianos en contraste al contenido de plagioclasa.

En función de las edades obtenidas por U-Pb aplicado en zircones en este trabajo, se propone a la Ton-Art como la unidad más antigua del EPA. Sin embargo, como antecedente, se tienen fechamientos obtenidos por el método K-Ar aplicado en biotita y en biotita-anfíbol hechos por el IMP (ver: **Tabla 1 Arteaga 001, 002 y 005**) y de Rb-Sr aplicado a roca total por Schaaf (1990) (ver: **Tabla 1 MS 37**) obteniéndose un rango de edad de 57 ± 2 Ma. a 52 ± 4 Ma.

5.1.1.2 Granodiorita unidad Vallecitos (Grd-Vall)

La Grd-Vall ha sido propuesta a partir de datos de campo disponibles en el informe técnico de la carta geológica-minera Playitas (E13B78) por Alvarado-Méndez *et al.* (2002) en conjunto con el estudio morfoestructural. De acuerdo con la valoración hecha en ArcGIS 10.2, se observa una superficie de roca expuesta de 32.70 km^2 con expresión semicircular que tiene una orientación preferencial hacia el noroeste y prolongándose hacia el sureste.

A partir de sus rasgos morfoestructurales, se determina que la unidad aflora sobre la brecha que conecta a las rancherías La Peñita con La India, así como caminando aguas arriba sobre el río Los Horcones y/o El Imposible se observe una variación composicional y el contacto con la Ton-Art, así como en la cima de la geoforma en las rancherías La Batea y La Alberquita. Se puede observar que en su región del noroeste-sursuroeste está en contacto con los Esquistos Arteaga (**Figura 13**) el cual, de acuerdo con la cartografía, es posible que se encuentre afectado por la ZCC.

Aunado a estas observaciones en el informe de Alvarado-Méndez *et al.* (2002) se describe en la ranchería La Peña al granito con zonas de deformación, notando foliación ondulante y una fuerte diferenciación a rocas lamprófidas, las cuales son de color oscuro, muy compactas con foliación incipiente. En ese mismo informe, se describe a la muestra **PL088 (Figura 13 C)**, como una roca de color blanco grisáceo que posee plagioclasa, minerales ferromagnesianos, cuarzo y feldespato; estos autores, clasifican a la muestra como una granodiorita.

Esta unidad no ha sido fechada, la edad más cercana a este polígono tiene un fechamiento obtenido por el IPM (ver: **Tabla 1, Arteaga 003**) con el método K-Ar en roca total de un esquistomicroclítico, el cual resultó en 46 ± 2 Ma.

5.1.1.3 Cuarzodiorita unidad Parota de Cuevas (QzDio-Cue)

La QzDio-Cue se compone de cuarzodiorita rica en minerales ferromagnesianos (biotita, anfíbol y piroxeno). Durante el trabajo de campo se observaron enclaves máficos de 3-5 cm de diámetro, así como posible foliación magmática reflejada en las plagioclasas y biotitas.

De acuerdo con los cálculos realizados en ArcGIS 10.2, se determina una superficie expuesta de 85.35 km², tiene una traza con una orientación preferencial hacia el noroeste y continuando hacia el sureste (**Figura 13**). Esta unidad aflora sobre la carretera federal 37, entre los kilómetros 261 y 262, próximo a la ranchería Las Camelinas (**Figura 13 B**) con afloramientos continuos de roca sana a débilmente intemperizada; en este tramo de la carretera se recolectó la muestra **ART-21-12** por lo que se propone como la localidad tipo.

A partir de sus características morfoestructurales, se considera que al oriente aflora esta unidad de manera aislada, en donde se encuentra la ranchería El Buen Amigo, y al oeste noroeste en los cerros El Rincón y Chicharrón. Entre tanto, se propone que en la zona noreste del cerro El Calvario, el río Antúnez pone en contacto a la QzDio-Cue con la unidad Dio-Jun, mientras que caminando aguas abajo sobre el río Carrizal de Arteaga, es probable encontrar el contacto con la unidad Dio-Jun, existiendo en ambos casos la posibilidad de observar cambios composicionales. Se puede observar que en su límite noroeste-nornoroeste y sureste-sursureste intrusiona a la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto, mientras que los lóbulos aislados, están en contacto con los Esquistos Arteaga (al oeste noroeste) y yuxtapuesto con la secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno (al oriente).

Al noroeste, en la ranhería Los Chupaderos existe la posibilidad de que la unidad se encuentra afectada por la ZCP. En el informe técnico del SGM presentado por Alvarado-Méndez *et al.* (2002) describen a la muestra **PL070 (Figura 13 C)**, como una roca de color gris verdoso de textura fanerítica equigranular, la cual posee plagioclasa, anfíbol, biotita, piroxeno, feldespato y esfena; en dicho documento se le asigna una clasificación de diorita.

Mientras tanto, en el informe de la carta geológica-minera Arteaga (E13B79) presentado por Torreblanca-Castro *et al.* (2004) describen a la muestra **AR046 (Figura 13 C)**, como una roca de color gris con tintes verdosos de textura fanerítica, la cual se constituye primordialmente de anfíbol y biotita, en menor cantidad, de plagioclasa y feldespato potásico; en este informe se clasifica como diorita de biotita-anfíbol.

Con respecto a la muestra de mano (**Figura 15 A**) esta es melanocrática resaltando la abundancia de minerales ferromagnesianos (biotita, anfíbol y óxidos), con acumulaciones de plagioclasas. Las biotitas, plagioclasas y anfíboles son de tamaño medio, mientras que el cuarzo es de grano fino; en conjunto definen una textura inequigranular porfirítica. En cuanto a su composición mineral se observó en orden de abundancia: biotita, anfíbol, óxidos, plagioclasa, cuarzo y pirita.

Se cuenta con una edad obtenida por Rb-Sr aplicado a roca total publicada por Schaaf (1990) (ver: **Tabla 1: MS 38**) y otra perteneciente al IMP obtenida por K-Ar aplicada en biotita (ver: **Tabla 1: Las Juntas**) en donde se define un rango de edad de 57 Ma a 62 ± 1 Ma.

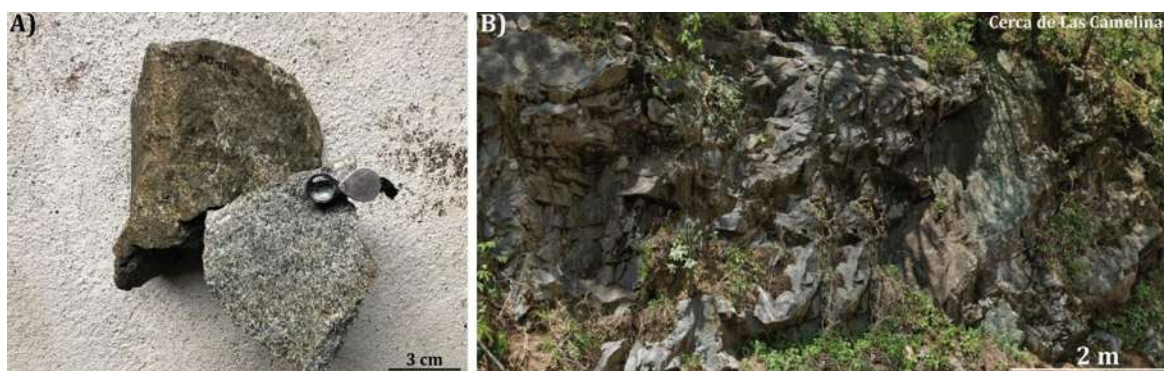


Figura 15. A) Muestra de mano correspondiente a la QzDio-Cue, extraída sobre la carretera federal 37, en donde se puede observar la abundancia de plagioclasa y el dominio de minerales ferromagnesianos. **B)** Afloramiento en donde se recolectó **ART-21-12** cerca de la ranhería Las Camelinas; se puede observar el color predominantemente verde oscuro a negro del intrusivo en esta zona.

5.1.1.4 Diorita unidad Las Juntas (Dio-Jun)

La Dio-Jun tiene una composición mineralógica predominantemente diorítica (alto contenido de minerales ferromagnesianos) que se encuentra intrusionada por fluidos magmáticos de composición tonalítica que, de manera simultánea, emplazaron a los enclaves máficos (**Figura 16 A**) (ver: Suazo-Cruz (2020)). La Dio-Jun refleja una de las estructuras más complejas observadas en campo que integran al EPA, como efecto de la coexistencia de procesos tipo *mingling* y *mixing*, así como la concurrencia de enclaves máficos; estos últimos cuentan con su propia complejidad debido a la variedad de formas, tamaños y orientación que poseen.

A partir de los cálculos hechos en ArcGIS 10.2, se propone una superficie expuesta de 24.01 km² que muestra una figura irregular con una orientación preferencial hacia el oeste noroeste (**Figura 13**). Esta unidad aflora en donde convergen los tributarios La Rueda, Antúnez, Espinosa y El Tarro para dar lugar al afluente principal Las Juntas en donde se encuentra asentada la ranhería homónima. Fue en este lugar en donde se colectó la muestra **ART-21-01-WR** de Suazo-Cruz (2020), por lo que se propone como localidad tipo.

En función de sus características morfoestructurales, se sugiere que la Dio-Jun se extiende hacia el noroeste-nornoroeste en la ranhería Los Pozos mientras que al oriente aflora hacia el río La Reatilla. A su vez, se propone que caminando aguas arriba sobre el río El Tarro y/o Espinosa existe el contacto con la unidad Espinosa y/u Ordeña Vieja.

Se puede observar en la **Figura 13** que al noroeste-nomoroeste la Dio-Jun está en contacto con la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto. Adicionalmente en la unidad se reflejan algunos lineamientos morfoestructurales en dirección este noreste-oeste suroeste y nornoreste-sursuroeste.

En muestra de mano de un enclave de composición diorítica (**Figura 16 B**), se observa de color gris a negro, reflejo de su gran abundancia de minerales ferromagnesianos (anfíbol, biotita y piroxeno). La mayoría de las plagioclasas, piroxenos y algunas biotitas son de grano fino mientras que los anfíboles son de grano medio en conjunto definen una textura equigranular hipidiomórfica. En su composición mineral se observó en orden de abundancia: plagioclasa, biotita, anfíbol, piroxeno, óxidos y en menor proporción, cuarzo y feldespato potásico.



Figura 16. A) Propuesta de afloramiento tipo para la Dio-Jun la cual se encuentra en las cercanías de la rancharía Las Juntas y sobre el río homónimo. Se puede observar algunas estructuras características de procesos *mingling* y *mixing*. **B)** Muestra de mano recolectada sobre el río Las Juntas y utilizada para hacer la descripción macro de los enclaves y del fluido magmático de composición tonalítica.

Por otra parte, la muestra de mano de la zona que corresponde al fluido magmático de composición tonalítica, es leucocrática con acumulaciones de minerales ferromagnesianos, entre los cuales destaca el anfíbol y la biotita. La mayoría de las plagioclasas son de grano grueso (5-10 mm), mientras que el cuarzo, anfíboles y biotitas son de grano medio; en total definen a una textura inequigranular porfirítica. Para su composición mineral se observó en orden de abundancia: plagioclasa, anfíbol, biotita, óxidos, cuarzo y feldespato potásico. Suazo-Cruz (2020) (ver: **Tabla 1: ART-21-01-WR**) obtuvo una edad por el método U-Pb en zircones de roca total de 49.83 ± 0.29 Ma.

5.1.1.5 Granodiorita unidad Espinosa (Grd-Esp)

La Grd-Esp se propone a partir de datos de campo disponibles en el informe técnico presentado por Alvarado-Méndez *et al.* (2002) y en el informe técnico de la carta geológica-minera Las Cruces (E13B69) por Gámez-Ordaz *et al.* (2009), en conjunto con el análisis morfoestructural.

De acuerdo con el cálculo hecho en ArcGIS 10.2 se estima una superficie expuesta de 91.46 km^2 la cual tiene forma de un óvalo achatado (**Figura 13**), el cual tiene una orientación preferencial hacia el noreste y continuando hacia el suroeste.

Con base en sus rasgos morfoestructurales se interpreta que la Grd-Esp aflora en la región noroeste del EPA, en dirección a los cerros Boloncho e Infiernillo y en la brecha que conecta a las rancherías El Valle y El Pajal. Sin embargo, se identificaron algunos lóbulos aislados pertenecientes a esta unidad que afloran en el río San Antonio, a la altura de la ranchería Los Charcos y en el río Espinosa cerca de la ranchería Palo Verde. Se interpreta que caminando aguas arriba de los ríos Antúnez, Guayabillas y Espinosa, en la región noroeste de Grd-Esp se encuentre el contacto con la Formación Varales y caminando aguas abajo sobre el río Guayabillas se encuentre el contacto con la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto y los Esquistos Arteaga. Se puede observar que en su parte septentrional es delimitado por un lineamiento noreste-suroeste, mientras que, en la región meridional existe una alta posibilidad de que se encuentra afectado por la ZCA.

En el informe de Gámez-Ordaz *et al.* (2009) se describen afloramientos de la unidad en la ranchería El Valle, que pertenece a una granodiorita de color gris verdoso en roca sana, amarillento cuando esta intemperizada, conformada de abundante plagioclasa, anfíbol y biotita, con pequeñas vetillas de clorita y epidota; a su vez, la roca se encuentra afectada por fallamiento y fracturamiento de moderado a intenso.

Alvarado-Méndez *et al.* (2002) describen a la roca que aflora en el río San Antonio como de composición granodiorítica en mayor grado con variaciones a diorita y en menor grado a hornblendita; de este afloramiento recolectaron la muestra **PL034 (Figura 13 C)**, la cual describen en muestra de mano como una roca de color negro con fenocristales de anfíbol y escasas plagioclasas. No hay publicaciones de la edad de esta unidad.

5.1.1.6 Cuarzodiorita unidad Los Colorados (QzDio-Col)

La QzDio-Col se caracteriza por ser rica en anfíbol en su límite del sursureste-sureste, mientras que en su límite oeste suroeste, en contacto con la unidad Ordeña Vieja, se reconocieron rocas de composición granodiorítica con abundante anfíbol y biotita. En el límite sursureste-sureste se observaron algunos diques que cortaban a la unidad los cuales tienen espesores variables de ~ 20-30 cm.

En cuanto a la composición de la roca esta es persistente no obstante, en la zona del oeste noroeste se observó un escenario más complejo, debido a la presencia de diques máficos y fluidos magmáticos de composición tonalítica que cortan a la granodiorita (**Figura 17 B y C**).

Adicionalmente, se observaron pequeños enclaves máficos de 5 cm de diámetro en la roca, así como foliación magmática en los anfíboles y plagioclasas de la granodiorita.

Con base en los cálculos hechos por ArcGIS 10.2 se estima una superficie de 60.84 km² de forma irregular con una orientación preferencial hacia el noroeste y que se extiende hacia el sureste (**Figura 13**).

Para el afloramiento de la región oeste-noroeste, el cual se encuentra en los alrededores de la ranchería Los Habillos y sobre el río Las Lajas, se recolectó la muestra **ART-21-14A** (granodiorita), **ART-21-14B** (fluido magmático de composición tonalítica) y **ART-21-14C** (dique máfico). Mientras que para la región sursureste-sureste, sobre la brecha que conecta a las rancherías Los Colorados y Nombre de Dios paralelo al río Los Salitrillos se recolectó la muestra **ART-21-18** (**Figura 18**), proponiéndose esta zona como el afloramiento tipo, y la región del oeste-noroeste como la transición composicional a la unidad Ordeña Vieja.

A partir de sus características morfoestructurales, se propone que esta unidad se extiende en su región septentrional hasta el cerro Vallecitos, mientras que su región meridional se prolonga unos metros más allá de la ranchería Los Coloraditos. Al norte se encuentra en contacto con la unidad Ollita Colgada y al sureste de la QzDio-Col, en donde se observa que se emplazó en la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto, adicionalmente se sugiere que el río Los Salitrillos representa el contacto de la QzDio-Col con la unidad Parotita de Zúñiga. En la primera unidad se observa que es afectada por lineamientos morfoestructurales con rumbo oeste noroeste-sursureste y en menor intensidad por lineamientos oeste suroeste-este noreste.

En muestra de mano, **ART-21-14A** (**Figura 17, A**) la roca es leucocrática con gran abundancia de minerales ferromagnesianos (anfíbol, biotita y clinopiroxeno) y en menor cantidad feldespato potásico. Las plagioclasas, biotitas y anfíboles son de grano medio, mientras que el feldespato potásico, cuarzo y clinopiroxeno son de grano fino; en conjunto definen a una textura inequigranular ocelar.

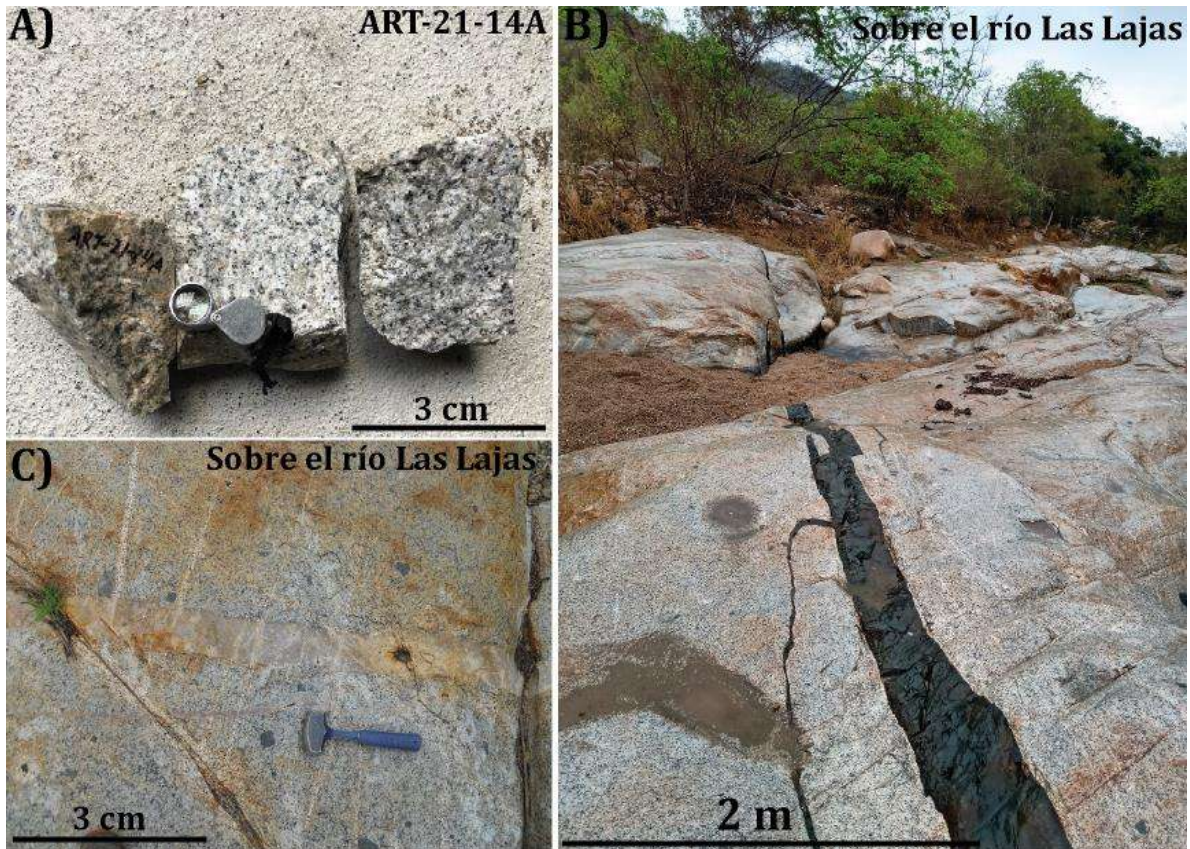


Figura 17. A) Muestra de mano recolectada en la zona oeste noroeste de la QzDio-Col, la muestra se recolectó en el afloramiento que se observa en B). B) Como se puede observar, en el río Las Lajas se encuentra la interacción de diques de composición máfica, con el granito (ART-21-14A); de estos diques proviene la muestra ART-21-14C. C) Afloramiento de fluidos magmáticos de composición tonalítica que se encuentran intrusionando al granito y que, al mismo tiempo, en algunas zonas interactúan con los diques que se observan en la imagen B.

Por otro lado, la muestra **ART-21-18** (Figura 18) es leucocrática con abundancia de biotita y anfíbol. Las plagioclasas son de grano grueso, mientras que el cuarzo, óxidos, feldespato potásico, biotita y anfíbol son de grano medio y por último, la esfena es de grano fino; en conjunto forman una textura inequigranular poiquilítica. En lo que respecta a su composición mineral se observó en orden de abundancia: plagioclasa, anfíbol, biotita, óxidos, cuarzo y feldespato potásico. No hay edades publicadas de esta unidad.



Figura 18. Muestra de mano recolectada al sursureste-sureste de la QzDio-Col. Comparando con la muestra de la **Figura 17 A)**, se puede observar que la muestra **ART-21-18** tiene mayor abundancia de plagioclasa, así como una menor abundancia de minerales ferromagnesianos.

5.1.1.7 Granodiorita unidad Parotita de Zuñiga (Grd-Zuñ)

La Grd-Zuñ se constituye de granodiorita que tiene abundantes minerales ferromagnesianos. En el afloramiento observado en campo también es intrusionada por diques máficos similares a los de la unidad QzDio-Col. Sin embargo, sí se aprecia una ligera variación composicional en la roca granodiorítica.

Utilizando ArcGIS 10.2 se calcula un área expuesta de 21.53 km², la cual tiene forma de óvalo achatado con una orientación preferencial hacia el norte y extendiéndose hacia el sur (**Figura 13**). Esta unidad aflora sobre la brecha que lleva a la ranhería Nombre de Dios y unos metros más adelante en dirección paralela al río Los Salitrillos, alrededor de esta zona, se recolectó la muestra **ART-21-19** (**Figura 13**) por lo que se sugiere como localidad tipo.

En función de sus características morfoestructurales se observa que la unidad se extiende en su región septentrional, hasta la ranhería Cobano de Aguacola mientras que, en la zona meridional aflora unos metros más al sur de la ranhería Plan Grande. Se aprecia que el río San Salvador pone en contacto la Grd-Zuñ con la unidad Aguacates mientras que, en su región más septentrional se encuentra yuxtapuesto con la secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno.

En la zona meridional se interpreta el contacto con la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto. La muestra de mano (**Figura 19**) es leucocrática con gran abundancia de minerales ferromagnesianos. Las plagioclasas son de grano grueso, el tamaño de los anfíboles varía de grano grueso a medio, mientras el cuarzo, la biotita, el feldespato potásico y la esfena son de grano fino; en conjunto definen una textura inequigranular poiquilítica. En su composición mineral se observó en orden de abundancia: plagioclasa, anfíbol, biotita, óxidos, cuarzo, feldespato potásico y esfena.



Figura 19. Muestra de mano recolectada sobre el río Los Salitrillos. Esta muestra corresponde a la unidad Grd-Zuñ se nota una gran similitud con la muestra de la **Figura 18**. Destaca una mayor abundancia de minerales ferromagnesianos en esta muestra respecto a la muestra **ART-21-18**.

Torreblanca-Castro *et al.* (2004) recolectaron la muestra **AR072** (**Figura 13 C**) sobre el río San Salvador, cerca de la rancharía La Higuera Baleada, en un sitio muy cercano a la colecta de la muestra **ART-21-19** de este trabajo. Se describe a **AR072** como una roca de color gris claro con acumulaciones de minerales ferromagnesianos, como minerales principales mencionan plagioclasa, biotita, anfíbol, cuarzo, óxidos y feldespato potásico. Como minerales accesorios mencionan vetillas de fluoroapatito; dichos autores, clasifican a **AR072**, como una granodiorita de biotita-anfíbol. Hasta ahora no se cuenta con ningún tipo de fechamiento para esta zona del EPA.

5.1.1.8 Tonalita unidad Aguacates (Ton-Ag)

La Ton-Ag ha sido definida a partir de datos de campo presentados por Torreblanca-Castro *et al.* (2004) en su informe técnico del SGM en conjunto con el análisis morfoestructural.

Conforme a la evaluación hecha con ArcGIS 10.2 se calcula una superficie de roca expuesta de 63.76 km² de forma semicircular que tiene una orientación preferencial hacia el noreste y prolongándose hacia el sureste.

A partir de sus rasgos morfoestructurales (**Figura 13**), se propone que la unidad aflora cruzando el río San Salvador en dirección a las rancherías Las Parotas y El Limoncito. En su segmento septentrional se propone que aflora en las rancherías Los Aguacates y Los Renovales, mientras que, en la zona meridional, alcanza a aflorar en la ranchería La Soledad. Se puede observar que en su región sur-sureste se encuentra en contacto con la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto, mientras que la región norte-noreste se encuentra yuxtapuesta con la secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno. La Ton-Ag presenta lineamientos morfoestructurales con rumbo oeste noroeste-este sureste y noroeste-sureste.

Torreblanca-Castro *et al.* (2004) recolectaron la muestra **AR073** (**Figura 13 C**) en la cañada formada por el río Los Aguacates; la cual describen en general como una roca de color crema con acumulaciones de minerales ferromagnesianos. Como minerales esenciales observaron plagioclasa, cuarzo, anfíbol, óxidos y feldespatos potásicos y como mineral accesorio reportan fluoropatito, clasificando a la roca como tonalita. No se cuenta con edades reportadas de esta unidad.

5.1.1.9 Granito unidad de Ordeña Vieja (Gr-Vij)

La Gr-Vij ha sido propuesta con base en datos de campo presentados por Torreblanca-Castro *et al.* (2004) en su informe técnico del SGM, en conjunto con el análisis morfoestructural.

A partir de los cálculos hechos con ArcGIS 10.2, se estima una superficie de roca expuesta de 69.85 km² con forma irregular que tiene una orientación preferencial hacia el norte-noreste y prolongándose hacia el sur.

Conforme a sus rasgos morfoestructurales (**Figura 13**), se propone que la Gr-Vij aflora en dirección al norte, en la ranchería La Ordeña Vieja mientras que hacia el occidente, se encuentra en contacto con la Grd-Esp en el cerro Patacua.

Al suroeste en contacto con la Dio-Jun cerca de la rancharía La Lobera, mientras que al oriente, el río Salate delimita de manera natural a esta unidad y la pone en contacto con la unidad de Ollita Colgada. En dirección al sur, se propone que alcanza a aflorar en las rancherías Los Limones y Los Habillos.

Se observa que hacia el noroeste se encuentra en contacto con afloramientos pertenecientes a la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto, así como de los Esquistos Arteaga y la Formación Varales; también se observa que la Gr-Vij se encuentra afectada por lineamientos morfoestructurales con rumbo noreste-suroeste, oeste suroeste-este noreste y en menor cantidad, noroeste-sureste.

Torreblanca-Castro *et al.* (2004) recolectaron la muestra **AR015 (Figura 13 C)**, al sureste de la rancharía Patacuas, la cual describen en general como una roca de color crema, observando minerales de feldespato potásico, cuarzo, micas y óxidos de hierro. Como mineral accesorio, reportan fluoroapatito. Por último, clasifican a la muestra como granito de biotita. No hay reportes de edad de esta unidad.

5.1.1.10 Sienogranito unidad de Ollita Colgada (Sien-Oll)

La Sien-Oll es la unidad con mayor cantidad de muestras recolectadas en este trabajo, derivado a que aflora sobre la carretera federal 37 facilitando su acceso. Se trata de rocas de sienogranito (**Figura 20**) enriquecidas en feldespato potásico en sentido noreste-suroeste, hasta alcanzar el campo de los granitos de feldespato alcalino. Sin embargo, en el sector más meridional de la unidad, en donde colinda con las unidades Gr-Vij y QzDi-Col, cerca de la rancharía La Reatilla, se observa una variación composicional importante alcanzando los campos de cuarzodiorita y tonalita, así como estructuras importantes de *mixing* y *mingling* (**Figura 23 B y C**).

Con base en los cálculos hechos con ArcGIS 10.2 se propone una superficie de roca expuesta de 90.91 km², la cual exhibe una distribución noroeste-sureste.

De esta unidad se colectaron muestras que permiten caracterizar al sector del sureste-este sureste (**ART-21-02, ART-21-03, ART-21-05 y ART-21-06; Figura 20**), que aflora principalmente sobre la carretera federal 37 (**Figura 21**) pasando por las rancherías Ollita Colgada y La Lajita. Para el segmento del sursureste-sureste se recolectaron las muestras **ART-21-07 (Figura 22)**, al sur de la rancharía La Reatilla sobre la misma carretera, y **ART-21-11 (Figura 23 A)**, sobre el río Salate.

A partir de la descripción se propone a la localidad de Ollita Colgada como localidad tipo, a la cual pertenece la muestra **ART-21-06 (Figura 20 D)**.

Basado en sus características morfoestructurales se propone que esta unidad se extiende en su zona septentrional a la ranhería El Olvido, mientras que en su sección meridional se propone unos metros delante de la ranhería La Reatilla.

Respecto a los contactos se observa que la unidad Sien-Oll al norte está en contacto con la Formación Varales y con las calizas de la secuencia volcanosedimentaria del miembro Ixtapa Mixto mientras que, al noreste se encuentra yuxtapuesta con la secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno. También se puede observar que la unidad se encuentra afectada por algunos lineamientos norte noroeste-sursureste y oeste-este.

En muestra de mano **ART-21-02 (Figura 20 A)** se caracteriza por ser predominantemente de tonos rosas con plagioclasa y en menor abundancia se observan cristales de cuarzo. Los feldespatos potásicos y las plagioclasas son de grano medio, mientras que el cuarzo, las biotitas y los anfíboles son de grano fino; en conjunto definen una textura inequigranular poiquilítica. En cuanto a su composición mineral, se observó en orden de abundancia: feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, anfíbol, biotita y óxidos. El color, distribución, abundancia mineral y textura de la muestra **ART-21-03 (Figura 20 B)** es similar a los mostrados por **ART-21-02**, la mayor diferencia es que las plagioclasas, junto con los minerales ferromagnesianos son de grano fino, mientras que el cuarzo y el feldespato potásico son de grano medio.

En **ART-21-05 (Figura 20 C)**, se observa similitud con **ART-21-03** en cuanto a color, composición y abundancia mineral; la diferencia se encuentra en el tamaño de los minerales que la constituyen debido a que en conjunto forman a una textura equigranular panidiomórfica. En **ART-21-06 (Figura 20 D)**, se observa una diferencia importante en cuanto al tamaño de los minerales, si bien conserva su color rosado, distribución y abundancia mineral, los minerales máficos se observan cloritizados, mientras que el cuarzo es de grano grueso y la plagioclasa junto con el feldespato potásico, son de grano medio; en conjunto definen a una textura inequigranular porfirítica.



Figura 20. Muestras de mano pertenecientes a la Sien-Oll. en su sección del sureste-este sureste. Las muestras de los incisos A, B y D son de composición sienogranítica, mientras que la muestra del inciso C se enriquece considerablemente en feldespato alcalino.



Figura 21. Afloramientos pertenecientes a la región noreste-suroeste de la unidad Sien-Oll en donde predomina la composición de sienogranito. A la par, se observa que el granito tiene un grado de intemperismo y fracturamiento ligero-moderado. Todos los afloramientos se encuentran sobre la carretera federal 37, próximo a llegar a la cabecera municipal de Arteaga.

Hasta aquí se han descrito las muestras recolectadas en la zona noreste-suroeste, a continuación, se describen las muestras que corresponden a la zona sursureste-sureste. La muestra **ART-21-07** (**Figura 22**) es leucocrática, con algunas acumulaciones asociadas a minerales ferromagnesianos cloritizados. Las plagioclasas y los feldespatos potásicos son de grano medio, mientras que el cuarzo, anfíboles y biotitas son de grano fino; en conjunto definen a una textura inequigranular porfídica.



Figura 22. Muestra perteneciente a la región sursureste-sureste de la unidad Sien-Oll en donde se puede observar un cambio composicional importante, manifestando en el color, el cual es más claro.

Por último, en **ART-21-11** (**Figura 23 A**) se observan colores claros con baja abundancia de minerales ferromagnesianos, mientras que, las plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo son de grano medio; la biotita, óxidos y anfíbol son de grano fino y en conjunto forman una textura inequigranular poiquilítica. Con respecto a la edad se cuenta con una isócrona obtenida por Rb-Sr en roca total publicada por Schaaf (1990) (ver: **Tabla 1, MS 39**) la cual es de 57 Ma.



Figura 23. A) Muestra colectada sobre el río Las Lajas, la cual es muy diferente a las muestras de la **Figura 20**. B) Estructura vista sobre el río donde se puede observar cómo la roca encajonante se encuentra asimilando parcialmente a otra roca que, a juzgar por su color, es de composición más máfica. C) Otra estructura similar a la descrita anteriormente, en donde resalta la forma geométrica muy bien definida, sin embargo, se observa una variación composicional y en el tamaño de grano.

5.1.1.11 Monzogranito unidad Pitahayo (MzGr-Pit)

La unidad de MzGr-Pit se caracteriza por constituirse de rocas de composición variada entre el campo de monzogranito y monzonita con gran cantidad de minerales ferromagnesianos. Se recolectaron tres muestras pertenecientes a la MzGr-Pit las cuales son: **ART-21-08**, **ART-21-09** y **ART-21-10**. En el área en donde se obtuvo la primera muestra destaca que el intrusivo se encuentra deformado por cizalla, mostrando texturas que varían de cataclástico a ligeramente milonitizado (**Figura 24 B**), observándose afloramientos continuos de roca muy intemperizados y fracturados (**Figura 24 C**). Las otras dos muestras fueron recolectadas sobre el río San Salvador donde destaca la presencia de pequeños enclaves máficos de un diámetro de 5 cm.

Los cálculos hechos con ArcGIS 10.2 permiten definir una superficie de roca aflorante 16.18 km², de forma irregular con una orientación preferencial hacia el noroeste y que se extiende hacia el sursureste-sureste (**Figura 13**).

Se propone al afloramiento en donde se extrajo a la muestra **ART-21-10** como afloramiento tipo, debido a que es la zona en donde se encontró la roca más sana y menos intemperizada.

En función de sus características morfoestructurales se observa que la MzGr-Pit se extiende hacia el noreste hasta llegar a la ranhería San Salvador y se extiende hacia el sursureste-sureste va hasta llegar a la ranhería Cobano de Aguacola poniéndose en contacto con las unidades Grd-Zuñ y QzDio-Col; siendo probablemente una zona de cambio composicional entre unidades. Se propone que caminando aguas arriba sobre el río San Salvador se encuentre yuxtapuesto con la secuencia volcánica del Eoceno-Oligoceno, mientras que se observa que la zona del noreste intrusión a la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto.

En muestra de mano la unidad **ART-21-08 (Figura 24 A)** es color marrón al intemperismo mientras que en las áreas sanas, se caracteriza por ser de color rosa. Los feldespatos potásicos, plagioclasas y cuarzo son de grano medio, mientras que los anfíboles, biotitas y óxidos son de grano fino; reflejando una textura equigranular hipidiomórfica. En cuanto a su composición mineral, se observó en orden de abundancia: feldespato potásico, plagioclasa, anfíbol, biotita, cuarzo y óxidos.

La muestra **ART-21-09 (Figura 25 A)** tiene mayor intemperismo distinguiéndose en áreas sanas un color rosa con abundancia de minerales ferromagnesianos, intemperizados y sanos. Los feldespatos potásicos en conjunto con el cuarzo tienen un tamaño de grano medio, mientras que las plagioclasas, anfíboles y biotitas son de grano medio-fino reflejando una textura equigranular hipidiomórfica. En cuanto a su composición mineral, se observó en orden de abundancia: feldespato potásico, anfíbol, plagioclasa, biotita, cuarzo y óxidos.

Por último, la muestra **ART-21-10 (Figura 25 B)**, presenta de manera general un color rosa con la acumulación de plagioclasa y en menor abundancia aglomeraciones de biotita y anfíbol. Las plagioclasas predominan en tamaño de grano medio, mientras que el feldespato potásico, junto al cuarzo y los minerales ferromagnesianos, son de grano fino; en conjunto definen a una textura inequigranular porfirítica, en cuanto a su composición mineral, se observó en orden de abundancia: plagioclasa, feldespato potásico, anfíbol, biotita, cuarzo y óxidos. No se tiene reporte de la edad de esta unidad.



Figura 24. A) Muestra de mano perteneciente a la zona del EPA que se encuentra milonitizado. B) Afloramiento en donde se recolectó la muestra **ART-21-08**, en donde se puede observar al granitoide de cataclástico a parcialmente milonitizado. C) Afloramiento de donde se extrajo **ART-21-08**, sobre el río San Salvador.



Figura 25. A) Muestra recolectada más al sur de donde se extrajo ART-21-08. Algo contrastante, es que en esta zona el granitoide ya no se encuentra milonitizado. C) Muestra correspondiente a la parte más austral de la MzGr-Pit que se pudo recolectar en campo. Como se observa, es una muestra con menor grado de intemperismo, a diferencia de las anteriores.

5.2 Cartografía del Plutón de Agua Zarca

En la **Figura 26** se observa la cartografía definida para el PAZ, la cual tiene una estructura similar a un óvalo donde su eje más largo tiene una longitud 16.01 km orientado en sentido oeste noroeste-este sureste. Con apoyo de ArcGIS 10.2 se calculó una superficie de roca aflorante de 135.42 km². El arreglo de este intrusivo se encuentra condicionado principalmente por estructuras de primer orden oeste noroeste-este sureste, seguido en menor cantidad, de estructuras de segundo y tercer orden con orientación noroeste-sureste.

A partir del estudio morfoestructural se presenta la delimitación del PAZ, así como de algunas unidades geológicas pertenecientes a la roca huésped. En respuesta a la composición mineralógica homogénea observada en este plutón, así como su menor superficie aflorante que es cerca de 4.5 veces menor que la superficie del EPA, no se reconocieron unidades menores y se muestra como una sola unidad (**Figura 26**). El PAZ se emplazó en el subterreno Zihuatanejo por ello, también se describen las relaciones de contacto con la roca encajonante y las estructuras de deformación relacionadas.

En la zona más septentrional del PAZ sobre la carretera federal 37 próximo a la rancharía Los Pochotes, se propone el límite del intrusivo, el cual hacia el noreste, se encuentra en contacto inmediato con calizas pertenecientes al grupo Ixtapa Calcáreo, mientras que hacia el noroeste se encuentra con unidades de intercalaciones de arenisca y caliza pertenecientes al miembro La Unión.

Cerca de Los Pochotes se recolectó la muestra **ART-21-29** la cual se clasifica como roca corneana (mármol y *hornfels*). Por otro lado, el PAZ presenta lineamientos paralelos primordialmente oeste noroeste-este sureste. En cuanto al contacto térmico se observa que en la zona septentrional, ocurrió a temperatura variable (baja-intermedia), reflejado en los límites irregulares que presenta el PAZ con respecto a la roca huésped que se expone en el oriente y occidente.

En el área meridional del intrusivo sobre la carretera federal 37, pasando la caseta de cobro San Feliciano se establece el límite del PAZ, el cual se encuentra intrusionando a las areniscas intercaladas con caliza de la secuencia volcanosedimentaria cretácica del miembro Ixtapa Mixto. Pasando la rancharía Las Palancas, tomando la desviación a la carretera federal 37 se recogió la muestra **ART-21-26**, la cual se clasificó como arenisca perteneciente al miembro La Unión. Con relación al contacto térmico observado, se estima que ocurrió a temperatura alta reflejado en el límite recto que se observa si se compara con la zona septentrional.

En la zona oriental en dirección a los cerros Tumbiriche y El Tigre se traza el límite del PAZ, el cual se encuentra intrusionando a las areniscas intercaladas con caliza, y a las calizas masivas de la secuencia volcanosedimentaria de la unidad Ixtapa Mixto e Ixtapa Calcáreo, respectivamente. En esta región no se recolectaron muestras. También se observan lineamientos de segundo orden oeste noroeste-este sureste y uno de primer orden noreste-suroeste.

Con relación al contacto térmico observado en la zona occidental, se estima fue a temperatura variable (baja-intermedia), reflejado en los límites irregulares que presenta el PAZ con respecto a las rocas de la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto e Ixtapa Calcáreo.

En la zona occidental del intrusivo, en dirección del cerro El Jazmín se delinea el límite del PAZ, el cual se encuentra en contacto con la gran mayoría de las unidades que pertenecen al subterreno Zihuatanejo.

Hacia el suroeste-noroeste se encuentra en contacto con la secuencia volcanosedimentaria cretácica de la unidad Ixtapa Mixto, mientras que, al norte, se encuentra en contacto con conglomerado perteneciente al miembro La Unión. En esta área no se recolectaron muestras, en cuanto a los lineamientos, la gran mayoría se propone de segundo y tercer orden en sentido oeste noroeste-este sureste. Con relación al contacto térmico observado en la zona occidental, se deduce que ocurrió a temperatura variable (baja-intermedia), reflejado en los límites irregulares que presenta el intrusivo con respecto a las rocas de la unidad Ixtapa Mixto y el miembro La Unión.

5.2.1 Unidad del PAZ

El PAZ se caracteriza por constituirse de rocas de composición granítica con escasa variación hacia el campo de la monzonita; las cuales tienen una distribución equitativa entre los minerales ferromagnesianos y félsicos. Se recolectaron dos muestras sobre la carretera federal 37 las cuales son: **ART-21-27** y **ART-21-28**.

En el afloramiento donde se obtuvo la primera muestra, resalta que el intrusivo se encuentra muy intemperizado (**Figura 27 B**), observándose abundantes minerales ferromagnesianos cloritizados, a su vez se observan afloramientos aislados de roca derivado de la construcción de la carretera federal 37, entre tanto, no se observaron estructuras o cambios composicionales importantes en este afloramiento.

Por otro lado, la zona en donde se extrajo la muestra **ART-21-28 (Figura 28 B)** tiene rocas relativamente más sanas a diferencia del punto anterior, observándose menor cantidad de minerales ferromagnesianos cloritizados, así como el color rosado típico de los feldespatos potásicos. Con base en la buena calidad de rocas encontradas en campo de este plutón, se propone al afloramiento en donde se extrajo la muestra **ART-21-28** como afloramiento tipo.

En muestra fresca de mano la unidad **ART-21-27 (Figura 27 A)** se observa de color rosa. Los feldespatos potásicos y plagioclasas son de grano medio, mientras que los anfíboles, biotitas, óxidos y cuarzo son de grano fino; en conjunto definen una textura inequigranular porfirítica. Respecto a su composición mineral se observó en orden de abundancia: feldespato potásico, plagioclasa, biotita, anfíbol, cuarzo y óxidos.

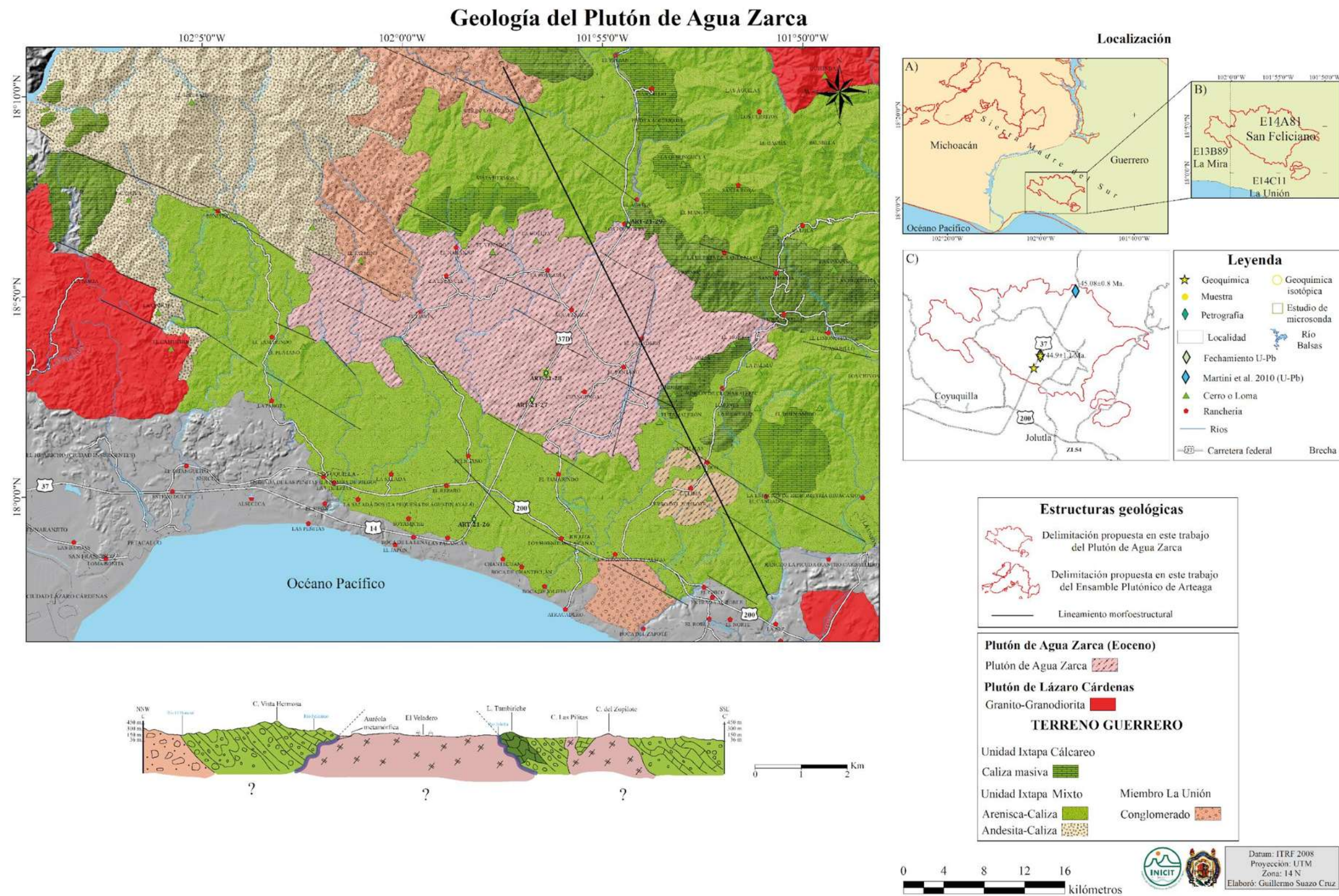


Figura 26. Cartografía geológica de la zona en donde aflora el PAZ, obtenida del análisis morfoestructural del paisaje y trabajo de campo. A) Mapa de localización a escala del estado de Guerrero, en donde se puede observar que el PAZ se encuentra al sureste del río Balsas. B) Nomenclatura empleada por INEGI para sus cartas topográficas a escala 1:50,000 en donde se puede distinguir la distribución del PAZ. C) Localización de los puntos de muestreo hechos en el trabajo de campo, correspondientes al EPA y a la roca encajonante, así como la ubicación de la roca fechada por Martini *et al.* (2010).

La muestra **ART-21-28** (**Figura 28 A**) se observa en mucho mejor estado que la muestra anterior, así como de color rosa con acumulaciones de plagioclasas. Los feldespatos potásicos, cuarzo y plagioclasea son de grano medio, mientras que las biotitas, anfíboles y óxidos son de grano fino; en conjunto reflejan una textura inequigranular poiquilítica. En cuanto a su composición mineral, se observó en orden de abundancia: feldespato potásico, anfíbol, plagioclasea, biotita, cuarzo y óxidos.

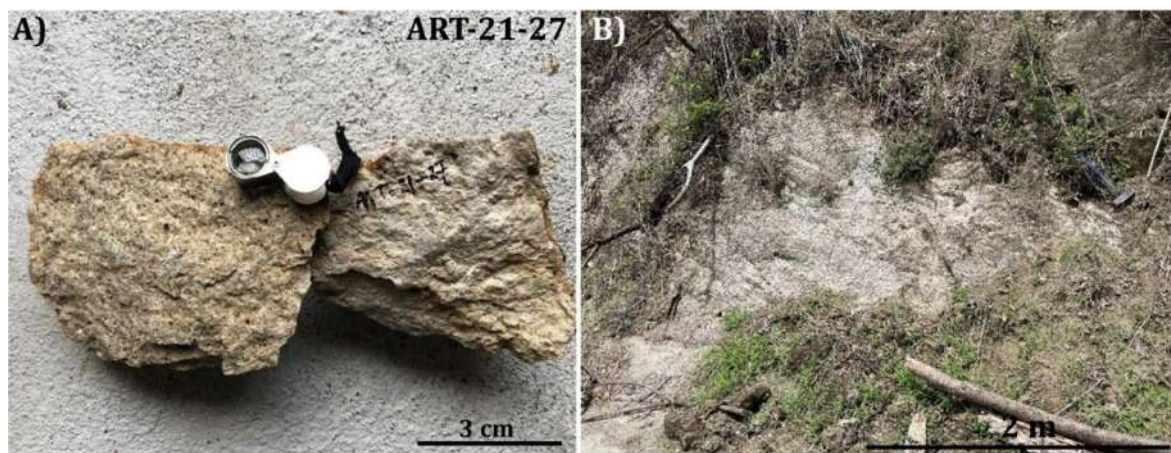


Figura 27. A) Muestra de mano colectada pasando la caseta de cobro San Feliciano, se puede observar que se encuentra débil a moderadamente intemperizada. **B)** Afloramiento sobre la carretera federal 37 en donde se colectó **ART-21-27**, se puede apreciar la textura característica del granito intemperizado.

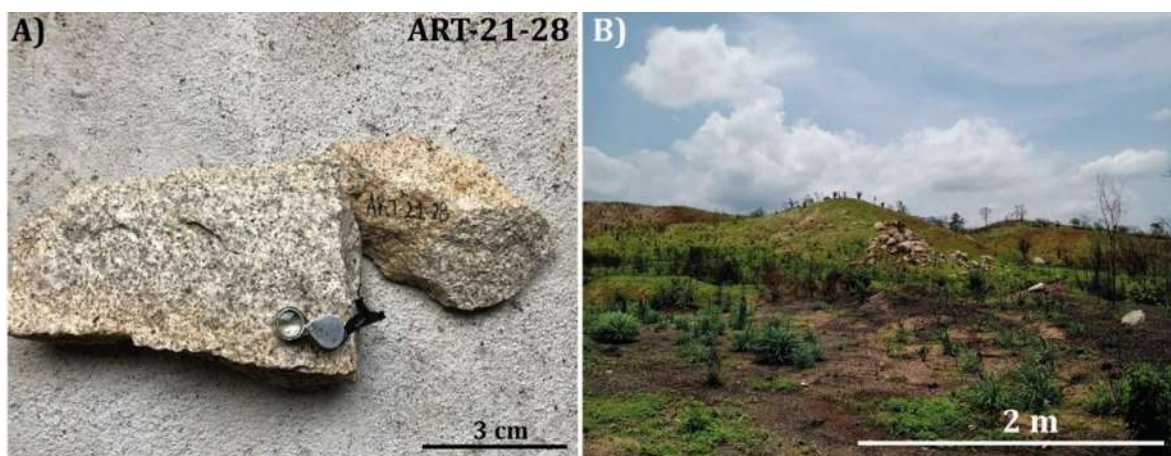


Figura 28. A) Muestra de mano perteneciente al PAZ, la cual se extrajo ~ 2 km delante de la muestra **ART-21-28**. Se puede observar que los minerales presentan menor grado de intemperismo. **B)** Afloramiento localizado en la zona oriental de la carretera federal 37, en donde se puede apreciar las geoformas características de granito, las cuales son colinas de bajo grado de pendiente.

En cuanto a datos de edad disponible, como se observa en la **Figura 26 C**, sólo se cuenta con un fechamiento obtenido por U-Pb aplicado en zircones, publicado por Martini *et al.* (2010) de 45.08 ± 0.8 Ma (ver: **Tabla 2**).

5.3 Petrografía del Ensamble Plutónico de Arteaga

En esta sección se presenta la descripción petrográfica de las unidades del EPA que fueron muestreadas. No se describen todas ya que como se ha mencionado, algunas unidades fueron establecidas con criterios cartográficos junto con los reportes del SGM, por lo que no se recolectaron muestras. En la descripción petrográfica se utiliza las abreviaturas propuestas por Whitney y Evans (2010), así como la metodología propuesta por Best (1982) y Castro (2015) para definir la secuencia de cristalización, y una estimación del porcentaje de An-Ab en Plg, con base en el ángulo de extinción (método Michel-Levy). En los casos en donde coexisten minerales del mismo tipo y que formen parte de dos asociaciones minerales diferentes, se colocaron letras del abecedario para diferenciarlos (por ejemplo: Pl_A y Pl_B).

5.3.1 Petrografía de Ton-Art

Se observa una textura tipo secuencial I y un patrón textural inequigranular hipidiomórfico-alotriomórfico euhedral-subehedral. También se observa una textura poiquilítica en Pl con inclusiones de Bt, Amp y Zrn; dicha textura también se observó en Bt con inclusiones de Zrn y Pl. En las Pl se observó la textura antipertítica, la cual se asocia a un proceso de exsolución y movimiento de iones y reordenación de la red cristalina.

De acuerdo con el ángulo de extinción en las plagioclasas, se obtiene una composición que varía de oligoclasa (para Pl_B) a andesina (para Pl_A). Se sugiere una asociación (S1) constituida por: Pl_A+Amp_A+Opx+Cpx+Ox+Zrn+Ap y una segunda asociación (S2) conformada por: Pl_B+Bt_B+Qz+Amp_B±Kfs±Ox±Ttn±Chl.

Los minerales de la S1 son predominantemente euhedrales-subehedrales, el contacto irregular entre ellos se refleja como bordes de recristalización en los mismos. Esto se aprecia más entre los contactos de Pl_A y Pl_B, así como entre los bordes de Amp_A y Pl_B.

En cuanto a los minerales máficos, se observa una importante cantidad de Amp_A, Bt_A, Opx y algunos minerales que presentan características parecidas al Cpx (**Figura 29 B**) los Opx se observan a menudo como inclusiones en Pl_A.

Respecto al tamaño de los minerales, se observan con variación de tamaño entre 0.5 y 1 mm, a excepción de algunas Pl que se observan de entre 0.8-1.5 mm.

Por otro lado, los minerales de S2 son predominantemente subeuhedrales y se identificaron intersticios rellenos por Bt_B y Amp_B. Además, estos minerales son los que representan a los minerales máficos. El tamaño de los minerales se encuentra entre 0.5-1 mm, sin presentar alguna variación importante.

Como minerales accesorios se observaron Ap, Zrn y en menor cantidad Ttn, por último, el grado de intemperismo visto en está lámina, es de bajo a moderado. La mayoría de las plagioclasas de ambas secuencias, se encuentran sanas y excepcionalmente algunos Opx y Bt (de ambas secuencias) se identificaron con cierto grado de cloritización.

