UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

LA TESIS:

PROCEDENCIA E IMPLICACIONES GEOTECTÓNICAS DEL GRUPO TAMATÁN DEL BASAMENTO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, ANTICLINORIO HUIZACHAL-PEREGRINA, CD. VICTORIA, TAMAULIPAS

ELABORADA POR:

M.C JUAN MOISES CASAS PEÑA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN GEOCIENCIAS

LINARES, NUEVO LEÓN mayo de 2021

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

FCT®
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

PROCEDENCIA E IMPLICACIONES GEOTECTÓNICAS DEL GRUPO TAMATÁN DEL BASAMENTO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, ANTICLINORIO HUIZACHAL-PEREGRINA, CD. VICTORIA, TAMAULIPAS

ELABORADA POR

M.C. JUAN MOISES CASAS PEÑA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN GEOCIENCIAS

APROBACIÓN DE LA TESIS:

DR. UWE JENCHEN
DE LA COMISIÓN DE TESIS; DIRECTOR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UANL, MÉXICO

DR. JUAN ALONSO RAMÍREZ FERNÁNDEZ
DE LA COMISIÓN DE TESIS; CO-DIRECTOR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UANL, MÉXICO

DR. FERNANDO VELASCO TAPIA
DE LA COMISIÓN DE TESIS; CO-DIRECTOR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UANL, MÉXICO

DRA. CARITA AUGUSTSSON
DE LA COMISIÓN DE TESIS; CO-DIRECTORA
DEPARTAMENTO FUENTES DE ENERGÍAS, UNIVERSIDAD DE STAVANGER, NORUEGA

DR. BODO WEBER
DE LA COMISIÓN DE TESIS; CO-DIRECTOR
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA, CENTRO DE INVESTIGACION CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA (CICESE), MÉXICO

DR. CARLOS AGUILAR MADERA
SUBDIRECTOR DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UANL, MÉXICO

LINARES, NUEVO LEÓN mayo de 2021

Dedicatoria

Especialmente para mis padres ***Bertha L. Peña Ortiz*** y ***Juan B. Casas López,*** que siempre están apoyándome incondicionalmente sin importar el obstáculo que se interponga. Para mis ***hermanos (Perla, Erik y Karla)*** por sus consejos, tanto académicamente como para la vida.

En memoria de mi madrina tía-abuela ***Andrea López Montelongo (†)*** por desde pequeño alentarme a seguir superándome.

A mi perro peludo y buen amigo – compañero ***Copper (†),*** que mientras leía y escribía por largas horas, se postraba sobre mis pies dandomé calor y compañía.

Agradecimientos

Para finalizar el trabajo tan arduo y lleno de dificultades como es el desarrollo de una tesis Doctoral; te muestra inmediatamente que, para el progreso del tema, existe cierta magnitud de aporte de ideas, consejos, opiniones o diferentes puntos de vista, que hubiese sido imposible, sin la participación de profesores, colegas, personas e instituciones, que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un termino. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con las personas que me brindaron este apoyo, expresándoles mis agradecimientos.

- Primero que nada, a Dios, por permitirme salud en tiempos difíciles. Por darme paciencia, sabiduría y regocijo de concluir esta etapa.
- Debo agradecer de manera especial, mis asesores y amigos Dr. Uwe Jenchen, Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández y Fernando Velasco Tapia, principalmente por la motivación para la realización del trabajo, por sus contribuciones e ideas para lograr finalizar el trabajo.
- Agradezco infinitamente de una forma muy sincera a mis asesores externos Drs. Bodo Weber y Carita Augustsson, por sus consejos y sugerencias, tanto en el soporte logístico de la investigación y el desarrollo del trabajo.
- Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2018-2021) por brindarme apoyo económico y patrocinar mis estudios y manutención.
- Al PAICyT (Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica, 2019), de los proyectos CT-129-09 y CN-940-19, por brindarme el apoyo de los análisis de geoquímica y geocronología, garantizados por la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- A Narda Morales-Alemán, Marcela Rodríguez-Escamilla, y a los del cubículo dos de posgrado: Cecilia Rodríguez-Campero y Luis Alejandro Elizondo-Pacheco (Mac), Eduardo Alemán-Gallardo (Flys) y Víctor Alejandro Leal-Cuellar, por sus asistencias en el trabajo de campo, laboratorio y/o sugerencias e ideas para fortalecer el trabajo.
- A María de Jesús Martínez (Maríchuy) por su apoyo en la literatura sedimentaria.
- A Sergio Padilla-Ramírez, Susana Rosas-Montoya y Daniela Tazzo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada B.C (CICESE), por la preparación y extracción de los circones detríticos del trabajo.
- Al Dr. Dirk Frei, del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad El Cabo Occidental, en Sudáfrica por apoyar y facilitar las herramientas para el análisis geocronológico y obtención de las edades de las muestras.
- A mi hermana Karla Nallely Casas-Peña, que, durante los primeros dos años de Doctorado, estuvo apoyándome incondicionalmente, en cuestiones administrativas.
- A mi novia Lupita Sánchez por aguantarme todos estos momentos hasta culminar mi etapa de Doctorado, gracias amor.
- Amigos, conocidos y personal de la Facultad de Ciencias de la Tierra, por mencionar algunos Victoriano, Olegario, Vicente, compañeros del Posgrado, a todos los Profesores y Secretarias, que gracias a todos ellos la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL., funciona como tal y de manera constante, manteniendo siempre ese patrimonio único.

Índice

Dedicatoria ..... *i*

Agradecimientos ..... *ii*

Índice ..... *iii*

Listado de figuras ..... *vi*

Listado de tablas ..... *xii*

Listado de abreviaciones ..... *xiii*

Resumen ..... *xiv*

Abstract ..... *XV*

1 Generalidades *1*

1.1 Introducción **1**

1.2 Localización del área de estudio **5**

1.3 Antecedentes **6**

1.4 Planteamiento del problema **8**

1.5 Justificación **9**

1.6 Hipótesis **9**

1.7 Objetivo **9**

1.8 Metas **10**

1.9 Materiales y metodología experimental **10**

1.9.1 Trabajo de Campo 10

1.9.2 Análisis Petrográfico 11

1.9.3 Análisis Geoquímico 11

1.9.4 Análisis Geocronológico 13

2 Geología Regional *15*

2.1 Rocas de basamento y su cobertura sedimentaria precámbrica-paleozoica en el Noroeste de México (Laurencia/ Laurussia) **15**

2.1.1 Terreno Caborca 15

2.1.2 Terreno Chihuahua 16

2.2 Rocas de basamento y su cobertura sedimentaria precámbrica -paleozoica en el Noreste-Centro-Sur de México y zonas aledañas (Gondwana) **18**

2.2.1 Norte de Oaxaquia (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo) 19

2.2.2 Terreno Mixteco (Complejo Acatlán, Puebla) 21

2.2.3 Sur de Oaxaquia (Complejo Oaxaqueño, Oaxaca-Puebla) 23

2.2.4 Bloque Maya (Yucatán, Chiapas, Guatemala y Belice) 24

2.2.5 Norte Andino (Mérida, Venezuela - Macizo de Santander, Colombia) 26

3 Geología local *28*

3.1 Introducción **28**

3.2 El Grupo Tamatán **30**

3.2.1 Formación Cañón de Caballeros 30

3.2.2 Formación Vicente Guerrero 33

3.2.3 Riolita Aserradero 35

3.2.4 Formación Del Monte 37

3.2.5 Formación Guacamaya 40

4 Petrografía *44*

4.1 Introducción **44**
4.2 Areniscas cuarzolito-feldespáticas y cuarzo-feldespatolíticas **45**
4.3 Areniscas feldespato-cuarzolíticas y litofeldespato-cuarzosas **45**
4.4 Contenido petrográfico **46**
4.4.1 Cuarzo 46
4.4.2 Feldespato 48
4.4.3 Fragmentos líticos 49
4.4.4 Minerales accesorios 51
4.5 Clasificación modal del área fuente **52**
4.6 Interpretación petrográfica **53**
5 Geoquímica ***55***
5.1 Introducción **55**
5.2 Elementos Mayores **55**
5.3 Elementos Trazas **57**
5.3.1 Litófilos 57
5.3.2 Elementos de alta carga iónica 58
5.3.3 Elementos trazas de transición 59
5.3.4 Elementos de tierras raras 59
5.4 Clasificación mineralógica y litológica **61**
5.5 Intemperismo químico del área fuente **62**
5.6 Transporte y reciclamiento del área fuente **64**
5.7 Composición del área fuente y ambiente tectónico **65**
5.8 Interpretación geoquímica **69**
6 Geocronología ***72***
6.1 Introducción **72**
6.2 Edades de los circones detríticos U-Pb del Grupo Tamatán **73**
6.2.1 Formación Cañón de Caballeros 73
6.2.2 Formación Vicente Guerrero 75
6.2.3 Formación Del Monte 77
6.2.4 Formación Guacamaya 78
6.3 Área fuente de los circones detríticos del Grupo Tamatán **80**
7 Discusión ***83***
7.1 Ambiente de depósito de las rocas siliciclásticas del Grupo Tamatán **83**
7.1.1 Formación Cañón de Caballeros 83
7.1.2 Formación Vicente Guerrero 83
7.1.3 Formación Del Monte 83
7.1.4 Formación Guacamaya 84
7.2 Procedencia e implicaciones tectónicas **84**
7.2.1 Silúrico – Devónico Temprano 85
7.2.2 Carbonífero (Misisípico – Pensilvánico) 87
7.2.3 Pérmico 91
8 Conclusiones ***94***
8.1 Características sedimentarias **94**
8.2 Petrografía **94**
8.3 Geoquímica **94**
8.4 Geocronología **95**

8.5 Tectónica 95

9 Investigaciones futuras 96

10 Referencias 97

11 Anexo 115

11.1 Introducción 115
11.1.1 Mapas Topográfico-Geológico del Grupo Tamatán 116
11.1.2 Lista de Muestras 118

11.2 Datos estructurales 121

11.3 Datos petrológicos 127
11.3.1 Tablas del Conteo de Puntos 127
11.3.2 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Cañón de Caballeros 133
11.3.3 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Vicente Guerrero 136
11.3.4 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Del Monte 144
11.3.5 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Guacamaya 155
11.3.6 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Riolita Aserradero 164
11.3.7 Análisis Petrográfico Modal del Grupo Tamatán 165

11.4 Datos geoquímicos 174
11.4.1 Parámetros geoquímicos 174
11.4.2 Datos Estadísticos Simples 179
11.4.3 Clasificación y Composición Geoquímica del Grupo Tamatán 183

11.5 Datos U-Th-Pb de los circones detríticos 205
11.5.1 Formación Cañón de Caballeros 206
11.5.2 Formación Vicente Guerrero 217
11.5.3 Formación Del Monte 227
11.5.4 Formación Guacamaya 239

Listado de figuras

Fig.1.1. Reconstrucción paleogeográfica simplificada durante el Paleozoico (modificado de Cocks & Torsvik, 2002; Torsvik & Cocks, 2004). Nota: En amarillo los terrenos mexicanos (TM) 2

Fig. 1. 2. Mapa simplificado de la subdivisión por terrenos tectonoestratigráficos de México. Las estrellas de colores muestran los diferentes sistemas metamórficos y los óvalos amarillos la localización de los afloramientos sedimentarios del Paleozoico (modificado de Sánchez-Zavala et al., 1999; Ortega-Gutiérrez et al., 2018). 4

Fig. 1. 3. Afloramientos del basamento cristalino del noreste de México (modificado de Barboza-Gudiño et al., 2011). **Nota:** Los recuadros azules muestran las áreas de estudio. 5

Fig. 1. 4. SW-NE Sección transversal A – A' (sin escala) del núcleo del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (modificado de Alemán-Gallardo et al., 2019a). Para la orientación del perfil geológico, **Fig. 1. 3.**..... 6