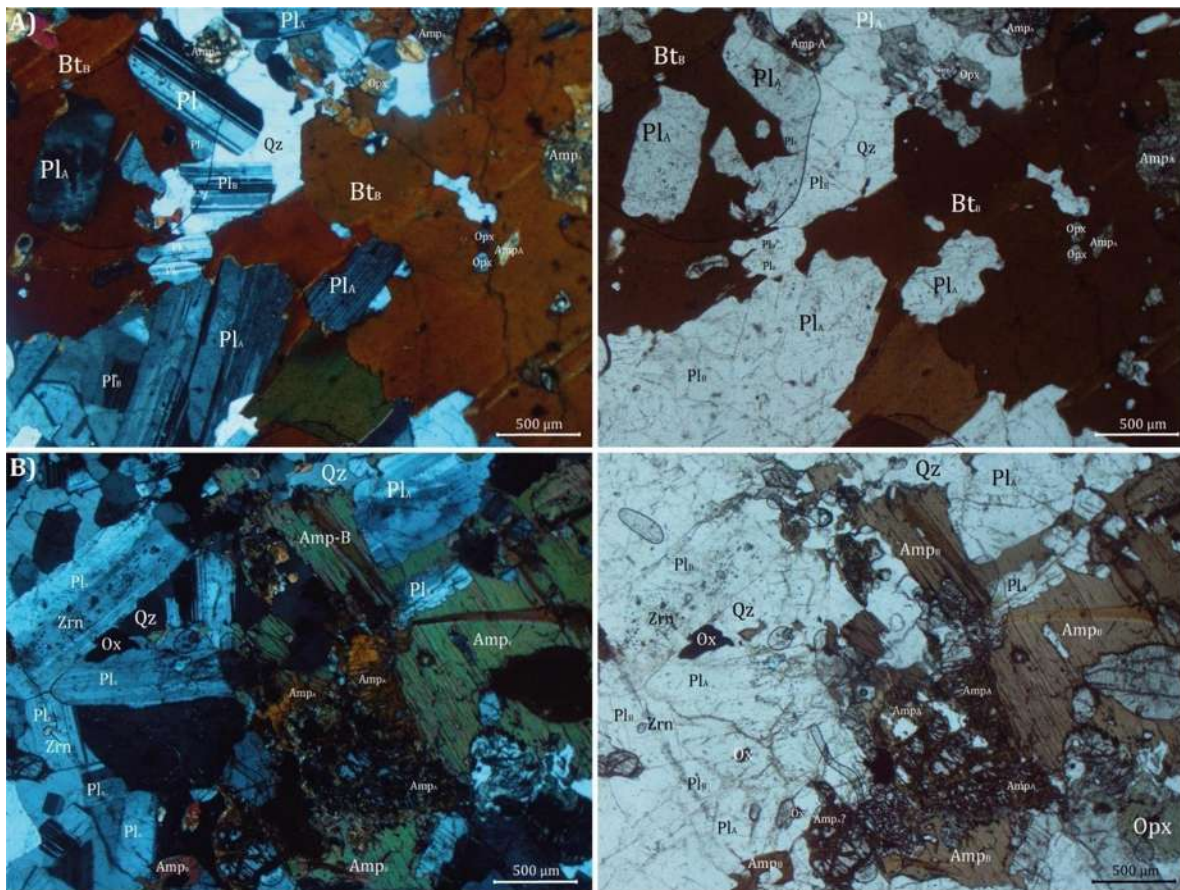


Figura 29. Fotomicrografías de la Ton-Art. **A)** Se pueden observar los bordes de recrystalización entre Pl_A y Bt_B, así como en algunas Pl_A y Pl_B. **B)** Se puede distinguir la coexistencia entre los anfíboles de ambas secuencias, así como los bordes de recrystalización entre las plagioclasas.

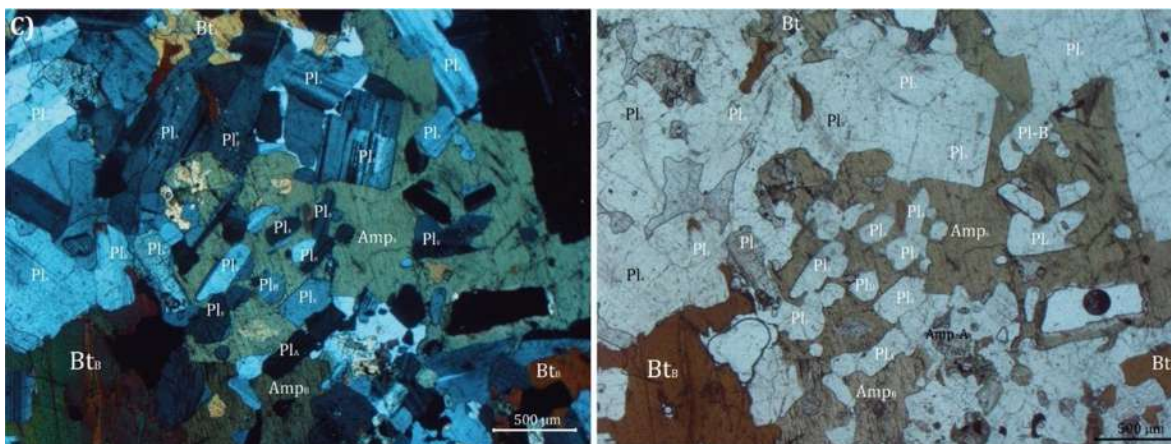


Figura 30. Continuación de las fotomicrografías de la muestra ART-21-13. C) Se puede observar principalmente a Pl_B coexistiendo con Amp_B , observándose mayor abundancia de minerales pertenecientes a la S2. A la par se observan algunas Bt_B cristalizando en los intersticios.

5.3.2 Petrografía de la QzDio-Cue

Se identificó una textura tipo secuencial y un patrón textural inequigranular hipidiomórfico subeuhedral-anhedral (**Figura 31**). En los feldespatos se observa una textura antipertita en Pl , así como de tipo poiquilítica albergando cristales de Amp , Bt y Zrn . La estimación del ángulo de extinción de las plagioclasas, se proponen una composición que varía entre oligoclasa (para Pl_B) y andesina (para Pl_A).

Se sugiere una asociación (S1) constituida por: $Pl_A + Px + Amp_A + Ox \pm Bt_A \pm Zrn \pm Ap$. Y una segunda asociación (S2) conformada por: $Pl_B + Qz + Bt_B \pm Ox \pm Kfs + Ttn$.

Los minerales de S1 son predominantemente euhedrales-subeuhedrales, a la par, se observan contactos irregulares entre los minerales, reflejado en bordes de recrystalización; dicho rasgo destaca mejor, entre los contactos de Pl_A con Pl_B . En cuanto a los minerales máficos, se observó una gran cantidad de Px y Amp_A ; algunos de estos minerales se encuentran como inclusiones en algunas Pl_A . Respecto al tamaño de los cristales, de manera general se observa entre 0.5-1 mm, no obstante, existen algunos especímenes de Pl_A que se encuentran entre 0.8-1 mm.

Por otro lado, los minerales que conforman a S2, se observan predominantemente subeuhedrales-anhedrales, las Pl de esta secuencia, presentan zoneamiento oscilatorio, así como inclusiones de Px y Zrn . Se observan contactos irregulares reflejando bordes de recrystalización, dicha característica se observa mejor entre Pl_B y Bt_B .

En cuanto a los minerales máficos, se observó una gran cantidad de Bt_B, principalmente en los intersticios, mientras que, en menor cantidad, se identificaron algunos Ox.

Como minerales accesorios, se reconocieron Zrn, Ap y Ttn. Por último, el grado de intemperismo visto en la lámina delgada, es de bajo a moderado, reflejado en algunas Pl de ambas secuencias, que presentan Ser, así como algunas Bt de S2 que poseen cierto grado de cloritización.

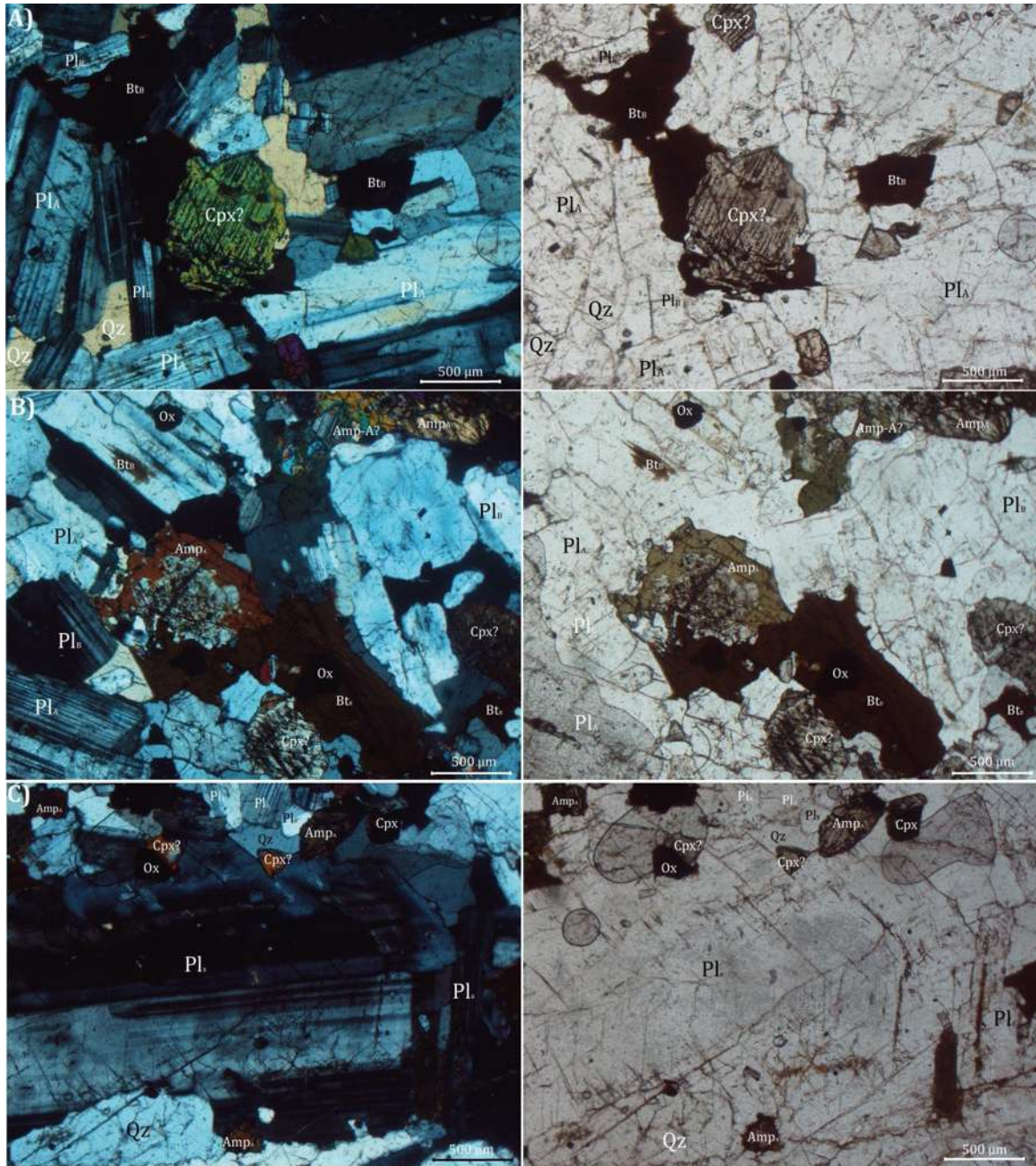


Figura 31. Fotomicrografías de la QzDio-Cue **A)** Se pueden observar los bordes de recrystalización entre Pl_A y Pl_B. En el centro, se observa un cristal que presenta las características de un Cpx, así como sus bordes de recrystalización. **B)** Se observan bordes de recrystalización entre Amp_A y Bt_B. **C)** En la Pl_B se puede observar zoneamiento oscilatorio, así como unas inclusiones de lo que parece ser Cpx.

5.3.3 Petrografía de la Dio-Jun

Durante la descripción petrográfica de la Dio-Jun se identificó un contacto entre el granitoide y un enclave máfico (**Figura 32**). Ambas fases se describen por separado, iniciando con la roca granítica.

En esta fase se observó una textura tipo secuencial I, así como un patrón textural inequigranular hipidiomórfico subeuhedral y una textura poiquilítica en Bt y en Pl, las cuales contienen inclusiones de Zrn y de otras Pl. Estas últimas, con base en la estimación del ángulo de extinción, son de composición que varía entre oligoclasa (para Pl_B) y andesina (para Pl_A). Se sugiere una asociación (S1) constituida por Pl_A+Amp_A+Ox±Cpx±Zrn±Ap, y una segunda asociación (S2) constituida por: Pl_B+Amp_B+Bt_B+Qz+Chl±Ox±Kfs±Ttn±Ser.

La mayoría de los minerales de S1 son euhedrales-subeuhedrales, y en menor cantidad anhedrales. Entre los minerales se observan contactos irregulares, principalmente entre Pl_A y Bt_B, reflejando bordes de recrystalización. Respecto a los minerales máficos, se identificó el predominio de Amp_A, y en menor abundancia, Cpx. En cuanto al tamaño de los cristales y se observó una variación entre 0.5-1 mm, a excepción de algunas plagioclasas que logran rebasar el milímetro de longitud.

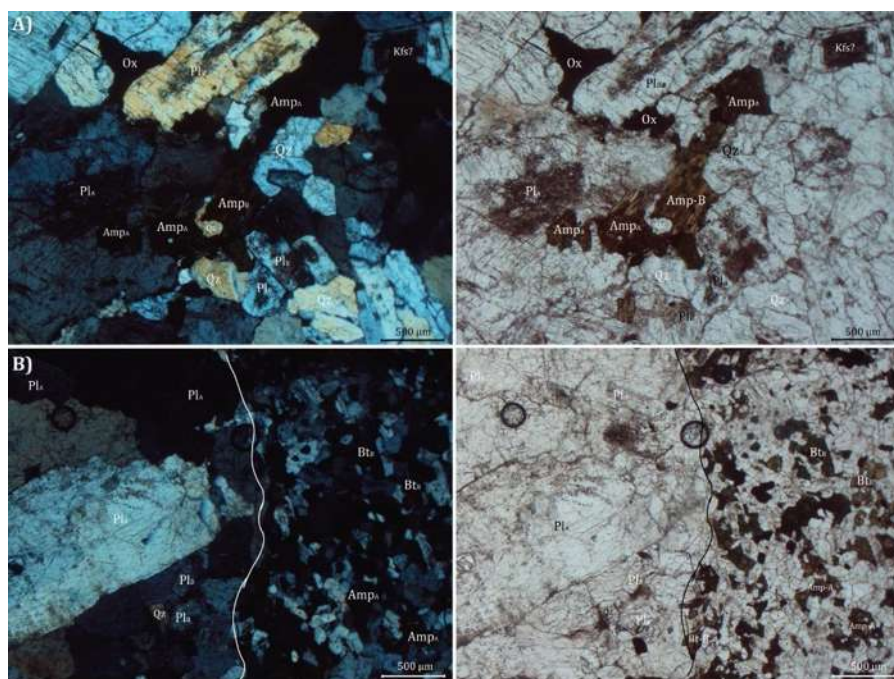


Figura 32. Fotomicrografías pertenecientes a la lámina delgada de la Dio-Jun. **A)** En el centro se puede observar el contacto entre los Amp de ambas secuencias, así como algunos bordes de recrystalización entre las Pl. **B)** Se presenta el contacto entre el enclave (derecha) y el granitoide (izquierda), destaca la variación en el tamaño de grano, así como en la distribución de estos.

Por otro lado, los minerales de S2 son predominantemente subeuhedrales-anhedrales; esencialmente se observa a la Bt_B relleno intersticios entre los minerales. Como minerales máficos se observa el predominio de Bt_B y en menor cantidad Amp_B . Como minerales accesorios en esta sección de la lámina, se identificaron Zrn, Ap y Ttn. En cuanto al grado de intemperismo, se asigna de bajo a moderado, el cual es reflejado en algunas Bt_B que presentan cierto grado de cloritización, y algunas Pl con contenido de Ser.

En el enclave (**Figura 33**) se identificó una textura general tipo secuencial II, a la par se observó un patrón textural equigranular panidiomórfica subhedral también una textura poiquilítica en Pl, las cuales presentan inclusiones de Zrn y Cpx.

A partir de la estimación del ángulo de extinción de las plagioclasas, se establece que tienen una composición que varía entre oligoclasa (para Pl_B)-andesina (para Pl_A).

Se sugiere una primera asociación mineralógica precoz (S1) conformada por $Pl_A + Cpx + Amp_A + Ox \pm Zrn \pm Ap$. Y una segunda asociación mineralógica (S2) constituida por $Pl_B \pm Amp_B + Bt_B + Qt + Chl + Ox \pm Kfs \pm Ttn + Ser$.

En general se observa que los cristales de la S1 son euhedrales-subeuhedrales, a excepción de los óxidos que presentan una tendencia anhedral. Los contactos entre los minerales se observan irregulares, reflejando bordes de recristalización, los cuales se identificaron mejor entre los contactos de Bt_B y Pl_A .

En esta parte de la lámina, a diferencia de la que corresponde al granitoide, se observa un mayor enriquecimiento de minerales máficos, entre los cuales destaca la gran abundancia de Amp_A y de Cpx. Respecto al tamaño, la gran mayoría se observa $\approx$ de 0.5 mm.

Por otro lado, los cristales de la S2 se observan, en general, subeuhedrales-anhedrales. Los contactos entre los minerales reflejan bordes de recristalización que se observa mejor entre Bt_B y Pl_A , mientras que en los intersticios se encuentra a Bt_B . Respecto a los minerales máficos, se observa una gran cantidad de Bt_B y de Ox, cuyo tamaño se encuentra entre 0.2-0.5 mm.

Como minerales accesorios en la lámina, se observaron Zrn, Ap y Ttn. Por último, el grado de intemperismo, se observa de moderado a bajo, el cual se refleja en Bt_B con cierto grado de cloritización.

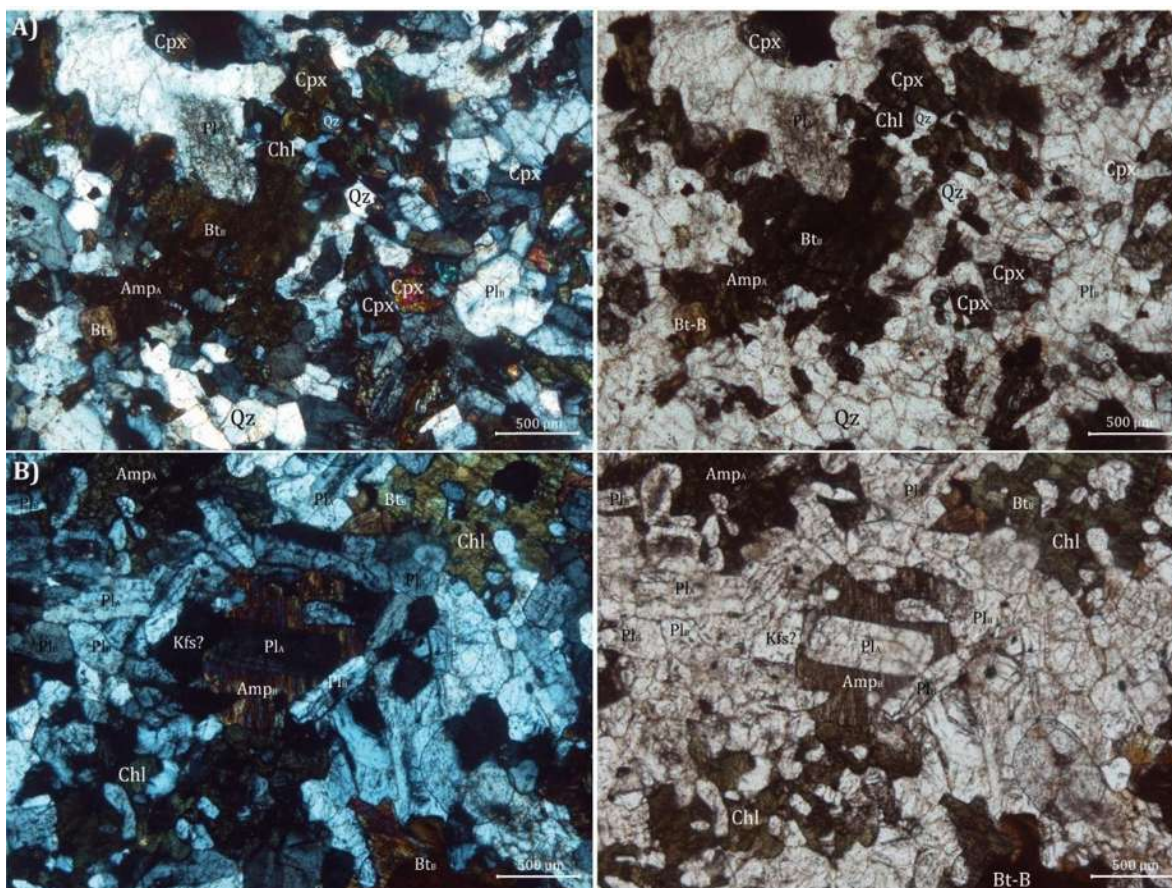


Figura 33. Fotomicrografías de la lámina delgada de la Dio-Jun de la zona que corresponde al enclave. **A)** Se puede observar la interacción entre Bt_B y Pl_A, así como sus bordes de recrystalización. **B)** Se observa los bordes de recrystalización de Pl, así como la textura poiquilítica en Amp_B.

5.3.4 Petrografía de la QzDio-Col

En esta unidad se observa una textura tipo secuencial I, también una textura inequigranular hipidiomórfica subeuhedral y también una textura poiquilítica en algunos cristales de Qz con inclusiones de Zrn, mientras que en algunos Kfs es posible observar textura perítica (**Figura 34 A**). El ángulo de extinción de las plagioclasas se indica que tienen una composición que varía entre andesina (para Pl_A) y albita-oligoclasa (para Pl_B)

Se sugiere una asociación mineralógica (S1) constituida por $Pl_A + Cpx \pm Amp_A \pm Bt_A \pm Ox \pm Zrn \pm Ap$ y una segunda asociación (S2) constituida por $Pl_B + Amp_B + Bt_B + Qz + Kfs \pm Chl \pm Ox$.

La mayoría de los minerales de S1 son euhedral-subeuhedral; el contacto irregular se refleja en bordes de recrystalización. En cuanto a los minerales máficos, se observa una gran abundancia de Cpx, Bt y en menor cantidad Amp. El tamaño de los cristales varía entre 0.5-1 mm, a excepción de algunas Pl que tienen mayores longitudes.

Para S2 la mayoría de los cristales son predominantemente subeuhedrales-anhedrales, particularmente las Bt, debido a que cristalizaron en los intersticios de los minerales. A la par, se observó a algunos cristales de Amp con bordes de recrystalización en contacto con algunos cristales de Qz. El tamaño de los cristales de esta secuencia se encuentra entre 0.2-0.5 mm. Como minerales accesorios se identificaron Zrn y Ap. Respecto al grado de intemperismo es de bajo a moderado, reflejado en algunas Pl de ambas secuencias, ya que presentan Ser.

En esta unidad se describe a la roca que representa al líquido de composición tonalítica que intrusión al granitoide (**Figura 34 B**). En este componente se identificó una textura tipo secuencial I, así mismo, se observan cristales con textura mirmequítica, y algunos Kfs que presentan textura peritítica.

Se reconoce una asociación mineral (S1) conformada por: $Pl+Qz+Kfs\pm Ox\pm Zrn$ y una segunda asociación (S2) constituida por $Bt+Chl\pm Amp\pm Ox+Ser$.

Los cristales de S1 son predominantemente subeuhedrales, los contactos entre algunos son irregulares, reflejado en bordes de recrystalización principalmente entre la Pl y el Qz; es en esta asociación en donde se refleja la textura mirmequítica. Respecto a los minerales máficos, no se observaron en esta secuencia. El tamaño de los cristales se encuentra entre 0.5-0.8 mm.

Por otro lado, en la S2 destaca la cristalización de la Bt en los intersticios así como en los cristales de Qz se observa una extinción del tipo *chessboard*. En cuanto a los minerales máficos, se observa una cantidad moderada de Bt, y algunos cristales que presentan características de Amp, pero debido al grado de intemperismo, es difícil confirmar.

Se identificaron Chl y Ser como minerales secundarios. Se estima el grado de intemperismo de moderado a alto, afectando principalmente a las Bt, reflejado como variaciones de grados de cloritización, y en menor cantidad, a algunas Pl y Kfs, distinguiéndose la presencia de Ser. En esta misma unidad se realiza la descripción petrográfica de uno de los diques máficos que intrusión al granitoide y que, coexiste con el líquido descrito previamente.

En el dique máfico (**Figura 34 C**), se reconoció una textura tipo secuencial II, así como una textura inequigranular seriada, la cual es típica de rocas diabásicas. También se identificó en algunas Pl coronas de Bt, así como textura poiquilítica en Bt. Se observa una asociación (S1) conformada por $Pl\pm Cpx\pm Amp\pm Ox\pm Zrn$ y una segunda asociación (S2) constituida por $Bt+Qz\pm Ttn\pm Chl$.

Los minerales de S1 son esencialmente subeuhedrales, los contactos entre las Pl se observaron con bordes de recrystalización. Respecto a los minerales máficos, se identificó cristales de Cpx, y en menor cantidad, minerales de Amp. En estos dos casos hay incertidumbre en la identificación dada la alteración de los cristales. El tamaño de los minerales se encuentra entre 0.2-0.5 mm dando un aspecto equigranular.

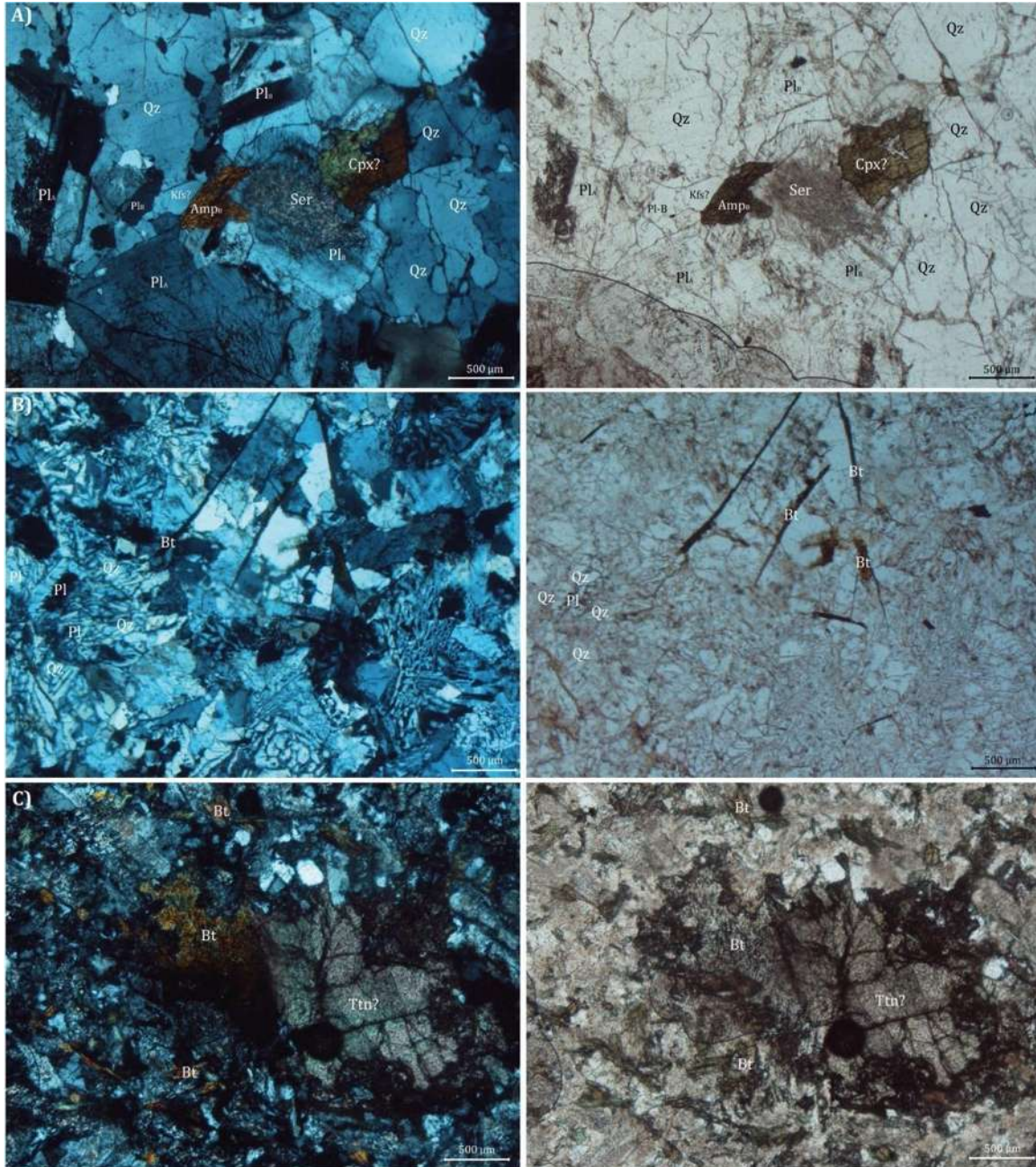


Figura 34. Fotomicrografías de la unidad QzDio-Col **A)** Representa al granitoide, en donde se observa los bordes de recrystalización de algunas Pl, así como la presencia de Amp_A. **B)** Representa al componente líquido de composición tonalítica, en donde se aprecia la textura mirmequítica, así como algunas Bt con hábito acicular. **C)** Representa al dique máfico, en donde se observa una Ttn con corona de Bt.

La S2 consiste en Bt y Qz, los cuales se observan cristalizados en los intersticios de la S1. Respecto a los minerales máficos, sólo se identificaron algunas Bt con hábito acicular. El tamaño de los cristales está entre 0.1-0.3 mm. Como minerales accesorios se identificó Ttn intemperizada, así como Bt y Chl.

En muestras de la zona del sureste de la unidad QzDio-Col (**Figura 35**) se observa una textura tipo secuencial I. Al mismo tiempo, se identificó una estructura inequigranular hipidiomórfica subeuhedral-anhedral, así como textura poiquilítica en Pl, con algunas inclusiones de Cpx; esta misma textura también se observa en cristales de Qz. El ángulo de extinción de las Pl indica una composición que varía entre andesina (Pl_A) y albita-oligoclasa (Pl_B). Se observa una asociación mineral (S1) constituida por Pl_A±Cpx+Amp_A±Ox±Zrn±Ap y una segunda asociación mineral (S2) conformada por Pl_B+Qz+Amp_B±Bt+Kfs±Ox±Chl+Ser.

Los cristales de S1 son esencialmente anhedrales-subeuhedrales; los bordes entre ellos son irregulares reflejando algunas áreas de recrystalización que se observan mejor entre los contactos de las plagioclasas de ambas secuencias. Los Cpx son abundantes como inclusión en algunas Pl, y en menor cantidad Amp_A. El tamaño de los cristales varía entre 0.5 y 1 mm.

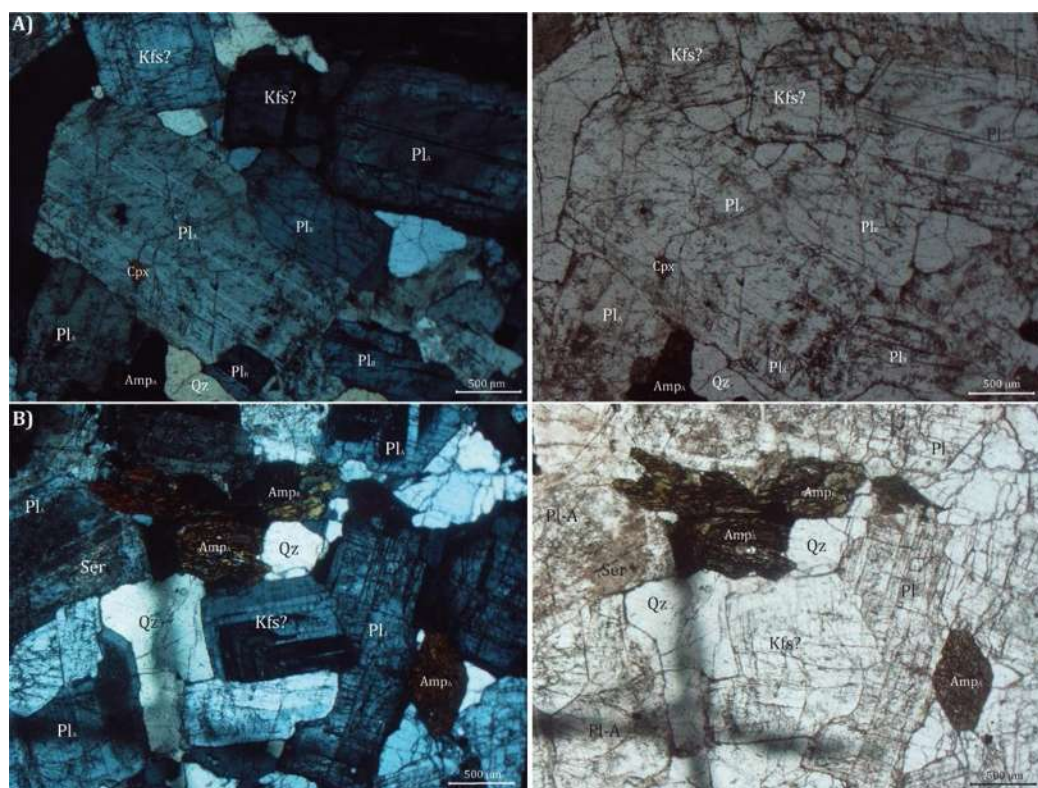


Figura 35. Fotomicrografías correspondientes a la región sureste de la QzDio-Col. **A)** Se observan los bordes de recrystalización entre las Pl y algunos Kfs. **B)** Se observa la coexistencia, así como bordes de recrystalización entre los Amp de ambas secuencias.

Los cristales de S2 son principalmente anhedrales, reflejado en la cristalización de algunos Amp_B y Bt en los intersticios, entra tanto, algunos cristales de Qz presentan extinción del tipo *chessboard*. Como minerales accesorios se identificó al Zrn, Ap y Ttn. Se considera que el grado de intemperismo, es bajo, debido a que se observó en algunas plagioclasas la presencia de Ser.

5.3.5 Petrografía de la Grd-Zuñ

La observación de secciones delgadas de la unidad Grd-Zuñ (**Figura 36**) muestra una textura tipo secuencial I, así como un patrón textural inequigranular hipidiomórfico subeuhedral-anhedral y la presencia de la textura poiquilítica en algunos cristales de Amp con Zrn, Pl y Ox. A partir del ángulo de extinción se calcula que las plagioclasas tienen una composición que varía entre andesina (Pl_A) y albita-oligoclasa (Pl_B). Se establece una asociación mineral (S1) constituida por $\text{Pl}_A + \text{Cpx} + \text{Amp}_A \pm \text{Ox} + \text{Zrn} + \text{Ap}$. La segunda asociación está constituida por $\text{Pl}_B \pm \text{Amp}_B + \text{Qz} + \text{Bt}_B \pm \text{Kfs} \pm \text{Ox} + \text{Ttn}$.

Los cristales de S1 son predominantemente euhedrales-subeuhedrales, se observaron contactos irregulares entre ellos reflejando bordes de recristalización que se distinguen mejor en los contactos de Pl_A y Pl_B . Como minerales máficos se observa una gran abundancia de Amp_A y Cpx, respecto al tamaño, la mayoría de los cristales se encuentra entre 0.5-0.8 mm. Por otro lado, los cristales de S2 son primordialmente subeuhedrales-anhedrales. Se observa a la Bt_B y al Qz en algunos intersticios de los cristales, percibiéndose extinción del tipo *chessboard* en algunos Qz.

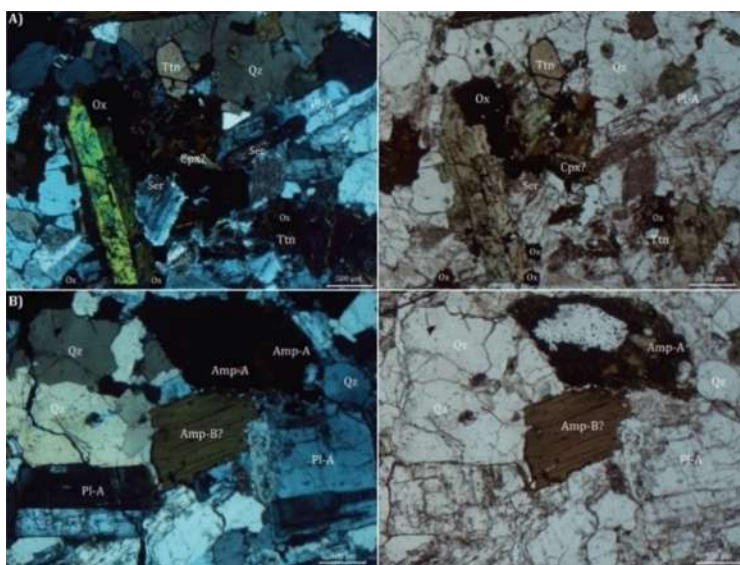


Figura 36. Fotomicrografías de la muestra de la unidad Grd-Zuñ. A) Se puede observar la acumulación de minerales máficos en el centro, así como Ttn. B) Destacan los bordes de recristalización entre Qz y Pl_A , así como una probable Amp_B .

En cuanto a los minerales máficos, predomina la Bt_B y algunos Ox con hábito euhedral. El tamaño de los cristales se encuentra entre 0.2-0.8 mm. Como minerales accesorios se identificaron Zrn, Ap y Ttn. De acuerdo con la frescura de las muestras se considera un intemperismo bajo.

5.3.6 Petrografía de la Sien-Oll

Se presenta la descripción petrográfica de la región sureste-sursureste de la unidad Sien-Oll (**Figura 37**) con textura tipo secuencial I y un patrón textural inequigranular hipidiomórfico euhedral-subehedral. Se observa la textura mirmequítica en la interacción de Qz y Pl, la textura poiquilítica, en algunos cristales de Pl y Kfs. Con base en el ángulo de extinción de las plagioclasas, se calcula que la composición varía entre andesina (Pl_A) y albita-oligoclasa (Pl_B). Por otra parte, se observa una asociación mineral (S1) constituida por: Pl_A±Ox y otra asociación mineral (S2) conformada por Pl_B+Qz+Kfs+Bt±Ox. Los cristales de S1 son predominantemente euhedrales-subehedrales, a excepción de algunos Ox que son anhedrales. Los contactos entre los cristales son irregulares, reflejando bordes de recristalización, especialmente entre los contactos de Pl_A con Kfs. En cuanto a los minerales máficos no se observaron cantidades importantes. El tamaño de los cristales yace entre 0.5 y 1 mm. Los cristales de S2 son predominantemente subehedrales-anhedrales, los contactos entre ellos se observan irregulares, reflejando bordes de recristalización. Como minerales máficos no se observó una gran abundancia sino algunos cristales de Bt con hábito acicular distribuidos en la lámina.

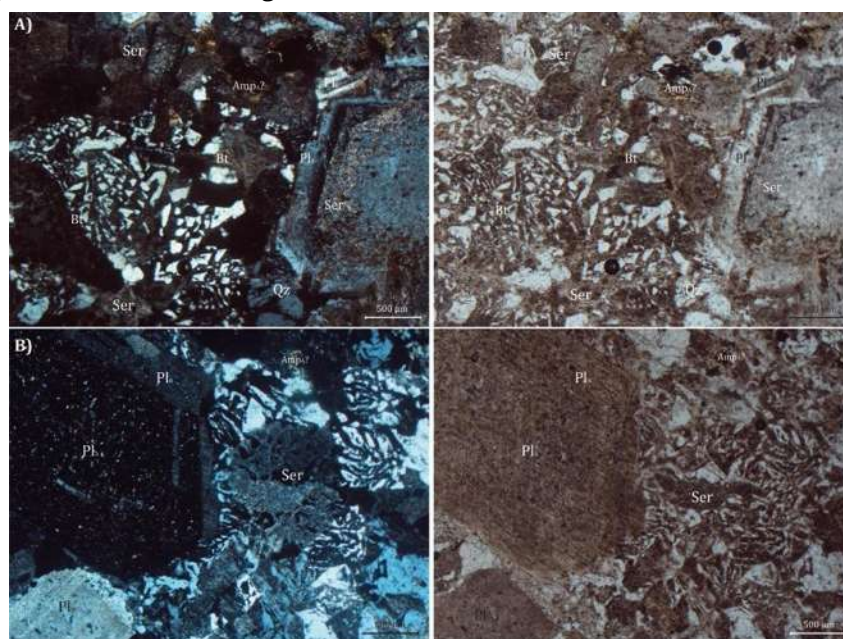


Figura 37. Fotomicrografías de la zona sureste-sursureste de la Sien-Oll. **A)** Se puede observar la textura mirmequítica conformada por el Qz y Pl_B. **B)** Se observan bordes de recristalización entre Pl_A y Pl_B.

El tamaño de los cristales varía entre 0.2-0.5 mm. Como minerales accesorios se reconocieron Zrn y Ap y el grado de intemperismo es moderado reflejado principalmente en algunas Pl que contienen mineral arcilloso del tipo Ser.

En otra muestra de la unidad Sien-Oll (**Figura 38**) se observa una textura tipo secuencial I, así como una textura inequigranular hipidiomórfica subeuhedral y una textura mirmequítica, reflejada en la coexistencia de Qz con Pl. En menor cantidad, se distingue a la textura poiquilítica en Pl, observándose algunas inclusiones de Zrn y Qz. Con base en el ángulo de extinción de las plagioclasas, se calcula una composición que varía entre andesina (Pl_A) y albita-oligoclasa (Pl_B). Se observa una asociación mineral (S1) constituida por: $Pl_A \pm Ox \pm Amp$ y una segunda asociación mineral (S2) conformada por $Pl_B + Qz + Kfs + Bt$. Los cristales de S1 son predominantemente subeuhedrales, a excepción de algunos óxidos que son euhedrales. Los contactos entre ellos son irregulares, lo cual se ve reflejado en bordes de recristalización que se distinguen bien en los contactos de Pl_A y Pl_B . En cuanto a minerales máficos, no se observaron cantidades importantes, sólo algunos Amp y Bt. El tamaño de los cristales varía entre 0.5-1 mm.

Por otro lado, los minerales de S2 son esencialmente subeuhedrales, los contactos entre los cristales son irregulares, particularmente entre la Pl y el Kfs. Respecto a los minerales máficos, se identificaron algunas Bt con hábito acicular. El tamaño de los cristales es alrededor de 0.5 mm.

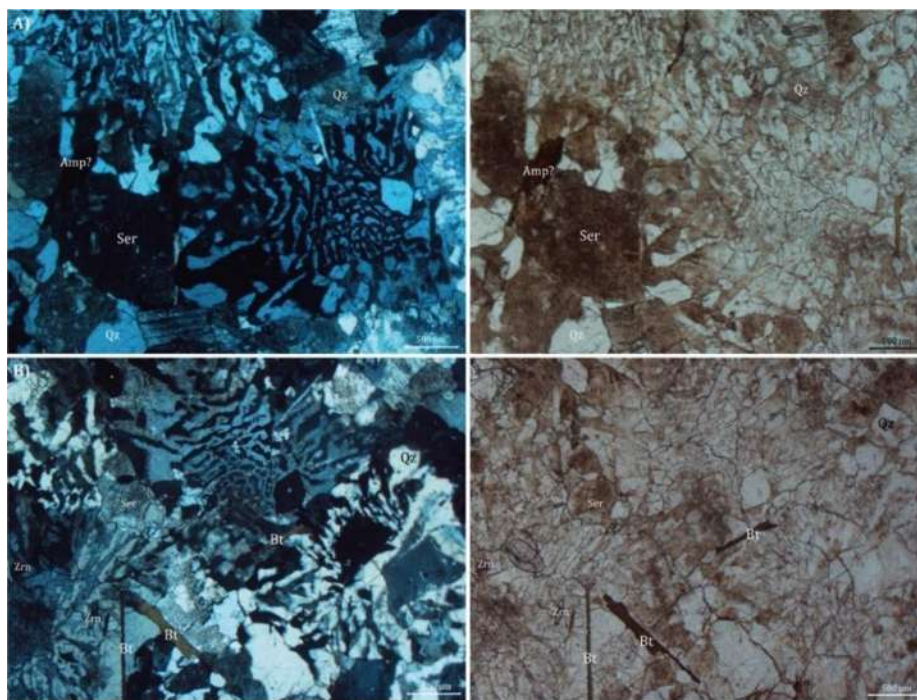


Figura 38. Fotomicrografías de la lámina delgada que pertenece a la Sien-Oll. **A)** Se observa la textura mirmequítica, así como escasos minerales máficos que parecen ser anfíboles. **B)** Se distinguen algunas Bt con hábito acicular.

Como minerales accesorios, se identificaron al Zrn y Ap principalmente. Se considera que el grado de intemperismo, es moderado representado principalmente por arcillas de Ser.

5.4 Petrografía del Plutón de Agua Zarca

Para describir petrográficamente a este plutón se sigue la misma metodología que para el EPA. Las muestras descritas proceden del afloramiento cercano a la caseta de cobro San Feliciano y la del afloramiento localizado a cuatro kilómetros al norte de dicha caseta.

En la muestra del afloramiento cercano a la caseta de cobro (**Figura 39**) se observó una textura tipo secuencial I con un patrón textural inequigranular panidiomórfico euhedral-subeuhedral con presencia de textura poiquilítica en algunas Plg y Qz, mientras que en algunos Kfs es posible observar el desarrollo de textura pertítica. Con base en el ángulo de extinción de las plagioclasas, se calcula que tienen una composición que varía entre andesina (Pl_A) y albita-oligoclasa (Pl_B). Se distingue una asociación mineral (S1) conformada por Pl_A+Ox±Amp y una segunda asociación mineral (S2) constituida por Pl_B+Qz+Bt+Kfs.

Los cristales de S1 son predominantemente euhedrales-subeuhedrales. Los contactos entre ellos suelen ser irregulares, reflejando bordes de recristalización, observándose mejor entre los contactos de Pl_A con el Qz de la S2. Respecto a los minerales máficos se observa Ox y en menor cantidad Amp, estos últimos con grado bajo a moderado de cloritización. El tamaño de los cristales en esta secuencia se encuentra entre 0.5-1 mm.

Por otro lado, los minerales de S2 son subeuhedrales-anhedrales. Los contactos entre los minerales son irregulares, reflejando bordes de recristalización, los cuales se distinguen mejor entre los contactos de Pl_A y Pl_B. Respecto a los minerales máficos, se observa a las Bt cristalizadas en los intersticios de los minerales, algunos ejemplares de este mineral presentan un grado bajo de cloritización.

En esta secuencia, se observó que las Pl_B forman algunos glomérulos policristalinos. Entre tanto, respecto al tamaño de los minerales se observa que se encuentran entre 0.5-1 mm. En lo que se refiere a los minerales accesorios, se observaron Zrn y Ap, en cuanto al grado de intemperismo, se propone bajo, representado por algunas Bt y Amp con ciertos grados de cloritización.

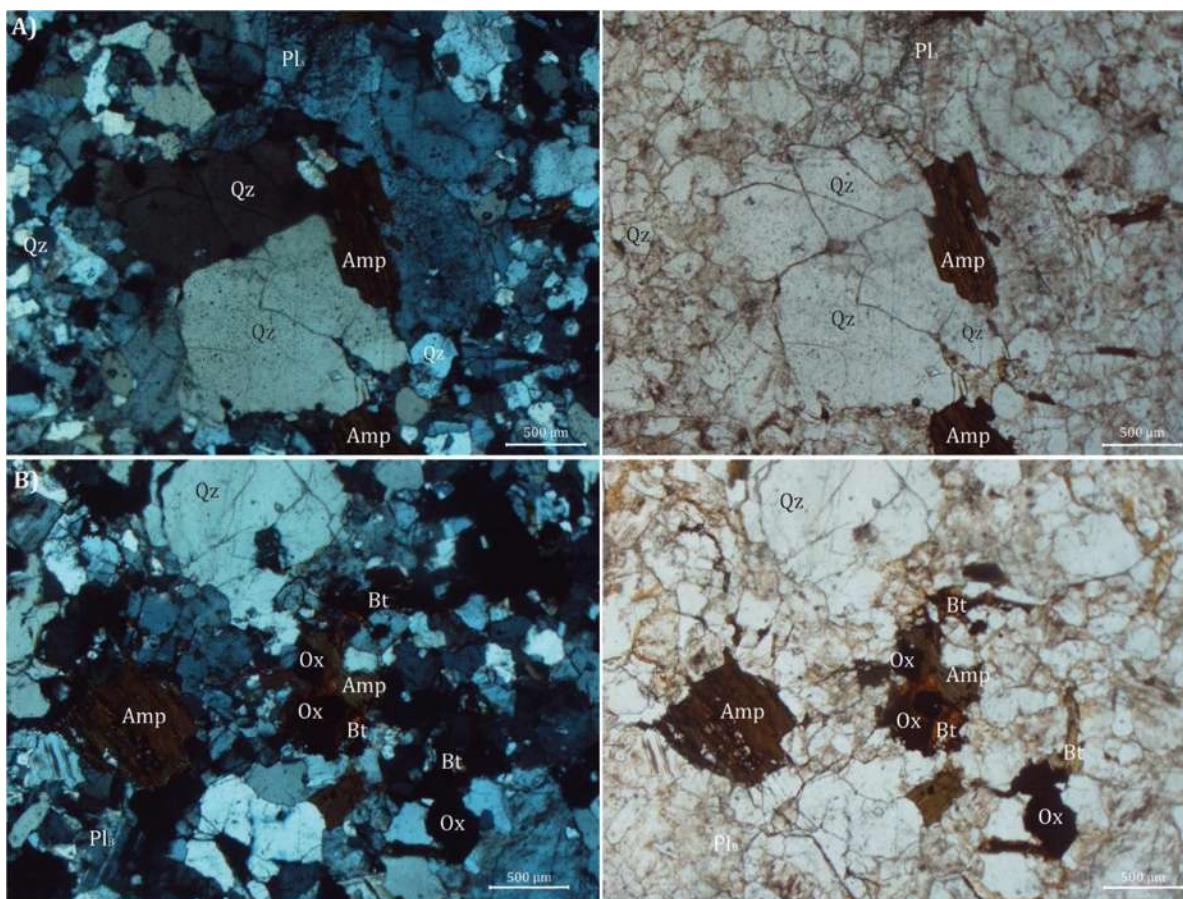


Figura 39. Fotomicrografías de la región del plutón que aflora cerca de la caseta de cobre. **A)** Se puede observar a los Qz del centro que presentan extinción del tipo *chessboard*, así como algunas Pl con bordes de recrystalización en contacto con el Qz. **B)** Acumulación de minerales máficos, en donde se observa Amp, Ox y algunas Bt.

Respecto a la roca que aflora unos kilómetros al norte a la anterior (**Figura 40**), se identificó una textura tipo secuencial I y un patrón textural inequigranular hipidiomórfico euhedral-subeuhedral, con presencia de textura perítica en algunos Kfs y poiquilítica en algunas Pl. Con base en la estimación del ángulo de extinción de las plagioclasas se calcula una composición de oligoclasa. Se identifica una asociación mineral (S1) constituida por: $Pl+Kfs+Ox\pm Amp$ y una segunda asociación mineral constituida por: $Bt+Qz$.

Los cristales de S1 son predominantemente euhedrales-subeuhedrales. Los contactos entre ellos son irregulares, reflejado en bordes de recrystalización que se distinguen mejor en los contactos entre la Pl y el Kfs. En cuanto a los minerales máficos, se observa cristales de Ox y Amp en cantidades moderadas con cierto grado de cloritización. En cuanto al tamaño de los cristales, en general los minerales félsicos superan al milímetro de tamaño, mientras que los minerales máficos se encuentran entre 0.5-1 mm.

Por otro lado, los cristales de S2 son primordialmente de forma subeuhedral-anhedral. La Bt y el Qz tienen hábito anhedral debido a que cristalizaron en los intersticios de otros minerales. En esta secuencia sólo se identificó Bt, con cierto grado de cloritización. Respecto al tamaño de los cristales se observa que oscila entre 0.5-1 mm.

Como minerales accesorios se identificaron al Zrn y Ap. Se considera que el grado de intemperismo es bajo debido a la presencia de Chl en minerales máficos y en algunas Pl y Kfs con presencia de Ser.

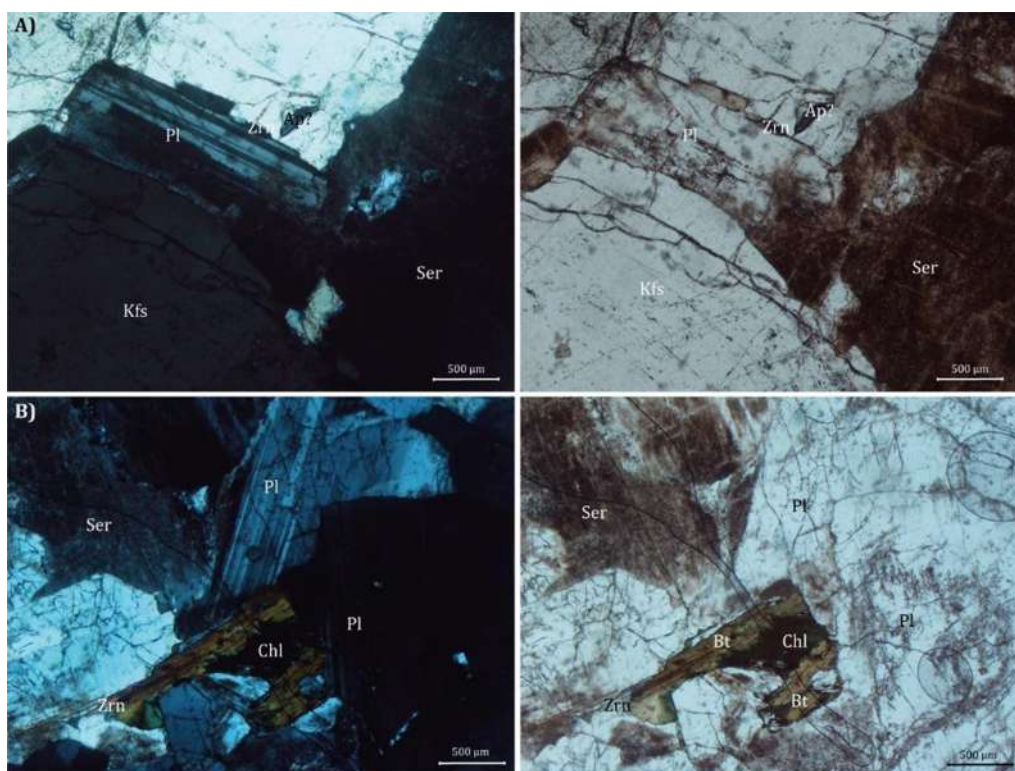


Figura 40. Fotomicrografías de la región de la roca que aflora pasando la caseta de cobro. **A)** Se puede observar la Pl con maclado típico de albita, así como bordes de recristalización en contacto con el Kfs. **B)** Se puede observar a la Bt cristalizada en los intersticios desarrollando clorita.

5.5 Clasificación de Streckeisen de las rocas del EPA y del PAZ

Se realizó una estimación visual de las principales fases minerales que conforman a las láminas delgadas, apoyándose en el campo de visión proyectada en el microscopio, así como en la intersección de los hilos que se observan a través de los lentes oculares del microscopio. Como resultado, se presenta la proyección de los datos en el diagrama de Streckeisen (1979) (**Figura 41**) los cuales se encuentran en la **Tabla 2.1-2.2**.