Fig. 2. 1. Marco tectónico simplificado del basamento de Laurussia y Gondwana en México – Centroamérica y norte de Sudamérica (modificado de Weber et al., 2020)**. 2.1.1 =** Terreno Caborca (noroeste- centro de Sonora), **2.1.2 =** Terreno Chihuahua (noreste de Sonora-Chihuahua), **2.2.1 =** Norte de Oaxaquia (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas e Hidalgo)**, 2.2.2 =** Sur de Oaxaquia (Oaxaca), **2.2.3 =** Terreno Mixteco (Puebla), **2.2.4 =** Bloque Maya (planicie costera del Golfo de México, Istmo de Tehuantepec, Chiapas, Yucatán, Guatemala y Belice)**, 2.2.5 =** norte de Sudamérica (Venezuela y Colombia). 15

Fig. 2. 2. Estratigrafía Paleozoica simplificada de los terrenos relacionados al SW de Laurusia en México. **Nota**: La localización (número en corchete) de cada terreno se encuentran en la **Fig. 2. 1. (a – b)** = McMenamin, 1987; Stewart et al., 1990; González-León, 1997; Stewart et al., 1997; Lucas & Estep, 1999; Poole et al. (2005); Cuen-Romo et al., 2016; Lawton et al. (2020); Arvizu et al. (2009); **(c – d) =** Noll et al., 1984; Stewart et al., 1984; Armstrong & Mamet, 1988; Sánchez-Zavala et al., 1999; López-Doncel et al. (2005); Barboza-Gudiño et al., 2016; Lawton et al. (2020). 18

Fig. 2. 3. Estratigrafía Paleozoica simplificada de los terrenos peri-Gondwánicos de México y del norte Andino de Sudamérica; también se muestra las edades de su basamento correspondiente. **Nota**: La localización (número en corchete) de cada terreno se encuentra en la **Fig. 2. 1. (a) =** Poole et al. (2005); Lawton et al. (2020); **(b)** = Nance et al. (2007b); Torres-Sánchez et al. (2015, 2017); **(c) =** Stewart et al. (1999); Sour-Tovar et al. (2005); Alemán-Gallardo et al. (2019a, b); Ramírez-Fernández et al. (2021), **(d) =** Rosales-Lagarde et al. (2005), Weber & Schulze (2014), Martínez-Sánchez (2016); **(e) =** modificado de Ortega-Gutiérrez et al. (2018); **(f) =** Coombs et al. (2020); **(g) =** Solari et al. (2001); Murphy et al., 2005; Ortega-Obregón et al. (2014); Torres-Martínez & Sour-Tovar (2016); **(h) =** Zhao et al. (2020); **(i) y (j)** = Weber et al. (2008, 2009, 2020); **(k)** = Martens et al. (2010); **(l) y (m) =** van der Lelij et al. (2016); Tazzo-Rangel et al. (2019). 27

Fig. 3. 1. (a) Afloramientos de las ventanas tectónicas y exposición de las rocas del basamento del NE de la Sierra Madre Oriental (modificado de Barboza-Gudiño et al., 2011). **(b)** Mapa geológico de los afloramientos del Grupo Tamatán (modificado de Ramírez-Ramírez, 1992; Stewart et al., 1999). Los recuadros con guiones azules indican el área de estudio.....29

Fig. 3. 2. A la izquierda se muestra la columna geológica del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (modificado de Stewart et al., 1999); A la derecha, las secciones estratigráficas y ubicación de las muestras del Grupo Tamatán. **Nota:** en negrillas y *** =** muestras para geocronología, **S1** a **S5 =** secciones (su ubicación se da en la **Fig. 3. 1**). 30

Fig. 3. 3. Afloramientos de la Formación Cañón de Caballeros (Wenlockiano a Devónico Inferior). En el Cañón de Caballeros**: (a)** contacto tectónico de arenisca fina (FS) del Miembro Inferior con el complejo Novillo, **(b)** estratos conglomerado (Cgl) y arenisca gruesa (CS), **(c)** estratos de arenisca fina (FS). En el Cañón de la Peregrina: **(d)** lutita gris-verdosa (Sh) con lentes de arena**, (e)** laminación cóncava en rocas de arenisca gruesa (CS), **(f-g)** Caliza masiva e impresiones de corales. **Nota:** barra color amarillo-negro representa una escala de 35 cm. 32

Fig. 3. 4. Orientación general de los rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Cañón de Caballeros. **Nota:** puntos refieren a los polos de cada capa. 33

Fig. 3. 5. Panorámica de la distribución de los afloramientos de las formaciones que conforman el Grupo Tamatán. Vista de frente de casa blanca abandonada, Cañón de la Peregrina.....34

Fig. 3. 6. Afloramientos de la Formación Vicente Guerrero (Misisípico). En el Cañón de la Peregrina: **(a)** Conglomerado (Cgl) y estratos de arenisca media (MeS); triángulo rojo indica un molde de braquiópodo**, (b)** arenisca con estratificación cruzada; triángulo rojo indica la disposición caótica de los moldes de braquiópodo, **(c)** Limolita y lutita (Sh) altamente deformada, con lentes de arena fina (FS) de tipo '*budín'* y canal de arenisca de grano medio (MeS) masiva, en su base exhibe un horizonte conglomerático matriz-soportado (Cgl) con clastos imbricados muy redondeados, **(d)** afloramiento masivo de la Riolita Aserradero, **(e)** moldes de braquiópodos en capas de arenisca fina. 36

Fig. 3. 7. Orientación general en rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Vicente Guerrero**. Nota:** puntos refieren a los polos de cada capa. 37

Fig. 3. 8. Afloramiento del miembro basal de la Formación Del Monte (Pensilvánico). En el Cañón de Caballeros: **(a-b)** Conglomerado de Naranjal incluye fragmentos metamórficos, meta-sedimentarios y en menormente ígneos con gran variedad de tamaño (triángulos rojos). 38

Fig. 3. 9. Afloramientos de la Formación Del Monte (Pensilvánico). En el Cañón de Caballeros: **(a)** Flujo de detrito calcáreo con clastos de lodo desgarrado (*Rip-Up*; triángulos rojos), **(b-c)** intercalación de arenisca de grano grueso (CS) y lutita calcárea (Sh); Óvalo, es el acercamiento de un molde de amonita, triángulo rojo indica la presencia de clastos de lodo, **(d)** Fósiles traza **(?).** En el Cañón de la Peregrina**: (e)** calcarenita masiva con degradación local, **(f-g)** laminación ondulada y estratos ondulados. 39

Fig. 3. 10. Orientación general de los rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Del Monte. **Nota:** puntos refieren a los polos de cada capa.....40

Fig. 3. 11. Afloramientos de la Formación Guacamaya (Pérmico Inferior). En el Cañón de la Peregrina: **(a-b)** capas rítmicas de arenisca – lutita con desarrollo de secuencias Bouma, **(c)** Fotoperfil de la sección tipo de la Formación Guacamaya, **(d-e)** laminación convoluta**, (f)** laminación arenosa corriente cruzada, **(g)** conglomerado con clastos ígneos y sedimentarios en matriz carbonatada. 41

Fig. 3. 12. Afloramientos de la Formación Guacamaya (Pérmico Inferior). En el Cañón de Caballeros: **(a)** Contacto aparentemente discordante con la Formación Del Monte, **(b)** Intercalación de capas gruesas de arenisca de grano fino (FS) y lutita (Sh). En el Cañón de la Peregrina: **(c)** estratos turbidíticos muy deformados, **(d)** afloramiento masivo de lutitas, **(e)** Sinclinal local de los estratos los turbidíticos. 42

Fig. 3. 13. Orientación general de los rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Guacamaya. **Nota**: puntos refieren a los polos de cada capa.....43

Fig. 4. 1. Clasificación petrográfica del Grupo Tamatán (Garzanti, 2016; 2018). **Abreviaciones**: **lQF =** Feldespato-cuarzolítica; **lFQ =** Cuarzo-feldespatolítica; **fLQ =** Cuarzolito-feldespática; **fQL =** Litocuarzo-feldespática; **qFL** = Litofeldespato-cuarzosa; q**LF** = Feldespatolito-cuarzosa. **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.**....46

Fig. 4. 2. Microfotografías en nicoles cruzados (NX) de las muestras estudiadas. **Formación Cañón de Caballeros**: **(a)** cuarzo policristalino de tres componentes y contacto interno suturado, **(b)** fragmento sedimentario cuarzoso (Lsa) y cuarzo monocristalino con inclusiones (flecha roja), **(c)** cuarzo monocristalino con borde de bahía cubierto por matriz arcillosa (flecha roja), feldespato K con arcilla reemplazo y cuarzo monocristalino con extinción ondulada. **Formación Vicente Guerrero**: **(d)** arenisca feldespato-cuarzosa, **(e)** cuarzo policristalino con más de tres cristales (Qp> 3), **(f)** fragmento de braquiópodo (Fo). **Formación Del Monte: (g)** microclina (Fk) y plagioclasa (albita) con macla polisintética (Pna) cuarzo ondulada (Qmo), con cemento de calcita**, (h)** Plagioclasa con textura pertítica (Pna) y bioclástos fusulínidos (LsBi), **(i)** fragmento de esparita (LsCe). **Formación Guacamaya: (j)** arenisca gruesa con cuarzo volcánico (Qmr), plagioclasa sódica con reemplazo de arcilla (Pki) y fragmentos ígneos con textura felsítica (Lvf), (**k)** grano ígneo con textura tipo *lathwork*, **(l)** granos ígneos con textura felsítica en una arenisca de grano grueso. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 μm.....47

Fig. 4. 3. Diagrama en forma de diamante Qmo, Qmr, Qp <3, y Qp> 3; de la probable composición fuente (según Basu et al., 1975; modificado por Tortosa et al., 1991). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo**. 48

Fig. 4. 4. Diagrama ternario Qm – P – K, de la composición petrográfica del Grupo Tamatán; donde se presenta el dominio de los feldespatos (Dickinson et al., 1983 y Dickinson, 1985). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.**.....49

Fig. 4. 5. Microfotografías en nicoles paralelos (NII) de las muestras con microfósiles. **Formación Cañón de Caballeros: (a)** fragmentos de trilobites (?), **(b)** fragmento de braquiópodo (Fo) embebido en cemento calcáreo sumamente recristalizado, **(c)** oncoides (flecha roja). **Formación Vicente Guerrero: (d-e**) fragmentos de braquiópodos (Fo), **(f)** briozoos. **Formación Del Monte: (g)** arenisca calcárea con fusulínidos tipo *Fusulinella sp*. **(h)** foraminífero *Tronchoide***, (i)** *grainstone* bioclástico, (ooides, oncoides, intraclástos y un fragmento de braquiópodo; Fo). **Formación Guacamaya: (j)** Equinodermo (flecha roja), lítico sedimentario (parte inferior derecha) y fragmentos detríticos, **(k)** bioclásto de miliólido, rodeado de granos detríticos. **(l)** bioclástos de briozoos y oncoide. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 μm. 50

Fig. 4. 6. Diagrama ternario Lm – Lv – Ls, que presenta la composición y dominación de los granos líticos (Ingersoll & Suczek, 1979). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.** 51

Fig. 4. 7. Diagramas ternarios **(a)** Qt – F – L y **(b)** Qm – F – L, que exponen la probable composición y relación del área fuente de arenisca (Dickinson et al., 1983 y Dickinson, 1985). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.**.....52

Fig. 5. 1. Diagrama multielementos tipo *spider* de las composiciones de elementos mayores para las formaciones del Grupo Tamatán. Cada formación fue normalizada con valores promedio de la corteza continental superior reportados en Taylor & McLennan (1985). **Nota:** la línea sombreada corresponde a las composiciones promedio del Grupo Tamatán y la línea naranja punteada en 1.0 a la corteza continental superior (UCC). 56