A) Datos sin normalizar

Muestra	Contenido de minerales								Minerales contados
	Plagiocl asa	Cuarzo	Feldespato	Piroxeno	Anfibol	Biotita	Opacos	Zircón-Apatito	
ART-21-03	117	147	131	9	6	30	22	38	500
ART-21-05	119	126	133	0	0	46	10	23	457
ART-21-11A	79	109	55	31	32	51	25	26	408
ART-21-11B	86	115	65	23	28	33	25	25	400
ART-21-12	183	16	15	98	49	57	79	20	517
ART-21-13	173	12	13	75	55	79	65	26	498
ART-21-14A	165	83	65	10	23	63	42	25	476
ART-21-14B	92	105	63	5	2	83	35	15	400
ART-21-14C	116	23	65	73	59	111	35	23	505
ART-21-18	109	65	19	51	56	30	76	25	431
ART-21-19	123	53	15	36	65	41	63	35	431
ART-21-24	128	11	10	93	75	53	86	15	471
ART-21-27	89	130	123	2	10	23	30	16	423
ART-21-28	83	119	104	0	1	58	12	36	413

Tabla 2.1 Se presenta la cantidad de minerales contados en cada una de las láminas delgadas utilizadas para la descripción petrográfica.

B) Datos normalizados (QAF)

Muestra	Porcentaje (%)			
	Plagiocl asa	Cuarzo	Feldespato	Total
ART-21-03	29.62	37.22	33.16	100
ART-21-05	31.48	33.33	35.19	100
ART-21-11A	32.51	44.86	22.63	100
ART-21-11B	32.33	43.23	24.44	100
ART-21-12	85.51	7.48	7.01	100
ART-21-13	87.37	6.06	6.57	100
ART-21-14A	52.72	26.52	20.77	100
ART-21-14B	35.38	40.38	24.23	100
ART-21-14C	56.86	11.27	31.86	100
ART-21-18	56.48	33.68	9.84	100
ART-21-19	64.40	27.75	7.85	100
ART-21-24	85.91	7.38	6.71	100
ART-21-27	26.02	38.01	35.96	100
ART-21-28	27.12	38.89	33.99	100

Tabla 2.2 Se presenta la cantidad de minerales contados normalizado para su proyección en el diagrama de Streckeisen (1979).

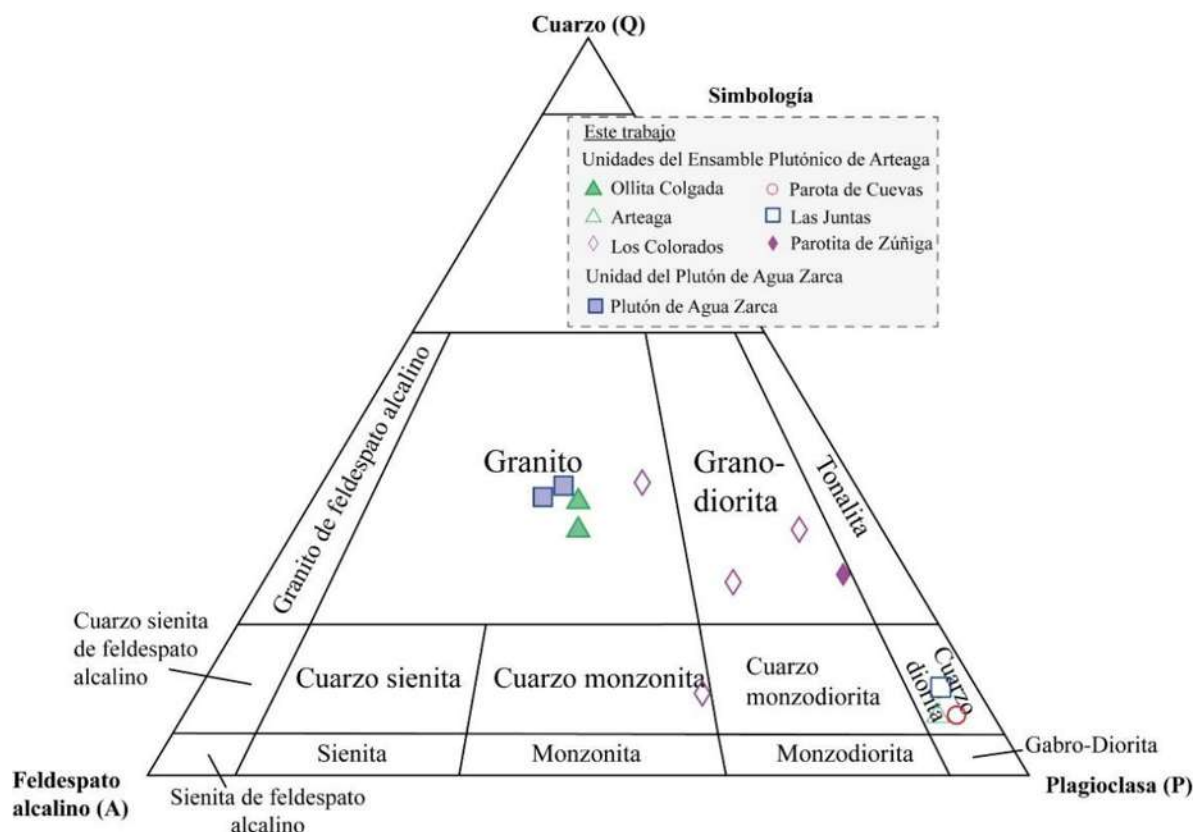


Figura 41. Diagrama QFP de Streckeisen (1979) para rocas plutónicas en donde se proyectan los resultados obtenidos por la estimación de minerales de las láminas delgadas pertenecientes a las unidades internas del EPA y del PAZ.

Entre los grupos minerales identificados y tomados en cuenta, se encuentran: plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, piroxeno, anfíbol, biotita, óxidos y minerales accesorios (zircón y apatito). Se puede identificar un grupo de composición granito y granodiorita conformado por la Sien-Oll y el PAZ y, un grupo de composición cuarzomonzonita y cuarzodiorita representado por la Ton-Art, QzDio-Col, QzDio-Cue y Grd-Zuñ.

5.6 Geoquímica del EPA y el PAZ

Se presentan los resultados de un total de 14 muestras que fueron analizadas por el método de FRX para conocer el contenido de elementos mayores. De estas muestras, 12 pertenecen a algunas unidades internas del EPA y las dos restantes corresponden al PAZ. Respecto a los elementos traza, se obtuvieron por la técnica de LA-ICP-MS. En la **Tabla 3**, se presentan los datos obtenidos por FRX y en la **Tabla 4** se observan los datos obtenidos por LA-ICP-MS. Para ambos casos, se publican también los datos disponibles por Schaaf (1990) y Suazo-Cruz (2020).

		Clave	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	H2O	Referencia
Unidades del EPA	Dio-Jun	ART-21-01WR	61.53	1.07	15.95	6.99	0.10	2.24	5.31	3.70	2.50	0.29	0.33		1
		ART-21-01 (Enclave)	62.47	0.79	16.03	5.65	0.14	1.85	5.82	4.99	1.64	0.32			1
	Sien-Oll	ART-21-03	76.34	0.21	13.15	0.67	0.00	0.09	0.89	4.36	3.81	0.06	0.43		
		ART-21-05	77.39	0.06	12.59	0.96	0.02	0.07	0.34	3.64	4.68	0.01	0.25		
		ART-21-11A	75.46	0.20	14.17	0.34	0.01	0.44	3.18	5.49	0.30	0.05	0.38		
		ART-21-11B	72.09	0.43	15.09	0.55	0.01	0.84	4.12	5.70	0.39	0.10	0.66		
		MS 39	73.75	0.29	13.91	1.22	0.03	0.42	2.20	4.54	2.87	0.07		0.80	2
	QzDio-Cue	ART-21-12	57.92	0.99	16.85	8.04	0.12	3.55	6.70	3.56	1.72	0.26	0.29		
		MS 38	62.40	1.06	15.56	6.51	0.13	1.91	4.73	3.72	2.42	0.29		0.63	2
	Ton-Art	ART-21-13	58.76	0.97	16.73	7.62	0.12	3.15	6.60	3.57	1.34	0.24	0.91		
		Mi-11	58.19	0.82	17.03	7.72	0.11	3.43	6.76	3.49	1.62	0.20			
		MS 37	61.31	0.68	16.27	6.25	0.12	2.73	5.66	3.52	1.83	0.11		0.70	2
	QzDio-Col	ART-21-14A	69.94	0.35	15.09	3.39	0.06	0.96	2.99	4.06	2.62	0.10	0.44		
		ART-21-14B	77.09	0.07	12.58	0.96	0.00	0.08	0.59	3.74	4.62	0.02	0.25		
		ART-21-14C	57.76	1.07	16.99	6.74	0.21	3.02	6.11	4.68	1.68	0.21	1.54		
		ART-21-18	63.92	0.73	16.39	4.87	0.06	2.28	4.55	4.49	1.99	0.20	0.52		
	Grd-Zuñ	ART-21-19	65.13	0.60	16.43	4.17	0.05	1.97	4.29	4.59	2.15	0.17	0.45		
Unidad del PAZ	Unidad del PAZ	ART-21-27	77.15	0.13	12.38	1.06	0.02	0.16	0.51	3.71	4.42	0.02	0.45		
		ART-21-28	75.80	0.13	13.21	1.39	0.05	0.15	0.88	4.17	3.69	0.03	0.52		

Tabla 3. Concentración en wt% de los elementos mayores de las muestras pertenecientes al EPA y el PAZ. 1: Schaf (1990) y 2: Suazo-Guz (2020).

		Clave	Li	Be	P	Sc	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Tb	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Th	U
U ni da de s de l EP A	Dio-Jun	ART-21-01WR	18.64	1.17	0.31	17.89	1.08		87.47	15.07	8.13	51.20	75.73	17.63	70.62	338.01	32.29	146.74	7.40	5.17	2.96	0.35	1.10	1109.03	10.30	22.70	3.35	14.78	3.55	0.62	0.58	3.43	3.65	0.76	2.20	2.30	0.35	4.37	0.66	0.58	0.28	3.84	7.34	2.63
	Sien-Oll	ART-21-03	6.34	1.57	0.04	2.06	0.21	12.56	44.07	1.30	2.04	2.43	16.23	13.19	74.27	161.46	23.30	146.74	7.40	5.17	2.96	0.35	1.10	1109.03	10.30	22.70	3.35	14.78	3.55	0.62	0.58	3.43	3.65	0.76	2.20	2.30	0.35	4.37	0.66	0.58	0.28	3.84	7.34	2.63
		ART-21-05	12.82	1.72	0.01	4.67	0.06	2.59	55.26	0.72	0.97	0.17	13.88	14.35	157.92	38.37	20.21	87.12	7.77	6.38	1.76	0.59	3.62	720.75	22.52	47.38	5.69	21.26	4.60	0.34	0.64	3.97	3.80	0.75	2.15	2.34	0.35	3.25	0.72	1.20	0.80	14.61	12.35	2.63
		ART-21-11A	1.96	1.59	0.06	3.15	0.25	22.54	17.39	0.93	9.87	5.77	12.87	11.90	6.01	305.83	14.75	88.05	7.44	1.37	1.76	0.23	0.62	179.78	7.59	14.12	1.56	6.37	1.52	0.42	0.30	1.64	2.13	0.48	1.43	1.71	0.26	2.87	0.93	0.33	0.03	4.29	10.12	1.93
		ART-21-11B	6.53	2.59	0.13	4.66	0.44	52.94	52.91	1.31	4.29	9.54	32.03	14.92	9.25	332.79	22.52	155.44	10.89	5.17	2.63	0.16	1.33	195.17	9.87	19.50	2.49	10.75	2.88	0.62	0.52	2.93	3.45	0.73	2.15	2.45	0.37	4.44	0.93	0.70	0.06	8.90	8.65	2.72
	QzDio-Cue	ART-21-12	14.83	1.28	0.28	18.95	0.95	185.65	42.71	20.90	23.16	78.17	79.81	18.80	43.80	384.57	25.55	157.42	6.25	3.58	1.34	0.29	2.54	536.07	16.34	35.64	4.76	20.46	4.79	1.18	0.73	4.55	4.35	0.87	2.46	2.44	0.37	3.95	0.45	0.63	0.21	6.97	3.89	1.32
	Ton-Art	ART-21-13	16.64	1.28	0.25	19.81	0.89	183.37	39.48	19.08	30.98	67.27	75.31	18.20	48.35	354.98	27.55	109.57	6.18	3.67	1.80	0.45	3.32	387.08	17.43	38.41	5.06	21.28	5.01	1.21	0.78	4.78	4.62	0.92	2.60	2.59	0.39	3.08	0.53	0.85	0.25	7.55	5.72	5.07
		Mi-11		0.91				185.00	20.50	17.40	12.40	45.00	75.00	19.10	55.30	385.00	18.20	176.00	4.38						474.00	13.49	29.72	3.62	15.92	3.51	0.99	0.51	3.26	3.05	0.72	1.73	1.85	0.28						3.68
	QzDio-Col	ART-21-14A	16.38	1.45	0.12	7.64	0.37	51.56	32.75	5.13	2.58	4.14	42.32	15.87	67.17	258.77	18.01	114.54	5.89	5.70	1.35	0.14	1.95	882.52	17.38	32.23	3.80	14.40	3.00	0.84	0.46	2.83	2.83	0.59	1.72	1.94	0.31	3.03	0.54	0.65	0.31	5.98	4.47	1.45
		ART-21-14B	3.45	1.39	0.01	1.20	0.09	8.64	27.09	1.18	1.52	0.53	25.62	10.79	102.60	45.48	10.83	68.80	4.77	4.46	0.65	0.16	1.66	690.06	21.07	38.02	4.01	13.09	2.18	0.37	0.30	1.86	1.76	0.38	1.12	1.26	0.20	2.73	0.72	0.49	0.42	10.64	10.11	2.47
		ART-21-14C	19.00	1.18	0.24	20.82	1.07	243.18	16.58	7.92	21.23	7.67	118.16	19.56	57.68	379.28	28.41	124.54	5.41	1.03	1.07	3.13	0.54	723.70	19.95	42.45	5.60	23.71	5.49	1.68	0.83	5.27	4.84	0.96	2.71	2.69	0.41	3.22	0.37	0.85	0.29	5.83	2.47	1.54
		ART-21-18	19.23	1.33	0.23	7.90	0.63	115.35	46.65	10.68	10.36	6.22	43.61	19.77	29.09	604.59	8.62	82.71	5.05	2.79	0.91	0.10	0.87	765.40	18.24	33.35	4.15	15.81	3.00	0.98	0.33	2.46	1.68	0.33	0.85	0.78	0.12	2.27	0.41	0.38	0.17	5.04	2.92	0.89
	Grd-Zuñ	ART-21-19	8.83	1.37	0.20	7.55	0.61	98.62	44.69	9.88	14.36	5.20	44.76	19.61	38.79	630.86	9.59	104.11	5.76	3.11	0.84	0.10	0.78	769.69	19.04	40.50	5.27	20.71	3.89	1.09	0.41	3.00	1.93	0.37	0.96	0.83	0.12	2.90	0.57	0.40	0.17	5.36	4.15	1.51
P AZ	Unidad del PAZ	ART-21-27	8.33	2.39	0.02	2.27	0.14	9.29	20.56	1.21	32.84	0.86	13.00	12.46	123.20	30.81	19.57	79.57	10.35	1.97	1.00	0.12	3.14	443.87	18.62	34.33	4.44	15.56	3.25	0.32	0.49	2.85	3.00	0.63	1.86	2.13	0.33	2.93	1.30	1.88	0.53	11.14	8.77	2.70
		ART-21-28	42.63	1.24	0.03	2.76	0.12	8.24	28.78	1.24	30.21	0.76	26.83	15.05	109.71	81.86	16.72	77.98	7.88	3.04	1.41	0.15	3.49	907.05	19.28	38.34	4.52	16.30	3.12	0.58	0.45	2.76	2.65	0.55	1.63	1.83	0.29	2.56	0.75	0.58	0.59	10.76	8.35	1.64

Tabla 4. Contenido de elementos traza en ppm de muestras correspondientes al EPA y al PAZ.

5.6.1 Elementos mayores

En la **Figura 42** se presentan los diagramas tipo Harker, que facilitan la identificación de procesos de diferenciación magmática. En el EPA se pueden discriminar dos grupos: el primero conformado por las unidades Arteaga, Parota de Cuevas, Los Colorados y Parotita de Zúñiga que delimitan a la región oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sursuroeste del EPA y el segundo grupo que se constituye de la unidad Ollita Colgada, que representa la región nornoreste-noreste del EPA y la muestra perteneciente al PAZ.

Se distingue al primer grupo con valores de SiO_2 entre 57-65 wt% al mismo tiempo que representa la región del EPA con menor cantidad de SiO_2 . El segundo grupo, contiene valores de SiO_2 entre 69-78 wt% reflejando a la unidad de Ollita Colgada como la más enriquecida sílice en conjunto con el PAZ.

En el diagrama de CaO vs SiO_2 se observa una pendiente negativa reflejando empobrecimiento de CaO . Las regiones oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA presentan los valores de CaO desde 4.1 hasta 6.5 wt%. Por otro lado, la región nornoreste-noreste del EPA y el PAZ, presentan los valores más bajos de CaO , los cuales se encuentran entre 0.5 y 0.8 wt%.

En el diagrama de K_2O vs SiO_2 se distingue una pendiente positiva, reflejando que las regiones oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA, son las que tienen los valores más bajos de K_2O , desde ~ 1.2 hasta 3.1 wt%. En cambio, la región nornoreste-noreste del EPA y el PAZ, contienen los valores más altos, entre 3.6 y 4.6 wt%.

En el diagrama Al_2O_3 vs SiO_2 , se puede identificar una pendiente negativa, donde las regiones oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA, son las que presentan los valores más altos, los cuales se encuentran entre 16.3 y 16.8 wt%. Mientras tanto, la región nornoreste-noreste del EPA y el PAZ, registran los valores más bajos de este elemento, siendo entre 12-13 wt%.

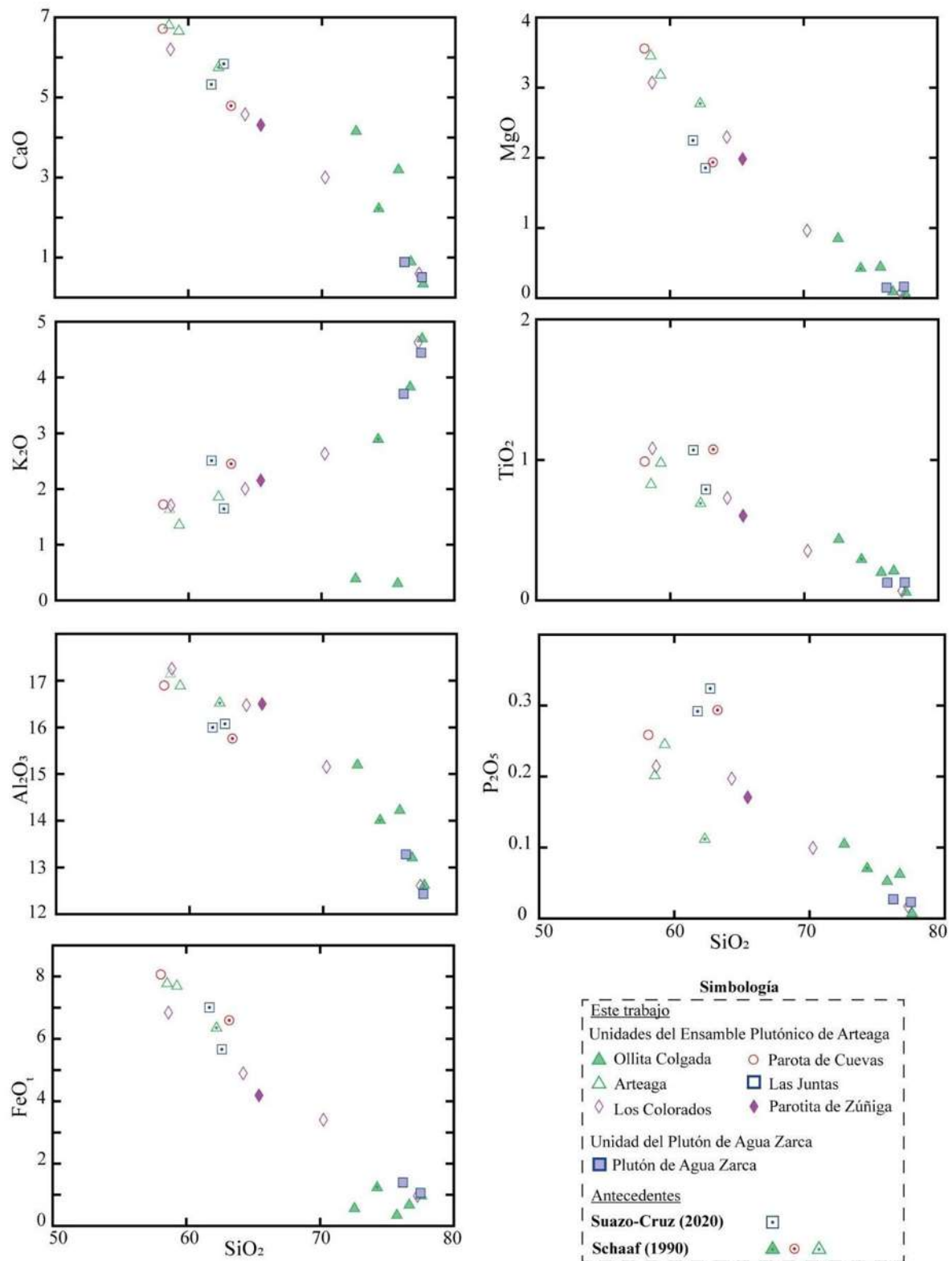


Figura 42. Diagramas binarios tipo Harker en donde se proyecta los elementos mayores vs SiO_2 .

El diagrama de FeO_t vs SiO_2 presenta una pendiente negativa, lo cual ayuda a definir que las regiones oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA registran los valores más altos, los cuales se encuentran entre 4 y 7.8 wt%. Entre tanto, la región nornoreste-noreste del EPA y el PAZ, presentan valores menores a 2 wt%.

En el diagrama de MgO vs SiO_2 , se distingue una pendiente negativa. Las regiones oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA son las que presentan los valores más altos, los cuales se encuentran entre 3.1 y 3.9 wt%. Por otro lado, las regiones nornoreste-noreste del EPA y el PAZ, presentan los valores más bajos siendo < 1 wt%.

En cuanto al diagrama de TiO_2 vs SiO_2 también tiene pendiente negativa. La región oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA, tienen un rango de valores entre 0.5-1.2 wt%, mientras que la zona nornoreste-noreste del EPA y el PAZ presentan los valores más bajos < 0.5 wt%.

Por último, el diagrama de P_2O_5 tiene una pendiente negativa. Los valores más altos corresponden a la zona oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA, que se encuentran ~ 0.1 -0.3 wt%. Entre tanto, los valores más bajos son reflejados en la zona nornoreste-noreste del EPA y el PAZ, los cuales tienen valores < 0.1 wt%.

En lo que se refiere a los valores de álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) vs SiO_2 presentados en el diagrama TAS, modificado por Wilson (1989) para rocas plutónicas de la **Figura 43**, es notorio que la mayor concentración de datos se encuentra en el campo de la cuarzodiorita. Sin embargo, es posible reconocer una tendencia desde el campo de la diorita, hacia el granito.

Es notoria la relación espacial de la composición del EPA que varía desde el menor contenido de sílice en la región suroeste y que va aumentando hacia la región del noroeste, dando composiciones desde diorita hasta granito. Las muestras del PAZ tienen composición granítica. En lo que respecta a las series magmáticas, podemos definir que todos los datos pertenecen a la serie subalcalina, típico de ambientes de subducción.

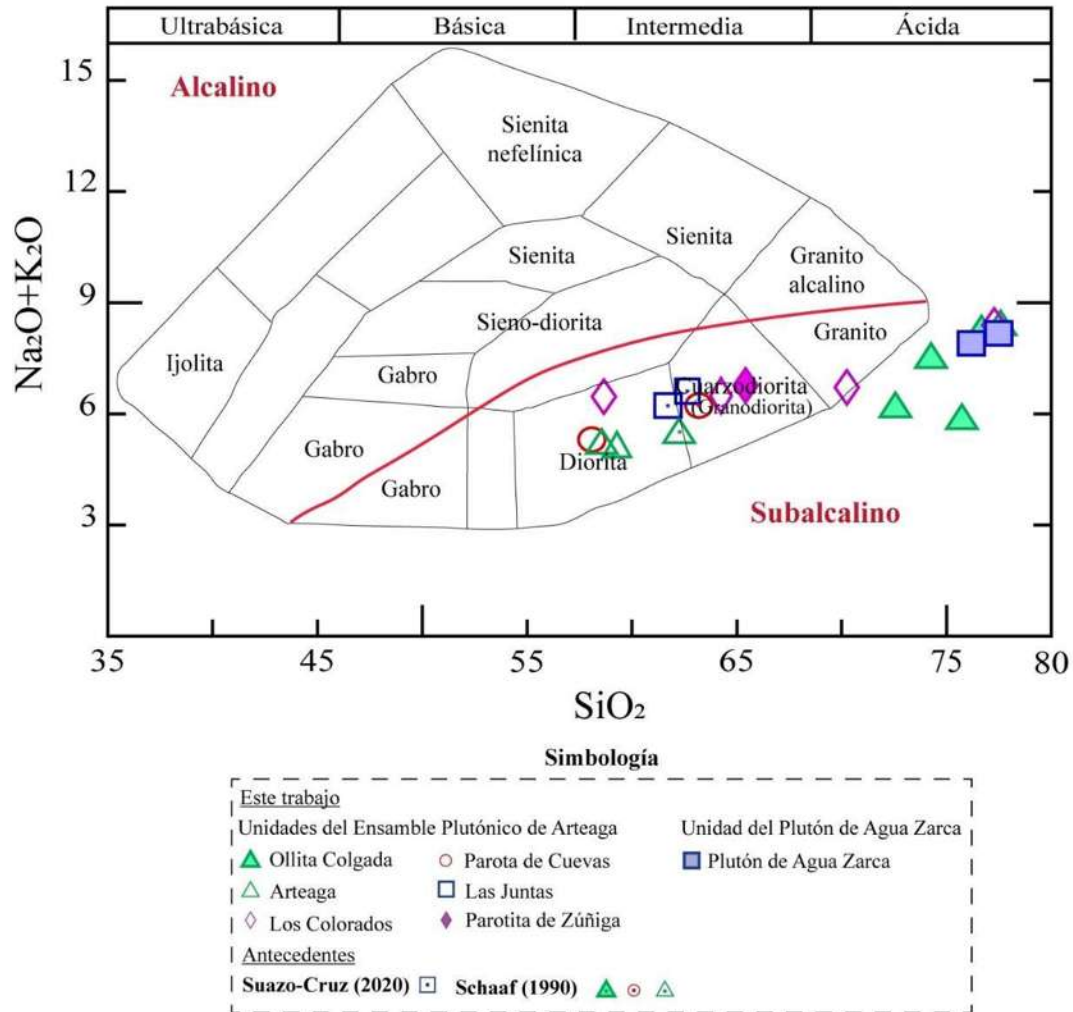


Figura 43. Diagrama de clasificación TAS para rocas plutónicas modificado por Wilson (1989). Se grafican las unidades internas del EPA y el PAZ.

En el diagrama de Shand (1947) los datos se proyectan en el campo metaluminoso, típico de los granitos de arco. En este campo se encuentran las regiones oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA. Existen algunos datos que se proyectan en el límite con el campo peraluminoso; estos datos pertenecen a las unidades de la región nornoreste-noreste del EPA y el PAZ; los cuales como se ha visto en los diagramas anteriores, presentan un enriquecimiento de SiO_2 y un empobrecimiento en los álcalis. En síntesis, es clara la tendencia de un magma metaluminoso y ligeramente peraluminoso para algunas muestras de Agua Zarca y Ollita Colgada.

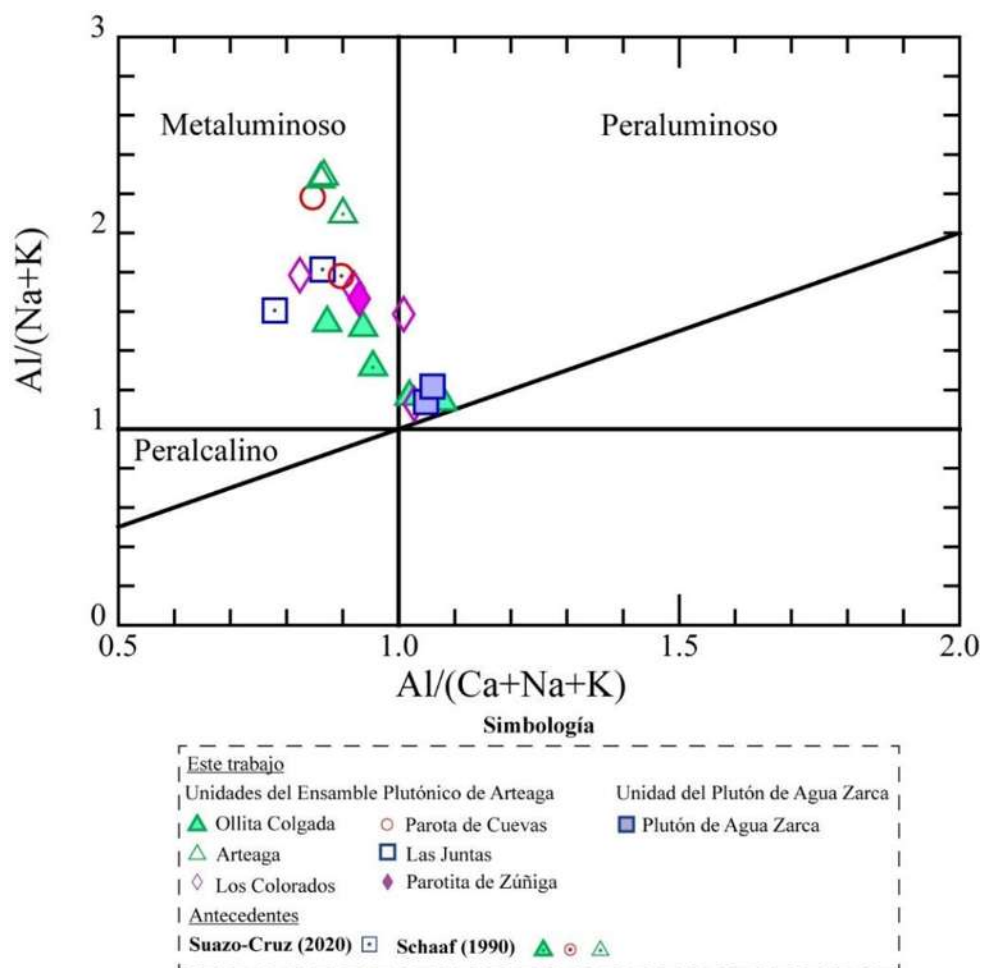


Figura 44. Diagrama de saturación de alúmina, conocido también como índice de Shand (1947).

Por otro lado, en el diagrama de clasificación normativa de Ab-An-Or propuesto por Barker (1979) (**Figura 45**), se puede identificar que las regiones oeste suroeste-sursuroeste y sursureste-sureste del EPA (unidades Arteaga, Las Juntas, Parota de Cuevas y Los Colorados) presentan un mayor enriquecimiento en anortita y albita, y un empobrecimiento en ortoclasa, situándolos en los campos intermedios de tonalita y granodiorita. mientras que, la región del nornoreste-noreste del EPA y el PAZ, presentan un mayor enriquecimiento en ortoclasa y un empobrecimiento en anortita. Esta característica es consistente con las descripciones petrológicas en plagioclasas usando su ángulo de extinción de las unidades Arteaga y Las Juntas.

Mientras tanto, en la región nornoreste-noreste del EPA (unidades Ollita Colgada y un espécimen de Los Colorados) y el intrusivo PAZ, presentan un mayor enriquecimiento en ortoclasa a la par de un empobrecimiento en anortita, proyectándolos en el campo de la trondhjemitita y granito, observándose un cambio composicional importante en dirección sureste-noroeste del EPA.

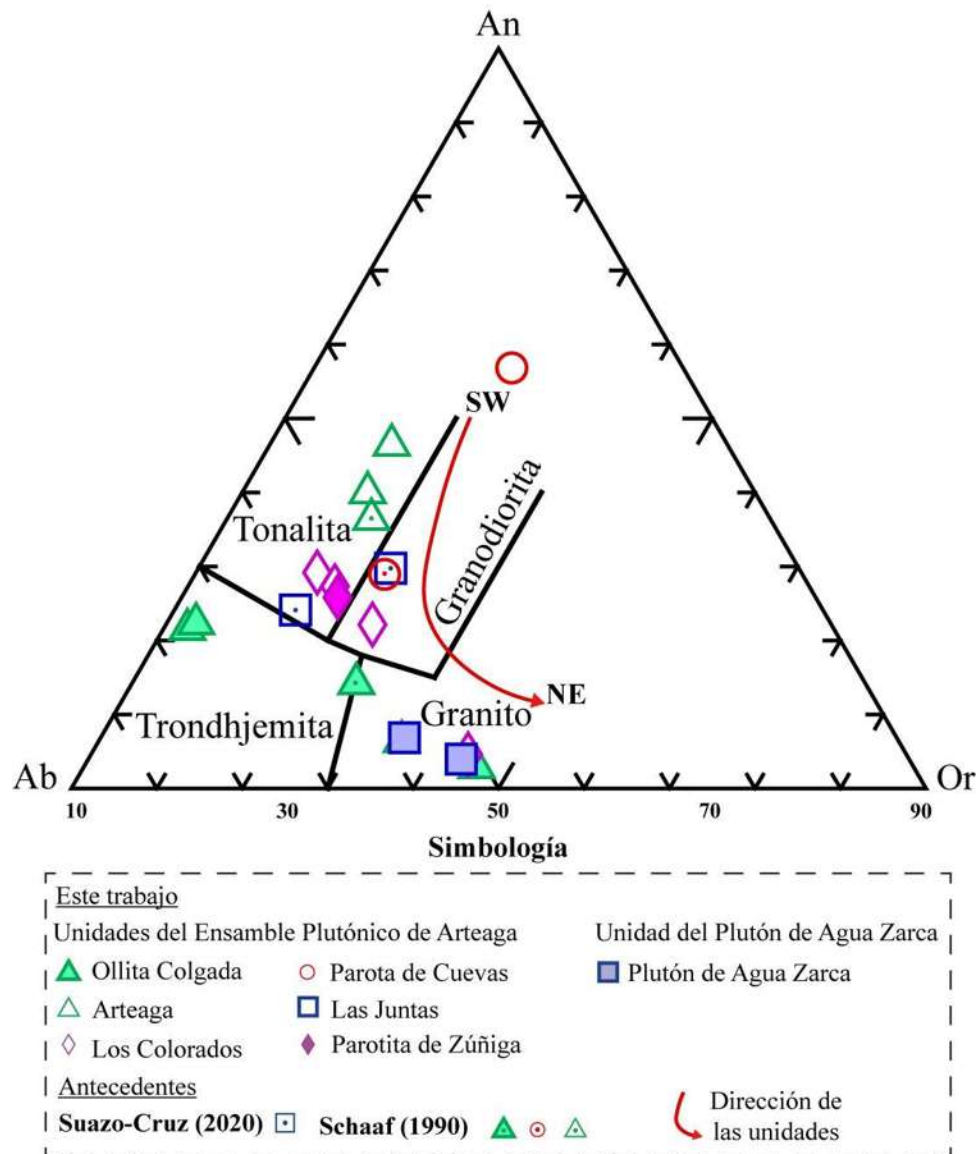


Figura 45. Diagrama ternario de clasificación normativa de Ab-An-Or propuesto por Barker (1979), en donde se proyectan las muestras pertenecientes al EPA y al PAZ. La flecha de color rojo indica la dirección de las unidades del EPA y el PAZ en sentido SW-NE.

5.6.2 Elementos traza

En el diagrama multielemental (**Figura 46**), normalizado con manto primitivo de Sun y McDonough (1989), se puede apreciar que las unidades internas del EPA y el PAZ, están enriquecidas en los elementos LILE con respecto a los HFSE, reflejando una traza representativa de rocas de arco volcánico. Al mismo tiempo, se puede distinguir anomalías negativas de Nb, P, Zr y Ti, así como positivas de K y Pb, las cuales se relacionan con su carácter de relativa compatibilidad e incompatibilidad.

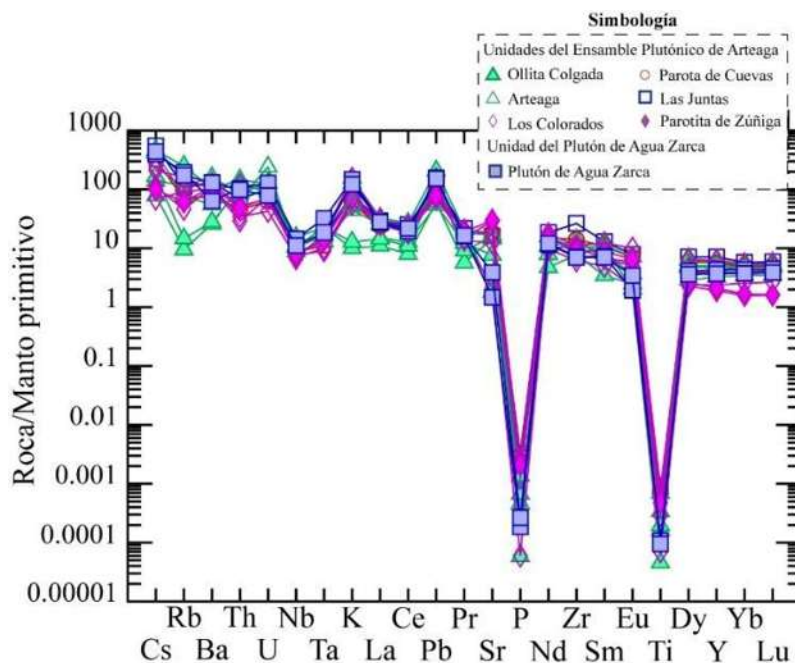


Figura 46. Diagrama multielemental de elementos traza, normalizado con N-MORB de Sun y McDonough (1989), en donde se proyectan las muestras pertenecientes a las unidades internas del EPA y al PAZ.

Los diagramas de elementos de tierras raras normalizados con condrita de Sun y McDonough (1989) (**Figura 47**), presentan un enriquecimiento en tierras raras ligeras LREE con respecto a las HREE, dicho patrón se observa en las unidades internas del EPA y el PAZ. A partir del disprosio (Dy), se puede observar que el patrón es relativamente plano.

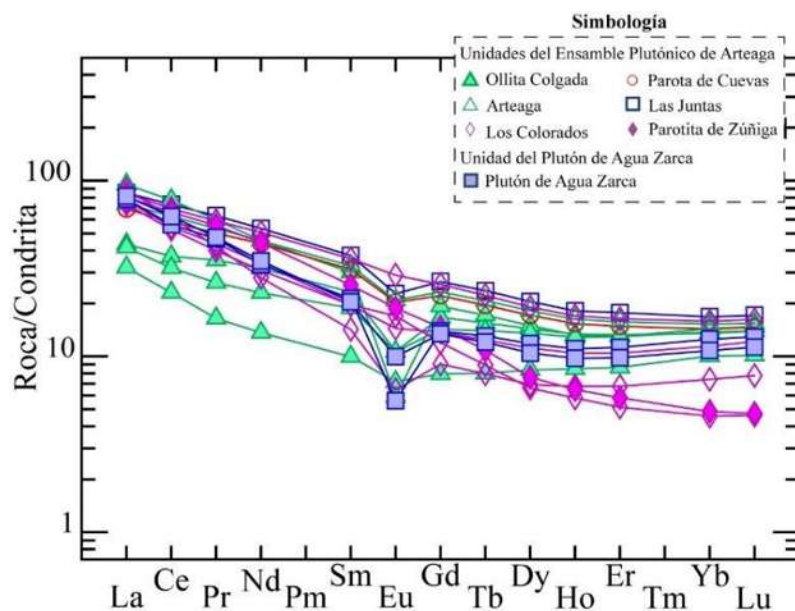


Figura 47. Diagrama de los elementos de tierras raras normalizado con condrita de Sun y McDonough (1989), que presenta a las unidades internas del EPA y el PAZ.

Todas las unidades presentan una anomalía negativa de Eu la cual es típicamente asociada con el fraccionamiento de la plagioclasa. Los diagramas de discriminación tectónica Rb vs Y+Nb (**Figura 48, A**) y Rb vs Yb+Ta (**Figura 48, B**) para granitoides propuestos por Pearce *et al.* (1984), señalan que las muestras se proyectan en el campo de los granitos de arco volcánico (VAG, por sus siglas en inglés *Volcanic Arc Granite*) para ambos esquemas. En estos diagramas se observa que las muestras de la unidad Ollita Colgada se separan del grupo general de muestras y tienen una variación amplia particularmente de Rb, sugiriendo un rango de mayor diferenciación.

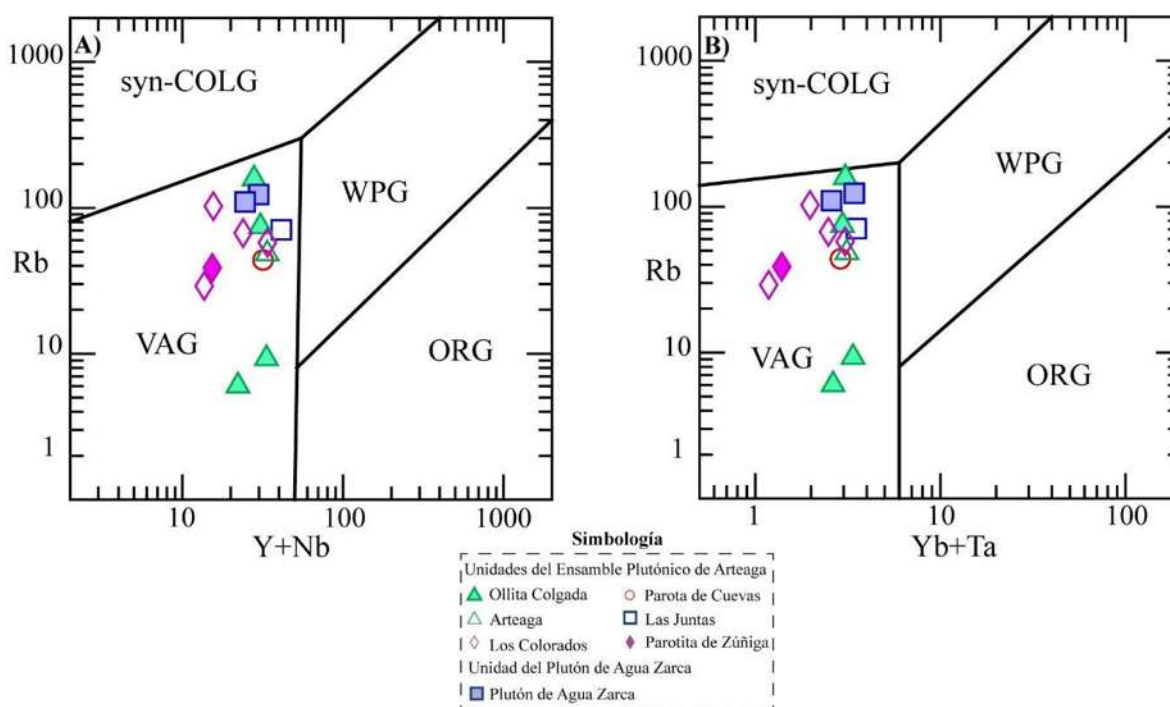


Figura 48. Diagramas de discriminación tectónica propuestos por Pearce *et al.* (1984) para granitoides. **A)** En el eje de las ordenadas se proyecta el contenido de Rb y en el eje de las abscisas el resultado de sumar Y+Nb. **B)** Se proyecta el mismo elemento en las ordenadas, es en el eje de las abscisas en donde se proyecta el resultado de la suma de Yb+Ta.

5.6.3 Geoquímica isotópica

En la **Tabla 5** se presentan los resultados de los análisis isotópicos de los sistemas Rb-Sr y Sm-Nd pertenecientes a la roca total del EPA y del PAZ. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Geoquímica Isotópica del Instituto de Geofísica, UNAM (LUGIS). Las muestras del EPA corresponden a cinco ejemplares intrusivos que pertenecen a la misma cantidad de unidades internas; para el caso del PAZ se reporta el análisis de una muestra.

															Concentración (Dilución isotópica) (ppm)				Referencia
		Muestra	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr	1 sd	2 SE(M)	n	147Sm/144Nd	143Nd/144Nd	1 sd	2 SE(M)	n	εNd	1s	Rb	Sr	Sm	Nd	
Unidades del EPA	Dio-Jun	ART-21-01	0.66	0.704441	35	10	56	0.138611	0.512818	14	4	66	3.5	0.27	74.6	329.1	5.5	23.9	3
	Sien-Oll	ART-21-03	1.21	0.705609	27	8	58	0.139790	0.512773	14	4	66	2.6	0.27	71.1	170.5	3.5	15.0	3
		ART-21-05	13.51	0.712993	34	10	51	0.130661	0.512777	16	4	65	2.7	0.31	148.3	31.8	3.7	16.9	3
		MS39	0.95	0.705000	39			0.118000	0.513000	34			2.6	0.67	22.0	60.0	20.0	60.0	1
	Ton-Art	ART-21-13	0.35	0.704422	34	8	58	0.138164	0.512773	11	2	67	2.6	0.21	42.8	355.4	4.8	20.8	3
		MS37	0.38	0.704000	59			0.138000	0.513000	17			2.5	0.33	40.0	60.0	20.0	60.0	1
	Grd-Zuñ	ART-21-19	0.18	0.703857	31	8	59		0.512857	20	4	54	4.3	0.39	40.0	625.3		19.3	3
	QzDio-Cuev	MS38	0.63	0.704000	55			0.141000	0.513000	22			3.2	0.42	27.0	60.0	20.0	60.0	1
PAZ	Unidad del PAZ	ART-21-28	3.82	0.706739	36	10	58	0.111084	0.512714	20	4	53	1.5	0.39	105.8	80.2	3.2	17.3	3

Tabla 5. Relaciones isotópicas de Rb/Sr, Sr/Sr, Sm/Nd y Nd/Nd de roca total del EPA y el PAZ. Se presentan datos de 1: Schaaf (1990) y 3: Este trabajo.

Iniciando con el Rb se puede observar en la **Tabla 5** que la unidad Sien-Oll (148.27 ppm) y el PAZ (105.77 ppm) tienen los valores más altos. En contraste, las unidades de la Ton-Art, Grd-Zuñ y QzDio-Cuev que se encuentran al suroeste del EPA, poseen los valores más bajos los cuales van de 27 a 42.8 ppm.

En cuanto al Sr, la unidad de Grd-Zuñ es la que contiene el valor más alto que es de 625.3433 ppm. En las unidades del centro y sursuroeste del EPA, como la Dio-Jun (329.05 ppm) y la Ton-Art (355.39 ppm) se observa un ligero enriquecimiento. Para las unidades del EPA que se encuentran al noreste y sureste, en dirección al PAZ, se observan los valores más bajos que van de 31.77 a 170.47 ppm.

Continuando con el Sm los datos reportados por Schaaf (1990) que pertenecen a las unidades de Sien-Oll, Ton-Art y QzDio-Cuev son los más altos (60 ppm). En este trabajo, las unidades de la Dio-Jun (5.47 ppm) y la Ton-Art (4.76 ppm) tienen los valores más altos, en contraste si nos acercamos a la unidad del noreste del EPA (Sien-Oll (3.65-3.47 ppm)) y en dirección al PAZ (3.18 ppm) observaremos los valores más bajos.

Por último, para el Nd los valores más altos son aquellos reportados por Schaaf (1990) que pertenecen a las unidades de la Sien-Oll (60 ppm), Ton-Art (60 ppm) y QzDio-Cuev (60 ppm). Los obtenidos en este trabajo corresponden a las unidades de la Dio-Jun (23.87 ppm) y la Ton-Art (20.83 ppm), los valores más bajos se encuentran en la unidad de la Sien-Oll los cuales van de 15.04 a 16.88 ppm.

En la **Figura 49** se presenta la relación (ϵNd_i) versus $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ ambos recalculados a 50 Ma. Se puede observar que los datos calculados en este trabajo están en una región estrecha, sin presentar alguna variación entre ellas, dicha concentración se encuentra en el campo de OIB y con una tendencia hacia el campo MORB. La variación de los valores de la relación $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ va de 0.702631 a 0.704174 mientras que el valor de ϵNd_i varía entre +2 a +6.

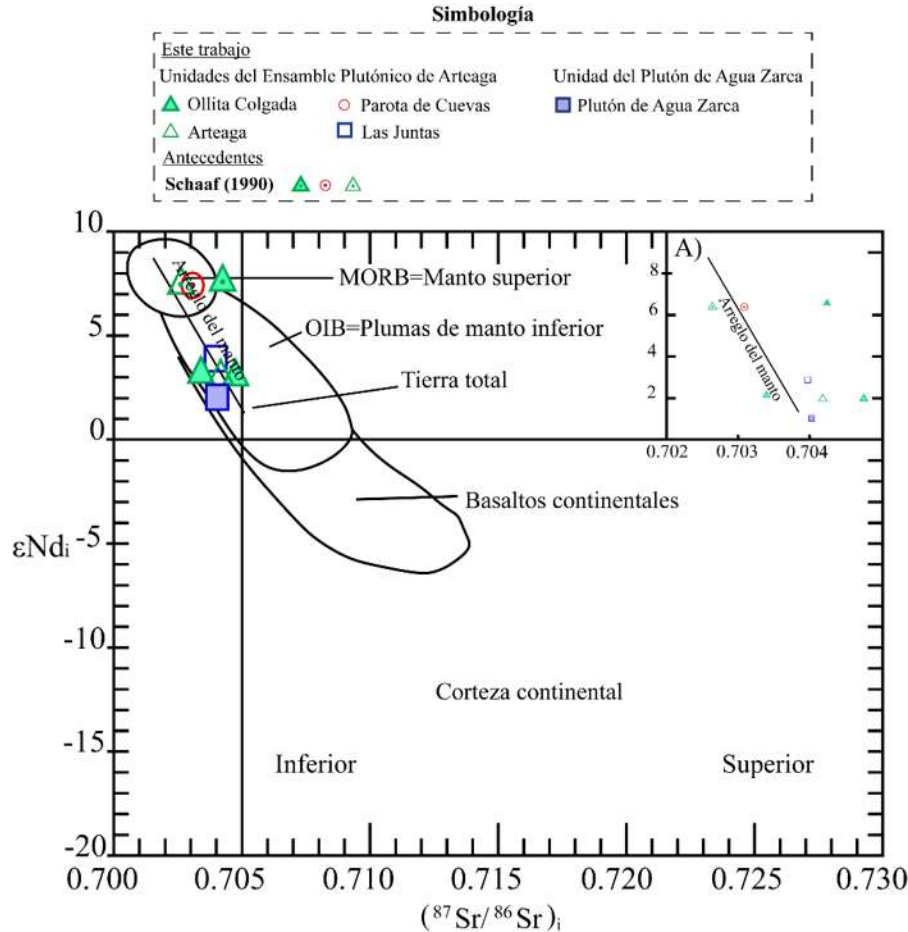


Figura 49. Diagrama en donde se observa la relación isotópica de ϵNdi respecto a la relación $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$; ambos recalculados a 50 Ma propuesto por DePaolo y Wasserburg (1979). Se grafican los datos del EPA y el PAZ recalculados a 50 Ma. **A)** Se presenta un acercamiento de los datos en donde se puede observar una separación entre las unidades del noreste y suroeste del EPA.

En síntesis, con las cantidades reportadas de Rb, Sr, Sm y Nd, así como la descripción de la **Figura 49**, nos permite concluir que las unidades del EPA y el PAZ tienen una firma mantélica, la cual se caracteriza por tener valores bajos en la relación Rb-Sr y alto en la relación Sm-Nd. En el acercamiento que se muestra en el inciso **A** de la **Figura 49**, se puede observar que las unidades de Ollita Colgada y Arteaga, sufrieron mayor contaminación cortical con respecto a la unidad de Las Juntas, mientras que el PAZ refleja relativamente mayor asimilación cortical; esta tendencia descrita puede estar relacionada con el proceso de diferenciación magmática. En contraste, los datos obtenidos por Schaaf (1990) se agrupan en valores de +6 y se enriquecen de la relación de $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$.

También es posible distinguir dos grupos; el primero conformado por las unidades de Ollita Colgada, Arteaga y el PAZ (datos de este trabajo) y el segundo grupo conformado por las unidades de Las Juntas, Arteaga y Ollita Colgada de Schaaf (1990).

El primer grupo refleja valores de ϵNd_i que van de +2.6 a +3.2 los cuales coinciden con las regiones centro y noreste del EPA, así como el PAZ, lo cual puede sugerir que la fuente magmática presentaba cierta heterogeneidad en su composición, es decir, es posible que se encontraba en las primeras etapas de diferenciación magmática producto de contaminación cortical.

En contraste, en el segundo grupo se observan valores de ϵNd_i que se concentran en +6. Dicha característica a diferencia del primer grupo nos habla de la probabilidad de que la fuente magmática en esta porción se encontraba con menor diferenciación o contaminación cortical, pudiéndose tratar de un magma más básico sin llegar a un origen completamente mantélico.

5.7 Química mineral del EPA y el PAZ

Los datos de microanálisis fueron obtenidos de un total de cuatro láminas delgadas que, representan algunas de las unidades internas del EPA y del PAZ. Los datos presentados en la **Tabla 6** son representativos de las muestras analizadas, mientras que la totalidad de análisis se presenta en el **Anexo III**. Estas muestras fueron elegidas a partir de las relaciones texturales de las asociaciones minerales descritas en el capítulo anterior, así como por tener un bajo grado de intemperismo. La finalidad de este capítulo consiste en ilustrar: 1.- las características químicas de los principales grupos minerales; y 2.- definir la variabilidad química de las fases minerales y su relación con la microestructura de la roca.

5.7.1 Serie de los feldespatos y plagioclasas

Como se observó en el análisis petrográfico y con el método Michel-Levy queda claro que existe una variación en la composición química de los feldespatos y plagioclasas de las unidades del EPA y el PAZ.

Iniciando con la unidad de Las Juntas, se observa en la **Figura 50** que la mayoría de las plagioclasas, muestran una composición de An_{20-30} proyectándose en el campo de la oligoclasa. En menor cantidad, se observan plagioclasas con una composición de An_{30-40} que se proyectan en el

campo de la andesina y otros especímenes de composición An_{60-75} que se encuentran entre los campos de labradorita y bytownita. Esto es consistente con las descripciones petrográficas de la unidad, ya que a partir de su ángulo de extinción fue posible estimar su composición An-Ab así como identificar un grupo de plagioclasas más ricas en Ca.

Las plagioclasas que pertenecen a la unidad Ollita Colgada presentan una composición química principalmente de An_{10-30} las cuales se proyectan en el campo de la oligoclasa. Respecto a la composición de los feldespatos potásicos, se puede observar que son relativamente homogéneos ya que poseen un porcentaje de Or_{89-95} proyectándose en el campo de la ortoclasa. Estos feldespatos potásicos destacan desde las muestras en mano de la unidad.

En cuanto a las plagioclasas de la unidad de Arteaga, como se observa en la **Figura 50** no se identificó una variación importante siendo este de An_{30-50} el cual pertenece al campo de la andesina, observándose un comportamiento relativamente homogéneo.