Fig. 5. 2. Diagrama multielementos tipo *spider* de las composiciones de elementos traza para las formaciones del Grupo Tamatán. Cada formación fue normalizada con valores promedio de la corteza continental superior reportados en Taylor & McLennan (1985). **Nota:** la línea sombreada corresponde a las composiciones promedio del Grupo Tamatán y la línea naranja punteada en 1.0 a la corteza continental superior (UCC). 57

Fig. 5. 3. Diagrama de REE normalizado a condritas (Taylor & McLennan, 1985). **(a)** se muestra el promedio de todas las muestras analizadas, y la comparativa con valores promedios de Andesitas, Basaltos de Dorsales Oceánicas (MORB), de Compósito de Lutitas de Norteamérica (NASC), de lutitas pos-arqueanas de Australia (PAAS); la corteza continental (CC) y la Corteza Continental Superior (UCC; Taylor & McLennan, 1985). Notar que la distribución de los valores de Grupo Tamatán (patrón oscuro con puntos blancos) es relativamente similar a la UCC, NASC, PAAS. **(b)** Comparación de los promedios de la unidad más antigua (Fm. Cañón de Caballeros) y la más joven (Fm. Guacamaya) donde se aprecia una comparativa muy distinta. 60

Fig. 5. 4. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: Diagramas bivariados. **(a)** SiO_2– Al_2O_3 (después de Jenchen & Rosenfeld, 2007). **(b)** K_2O – Na_2O (después de Jenchen 2018a, b).....61

Fig. 5. 5. Diagrama ternario A-CN-K (aluminio-calcio + sodio-potasio) con los valores del índice de alteración química (CIA) (tomada de Nesbitt & Young, 1982, modificado por Jenchen, 2018). 63

Fig. 5. 6. Diagrama ICV vs CIA, se exhibe la intensidad del intemperismo y madurez de las formaciones del Grupo Tamatán (después de Long et al., 2012). 64

Fig. 5. 7. Diagrama bivariado que comparan las relaciones Zr/Sc vs Th/Sc de McLennan et al. (1993) modificado por Jenchen (2001). **Nota:** Las flechas punteadas delimitan la Tendencia 1, y la línea sin puntear la Tendencia 2. 65

Fig. 5. 8. Diagrama ternario Al_2O_3 – Zr – TiO_2, propuesto por García et al. (1994), donde se presenta la tendencia del sorteo hidráulico de los sedimentos clásticos del Grupo Tamatán. **Nota:** el campo punteado corresponde al promedio de rocas sedimentarias marinas (cf., García et al., 1994), cuyas relaciones TiO_2/Zr y Al_2O_3/TiO_2 corresponden a 0.0033 y 20, respectivamente.....66
Fig. 5. 9. Discriminación del área fuente del Grupo Tamatán. **(a)** Diagrama Th / Sc - Cr (Jenchen, 2018a), **(b)** Diagrama SiO_2/K_2O - Ti/Nb (Jenchen 2018a), **(c)** Diagrama K_2O / Na_2O - SiO_2 / Al_2O_3 (Jenchen, 2018a), **(d)** Gráficos ternarios Th-Co-Zr/10 y La-Th-Sc (Bhatia & Crook, 1986). 67
Fig. 5. 10. Asociación del ambiente tectónico y procedencia del Grupo Tamatán, **(a)** diagramas ternarios Th – Sc – Zr/10 y **(b)** La – Th – Sc (Bhatia & Crook, 1986). **(c)** diagrama de funciones discriminativas (Roser & Korsch, 1988). **(d)** diagrama bivariado Nb/Y – Zr/TiO_2 (Winchester & Floyd, 1977).....68
Fig. 5. 11. Columna estratigráfica local y parámetros geoquímicos que muestran las variaciones verticales en el Grupo Tamatán; **Nota:** línea UCC muestra la comparativa con el promedio de la corteza continental superior. SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/K_2O y K_2O/Na_2O (Jenchen, 2018a), CIA (Nesbitt & Young, 1982), Ti/Nb (Jenchen, 2001), Th/Sc y Zr/Sc (McLennan et al., 1993).....69

Fig. 6. 1. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CC64-04 de la Formación Cañón de Caballeros. 73
Fig. 6. 2. Diagrama de concordia e histograma de probabilidad relativa de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC64-04 de la Formación Cañón de Caballeros con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma. 73
Fig. 6. 3. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero.....75
Fig. 6. 4. Diagrama de concordia e histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes**: exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma. 75
Fig. 6. 5. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CP207-07 de la Formación Del Monte. 77
Fig. 6. 6. Diagrama de concordia e histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP207-07 de la Formación Del Monte con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma 77
Fig. 6. 7. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CP197-03 de la Formación Guacamaya. 79
Fig. 6. 8. Diagrama de concordia e histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP197-03 de la Formación Guacamaya con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma. 79
Fig. 6. 9. Diagrama bivariado de la mejor edad aparente con respecto a la relación U/Th de las formaciones que conforman el Grupo Tamatán (modificado de Weber et al., 2008). **Nota:** las mejores edades aparentes se encuentran en la **Tabla 20 a Tabla 27, Anexo.** 81
Fig. 6. 10. Comparación de datos de circón del Grupo Tamatán con rocas sedimentarias-metasedimentarias paleozoicas con posibles fuentes Gondwánicas. Además, se grafican las edades de cristalización de rocas ígneas, basamentos y protolitos. **Referencias**: Cuenca Tamatán (en este trabajo), Complejo Granjeno (Nance et al., 2007b; Barboza-Gudiño et al., 2011), Bloque Maya (Weber et al., 2006; 2007; 2008; Martens et al., 2010), Oaxaquia parte sur (Gillis et al., 2005), Bloque Mixteca (Sánchez-Zavala et al., 2004; Talavera-Mendoza et al., Vega-Granillo et al., 2007; Morales-Gámez et al., 2008).....82

Fig. 7. 1. Modelo esquemático simplificado sin escala de los posibles ambientes de depósito de la Cuenca Tamatán. Cabe señalar que las unidades de la cuenca fueron depositadas en distintos tiempos y cuencas (ver Capítulo 3).....84
Fig. 7. 2. Paleo-reconstrucción tectónica durante el Silúrico al Pérmico, la cuenca de Tamatán se ubica en el recuadrado en rojo (modificado de Nance et al., 2007a; 2012). 85
Fig. 7. 3. Sección esquemática simplificada que representa el depósito de la Formación Cañón de Caballeros en el Norte de Oaxaquia (Bloque Ciudad Victoria) y de la Formación Bladen del Bloque Maya (Martens et al., 2010), para el periodo Silúrico – Devónico Temprano. Las flechas en verde representan el aporte de las rocas fuente. Ver **Fig. 7. 6** para la localización de la sección.....87
Fig. 7. 4. Sección esquemática simplificada que representa los depósitos del Grupo Tamatán para el Carbonífero; cuando se depositan los sedimentos siliciclásticos marinos someros de la Formación Vicente Guerrero (Misisípico) y los depósitos de plataforma/talud proximal de la Formación Del Monte (Pensilvánico) en el Norte de Oaxaquia (Bloque Ciudad Victoria), También, la Formación Santa Rosa y Unidad Macal del Bloque Maya (en Chiapas y Belice; Weber et al., 2009; Martens et al., 2010). Cabe señalar, el inicio de la subducción que desarrolla un arco magmático y que da origen Riolita Aserradero (Stewart et al., 1999; Coombs et al., 2020; Ramírez-Fernández et al., 2021) y el metamorfismo del Complejo Granjeno (Barboza et al., 2011). Las flechas verdes representan el aporte del área fuente. Ver **Fig. 7. 6** para la localización de la sección.....90
Fig. 7. 5. Sección esquemática simplificada que representa los depósitos del Grupo Tamatán para el Pérmico. Durante este tiempo se depositaron los sedimentos turbidíticos marinos profundos de la Formación Guacamaya (Pérmico) en el Norte de Oaxaquia (Bloque Ciudad Victoria) y de la Formación Tuzancoa (Hidalgo; Rosales-Lagarde et al., 2005) y Grupo Santa Rosa del Bloque Maya (localidades de Chiapas y Belice; Weber et al., 2009; Martens et al., 2010). El Complejo Granjeno (Torres-Sánchez et al., 2015; 2017) es obducido mientras que se desarrolla un arco cordillerano que dura hasta el periodo Triásico (Arvizu et al., 2009; Coombs et al., 2020). Las flechas verdes representan el aporte de las rocas fuente. Ver **Fig. 7. 6** para la localización de la sección. 92
Fig. 7. 6. Modelo paleogeográfico de Silúrico a Pérmico reportado en los sedimentos del Grupo Tamatán (modificado de Miall & Blakey, 2008). (**a**) Margen pasivo del período Devónico temprano-Silúrico tardío, (**b-c-d**) Margen activo del período Carbonífero-Pérmico. **Nota:** La línea naranja **a-a'** muestra la ubicación de las secciones paleogeográficas de las **Fig. 7. 3 y Fig. 7. 5.**.....93

Fig. 9. 1. Mapa geológico-topográfico del área de estudio (modificado de Ramírez-Ramírez, 1992; Stewart et al., 1999). **Nota**: triángulos de colores indican la localización aproximada de los datos de rumbo y buzamiento de los estratos del Grupo Tamatán (parte superior). Cortes geológicos (parte inferior) *X – X'; Y – Y'* en Cañón de Peregrina, *Z – z – Z'* Cañón de Caballeros.....116

Fig. 9. 2. Columnas estratigráficas. **Nota:** La localización para cada sección se presenta en el mapa geológico de la **Fig. 9. 1. Abreviaciones: Sh =** lutita, limolita, lodolita **FS=** arenisca grano fino, **MeS** = arenisca grano medio**, CS=** arenisca grano grueso, **Cgl =** conglomerado. 117
Fig. 9. 3. Localización de las muestras de la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior). 133
Fig. 9. 4. Localización de las muestras de la Formación Vicente Guerrero (Misisípico). 136
Fig. 9. 5. Localización de las muestras de la Formación Del Monte (Pensilvánico). 144
Fig. 9. 6. Localización de las muestras de la Formación Guacamaya (Pérmico inferior). 155
Fig. 9. 7. Localización de las muestras de la Riolita Aserradero (Carbonífero). 164
Fig. 9. 8. Clasificación modal de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – R + Ch (Folk et al., 1970) y la dominación de los granos lítico Lv – Ls – Lm (Ingersoll & Suczek, 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, (**d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 166
Fig. 9. 9. Clasificación modal de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Q – F – L + Ch (Füchtbauer, 1988; modificado por Jenchen & Rosenfeld, 2002). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), (**b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 167
Fig. 9. 10. Clasificación modal de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – Lt (Garzanti, 2018). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, (**d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 168
Fig. 9. 11. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Marsaglia et al., 2007). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), (**b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 169
Fig. 9. 12. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Dickinson & Suczek, 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), (**b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 170
Fig. 9. 13. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Dickinson et al., 1983). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), (**b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 171
Fig. 9. 14. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Dickinson, 1985). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), (**b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 172
Fig. 9. 15. Área fuente de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qm – P – K (Dickinson & Suczek 1979). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), (**b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 173
Fig. 9. 16. Área fuente de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qp – Lv – Lm (Dickinson & Suczek 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), (**b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior. 174
Fig. 9. 17. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado SiO_2– Al_2O_3 (después de Jenchen & Rosenfeld, 2007). (a) Formación Guacamaya (Pérmico), (b) Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): (c) miembro superior, (d) miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (e) miembro superior, (f) miembro inferior 183
Fig. 9. 18. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O – Na_2O (después de Pettijohn, 1963). (a) Formación Guacamaya (Pérmico), (b) Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): (c) miembro superior, (d) miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (e) miembro superior, (f) miembro inferior. 184
Fig. 9. 19. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O – Na_2O (después de Jenchen 2018a). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior. 185
Fig. 9. 20. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ – $\log(Na_2O/K_2O)$ (Pettijhon et al., 1972). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior. 186
Fig. 9. 21. Asociación del ambiente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado SiO_2 – K_2O/Na_2O (Roser & Korsch, 1986). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior. 187
Fig. 9. 22. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O/Na_2O – SiO_2/Al_2O_3 (Roser & Korsch, 1986). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro

superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior. 188

Fig. 9. 23. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O/Na_2O – SiO_2/Al_2O_3 (después de Jenchen, 2018a). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....189