Por último, para las plagioclasas de la unidad de Agua Zarca, como se observa en la **Figura 50**, no presentan una variación composicional química importante, esto debido a que la gran mayoría de los datos se proyectan más cercano al componente albitico y se concentran en un porcentaje de An_{5-15} el cual delimita a los campos de la albita y oligoclasa, respectivamente. En cuanto a los resultados de la serie de los feldespatos potásicos, no se observa variación composicional química, observándose que los datos se concentran en un porcentaje de Or_{90-95} .

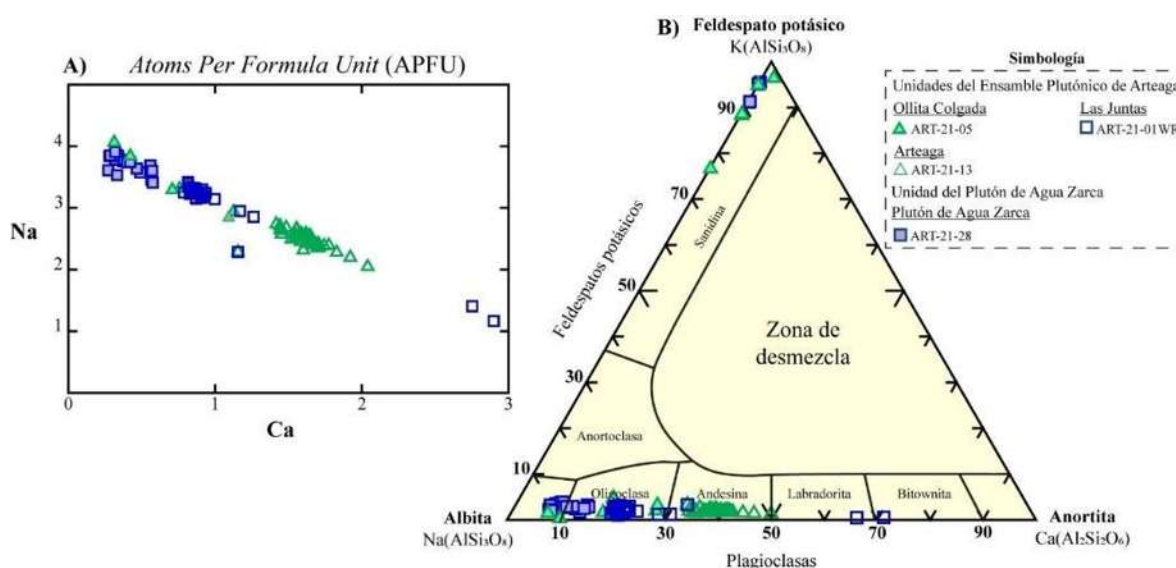


Figura 50. A) Diagrama de variación Na vs Ca de las plagioclasas de las cuatro muestras descritas anteriormente. B) Diagrama ternario de la solución albita-anortita-feldespato potásico.

Plagioclasas								
Unidades del EPA					PAZ			
Dio-Jun			Sien-Oll		Ton-Art		Unidad del PAZ	
wt%	ART21-01-WR-A-199	ART21-01-WR-A-200	ART-21-05-A-73	ART-21-05-C-85	ART-21-13-A-99	ART-21-13-A-101	ART-21-28-A-3	ART-21-28-A-4
SiO ₂	63.43	62.22	66.22	61.74	58.46	57.01	66.34	65.10
Al ₂ O ₃	21.43	21.87	20.70	24.12	26.03	27.17	20.61	21.86
FeO	0.09	0.21	0.14	0.33	0.19	0.17	0.11	0.03
CaO	3.98	4.58	1.58	5.69	8.20	9.24	1.67	2.82
Na ₂ O	9.07	8.83	11.34	8.20	6.85	6.36	10.77	10.30
K ₂ O	0.49	0.53	0.27	0.34	0.29	0.27	0.34	0.32
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.49	98.24	100.26	100.43	100.03	100.22	99.84	100.43
Cationes								
Si	11.72	11.50	12.23	11.41	10.80	10.53	12.26	12.03
Al	4.67	4.76	4.51	5.25	5.67	5.92	4.49	4.76
Fe ²⁺	0.01	0.03	0.02	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00
Ca	0.79	0.91	0.31	1.13	1.62	1.83	0.33	0.56
Na	3.25	3.16	4.06	2.94	2.45	2.28	3.86	3.69
K	0.11	0.13	0.06	0.08	0.07	0.06	0.08	0.08
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	20.55	20.48	21.20	20.85	20.64	20.65	21.03	21.11
An	18.98	21.61	7.05	27.18	39.15	43.85	7.74	12.91
Ab	78.26	75.41	91.51	70.87	59.19	54.62	90.38	85.35
Or	2.76	2.98	1.45	1.95	1.66	1.53	1.88	1.74

Normalización de acuerdo con 32 oxígenos y 20 cationes.

Anfíboles						
Unidades del EPA						
Dio-Jun			Sien-Oll		Ton-Art	
wt%	ART21-01-WR-A-208	ART21-01-WR-A-209	ART-21-05-C-83	ART-21-05-C-84	ART-21-13-A-100	ART-21-13-A-102
SiO ₂	47.95	47.68	42.85	43.20	44.97	46.08
TiO ₂	1.09	0.94	2.77	2.56	1.44	1.51
Al ₂ O ₃	4.94	4.66	10.95	10.86	8.47	8.11
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
FeO	18.99	17.57	13.55	13.79	18.59	19.31
MnO	1.12	0.93	0.30	0.26	0.44	0.38
MgO	11.38	12.08	12.54	12.82	10.63	10.22
CaO	10.58	11.17	10.95	11.01	11.42	10.88
Na ₂ O	1.26	0.98	3.18	2.94	1.14	1.21
K ₂ O	0.43	0.42	0.33	0.31	0.90	0.80
ZrO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.74	96.43	97.42	97.77	98.01	98.49
Cationes						
Si	7.05	7.09	6.32	6.32	6.66	6.77
Al iv	0.86	0.82	1.68	1.68	1.34	1.23
Suma	7.91	7.91	8.00	8.00	8.00	8.00
Al vi	0.00	0.00	0.23	0.20	0.14	0.18
Ti	0.12	0.11	0.31	0.28	0.16	0.17
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	1.02	0.86	0.41	0.57	0.77	0.80
Fe ²⁺	1.37	1.37	1.28	1.14	1.57	1.61
Mn	0.14	0.12	0.04	0.03	0.06	0.05
Mg	2.50	2.68	2.76	2.80	2.35	2.24
Suma	5.14	5.13	5.01	5.02	5.04	5.04
Ca	1.67	1.78	1.73	1.73	1.81	1.71
Na	0.36	0.28	0.91	0.83	0.33	0.35
K	0.08	0.08	0.06	0.06	0.17	0.15
Suma	2.11	2.14	2.70	2.62	2.31	2.21
Total	15.16	15.19	15.72	15.64	15.35	15.25

Normalización considerando 22 oxígenos y 15-16 cationes.

Feldespatopotásico				
Unidades del EPA			PAZ	
Sien-Oll			Unidad del PAZ	
wt%	ART-21-05-A-68	ART-21-05-A-69	ART-21-28-B-19	ART-21-28-B-24
SiO ₂	64.66	64.55	64.92	65.63
Al ₂ O ₃	18.44	18.46	18.41	18.35
FeO	0.09	0.13	0.04	0.01
CaO	0.02	0.05	0.03	0.06
Na ₂ O	0.56	1.30	0.49	0.96
K ₂ O	15.80	15.12	16.13	15.75
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.57	99.62	100.02	100.76
Cationes				
Si	11.95	11.93	11.99	12.13
Al	4.01	4.02	4.01	4.00
Fe ²⁺	0.01	0.02	0.01	0.00
Ca	0.00	0.01	0.01	0.01
Na	0.20	0.47	0.17	0.34
K	3.72	3.56	3.80	3.71
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	19.90	20.01	19.99	20.19
An	0.10	0.26	0.15	0.29
Ab	5.07	11.54	4.38	8.43
Or	94.83	88.20	95.47	91.28

Normalización de acuerdo con 32 oxígenos y 20 cationes

Piroxenos			
Unidades del EPA			
Dio-Jun		Ton-Art	
wt%	ART21-01-WR-D-250	ART-21-13-Bi-164	ART-21-13-C-170
SiO ₂	27.19	46.66	51.63
TiO ₂	0.22	0.24	0.12
Al ₂ O ₃	17.71	1.47	0.66
Cr ₂ O ₃	0.00	0.10	0.00
FeO	29.47	28.14	31.07
MnO	0.65	0.89	1.26
MgO	13.92	17.28	16.60
CaO	0.04	1.04	0.95
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.20	0.10	0.00
Total	89.40	95.92	102.29
Cationes			
Si	1.23	1.90	1.97
Al iv	0.77	0.07	0.03
Al vi	0.18	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.81	0.18	0.04
Cr	0.00	0.00	0.00
Ti	0.01	0.01	0.00
Fe ²⁺	0.30	0.77	0.94
Mn	0.03	0.03	0.04
Mg	0.94	1.05	0.94
Ca	0.00	0.05	0.04
Na	0.00	0.00	0.00
K	0.01	0.01	0.00
Total	4.28	4.05	4.01
Wo	0.10	2.18	1.94
En	45.31	50.54	47.04
Fs	54.59	47.28	51.02

Normalización considerando 6 oxígenos y 4 cationes.

Ilmenita						
Unidades del EPA				PAZ		
Dio-Jun		Sien-Oll		Unidad del PAZ		
wt%	ART21-01-WR-A-207	ART-21-05-D-91	ART-21-05-D-92	ART-21-28-A-15	ART-21-28-A-16	ART-21-28-B-23
TiO ₂	47.89	49.38	50.21	50.60	56.03	49.65
Cr ₂ O ₃	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.01	0.03	0.00	0.35	0.04
Nb ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	43.87	48.54	48.27	28.82	24.66	37.63
MnO	6.20	1.54	1.96	19.01	2.85	11.27
MgO	0.01	0.04	0.14	0.03	0.03	0.00
CaO	0.04	0.04	0.01	0.09	0.45	0.36
SiO ₂	0.01	0.03	0.03	0.11	0.78	0.10
Total	98.05	99.64	100.65	98.66	85.15	99.05
Cationes						
Al	0.000	0.001	0.002	0.000	0.023	0.002
Fe ³⁺	0.31	0.25	0.22	0.12	0.11	0.21
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	1.89	1.92	1.92	1.96	2.33	1.93
Fe ²⁺	1.57	1.80	1.79	1.11	1.14	1.39
Mn	0.28	0.07	0.08	0.83	0.13	0.49
Mg	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02
Si	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01
Total	4.06	4.04	4.04	4.04	3.85	4.05

Normalización considerando 6 oxígenos y 4 cationes.

Tabla 6. Unidades de concentración en wt% de los principales grupos minerales del EPA y el PAZ.

Biotita								
Unidades del EPA								
PAZ								
Dio-Jun		Sien-Oil		Ton-Art		Unidad del PAZ		
wt%	ART21-01-WR-A-204	ART21-01-WR-A-205	ART-21-05-A-71	ART-21-05-A-72	ART-21-13-A-104	ART-21-13-A-116	ART-21-28-A-1	ART-21-28-A-2
SiO ₂	36.43	37.13	36.06	36.31	36.27	36.59	33.86	34.55
TiO ₂	4.26	4.42	4.18	4.42	5.17	4.95	3.61	3.54
Al ₂ O ₃	13.07	13.83	13.32	13.15	13.86	14.17	17.72	18.16
FeO	22.91	22.61	17.50	16.94	21.45	21.49	26.77	27.35
MnO	0.51	0.47	0.23	0.20	0.20	0.19	0.98	0.91
MgO	9.44	9.73	12.19	13.89	10.75	10.02	3.28	3.34
CaO	0.04	0.02	0.21	0.04	0.03	0.05	0.03	0.06
Na ₂ O	0.10	0.14	0.33	0.20	0.10	0.07	0.16	0.17
K ₂ O	9.36	9.50	8.62	9.23	9.50	9.48	8.80	8.69
Total	95.47	97.20	92.00	93.73	96.68	96.36	94.56	96.13
Cationes								
Si	5.64	5.75	5.73	5.77	5.77	5.82	5.38	5.49
Al iv	2.36	2.25	2.27	2.23	2.23	2.18	2.62	2.51
Sitio T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al vi	0.02	0.27	0.23	0.24	0.36	0.47	0.70	0.90
Ti	0.50	0.51	0.50	0.53	0.62	0.59	0.43	0.42
Fe ²⁺	2.97	2.93	2.33	2.25	2.85	2.86	3.56	3.64
Mn	0.07	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13	0.12
Mg	2.18	2.25	2.89	3.29	2.55	2.37	0.78	0.79
Sitio M	5.73	6.02	5.98	6.34	6.41	6.32	5.60	5.87
Ca	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Na	0.03	0.04	0.10	0.06	0.03	0.02	0.05	0.05
K	1.85	1.88	1.75	1.87	1.93	1.92	1.78	1.76
Sitio A	1.88	1.92	1.89	1.94	1.96	1.95	1.84	1.83
Total	15.61	15.94	15.86	16.28	16.37	16.27	15.44	15.70

Normalización considerando 11 oxígenos y 7-8 cationes.

Tabla 6 (continuación). Unidades de concentración en wt% de los principales grupos minerales del EPA y el PAZ.

Magnetita						
Unidades del EPA						
PAZ						
Dio-Jun		Ton-Art		Unidad del PAZ		
wt%	ART21-01-WR-A-217	ART21-01-WR-B-218	ART-21-13-A-106	ART-21-13-A-111	ART-21-28-B-29	ART-21-28-C-37
TiO ₂	0.37	21.54	0.95	0.20	4.96	6.09
Cr ₂ O ₃	0.02	0.10	0.54	0.34	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.32	0.07	0.96	0.56	0.79	0.29
Nb ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	93.54	75.67	91.47	93.72	84.32	88.47
MnO	0.03	2.78	0.25	0.00	1.31	1.71
MgO	0.00	0.00	0.09	0.00	0.04	0.00
CaO	0.03	0.05	0.12	0.14	0.03	0.01
SiO ₂	0.06	0.01	0.11	0.04	0.22	0.19
Total	94.36	100.23	94.48	94.99	91.67	96.75
Cationes						
Al	0.03	0.01	0.08	0.05	0.07	0.02
Fe ³⁺	3.95	2.41	3.85	3.94	3.56	3.53
Cr	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00
Ti	0.02	0.99	0.05	0.01	0.28	0.32
Fe ²⁺	0.01	0.67	0.01	0.00	0.13	0.16
Mn	0.00	0.14	0.02	0.00	0.08	0.10
Mg	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Si	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01
Total	4.03	4.23	4.08	3.94	4.16	3.68

Normalización considerando 32 oxígenos y 24 cationes.

En síntesis, en la unidad de Las Juntas es posible identificar una variación química en las plagioclasas muy importante, ya que encontramos minerales más ricos en Ca (como lo es labradorita y bitownita) lo que implica que las condiciones de cristalización para esos minerales, debieron ser a mayor profundidad si se compara con las plagioclasas más ricas en Na (como lo es la oligoclasa y andesina), por lo que esto podría plantear la hipótesis de que al menos en esta unidad, se tiene identificado el proceso de *mixing* respaldada por esta observación, y también *mingling* por las estructuras identificadas en campo.

En cuanto a la unidad de Arteaga, no se observa una variación química en las plagioclasas importante, siendo dominante la composición de andesina. Por último, podemos observar en este apartado que se repite la similitud entre las unidades del PAZ y Ollita Colgada, ya que tanto las plagioclasas como los feldespatos potásicos encontrados en ambos, tienen valores muy similares.

5.7.2 Micas

Durante el análisis de los datos sólo fue posible identificar micas oscuras en las láminas delgadas de las unidades del EPA y el PAZ. Se observó que este mineral es más abundante en la porción centro y suroeste-sursuroeste (unidades Las Juntas y Arteaga) que en la zona nornoreste-noreste (unidad de Ollita Colgada) y del PAZ.

Como se observa en la **Figura 51**, la mayoría de los datos que pertenecen al EPA se proyectan en el campo intermedio de la solución flogopita-annita, mientras que los datos que pertenecen al PAZ sólo se concentran en el campo de la annita.

Al concentrarnos en las unidades el EPA (**Figura 51**) podemos observar que existe una variación amplia de Al_{IV} entre las unidades siendo la unidad Arteaga la que presenta mayor variación con cantidades que van de ~ 2.9 a.p.f.u. (*atoms per formula unit*) hasta 2.1, mientras que las biotitas de Las Juntas se concentran en los valores de 2.2-2.4 y las de la unidad Ollita Colgada que van de 2.1-2.4. En cuanto al PAZ, se puede observar que presenta un patrón similar de variación al de la unidad Arteaga, sin embargo, se encuentra más cercano al miembro de la annita.

Este comportamiento también se puede observar en el diagrama propuesto por Nachi *et al.* (1985) (**Figura 52**) y utilizado por Mesquita *et al.* (2018) en donde se observa a los datos del EPA trazando una línea de transición de campos subalcalino, calci-alcalino y aluminio-potásico.

Para los datos del PAZ se observa una menor variación de Al_{IV} , señalando una posición en los campos calci-alcálido y aluminio-potásico. El análisis petrográfico y las asociaciones químicas observadas a lo largo de la láminas delgadas revelan un carácter complejo que debe estar relacionado con su capacidad para reequilibrarse química y texturalmente. Sin embargo, en las muestras analizadas petrográficamente, es posible reconocer al menos dos generaciones de biotita a partir de sus propiedades ópticas, lo cual es respaldado por las tendencias observadas en la **Figura 51** y **Figura 52**.

Por otro lado, en el diagrama ternario de la **Figura 51 B**, se observa que las biotitas de la unidad Las Juntas se agrupan en el intermedio entre el campo de los gabros y granitos. En cuanto a los datos de la unidad Ollita Colgada, se observa que los datos tienen una tendencia hacia el campo de los gabros. Continuando con los datos de la unidad Arteaga, se observa que se concentran en el campo de los gabros y granitos. Por último, para las biotitas del PAZ se observa que se concentran en el campo de los granitos.

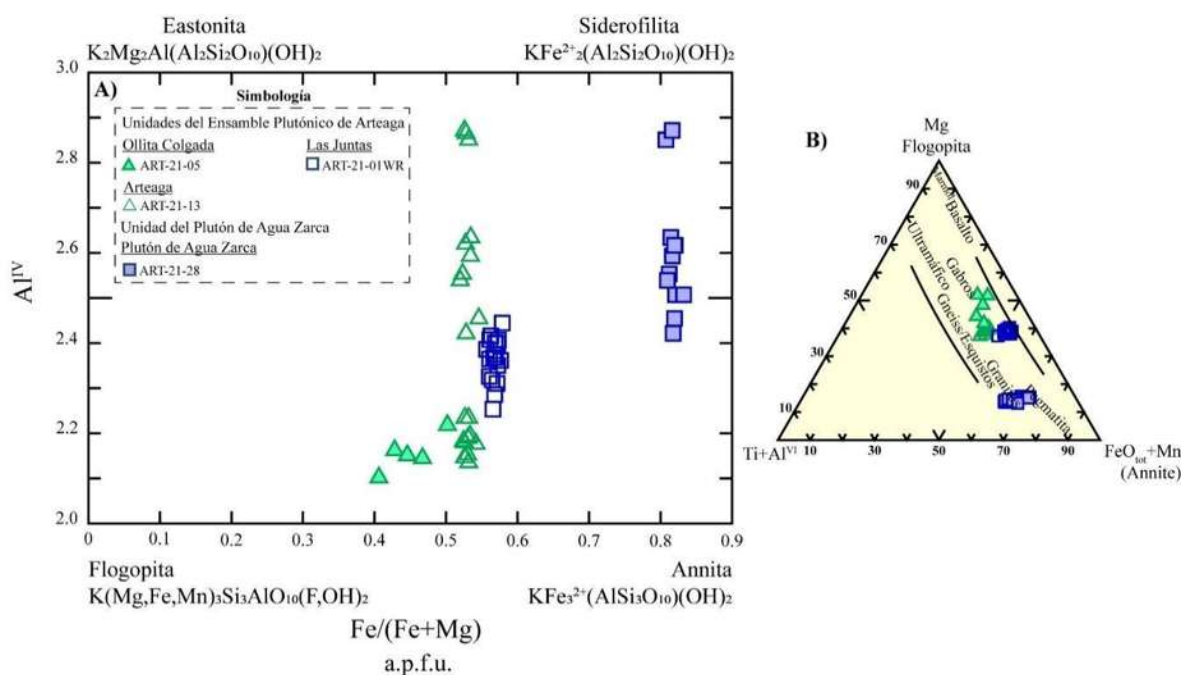


Figura 51. A) Diagrama binario propuesto por Deer *et al.* (1992) para observar la química mineral de las biotitas que pertenecen al EPA y al PAZ. Al_{IV} vs $Fe/(Fe+Mg)$, ambos ejes se encuentran en a.p.f.u. **B)** Diagrama ternario ($Fe_{tot}+Mn$)-(Ti+ Al^{VI}).

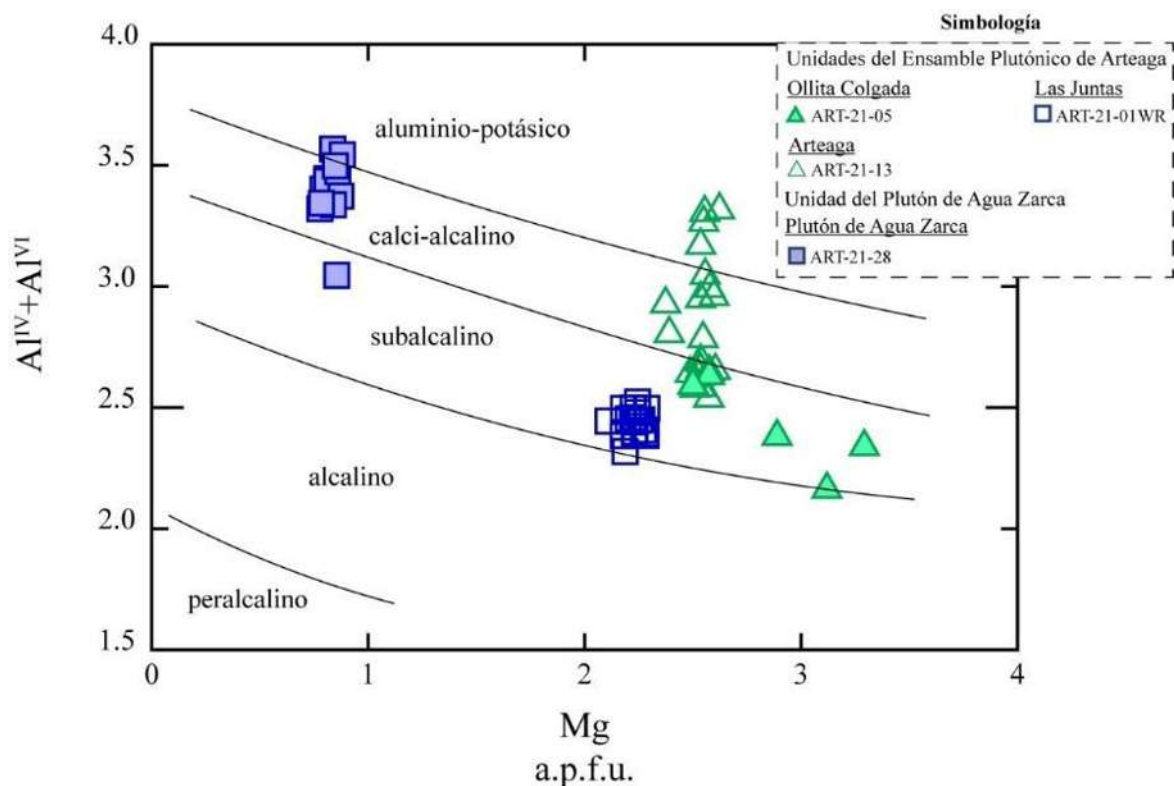


Figura 52. Diagrama binario $Al_{IV} + Al_{VI}$ vs Mg, ambos ejes se encuentran en unidades de a.p.f.u. Este diagrama fue propuesto por Nachi *et al.* (1985) y utilizado por Mesquita *et al.* (2018). Fue empleado para visualizar mejor los campos de transición desde la perspectiva de las biotitas del EPA y el PAZ.

En síntesis, en los diagramas de las **Figuras 51-52** se puede observar las variaciones químicas en las biotitas presentes en las unidades del EPA y el PAZ, durante el análisis petrográfico fue posible distinguir algunas variaciones principalmente entre las unidades de Arteaga y Ollita Colgada. Que las variaciones sean más fáciles de identificar en las unidades de Arteaga, Las Juntas y Ollita Colgada, puede abrir la posibilidad de que se esté observando una variación composicional producto de diferenciación magmática que va en sentido SW-NE.

5.7.3 Anfíbol

Se identificó que la gran mayoría de datos pertenecientes a los anfíboles del EPA y el PAZ, son del tipo cálcico (**Figura 53 A y B**; Leake *et al.* 1997). Como se puede observar en la **Figura 53 A**, la condición establecida de $(Na+K)_A < 0.5$; $Ti < 0.5$ sólo se cumple para los anfíboles que pertenecen a las muestras de la unidades Las Juntas y una parte de Arteaga, en donde se observa la tendencia hacia magnesio-hornblenda.

Se puede observar que los valores de $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ en a.p.f.u. de ambas unidades se concentran en 0.5-0.7, mientras que en cuanto al contenido de Si se concentran en valores de 6.8-7.2.

Por otro lado, como se observa en la **Figura 53, B)** los anfíboles que pertenecen a la unidad Ollita Colgada y una parte a la unidad Arteaga, son las que cumplen la condición dada de $(Na+K)_A > 0.5$; $Ti < 0.5$; $Fe^{3+} < (Al)^M$ la cual agrupa a los anfíboles del tipo edenita-pargasita. Se observa que los datos de ambas unidades presentan valores de la relación $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ que van de 0.6-0.7, mientras que en cuanto al contenido de Si los anfíboles de Ollita Colgada van de 6.2-6.4 y los de Arteaga se acumulan en valores que van de 6.5-7.0.

En resumen, los anfíboles de la unidad Las Juntas dado su contenido de Si y de la relación $Mg/(Mg+Fe^{2+})$, permite agruparlos en el campo de la magnesio-horblenda, reflejando un mayor contenido de Mg respecto al Fe. Esto es coherente con las variaciones identificadas durante el análisis petrográfico de esta unidad. Para los anfíboles de la unidad Ollita Colgada, dado su contenido de Si y la relación $Mg/(Mg+Fe^{2+})$, se proyectan en el campo de la pargarsita. Para este caso, en lámina delgada no fue posible identificarlos como tal. Por último, para la muestra de la unidad Arteaga dado sus valores en las ordenadas y en las abscisas, permite definir a los anfíboles en el campo de la edenita observando anfíboles que pertenecen a una primera fase de cristalización de un magma con mayor contenido de Fe.

El contenido de al menos dos tipos diferentes de anfíbol en esta unidad coincide con lo observado durante su análisis petrográfico y esto podría correlacionarse con un proceso de *mixing* o estaríamos observando anfíboles que pertenecen a una primera fase de cristalización de un magma con mayor contenido de Fe.

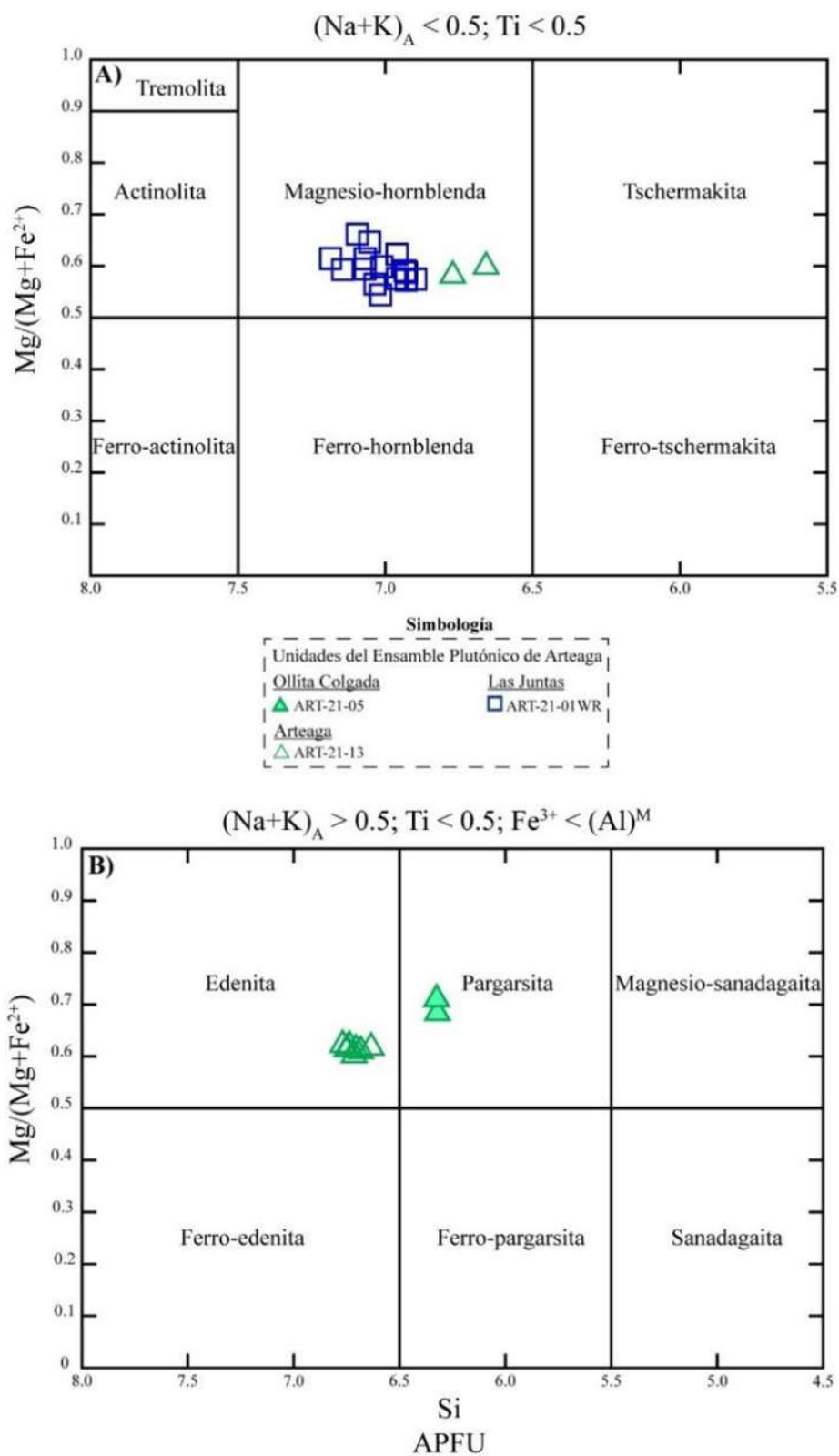


Figura 53. A y B Diagramas binarios $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ vs Si (APFU) tomados de Leake *et al.* (1997) para observar las variaciones y composición química de los anfíboles pertenecientes al EPA.

5.7.4 Piroxenos

Los análisis de piroxeno fueron normalizados con base en seis oxígenos y corresponden principalmente a las muestras de las unidades de Las Juntas y Arteaga. Como se observa en la **Figura 54**, el único piroxeno de la muestra **ART-21-01WR** pertenece al subgrupo de los ortopiroxenos. Por otro lado, fue en la muestra de **ART-21-13** en donde se obtuvo mayor cantidad de resultados identificándose ligeras variaciones entre los campos del ortopiroxeno y clinopiroxeno.

En la **Figura 54** se observa que el piroxeno perteneciente a **ART-21-01WR**, se encuentra en el campo del ortopiroxeno, más específico, en el campo de la ferrosilita, cuya composición general es de $\text{En}_{45}\%\text{Wo}_{0.1-0.9}\%\text{Fs}_{54}\%$.

Continuando con los piroxenos de **ART-21-13**, como se observa en la **Figura 54**, se identificó que en esta lámina, existen ortopiroxenos y clinopiroxenos. La mayor cantidad de datos se concentra en el grupo de los clinopiroxenos, más puntual, en el campo del diópsido; estas muestras poseen una composición general es de $\text{En}_{33-35}\%\text{Wo}_{43-46}\%\text{Fs}_{18-21}\%$. Por otro lado, los datos que se concentran en el campo de los ortopiroxenos yacen en la transición entre el campo de la hiperstena y ferrosilita, estas muestras presentan una composición general es de $\text{En}_{47-50}\%\text{Wo}_{1-2}\%\text{Fs}_{47-51}\%$.

Esta variación de la unidad Arteaga, coincide con la vista en los anfíboles, la cual puede ser interpretada, como que en la unidad Arteaga se pueden observar algunos minerales (anfíbol y ortopiroxeno) que reflejan condiciones de formación más primitivas de lo que se pensaba.

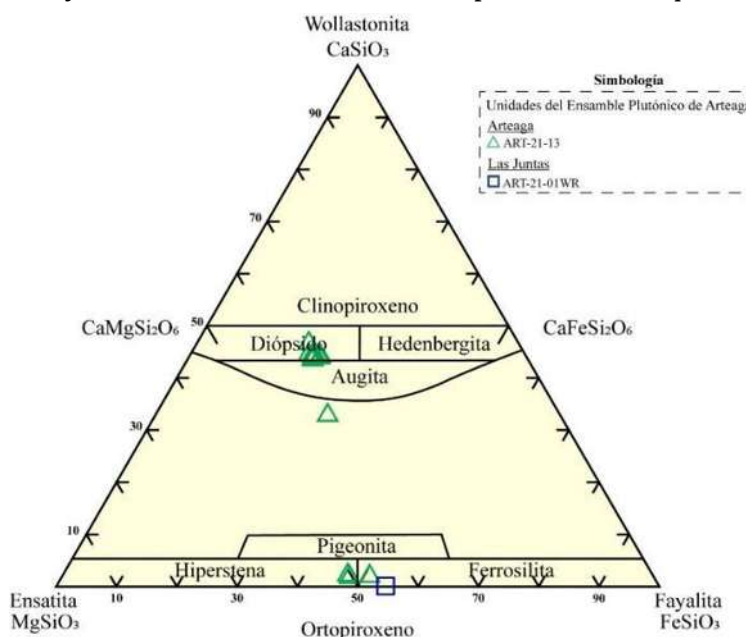


Figura 54. Diagrama ternario de clasificación y composición química propuesto por Lindsey (1983) aplicado en los piroxenos pertenecientes al EPA.

5.7.5 Óxidos de Fe-Ti

Los análisis de óxidos de Fe-Ti fueron normalizados a partir de la serie a la que corresponde cada uno de ellos. Por ejemplo, para el grupo de la ilmenita, se normalizó a partir de seis oxígenos, mientras que, para el sector de la magnetita, se normalizó con base en 32 oxígenos. Como se observa en la **Figura 54.1**, fue posible obtener resultados confiables de este grupo mineral en todas las muestras analizadas. Se puede observar dos agrupaciones importantes de datos, el primero pertenece a algunos óxidos que corresponden a las muestras **ART-21-05**, **ART-21-28** y **ART-21-01WR**, los cuales se concentran en el campo de la ilmenita, mientras que, el segundo grupo de datos pertenecen a las muestras **ART-21-01WR**, **ART-21-13** y **ART-21-28**, los cuales se encuentran más cercanos al campo de la titanomagnetita-magnetita.

En la **Figura 55** se observa un óxido perteneciente a **ART-21-01WR**, el cual se encuentra en el campo de la ilmenita, mientras que al menos otros dos datos de esta misma muestra se localizan en el campo de la titanomagnetita y magnetita.

Para los óxidos de la muestra **ART-21-05**, se identifica que se proyectan esencialmente en el campo de la ilmenita, continuando con **ART-21-13**, se observa que se concentran en el campo de la magnetita.

Por último, los óxidos de **ART-21-28**, parecido a los óxidos de **ART-21-01WR**, se encuentran dispersos entre el campo de la ilmenita y magnetita.

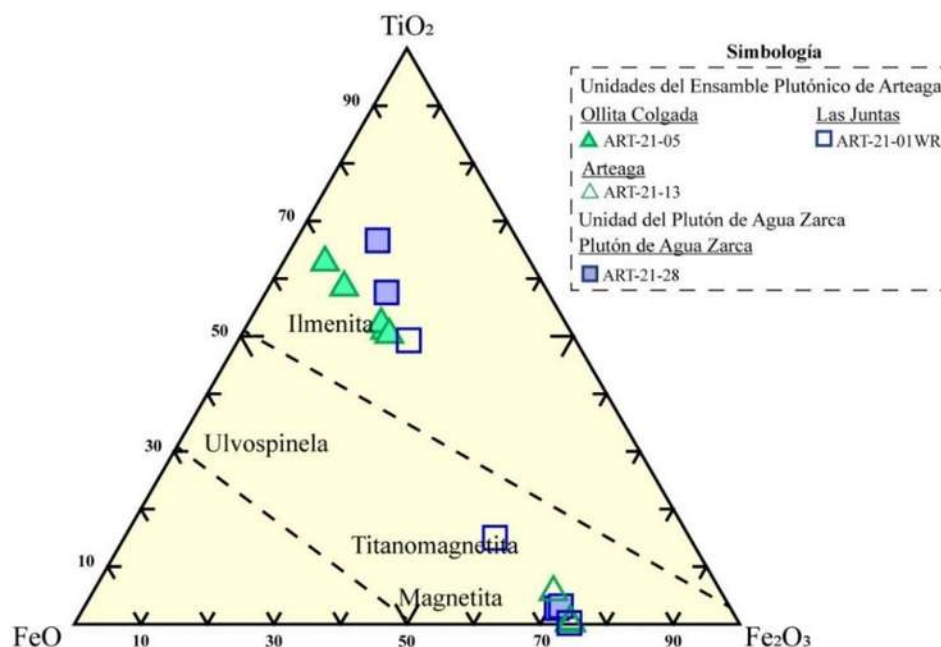


Figura 54.1 Diagrama ternario de clasificación química para los óxidos (TiO-FeO-Fe₂O₃).

5.8. Tipología y geocronología de U-Pb en zircones del EPA y el PAZ

5.8.1 Tipología de zircones

Para la identificación tipológica de zircones, se seleccionaron las muestras **ART-21-03**, **ART-21-13**, **ART-21-14A** pertenecientes al EPA y, la muestra **ART-21-28** que corresponde al PAZ; de cada muestra fue posible extraer entre 50-65 zircones. Este análisis se realizó mediante la observación en microscopio petrográfico de los zircones de cada muestra, y la metodología empleada consistió en la descripción tipológica dominante de cada zircón, así como el detalle de sus bordes, si presentan o no alguna textura especial (por ejemplo: recristalización o señales de metamictización) y en algunos casos inclusiones (tal como apatito o zircón heredado). Por último, su clasificación se fundamenta en los trabajos de Pupin (1980, 1988), Corfu *et al.* (2003) y Miller *et al.* (2007).

Una vez finalizada la identificación tipológica de cada muestra, se prosiguió a delimitar una serie de puntos en todos los zircones basándose en la relación núcleo-borde y en algunas inclusiones observadas, para ser analizados y obtener su edad de cristalización mediante el método U-Pb. En el **Anexo II** se presentan las imágenes a detalle de este procedimiento.

Se observa que la gran mayoría de los cristales se encuentra en buen estado de conservación, siendo posible distinguir la cara prismática, así como en algunos ejemplares, las bases piramidales. En la **Figura 55** se observa una compilación de fotografías tomadas a cada una de las muestras. A continuación, se describe detalladamente los zircones de las muestras.

En la muestra **ART-21-03** se caracterizó a la familia de zircones con base en el ancho del eje b; la cual tiene un ancho que va de 30-50 μm . Se observan tonalidades de colores de interferencia con distinta intensidad de verde, azul y rosa. Se distinguieron dos inclusiones de apatito (**Figura 55 A** (óvalos rojos)). En relación con su tipología, se observa un predominio de zircones con hábito prismático piramidal (eje c prolongado), aunque no se observa en todos los cristales. A partir de la clasificación propuesta por Pupin (1980, 1988) (**Figura 56**) se distinguen siete grupos principales: P1, P2, P4, P5, S18, S24 y S25. En orden de abundancia, los grupos P4 y P5 son los que predominan, seguido de la asociación P1 y P2; por último, la tipología que corresponde al agrupamiento S18, S24 y S25 es la menos abundante.

Con base en el índice A (**Figura 56**) se observa que las tipologías del grupo P1, P2, P4 y P5 pertenecen a la serie sub-alcalina y alcalina, mientras que el grupo S18, S24 y S25, se encuentran en la serie calci-alcalina y subalcalina; siendo consistente con su composición química de roca total.

En la muestra **ART-21-13** se caracterizaron tres familias a partir del ancho del eje b, las cuales se describen en orden de abundancia; la primera presenta ancho que va de 25-35 μm , la segunda de 40-50 μm y la tercera de 80 μm . Los zircons de esta muestra tienen abundantes inclusiones de apatitos y zircons heredados (**Figura 55 B**) (óvalos rojos). En cuanto a la tipología, se observa un dominio de zircons con hábito prismático bipiramidal (eje c prolongado). En la **Figura 56** se observan nueve grupos principales: P1, P2, P3, P4, P5, S5, S10, S24 y S25. En orden de abundancia, el grupo P2 y P4 son los que predominan, seguido de la asociación S24 y S25, continuando con la serie P1 y P3, y finalmente las agrupaciones S5 y S10 son las menos abundantes. A partir del índice A, se observa que las tipologías del grupo P1, P2, P3, P4 y P5 pertenecen a la serie sub-alcalina y alcalina, entre tanto, el grupo S5, S10, S24 y S25 se relaciona a la serie sub-alcalina; siendo consistente con su composición química de roca total.

En la muestra **ART-21-14A** se definieron dos familias a partir del ancho del eje b, estas familias se describen a continuación en orden de abundancia; la primera presenta anchos de 25-35 μm y la segunda de 40-45 μm .

En esta muestra son escasas las inclusiones de apatito (óvalos rojos) y se notan trazas de procesos metamórficos (óvalos amarillos) (**Figura 55 C**). Un dominio de cristales tiene hábito prismático bipiramidal (eje c prolongado), sólo se observaron tres cristales de zircón que presentan un hábito distinto observándose el eje a prolongado.

Se observaron siete grupos principales: P1, P2, P3, P4, P5, S10 y G1. En orden de abundancia, el grupo P2 y P5 son los que predominan, seguido de la asociación P1 y P3, continuando con P4 y finalmente los tipos P4, S10 y P3 son los menos abundantes. A partir del índice A (**Figura 56**) se observa que las tipologías de la agrupación P1, P2, P3, P4 y P5 se asocian a la serie sub-alcalina y alcalina, entre tanto, el grupo S10 se relaciona a la serie sub-alcalina y, por último, el conjunto G1 es la más diversa, debido a que se puede encontrar en la serie calci-alcalina, sub-alcalina, alcalina y en granitos peraluminosos; siendo también consistente con su composición química de roca total.

Finalmente, en la muestra **ART-21-28** se observó que los cristales presentan menor variación tipológica. Con base en el ancho del eje b, se clasificaron dos familias, las cuales se describen enseguida, en orden de abundancia; la primera tiene valores de 25-35 μm y la segunda de 40 μm . En cuanto a las inclusiones, sólo se identificó que tres cristales tienen inclusiones de zircones heredados (**Figura 55 D**) (óvalos rojos), sin embargo, es posible distinguir algunos ejemplares con trazas de metamictización (**Figura 55, D**) (óvalos amarillos).

Predominan los cristales con hábito prismático bipiramidal (eje c prolongado), se distinguen cinco grupos principales: P2, P4, P5, S25 y G1. En orden de abundancia, los grupos P2 y P5 son los que predominan, seguido de la asociación P5 y las agrupaciones S25, J5 y G1 son los menos abundantes. A partir del índice A (**Figura 56**) se observa que las tipologías del grupo P2, P4 y P5 pertenecen a la serie sub-alcalina y a la alcalina, entre tanto, el grupo S25 se asocia a la serie sub-alcalina y calci-alcalina. Por último, el grupo G1 es la más heterogénea, debido a que se puede relacionar a la serie calci-alcalina, sub-alcalina y relativamente alcalina.

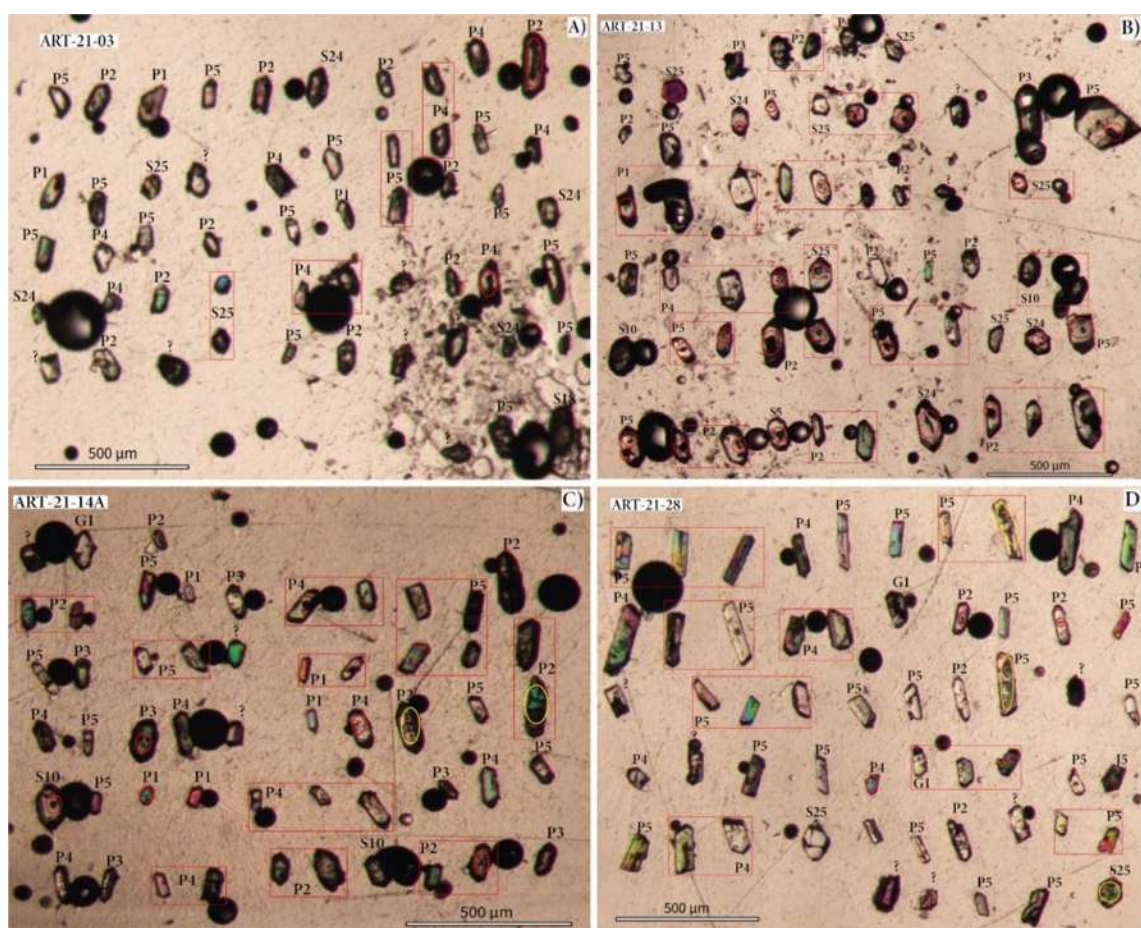


Figura 55. Recopilación de fotografías de los zircones de las muestras que pertenecen al EPA y al PAZ, cuya tipología fue analizada con base en los trabajos de Pupin (1980, 1988), Corfu *et al.* (2003) y Miller *et al.* (2007).

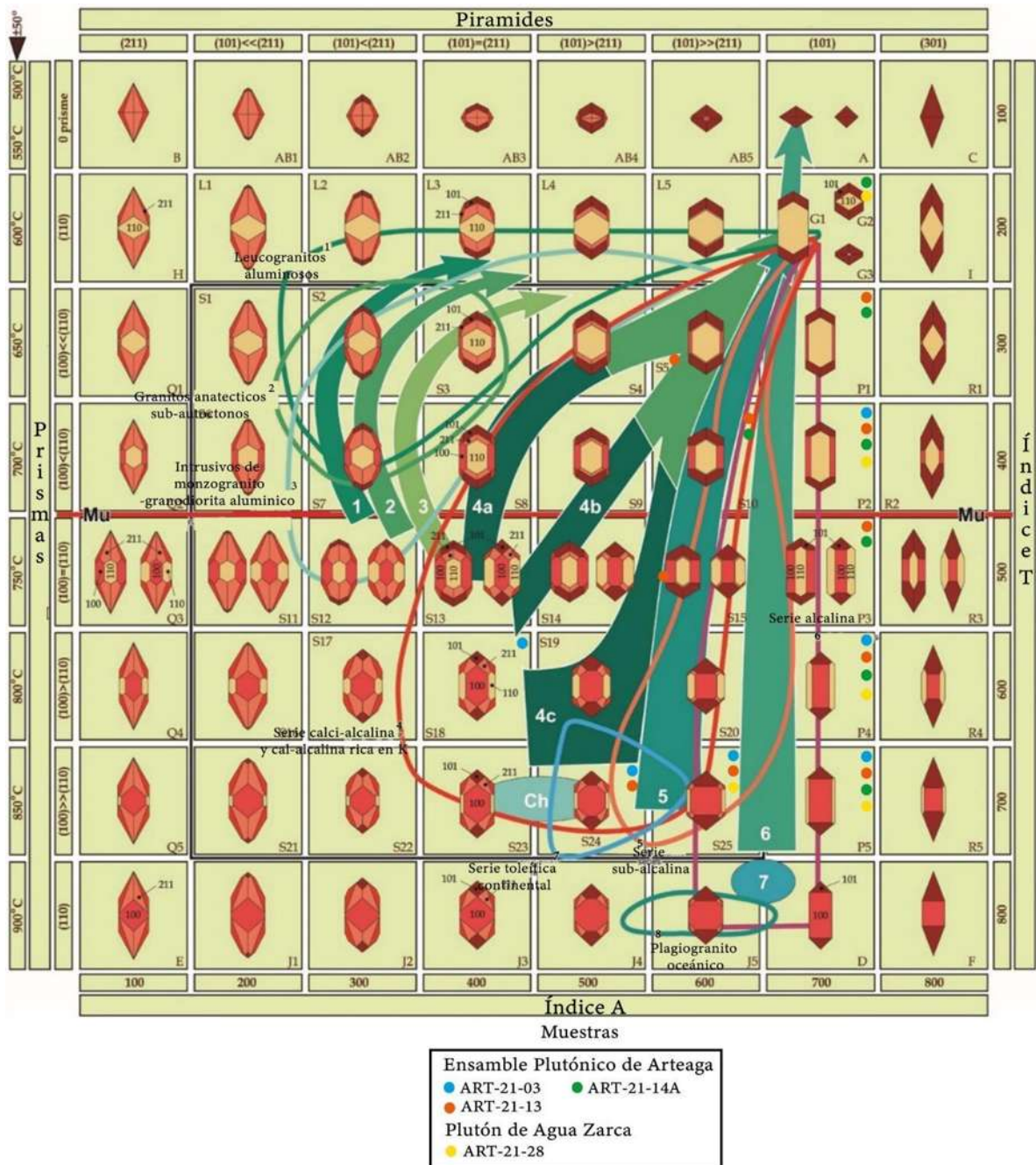


Figura 56. Diagrama de clasificación tipológica de zircones propuesto por Pupin (1980, 1988). Se muestran las diferentes tipologías identificadas en las muestras del EPA y el PAZ. En la parte inferior del diagrama, resalta la simbología empleada para cada una de las muestras a las que se le aplicó la metodología de clasificación.

5.8.2 Edad isotópica U-Pb en zircones del EPA y PAZ

Se analizaron las cuatro muestras presentadas en el capítulo anterior, con el método de LA-ICP-MS, seleccionando puntos del núcleo en dirección a los bordes de los zircones.

Para la muestra **ART-21-03** se analizaron 31 cristales de zircón (ver: **Anexo II**). Como se puede observar en la **Figura 57 B** la gran mayoría de las fracciones se encuentran sobre la línea de discordia con una intersección inferior de 47.6 ± 3.1 Ma, sólo un cristal es discordante resultando una edad de 86 Ma del Cretácico superior y podría corresponder a un zircón heredado. Con excepción de este zircón, la gran mayoría de los cristales analizados no presenta núcleos heredados. Se considera que la mejor estimación de la edad de cristalización del plutón corresponde a la edad obtenida por promedio de 47.92 ± 0.86 Ma (**Figura 57 A**).

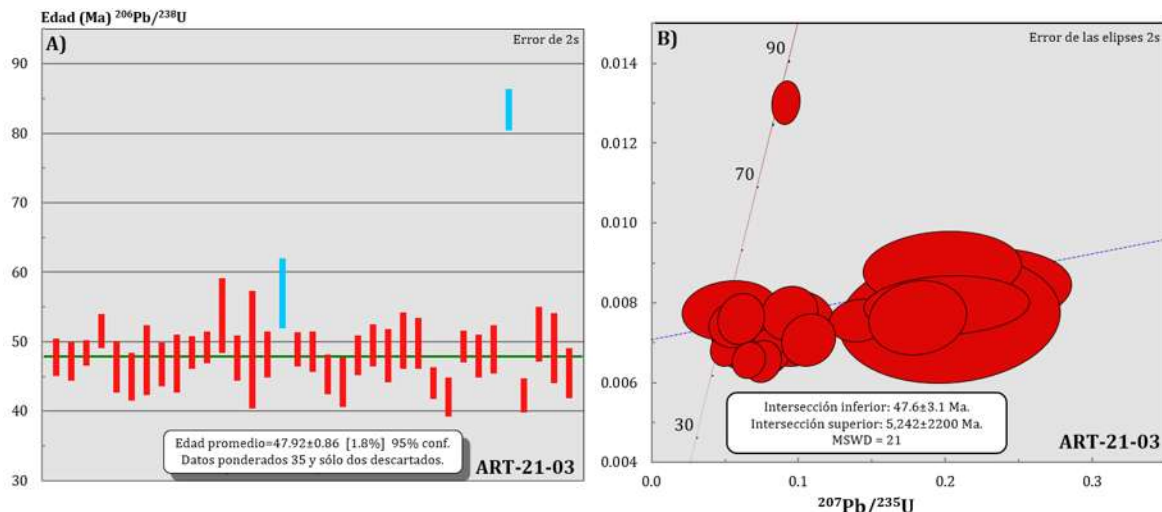


Figura 57. A) Edad promedio calculada para la muestra **ART-21-03**. **B)** Diagrama de concordia para **ART-21-03**.

De la muestra **ART-21-13** se analizaron 31 cristales de zircón (ver: **Anexo II**) como se puede observar en la **Figura 58 B** la gran mayoría de las fracciones se encuentran sobre la línea de discordia, excepto cuatro cristales que se alejan de ella. La intersección inferior se da a los 38 ± 25 Ma, sin embargo se considera que la mejor estimación de la edad de cristalización de esta fracción del plutón corresponde a la edad obtenida por promedio de 50.59 ± 0.96 Ma (**Figura 58 A**).