Fig. 9. 24. Intemperismo químico del Grupo Tamatán: diagrama ternario Na_2O+CaO – Al_2O_3 – K_2O (Nesbitt & Young, 1984 Fedo et al., 1995; modificado por Jenchen, 2018a). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....190

Fig. 9. 25. Posibles minerales de alteración del Grupo Tamatán: diagrama ternario $FeO+MgO$ – Na_2O+K_2O/CaO^* – Al_2O_3 (Englund & Jørgensen, 1973). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....191

Fig. 9. 26. Posibles minerales de alteración del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K – Th (Schlümberger, 1985). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....192

Fig. 9. 27. Composición del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado SiO_2/K_2O – Ti/Nb (Jenchen, 2018a). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....193

Fig. 9. 28. Transporte, reciclamiento y composición del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Zr/Sc – Th/Sc (McLennan et al., 1993). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....194

Fig. 9. 29. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama ternario Th – Sc – Zr/10 (Bhatia & Crook, 1986). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....195

Fig. 9. 30. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama ternario Th – Co – Zr/10 (Bhatia & Crook, 1986). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....196

Fig. 9. 31. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama ternario La – Th – Sc (Bhatia & Crook, 1986). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....197

Fig. 9. 32. Composición del área fuente y asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Hf – La/Th (Floyd & Leveridge, 1987). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....198

Fig. 9. 33. Composición del área fuente del Grupo Tamatán: patrones de tierras raras (REE) (Taylor & McLennan, 1985). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....199

Fig. 9. 34. Relación de las tierras raras pesadas (HREE) y anomalía de Eu del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Gd_N/Yb_N – Eu/Eu* (McLennan, 1990). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior. 200

Fig. 9. 35. Relación de la anomalía de Eu y relación Th/Sc del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Eu/Eu* –T h/Sc (McLennan, 1990). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....201

Fig. 9. 36. Relación de las tierras raras ligeras (LREE) y concentración de Cr del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado La_N/Sm_N – Cr* (McLennan, 1990). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior. 202

Fig. 9. 37. Composición del área fuente y asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Th/Sc – Cr (Jenchen, 2018a). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....203

Fig. 9. 38. Composición del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama de funciones discriminativas (Roser & Korsch, 1988). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.....204

Fig. 9. 39. Posible composición de las rocas del área fuente para los sedimentos del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Nb/Y – Zr/TiO_2 (Winchester & Floyd, 1977). (**a**) Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior)**: (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior. 205
Fig. 9. 40. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CC64-04 de la Formación Cañón de Caballeros. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots). 208
Fig. 9. 41. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CC64-04 de la Formación Cañóon de Caballeros. Elipses verdes: exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma. 209
Fig. 9. 42. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC64-04 de la Formación Cañóon de Caballeros con respecto a la media de las edades. 209
Fig. 9. 43. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Cañón de Caballeros, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018).....210
Fig. 9. 44. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots). 219
Fig. 9. 45. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero. **Elipses verdes**: exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma. 220
Fig. 9. 46. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero con respecto a la media de las edades. 220
Fig. 9. 47. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Vicente Guerrero, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018).....221
Fig. 9. 48. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CP207-07 de la Formación Del Monte. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots). 230
Fig. 9. 49. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CP207-07 de la Formación Del Monte. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma. 231
Fig. 9. 50. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP207-07 de la Formación Del Monte con respecto a la media de las edades. 231
Fig. 9. 51. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Del Monte, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018). 232
Fig. 9. 52. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CP197-03 de la Formación Guacamaya. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots). 241
Fig. 9. 53. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CP197-03 de la Formación Guacamaya. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma. 242
Fig. 9. 54. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP197-03 de la Formación Guacamaya con respecto a la media de las edades. 242
Fig. 9. 55. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Guacamaya, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018). 243
Fig. 9. 56. Diagrama bivariado de la mejor edad aparente con respecto a la relación ***(a)*** U/Th (modificado de Weber et al., 2008) y ***(b)*** Th/U (modificado de Martens et al., 2012) de las Formaciones que conforman el Grupo Tamatán. Notar como que no es muy precisa la relación Th/U puesto que todas la mayoría de las muestras del Grupo Tamatán se relacionaría con un origen ígneo. 243