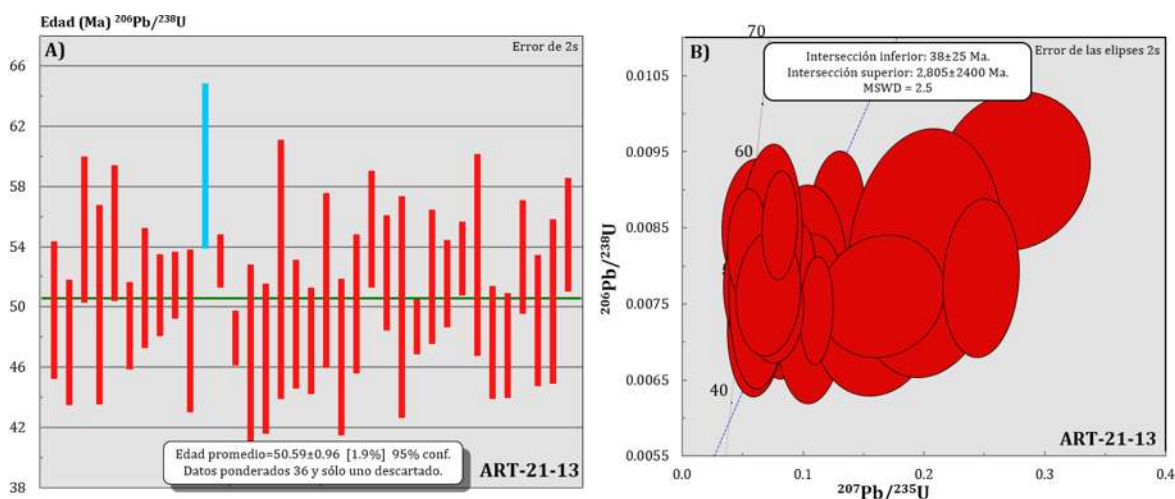


Figura 58. A) Edad promedio calculada para la muestra ART-21-13. **B)** Diagrama de concordia para ART-21-13.

Por otro lado, en la muestra **ART-21-14A** se examinaron 32 cristales de zircón (ver: **Anexo II**), como se puede observar en la **Figura 59 B** la mayoría de las elipses se encuentran agrupadas, a excepción de una, que se encuentra separada del grupo. Continuando con este diagrama, se puede distinguir que la intersección inferior es de 47.77 ± 0.78 Ma, sin embargo, se propone la edad de cristalización de esta porción del EPA como la obtenida por el promedio de 48.77 ± 0.61 Ma (**Figura 59 A**).

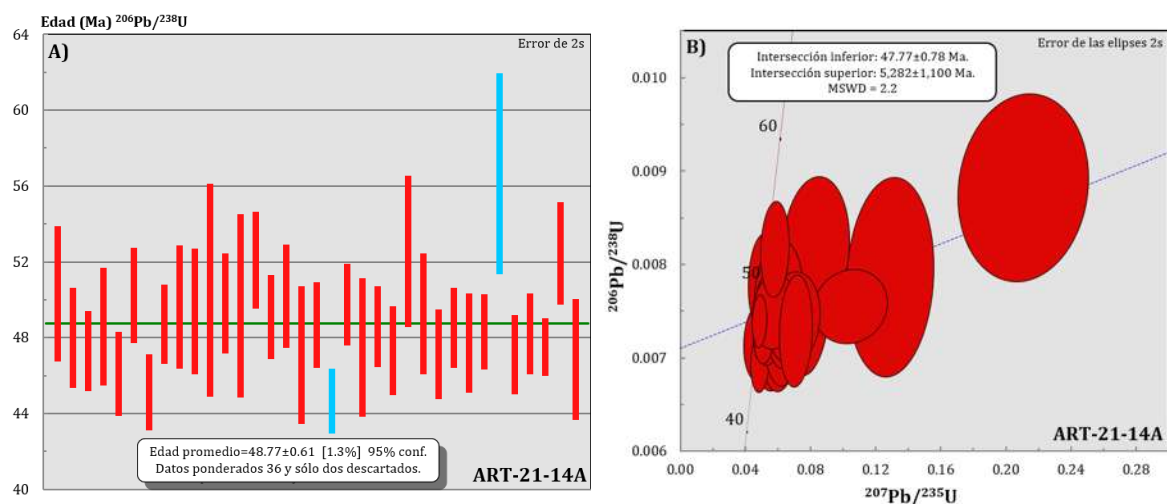


Figura 59. A) Edad promedio estimada para la muestra ART-21-14A. **B)** Diagrama de concordia para ART-21-14A.

Por último, para la muestra que pertenece al PAZ, **ART-21-28** se analizaron 34 cristales de zircón (ver: **Anexo II**), como se puede observar en la **Figura 60 B** la mayoría de las elipses se concentran aproximadamente a la altura de los 40 Ma, mientras que sólo un espécimen se encuentra aislado.

En este mismo diagrama, se puede observar a la intersección inferior a los 43.0 ± 1.4 Ma. Se considera la edad de cristalización de esta porción del PAZ a la obtenida por el promedio, el cual es de 44.9 ± 1.1 Ma. (**Figura 60 A**).

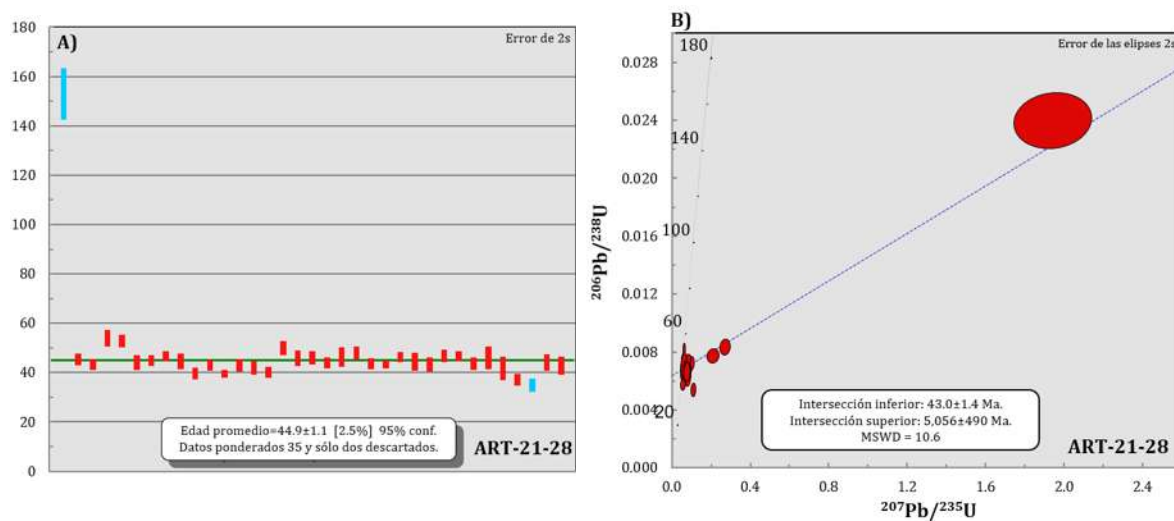


Figura 60. A) Edad promedio estimada para la muestra ART-21-28. **B)** Diagrama de concordia para ART-21-28.

Capítulo 6. Discusión

6.1 Distribución espacial del EPA-PAZ: estructuras sin- y post-magmáticas

La distribución espacial actual del Ensamble Plutónico de Arteaga muestra una forma irregular asemejándose a un “frijol” con algunos límites externos rectilíneos. Las unidades internas del EPA guardan una tendencia noroeste-sureste con límites graduales entre las unidades Grd-Vall, Ton-Art, QzDio-Cuev, Dio-Jun y Gr-Vij. Sin embargo, esta estructura ha sido truncada en el sector noreste-este sureste del EPA por el sistema del graben de Tepalcatepec con una orientación noroeste-sureste que yuxtapone además, al EPA con la cobertura volcánica del Eoceno-Oligoceno. Su actual disposición externa e interna solo puede ser explicada integrando los procesos sin-magmáticos, post-magmáticos y de deformación asociadas con los procesos de exhumación.

Desde el punto de vista regional, si se analiza a detalle la disposición cartográfica de los cuerpos intrusivos de la región costera del suroeste de México propuesta por Morán-Zenteno *et al.* (2017) (ver: **Figura 7**), resalta que la mayoría de los intrusivos (sin importar sus dimensiones), presentan una orientación preferencial noroeste-sureste (ver: Batolito de Pto. Vallarta por Schaaf (1990), Complejo Batolítico de Aquila por Gómez Rivera (2019) etc.) la cual es paralela a la actual margen de subducción del Pacífico.

Se propone que las estructuras internas del EPA y el PAZ, representadas por los contactos litológicos, foliación magmática y distribución de los enclaves magmáticos, corresponden con estructuras sin-magmáticas, asociadas probablemente con un régimen tectónico que se encontraba dominando el magmatismo de los batolitos del suroccidente de México relativamente contemporáneo con las primeras etapas sin-magmáticas de formación del EPA y del PAZ.

Por otro lado, la geometría interna de los dos ensambles está evidentemente dislocada por una serie de estructuras post-magmáticas. Las más evidentes se refieren a una serie de estructuras de zona de cizalla que poseen una orientación noreste-suroeste: al noroeste (unidad Grd-Esp) y sursuroeste del EPA (unidades Grd-Vall, Ton-Art y QzDio-Cuev), así como otras zonas de cizalla menores (Antúnez, Peñitas y Cañitas). Todas estas estructuras de dislocación están asociadas con la estructura regional cortical y en algunos casos con la cinemática de la Zona de Cizalla El Muleto (Montiel-Escobar, 2013).

De hecho, la dislocación que genera la forma de “frijol” se debe a la evolución de este sistema que disloca en la parte central y que además se define como un sistema tardo-magmático (Montiel-Escobar, 2013), y a mayor escala separa regionalmente al terreno Guerrero en dos bloques corticales bien identificados por gravimetría (García-Pérez y Urrutia-Fucugauchi, 1997).

En síntesis, la configuración actual del EPA se debe a diferentes procesos tectonomagmáticos que se llevaron a cabo en diferentes temporalidades. En este trabajo, se identificaron las estructuras sin-magmáticas (orientación preferencial noroeste-sureste), las cuales son dislocadas por zonas de cizalla tardo-magmáticas y que probablemente aceleraron el proceso de exhumación inicial, así como producir la flexión central del EPA y una fragmentación de los dos ensambles EPA y el PAZ que exponen niveles corticales relativamente diferentes. Esta hipótesis es respaldada con los resultados del análisis petrográfico de cada uno de los intrusivos, así como en su geoquímica isotópica y química mineral, en donde fue posible identificar que por parte del EPA, al menos en la unidad de Arteaga se identificó plagioclasas más ricas en Ca que reflejan un nivel de corteza superior relativamente más profundo que en donde se desarrollaron las unidades de Ollita Colgada y el PAZ.

6.2 Variaciones petrológicas y geoquímicas del EPA-PAZ

Con base en el análisis petrológico de campo y laboratorio (petrografía y geoquímica) se observan variaciones internas importantes del EPA y su relación con el PAZ. Destacan las unidades del centro y suroeste del EPA con una composición que tiende a ser máfica, con unidades de QzDi-Cue, Dio-Jun y Ton-Art, con mayor abundancia de anfíboles, biotita, piroxeno (ortopiroxeno y clinopiroxeno), al mismo tiempo que son las que contienen la mayor cantidad de plagioclasa del EPA y un relativo enriquecimiento en CaO, MgO, Al₂O₃ y FeO_t.

Mientras tanto, en las regiones centro y noreste del EPA la situación es contraria, debido a que las unidades de esta área contienen las asociaciones minerales más enriquecidas en minerales félsicos, tales como: cuarzo y feldespato potásico con menor abundancia de plagioclasa. Las unidades de Sien-Oll, Grd-Zuñ y la muestra del sector noroeste de la QzDio-Col son más félsicas (**Figura 41**), se identifica que conforman un grupo que se distribuye en el campo del granito *sensu lato*, al mostrar un enriquecimiento de feldespato potásico respecto a la región centro-suroeste.

Por su parte el Plutón de Agua Zarca tiene menor superficie y composición homogénea, mostrando características petrológicas similares a la región norte del EPA, en especial con la Sien-Oll. Al observar la **Figura 41**, la unidad del PAZ cae en el campo del granito *sensu strictu*; lo cual permite correlacionar ambos ensambles y probablemente la zonificación al norte para un emplazamiento de plutones con un enriquecimiento de K_2O , así como estructuras de falla y pegmatitas que revelan su emplazamiento a una profundidad cortical superficial y con una gran presencia de volátiles en el ambiente.

En cuanto a la geoquímica de los elementos traza y REE, como se observa en los diagramas de la **Figura 46** y **Figura 47**, el comportamiento de ambos intrusivos es muy parecido, no se identificaron variaciones importantes como en el caso de los elementos mayores. Muestran formas de rocas de arco, al observar un enriquecimiento en tierras raras ligeras con respecto al patrón relativamente plano de las tierras raras pesadas.

A partir del análisis isotópico de la **Figura 49** se observa que tanto el EPA como el PAZ, tienen una firma mantélica que se caracteriza por tener valores bajos de Rb-Sr y valores altos de la relación Sm-Nd. Al revisar a detalle el inciso **A** de la **Figura 49**, es posible observar una tendencia relativa que se puede relacionar con el proceso de diferenciación magmática, en donde observamos los valores más bajos de ϵNd que pertenecen a las unidades de Ollita Colgada y el PAZ, y los valores más altos de ϵNd que pertenecen a las unidades centro y sureste del EPA, como lo son las unidades de Parota de Cuevas, Las Juntas y Parotita de Zúñiga.

En síntesis, las variaciones petrográficas, de elementos mayores de los dos ensambles EPA y PAZ, los datos de elementos traza, REE e isotópicos, así como la edad promedio relativamente contemporánea nos indica que pueden ser interpretados a un mismo procesos geodinámico de subducción de arco continental.

6.3 Condiciones físicas y mecanismo de emplazamiento del EPA y el PAZ

Hasta ahora, con los resultados y discusiones que se han descrito para el Ensamble Plutónico de Arteaga y el Plutón de Agua Zarca, queda claro que el mecanismo de emplazamiento se caracteriza por ser petrológicamente variable y complejo.

En principio, las condiciones de emplazamiento se pueden constreñir con base en las relaciones de contacto observadas en campo, así como las variaciones petrológicas y sucesivamente con cálculos de geotermobarometría que permiten precisar las condiciones de emplazamiento de un cuerpo plutónico.

Las relaciones de contacto del EPA con la roca encajonante no son iguales en todos los sectores del intrusivo. Por ejemplo, en la región del noreste y sureste, en campo no se observaron zonas de metamorfismo de contacto, ni estructuras de primer o segundo orden asociadas a zonas de cizalla, aunque sí se identificaron algunos afloramientos (como el de la MzGr-Pit; ver **Figura 24**) en donde la roca se encuentra afectada por procesos frágiles, ya que el intrusivo presenta un estado cataclástico moderado. Es posible que estas estructuras estén debajo de la cobertura volcánica del Eoceno-Oligoceno. De hecho, es importante notar la similitud que guarda este sector norte del EPA con el PAZ, donde se ha observado una aureola de contacto de wollastonita que refleja condiciones de alta temperatura y baja presión.

En contraste, las relaciones de contacto del EPA con la roca encajonante en la región del suroeste son más complejas, ya que durante el trabajo de campo se identificaron zonas de cizalla importantes que afectan directamente al intrusivo, donde los contactos con la roca encajonante son más rectos y estos se asocian perfectamente con las zonas de cizalla locales reportadas por el SGM (ZCP, ZCC y ZCA). Estas zonas de cizalla tienen una orientación preferencial noreste-suroeste y que, si se extrapola a nivel regional, estamos observando una estructura de primer orden conocida como ZCM. Sin embargo, la zona que pone en evidencia el contacto sin-magmático se refiere al sur de la cabecera municipal de Arteaga, en donde se identificaron rocas metamórficas del tipo *hornfels*, con contenido de andalucita-biotita, la cual refleja metamorfismo de contacto.

6.3.1 Geotermobarometría

Con el objetivo de definir las condiciones de emplazamiento de los diferentes plutones se llevaron a cabo cálculos de geotermobarometría convencional. La geotermobarometría tiene por objetivo determinar las condiciones P-T en una asociación mineral específica, que se asume se equilibró químicamente. Las técnicas se basan en los principios de la termodinámica del equilibrio, que considera los mecanismos de preservación de las asociaciones minerales y de los factores que determinan la composición química de sus fases.

La evaluación geotermobarométrica presentada en este apartado, se llevó a cabo a partir del termómetro de intercambio plagioclasa-anfíbol (Blundy y Holland (1990), Holland y Blundy (1994), que se basa en la reacción de intercambio que sucede entre la edenita+albita=richterita+anortita y de las calibraciones barométricas en granitos propuestas por Mutch *et al.* (2016).

Se analizaron láminas de las muestras **ART-21-13** y **ART-21-01** ya los anfíboles de ambas muestras eran los que presentaban menor intemperismo. En total fueron 34 cálculos, los cuales se presentan en la **Tabla 7**.

	Número de análisis	Muestra	Temperatura (°C) Anderson y Smith (1995)	Presión (kbar) (Mutch <i>et al.</i> 2006)
Unidad Arteaga	1	ART-21-13-A-100	771.61 ± 1.98	3.18 ± 0.33
	2	ART-21-13-A-100	788.26 ± 1.96	3.18 ± 0.33
	3	ART-21-13-A-102	766.66 ± 1.99	2.96 ± 0.34
	4	ART-21-13-A-102	729.56 ± 2.04	2.96 ± 0.34
	5	ART-21-13-A-105	762.28 ± 1.99	2.97 ± 0.34
	6	ART-21-13-A-105	770.17 ± 1.98	2.97 ± 0.34
	7	ART-21-13-A-109	771.59 ± 1.98	2.91 ± 0.34
	8	ART-21-13-A-109	767.13 ± 1.99	2.91 ± 0.34
	9	ART-21-13-A-110	766.00 ± 1.99	3.02 ± 0.34
	10	ART-21-13-A-110	770.43 ± 1.98	3.02 ± 0.34
	11	ART-21-13-A-115	779.30 ± 1.96	2.77 ± 0.35
	12	ART-21-13-A-115	786.21 ± 1.96	2.77 ± 0.35
	13	ART-21-13-A-115	775.64 ± 1.98	2.77 ± 0.35
	14	ART-21-13-A-118	777.58 ± 1.97	3.17 ± 0.31
	15	ART-21-13-A-120	775.86 ± 1.98	2.98 ± 0.34
	16	ART-21-13-A-120	784.62 ± 1.96	2.98 ± 0.34
	17	ART-21-13-A-122	772.06 ± 1.98	2.76 ± 0.35
	18	ART-21-13-A-122	771.35 ± 1.98	2.76 ± 0.35
Unidad Las Juntas	19	ART21-01-WR-A-209	599.34 ± 2.25	1.46 ± 0.49
	20	ART21-01-WR-A-211	686.59 ± 2.10	1.96 ± 0.42
	21	ART21-01-WR-A-211	679.92 ± 2.11	1.96 ± 0.42
	22	ART21-01-WR-A-212	682.12 ± 2.11	1.83 ± 0.43
	23	ART21-01-WR-A-212	675.33 ± 2.12	1.83 ± 0.43
	24	ART21-01-WR-A-215	689.19 ± 2.10	2.10 ± 0.41
	25	ART21-01-WR-B-219	635.87 ± 2.18	2.18 ± 0.40
	26	ART21-01-WR-B-219	668.65 ± 2.13	2.18 ± 0.40
	27	ART21-01-WR-B-222	692.99 ± 2.09	1.65 ± 0.46
	28	ART21-01-WR-B-224	678.19 ± 2.11	2.11 ± 0.40
	29	ART21-01-WR-B-225	674.25 ± 2.12	1.77 ± 0.44
	30	ART21-01-WR-D-242	658.91 ± 2.14	1.48 ± 0.48
	31	ART21-01-WR-D-242	653.25 ± 2.15	1.48 ± 0.48
	32	ART21-01-WR-D-244	686 ± 2.10	2.05 ± 0.41
	33	ART21-01-WR-D-248	681.53 ± 2.11	1.87 ± 0.43
	34	ART21-01-WR-D-251	664.09 ± 2.14	1.67 ± 0.45

Tabla 7. Cálculos geotermobarométricos representativos de las unidades Arteaga y Las Juntas.

Como se observa en la **Tabla 7**, para la muestra **ART-21-13** se observa un máximo de temperatura de 788.26 ± 1.96 °C; mientras que el valor más alto de presión es de 3.18 ± 0.33 kbar. Por otro lado, para la muestra **ART-21-01 WR** se observa un máximo de temperatura de 692.99 ± 2.09 °C; en cuanto al valor más alto de presión, este es de 2.18 ± 0.40 kbar.

6.4 Modelo de emplazamiento del EPA-PAZ

A partir de la información cartográfica, petrológica y geoquímica, así como los cálculos de geotermobarometría, se reconoce una variación composicional y de condiciones de emplazamiento magmático de suroeste a noreste entre los ensambles del EPA y el PAZ (**Figura 61**). En este último, como se puede observar en la **Figura 61**, al graficar los resultados de presión y temperatura de ambas muestras, es claro que la unidad Arteaga estuvo en condiciones de temperatura entre 760°-800° a una presión de 2.8-3.2 kbares. Mientras que los resultados de Las Juntas nos enseñan condiciones de temperatura entre 650°-690°C a una presión de 1.5-2.0 kbares. Con esta premisa, podemos observar que en cuanto temperatura existe una variación entre cada unidad de al menos 100°C y en cuanto a la presión, la diferencia es de al menos 1 kbar.

Con la caracterización observada en la **Figura 61** de cada una de las dos unidades, se aclara que las condiciones P-T de la unidad Arteaga, fueron a mayor profundidad con respecto a las condiciones P-T de la unidad Las Juntas. Para ponernos en contexto en un estimado de la profundidad, si se considera el promedio de presión de la unidad Arteaga como 2.95 kbares, basándonos en un promedio de las gráficas presión vs profundidad, se estima que la unidad Arteaga se encontraba a una profundidad de ~ 5 km lo cual a pesar de ser la unidad con mayor presión calculada, todavía nos encontramos en la estructura de la corteza superior. Continuando con la unidad Las Juntas y siguiendo el mismo criterio, se tiene un promedio de 1.85 kbares, lo cual la profundidad es ~ 2.6 km siendo inferior que la unidad anterior y por ende, encontrándonos en la corteza superior.

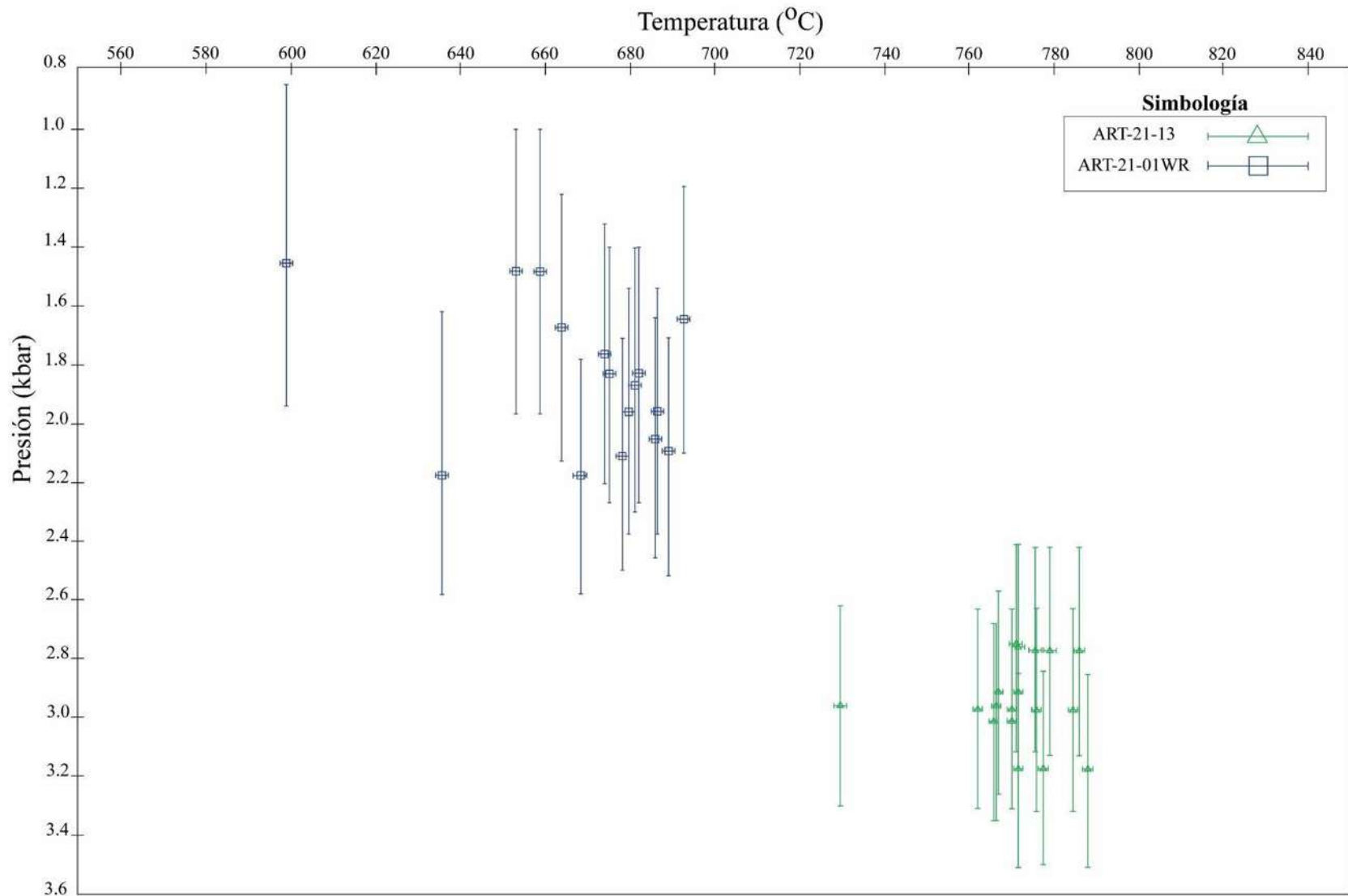


Figura 61. Diagrama P-T de las unidades Arteaga y Las Juntas producto del geotermobarómetro par Plg-Amp. Se puede distinguir la caracterización de cada una de ellas, permitiendo observar que la unidad Arteaga se encontraba en un ambiente relativamente más profundo que la unidad Las Juntas; en ambos casos, la profundidad corresponde a la corteza superior.

Aclarado el punto anterior, se propone que *a posteriori* del emplazamiento se llevó a cabo una dislocación por al menos dos eventos tardío (Zona de Cizalla El Muleto) y finalmente una dislocación extensional post-tectónica (Depresión de Tepalcatepec). Continuando con el modelo de emplazamiento, nos centraremos en la discusión de las variaciones de composición magmática, así como de sus variaciones de profundidad de emplazamiento, donde se observa que el Ensamble Plutónico de Arteaga presenta una exposición asimétrica, lo cual sugiere dos posibilidades:

Modelo A: La tasa de exhumación fue distinta para la región noreste y suroeste del EPA, siendo mayor en esta última región; por ello, la parte más “profunda” del EPA, se encuentra expuesta, así como la deformación dúctil-frágil representada por las zonas de cizalla. Caso contrario a la región noreste, en donde se observa la presencia de rocas más graníticas y que reflejan condiciones de emplazamiento más someras, por la presencia de estructuras del régimen frágil. Si esto sucedió, muy probablemente estaríamos observando un dominio del proceso de diferenciación magmática de un gran reservorio y no un proceso de amalgamación de diferentes pulsos magmáticos.

Modelo B: Propone que el EPA es producto de la amalgamación de diferentes pulsos magmáticos de distinta composición, y que, por lo tanto, la configuración actual que observamos es la estructura sin-magmática. Dicho de otro modo, la distribución actual del EPA es similar su distribución durante el Eoceno en profundidades corticales. Este modelo es apoyado por la presencia de estructuras tipo *mingling*, *mixing* y *schlieren* vistos en campo, así como de enclaves máficos en las unidades de la Dio-Jun y Dio-Cuev.

En la **Figura 62** se presenta un esquema acerca del mecanismo de emplazamiento propuesto para el **Modelo A**. El emplazamiento se ilustra con base en un perfil ideal y se basa en el modelo de Annen *et. al* (2006 y 2015), mientras que la temporalidad se propone a partir de las relaciones estructurales, petrológicas, geoquímicas y geocronológicas obtenidas en este trabajo; dicha temporalidad se presenta como un tiempo inicial (T_0) y un tiempo *a posteriori* (T_1).

Como se puede observar en la **Figura 62**, se propone que en T_0 las estructuras sin-magmáticas (noroeste-sureste) condicionaron principalmente las primeras etapas de formación del EPA. Este rasgo destaca principalmente en el sector suroeste, en donde coincide con los límites morfoestructurales definidos entre las unidades internas del EPA.

En el caso de la zona noreste del EPA, podemos observar que este rasgo no es predominante, siendo visibles estructuras con diferente orientación, por ejemplo: norte-sur. Es importante destacar que las estructuras sin-magmáticas descritas anteriormente, con orientación noroeste-sureste, también se observan en la zona de Agua Zarca (PAZ).

En el **Modelo A** se propone que tanto las unidades internas del Ensamble Plutónico de Arteaga, como el Plutón de Agua Zarca, provienen de un reservorio magmático en común y que, estas diferencias composicionales son producto de diferenciación magmática.

Con la finalidad de enriquecer la discusión, en esta imagen se proyectan los resultados de fechamientos obtenidos por el método U-Pb de las unidades correspondientes, en donde se puede identificar que la edad más antigua del EPA, (50.59 ± 0.96 Ma.) se localiza en la Ton-Art y la edad más joven (47.92 ± 0.86 Ma.) se refleja en la Sien-Oll. Sin embargo, el PAZ registra la edad más joven de estos intrusivos con un resultado de: 44.9 ± 1.1 Ma.). Se puede identificar una diferencia importante de edad entre la unidad Arteaga y la unidad de Sien-Oll y el PAZ, lo cual define una migración de edad en sentido SW-NE.

Posterior al tiempo T_0 al final del emplazamiento magmático, se propone que en una fase tardía magmática ya ocurrían las primeras etapas de exhumación desde la corteza superior de ambos intrusivos, en un sucesivo tiempo T_1 , donde en la medida que ocurre la exhumación de los intrusivos EPA y el PAZ, se manifiestan las primeras etapas de desarrollo de la Zona de Cizalla El Muleto. Este hecho ocasiona que la exhumación del sureste sea más rápida, lo cual no permite que existan procesos importantes de *mixing* y *mingling*. Por ello, actualmente vemos que se preservaron las características geoquímicas, petrológicas e isotópicas originales de esta porción. Esto explicaría el hecho de que, en la porción sureste del EPA, inclusive se observan partes del basamento del Complejo Arteaga, los cuales también se encuentran afectados parcial y/o totalmente por la actividad de la ZCM.

En la **Figura 62** se colocaron los resultados geoquímicos, geotermobarométricos e isotópicos de las unidades correspondientes.

En síntesis el **Modelo A** propone que el origen del EPA y el PAZ, es de un reservorio magmático en común, que durante un T_0 fue condicionado por estructuras sin-magmáticas (primordialmente noroeste-sureste). Posteriormente, durante su exhumación, coincide con las primeras etapas de desarrollo de la ZCM, lo cual afecta a las unidades del sureste y provoca que la tasa de exhumación sea relativamente más rápida favoreciendo que se conserven las unidades originales, a no permitir que existan las condiciones favorables para el desarrollo de procesos importantes de *mingling* y *mixing*.

Por último, la diferenciación composicional entre las unidades del EPA se explica como el resultado de diferenciación magmática. Ya que, al encontrarse los diferentes reservorios magmáticos, alimentados por la misma fuente magmática, en distintos niveles de la litosfera, las condiciones P-T, eran completamente diferentes entre cada uno de ellos, a eso, se le debe considerar la presencia o ausencia de volátiles, así como de la roca huésped que se encontraba en ese momento.

Por otro lado, para el **Modelo B (Figura 63)** la situación es diferente. El rasgo más característico en este modelo es el hecho de asumir que, desde un T_0 cada una de las unidades que conforman al EPA y al PAZ, proviene de una fuente magmática diferente y que, por un efecto de coalescencia relativamente contemporáneo a su emplazamiento, se llevó a cabo un proceso de amalgamación que se relaciona con los contactos graduales entre las unidades.

Si bien esta propuesta podría explicar de manera más sencilla las diferencias petrológicas, geoquímicas e isotópicas de las unidades, se esperaría también una mayor diferencia entre las edades obtenidas por el método U-Pb (de al menos 10 Ma), como en el caso del Complejo Batolítico de Aquila (Gómez-Rivera, 2019). Para este caso la diferencia de edad respecto a la más antigua es de 5.69 Ma.

Por otro lado, la estructura magmática de las unidades es relativamente homogénea, es decir con una escasa foliación magmática visible en campo y estructuras de mezcla tipo *mixing* y *mingling* relativamente escasas (excepto en la Dio-Jun.), sobre todo si se comparan por los reportados en el Complejo Batolítico de Aquila (Gómez-Rivera, 2019), nos sugiere que las unidades pudieron emplazarse de manera independiente en un tiempo relativamente corto.

De hecho, un modelo de amalgamación no explica tampoco el por qué la exhumación de la zona suroeste fue relativamente más rápida que la de la sección noreste, es decir, la asimetría de profundidad de emplazamiento, por lo tanto, resulta más sencillo explicar dichas variaciones de emplazamiento por el emplazamiento zonado de las unidades y un sucesivo levantamiento diferencial asociado durante un proceso de exhumación sin-tectónico relacionado a la ZCM.

6.5 Implicaciones regionales del emplazamiento del batolito EPA-PAZ

Para este apartado, se propone hablar de un solo cuerpo intrusivo (Batolito EPA-PAZ: Bat-EPA-PAZ), si bien están separados geográficamente, como se ha descrito, las unidades del EPA del noreste (Sien-Oll y Gr-Vij), guardan muchas similitudes geoquímicas, isotópicas, petrológicas y de edad con el Plutón de Agua Zarca

Si nos remontamos a la cartografía propuesta por Morán-Zenteno *et al.* (2017) de la **Figura 7** los cuerpos plutónicos que se encuentran cercanos en dirección al sur y suroeste son: intrusivo Lázaro Cárdenas y Zihuatanejo. Con esto en mente, una diferencia a resaltar entre el Bat-EPA-PAZ y el intrusivo Lázaro Cárdenas, es la diferencia relativamente grande de edad; ya que para el primero, como se ha visto, se define pertenece al Eoceno, mientras que, para Lázaro Cárdenas, se propone del Paleoceno.

No obstante, ambos se encuentran en contacto con el Complejo Arteaga (esto aplica para el estado de Michoacán y para la porción del Bat-EPA-PAZ que aflora aquí), por lo cual, aunque muestren esta diferencia de edad entre el Paleoceno y el Eoceno, podríamos sugerir que el mecanismo de emplazamiento debió de ser similar entre ambos intrusivos, favoreciendo la rápida exhumación y posterior erosión de la cobertura volcánica, conservando una ventana del Complejo Arteaga.

En lo que respecta a la variación composicional, no se puede saber con certeza si hay similitudes o diferencias contrastantes, debido a que no se cuenta con mucha información del intrusivo de Lázaro Cárdenas hasta la fecha; es necesario realizar un análisis completo para identificar diferencias y/o similitudes, al menos composicionales.

En el caso del intrusivo de Zihuatanejo, podemos observar que conserva la orientación preferencial del noreste-suroeste, así como la porción del Bat-EPA-PAZ que aflora en el estado de Guerrero. También, muestran una diferencia menor en la edad reportada por Martini *et al.* (2010) de aproximadamente seis millones de años. Por otro lado, esta parte del Bat-EPA-PAZ es de composición más homogénea, característica que comparte con el intrusivo de Zihuatanejo.

Si comparamos el Bat-EPA-PAZ con el Batolito de La Huacana (hacia el norte), se puede identificar que comparten la temporalidad (Eoceno), sin embargo, si bien se han reportado variaciones composicionales en La Huacana (ver: Schaaf (1990) y Romero-Carrillo (2018)), no marcan diferencias contrastantes hablando geoquímica y petrológicamente, es decir, su composición yace en el campo de granito *sensu lato*.

En lo que respecta al mecanismo de emplazamiento, se sugiere que son diferentes. Se interpreta que el emplazamiento de La Huacana ocurrió a menor profundidad ya que se ha erosionado poco la cobertura volcánica. Caso contrario con el Bat-EPA-PAZ (al menos de la porción que se encuentra en Michoacán), ya que como se describió desde un inicio, el mecanismo de emplazamiento es un escenario complejo, debido a que actualmente refleja una asimetría en donde estaríamos observando la parte más “profunda” en la sección suroeste y en la parte noreste, la parte menos “profunda”. Por ello, en el Bat-EPA-PAZ, es posible que, a consecuencia de las diferentes tasas de exhumación, la cobertura volcánica se erosione relativamente más rápida que en la zona en donde aflora el Batolito de La Huacana.

Comparando el Bat-EPA-PAZ con los intrusivos costeros de Michoacán (Tizupa-Maruata), la situación cambia, debido a que hay mayor estudios en esta zona, recientemente por Gómez-Rivera (2019). Gómez-Rivera (2019) propone que el intrusivo de Tizupa-Maruata, es producto de la amalgamación de diferentes pulsos magmáticos de diferentes niveles de profundidad. Si bien se ha propuesto como una posibilidad para el Bat-EPA-PAZ, la evidencia que se encontró hasta ahora, no es sólida como la mostrada por Gómez-Rivera (2019), la cual consiste en estructuras a mayor escala de *mixing*, *mingling* y *schlieren*, así como presencia de gabros ricos en plg con alto contenido de Ca.

7. Conclusiones

1.- La cartografía y la descripción petrológica del EPA, revela que está conformado por al menos 11 unidades: dos de tonalita (Ton-Art y Ton-Ag), tres de granodiorita (Grd-Vall, Grd-Esp y Grd-Zuñ), una de granito (Gr-Vij), una de diorita (Dio-Jun), dos de cuarzodiorita (QzDio-Cuev y QzDio-Col), una de monzogranito (MzGr-Pit) y una de sienogranito (Sien-Oll). Mientras que, el PAZ, tiene una composición homogénea y conformada por una unidad.

2.- El área expuesta, 617.21 km², y la composición mineralógica-química, distingue muy bien las unidades del suroeste del EPA respecto a las unidades del noreste. Esto se refleja en que en la sección suroeste se exponen las unidades máficas-intermedias y en el sector noreste, las unidades félsicas.

3.- La geoquímica de elementos mayores y traza del EPA y el PAZ, reflejan una afinidad de ambiente tectónico de arco magmático, que es coherente con su contexto geológico regional. Sin embargo, al momento de observar el enriquecimiento en álcalis, se observa que las unidades del noreste (Sien-Oll) en conjunto con el PAZ, tienden a ser más peraluminosas a diferencia de las unidades del sureste, las cuales son metaluminosas.

4.- Las relaciones isotópicas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr y de ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd permiten definir que las unidades del EPA y el PAZ, tienen una firma mantélica caracterizada por tener valores bajos en la relación Rb-Sr y alto en la relación Sm-Nd. Cuando se observa a detalle la tendencia de los resultados se puede correlacionar con el proceso de diferenciación magmática.

5.- En cuanto a los valores de εNd₀ esto permite caracterizar dos grupos. El primero con valores de +1.4 a +2.7 que corresponden a las regiones centro y noroeste del EPA, así como el PAZ el cual refleja una fuente magmática más heterogénea. Y el segundo grupo con valores de +3.5 a +4.2 que coinciden con las regiones del suroeste y sureste del EPA. Esto define que la fuente magmática de esta porción se encontraba con menor diferenciación magmática.

6.- La química mineral del EPA refleja consistencia con las diferencias encontradas a nivel petrológico y geoquímico; destaca en la Ton-Art y la Dio-Jun la existencia de ortopiroxeno, la cual podrían interpretarse como evidencia de un magma parental más gabroico.

7.- Las edades promedio del método U-Pb del EPA y el PAZ, muestran una variación muy mínima entre las unidades de ambos intrusivos, lo cual sugiere, de que se trate de eventos tectonomagmáticos contemporáneos.

8.- Los datos geotermobarométricos obtenidos de Ton-Art y Dio-Jun, sugieren que las condiciones P-T de emplazamiento al menos para estas dos unidades, fueron similares.

9.- La evidencia mostrada hasta ahora apoya la idea de que la ZCM influyó en el proceso de exhumación del EPA.

10.- La evidencia petrológica, geocronológica, geoquímica y geotermobarométrica, nos permite proponer dos modelos (**Modelo A** y **Modelo B**) para explicar la petrogénesis, así como el mecanismo de emplazamiento del EPA y el PAZ. Las incógnitas que aún quedan por resolver en ambos modelos son: 1.- Si hubo un reservorio magmático en común que alimentó a todas las unidades del EPA y el PAZ (caso contrario, se considera la amalgamación de pulsos) y 2.- La influencia del desarrollo de la ZCM durante la exhumación del EPA o *a posteriori*.

Referencias

- Aguilera-Franco N. y Hernández-Romano U. (2004). Cenomanian-Turonian facies succession in the Guerrero-Morelos Basin, Southern Mexico. *Sedimentary Geology* (170), 135-162.
- Alvarado-Méndez H., Munguía-Rojas P. y Torreblanca-Castro T. J. (2002). Informe de la carta geológica-minera Playitas (E13-B78) Escala 1:50, 000. Servicio Geológico Mexicano.
- Anderson J. L. y Smith, D. R. (1995). The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblende barometry. *American Mineralogist* (80). 549-59.
- Anderson T.H. y Schmidt V.A. (1983). The evolution of middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time: *Geological Society of America Bulletin* (94), 941-966.
- Anderson T.H., Jones N.W. y McKee J.W. (2005). The Taray Formation: Jurassic (?) mélange in northern Mexico-Tectonic implications. In: *The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives: E.U.A. Geological Society of America Special Paper* (393), 427-455.
- Annen C. (2011). Implications of incremental emplacement of magma bodies for magma differentiation, thermal aureole dimensions and plutonism-volcanism relationships. *Tectonophysics* (500), 3 – 10.
- Annen C., Blundy J. D., Leuthold J., Stephen R. y Sparks J. (2015). Construction and evolution of igneous bodies: Towards an integrated perspective of crystal magmatism. *Lithos* (230), 206-221.
- Barker F. (1979). Trondhjemite; definition, environment and hypotheses of origin. In *Trondhjemites, Dacites and Related Rocks*. El Sevier, 1-12.
- Barrios-Rodríguez F., Bastida-Jiménez R. y Rosales-Franco E. (2000). Informe de la carta geológica-minera Lázaro-Cárdenas (E13-6-9) Escala 1:250, 000. Servicio Geológico Mexicano.
- Bartolini C. (1998). Stratigraphy, geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Mesozoic Nazas Formation, north-central México: El Paso, Texas. Tesis doctoral. Universidad de Texas.
- Best M.G. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Freeman and Co. New York, (1982).

Blanquat M.S., Horsman E., Habert G., Morgan S., Vanderhaeghe O., Law R. y Tikoff B. (2011). Multiscale magmatic cyclicity, duration of pluton construction, and the paradoxical relationship between tectonism and plutonism in continental arcs. *Tectonophysics* (500), 20-33.

Blundy J.D. y Holland T.J.B. (1990). Calcic amphibole equilibria and new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contributions on Mineralogy and Petrology* (104). 208-224.

Buddington A.F. (1959). Granite emplacement with special reference to North America. *Bulletin of the Geological Society of America*. (70), 671-747.

Cabral-Cano E., Draper G., Lang H.R. y Harrison C.G.A. (2000). Constraining the Late Mesozoic and Early Tertiary Tectonic Evolution of Southern Mexico: Structure and Deformation History of the Tierra Caliente Region. *Journal of Geology* (108), 427-446.

Campa M.F. y Coney P.J. (1983). Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences* (20), 1040-1051.

Campa M.F., Ramirez J. y Bloome C. (1982). La secuencia volcanico-sedimentaria metamorfizada del Triásico (Ladiniano-Carniano) de la region de Tumbiscatío, Michoacán: *Sociedad Geológica Mexicana*, VI Conv. Nal. 48.

Castro, A. (2015). *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas*. (1ª ed.). Madrid, España: Paraninfo.

Centeno-García E. (1994). Tectonic evolution of the Guerrero Terrane, western Mexico. Ph. D. Tesis: Tucsos, University of Arizona.

Centeno-García E. (2005). Review of Upper Paleozoic and Lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments of central and west Mexico: Constraints on terrane analysis and paleogeography. In: Anderson, T.H., Nourse J.A., McKee J.W., Steiner M.B. (Eds.). *The Mojave-Sonora Megashield Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*. Geological Society of America Special Paper 393, 233-258.

Centeno-García E. (2016). Mesozoic tectono-magmatic evolution of Mexico: An overview. *Ore Geology Reviews*.

Centeno-García E., Busby C., Busby M. y Gehrels G. (2011). Evolution of the Guerrero composite terrane along the Mexican margin, from extensional fringing arc to contractional continental arc. *Geological Society of America Bulletin* (123), 1776-1797.

Centeno-García E., Corona-Chavez P., Talavera-Mendonza O. e Iriondo A. (2003). Geology and tectonic evolution of the Western Guerrero terrane. A transect from Puerto Vallarta to Zihuatanejo, México. *In* Alcayde M. y Gómez-Caballero A. Geological Transects across Cordillera México:

Centeno-García E., Guerrero-Suastegui M. y Talavera-Mendoza O. (2008). The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone. *The Geological Society of America*, 436, 279-308.

Centeno-García E., Ruiz J., Patchett P.J. y Ortega-Gutiérrez F. (1993). Guerrero terrane: Its role in the evolution southern Cordillera from new geochemical data. *Geology* (21), 419-423.

Cerca M., Ferrari L., Bonini M., Corti G. y Manetti P. (2004). The role of crustal heterogeneity in controlling vertical coupling during Laramide shortening and the development of the Caribbean-North America transform boundary in southern Mexico: insights from analogue models. *In* Grocott J., Taylor G. y Tikoff B (eds). Vertical coupling and decoupling in the lithosphere. London, Geological Society, Special Publications (227), 117-140.

Chen G.N. y Grapes R. (2007). *Granite Genesis: In Situ Melting and Crustal Evolution*. (1^{er} ed.) Guangzhou, China: Springer.

Coleman D.S., Gray W. y Glazner A.F. (2004). Rethinking the emplacement and evolution of zoned plutons: Geochronologic evidence for incremental assembly of the Tuolumne Intrusive Suite, California. *Geological Society of America* (32,5), 433-436.

Córdoba-M D.A. (1964). *Geology of Apizolaya Quadrangle (east half), northern Zacatecas, Mexico*. Tesis de maestría. Universidad de Texas.

Corfu F., Hancher J.M., Hoskin P.W. y Kinny P. (2003). Reviews in Mineralogy and Geochemistry (53, 1) 469-500.

Corona-Chávez P. (1999). El basamento litológico y tectónico del Estado de Michoacán. *in*: Garduño-Monroy V.H., Corona-Chávez P., Israde-Alcántara I., Mennella L., Arreygue E., Bigioggero B y Chiesa B. (1999). Carta geológica del estado de Michoacán, escala 1:250,000: Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Corona-Chávez P., Schaaf P., Bigioggero B., Tunesi A. y Panseri M. (2007). Laramidic-age plutonism in the Guerrero Terrane, southern Mexico: some tectonic and metallogenic implications. VII CONGRESO DE GEOLOGÍA. Segunda edición. Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. Sociedad Cubana de Geología.

Dávila-Alcocer V.M., Centeno-García E. y Lorenzo M. (2013). Caracterización y ambiente tectónico de las rocas máficas del Complejo El Chilar: evidencias de un prisma de acreción pre-Jurásico Tardío en el centro de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 65 (1), 83-98.

Dávila-Alcocer V.M., Centeno-García E., Valencia V., Fitz D. E. (2009). Una nueva interpretación de la Región de Tolimán, Estado de Querétaro: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* (61), 491-497.

De Cserna Z., Palacios-Nieto M. y Pantoja-Alor J. (1978). Relaciones de facies de las rocas cretácicas en el noroeste de Guerrero y áreas colindantes de México y Michoacán. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. 2:8-18.

Deer W.A., Howie R.A. y Zussman J. (1992). *Rock-forming minerals*. 2ª ed. London, Longmans. 696 p.

Dickinson W.R., Klute M.A., Hayes M.J., Janecke S.U., Lundin E.R., McKittrick M.A. y Olivares M.D. (1998). Paleogeographic and paleotectonic setting of Laramide Sedimentary basins in the central Rocky Mountain region. *Geological Society of America Bulletin* (100), 1023-1039.

Ducea M.N., Gehrels G.E., Shoemaker S., Ruiz J. y Valencia V.A. (2004). Geologic evolution of the Xolapa Complex, southern Mexico: Evidence from U-Pb zircon geochronology. *Geological Society of America Bulletin* (116), 1016-1025.

Eguiluz de Antuñano S., Aranda-García M. y Marrett R. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 53(1), 1-26.

Elías-Herrera M., Sánchez-Zavala J.L. y Macías-Romo C. (2000). Geologic and geochronologic data from the Guerrero terrane in the Tejupilco area, southern Mexico: new constraints on its tectonic interpretation: *Journal of South American Earth Sciences* (13), 355-375.

Ferrusquía I., Applegate S.P. y Espinosa L. (1978). Rocas volcanosedimentarias mesozoicas y huellas de dinosaurios en la región suroccidental pacífica de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* v.2, no.2, 150-162.

Freyder C., Martinez J.R., Lapierre H., Tardy M. y Coulon C. (1996). The Early Cretaceous Arperos oceanic basin (western Mexico). Geochemical evidence for and aseismic ridge formed near a spreading center. *Tectonophysics* (259), 343-367.

Frost B.R. y Frost C.D. (2008). A Geochemical Classification for Feldspathic Igneous Rocks. *Journal of Petrology* 49 (11), 1955-1969.

Gámez-Ordaz V., León-Ayala V.M. y Vázquez-Tortoledo R. (2009). Informe de la carta geológica-minera Las Cruces (E13B69) Escala 1:50, 000. Servicio Geológico Mexicano.

García-Pérez F. y Urrutia-Fucugauchi J. (1997). Crustal structure of the Arteaga Complex, Michoacán, southern Mexico, from gravity and magnetics. *Geofísica Internacional* (36) 4.

Garduño-Monroy V.H., Corona-Chávez P., Israde-Alcántara I., Mennella L., Arreygue E., Bigioggero B y Chiesa B. (1999). Carta geológica del estado de Michoacán, escala 1:250,000: Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Glazner A. F., Bartley J. M., Coleman D. S., Gray W. y Taylor R. Z. (2004). Are plutons assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers? *GSA Today* (14), 4-11.

Gómez Rivera F.J. (2019). Análisis petrológico e isotópico del Complejo Batolítico Aquila, suroccidente de México. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones de Ciencias de la Tierra.

González-León M. C., Lawton F. T. y Weber R. (2011). Estratigrafía del Triásico y el Jurásico inferior de Sonora, México. In: Calmus (Ed.) *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Boletín (118) 3, 57-80.

González-Partida E., Levresse G., Carrillo-Chávez A., Cheilletz A., Gasquet D. y Jones D. (2003). Paleocene adakite Au-Fe bearing rocks, Mezcala, Mexico: evidence from geochemical characteristics: *Journal of Geochemical Exploration* 80 (1), 25-40.

Guevara Alday, D.A. (2020). Petrogénesis magmática del Ensamble Plutónico de Tumbiscatío, Michoacán. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Instituto de Investigaciones de Ciencias de la Tierra.

Guidebook for Field Trips of the 99th GSA Cordilleran Section Meeting: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Publicación Especial (1), 201-228.

Gutiérrez H.J. (1975). Informe Geológico Final, Prospecto Arteaga-Balsas Superintendencia General de Exploración Geológica, PEMEX IGPR-183 (inédito).

Hildebrand R.S. (2009). Did westward subduction cause Cretaceous-Tertiary Orogeny in the North American Cordillera? *Geological Society of America Special Papers* (457), 1-71.

Hildebrand R.S. (2013). Mesozoic Assembly of the North American Cordillera: Geological Society of America Special Papers (495), 1-123.

Hildebrand R.S. (2014). Geology, mantle tomography, and inclination corrected paleogeographic trajectories support westward subduction during Cretaceous orogenesis in the North American Cordillera: Geosciences Canada (41), 207-224.

Hildebrand R.S. y Whalen J.B. (2014). Arc and Slab-Failure Magmatism in Cordilleran Batholiths II: The Cretaceous Peninsular Ranges Batholith of Southern and Baja California. Geoscience Canada (41), 399-458.

Holland T.J.B. y Blundy J.D. (1994). Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole plagioclase thermometry. Contribution to Mineralogy and Petrology (116), 433-447.

INEGI (2001). Carta topográfica E14A81 (San Feliciano) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2001). Carta topográfica E14C11 (La Unión) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2002). Carta topográfica E13B88 (Playa Azul) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2014). Carta topográfica E13B89 (La Mira) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2016). Carta topográfica E13B79 (Arteaga) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2016). Carta topográfica E14A71 (Infiernillo) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2017). Carta topográfica E13B68 (Tumbiscatío de Ruíz) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2017). Carta topográfica E13B78 (Las Playitas) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2017). Carta topográfica E14A61 (Las Cañas) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2019). Carta topográfica E13B68 (General Francisco Villa) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI (2019). Carta topográfica E13D19 (Lázaro Cárdenas) escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

Johannes W. y Holtz F. (1996). *Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks*. (1^{er} ed.) Heidelberg, Alemania: Springer.

Johannsen A. (1932). *A descriptive petrography of igneous rocks*. Vol. 2. Chicago, Illinois: University of Chicago.

Jones D. y Jackson P.R. (2001). Geology and mineralization of Los Filos gold deposit, Nukay district, Guerrero, Mexico. Mexico XXIII Convention Nacional AIMMGM, AC, Mexico.

Kellum L.B. (1936). Evolution of the Coahuila peninsula, Mexico: Part III. Geology of the mountains west of the Laguna district: *Geological Society of America Bulletin* (47), 1039-1090.

Kemp A.I.S. y Hawkesworth C.J. (2004). Granitic perspectives on generation and secular evolution of the continental crust. *In*: Rudnick, R.L. (ed.), *Treatise on geochemistry*, volume 3. The crust: Amsterdam, Elsevier, 349-410.

Labarthe-Hernández G., Tristán-González M. y Aguillon-Robles A. (1982). Estudio geológico-minero del área de Peñón Blanco estados de San Luis Potosí y Zacatecas: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y metalurgia. Folleto Técnico 76.

Larsen E.S., Gottfried D., Jaffe H.W. y Waring C.L. (1958). Lead-alpha ages of the Mesozoic batholiths of western North America: United States. *Geological Survey Bulletin* (1070-B), 35-69.

Lawton F.T. y Molina Garza S.R. (2014). U-Pb geochronology of the type Nazas Formation and superjacent strata, northeastern Durango, Mexico: Implications of a Jurassic age for continental-arc magmatism in north-central Mexico. *Geological Society of America Bulletin* (126) 9/10, 1181-1199.

Lawton F.T., Bradford A.I., Vega J.F., Gehrels E.G. y Amato M.J. (2009). Provenance of Upper Cretaceous-Paleogene sandstones in the foreland basin system of the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico, and its bearing on fluvial dispersal systems of the Mexican Laramide Province. *Bulletin Geological Society American* (121), 820-836.

Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker

E.J.W. y Youzhi G. (1997). Nomenclature of amphiboles. *In: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. American Mineralogist* 82, 1019-1037.

Levresse G., González-Partida E., Carrillo-Chávez A., Tritlla J., Camprubí A., Cheilletz A., Gasquet D. y Deloule E. (2004). Petrology, U/Pb dating and (C-O) stable isotope constraints on the source and evolution of the adakite-related Mexcala Fe-Au skarn district, Guerrero, México: *Mineralium Deposita* (39), 301-312.

Lindsley D.H. (1983) Pyroxene thermometry. *American Mineralogist*, 68. 477-439.

López-Ramos E. (1985). *Geología de México* (3ª ed.) Tomo II: México D.F.

Maldonado Villanueva R. (2011). *Petrología metamórfica de la porción central del Complejo Xolapa, región de Cacahuatpec-Amuzgos, Oaxaca. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias de la Tierra.*

Maniar P.D. y Piccoli P.M. (1989). Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society American Bulletin*. 101. 635-643.

Martini M., Ferrari L., López-Martínez M. y Valencia V. (2010). Stratigraphic redefinition of the Zihuatanejo area, southwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* (27) 3, 412-430.

Matzel E.P., Bowring S.A. y Miller R.B. (2006). Time scales of pluton construction at differing crustal levels: Examples from the Mount Stuart and Tenpeak intrusions, North Cascades, Washington. *Geological Society of America* (118, 11/12), 1412-1430.

Mendoza-Rosales C.C., Centeno-García E., Silva-Romo G., Campos-Madriral E. y Bernal J.P. (2010). Barremian rift-related turbidites and alkaline volcanism in southern Mexico and their role in the opening of the Gulf of Mexico. *Earth and Planetary Science Letters* (295), 419-434.

Mesquita Soares C.J., Dall'Angol R. y Costa de Almeida J.A. (2018). Mineral chemistry and crystallization parameters of the A-type Paleoproterozoic Bannach Granite, Carajás Province, Pará, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 48 (3) 575-601.

Michel J., Baumgartner L., Putlitz B., Schaltegger U. y Ovtcharova M. (2008). Incremental growth of the Patagonian Torres del Paine laccolith over 90 k.y. *Geology* (36), 459-462.

Miller J.S., Matzel J.E.P., Miller C., Burgess S.D. y Miller R. (2007) *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (167) 282-299.

Monod O., Lapierre H., Chiodi M., Martínez-Reyes J., Calvet P.H., Ortiz E., Zimmermann J.L. (1990). Réconstitution d'un arc insulaire intra-océanique au Mexique central-la séquence vol-cano-plutonique de Guanajuato (Crétacé inférieur): Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Serie II, 310 (81), 45-51.

Montiel-Escobar J. (2013). Evolución estructural e implicaciones metalogenéticas de la zona de cizalla "El Muleto", suroeste de México. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Instituto de Investigaciones de Ciencias de la Tierra.

Morán-Zenteno D. J., Martiny B. M., Solari L., Mori L., Luna-González L. y González-Torres E. A. (2017). Cenozoic magmatism of the Sierra Madre del Sur and tectonic truncation of the Pacific margin of southern Mexico. *Earth-Science Review*, 183, 85-114.

Morán-Zenteno D.J. (1992) Investigaciones isotópicas de Rb-Sr y Sm-Nd en rocas cristalinas de la región de Tierra Colorada-Acapulco-Cruz Grande, Estado de Guerrero. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.

Morán-Zenteno D.J., Cerca M. y Duncan-Keppie J. (2005). La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana: Volumen conmemorativo del centenario de temas selectos de la geología mexicana*. Tomo LVII. (3).319-341.

Morán-Zenteno D.J., Corona-Chavez P. y Tolson G. (1996). Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: pluton geobarometry constraints. *Earth and Planetary Science Letters* (141), 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. y Solís-Pichardo G.N. (1999). Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of South American Earth Sciences* (12), 513-535.

Mutch E.J.F., Blundy J.D., Tattitch B.C., Cooper F.J. y Brooker R.A. (2016). An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 171, 10. doi: [10.1007/s00410-016-1298-9](https://doi.org/10.1007/s00410-016-1298-9).

Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M. y Carron J.P. (1985). Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 301:813-818.

Nédeléc A. y Bouchez J.L. (2015). *Granites: Petrology, structure, geological setting y metallogeny*. (1^{er} ed.) Oxford, Reino Unido: Oxford.

Ortega-Gutiérrez F., Elías-Herrera M., Morán-Zenteno D.J., Solari L., Luna-González L. y Schaaf P. (2014) A review of batholiths and other plutonic intrusions of Mexico. *Gondwana Research* (26), 834-868.

Ortiz-Hernández L.E., Acevedo-Sandoval O.A.A. y Flores-Castro K. (2003). Early Cretaceous intraplate seamounts from Guanajuato, central Mexico: geochemical and mineralogical data. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 20 (1), 27-40.

P. Schaaf, Corona-Chávez P., Ortiz Joya G., Solís-Pichardo G., Arrieta-García G., Hernández-Treviño T. y Poli S. (2022). Magma hybridization, mingling, and recycling in the Manzanillo plutonic complex, Mexican Cordillera. *International Geology Review* (64).

Pantoja-Alor J. (1972). La formación Nazas del levantamiento de Villa Juárez, Estado de Durango: México, D.F. Sociedad Geológica Mexicana, *Memorias de la Segunda Convención Nacional*, 25-31.

Pantoja-Alor J. (1990). Redefinición de las unidades estratigráficas de la secuencia mesozoica de la región Huetamo-Cd. Altamirano, estados de Michoacán y Guerrero. In: *Convención Geológica Nacional: Sociedad Geológica Mexicana 10: Puebla, México*, 121-123.

Pasquare G., Ferrari L., Garduño V.H., Tibaldi A. y Vezzoli L. (1991). Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacan, Mexico. *Geological Society of America*.

Pearce J.A., Harris B.W. y Tindle A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology* (25). 956-983.

Petford N. y Clemens J.D. (2000). Granites are not diapiric! *Geology Today* (September-October), 180-184.

Pimentel R.A. (1980). *Prospecto Soyatlán de Adentro*, Petróleos Mexicanos, IGPR-191: inédito.

Pitcher W.S. (1993). *The nature and origin of granite*: London, Blackie Academic & Professional.

Pitcher W.S. (1997). Cordilleran-type batholiths: magmatism and crust formation at a plate edge. In: *The Nature and Origin of Granite*, 232-252.

- Powell R. y Holland T.J.B. (2008). On thermobarometry. *Journal of Metamorphic Geology* (26), 155-179.
- Pupin J.P. (1980) Zircon and Granite Petrology. *Contribution of Mineral of the Petrology* (73), 207-220.
- Pupin J.P. (1988) Granides as indicators in paleogeodynamics. *Societa Italiana di Mineralogia e Petrologia* (43, -2), 237-262.
- Reginald-Daly A. (1906). The Okanagan composite batholith of the cascade mountain system. *Bulletin of the geological society of America* (17), 329-376.
- Rogers R. y Emmet P.A. (2007). Tectonic terranes of the Chortis block based on integration of regional aeromagnetic and geologic data. *The Geological Society of America* (428), 65-88.
- Romero Carrillo N.L. (2018) Análisis textural 2D de rocas graníticas del sur de México: Inferencias de la historia de cristalización del plutón de La Huacana, Michoacán. Tesina de ingeniería. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ronald Frost B. y D. Frost C. (2008). A Geochemical Classification for Feldspathic Igenous Rocks. *Journal of Petrology* 00 (0), 1-15.
- Ross M. y Scotese C.R. (1988). A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region: Tectonophysics (155), 139-168.
- Salinas-Prieto J.C., Monod O. y Faure M. (2000). Ductile deformation of opposite vergence in the eastern part of the Guerrero Terrane (SW Mexico). *Journal of South American Earth Sciences* (13), 389-402.
- Schaaf P., Morán-Zenteno D.J. y Hernández-Bernal M.S. (1995). Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: Geochronological evidence. *Tectonics* (14), 1339-1350.
- 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. Tesis de doctorado. Facultad de Geociencias, Universidad de Múnich.
- Schmidt M.W. (1992) Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions on Mineralogy and Petrology* (110), 304-310.

Schwartz J.J., Johnson K., Mueller P., Valley J., Strickland A. y Wooden J.L. (2014). Time scales and processes of Cordilleran batholith construction and high-Sr/Y magmatic pulses: Evidence from the Bald Mountain batholith, northeastern Oregon. *Geosphere* (10,6), 1456-1481.

SGM (1997). Carta geológica-minera E1369 (Lázaro Cárdenas) escala 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hidalgo.

SGM (2000). Carta geológica-minera E13B69 (General Francisco Villa) escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hidalgo.

SGM (2000). Carta geológica-minera E144 (Ciudad Altamirano) escala 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hidalgo.

SGM (2001). Carta geológica-minera E13B79 (Arteaga) escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hidalgo.

SGM (2003). Carta geológica-minera E13B78 (Playitas) escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hidalgo.

SGM (2004). Carta geológica-minera E13B68 (Tumbiscatío) escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, Hidalgo.

Shand S.J. (1947). *The Eruptive Rocks*. 3rd New York, JohnWiley.

Silva-Romo, G. (1993). Estudio de la estratigrafía y estructuras tectónicas de la Sierra de Salinas, estados de San Luis Potosí y zacatecas: México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Silver L.T. y Chappell B.W. (1988). The Peninsular Ranges Batholith: An insight into the evolution of the Cordilleran batholiths of southwestern North America: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* (79), 105-121.

Streckeisen A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review* (12), 1-33.

Suazo-Cruz G. (2020). Análisis geoquímico, geocronológico y estereológico de la porción NE del plutón paleógeno de Arteaga, Michoacán y su interpretación geológica. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sun S. y McDonough W. (1989). Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt: implications for mantle composition and process. *Geological Society London Special Publications*, 42, 313-345.

Talavera-Mendoza M.O. (2000). *Mélanges in southern México: Geochemistry and metamorphism of Las Ollas complex (Guerrero Terrane)*. Canadian Journal of Earth Sciences (37), 1309-1320.

Tolson-Jones G. (1998). *Deformación, exhumación y neotectónica de la margen continental de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos*. Tesis doctoral. Colegio de Ciencias y Humanidades: Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado. Posgrado en Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México.

Torreblanca-Castro T.J., Bastida-Jiménez R. y Vázquez-Tortoledo R. (2004). *Informe de la carta geológica-minera Arteaga (E13B79) Escala 1:50, 000*. Servicio Geológico Mexicano.

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

Tröger W.E. (1935). *Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine*. Verlag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft. University of Michigan.

Vidal S. R. (1984). *Tectónica de la Región de Zihuatanejo Guerrero, Sierra Madre del Sur, México*. Tesis de ingeniería. Instituto Politécnico Nacional. Gu

Werner A.G. (1787). *Kurze Beschreibung und Klassifikation der verschiedenen Gebirgsarten*. Bergakademie-Inspektor und Lehrer der Bergbaukunst und Mineralogie zu Freyberg.

Whitney D.L. y Evans B.W. (2010). *Abbreviations for names of rock-forming minerals*. American Mineralogist (95), 185-187.

Wilson M. (1989). *Igneous Petrogenesis: A global tectonic approach*. Unwin Hyman, London, 466 p.

Zindler, A., & Hart, S. (1986). *Chemical geodynamics*. Annual review of earth and planetary sciences, 14(1), 493-571.

Anexo 1

Marco Tectónico del Mesozoico en México

Anexo 2

Batolitos cordilleranos: Batolitos del Pacífico circundante

Anexo 3

El magmatismo plutónico paleógeno en el occidente de México

Anexo 4

Catodoluminiscencia y resultados de análisis isotópicos UPb en zircones

Anexo 5

Análisis químicos de minerales

Anexo 1

Marco Tectónico del Mesozoico en México

Entorno tectónico en el Triásico

Sensu stricto no se conocen rocas volcánicas del Triásico inferior-medio en nuestro país, la hipótesis de la existencia de actividad volcánica en tal intervalo de tiempo ha sido ideada por edades obtenidas en zircones detríticos pertenecientes a estratos del Jurásico-Cretácico. Lawton *et al.* (2009) publicaron edades de zircones obtenidas por el método U-Pb, procedentes de areniscas de la cuenca ante-arco de la Sierra Madre Oriental, en el estado de Coahuila, al noreste de México. De las seis poblaciones de zircones, existe un grupo con edades de 288-235 Ma. (Pérmico-Triásico superior) nativas de areniscas del Cretácico (Formación (Fm.) Muerto y miembro Cuchilla), las cuales exhiben líticos de origen plutónico. Después, González León *et al.* (2011) encontraron en la Fm. Antimonio (Edo. de Sonora), arenisca y conglomerado; el primero varia de subarcosa a litoarenita (los líticos que la constituyen son principalmente ígneos), entre tanto, los líticos del conglomerado son: riolita, granito, pedernal, cuarzoarenita y caliza.

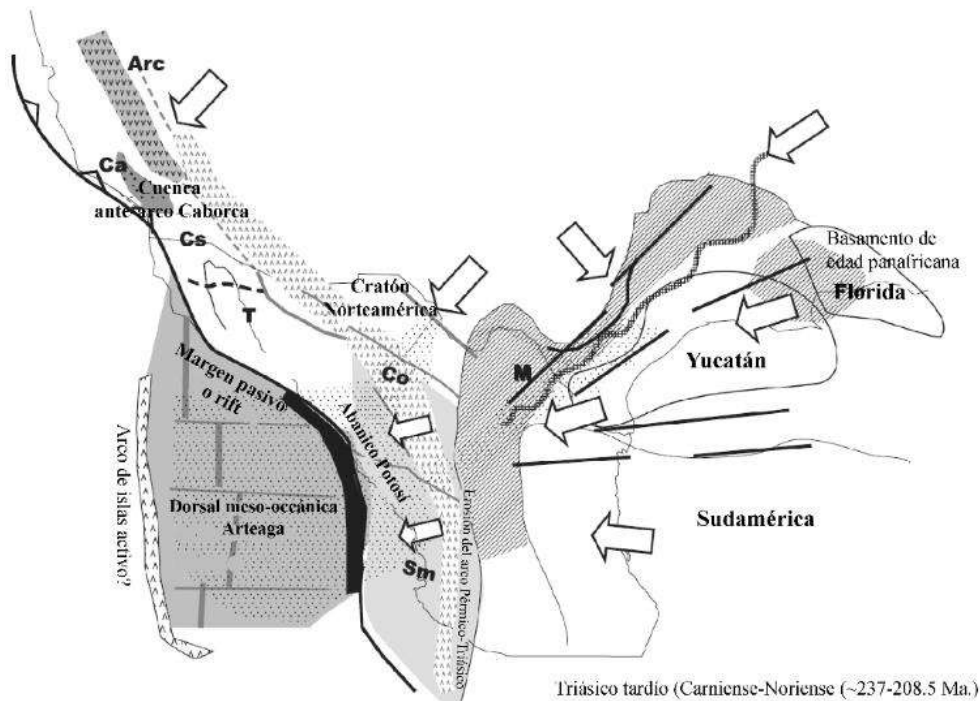


Figura 1A. Reconstrucción paleogeográfica del norte y centro de México propuesta por Centeno-García (2005). Las flechas indican la posible procedencia de los sedimentos y las áreas que sufrieron una importante erosión (Imagen tomada y modificada de: Centeno-García (2005)). Abreviaturas: Cortés (Cs), Caborca (Ca), Tahué (T), Sierra Madre (Sm), Coahuila (Co), Maya (M), Arco (Arc).

Por otra parte, existe una secuencia de sedimentos siliciclásticos marinos (arenisca rica en cuarzo, lutita y escaso pedernal) que se formaron en un medio turbidítico que, más tarde, en el Jurásico medio-superior, sufrió importante deformación originando importantes cabalgaduras, a esta sucesión se le ha denominado abanico Potosí (Centeno-García, 2005). Algo a destacar es que, la composición de la matriz (arenisca) de las turbiditas siliciclásticas del complejo de subducción centro-oeste de México, tiene mucha similitud con el abanico Potosí. Los datos publicados hasta ahora sugieren que la margen del paleo-Pacífico sufrió un periodo de *rift* o margen pasivo durante el Triásico (Centeno-García, 2016).

Entorno tectónico en el Jurásico

Las rocas de la Fm. San Hipólito, ubicadas en el Edo. de Baja California, son las únicas rocas conocidas relacionadas a un arco volcánico del Triásico superior-Jurásico inferior. Tal formación se compone de *pillow* lavas, turbiditas, pedernal y depósitos volcanoclásticos; estos últimos tienen afinidad de arco de islas oceánicas (Centeno-García, 2016). Sin embargo, existe una secuencia de rocas volcánicas y volcanosedimentarias asociadas al arco Nazas, cuya edad ha sido tema de debate (**Figura 2A**). En este contexto, Kellum (1936) describió por primera vez una secuencia de rocas volcánicas pre-Cretácicas en Villa Juárez (Edo. de Durango), más tarde Pantoja-Alor (1972) la nombró Fm. Nazas y le asignó una edad del Triásico superior-Jurásico inferior. Años después, Bartolini (1998) publicó datos geoquímicos de dicha formación, asociándolo a un arco volcánico vinculado a la margen continental activa del oeste de México, proponiendo nombrar de manera homónima a este arco del Triásico superior-Jurásico inferior.

No obstante, como se mencionó anteriormente, la cuestión de su edad ha sido tema de controversia hasta la fecha. Como muestra de ello, Lawton y Molina (2014) publicaron edades de zircones obtenidas mediante U-Pb, restringiendo la actividad del arco Nazas al Jurásico inferior-medio.

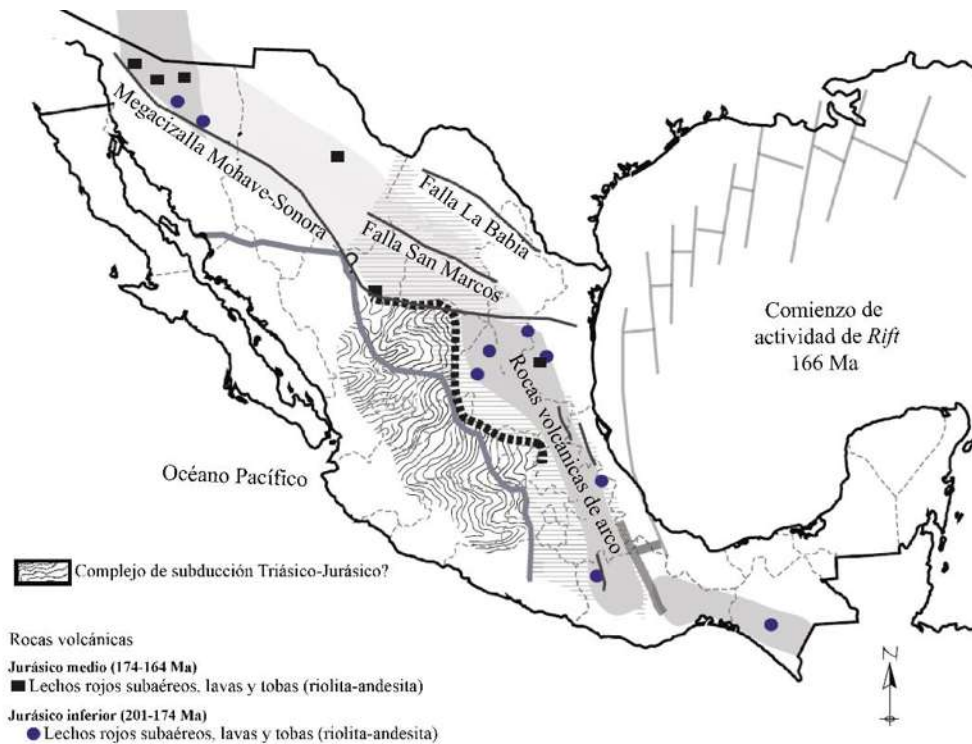


Figura 2A. Distribución regional de las rocas ígneas datadas a partir de zircones, mediante el método de U-Pb, las cuales arrojaron edades del Jurásico inferior-medio. En este esquema, no se muestran todos los afloramientos asociados al arco Nazas. (Imagen tomada y editada de: Centeno-García (2016)).

A partir de las relaciones estratigráficas regionales, Centeno-García *et al.* (1993) plantean que la subducción de la cuenca oceánica de Arteaga provocó un vasto prisma de acreción a lo largo de la margen de subducción del paleo-Pacífico, para lo cual plantean dos diferentes escenarios (**Figura 3A** y **3B**) después, Centeno-García (2005) le asigna una edad del Rhaetiense-Toarciense.

Las rocas que integran dicho prisma son descritas con distinto nombre dependiendo del área geográfica en donde se encuentran, por ejemplo; para el subterreno Zihuatanajo, Labarthe *et al.* (1982) a partir de sus antecedentes define la Fm. Zacatecas y Silva-Romo (1993) propone la Fm. La Ballena (Edo. de Zacatecas), Vidal (1984) las nombra Complejo Las Ollas (Edo. de Guerrero), Pantoja-Alor (1990) define la Fm. Río Placeres (Edo. de Guerrero) y Centeno-García *et al.* (1993) presentan al Complejo Arteaga (Edo. de Michoacán). Por otro lado, para la región central de México, Córdoba-M. (1964) describe a la Fm. Taray (Edo. de Zacatecas) posteriormente Anderson *et al.* (2005) con base en su estratigrafía proponen un ambiente de formación del tipo *mélange* (mezcla tectónica).

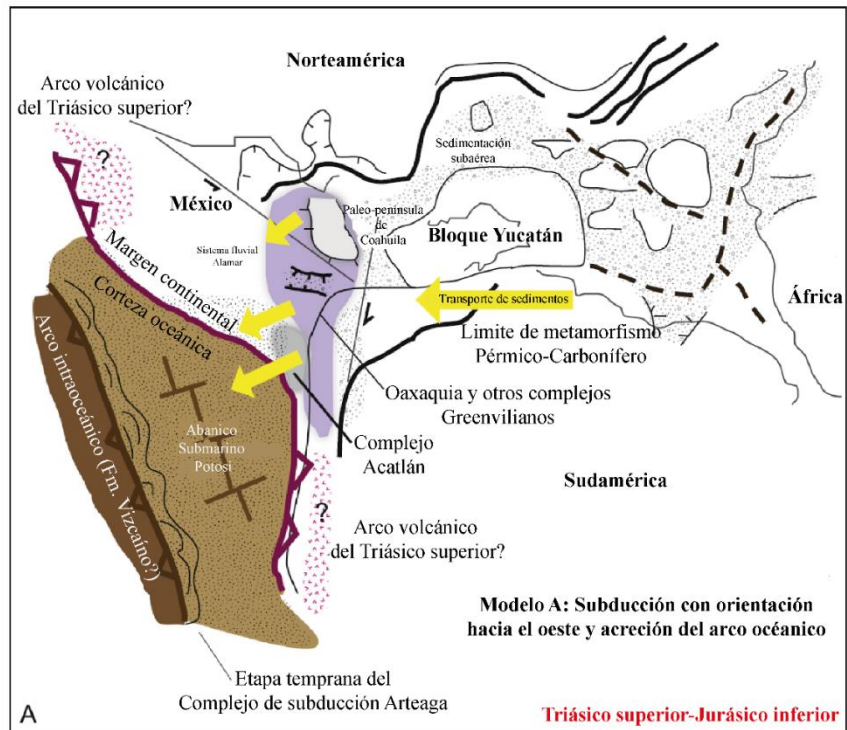


Figura 3A. Reconstrucción paleogeográfica propuesta por Centeno-García (2016). **Modelo A:** La cuenca oceánica de Arteaga es consumida por la subducción hacia el oeste. (Imagen tomada y modificada de: Centeno-García (2016)).

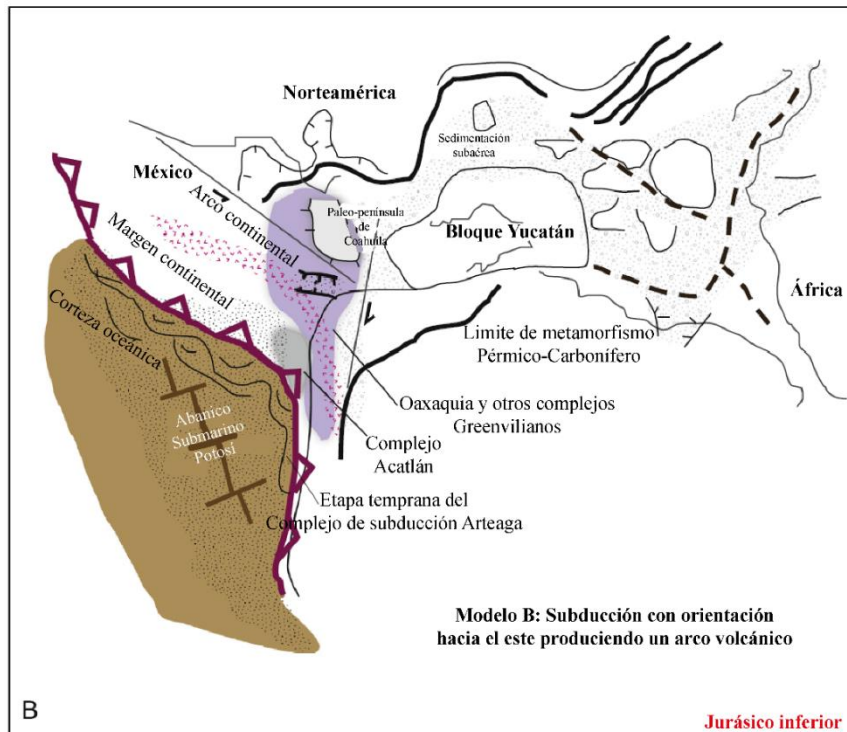


Figura 3B. Reconstrucción paleogeográfica propuesta por Centeno-García (2016). **Modelo B:** La cuenca oceánica de Arteaga es consumida por la subducción hacia el este (Imagen tomada y modificada de: Centeno-García (2016)).

Por último, López-Ramos (1985) propone informalmente a la Fm. El Chilar (Edo. de Querétaro), más tarde Dávila Alcocer *et al.* (2009) sugieren renombrarlo a Complejo El Chilar, luego Dávila Alcocer *et al.* (2013) con base en sus resultados geoquímicos proponen un ambiente tectónico de arco de islas oceánicas. Centeno-García *et al.* (2008) resaltan una disconformidad angular importante que separa las sucesiones de arco del Jurásico, de las rocas deformadas del Triásico que pertenecen a Oaxaquia, terreno Central y subterreno Zihuatanejo. Tal disconformidad se expone en Pico de Teyra (Edo. de Zacatecas); Tolimán (Edo. de Querétaro); Peñón Blanco, Real de Catorce, Charcas (Edo. de San Luis Potosí); Zihuatanejo (Edo. de Guerrero) y Tumbiscatío (Edo. de Michoacán).

Entorno tectónico en el Cretácico

A lo largo del Jurásico superior-Cretácico inferior se encontraban activas dos cuencas oceánicas en nuestro país (**Figura 4A**); una de ellas se conoce como cuenca Arperos (Freyder *et al.* 1996) y la segunda, cuenca del Golfo de México (Mendoza *et al.* 2010).

Acerca de la cuenca Arperos, inicialmente Monod *et al.* (1990) nombró así a una serie volcanosedimentaria deformada y con secuencias tipo *flysch*, que pertenece a la parte basal de la secuencia volcánica de la Sierra de Guanajuato. Con posterioridad, Freyder *et al.* (1996) propusieron llamar de manera homónima a la cuenca oceánica que desplazó hacia el oeste al Terreno Guerrero compuesto y hacia el este, el núcleo pre-Mesozoico de México, durante el Cretácico inferior. Por otra parte, la cuenca del Golfo de México se originó por un proceso de *rift* que comenzó en el Triásico y finalizó aproximadamente en el Berriasiense (~145 Ma.). Mendoza *et al.* (2010) con base en fechamientos de zircons detríticos de la Fm. Chivillas (Edo. de Puebla), sugieren que fue en el Barremiense (~129.4 Ma.) la mayor actividad de aporte de sedimentos provenientes de continente.

Evidencia de la primera cuenca se ha encontrado en los subterrenos Guanajuato y Arcelia, los cuales, entre sus litologías, resaltan basaltos tipo MORB (por sus siglas en inglés: *Mid Ocean Ridge Basalts*) y OIB (por sus siglas en inglés: *Ocean Island Basalt*). Ortiz *et al.* (2003) publicaron la geoquímica de *pillow* lavas encontradas al NW de la Sierra de Guanajuato, asignándole un ambiente de montes submarinos intra-placa derivados de vulcanismo de punto caliente.

En función de las edades de zircons detríticos obtenidas al oeste del subterreno Zihuatanejo, Centeno-García *et al.* (2011) reconocieron que, durante el Cretácico inferior, ocurrió abundante actividad volcánica de ambiente de arco extensional la cual, tuvo su mayor vulcanismo durante el Barremiano-Aptiano y, en el Albiano. Se ha observado que en el Cretácico medio-superior, existió un amplio vulcanismo con diferentes asociaciones tectónicas, dicho de otra manera, no se considera el vulcanismo exclusivamente a la subducción, si no a una tendencia en transición de subducción a *rift*, que va de oeste a este (Centeno-García, 2016).

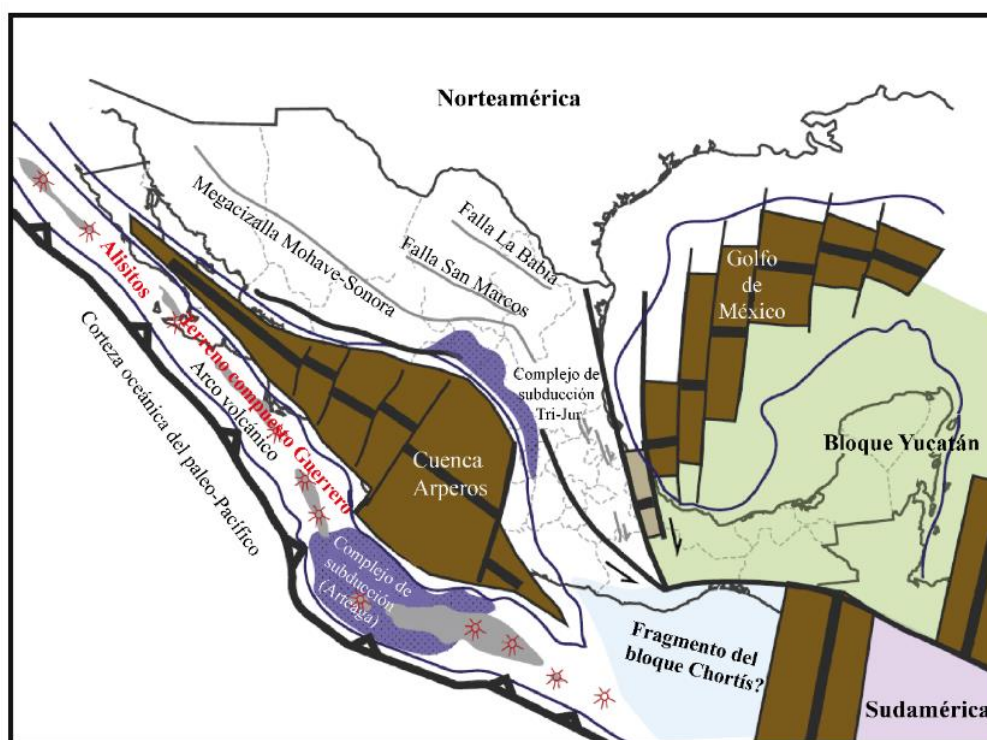


Figura 4A. Reconstrucción paleogeográfica de México propuesta por Centeno-García (2016) para el Cretácico inferior (Albiano-Aptiano). En este modelo se puede percibir la actividad de las dos cuencas activas, hacia el oeste se tiene a la cuenca de Arperos y, hacia el este, la cuenca del Golfo de México.

Orogenia Laramide

Para el Cretácico superior-Paleógeno aconteció un evento de deformación progresiva por acortamiento, que produjo una serie de plegamientos y cabalgaduras que afectó a las secuencias marinas del pre-Mesozoico y Mesozoico.

El modelo clásico en la literatura geológica del suroeste de México relaciona tal evento con la orogenia Laramide, debido a su edad y estilo de deformación similar a la que se observa al suroeste de la cordillera norteamericana. Esta asociación fue propuesta por primera vez por De Cserna (1978),

Por otra parte, en la zona central Cerca *et al.* (2004) proponen que el sentido norte-sur de las estructuras fue ocasionado por desplazamientos verticales y laterales del núcleo pre-Mesozoico durante el Paleógeno. Por último, en la zona oriental predomina el cinturón de pliegues y cabalgaduras con una orientación noroeste-sureste y con una vergencia hacia el noreste. En esta zona, Eguiluz de Antuñano *et al.* (2000) realizaron una compilación de datos radiométricos de otros autores proponiendo que la deformación máxima sucedió en el Eoceno.

Dickinson *et al.* (1988) propusieron que la orogenia Laramide inició en el Maastrichtiense en la zona de las montañas rocosas (*Rocky Mountain*) en Estados Unidos. En el centro-sur de México, Aguilera-Franco y Hernández Romano (2004), con base en los cambios litológicos y paleontológicos de la Fm. Cuautla, describen detalladamente la evolución de las facies de la sucesión marina que pertenece a la cuenca Guerrero-Morelos, proponiendo así que, la edad de inicio de la orogenia Laramide en nuestro país, fue en el Cenomaniano-Turoniano. Esta temporalidad es consistente con las edades obtenidas por el método de ^{40}Ar - ^{39}Ar , publicadas por Elías-Herrera *et al.* (2000) de una secuencia volcánica submarina plegada, de la cual se obtuvo una edad de 103.1 ± 1.3 Ma. y 93.6 ± 0.6 Ma.; ambas muestras pertenecientes a la región de Arcelia-Palmar Chico, en el Edo. de Guerrero.

Se considera que la orogenia Laramide en México concluyó en el Cretácico superior-Paleoceno, dicho intervalo de tiempo coincide con dataciones de cuerpos intrusivos en la región de Mezcala (Edo. de Guerrero), que se encuentran intrusionando a las secuencias Cretácicas deformadas (Fm. Morelos, Fm. Mezcala y Fm. Cuautla). González-Partida *et al.* (2003) publicaron un rango de edad obtenida mediante el método de ^{40}Ar - ^{39}Ar del trabajo de Jones y Jackson (2001) de 63.3 ± 0.2 Ma. a 64.7 ± 0.2 Ma. (Paleoceno) para los intrusivos de Mezcala. Posteriormente, Levresse *et al.* (2004) divulgaron una edad obtenida por el método U-Pb aplicado en zircones de 63 ± 2 Ma. para el mismo intrusivo. De manera general, el ambiente de depósito cambió en la SMS paulatinamente de marino a continental durante y hacia el final del evento de deformación causado por la orogenia Laramide (Morán-Zenteno *et al.* 2005).

Anexo 2

Batolitos cordilleranos: Batolitos del Pacífico circundante

La expresión batolito cordillerano fue planteada por Larsen *et al.* (1958) para puntualizar a aquellos intrusivos que poseen más de 1,000 kilómetros de longitud e intrusionan a rocas pertenecientes a la cordillera Americana (la cual inicia en el estado de Alaska, Estados Unidos y finaliza en la región de los Andes, Argentina) (**Figura 6A**). Este término abarca a plutones, batolitos, enjambres de diques, sills, stocks, entre otros; los cuales varían en su composición de gabro a granito.

Más tarde, en 1960, Warren Hamilton propone que los batolitos cordilleranos del sector oeste de los Estados Unidos representan las “raíces” de antiguos arcos volcánicos muy parecidos a los que se encuentran en la región de los Andes. Él propone que se generaron por una subducción constante y de largo periodo en el extremo este de aquel país (Hildebrand y Whalen, 2014). A pesar de que ya se había definido lo que representaba un batolito cordillerano y se había hecho un primer intento por explicar su génesis, no se contaban con trabajos detallados que facilitaran observar su distribución en continente.

Sin embargo, el trabajo de Reginald-Daly (1906) representa el primer intento por cartografiar a detalle un batolito cordillerano, para este proyecto, el autor realizó la cartografía minuciosa del batolito de Okanagan, en Canadá. Entre las conclusiones que llegó en su trabajo, él propone la hipótesis de la existencia de una correlación entre los batolitos cordilleranos y las grandes cordilleras montañosas.

Varias décadas de años después, Pitcher (1997) resalta las características que comparten los batolitos del Pacífico circundante, entre las cuales destacan: lineamientos corticales, la asociación con un arco volcánico, presencia de gabros precursores, la naturaleza secuencial de la intrusión y una variación composicional conforme nos alejamos de la zona de subducción.

Con el avance de estudios de rocas volcánicas y plutónicas, se ha demostrado que el crecimiento de un sistema magmático va variando en un intervalo definido de tiempo (Schwartz *et al.* 2014). Por ejemplo, Coleman *et al.* (2004) con base en fechamientos obtenidos mediante el método U-Pb aplicado en zircones, proponen para el plutón de Tuolumne, perteneciente al batolito de Sierra Nevada, una construcción hecha a partir del emplazamiento de pequeños pulsos magmáticos en un intervalo de 10 Ma.

Más tarde, Matzel *et al.* (2006) utilizó la misma metodología de Coleman *et al.* (2004) pero aplicado al batolito de *Mount Stewart* y concluyó que la construcción de este intrusivo, duro aproximadamente 5 Ma. Más recientemente, Michel *et al.* (2008) aplicaron el procedimiento descrito anteriormente, para el plutón de Torres de Paine, en la Patagonia chilena y, propone múltiples pulsos magmáticos que se amalgamaron y emplazaron en un intervalo de $90,000 \pm 40,000$ años.

Por último, se han propuesto distintos modelos a través del tiempo, para explicar la génesis de estos grandes batolitos cordilleranos (ver: Silver y Chappel (1988), Schwartz *et al.* (2014) y Hildebrand y Whalen (2014)) los cuales han sufrido modificaciones y reinterpretaciones, dependiendo del autor al que se consulte.

Uno de los trabajos más citados y conocidos es el de Schwartz *et al.* (2014), los cuales proponen que la construcción de los batolitos cordilleranos puede ser resultado de un aumento en la actividad del manto y/o inhumación de corteza continental fértil, y a su vez, de manera contemporánea, puede ejercer controles primarios en la construcción de los cinturones orogénicos, incluyendo una amplia transferencia de calor del manto a la corteza, una exhumación vertical y por ende una erosión acelerada de la superficie.

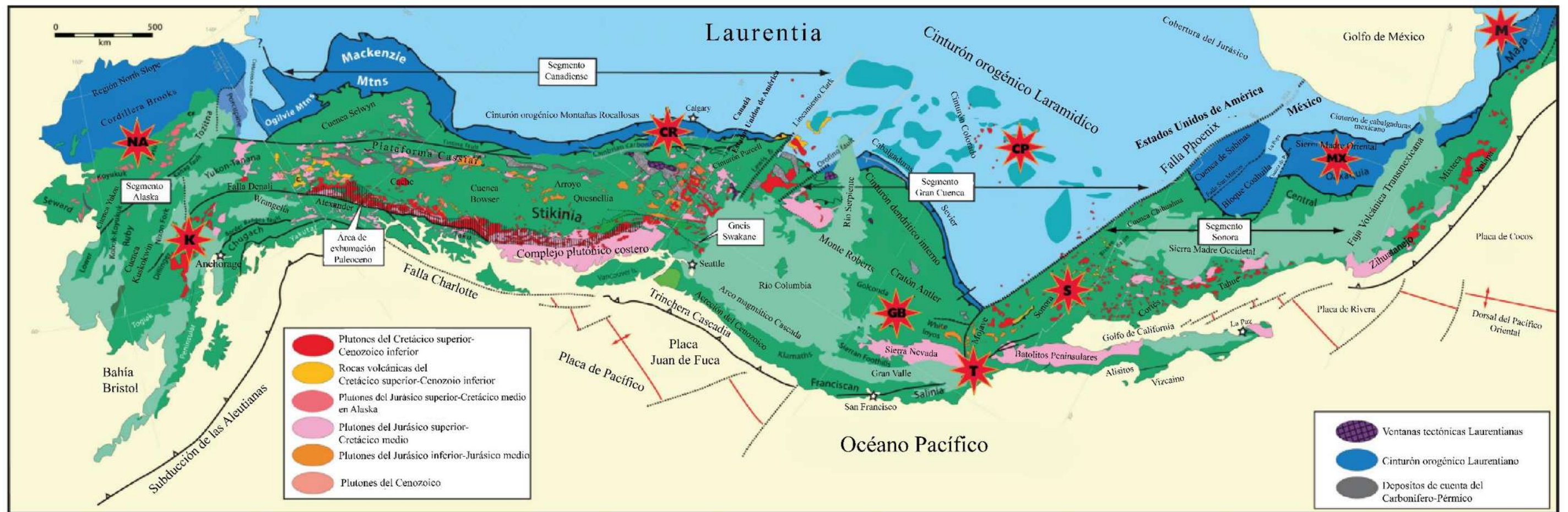


Figura 6A. Mapa regional de Norteamérica en donde se observa la cartografía propuesta por Hildebrand (2013, 2014) de los batolitos cordilleranos y algunas áreas importantes (estrellas rojas) las cuales conservan la deformación ocasionada por la orogenia Laramide. El área de exhumación del Paleoceno es la región en donde se concentra la mayor cantidad de plutones del Cretácico superior-Cenozoico inferior (Hildebrand, 2009). (Imagen tomada y modificada de: Hildebrand (2014)).

Anexo 3

El magmatismo plutónico Paleógeno en el occidente de México

El magmatismo plutónico es de gran relevancia en el Terreno Guerrero compuesto, debido a que es el responsable de la formación de yacimientos importantes de minerales metálicos en el suroeste de México (**Figura 7A**) (por ejemplo; en el Edo. de Colima se tienen yacimientos de hierro, y en los estados de Michoacán y Guerrero se encuentran minas importantes de oro). Corona-Chávez *et al.* (2007) identificaron que, en la zona costera de los estados de Jalisco y Michoacán, la coexistencia de tres grupos de plutones que comparten una cronología, estos son:

Intrusivos del transecto Jilotlán-Tepalcatepec-Aguila (70-75 Ma.)

Intrusivos del trayecto Maruata-Zihuatanejo-Arteaga (57-44 Ma.)

Intrusivos del segmento La Huacana-Huetamo-Vallecitos (42-36 Ma.)

Para estos grupos, Corona-Chávez *et al.* (2007) reportan una composición heterogénea que va de granodiorita a tonalita, así como una afinidad calcoalcalina, representativo de granitos de arco volcánico.

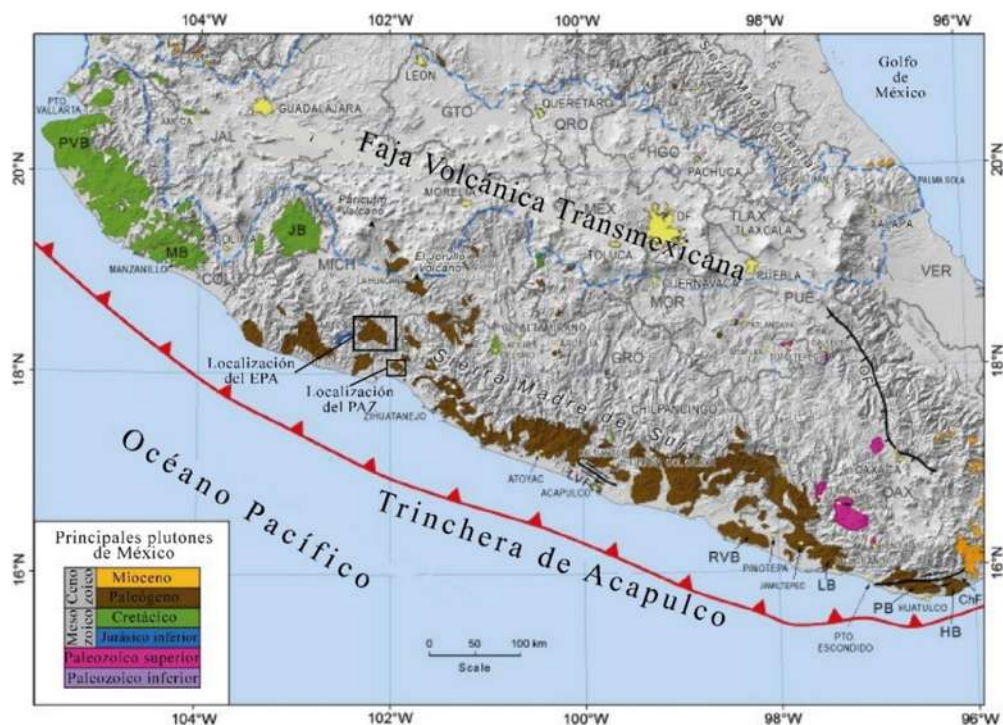


Figura 7A. Distribución de los principales cuerpos intrusivos en el suroeste de México. En color café resaltan los cuerpos intrusivos de edad Paleógeno, período al cual pertenece el EPA y el PAZ. En los recuadros negros resalta la zona en donde afloran dichos intrusivos. (Imagen tomada y modificada de: Ortega-Gutiérrez (2014)).

Anexo 4

Catodoluminiscencia y resultados de análisis isotópicos U-Pb en zircones del EPA-PAZ

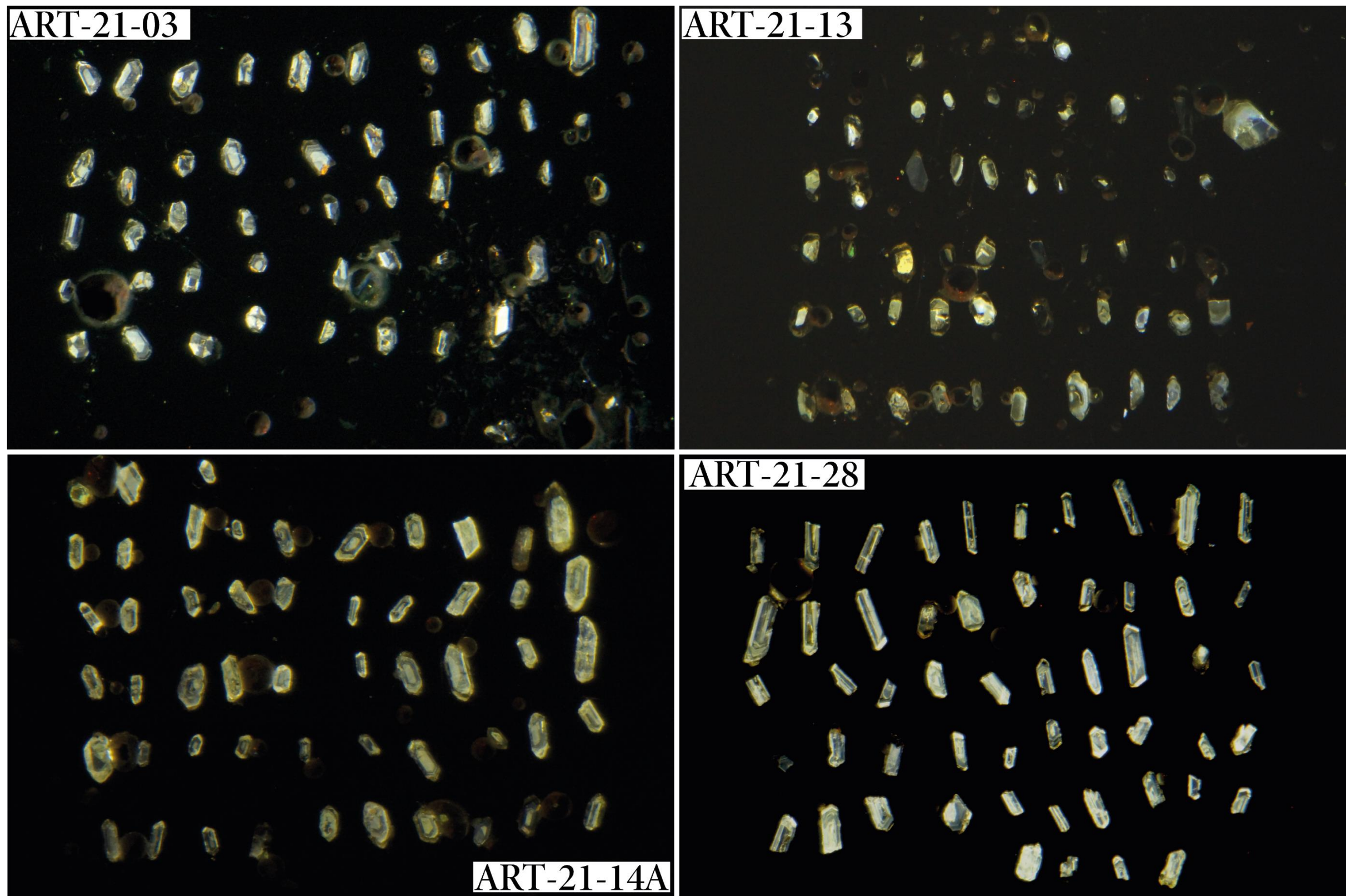


Figura 8A. Recopilación de imágenes de los zircones de las muestras estudiadas vistas en catodoluminiscencia.

				CORRECTED RATIOS ²								CORRECTED AGES (Ma)									
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2se abs	Rho (6/8v7/5)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se	Best age (Ma)	±2se	Disc %
ART-21-03_Zrn-01	300.57	118.23	0.39	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	47.88	2.59	61.55	12.00	357.13	526.23	47.9	2.59	22.21
ART-21-03_Zrn-02	378.34	161.97	0.43	0.08	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	47.30	2.71	78.81	12.50	1031.24	325.04	47.3	2.71	39.97
ART-21-03_Zrn-03	374.89	170.18	0.45	0.05	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	48.52	1.71	48.54	4.42	-73.34	200.36	48.5	1.71	0.03
ART-21-03_Zrn-04	484.91	331.43	0.68	0.05	0.00	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.41	51.65	2.34	58.22	5.29	322.85	171.21	51.6	2.34	11.29
ART-21-03_Zrn-05	273.76	94.85	0.35	0.08	0.02	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.42	46.51	3.65	75.49	15.69	908.51	490.41	46.5	3.65	38.38
ART-21-03_Zrn-06	439.56	169.98	0.39	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.37	45.09	3.32	58.93	11.98	361.96	721.54	45.1	3.32	23.49
ART-21-03_Zrn-07	151.23	58.04	0.38	0.09	0.02	0.10	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.37	47.44	4.91	92.82	20.32	1294.22	423.16	47.4	4.91	48.89
ART-21-03_Zrn-08	304.37	111.36	0.37	0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	46.87	2.98	67.59	10.77	608.28	463.86	46.9	2.98	30.66
ART-21-03_Zrn-09	374.83	136.96	0.37	0.07	0.03	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.79	46.98	4.01	63.49	19.23	339.20	897.08	47.0	4.01	26.00
ART-21-03_Zrn-10	302.03	136.73	0.45	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	48.61	2.23	56.67	10.03	116.40	429.86	48.6	2.23	14.23
ART-21-03_Zrn-11	401.39	264.16	0.66	0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.38	49.31	2.21	70.54	11.36	887.86	384.17	49.3	2.21	30.10
ART-21-03_Zrn-12n	143.83	43.39	0.30	0.20	0.05	0.23	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00	0.27	53.87	5.27	202.48	40.09	2652.02	358.15	53.9	5.27	73.40
ART-21-03_Zrn-12b	377.95	118.12	0.31	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.28	47.75	3.16	59.80	12.17	644.00	490.68	47.7	3.16	20.16
ART-21-03_Zrn-13	259.57	86.27	0.33	0.20	0.05	0.20	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00	0.67	48.96	8.35	186.37	52.70	2785.44	419.35	49.0	8.35	73.73
ART-21-03_Zrn-14	337.10	100.28	0.30	0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.24	48.28	3.15	68.03	8.24	891.56	276.92	48.3	3.15	29.02
ART-21-03_Zrn-15n	155.13	58.91	0.38	0.17	0.04	0.20	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.20	57.08	4.87	180.28	36.76	2327.57	489.08	57.1	4.87	68.34
ART-21-03_Zrn-15b	708.45	416.92	0.59	0.08	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	49.02	2.30	81.18	10.52	1117.36	283.86	49.0	2.30	39.62
ART-21-03_Zrn-16	252.02	103.13	0.41	0.15	0.02	0.14	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	48.69	2.80	136.54	16.82	2197.73	223.28	48.7	2.80	64.34
ART-21-03_Zrn-17	322.12	142.47	0.44	0.07	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.45	45.40	2.74	61.99	9.09	723.40	246.41	45.4	2.74	26.76
ART-21-03_Zrn-18	228.53	114.32	0.50	0.09	0.02	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.24	44.27	3.43	77.58	11.69	1174.49	397.97	44.3	3.43	42.94
ART-21-03_Zrn-19	395.07	141.39	0.36	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	48.21	2.73	57.22	8.66	276.01	391.93	48.2	2.73	15.75
ART-21-03_Zrn-20	310.64	81.91	0.26	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	49.61	2.94	49.88	7.68	96.61	349.69	49.6	2.94	0.53
ART-21-03_Zrn-21n	314.84	101.22	0.32	0.09	0.02	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.40	48.11	3.70	84.42	15.48	1194.35	435.36	48.1	3.70	43.01
ART-21-03_Zrn-21b	260.50	82.06	0.32	0.04	0.03	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	50.32	3.93	59.49	19.03	516.68	298.14	50.3	3.93	15.42
ART-21-03_Zrn-22	321.91	169.34	0.53	0.09	0.02	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	49.86	3.54	89.68	14.46	1040.20	452.48	49.9	3.54	44.40
ART-21-03_Zrn-23	432.67	175.59	0.41	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	44.16	2.21	49.05	8.38	-224.87	686.31	44.2	2.21	9.97
ART-21-03_Zrn-24	304.20	97.61	0.32	0.08	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	42.16	2.72	72.97	9.85	1036.55	301.29	42.2	2.72	42.22
ART-21-03_Zrn-25	323.01	114.95	0.36	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	49.42	2.14	54.67	9.16	-65.04	534.89	49.4	2.14	9.59
ART-21-03_Zrn-26	338.29	80.86	0.24	0.05	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	48.08	2.98	54.74	13.90	342.60	491.54	48.1	2.98	12.17
ART-21-03_Zrn-27	464.05	160.15	0.35	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	48.98	3.35	58.91	12.43	323.15	353.74	49.0	3.35	16.85
ART-21-03_Zrn-28	2481.19	258.83	0.10	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.09	83.40	2.83	87.97	7.39	76.78	201.41	83.4	2.83	5.20
ART-21-03_Zrn-29	873.25	474.09	0.54	0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	42.39	2.34	64.12	8.67	738.31	311.33	42.4	2.34	33.89
ART-21-03_Zrn-30	342.62	153.32	0.45	0.18	0.04	0.20	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.10	51.15	3.83	182.61	38.95	2621.54	314.94	51.1	3.83	71.99
ART-21-03_Zrn-31n	259.75	129.04	0.50	0.17	0.03	0.18	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	49.20	4.86	167.75	23.54	2471.91	332.88	49.2	4.86	70.67
ART-21-03_Zrn-31b	214.44	109.09	0.51	0.10	0.01	0.11	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	45.61	3.47	101.84	13.79	1735.82	213.18	45.6	3.47	55.22

Tabla 1A. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-03.

	Trace elements (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
ART-21-03_Zrn-01	1263.5	221.8	2.7	1947.4	2.2	0.0	9.2	0.1	2.9	5.7	0.6	35.5	12.7	167.1	65.9	321.5	598.8	124.1	8690.7	3.9	118.2	300.6
ART-21-03_Zrn-02	945.6	240.4	3.2	2353.2	2.4	0.0	12.6	0.1	2.9	6.8	0.5	43.0	15.9	204.5	78.4	384.5	705.9	145.2	10648.3	4.3	162.0	378.3
ART-21-03_Zrn-03	2696.7	236.0	1.1	2677.5	2.7	12.6	47.4	4.7	27.0	12.9	0.9	55.4	18.8	234.3	88.8	434.9	773.8	158.2	9507.6	4.9	170.2	374.9
ART-21-03_Zrn-04	907.5	233.2	1.4	1695.2	5.3	0.0	17.0	0.1	1.4	3.7	0.3	27.3	10.3	137.6	54.8	277.2	516.1	109.2	8854.9	7.5	331.4	484.9
ART-21-03_Zrn-05	735.6	281.8	1.4	1871.1	3.6	0.0	11.5	0.1	1.4	4.3	0.4	28.8	11.3	149.4	60.0	311.0	604.6	133.5	9979.5	3.4	94.9	273.8
ART-21-03_Zrn-06	937.7	239.7	3.1	1956.3	3.3	0.0	11.8	0.1	1.1	4.7	0.3	31.5	11.4	158.8	61.3	320.3	614.2	127.5	9318.3	3.8	170.0	439.6
ART-21-03_Zrn-07	942.1	221.4	2.0	1068.1	2.9	0.1	9.7	0.0	1.0	2.4	0.3	15.5	5.8	81.6	34.6	173.1	356.4	75.5	10499.3	2.9	58.0	151.2
ART-21-03_Zrn-08	653.0	232.0	4.2	1536.1	3.5	0.1	12.6	0.1	1.2	3.2	0.3	23.6	8.8	121.8	49.5	256.8	502.4	105.0	9157.6	3.6	111.4	304.4
ART-21-03_Zrn-09	1469.4	253.6	3.0	1531.3	4.6	1.6	19.9	0.6	3.5	3.5	0.2	21.6	9.2	126.2	48.9	257.4	494.6	104.9	10027.2	3.3	137.0	374.8
ART-21-03_Zrn-10	417.1	215.6	0.8	2100.6	1.9	0.0	11.8	0.1	2.3	6.1	0.5	41.5	14.8	185.0	70.4	345.0	613.2	126.0	9478.2	3.5	136.7	302.0
ART-21-03_Zrn-11	1196.9	326.6	5.0	2422.0	4.2	0.0	17.0	0.1	1.6	5.6	1.3	41.6	15.1	200.9	79.6	404.4	758.8	158.7	8357.1	4.5	264.2	401.4
ART-21-03_Zrn-12n	2111.5	323.2	228.0	1932.0	3.9	3.8	19.9	2.0	8.8	4.2	0.4	26.2	10.6	149.7	60.1	298.1	607.8	131.1	11813.9	6.1	43.4	143.8
ART-21-03_Zrn-12b	607.5	261.9	5.0	1673.0	3.4	0.0	9.5	0.1	1.4	4.7	0.3	25.9	9.5	132.8	53.0	281.7	561.6	122.8	9566.7	3.2	118.1	378.0
ART-21-03_Zrn-13	23281.9	182.7	1786.8	1283.5	10.8	153.7	389.4	61.3	271.3	69.2	1.2	75.1	14.3	120.5	42.9	189.0	389.4	80.6	7393.6	4.0	86.3	259.6
ART-21-03_Zrn-14	204.9	209.0	595.7	1199.3	6.7	0.7	17.4	0.7	5.8	4.0	0.4	18.3	6.7	92.6	38.7	199.2	412.6	92.7	11108.5	4.3	100.3	337.1
ART-21-03_Zrn-15n	-507.9	320.9	6.1	2519.1	4.3	0.9	18.9	0.4	4.4	6.8	0.5	33.8	16.0	198.5	77.3	421.9	790.2	169.9	13156.3	6.7	58.9	155.1
ART-21-03_Zrn-15b	785.1	255.2	13.5	1719.8	6.2	0.8	21.3	0.4	2.6	3.7	0.3	26.3	11.2	142.7	56.1	286.9	537.6	113.2	9912.0	6.6	416.9	708.5
ART-21-03_Zrn-16	218.8	227.5	25.0	1797.8	2.3	1.1	11.7	0.3	2.9	5.4	0.4	31.0	11.4	148.2	58.3	297.7	541.3	117.3	9869.4	4.3	103.1	252.0
ART-21-03_Zrn-17	462.6	224.2	1.4	2120.2	2.1	0.0	14.1	0.0	1.8	5.4	0.5	38.3	13.7	179.6	70.3	345.8	623.1	132.9	10469.9	3.2	142.5	322.1
ART-21-03_Zrn-18	823.3	243.5	4.2	2516.5	1.6	0.0	7.9	0.2	4.2	8.2	1.8	56.3	18.4	229.5	84.2	407.6	696.3	143.8	8039.4	2.5	114.3	228.5
ART-21-03_Zrn-19	887.1	239.9	-1.0	1473.5	4.3	0.0	13.1	0.0	0.9	3.2	0.2	21.5	8.1	113.2	48.2	244.6	483.0	103.5	9502.3	3.5	141.4	395.1
ART-21-03_Zrn-20	1378.7	259.7	1.4	1355.5	2.6	1.8	10.8	0.6	2.6	3.0	0.2	17.2	7.0	102.9	42.1	226.2	468.1	101.7	9866.9	2.6	81.9	310.6
ART-21-03_Zrn-21n	361.5	298.0	3.2	1496.7	3.0	0.1	7.4	0.1	1.2	2.7	0.5	19.8	8.0	113.9	47.9	255.4	526.3	112.8	8443.8	3.1	101.2	314.8
ART-21-03_Zrn-21b	6182.5	250.7	0.2	1423.1	2.2	34.3	92.2	12.4	59.8	15.1	0.5	33.3	9.3	112.2	44.8	229.6	448.9	98.2	9210.4	3.2	82.1	260.5
ART-21-03_Zrn-22	807.2	232.3	4.1	2360.2	2.1	0.1	15.0	0.2	2.2	8.7	0.8	46.0	15.7	204.8	78.9	382.6	672.3	138.0	9543.4	3.8	169.3	321.9
ART-21-03_Zrn-23	289.8	203.9	-0.3	1873.5	1.5	0.0	10.4	0.1	2.1	4.9	0.6	31.2	11.7	152.8	62.1	314.7	588.3	124.4	9527.1	3.8	175.6	432.7
ART-21-03_Zrn-24	26.8	262.4	4.9	1496.7	3.5	0.3	10.5	0.1	1.0	3.1	0.3	20.5	8.4	112.8	47.6	253.3	505.2	111.7	10774.7	2.8	97.6	304.2
ART-21-03_Zrn-25	266.7	243.7	2.8	1679.6	2.0	0.0	8.4	0.0	1.4	4.3	0.3	28.2	10.3	138.1	55.7	283.7	537.8	113.5	9130.1	2.9	114.9	323.0
ART-21-03_Zrn-26	392.1	221.8	1.2	1134.6	1.7	0.0	4.5	0.0	0.5	1.5	0.1	14.6	5.8	87.1	36.9	194.9	403.5	87.5	8763.3	2.4	80.9	338.3
ART-21-03_Zrn-27	744.6	266.6	4.4	1587.3	4.7	3.2	21.6	1.2	5.8	4.0	0.3	24.9	8.4	122.8	51.2	270.7	537.0	115.0	9325.8	4.1	160.2	464.0
ART-21-03_Zrn-28	578.9	206.5	11.3	1329.7	7.2	0.6	8.1	0.3	2.0	2.4	0.3	13.0	5.2	83.7	37.1	227.5	658.0	160.6	14698.8	26.3	258.8	2481.2
ART-21-03_Zrn-29	769.8	244.5	3.1	2250.6	4.0	0.2	15.1	0.1	2.4	5.8	0.5	38.1	13.3	182.6	72.4	363.2	708.5	153.7	10352.4	4.9	474.1	873.2
ART-21-03_Zrn-30	-66.7	263.7	14.6	1783.6	3.7	0.2	13.0	0.1	1.9	4.4	0.3	28.5	9.3	143.9	58.0	302.7	519.2	131.6	11703.9	5.2	153.3	342.6
ART-21-03_Zrn-31n	361.7	240.2	23.3	1400.6	1.6	0.0	9.5	0.1	1.5	3.7	0.9	24.4	8.7	118.8	46.2	229.2	445.8	94.0	7624.6	2.3	129.0	259.8
ART-21-03_Zrn-31b	428.6	341.2	6.6	2180.5	2.9	1.1	8.5	0.5	4.9	6.7	1.4	40.0	13.1	166.8	68.8	355.1	645.8	138.9	8716.6	2.4	109.1	214.4

Tabla 1B. Análisis de elementos traza de los zircones de la muestra ART-21-03.

	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U
ART-21-13_Zrn-01n	206.80	125.45	0.61
ART-21-13_Zrn-01b	189.94	77.00	0.41
ART-21-13_Zrn-02	187.83	112.42	0.60
ART-21-13_Zrn-03n	110.11	65.70	0.60
ART-21-13_Zrn-03b	108.14	61.58	0.57
ART-21-13_Zrn-04	356.95	145.15	0.41
ART-21-13_Zrn-05	325.88	147.08	0.45
ART-21-13_Zrn-06	474.15	187.14	0.39
ART-21-13_Zrn-07n	675.54	220.43	0.33
ART-21-13_Zrn-07b	165.87	70.29	0.42
ART-21-13_Zrn-08	126.28	46.25	0.37
ART-21-13_Zrn09n	1213.29	545.58	0.45
ART-21-13_Zrn-09b	1800.37	884.70	0.49
ART-21-13_Zrn-10	191.96	88.46	0.46
ART-21-13_Zrn-11	102.08	40.06	0.39
ART-21-13_Zrn-12	132.64	51.86	0.39
ART-21-13_Zrn-13	167.22	91.22	0.55
ART-21-13_Zrn-14	318.42	126.40	0.40
ART-21-13_Zrn-15	198.59	85.28	0.43
ART-21-13_Zrn16	127.15	77.11	0.61
ART-21-13_Zrn-17	97.00	44.71	0.46
ART-21-13_Zrn-18	532.01	96.29	0.18
ART-21-13_Zrn-19	410.60	132.41	0.32
ART-21-13_Zrn-20	126.86	68.28	0.54
ART-21-13_Zrn-21	4072.00	553.44	0.14
ART-21-13_Zrn-22	86.19	48.74	0.57
ART-21-13_Zrn-23	278.36	76.90	0.28
ART-21-13_Zrn-24	414.68	126.35	0.30
ART-21-13_Zrn-25	125.77	86.20	0.69
ART-21-13_Zrn-26	336.65	75.09	0.22
ART-21-13_Zrn-27	192.42	73.64	0.38
ART-21-13_Zrn-28	109.77	63.29	0.58
ART-21-13_Zrn-29	160.76	62.14	0.39
ART-21-13_Zrn-30	188.27	61.21	0.33
ART-21-13_Zrn-31	191.15	98.32	0.51

Tabla 2A. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-13.

CORRECTED RATIOS ²											
²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2se abs	Rho (6/8v7/5)			
0.06	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14			
0.07	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14			
0.11	0.02	0.13	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.32			
0.11	0.04	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.52			
0.05	0.02	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18			
0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05			
0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09			
0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03			
0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32			
0.09	0.03	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.29			
0.22	0.04	0.28	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.08			
0.05	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12			
0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.22			
0.11	0.03	0.11	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.10			
0.18	0.05	0.16	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.35			
0.18	0.05	0.20	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.31			
0.17	0.05	0.16	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.27			
0.07	0.02	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15			
0.07	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.25			
0.07	0.02	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.36			
0.06	0.02	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09			
0.06	0.01	0.08	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.18			
0.07	0.02	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02			
0.07	0.03	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07			
0.05	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09			
0.06	0.01	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08			
0.09	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.25			
0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01			
0.07	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15			
0.11	0.02	0.11	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.49			
0.08	0.02	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17			
0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01			
0.07	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07			
0.24	0.04	0.25	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.12			
0.07	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11			

CORRECTED AGES (Ma)					
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se
49.83	4.50	66.94	21.52	724.31	520.5
47.70	4.08	71.33	14.81	691.57	547.7
55.17	4.80	120.65	17.47	1519.31	322.8
50.19	6.56	95.07	27.26	1973.34	484.9
54.95	4.45	56.64	20.62	369.38	763.1
48.80	2.84	71.68	10.18	865.01	305.8
51.31	3.91	70.65	10.25	643.55	425.4
50.85	2.66	56.84	9.32	197.22	412.1
51.49	2.18	54.99	6.34	114.07	264.3
48.48	5.34	80.86	18.72	1252.42	505.3
59.38	5.41	239.96	38.82	2662.80	327.8
53.08	1.71	54.31	4.20	41.10	171.1
47.97	1.76	51.13	5.16	119.97	271.9
47.00	5.79	102.16	21.28	1546.75	517.1
46.62	4.95	146.78	34.87	2273.44	522.3
52.53	8.53	184.28	43.88	2486.51	539.6
48.90	4.22	150.60	35.14	2115.08	455.4
47.82	3.47	75.54	15.36	907.84	396.9
51.80	5.72	71.03	19.55	253.98	1087.2
46.73	5.12	59.05	18.65	-150.82	961.3
50.25	4.54	56.46	19.61	582.23	695.5
55.21	3.82	73.93	15.03	612.79	454.2
52.32	3.76	75.15	19.63	624.02	535.1
50.04	7.29	61.89	20.11	518.64	918.1
48.73	1.74	54.54	3.92	284.98	148.2
52.04	4.38	60.93	14.54	329.69	622.6
51.58	2.85	90.55	11.64	1246.91	308.5
53.24	2.39	58.82	8.25	185.66	331.6
53.49	6.66	70.41	20.27	535.01	605.4
47.71	3.70	106.81	10.40	1779.33	293.2
47.51	3.42	74.76	17.33	1297.35	352.2
53.36	3.70	51.54	12.94	49.34	608.8
49.13	4.28	68.70	20.79	1147.51	449.0
50.41	5.42	223.63	21.12	3059.53	251.4
54.84	3.70	77.93	11.51	1063.59	281.6

	Trace elements (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
ART-21-13_Zrn-01n	-375.7	184.1	17.1	801.1	1.1	0.0	7.0	0.1	1.6	3.7	0.4	16.9	5.5	69.5	26.3	123.0	216.7	41.4	10014.2	1.1	125.5	206.8
ART-21-13_Zrn-01b	2263.0	170.7	11.6	487.0	0.9	0.0	5.9	0.0	0.3	0.8	0.1	7.5	2.8	37.8	15.5	79.5	161.4	33.1	10782.5	1.3	77.0	189.9
ART-21-13_Zrn-02	3309.6	172.4	150.0	868.8	1.1	0.0	7.8	0.1	1.8	3.0	0.4	17.4	5.7	75.5	27.6	132.3	226.6	45.2	9165.0	1.5	112.4	187.8
ART-21-13_Zrn-03n	4988.0	181.8	12.3	606.3	0.6	0.0	4.8	0.1	0.8	1.8	0.3	13.7	3.8	51.7	20.2	95.3	168.0	34.4	10178.4	0.9	65.7	110.1
ART-21-13_Zrn-03b	1798.5	172.6	15.2	627.7	0.7	0.0	5.3	0.0	1.0	2.3	0.2	11.0	4.1	53.9	20.2	97.1	179.0	36.1	9688.1	0.9	61.6	108.1
ART-21-13_Zrn-04	348.6	177.7	9.8	658.6	1.2	0.1	7.7	0.0	0.4	1.2	0.2	8.9	3.3	46.9	19.6	107.1	214.7	46.2	13412.0	3.3	145.1	357.0
ART-21-13_Zrn-05	921.5	166.1	15.1	1128.0	0.8	0.2	9.6	0.2	3.6	5.4	0.5	26.4	8.0	100.4	35.3	166.5	286.2	56.0	9427.3	3.2	147.1	325.9
ART-21-13_Zrn-06	560.1	159.3	5.7	585.4	0.9	0.0	7.0	0.0	0.1	1.0	0.1	8.5	3.0	43.3	16.7	93.3	194.5	40.7	12338.1	3.2	187.1	474.1
ART-21-13_Zrn-07n	1531.4	157.7	5.3	515.7	1.1	0.0	6.7	0.0	0.3	0.8	0.1	6.3	2.6	37.7	15.7	84.4	184.9	38.5	13228.9	4.2	220.4	675.5
ART-21-13_Zrn-07b	1350.4	161.7	13.2	485.1	0.9	0.0	5.8	0.0	0.1	1.1	0.1	7.5	2.9	39.4	15.1	76.6	153.6	31.8	10706.9	1.2	70.3	165.9
ART-21-13_Zrn-08	476.7	167.3	164.9	423.4	1.1	0.8	8.0	0.6	3.3	1.8	0.2	6.8	2.4	32.7	13.8	69.6	138.1	29.2	10487.8	2.1	46.2	126.3
ART-21-13_Zrn09n	1466.7	176.1	6.0	1064.1	1.5	0.0	11.4	0.0	0.6	2.0	0.2	15.5	5.7	81.8	32.3	172.1	339.6	70.3	13234.4	8.4	545.6	1213.3
ART-21-13_Zrn-09b	2584.0	176.5	4.3	1311.2	1.5	0.0	13.6	0.1	1.0	2.3	0.3	18.1	7.4	97.3	40.3	208.6	417.2	85.1	14217.7	9.4	884.7	1800.4
ART-21-13_Zrn-10	2067.6	181.4	14.5	773.1	1.0	0.0	8.2	0.0	0.7	1.9	0.1	11.6	4.2	59.5	23.1	120.4	230.1	49.6	12405.5	2.1	88.5	192.0
ART-21-13_Zrn-11	2306.4	178.7	7.7	588.9	0.7	0.1	7.6	0.0	0.5	0.8	0.1	7.2	3.2	44.5	15.9	84.1	181.2	39.5	11736.1	2.4	40.1	102.1
ART-21-13_Zrn-12	1090.3	157.9	14.1	339.1	0.9	0.2	5.7	0.1	0.6	0.9	0.2	5.1	1.8	26.8	10.5	54.9	113.6	23.3	10198.5	1.1	51.9	132.6
ART-21-13_Zrn-13	12587.6	171.6	13.4	845.1	0.9	17.2	56.3	6.7	32.1	10.0	0.7	25.1	6.8	76.5	27.5	128.9	215.9	42.2	9616.1	1.6	91.2	167.2
ART-21-13_Zrn-14	897.0	162.5	23.7	871.8	0.7	0.0	7.0	0.1	1.9	3.7	0.3	16.9	6.3	76.2	27.9	135.0	243.1	47.1	9031.2	2.1	126.4	318.4
ART-21-13_Zrn-15	1382.4	169.7	9.0	704.5	1.1	0.0	6.5	0.1	0.8	2.7	0.3	12.8	4.4	58.3	22.9	108.7	196.3	39.9	9972.1	1.3	85.3	198.6
ART-21-13_Zrn16	1326.7	176.4	10.6	930.8	0.7	0.0	6.2	0.1	0.8	3.1	0.5	20.2	6.5	81.8	29.9	142.4	244.5	48.4	9681.2	0.9	77.1	127.1
ART-21-13_Zrn-17	330.2	170.2	11.8	546.9	0.9	0.0	5.8	0.1	0.4	1.4	0.2	8.9	3.3	42.4	17.0	85.5	162.9	33.8	9736.3	0.9	44.7	97.0
ART-21-13_Zrn-18	725.1	165.6	9.3	579.5	1.1	0.0	8.1	0.1	0.6	0.5	0.3	6.0	3.5	43.6	17.3	95.3	201.7	47.6	13756.9	6.1	96.3	532.0
ART-21-13_Zrn-19	492.4	143.0	3.6	415.1	1.0	0.1	6.7	0.0	0.3	0.6	0.1	5.4	2.2	31.0	12.6	67.2	142.6	29.9	11985.0	3.0	132.4	410.6
ART-21-13_Zrn-20	-365.0	162.3	18.2	860.1	0.9	0.0	8.0	0.1	1.6	2.8	0.4	18.9	6.3	75.7	28.5	130.8	221.2	44.3	9066.4	1.1	68.3	126.9
ART-21-13_Zrn-21	799.1	168.8	12.9	1280.1	1.1	0.0	14.7	0.0	0.9	2.9	0.4	16.7	6.0	88.2	37.5	207.6	489.5	111.0	16210.4	26.4	553.4	4072.0
ART-21-13_Zrn-22	1013.9	192.0	13.2	875.7	0.9	0.0	7.0	0.0	1.0	2.6	0.4	16.4	5.6	74.4	27.5	135.6	241.9	48.4	10180.8	1.0	48.7	86.2
ART-21-13_Zrn-23	1763.0	157.6	5.8	580.3	1.0	0.0	8.3	0.0	0.3	1.0	0.1	7.8	3.0	37.9	17.5	94.3	200.2	43.6	13408.0	4.7	76.9	278.4
ART-21-13_Zrn-24	839.3	161.7	7.0	501.5	1.0	0.0	6.4	0.0	0.2	0.8	0.1	6.8	2.5	37.9	15.0	82.0	175.1	36.5	12584.7	3.2	126.3	414.7
ART-21-13_Zrn-25	848.9	182.1	13.9	1089.6	0.6	0.0	7.0	0.1	1.2	4.0	0.7	23.7	7.9	91.9	34.9	161.1	278.2	55.5	9834.5	1.2	86.2	125.8
ART-21-13_Zrn-26	218.6	167.3	6.1	486.4	1.2	0.1	6.7	0.1	0.9	1.0	0.2	7.0	2.7	36.4	15.3	81.9	171.7	37.4	12567.5	3.9	75.1	336.6
ART-21-13_Zrn-27	583.9	169.3	58.0	620.7	1.1	0.0	7.0	0.0	0.8	1.8	0.2	10.2	3.6	49.0	19.1	96.2	187.2	38.8	11001.0	1.8	73.6	192.4
ART-21-13_Zrn-28	1049.7	171.3	8.5	578.0	0.9	0.1	6.8	0.1	0.7	1.4	0.1	9.4	3.3	46.9	17.7	89.2	168.4	34.6	9860.1	0.9	63.3	109.8
ART-21-13_Zrn-29	691.4	156.4	5.3	491.4	0.9	0.0	5.7	0.0	0.5	1.1	0.1	7.7	2.6	37.1	16.0	79.4	158.3	34.0	11399.4	1.6	62.1	160.8
ART-21-13_Zrn-30	-272.4	203.7	90.3	1306.2	0.9	0.1	10.2	0.2	2.0	4.9	0.4	28.6	9.2	112.3	44.0	199.3	338.9	69.5	12044.3	6.3	61.2	188.3
ART-21-13_Zrn-31	619.5	181.9	12.0	948.3	1.0	0.0	8.4	0.1	0.9	3.1	0.4	17.0	6.2	78.9	30.5	147.5	265.8	53.9	11079.1	1.8	98.3	191.1

Tabla 2B. Análisis de elementos traza de los zircones de la muestra ART-21-03.

				CORRECTED RATIOS ²									CORRECTED AGES (Ma)									
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2se abs	Rho (6/8v7/5)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se	Best age		Disc %	
																			(Ma)			
ART-21-14A_Zrn-01	366.9	167.1	0.46	0.06523	0.01041	0.07085	0.01134	0.00784	0.00055	0.00374	0.00042	0.145	50.4	3.52	69.2	10.80	402.0	514.01	50.4	3.52	27.2	
ART-21-14A_Zrn-02	446.2	251.3	0.56	0.04976	0.00698	0.05418	0.00819	0.00748	0.00040	0.00266	0.00026	0.056	48.0	2.59	53.4	7.84	93.9	353.48	48.0	2.59	10.0	
ART-21-14A_Zrn-03	418.2	158.6	0.38	0.06013	0.01269	0.06083	0.01208	0.00737	0.00032	0.00343	0.00056	-0.279	47.3	2.06	59.6	11.60	168.2	707.29	47.3	2.06	20.6	
ART-21-14A_Zrn-04	333.9	128.5	0.38	0.05528	0.01036	0.05658	0.00956	0.00757	0.00048	0.00320	0.00058	-0.120	48.6	3.04	55.6	9.21	80.9	526.94	48.6	3.04	12.6	
ART-21-14A_Zrn-05	335.4	140.1	0.42	0.04803	0.00778	0.04733	0.00759	0.00718	0.00034	0.00242	0.00030	-0.027	46.1	2.18	46.8	7.33	-196.1	427.83	46.1	2.18	1.3	
ART-21-14A_Zrn-06	447.8	296.7	0.66	0.05066	0.00521	0.05456	0.00617	0.00783	0.00038	0.00253	0.00032	0.218	50.3	2.46	53.9	5.91	153.9	242.09	50.3	2.46	6.7	
ART-21-14A_Zrn-07	676.9	967.1	1.43	0.05720	0.00663	0.05559	0.00746	0.00703	0.00031	0.00212	0.00014	0.417	45.2	1.95	54.8	7.14	488.3	291.36	45.2	1.95	17.6	
ART-21-14A_Zrn-08	1069.9	980.3	0.92	0.07995	0.00799	0.08363	0.00927	0.00759	0.00032	0.00303	0.00014	0.278	48.7	2.06	81.4	8.71	1125.5	232.58	48.7	2.06	40.1	
ART-21-14A_Zrn-09	359.3	151.7	0.42	0.05314	0.00837	0.05608	0.00858	0.00773	0.00050	0.00273	0.00057	0.146	49.7	3.21	55.3	8.25	153.4	404.56	49.7	3.21	10.2	
ART-21-14A_Zrn-10n	252.3	20.3	0.08	0.05277	0.00844	0.05722	0.00971	0.00770	0.00051	0.00372	0.00108	0.091	49.4	3.27	56.1	9.28	257.8	372.21	49.4	3.27	11.8	
ART-21-14A_Zrn-10b	111.4	31.7	0.28	0.12160	0.02592	0.12855	0.02188	0.00787	0.00087	0.00790	0.00115	-0.071	50.5	5.57	121.6	19.77	1694.9	464.04	50.5	5.57	58.4	
ART-21-14A_Zrn-11	321.7	120.4	0.37	0.04880	0.00746	0.05285	0.00899	0.00776	0.00041	0.00270	0.00034	0.468	49.8	2.60	52.0	8.62	-36.6	363.16	49.8	2.60	4.3	
ART-21-14A_Zrn-12	256.6	119.5	0.47	0.07470	0.01497	0.07668	0.01310	0.00774	0.00075	0.00398	0.00058	-0.072	49.7	4.77	74.7	12.42	790.1	513.04	49.7	4.77	33.5	
ART-21-14A_Zrn-13	622.7	390.1	0.63	0.05288	0.00812	0.05816	0.00798	0.00812	0.00039	0.00273	0.00022	-0.245	52.1	2.51	57.2	7.60	126.2	332.13	52.1	2.51	9.0	
ART-21-14A_Zrn-14	312.6	99.0	0.32	0.05124	0.00777	0.05267	0.00729	0.00765	0.00034	0.00236	0.00035	-0.191	49.1	2.17	51.9	7.01	-59.5	389.38	49.1	2.17	5.4	
ART-21-14A_Zrn-15	484.2	208.1	0.43	0.04762	0.00781	0.05001	0.00744	0.00782	0.00042	0.00223	0.00027	-0.176	50.2	2.67	49.4	7.20	-60.0	392.57	50.2	2.67	-1.7	
ART-21-14A_Zrn-16	257.7	112.2	0.44	0.06251	0.01301	0.06023	0.01025	0.00734	0.00056	0.00274	0.00050	-0.073	47.1	3.60	59.1	9.85	500.3	409.84	47.1	3.60	20.3	
ART-21-14A_Zrn-17	212.7	82.8	0.39	0.05376	0.00797	0.05533	0.00819	0.00759	0.00034	0.00270	0.00035	-0.020	48.7	2.20	54.3	7.83	-25.5	406.35	48.7	2.20	10.3	
ART-21-14A_Zrn-18	871.5	550.0	0.63	0.05073	0.00486	0.04830	0.00469	0.00696	0.00026	0.00233	0.00015	-0.153	44.7	1.66	47.8	4.53	136.8	266.94	44.7	1.66	6.5	
ART-21-14A_Zrn-19	493.7	216.2	0.44	0.04908	0.00388	0.05295	0.00464	0.00775	0.00033	0.00307	0.00028	0.067	49.8	2.09	52.3	4.48	74.7	218.02	49.8	2.09	4.8	
ART-21-14A_Zrn-20	319.6	113.0	0.35	0.06351	0.01187	0.06278	0.01019	0.00740	0.00056	0.00276	0.00060	-0.315	47.5	3.59	61.7	9.77	463.4	531.60	47.5	3.59	22.9	
ART-21-14A_Zrn-21	394.2	182.6	0.46	0.05248	0.00525	0.05418	0.00537	0.00757	0.00032	0.00234	0.00024	-0.179	48.6	2.08	53.4	5.15	152.5	251.17	48.6	2.08	9.0	
ART-21-14A_Zrn-22	429.4	307.0	0.71	0.05316	0.00763	0.05322	0.00772	0.00737	0.00036	0.00241	0.00025	0.001	47.4	2.30	52.4	7.44	1.4	449.21	47.4	2.30	9.7	
ART-21-14A_Zrn-23n	188.4	55.3	0.29	0.07619	0.01872	0.08289	0.01692	0.00819	0.00062	0.00486	0.00108	-0.441	52.6	3.95	80.4	15.80	817.3	511.63	52.6	3.95	34.6	
ART-21-14A_Zrn-23b	219.4	122.5	0.56	0.05789	0.01220	0.06007	0.01232	0.00768	0.00049	0.00309	0.00041	-0.079	49.3	3.14	58.9	11.75	54.5	636.35	49.3	3.14	16.3	
ART-21-14A_Zrn-24	1286.6	922.9	0.72	0.06282	0.00736	0.06296	0.00819	0.00735	0.00036	0.00245	0.00017	0.286	47.2	2.32	61.9	7.82	598.8	294.81	47.2	2.32	23.7	
ART-21-14A_Zrn-25	609.4	313.2	0.51	0.10080	0.01678	0.10410	0.01877	0.00756	0.00032	0.00369	0.00032	0.275	48.6	2.06	100.2	17.16	1554.2	324.34	48.6	2.06	51.5	
ART-21-14A_Zrn-26n	402.0	249.6	0.62	0.06880	0.01350	0.06895	0.01337	0.00744	0.00040	0.00315	0.00034	0.014	47.8	2.57	67.4	12.58	640.5	474.29	47.8	2.57	29.1	
ART-21-14A_Zrn-26b	814.5	511.7	0.63	0.05124	0.00589	0.05194	0.00589	0.00753	0.00030	0.00258	0.00018	-0.123	48.4	1.93	51.3	5.67	90.7	274.94	48.4	1.93	5.8	
ART-21-14A_Zrn-27	243.0	110.2	0.45	0.18192	0.03829	0.21053	0.03284	0.00883	0.00082	0.00911	0.00096	-0.122	56.7	5.25	192.9	27.35	2555.0	305.03	56.7	5.25	70.6	
ART-21-14A_Zrn-28	489.6	330.3	0.67	0.05195	0.00617	0.05079	0.00568	0.00734	0.00032	0.00250	0.00026	-0.067	47.1	2.04	50.1	5.45	96.1	291.15	47.1	2.04	6.0	
ART-21-14A_Zrn-29	342.7	135.7	0.40	0.05708	0.01155	0.05717	0.01115	0.00751	0.00033	0.00260	0.00040	-0.163	48.2	2.08	56.0	10.56	-42.7	488.85	48.2	2.08	13.9	
ART-21-14A_Zrn-30	1416.1	1270.3	0.90	0.04790	0.00352	0.04806	0.00369	0.00740	0.00023	0.00235	0.00010	-0.305	47.6	1.46	47.6	3.57	3.1	187.53	47.6	1.46	0.1	
ART-21-14A_Zrn-31	313.6	123.7	0.39	0.05198	0.00668	0.05758	0.00733	0.00817	0.00042	0.00270	0.00030	0.093	52.5	2.66	56.7	7.05	109.5	322.37	52.5	2.66	7.4	
ART-21-14A_Zrn-32	571.0	311.8	0.55	0.07128	0.01012	0.07051	0.00840	0.00730	0.00049	0.00309	0.00039	-0.193	46.9	3.13	69.1	7.98	888.5	297.73	46.9	3.13	32.1	

	Trace elements (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
ART-21-14A_Zrn-01	911.9	192.6	3.3	1413.9	2.2	0.1	9.1	0.1	1.3	2.7	0.3	18.8	7.8	106.7	45.5	242.2	498.2	109.1	9790.8	3.2	167.1	366.9
ART-21-14A_Zrn-02	907.1	182.0	5.6	1749.4	2.5	2.9	20.3	1.0	5.7	5.2	0.3	27.3	10.3	133.1	55.2	293.8	586.0	126.6	9650.5	3.8	251.3	446.2
ART-21-14A_Zrn-03	614.2	212.3	4.3	1156.7	2.2	0.0	8.5	0.1	0.7	1.8	0.2	13.0	5.2	75.9	34.3	200.1	493.4	113.6	9736.5	2.8	158.6	418.2
ART-21-14A_Zrn-04	1237.4	244.9	5.3	1719.6	2.3	3.4	18.0	1.5	7.7	4.9	0.2	26.2	10.2	139.9	57.4	288.2	561.6	119.0	9185.2	3.4	128.5	333.9
ART-21-14A_Zrn-05	2967.9	205.8	2.5	1718.1	3.2	10.6	40.0	3.8	17.4	6.5	0.4	27.3	9.9	136.6	55.4	284.1	575.0	125.2	9913.5	3.3	140.1	335.4
ART-21-14A_Zrn-06	13895.2	350.5	2.3	2570.8	5.2	79.1	213.5	28.0	131.6	32.9	3.1	69.1	19.2	229.8	88.3	425.7	751.1	158.1	7778.4	6.9	296.7	447.8
ART-21-14A_Zrn-07	677.1	435.4	55.0	5678.7	4.9	0.0	45.8	0.4	5.8	13.3	3.7	89.9	34.4	449.0	177.6	867.9	1534.1	310.7	8914.6	6.6	967.1	676.9
ART-21-14A_Zrn-08	1033.4	316.5	15.5	4827.8	11.2	0.5	57.6	0.4	6.6	14.2	1.4	80.9	29.6	394.1	154.8	780.5	1523.0	320.5	9619.0	13.4	980.3	1069.9
ART-21-14A_Zrn-09	369.1	213.9	3.8	1495.6	1.4	0.0	8.9	0.1	1.2	2.7	0.7	21.4	8.1	111.6	45.1	254.1	565.2	121.9	9497.5	2.6	151.7	359.3
ART-21-14A_Zrn-10n	54.5	142.1	2.8	309.0	2.5	0.0	4.0	0.0	0.1	0.4	0.0	3.0	1.2	19.6	9.7	55.7	148.2	34.4	12061.3	2.2	20.3	252.3
ART-21-14A_Zrn-10b	217.4	160.1	9.4	597.9	1.5	0.1	13.8	0.0	0.4	1.1	0.1	8.0	3.0	43.8	18.7	102.1	219.2	49.6	10055.8	1.7	31.7	111.4
ART-21-14A_Zrn-11	272.0	188.8	3.7	1335.2	1.3	0.0	7.9	0.1	1.1	3.0	0.4	17.8	7.1	99.6	42.1	226.3	508.3	114.8	9896.4	3.3	120.4	321.7
ART-21-14A_Zrn-12	1552.3	209.9	23.0	1860.9	2.2	0.6	19.5	0.2	2.3	4.0	0.6	27.0	11.0	139.1	57.2	313.6	668.5	151.8	9590.5	5.6	119.5	256.6
ART-21-14A_Zrn-13	801.3	240.3	5.9	1878.8	3.1	0.2	16.5	0.2	1.6	4.0	0.5	25.4	9.9	137.6	58.0	316.2	693.2	148.9	10056.9	5.4	390.1	622.7
ART-21-14A_Zrn-14	505.3	232.2	0.7	1430.9	4.8	2.4	18.8	0.9	4.3	3.2	0.3	18.3	7.4	107.5	45.3	249.0	533.9	116.9	10007.0	3.1	99.0	312.6
ART-21-14A_Zrn-15	1063.9	233.7	3.8	1887.1	1.9	1.7	16.6	0.7	4.3	4.8	0.7	28.9	10.3	143.0	59.0	315.3	690.7	150.5	10181.6	4.0	208.1	484.2
ART-21-14A_Zrn-16	468.6	217.5	12.7	1566.2	1.9	0.1	8.9	0.1	1.4	3.5	0.9	23.6	9.0	122.6	50.1	261.8	573.3	126.8	8271.6	2.0	112.2	257.7
ART-21-14A_Zrn-17	168.3	185.4	4.1	897.2	1.7	0.0	8.2	0.0	0.5	1.5	0.3	10.8	4.6	65.4	27.7	156.3	350.4	79.9	10488.9	2.2	82.8	212.7
ART-21-14A_Zrn-18	1068.1	269.6	5.1	3391.3	5.5	0.1	33.0	0.2	3.0	8.8	1.0	56.3	20.3	274.8	107.3	565.0	1097.9	235.0	10535.6	9.6	550.0	871.5
ART-21-14A_Zrn-19	1576.2	223.4	3.4	2018.4	4.5	5.0	28.6	1.6	7.6	5.4	0.5	28.6	11.1	155.3	63.6	345.4	764.2	162.5	10637.3	5.1	216.2	493.7
ART-21-14A_Zrn-20	1609.7	235.2	3.7	1582.2	2.9	6.5	27.3	2.3	9.6	5.5	0.4	23.1	9.0	129.9	51.9	268.3	537.8	114.7	10565.7	3.0	113.0	319.6
ART-21-14A_Zrn-21	1086.9	187.5	-0.4	1758.6	1.8	5.5	25.5	1.9	9.4	5.8	0.5	29.3	10.2	137.4	55.6	297.0	620.9	136.4	9897.0	4.0	182.6	394.2
ART-21-14A_Zrn-22	533.8	194.9	1.7	2850.7	3.3	0.4	23.9	0.3	3.6	7.2	0.8	49.4	17.2	229.6	91.4	461.1	868.2	183.2	9534.4	4.8	307.0	429.4
ART-21-14A_Zrn-23n	44.0	201.1	5.5	730.2	2.2	0.0	7.0	0.0	0.4	1.0	0.2	9.9	4.0	55.5	24.5	123.9	257.4	57.0	10356.9	1.7	55.3	188.4
ART-21-14A_Zrn-23b	676.9	199.2	7.1	905.7	2.2	4.1	17.8	1.5	7.4	3.3	0.5	15.6	5.6	74.2	29.9	151.2	293.2	63.4	9004.2	3.0	122.5	219.4
ART-21-14A_Zrn-24	7887.8	276.6	5.5	3196.6	10.3	58.4	198.5	20.1	91.8	23.2	1.4	61.9	19.4	253.0	100.0	526.2	1079.9	232.6	11481.0	13.2	922.9	1286.6
ART-21-14A_Zrn-25	352.9	223.9	106.0	2461.4	3.9	0.1	23.8	0.1	2.1	6.0	0.7	41.5	15.0	199.3	78.5	413.2	808.5	171.4	11156.2	5.6	313.2	609.4
ART-21-14A_Zrn-26n	752.9	218.3	5.5	1714.9	3.3	0.1	16.4	0.1	1.8	3.5	0.4	22.4	9.1	122.2	50.7	285.3	636.2	146.2	9704.0	5.9	249.6	402.0
ART-21-14A_Zrn-26b	1680.3	219.0	5.0	1676.3	5.0	7.8	40.9	2.6	12.2	4.9	0.5	23.5	9.2	128.5	52.2	282.1	607.8	134.5	10498.6	8.1	511.7	814.5
ART-21-14A_Zrn-27	98068.9	241.8	25.5	3011.8	3.0	823.4	2125.4	303.2	1342.8	268.1	8.6	274.0	43.7	343.4	97.1	415.3	784.4	165.1	9848.5	6.6	110.2	243.0
ART-21-14A_Zrn-28	651.8	205.8	9.9	2448.7	2.3	2.1	23.4	1.0	6.7	8.2	2.1	41.5	14.4	189.4	76.7	396.7	872.7	196.5	8813.7	5.3	330.3	489.6
ART-21-14A_Zrn-29	6133.4	230.2	3.6	1970.5	3.4	52.0	139.9	18.0	83.2	19.5	1.0	45.5	13.4	170.3	65.3	327.0	630.1	132.9	9889.4	3.6	135.7	342.7
ART-21-14A_Zrn-30	916.4	257.4	2.5	3304.4	10.8	3.1	52.6	1.1	6.2	8.0	0.7	53.1	19.5	262.5	105.2	542.2	1100.1	230.6	9964.8	14.6	1270.3	1416.1
ART-21-14A_Zrn-31	441.0	223.2	1.6	1584.2	2.4	0.5	11.4	0.2	2.2	3.9	0.4	26.8	9.5	131.4	52.6	267.5	532.8	115.0	9716.8	3.1	123.7	313.6
ART-21-14A_Zrn-32	628.9	223.4	277.2	2641.4	4.8	0.1	27.1	0.3	4.4	8.6	1.0	52.0	17.2	219.2	83.8	427.3	855.1	180.6	9883.9	5.0	311.8	571.0

Tabla 3B. Análisis de elementos traza de los zircones de la muestra ART-21-14A.

				CORRECTED RATIOS ²									CORRECTED AGES (Ma)									
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2se abs	Rho (6/8v7/5)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2se	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2se	Best age (Ma)	±2se	Disc %	
ART-21-28_Zrn-01	423.3	-1089.4	-2.57	0.58571	0.01839	1.93916	0.16164	0.02402	0.00158	0.10479	0.01443	0.936	153.0	10.00	1076.3	64.48	4462.4	46.78	153.0	10.00		85.8
ART-21-28_Zrn-02	-10076.5	-744.6	0.07	0.07316	0.00932	0.06992	0.00876	0.00711	0.00031	0.00340	0.00037	0.059	45.7	2.01	68.4	8.29	823.4	280.06	45.7	2.01		33.2
ART-21-28_Zrn-03	-32566.3	-1247.1	0.04	0.06094	0.00571	0.05566	0.00552	0.00679	0.00029	0.00236	0.00021	0.100	43.6	1.89	54.9	5.30	602.2	179.40	43.6	1.89		20.6
ART-21-28_Zrn-04	45996.6	-11658.2	-0.25	0.23275	0.01676	0.26535	0.02115	0.00845	0.00045	0.00491	0.00037	0.357	54.2	2.87	238.5	16.88	3051.2	111.67	54.2	2.87		77.3
ART-21-28_Zrn-05	5202.8	-5597.7	-1.08	0.04922	0.00388	0.05497	0.00501	0.00826	0.00034	0.00284	0.00036	0.225	53.0	2.20	54.3	4.81	139.1	173.22	53.0	2.20		2.3
ART-21-28_Zrn-06	1019.5	823.0	0.81	0.08542	0.01861	0.07844	0.01448	0.00694	0.00042	0.00366	0.00064	-0.239	44.6	2.67	76.3	13.54	1092.3	414.90	44.6	2.67		41.6
ART-21-28_Zrn-07	2291.5	1283.2	0.56	0.05004	0.00561	0.04765	0.00548	0.00704	0.00029	0.00250	0.00022	0.055	45.2	1.87	47.2	5.30	39.8	288.99	45.2	1.87		4.1
ART-21-28_Zrn-08	1848.5	1762.9	0.95	0.05475	0.00405	0.05420	0.00443	0.00730	0.00028	0.00253	0.00016	0.107	46.9	1.80	53.5	4.26	333.6	177.43	46.9	1.80		12.4
ART-21-28_Zrn-09	1023.8	573.6	0.56	0.06076	0.01208	0.05699	0.01043	0.00699	0.00045	0.00284	0.00028	-0.134	44.9	2.88	56.1	9.99	431.1	457.04	44.9	2.88		20.0
ART-21-28_Zrn-10	307.4	129.9	0.42	0.07657	0.01380	0.06374	0.01069	0.00622	0.00033	0.00307	0.00039	-0.108	40.0	2.10	62.3	10.16	834.2	400.05	40.0	2.10		35.9
ART-21-28_Zrn-11	536.9	238.5	0.44	0.08064	0.01131	0.07437	0.01045	0.00674	0.00029	0.00391	0.00035	0.005	43.3	1.86	72.5	9.85	1107.6	263.19	43.3	1.86		40.3
ART-21-28_Zrn-12	1614.3	316.6	0.20	0.06804	0.00408	0.05849	0.00412	0.00622	0.00020	0.00349	0.00026	0.206	40.0	1.30	57.7	3.95	822.9	125.52	40.0	1.30		30.7
ART-21-28_Zrn-13	424.2	196.5	0.46	0.04929	0.00681	0.04566	0.00623	0.00674	0.00035	0.00212	0.00028	-0.017	43.3	2.24	45.3	6.01	7.0	317.68	43.3	2.24		4.3
ART-21-28_Zrn-14	536.9	124.5	0.23	0.05597	0.01478	0.05059	0.01247	0.00657	0.00035	0.00235	0.00049	-0.198	42.2	2.26	50.0	11.92	249.9	516.08	42.2	2.26		15.5
ART-21-28_Zrn-15	603.9	162.0	0.27	0.06799	0.00632	0.05969	0.00624	0.00631	0.00029	0.00298	0.00033	0.349	40.6	1.83	58.8	5.98	804.8	210.21	40.6	1.83		31.0
ART-21-28_Zrn-16	172.4	66.5	0.39	0.18510	0.01947	0.20331	0.02632	0.00784	0.00040	0.01056	0.00178	0.523	50.3	2.53	185.5	21.60	2616.1	184.92	50.3	2.53		72.9
ART-21-28_Zrn-17	280.0	99.5	0.36	0.05315	0.00921	0.05216	0.00839	0.00718	0.00045	0.00249	0.00049	-0.168	46.1	2.91	51.5	8.07	111.2	433.02	46.1	2.91		10.4
ART-21-28_Zrn-18	288.6	37.4	0.13	0.04940	0.00628	0.04963	0.00653	0.00724	0.00037	0.00433	0.00068	0.207	46.5	2.37	49.1	6.34	14.6	358.13	46.5	2.37		5.4
ART-21-28_Zrn-19	642.3	134.4	0.21	0.04858	0.00383	0.04642	0.00392	0.00690	0.00029	0.00266	0.00025	0.096	44.3	1.85	46.0	3.80	58.4	181.76	44.3	1.85		3.7
ART-21-28_Zrn-20	134.5	31.5	0.23	0.07468	0.01932	0.07395	0.01864	0.00726	0.00055	0.00489	0.00121	0.140	46.6	3.55	71.6	17.63	854.9	646.15	46.6	3.55		34.9
ART-21-28_Zrn-21	2537.5	-2914.2	-1.15	0.05312	0.00918	0.05151	0.00836	0.00753	0.00036	0.00258	0.00032	-0.054	48.3	2.32	52.9	9.04	-215.7	498.77	48.3	2.32		8.5
ART-21-28_Zrn-22n	65192.8	-782.6	-0.01	0.07747	0.00602	0.07303	0.00707	0.00685	0.00030	0.00489	0.00057	0.454	44.0	1.91	71.4	6.69	1083.2	187.88	44.0	1.91		38.4
ART-21-28_Zrn-22b	-52174.5	-1962.9	0.04	0.06895	0.00370	0.06494	0.00459	0.00680	0.00022	0.00357	0.00022	0.160	43.7	1.41	63.8	4.38	875.6	134.42	43.7	1.41		31.6
ART-21-28_Zrn-23	-478340.3	-1496.3	0.00	0.05240	0.00484	0.05229	0.00544	0.00728	0.00028	0.00297	0.00029	-0.160	46.8	1.76	51.7	5.23	301.7	288.17	46.8	1.76		9.5
ART-21-28_Zrn-24	5157.3	-1916.1	-0.37	0.04998	0.01083	0.04680	0.00913	0.00697	0.00050	0.00223	0.00028	0.097	44.8	3.20	46.3	8.85	-335.8	730.97	44.8	3.20		3.2
ART-21-28_Zrn-25	2508.9	67872.0	27.05	0.05245	0.01034	0.04877	0.00986	0.00681	0.00040	0.00233	0.00048	0.159	43.8	2.56	48.2	9.53	114.5	538.11	43.8	2.56		9.3
ART-21-28_Zrn-26	8813.5	6216.0	0.71	0.09584	0.00746	0.09652	0.00949	0.00734	0.00035	0.00545	0.00039	0.551	47.1	2.22	93.4	8.80	1518.6	147.57	47.1	2.22		49.6
ART-21-28_Zrn-27	1330.4	736.2	0.55	0.04755	0.00525	0.04731	0.00542	0.00732	0.00029	0.00241	0.00027	0.072	47.0	1.88	46.8	5.25	-66.4	292.39	47.0	1.88		-0.5
ART-21-28_Zrn-28	1037.0	813.6	0.78	0.07974	0.00985	0.07726	0.01006	0.00686	0.00034	0.00310	0.00034	-0.066	44.1	2.19	75.3	9.42	1116.1	266.45	44.1	2.19		41.5
ART-21-28_Zrn-29	710.6	362.6	0.51	0.05696	0.01280	0.05580	0.01131	0.00722	0.00066	0.00263	0.00048	-0.020	46.3	4.23	55.0	10.85	308.6	532.63	46.3	4.23		15.7
ART-21-28_Zrn-30	394.1	169.7	0.43	0.08102	0.01660	0.07291	0.01381	0.00656	0.00070	0.00320	0.00048	0.218	42.1	4.46	71.2	13.11	1038.7	505.62	42.1	4.46		40.9
ART-21-28_Zrn-31	1100.7	300.8	0.27	0.06196	0.01109	0.04909	0.00942	0.00584	0.00033	0.00352	0.00041	-0.274	37.5	2.10	48.3	9.22	717.5	284.56	37.5	2.10		22.3
ART-21-28_Zrn-32	863.7	2998.5	3.47	0.13509	0.01195	0.10258	0.00898	0.00549	0.00037	0.00074	0.00009	0.196	35.3	2.36	99.0	8.24	2120.0	172.71	35.3	2.36		64.4
ART-21-28_Zrn-33	1415.4	521.7	0.37	0.06520	0.00795	0.06218	0.00570	0.00694	0.00047	0.00356	0.00030	-0.428	44.6	2.98	61.2	5.45	698.3	266.49	44.6	2.98		27.2
ART-21-28_Zrn-34	738.4	253.2	0.34	0.07716	0.01816	0.07044	0.01439	0.00672	0.00054	0.00375	0.00060	-0.382	43.2	3.43	68.8	13.46	891.4	457.60	43.2	3.43		37.2

ART-21-28_Zrn-01	Trace elements (ppm)																					
	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
ART-21-28_Zrn-02	3080.9	373.2	11.3	1969.4	5.0	0.7	9.6	0.6	4.0	6.6	1.1	29.3	11.8	169.0	63.3	339.8	745.2	154.4	10068.6	44.4	-1089.4	423.3
ART-21-28_Zrn-03	2884.4	363.5	4.2	2404.6	5.1	2.1	17.3	1.1	6.7	5.9	0.8	31.9	13.4	185.1	75.3	419.3	847.1	181.9	12196.6	5.5	-744.6	-10076.5
ART-21-28_Zrn-04	3444.2	390.7	2.5	4503.8	5.1	0.2	14.5	0.3	4.2	9.4	0.8	67.3	26.2	378.0	149.5	761.6	1424.5	292.4	12268.2	8.3	-1247.1	-32566.3
ART-21-28_Zrn-05	45687.2	360.3	20.5	44606.0	5.8	16.9	182.3	74.1	750.9	1034.6	6.7	3141.7	755.4	6390.8	1526.3	4862.7	4486.7	661.4	11593.7	24.4	-11658.2	45996.6
ART-21-28_Zrn-06	4528.7	427.9	3.2	3034.5	3.4	0.0	5.9	0.0	1.4	4.9	0.5	39.5	17.2	250.0	100.3	529.1	1153.1	235.3	11401.1	7.5	-5597.7	5202.8
ART-21-28_Zrn-07	3136.9	300.0	11.1	2701.3	2.3	4.9	24.0	1.9	10.0	8.8	0.7	51.2	18.3	244.8	90.6	441.4	830.8	171.9	12864.2	4.7	823.0	1019.5
ART-21-28_Zrn-08	4222.7	410.8	3.9	3664.2	12.1	0.9	31.1	0.8	5.3	8.2	1.9	54.0	20.5	294.6	118.3	613.0	1234.1	260.8	12229.0	11.3	1283.2	2291.5
ART-21-28_Zrn-09	6792.6	382.6	9.5	7992.9	12.2	1.2	25.9	1.3	14.5	25.4	1.4	152.1	58.7	734.0	297.8	1305.9	2147.8	407.9	9434.5	10.5	1762.9	1848.5
ART-21-28_Zrn-10	12043.0	463.3	6.0	5792.2	5.2	18.6	76.5	10.9	65.2	44.8	4.1	158.2	48.4	574.3	202.8	951.9	1666.3	330.1	10576.8	7.3	573.6	1023.8
ART-21-28_Zrn-11	3377.6	402.4	9.8	2373.4	3.2	0.6	10.0	0.5	4.6	8.3	1.7	42.8	15.1	198.9	74.5	379.0	736.1	158.9	10766.4	3.6	129.9	307.4
ART-21-28_Zrn-12	10228.5	350.0	1.4	4391.9	4.2	559.8	1204.3	141.1	457.0	81.4	1.7	118.3	32.0	401.9	145.7	733.4	1350.6	280.2	11921.0	9.3	238.5	536.9
ART-21-28_Zrn-13	15715.4	606.6	6.1	10209.1	9.5	0.7	13.7	0.7	6.6	17.7	1.6	137.2	61.4	859.9	327.4	1654.2	3311.7	665.8	16547.0	22.6	316.6	1614.3
ART-21-28_Zrn-14	2933.0	306.9	5.3	3114.7	4.9	0.1	30.7	0.2	2.4	6.7	0.9	43.5	18.7	253.2	101.1	517.4	1030.1	210.8	11119.6	6.4	196.5	424.2
ART-21-28_Zrn-15	7290.7	447.7	0.1	4722.0	4.2	0.0	7.2	0.1	2.4	6.8	1.0	57.4	24.1	366.9	150.0	811.9	1570.1	327.2	13139.9	7.8	124.5	536.9
ART-21-28_Zrn-16	8968.4	503.7	15.7	5109.8	5.6	0.2	11.1	0.2	2.7	9.0	0.7	66.8	30.0	405.9	158.0	824.1	1776.8	370.5	11037.7	11.9	162.0	603.9
ART-21-28_Zrn-17	6053.8	222.1	6.2	2618.6	1.6	0.1	8.0	0.2	6.5	14.5	1.9	61.1	17.4	214.8	86.3	371.2	691.8	141.7	5344.9	-0.8	66.5	172.4
ART-21-28_Zrn-18	3829.0	310.1	2.1	2977.4	3.8	0.0	10.5	0.2	3.5	8.2	0.8	54.6	18.8	235.1	92.4	470.6	889.4	182.1	11663.2	5.7	99.5	280.0
ART-21-28_Zrn-19	12000.5	714.0	2.1	4321.9	3.8	0.5	2.7	0.4	4.3	7.6	1.2	53.1	24.3	342.0	144.0	749.4	1513.2	310.7	12778.5	5.6	37.4	288.6
ART-21-28_Zrn-20	9741.7	454.3	0.9	3964.2	4.1	0.1	8.2	0.1	2.1	6.4	0.4	49.4	21.7	325.0	126.7	681.3	1453.3	306.7	11480.2	10.5	134.4	642.3
ART-21-28_Zrn-21	1799.3	262.5	2.9	968.2	1.3	0.0	3.6	0.0	0.6	1.5	0.2	13.0	5.4	74.4	30.5	171.2	365.4	78.6	10735.4	1.6	31.5	134.5
ART-21-28_Zrn-22n	3114.8	218.8	3.3	1775.2	2.3	0.0	13.7	0.1	1.9	5.3	1.0	30.0	10.9	145.7	57.1	306.4	596.1	126.6	9409.4	3.3	-2914.2	2537.5
ART-21-28_Zrn-22b	20388.1	380.1	7.2	3590.5	4.5	9.5	37.1	5.1	28.6	11.9	0.5	51.1	19.6	285.7	117.6	606.8	1210.9	257.0	12077.9	6.8	-782.6	65192.8
ART-21-28_Zrn-23	14141.3	425.8	10.8	5346.6	12.7	0.1	11.9	0.2	1.8	7.4	0.5	64.8	29.3	419.6	174.9	899.8	1764.2	359.1	12941.4	16.4	-1962.9	-52174.5
ART-21-28_Zrn-24	11257.0	457.5	4.8	5120.7	17.4	0.0	15.7	0.1	1.8	8.3	0.4	61.9	27.6	399.3	161.1	848.6	1648.5	339.5	11870.8	16.6	-1496.3	-478340.3
ART-21-28_Zrn-25	3795.3	294.5	4.7	3127.1	2.7	0.0	20.6	0.3	6.9	11.9	3.3	65.7	22.6	273.7	99.4	496.3	948.3	196.0	8318.4	3.8	-1916.1	5157.3
ART-21-28_Zrn-26	8426.6	418.5	5.3	2674.1	9.3	0.0	11.5	0.1	1.7	3.3	0.4	30.6	13.7	202.6	83.2	475.6	970.9	208.8	11630.1	5.5	67872.0	2508.9
ART-21-28_Zrn-27	24767.7	503.3	4.2	6240.0	17.8	3.4	41.8	5.6	35.8	22.2	1.2	96.6	37.1	515.3	204.1	1043.9	2059.2	411.3	13223.6	18.9	6216.0	8813.5
ART-21-28_Zrn-28	5504.3	275.2	2.3	2955.9	3.0	0.0	10.4	0.1	2.7	8.7	0.7	51.4	19.5	249.6	99.1	491.3	905.4	183.3	11373.2	5.7	736.2	1330.4
ART-21-28_Zrn-29	5606.8	455.8	4.8	3527.4	5.0	0.1	18.6	0.3	5.6	11.7	2.2	69.2	24.0	307.9	118.2	573.0	1058.6	220.3	10521.8	6.6	813.6	1037.0
ART-21-28_Zrn-30	7092.5	325.5	0.9	1958.2	3.6	1.0	17.7	0.5	3.5	4.5	1.0	27.1	11.0	145.6	61.2	336.7	714.5	152.2	10121.5	4.2	362.6	710.6
ART-21-28_Zrn-31	5568.2	295.8	5.5	1721.7	1.7	1.7	11.6	0.7	5.2	5.3	0.9	29.5	11.2	140.8	55.9	299.7	591.7	131.0	9160.2	3.0	169.7	394.1
ART-21-28_Zrn-32	21829.6	396.0	8.6	7937.5	5.0	6.9	20.0	5.7	41.8	51.9	14.6	189.7	55.7	613.1	204.0	977.7	1564.4	326.2	11147.5	8.1	300.8	1100.7
ART-21-28_Zrn-33	13074.0	436.8	37.5	5599.5	29.6	13.1	63.0	9.1	56.6	35.3	9.3	123.4	40.0	500.8	176.5	824.6	1543.9	307.9	12277.7	10.6	2998.5	863.7
ART-21-28_Zrn-34	16905.2	529.7	7.9	7906.5	6.6	4.6	27.2	3.7	26.6	27.2	10.1	126.8	49.4	654.9	228.9	1103.6	2101.0	427.2	13480.1	12.8	521.7	1415.4
	1922.5	372.6	5.2	3155.1	6.5	0.0	10.8	0.1	1.7	5.7	0.5	43.1	18.3	254.1	100.0	528.5	1017.2	219.6	13855.5	6.3	253.2	738.4

Tabla 4B. Resultados obtenidos para los zircones de la muestra ART-21-28.

Anexo 5

Análisis químicos de minerales

	ART- 21- 13-A- 100	ART- 21- 13-A- 102	ART- 21- 13-A- 105	ART- 21- 13-A- 109	ART- 21- 13-A- 110	ART- 21- 13-A- 115	ART- 21- 13-A- 118	ART- 21- 13-A- 120	ART- 21- 13-A- 122	ART- 21- 05-C- 83	ART- 21- 05-C- 84	ART21- 01-WR- A-208	ART21- 01-WR- A-209	ART21- 01-WR- A-211	ART21- 01-WR- A-212	ART21- 01-WR- A-215	ART21- 01-WR- B-219	ART21- 01-WR- B-222	ART21- 01-WR- B-224	ART21- 01-WR- B-225	ART21- 01-WR- C-227	ART21- 01-WR- D-242	ART21- 01-WR- D-244	ART21- 01-WR- D-248	ART21- 01-WR- D-249	ART21- 01-WR- D-251
SiO2	44.97	46.08	45.47	45.94	45.99	45.97	45.37	45.69	46.12	42.85	43.20	47.95	47.68	46.74	47.50	46.57	46.70	48.82	46.20	48.20	46.19	48.99	47.15	47.52	47.17	47.93
TiO2	1.44	1.51	1.48	1.41	1.42	1.37	1.46	1.46	1.37	2.77	2.56	1.09	0.94	1.33	1.14	0.94	0.87	0.89	1.26	0.80	1.31	0.85	1.21	1.21	1.28	1.13
Al2O3	8.47	8.11	8.13	8.06	8.28	7.79	8.54	8.18	7.76	10.95	10.86	4.94	4.66	5.99	5.72	6.31	6.45	5.32	6.32	5.61	6.08	4.84	6.26	5.82	5.64	5.32
Cr2O3	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
FeO	18.59	19.31	18.33	18.39	18.93	18.60	19.20	19.33	18.46	13.55	13.79	18.99	17.57	19.34	18.98	19.03	19.08	18.45	19.13	18.52	19.19	18.43	19.47	19.44	19.41	18.99
MnO	0.44	0.38	0.37	0.48	0.39	0.41	0.42	0.39	0.43	0.30	0.26	1.12	0.93	0.98	1.00	0.91	0.58	0.61	0.60	0.67	0.81	0.86	0.86	0.90	1.16	0.98
MgO	10.63	10.22	10.95	10.99	10.76	11.04	10.71	10.69	11.06	12.54	12.82	11.38	12.08	10.63	10.91	10.69	10.15	11.48	10.70	11.53	10.45	11.51	10.49	10.37	10.81	11.00
CaO	11.42	10.88	11.24	11.11	11.18	11.23	11.07	10.98	11.01	10.95	11.01	10.58	11.17	11.04	11.13	11.37	11.68	11.72	11.45	11.58	11.27	11.25	11.23	11.11	10.55	11.15
Na2O	1.14	1.21	1.21	1.29	1.31	1.30	1.29	1.32	1.30	3.18	2.94	1.26	0.98	1.33	1.18	1.10	0.79	0.95	1.23	0.93	1.13	0.97	1.14	1.15	1.29	1.21
K2O	0.90	0.80	0.86	0.77	0.85	0.76	0.87	0.87	0.81	0.33	0.31	0.43	0.42	0.62	0.54	0.59	0.64	0.46	0.69	0.50	0.63	0.40	0.57	0.55	0.55	0.49
ZrO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	98.01	98.49	98.07	98.44	99.15	98.48	98.93	98.94	98.33	97.42	97.77	97.74	96.43	98.06	98.09	97.52	96.93	98.71	97.62	98.34	97.08	98.11	98.38	98.12	97.85	98.20
Cationes Recalculados																										
Si	6.66	6.77	6.71	6.74	6.71	6.75	6.63	6.68	6.77	6.32	6.32	7.05	7.09	6.93	7.01	6.93	7.02	7.14	6.90	7.07	6.93	7.19	6.96	7.04	6.96	7.07
Aliv	1.34	1.23	1.29	1.26	1.29	1.25	1.37	1.32	1.23	1.68	1.68	0.86	0.82	1.05	0.99	1.07	0.98	0.86	1.10	0.93	1.07	0.81	1.04	0.96	0.98	0.92
Suma	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	7.91	7.91	7.97	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	7.94	7.99
Alvi	0.14	0.18	0.12	0.13	0.14	0.10	0.10	0.09	0.11	0.23	0.20	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.16	0.06	0.01	0.04	0.00	0.02	0.05	0.05	0.00	0.00
Ti	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.16	0.16	0.15	0.31	0.28	0.12	0.11	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.14	0.09	0.15	0.09	0.13	0.14	0.14	0.12
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe(iii)	0.77	0.80	0.78	0.82	0.80	0.81	0.94	0.92	0.83	0.41	0.57	1.02	0.86	0.79	0.77	0.76	0.52	0.57	0.66	0.72	0.70	0.72	0.74	0.68	1.01	0.73
Fe(ii)	1.57	1.61	1.52	1.47	1.55	1.52	1.45	1.49	1.47	1.28	1.14	1.37	1.37	1.65	1.61	1.65	1.91	1.72	1.76	1.58	1.75	1.58	1.70	1.76	1.44	1.65
Mn	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.14	0.12	0.12	0.13	0.12	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.11	0.11	0.14	0.12
Mg	2.35	2.24	2.41	2.40	2.34	2.42	2.33	2.33	2.42	2.76	2.80	2.50	2.68	2.35	2.40	2.37	2.27	2.50	2.38	2.52	2.34	2.52	2.31	2.29	2.38	2.42
Suma	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.05	5.05	5.04	5.01	5.02	5.14	5.13	5.07	5.04	5.04	5.03	5.03	5.03	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.11	5.04
Ca	1.81	1.71	1.78	1.75	1.75	1.77	1.73	1.72	1.73	1.73	1.73	1.67	1.78	1.75	1.76	1.81	1.88	1.84	1.83	1.82	1.81	1.77	1.78	1.76	1.67	1.76
Na	0.33	0.35	0.35	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.91	0.83	0.36	0.28	0.38	0.34	0.32	0.23	0.27	0.36	0.27	0.33	0.28	0.33	0.33	0.37	0.35
K	0.17	0.15	0.16	0.14	0.16	0.14	0.16	0.16	0.15	0.06	0.06	0.08	0.08	0.12	0.10	0.11	0.12	0.09	0.13	0.09	0.12	0.08	0.11	0.10	0.10	0.09
Suma	2.31	2.21	2.29	2.26	2.28	2.28	2.26	2.26	2.25	2.70	2.62	2.11	2.14	2.25	2.20	2.24	2.23	2.19	2.32	2.18	2.26	2.12	2.21	2.20	2.14	2.20
TOTAL	15.35	15.25	15.33	15.30	15.32	15.32	15.31	15.30	15.30	15.72	15.64	15.16	15.19	15.29	15.24	15.28	15.26	15.22	15.35	15.21	15.30	15.16	15.25	15.23	15.19	15.24
Fe2/(Fe2+Fe3)	0.67	0.67	0.66	0.64	0.66	0.65	0.61	0.62	0.64	0.76	0.67	0.57	0.61	0.68	0.68	0.68	0.79	0.75	0.73	0.69	0.72	0.69	0.70	0.72	0.59	0.69
Fe3/(Fe3+Fe2)	0.33	0.33	0.34	0.36	0.34	0.35	0.39	0.38	0.36	0.24	0.33	0.43	0.39	0.32	0.32	0.32	0.21	0.25	0.27	0.31	0.28	0.31	0.30	0.28	0.41	0.31
Mg/(Mg+Fe2+)	0.60	0.58	0.61	0.62	0.60	0.61	0.62	0.61	0.62	0.68	0.71	0.65	0.66	0.59	0.60	0.59	0.54	0.59	0.57	0.61	0.57	0.61	0.58	0.56	0.62	0.59
Fe3+/(Fe3++[6]Al)	0.85	0.82	0.87	0.86	0.85	0.89	0.90	0.91	0.88	0.64	0.74	1.00	1.00	1.00	0.99	0.95	0.77	0.90	0.99	0.95	0.99	0.97	0.94	0.93	1.00	1.00

Tabla 5A. Resultados del gupomineral de los anfíboles normalizados.

Columna1	ART-21-28-A-1	ART-21-28-A-2	ART-21-28-A-9	ART-21-28-A-10	ART-21-28-A-11	ART-21-28-A-12	ART-21-28-A-13	ART-21-28-A-14	ART-21-28-B-27	ART-21-28-B-32	ART-21-28-D-59	ART-21-28-D-62	ART-21-13-A-104	ART-21-13-A-116	ART-21-13-B-127	ART-21-13-B-128	ART-21-13-B-129	ART-21-13-B-131	ART-21-13-B-132	ART-21-13-B-134	ART-21-13-B-135	ART-21-13-B-138	ART-21-13-B-139	ART-21-13-B-142	ART-21-13-B-143	ART-21-13-B-144	ART-21-13-B-146
SiO2	33.86	34.55	35.09	34.88	32.39	34.26	32.26	33.75	34.35	34.01	32.3	33.84	36.27	36.59	36.55	36.61	36.78	36.89	36.52	36.27	36.82	36.61	36.63	36.83	36.37	36.72	36.79
TiO2	3.61	3.54	2.75	2.81	2.43	2.49	2.44	3.21	2.32	2.39	3.35	2.4	5.17	4.95	4.41	4.51	4.87	4.54	4.68	4.69	4.46	4.61	4.78	4.54	4.8	4.49	4.99
Al2O3	17.72	18.16	18.39	18.33	18.54	19.04	18	17.81	18.91	18.67	17.58	18.45	13.86	14.17	13.89	13.97	13.8	14.25	13.95	13.82	13.86	13.9	14.02	13.95	13.92	14.03	13.77
FeO	26.77	27.35	27.38	27.61	27.19	27.19	29.25	27.74	28.2	28.42	29.22	29.3	21.45	21.49	21.78	21.28	21.33	21.92	21.17	21.89	22.1	21.46	21.7	21.62	21.37	21.52	21.56
MnO	0.978	0.9067	0.87	0.8741	0.8756	0.8506	0.7745	0.8029	0.9005	0.9771	0.7683	0.9597	0.1985	0.1895	0.1993	0.1457	0.1621	0.1756	0.1928	0.1216	0.1934	0.2001	0.162	0.1934	0.1799	0.1434	0.1367
MgO	3.28	3.34	3.42	3.41	3.63	3.53	3.69	3.54	3.72	3.58	3.61	3.31	10.75	10.02	10.76	10.88	10.78	10.7	10.96	10.7	11.07	10.79	10.72	10.99	10.59	10.87	10.71
CaO	0.0342	0.0646	0	0.0162	0.0263	0.0833	0.0878	0.0292	0.1146	0.0155	1.41	0.1425	0.0334	0.047	0.0314	0.0648	0.0336	0.0608	0.0059	0.0399	0.0358	0.0288	0.0263	0.0383	0.0536	0.0234	0.0151
Na2O	0.155	0.1744	0.1477	0.2004	0.1699	0.223	0.1312	0.1492	0.2116	0.2526	0.1576	0.2252	0.0966	0.0741	0.0581	0.0692	0.1116	0.1371	0.1106	0.1424	0.1173	0.131	0.1279	0.159	0.1009	0.0404	0.1686
K2O	8.8	8.69	8.93	8.91	9.11	8	6.77	8.89	8.7	9.12	5.85	8.33	9.5	9.48	9.02	9.23	9.41	9.47	9.51	9.32	9.46	9.31	9.37	9.36	9.44	9.46	9.35
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	94.56	96.13	96.33	96.39	93.72	95.02	92.76	95.27	96.78	96.79	93.60	96.31	96.68	96.36	96.05	96.11	96.63	97.50	96.45	96.35	97.47	96.39	96.89	97.03	96.18	96.65	96.84
O=F,Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	94.56	96.13	96.33	96.39	93.72	95.02	92.76	95.27	96.78	96.79	93.60	96.31	96.68	96.36	96.05	96.11	96.63	97.50	96.45	96.35	97.47	96.39	96.89	97.03	96.18	96.65	96.84
Formula																											
Si	5.38	5.49	5.58	5.55	5.15	5.45	5.13	5.37	5.46	5.41	5.14	5.38	5.77	5.82	5.81	5.82	5.85	5.86	5.81	5.77	5.85	5.82	5.82	5.86	5.78	5.84	5.85
Al	2.62	2.51	2.42	2.45	2.85	2.55	2.87	2.63	2.54	2.59	2.86	2.62	2.23	2.18	2.19	2.18	2.15	2.14	2.19	2.23	2.15	2.18	2.18	2.14	2.22	2.16	2.15
Fe(iii)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.70	0.90	1.02	0.98	0.62	1.01	0.50	0.70	1.00	0.91	0.43	0.84	0.36	0.47	0.41	0.44	0.43	0.53	0.42	0.36	0.45	0.42	0.45	0.47	0.39	0.47	0.43
Ti	0.43	0.42	0.33	0.34	0.29	0.30	0.29	0.38	0.28	0.29	0.40	0.29	0.62	0.59	0.53	0.54	0.58	0.54	0.56	0.56	0.53	0.55	0.57	0.54	0.57	0.54	0.60
Fe(ii)	3.56	3.64	3.64	3.67	3.61	3.61	3.89	3.69	3.75	3.78	3.88	3.90	2.85	2.86	2.90	2.83	2.84	2.91	2.81	2.91	2.94	2.85	2.88	2.87	2.84	2.86	2.87
Mn	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.10	0.13	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Mg	0.78	0.79	0.81	0.81	0.86	0.84	0.87	0.84	0.88	0.85	0.86	0.78	2.55	2.37	2.55	2.58	2.56	2.54	2.60	2.54	2.62	2.56	2.54	2.60	2.51	2.58	2.54
Ca	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.24	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Na	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.07	0.04	0.05	0.07	0.08	0.05	0.07	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.01	0.05
K	1.78	1.76	1.81	1.81	1.85	1.62	1.37	1.80	1.76	1.85	1.19	1.69	1.93	1.92	1.83	1.87	1.91	1.92	1.93	1.89	1.92	1.89	1.90	1.90	1.91	1.92	1.90
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	15.44	15.70	15.78	15.78	15.41	15.58	15.09	15.58	15.88	15.88	15.15	15.72	16.37	16.27	16.27	16.31	16.38	16.52	16.38	16.32	16.53	16.35	16.41	16.47	16.29	16.40	16.40

Tabla 5B. Resultados del grupo mineral de las biotitas normalizados.

Columna1	ART- 21-13- B-147	ART- 21-13- B-149	ART- 21-13- B-150	ART- 21-13- B-151	ART- 21-13- C-180	ART- 21-13- C-181	ART- 21- 05-A- 66	ART- 21-05- A-67	ART- 21-05- A-70	ART- 21-05- A-71	ART- 21-05- A-72	ART21- 01-WR- A-204	ART21- 01-WR- A-205	ART21- 01-WR- A-206	ART21- 01-WR- C-228	ART21- 01-WR- C-229	ART21- 01-WR- C-230	ART21- 01-WR- C-234	ART21- 01-WR- C-235	ART21- 01-WR- C-237	ART21- 01-WR- C-238	ART21- 01-WR- C-240	ART21- 01-WR- D-247	ART21- 01-WR- E-252	ART21- 01-WR- E-255	ART21- 01-WR- E-258	ART21- 01-WR- E-260	ART21- 01-WR- E-261	ART21- 01-WR- E-268
SiO2	37.1	36.55	36.51	36.54	36.96	37.74	39.28	36.78	35.06	36.06	36.31	36.43	37.13	36.39	36.3	35.54	35.68	35.64	36.08	36.18	36.39	36.34	36.14	36.5	36.66	36.13	36.41	36.92	36.76
TiO2	4.95	4.79	4.81	4.59	4.7	4.81	3.84	4.43	4.56	4.18	4.42	4.26	4.42	3.78	4.25	3.87	3.89	4.16	4.28	3.93	3.83	4.12	4.41	3.59	3.94	4.3	4.12	3.95	4.01
Al2O3	14.18	14	13.97	13.79	13.79	14.03	11.96	13.48	12.8	13.32	13.15	13.07	13.83	13.43	12.71	13.15	13.08	13.4	13.69	13.38	13.48	13.13	13.2	13.7	13.12	13.59	13.69	13.42	13.45
FeO	21.66	21.78	21.22	21.48	20.78	21.29	17	18.96	17.57	17.5	16.94	22.91	22.61	22.87	21.93	23.06	22.18	22.39	21.7	22.78	22.7	22.71	23.59	23.02	22.51	22.21	22.58	22.93	22.69
MnO	0.1195	0.1627	0.1651	0.1927	0.1486	0.1092	0.261	0.3999	0.2441	0.233	0.195	0.5069	0.4672	0.449	0.3932	0.496	0.4844	0.4167	0.394	0.5177	0.4105	0.4709	0.5236	0.3459	0.3523	0.3768	0.4087	0.3588	0.3492
MgO	10.7	10.67	10.7	10.86	10.5	10.09	10.87	10.55	13.16	12.19	13.89	9.44	9.73	9.81	9.48	9.66	9.9	9.14	9.45	9.69	9.63	9.68	9.85	9.64	9.9	9.73	9.91	9.77	9.54
CaO	0	0.0441	0.0579	0.011	0.0049	0.029	0.315	0.2467	0.0659	0.2096	0.0433	0.0379	0.0188	0.031	0.0659	0.0498	0.0288	0.0678	0.047	0.0124	0.0218	0.0266	0.5803	0.0144	0.0346	0.0642	0.0755	0.0597	0.0153
Na2O	0.0929	0.109	0.1214	0.0953	0.1024	0.0366	0.127	0.192	0.4387	0.3342	0.1957	0.0976	0.1402	0.0737	0.0498	0.1036	0.0722	0.1075	0.1105	0.0504	0.096	0.1842	0.1413	0.1062	0.0623	0.11	0.111	0.1091	0.078
K2O	9.41	9.34	9.3	9.32	9.5	9.33	7.5	8.36	8.69	8.62	9.23	9.36	9.5	9.28	8.74	9.07	9.27	8.78	9	9.2	9.07	9.11	8.37	9.14	9.48	9.1	8.94	9.31	9.63
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	97.57	96.80	96.21	96.23	95.84	96.82	90.51	92.75	91.94	92.00	93.73	95.47	97.20	95.47	93.27	94.35	93.94	93.46	94.10	95.09	94.98	95.12	96.16	95.41	95.41	94.96	95.60	96.18	95.88
O=F,Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	97.57	96.80	96.21	96.23	95.84	96.82	90.51	92.75	91.94	92.00	93.73	95.47	97.20	95.47	93.27	94.35	93.94	93.46	94.10	95.09	94.98	95.12	96.16	95.41	95.41	94.96	95.60	96.18	95.88
Formula																													
Si	5.90	5.81	5.80	5.81	5.88	6.00	6.24	5.85	5.57	5.73	5.77	5.64	5.75	5.63	5.62	5.50	5.52	5.52	5.58	5.60	5.63	5.62	5.59	5.65	5.67	5.59	5.64	5.71	5.69
Al	2.10	2.19	2.20	2.19	2.12	2.00	1.76	2.15	2.40	2.27	2.23	2.36	2.25	2.37	2.32	2.40	2.39	2.44	2.42	2.40	2.37	2.38	2.41	2.35	2.33	2.41	2.36	2.29	2.31
Fe(iii)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.56	0.43	0.42	0.39	0.46	0.63	0.49	0.37	0.00	0.23	0.24	0.02	0.27	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.04	0.09	0.02	0.00	0.15	0.07	0.07	0.13	0.16	0.14
Ti	0.59	0.57	0.58	0.55	0.56	0.58	0.46	0.53	0.55	0.50	0.53	0.50	0.51	0.44	0.49	0.45	0.45	0.48	0.50	0.46	0.45	0.48	0.51	0.42	0.46	0.50	0.48	0.46	0.47
Fe(ii)	2.88	2.90	2.82	2.86	2.76	2.83	2.26	2.52	2.34	2.33	2.25	2.97	2.93	2.96	2.84	2.98	2.87	2.90	2.81	2.95	2.94	2.94	3.05	2.98	2.91	2.87	2.92	2.97	2.94
Mn	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.07	0.06	0.06	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05	0.07	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Mg	2.54	2.53	2.54	2.57	2.49	2.39	2.58	2.50	3.12	2.89	3.29	2.18	2.25	2.26	2.19	2.23	2.28	2.11	2.18	2.24	2.22	2.23	2.27	2.22	2.28	2.25	2.29	2.25	2.20
Ca	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Na	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.01	0.04	0.06	0.14	0.10	0.06	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
K	1.91	1.89	1.89	1.89	1.93	1.89	1.52	1.70	1.76	1.75	1.87	1.85	1.88	1.83	1.73	1.79	1.83	1.73	1.78	1.82	1.79	1.80	1.65	1.80	1.87	1.80	1.77	1.84	1.90
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	16.52	16.39	16.31	16.32	16.25	16.35	15.43	15.77	15.91	15.86	16.28	15.61	15.94	15.66	15.26	15.46	15.44	15.28	15.44	15.58	15.57	15.59	15.70	15.65	15.67	15.58	15.69	15.77	15.72

Tabla 5B (continuación). Resultados del grupo mineral de las biotitas normalizados.

Wt%	ART-21-28-A-15	ART-21-28-A-16	ART-21-28-B-23	ART-21-28-B-29	ART-21-28-C-37	ART-21-13-A-106	ART-21-13-A-111	ART-21-13-Bi-158	ART-21-13-Bi-167	ART-21-13-Bi-169	ART-21-13-C-186	ART-21-05-D-91	ART-21-05-D-92	ART-21-05-D-93	ART-21-05-D-94	ART-21-05-D-95	ART21-01-WR-A-207	ART21-01-WR-A-217	ART21-01-WR-B-218
TiO2	50.6	56.03	49.65	4.96	6.09	0.9539	0.1963	10.1	0.2701	0.8099	0.2994	49.38	50.21	50.76	49.85	52.51	47.89	0.3673	21.54
Cr2O3	0	0	0	0	0	0.5367	0.3439	0.2923	0.394	0.4584	0.6442	0.0504	0	0.0607	0.0119	0.0356	0.0223	0.0237	0.1036
Al2O3	0.0019	0.3483	0.0401	0.7891	0.2871	0.9595	0.5581	0.4341	0.4563	1.1386	0.4777	0.0127	0.0281	0.0007	0.0631	0.0233	0	0.3155	0.0748
Nb2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	28.82	24.66	37.63	84.32	88.47	91.47	93.72	82.69	93.43	91.87	92.5	48.54	48.27	47.24	49.18	46.55	43.87	93.54	75.67
MnO	19.01	2.85	11.27	1.31	1.71	0.2535	0	1.36	0.0637	0.2036	0.1194	1.54	1.96	1.1167	1.6	1.94	6.2	0.0271	2.78
MgO	0.0255	0.0272	0	0.0353	0	0.0872	0	0.0289	0	0.0498	0.0552	0.0429	0.1374	0.0152	0.0704	0.0865	0.0137	0	0
CaO	0.0916	0.4526	0.3573	0.0295	0.0101	0.1164	0.1354	2.14	0.1186	0.0925	0.0243	0.0378	0.0144	0	0.0227	0.0913	0.0447	0.0278	0.0536
SiO2	0.1094	0.7805	0.1026	0.2211	0.1855	0.1056	0.0375	2.9	0.082	0.0733	0.0113	0.0324	0.0257	0.0544	0	0.0639	0.0051	0.063	0.0081
TOTAL	98.6584	85.1486	99.05	91.665	96.7527	94.4828	94.9912	99.9453	94.8147	94.6961	94.1315	99.6362	100.6456	99.2477	100.7981	101.3006	98.0458	94.3644	100.2301
Si	0.0056	0.0432	0.0053	0.0165	0.0131	0.0078	0.0028	0.1956	0.0062	0.0054	0.0009	0.0017	0.0013	0.0028	0.0000	0.0032	0.0003	0.0048	0.0005
Al	0.0001	0.0227	0.0024	0.0693	0.0239	0.0840	0.0492	0.0345	0.0403	0.0995	0.0424	0.0008	0.0017	0.0000	0.0038	0.0014	0.0000	0.0281	0.0054
Fe(iii)	0.1162	0.1069	0.2056	3.5605	3.5271	3.8490	3.9384	3.2128	3.9367	3.8529	3.9228	0.2453	0.2238	0.1165	0.2551	0.0647	0.3067	3.9522	2.4122
Cr	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0315	0.0203	0.0156	0.0234	0.0269	0.0384	0.0021	0.0000	0.0025	0.0005	0.0014	0.0009	0.0014	0.0050
Ti	1.9608	2.3313	1.9290	0.2779	0.3229	0.0533	0.0110	0.5125	0.0152	0.0452	0.0170	1.9151	1.9231	1.9595	1.9110	1.9769	1.8946	0.0209	0.9884
Fe(ii)	1.1134	1.1407	1.3919	0.1329	0.1554	0.0125	0.0001	0.2030	0.0011	0.0133	0.0008	1.8048	1.7933	1.8913	1.7963	1.8732	1.5736	0.0113	0.6722
Mn	0.8295	0.1335	0.4931	0.0826	0.1021	0.0160	0.0000	0.0777	0.0040	0.0128	0.0076	0.0673	0.0845	0.0485	0.0691	0.0822	0.2762	0.0017	0.1436
Mg	0.0020	0.0022	0.0000	0.0039	0.0000	0.0097	0.0000	0.0029	0.0000	0.0055	0.0062	0.0033	0.0104	0.0012	0.0053	0.0065	0.0011	0.0000	0.0000
Ca	0.0051	0.0268	0.0198	0.0024	0.0008	0.0093	0.0109	0.1547	0.0095	0.0073	0.0020	0.0021	0.0008	0.0000	0.0012	0.0049	0.0025	0.0023	0.0035
Si	0.0056	0.0432	0.0053	0.0165	0.0131	0.0078	0.0028	0.1956	0.0062	0.0054	0.0009	0.0017	0.0013	0.0028	0.0000	0.0032	0.0003	0.0048	0.0005
TOTAL	4.0384	3.8506	4.0525	4.1623	3.6825	4.0811	3.9386	4.6049	4.0427	4.0742	4.0388	4.0440	4.0403	4.0251	4.0423	4.0176	4.0561	4.0274	4.2313

Tabla 5C. Resultados del grupo mineral de los óxidos de Fe-Ti normalizados.

Wt%	ART-21-13-Bi-163	ART-21-13-Bi-164	ART-21-13-C-170	ART21-01-WR-D-250	ART-21-13-B-145	ART-21-13-A-107	ART-21-13-A-124	ART-21-13-Bi-154	ART-21-13-Bi-155	ART-21-13-Bi-156	ART-21-13-Bi-157	ART-21-13-Bi-165	ART-21-13-Bi-166	ART-21-13-C-191	ART-21-13-C-192
SiO2	50.84	46.66	51.63	27.19	52.26	52.5	53.06	52.61	52.83	53.23	52.11	51.89	52.65	52.8	52.77
TiO2	0.1141	0.2354	0.1181	0.2151	0.2168	0.0092	0.0701	0.1663	0.058	0.1393	0.3206	0.5561	0.1863	0.1983	0.1721
Al2O3	0.6095	1.4721	0.6594	17.71	1.1996	0.7828	0.829	1.0579	0.7308	0.626	1.3186	1.99	1.109	1.1996	0.8436
Cr2O3	0	0.1049	0	0	0.0273	0.0018	0.0097	0.0207	0	0	0.0583	0.0113	0.0234	0	0.0349
FeO	29.52	28.14	31.07	29.47	12.33	13.05	13.1	12.58	12.55	11.18	12.3	11.73	12.32	17.84	12.56
MnO	1.1157	0.8925	1.259	0.6518	0.4244	0.4834	0.5609	0.4669	0.4761	0.4829	0.3749	0.4194	0.5043	0.4503	0.544
MgO	18.01	17.28	16.6	13.92	12.3	11.84	12	12.44	12.31	12.15	12.24	12.36	12.29	13.73	12.24
CaO	0.8573	1.0355	0.9509	0.0434	21.03	21.39	21.33	21.08	21.45	22.68	21.46	21.28	21.49	16.27	21.62
Na2O	0	0	0	0	0.3903	0.3851	0.3725	0.3158	0.3491	0.26	0.4003	0.4116	0.384	0.3529	0.3407
K2O	0	0.0993	0	0.2043	0	0.0011	0.0004	0.01	0.0138	0.0068	0	0	0.0206	0.0004	0.0072
TOTAL	101.0666	95.9197	102.2874	89.4046	100.1784	100.4434	101.3326	100.7476	100.7678	100.755	100.5827	100.6484	100.9776	102.8415	101.1325
Formula -Fe (iii) recalculado															
Si	1.951	1.896	1.968	1.235	1.973	1.985	1.987	1.976	1.986	1.994	1.962	1.947	1.974	1.961	1.978
Allv	0.028	0.071	0.030	0.765	0.027	0.015	0.013	0.024	0.014	0.006	0.038	0.053	0.026	0.039	0.022
Alvi	0.000	0.000	0.000	0.182	0.027	0.020	0.023	0.023	0.018	0.021	0.021	0.035	0.023	0.013	0.016
Fe(iii)	0.094	0.183	0.042	0.811	0.024	0.033	0.019	0.021	0.028	0.000	0.039	0.025	0.031	0.060	0.030
Cr	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001
Ti	0.003	0.007	0.003	0.007	0.006	0.000	0.002	0.005	0.002	0.004	0.009	0.016	0.005	0.006	0.005
Fe(ii)	0.846	0.766	0.941	0.299	0.363	0.376	0.388	0.371	0.363	0.347	0.345	0.340	0.352	0.490	0.360
Mn	0.036	0.031	0.041	0.025	0.014	0.015	0.018	0.015	0.015	0.015	0.012	0.013	0.016	0.014	0.017
Mg	1.031	1.047	0.943	0.942	0.692	0.668	0.670	0.697	0.690	0.678	0.687	0.691	0.687	0.760	0.684
Ca	0.035	0.045	0.039	0.002	0.851	0.867	0.856	0.848	0.864	0.910	0.866	0.855	0.863	0.647	0.868
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.028	0.027	0.023	0.025	0.019	0.029	0.030	0.028	0.025	0.025
K	0.000	0.005	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
TOTAL	4.024	4.054	4.006	4.281	4.005	4.008	4.003	4.004	4.006	3.995	4.010	4.006	4.007	4.016	4.007

Tabla 5D. Resultados del gupomineral de las piroxenos normalizados.

Columna 1	ART-21-28-B-19	ART-21-28-B-24	ART-21-28-B-28	ART-21-05-A-64	ART-21-05-A-68	ART-21-05-A-69	ART-21-05-A-75	ART-21-05-C-88	ART-21-28-A-3	ART-21-28-A-4	ART-21-28-A-5	ART-21-28-A-6	ART-21-28-A-7	ART-21-28-A-8	ART-21-28-B-17	ART-21-28-B-18	ART-21-28-B-20	ART-21-28-B-25	ART-21-28-B-26	ART-21-28-C-36	ART-21-28-C-38	ART-21-28-C-43	ART-21-28-C-44	ART-21-28-C-45	ART-21-28-C-46
SiO2	64.92	65.63	65.91	64.15	64.66	64.55	65.37	63.16	66.34	65.1	66.59	67	66.83	67.07	66.55	66.64	66.45	67.18	67.27	65.57	69.28	67.31	65.58	67.27	64.23
Al2O3	18.41	18.35	18.61	18.58	18.44	18.46	18.46	17.38	20.61	21.86	20.84	20.82	20.85	20.68	20.68	20.28	20.81	20.98	20.25	22.07	19.6	20.81	21.66	20.59	21.5
FeO	0.0387	0.0127	0.1274	0.054	0.0919	0.1348	0.092	0.5724	0.1067	0.0289	0.0719	0.0222	0.114	0.109	0.0409	0.0658	0.0503	0.0276	0.0525	0.142	0.2216	0.1047	0.0931	0.1044	0.255
CaO	0.0301	0.0601	0.0054	0.037	0.0205	0.0522	0.0339	0.4393	1.67	2.82	1.98	1.67	1.61	1.61	1.66	1.71	1.88	1.42	1.44	2.86	0.1748	1.3741	2.48	1.68	2.91
Na2O	0.4864	0.9565	0.5411	2.47	0.5555	1.3022	1.2575	0.1427	10.77	10.3	10.51	10.54	10.66	10.56	10.77	10.73	10.49	10.71	10.75	9.65	11.68	10.08	9.98	9.86	9.52
K2O	16.13	15.75	16.07	12.38	15.8	15.12	15.01	15.61	0.34	0.3192	0.4907	0.5734	0.5488	0.5962	0.6521	0.5839	0.5632	0.5825	0.5758	0.5671	0.0768	0.3721	0.4348	0.6469	0.4972
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	100.015	100.759	101.263	97.67	99.567	99.619	100.223	97.304	99.836	100.428	100.482	100.625	100.612	100.625	100.35	100.009	100.243	100.900	100.338	100.859	101.033	100.050	100.227	100.151	98.912
	2	3	9	1	9	2	4	4	7	1	6	6	8	2	3	7	5	1	3	1	2	9	9	3	2
Formula																									
				11.85																					
Si	11.994	12.125	12.177	2	11.946	11.926	12.077	11.669	12.256	12.027	12.302	12.378	12.347	12.391	12.295	12.312	12.277	12.411	12.428	12.114	12.799	12.435	12.116	12.428	11.866
Al	4.008	3.995	4.052	4.045	4.015	4.019	4.019	3.784	4.487	4.760	4.537	4.533	4.540	4.503	4.503	4.416	4.531	4.568	4.409	4.805	4.267	4.531	4.716	4.483	4.681
Fe(ii)	0.006	0.002	0.020	0.008	0.014	0.021	0.014	0.088	0.016	0.004	0.011	0.003	0.018	0.017	0.006	0.010	0.008	0.004	0.008	0.022	0.034	0.016	0.014	0.016	0.039
Ca	0.006	0.012	0.001	0.007	0.004	0.010	0.007	0.087	0.331	0.558	0.392	0.331	0.319	0.319	0.329	0.338	0.372	0.281	0.285	0.566	0.035	0.272	0.491	0.333	0.576
Na	0.174	0.343	0.194	0.885	0.199	0.466	0.450	0.051	3.858	3.689	3.764	3.775	3.818	3.782	3.858	3.843	3.757	3.836	3.850	3.456	4.183	3.610	3.575	3.532	3.410
K	3.801	3.712	3.787	2.918	3.723	3.563	3.537	3.679	0.080	0.075	0.116	0.135	0.129	0.141	0.154	0.138	0.133	0.137	0.136	0.134	0.018	0.088	0.102	0.152	0.117
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				19.71																					
TOTAL	19.990	20.189	20.230	5	19.901	20.006	20.105	19.358	21.028	21.114	21.123	21.155	21.170	21.152	21.144	21.057	21.077	21.238	21.116	21.097	21.337	20.953	21.014	20.944	20.690

Tabla 5E. Resultados del grupo mineral de las plagioclasas-feldespatos potásicos normalizados.

Columna 1	ART-21-28-D-50	ART-21-28-D-54	ART-21-28-D-58	ART-21-28-D-60	ART-21-28-D-61	ART-21-28-D-63	ART-21-13-A-99	ART-21-13-A-101	ART-21-13-A-103	ART-21-13-A-108	ART-21-13-A-112	ART-21-13-A-113	ART-21-13-A-114	ART-21-13-A-117	ART-21-13-A-119	ART-21-13-A-121	ART-21-13-A-123	ART-21-13-A-125	ART-21-13-A-126	ART-21-13-B-130	ART-21-13-B-133	ART-21-13-B-136	ART-21-13-B-137	ART-21-13-B-140	ART-21-13-B-141
SiO2	66.07	65.52	66.16	66.68	65.72	64.67	58.46	57.01	60.33	58.23	58.5	58.15	57.72	58.27	58.89	58.83	58.39	59.68	59.01	58.9	60.06	58.59	58.46	56.68	58.98
Al2O3	21.12	21.49	21.19	21.26	21.03	22.06	26.03	27.17	25.47	26.5	25.94	26.1	26.25	26.21	25.28	25.4	25.86	24.73	25.77	25.6	24.94	25.65	26.02	27.1	25.32
FeO	0.0764	0.0884	0.0617	0.0497	0.1394	0.1248	0.1949	0.1716	0.0758	0.215	0.2458	0.2621	0.1495	0.1961	0.1902	0.1615	0.1471	0.0818	0.141	0.0969	0.1116	0.1703	0.0813	0.1607	0.2027
CaO	1.91	2.36	2.02	1.61	2.13	2.89	8.2	9.24	7.16	8.29	7.84	8.07	8.56	8	7.86	8	8.19	7.34	7.86	7.98	7.3	7.84	8.57	9.71	7.8
Na2O	10.56	10.16	10.44	10.91	10.45	10.06	6.85	6.36	7.64	7.08	7.05	6.85	6.72	7.08	7.44	6.85	7.07	7.18	7.01	7.19	7.39	7.39	6.55	6.13	7.19
K2O	0.7034	0.5197	0.5053	0.3706	0.5227	0.4606	0.2915	0.2701	0.347	0.3739	0.4065	0.3756	0.3171	0.398	0.3295	0.3982	0.2652	0.4655	0.3129	0.3758	0.3507	0.3549	0.2714	0.2513	0.2932
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	100.4398	100.1381	100.377	100.8803	99.9921	100.2654	100.0264	100.2217	101.0228	100.6889	99.9823	99.8077	99.7166	100.1541	99.9897	99.6397	99.9223	99.4773	100.1039	100.1427	100.1523	99.9952	99.9527	100.032	99.7859
Formula																									
Si	12.206	12.105	12.223	12.319	12.142	11.948	10.800	10.533	11.146	10.758	10.808	10.743	10.664	10.765	10.880	10.869	10.787	11.026	10.902	10.882	11.096	10.824	10.800	10.472	10.896
Al	4.598	4.679	4.614	4.629	4.579	4.803	5.667	5.916	5.546	5.770	5.648	5.683	5.715	5.707	5.504	5.530	5.630	5.384	5.611	5.574	5.430	5.585	5.665	5.900	5.513
Fe(ii)	0.012	0.014	0.010	0.008	0.022	0.019	0.030	0.027	0.012	0.033	0.038	0.040	0.023	0.030	0.029	0.025	0.023	0.013	0.022	0.015	0.017	0.026	0.013	0.025	0.031
Ca	0.378	0.467	0.400	0.319	0.422	0.572	1.623	1.829	1.417	1.641	1.552	1.597	1.694	1.583	1.556	1.583	1.621	1.453	1.556	1.579	1.445	1.552	1.696	1.922	1.544
Na	3.782	3.639	3.739	3.908	3.743	3.603	2.453	2.278	2.736	2.536	2.525	2.453	2.407	2.536	2.665	2.453	2.532	2.572	2.511	2.575	2.647	2.647	2.346	2.196	2.575
K	0.166	0.122	0.119	0.087	0.123	0.109	0.069	0.064	0.082	0.088	0.096	0.089	0.075	0.094	0.078	0.094	0.062	0.110	0.074	0.089	0.083	0.084	0.064	0.059	0.069
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	21.143	21.026	21.104	21.269	21.030	21.054	20.643	20.645	20.938	20.826	20.666	20.606	20.578	20.715	20.712	20.555	20.656	20.557	20.675	20.714	20.718	20.718	20.584	20.573	20.629

Tabla 5E (continuación). Resultados del grupo mineral de las plagioclasas feldspatos potásicos normalizados.

Columna 1	ART-21-13-B-148	ART-21-13-B-152	ART-21-13-B-153	ART-21-13-C-171	ART-21-13-C-172	ART-21-13-C-173	ART-21-13-C-174	ART-21-13-C-175	ART-21-13-C-176	ART-21-13-C-177	ART-21-13-C-178	ART-21-13-C-179	ART-21-13-C-182	ART-21-13-C-183	ART-21-13-C-184	ART-21-13-C-185	ART-21-13-C-187	ART-21-13-C-188	ART-21-13-C-189	ART-21-13-C-190	ART-21-13-C-193	ART-21-13-C-194	ART-21-13-C-195	ART-21-13-C-196	ART-21-13-C-197
SiO2	58.95	56.11	58.15	58.16	58.07	58.81	58.32	58.14	59.68	59.17	57.73	59.19	59.69	57.85	58.32	58.45	57.99	58.71	59.18	57.76	58.71	58.8	58.15	58.99	57.97
Al2O3	25.5	27.21	26.14	22.23	26.56	25.69	26.25	26.15	25.07	25.97	26.53	25.66	25.61	25.32	26.12	26.28	26.17	26.3	25.58	26.46	26.4	26.62	25.66	25.86	26.4
FeO	0.1148	0.2651	0.2139	3.39	0.1298	0.2041	0.1049	0.1795	0.0592	0.132	0.1144	0.1746	0.1261	0.5257	0.1598	0.1936	0.0518	0.1756	0.0865	0.1356	0.1735	0.1303	0.1722	0.1918	0.158
CaO	7.68	10.31	8.64	5.84	8.81	8.03	8.65	8.5	7.35	7.89	8.97	8	7.29	7.77	8.19	8.09	8.18	8.35	7.5	8.25	8.34	8.08	8.09	8.17	8.62
Na2O	6.95	5.71	6.58	6.38	6.66	7.19	6.67	6.69	7.34	7.01	6.68	7.12	7.56	7.18	6.76	6.46	7.21	6.85	7.48	7.08	7.1	6.99	7.1	7.08	6.74
K2O	0.3408	0.2286	0.3036	0.4968	0.2946	0.3335	0.3532	0.3531	0.288	0.3166	0.2914	0.3135	0.2804	0.3189	0.3212	0.3157	0.3586	0.3648	0.2527	0.4174	0.295	0.2731	0.3295	0.3442	0.3446
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	99.5356	99.8337	100.0275	96.4968	100.5244	100.2576	100.3481	100.0126	99.7872	100.4886	100.3158	100.4581	100.5565	98.9646	99.871	99.7893	99.9604	100.7504	100.0792	100.103	101.0185	100.8934	99.5017	100.636	100.2326
Formula																									
Si	10.891	10.366	10.743	10.745	10.728	10.865	10.775	10.741	11.026	10.932	10.666	10.935	11.028	10.688	10.775	10.799	10.714	10.847	10.933	10.671	10.847	10.863	10.743	10.898	10.710
Al	5.552	5.924	5.691	4.840	5.783	5.593	5.715	5.694	5.458	5.654	5.776	5.587	5.576	5.513	5.687	5.722	5.698	5.726	5.569	5.761	5.748	5.796	5.587	5.630	5.748
Fe(ii)	0.018	0.041	0.033	0.524	0.020	0.032	0.016	0.028	0.009	0.020	0.018	0.027	0.019	0.081	0.025	0.030	0.008	0.027	0.013	0.021	0.027	0.020	0.027	0.030	0.024
Ca	1.520	2.041	1.710	1.156	1.744	1.589	1.712	1.682	1.455	1.562	1.775	1.583	1.443	1.538	1.621	1.601	1.619	1.653	1.484	1.633	1.651	1.599	1.601	1.617	1.706
Na	2.489	2.045	2.357	2.285	2.385	2.575	2.389	2.396	2.629	2.511	2.393	2.550	2.708	2.572	2.421	2.314	2.582	2.453	2.679	2.536	2.543	2.504	2.543	2.536	2.414
K	0.080	0.054	0.072	0.117	0.069	0.079	0.083	0.083	0.068	0.075	0.069	0.074	0.066	0.075	0.076	0.074	0.085	0.086	0.060	0.098	0.070	0.064	0.078	0.081	0.081
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	20.550	20.471	20.606	19.667	20.730	20.733	20.690	20.624	20.645	20.753	20.696	20.757	20.840	20.466	20.604	20.540	20.705	20.792	20.739	20.720	20.885	20.846	20.579	20.792	20.684
Tabla 5E (continuación). Resultados del grupo mineral de las plagioclasas feldspatos potásicos normalizados.																									

Columna1	ART-21-13-C-198	ART-21-05-A-73	ART-21-05-C-85	ART-21-05-C-86	ART-21-05-D-90	ART-21-05-D-96	ART-21-05-D-98	ART21-01-WR-A-199	ART21-01-WR-A-200	ART21-01-WR-A-201	ART21-01-WR-A-202	ART21-01-WR-A-203	ART21-01-WR-A-210	ART21-01-WR-A-213	ART21-01-WR-A-214	ART21-01-WR-B-220	ART21-01-WR-B-221	ART21-01-WR-B-223	ART21-01-WR-B-226	ART21-01-WR-C-231	ART21-01-WR-C-232	ART21-01-WR-C-239	ART21-01-WR-D-241	ART21-01-WR-D-243	ART21-01-WR-D-245
SiO2	58.99	66.22	61.74	60.42	66.26	63.2	64.2	63.43	62.22	60.03	62.57	62.52	62.04	62.48	62.82	63.19	61.65	62.97	62.94	62.47	61.8	63.2	62.77	63.1	63.31
Al2O3	26.34	20.7	24.12	23.54	21.29	22.28	22.45	21.43	21.87	23.47	21.91	23	21.59	21.52	21.99	21.86	23.68	22.11	22.77	22.44	21.9	22.3	22.16	21.96	21.8
FeO	0.1954	0.1442	0.3343	0.3368	0.0879	0.2258	0.0774	0.0896	0.2142	0.0908	0.097	0.1266	0.1724	0.1756	0.168	0.1551	0.155	0.2411	0.1958	0.1349	0.1372	0.2118	0.1836	0.1933	0.1233
CaO	8.4	1.58	5.69	5.52	2.13	3.83	3.58	3.98	4.58	6.38	4.38	5.04	4.39	4.2	4.51	4.2	5.91	4.22	4.73	4.63	4.61	4.21	4.31	4.12	4.18
Na2O	6.71	11.34	8.2	7.93	10.72	9.24	9.19	9.07	8.83	7.97	9.25	8.77	8.83	9.23	9	9.1	8.23	9.17	9.05	9.09	9.21	9.14	9.28	9.55	9.01
K2O	0.321	0.273	0.343	0.5479	0.0515	0.8703	0.2671	0.4862	0.5306	0.2188	0.1823	0.3378	0.3924	0.3927	0.2772	0.4631	0.2098	0.5564	0.3479	0.3786	0.3342	0.2534	0.3393	0.2607	0.5612
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	100.9564	100.2572	100.4273	98.2947	100.5394	99.6461	99.7645	98.4858	98.2448	98.1596	98.3893	99.7944	97.4148	97.9983	98.7652	98.9682	99.8348	99.2675	100.0337	99.1435	97.9914	99.3152	99.0429	99.184	98.9845
Formula																									
Si	10.898	12.234	11.406	11.163	12.241	11.676	11.861	11.719	11.495	11.090	11.560	11.551	11.462	11.543	11.606	11.674	11.390	11.634	11.628	11.541	11.417	11.676	11.597	11.658	11.696
Al	5.735	4.507	5.252	5.125	4.635	4.851	4.888	4.666	4.762	5.110	4.770	5.008	4.701	4.685	4.788	4.760	5.156	4.814	4.958	4.886	4.768	4.855	4.825	4.781	4.746
Fe(ii)	0.030	0.022	0.052	0.052	0.014	0.035	0.012	0.014	0.033	0.014	0.015	0.020	0.027	0.027	0.026	0.024	0.024	0.037	0.030	0.021	0.021	0.033	0.028	0.030	0.019
Ca	1.663	0.313	1.126	1.093	0.422	0.758	0.709	0.788	0.907	1.263	0.867	0.998	0.869	0.831	0.893	0.831	1.170	0.835	0.936	0.916	0.912	0.833	0.853	0.815	0.827
Na	2.403	4.062	2.937	2.840	3.840	3.309	3.292	3.249	3.163	2.855	3.313	3.141	3.163	3.306	3.224	3.259	2.948	3.284	3.241	3.256	3.299	3.274	3.324	3.421	3.227
K	0.076	0.064	0.081	0.129	0.012	0.205	0.063	0.115	0.125	0.052	0.043	0.080	0.092	0.093	0.065	0.109	0.049	0.131	0.082	0.089	0.079	0.060	0.080	0.061	0.132
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	20.805	21.202	20.854	20.402	21.164	20.835	20.824	20.549	20.484	20.384	20.568	20.796	20.313	20.485	20.601	20.658	20.736	20.736	20.876	20.709	20.497	20.731	20.707	20.766	20.649

Tabla 5E (continuación). Resultados del grupo mineral de las plagioclasas feldspatos potásicos normalizados.

Columna 1	ART21-01-WR-D-246	ART21-01-WR-E-253	ART21-01-WR-E-254	ART21-01-WR-E-256	ART21-01-WR-E-257	ART21-01-WR-E-259	ART21-01-WR-E-262	ART21-01-WR-E-263	ART21-01-WR-E-264	ART21-01-WR-E-265	ART21-01-WR-E-266	ART21-01-WR-E-267
SiO2	62.95	63.24	63.35	62.94	63.13	63.5	63.38	49.89	51.53	63.11	62.62	60.01
Al2O3	22.55	22.17	21.73	22.28	21.8	22.9	22.42	31.11	30.57	22.4	22.5	25.27
FeO	0.2315	0.1843	0.0989	0.1971	0.1486	0.1867	0.1695	0.1314	0.0828	0.1965	0.1294	0.1277
CaO	4.69	4.46	4.12	4.4	4.26	4.62	4.13	14.65	13.91	4.45	4.61	7.04
Na2O	8.89	9.02	9.47	8.78	9.22	8.92	9.35	3.25	3.92	9.12	8.98	7.87
K2O	0.3457	0.4032	0.4426	0.4487	0.4343	0.4032	0.5307	0.0933	0.0836	0.4918	0.357	0.2073
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	99.6572	99.4775	99.2115	99.0458	98.9929	100.5299	99.9802	99.1247	100.0964	96.4968	96.4968	96.4968
Formula												
Si	11.630	11.684	11.704	11.628	11.663	11.732	11.709	9.217	9.520	10.745	10.745	10.745
Al	4.910	4.827	4.731	4.851	4.746	4.986	4.881	6.773	6.656	4.840	4.840	4.840
Fe(ii)	0.036	0.028	0.015	0.030	0.023	0.029	0.026	0.020	0.013	0.524	0.524	0.524
Ca	0.928	0.883	0.815	0.871	0.843	0.914	0.817	2.900	2.753	1.156	1.156	1.156
Na	3.184	3.231	3.392	3.145	3.302	3.195	3.349	1.164	1.404	2.285	2.285	2.285
K	0.081	0.095	0.104	0.106	0.102	0.095	0.125	0.022	0.020	0.117	0.117	0.117
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	20.769	20.747	20.762	20.631	20.680	20.951	20.908	20.097	20.366	19.667	19.667	19.667

Tabla 5E (continuación). Resultados del grupo mineral de las plagioclasas feldespatos potásicos normalizados.