Listado de tablas

Tabla 1. Listado de muestra, localización y método analítico empleado 118
Tabla 2. Datos de los rumbos y buzamientos de estratos medidos de diversos afloramientos del Grupo Tamatán en los Cañones de Caballeros y la Peregrina del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, noreste de México. 121
Tabla 3. Datos de las mediciones de rumbo y buzamiento de los contactos geológicos encontrados en el área de estudio. 125
Tabla 4. Redes estereográficas con las orientaciones de rumbo y buzamiento que comúnmente presentan los estratos sedimentarios del Grupo Tamatán del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Noreste de México. Nota: Líneas negras representan el promedio de los grupos de orientaciones para cada formación y los puntos respectivo polos. 126
Tabla 5. Parámetros contabilizados empleados en Folk et al., (1970), Dickinson & Suczek (1979), Dickinson et al., (1983), Arribas (2010). 127
Tabla 6. Datos del conteo de puntos. 127
Tabla 7. Porcentaje del conteo de puntos. 129
Tabla 8. Datos modales recalculados e índices ternarios. 131
Tabla 9. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Cañón de Caballeros. Nota: Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm. 133
Tabla 10. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Vicente Guerrero. Nota: Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm. 137
Tabla 11. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Del Monte. Nota: Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm. 144
Tabla 12. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Guacamaya. Nota: Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm. 155
Tabla 13. Fotomicrografías de la sección delgada de la Riolita Aserradero. Nota: Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm. 164
Tabla 14. Parámetros geoquímicos de las muestras de las Formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero. 175
Tabla 15. Parámetros geoquímicos de las muestras de las Formación Vicente Guerrero. 176
Tabla 16. Parámetros geoquímicos de las muestras de las Formaciones Vicente Guerrero y Del Monte. 177
Tabla 17. Parámetros geoquímicos de las muestras de la Formación Guacamaya. 178
Tabla 18. Estadísticas simples de los datos geoquímicos selectos de las muestras del Grupo Tamatán. 179
Tabla 19. Matriz de correlación entre elementos mayores y trazas de las muestras del Grupo Tamatán. Nota: recuedro con sombra gris, presenta los valores con mayor validez estadística a partir del valor crítico del coeficiente de correlación de Pearson publicado en Siegle (2015; Tablas de colores). En negrita se representa los valores más altos de correlación. 181
Tabla 20. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Cañón de Caballeros por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CC64-04, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 470240 E; 2631770 N. 206
Tabla 21. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013). 210
Tabla 22. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Vicente Guerrero por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CC54-14, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 4697720 E, 2632328 N. 217
Tabla 23. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013). 221
Tabla 24. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Del Monte por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CP207-07, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 473181 E, 2629063 N. 227
Tabla 25. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013). 232
Tabla 26. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Guacamaya por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CP197-03, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 474593 E, 2629044 N. 239
Tabla 27. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013). 244

Listado de abreviaciones

AHP = Anticlinorio Huizachal-Peregrina
AMCG = Anortosita, Mangerita, Charnockita, Granito
BCV= Bloque Ciudad Victoria
CC = Formación Cañón de Caballeros
CE = Granos carbonatados de extracuenca
cf., = consultar
CI = Granos carbonatados de intracuenca
CIA = Índice de Alteración Química
CIW = Índice de Meteorización Química
CL = Catodoluminisencia
cm = centímetros
CMC = Complejo Macizo de Chiapas
DM = Formación Del Monte
E =Este
Etc. = Etcétera
EUA = Estados Unidos de América
Fig. = Figura
fLQ **=** Cuarzolito-feldespática
Fm. / fms. = Formación / formaciones
fQL **=** Litocuarzo-feldespática
G = Formación Guacamaya
g = gramos
Ga = Gigaaño, unidad de tiempo equivalente a mil millones de años
HFSE = Elementos traza de alta carga iónica
HREE = Elementos de tierras raras pesadas
i.e., = es decir,
ICP-MS = Espectrometría de Masas con Plasma acoplado por inducción
ICP-OES = Espectrometría de Emisión Óptica con plasma acoplado por inducción
IVC = Índice de la Variabilidad Composicional
kg = kilogramos
lFQ **=** Cuarzo-feldespatolítica
LILE = Elementos traza de ion largo
LM = Líticos metamórficos
lQF **=** Feldespato-cuarzolítica
LREE = Elementos de tierras raras ligeras
LS = Líticos sedimentarios
Lv= Líticos Volcánicos
m = metros
Ma = Millones de años
Mi = Miembro Inferior
MORB = Basaltos de Dorsales Oceánicas
Ms = Miembro Superior
N= Norte
NASC = Composito lutíticos de Norteamérica
NCE **=** Granos sin carbonato de extracuenca
NE=Noreste
no., = número
NW= Noroeste
p.ej., = por ejemplo
PAAS = Lutita post-Arqueana Australiana
PIA = Índice de Alteración de la Plagioclasa
ppm = partes por millón
qFL = Litofeldespato-cuarzosa
qLF = Feldespatolíto-cuarzosa.
r = coeficiente de correlación
REE = Elementos de Tierras Raras
S= Sur
S1, S2, S3, S4, S5 = secciones de las columnas estratigráficas locales
SE= Sureste
SMO = Sierra Madre Oriental
SW= Suroeste
TTE = Elementos Traza de Transición
UANL = Universidad Autónoma de Nuevo León
UCC = Corteza Continental Superior
VG = Formación Vicente Guerrero
W= Oeste
X^{-} = Promedio
% vol = porciento del volumen total

Resumen

El Anticlinorio Huizachal-Peregrina (W de Cd. Victoria, Tamaulipas), comprende una amplia variedad de unidades que conforman el basamento Precámbrico – Paleozoico de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México. En particular, las unidades sedimentarias siliciclásticas sin metamorfismo del Silúrico al Pérmico (i.e., fms. Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya), son descritas en este trabajo como el Grupo Tamatán, que sobreyace estructuralmente al Complejo Metamórfico Novillo, el cual representa la extensión más al norte de microcontinente de Oaxaquia y en particular al Bloque Ciudad Victoria.

El objetivo de este estudio es el análisis de procedencia para el Grupo Tamatán, basado en nuevos datos petrográficos, geoquímicos de roca- total y datos de edad de circones detríticos por medio del sistema U-Pb mediante LA-ICP-MS, con el fin de generar información relevante para la postulación de un modelo conceptual integrador de procedencia-transporte-depósito.

Los resultados muestran que en el Grupo Tamatán dominan sedimentos clásticos-carbonatados asociados a depósitos de aguas someras hasta profundas. El análisis petrográfico revela una clasificación en la que predominan dos dominios petrográficos: ***(i)*** areniscas cuarzolito-feldespática y cuarzo-feldespatolítica (fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero), relacionados con una procedencia de Orogéno reciclado y ***(ii)*** areniscas feldespato-cuarzolítica y litofeldespato-cuarzosa (fms. Del Monte y Guacamaya), derivados de arcos magmáticos.

Los datos petrográficos y geoquímicos indican que el área fuente refleja: ***(a)*** una composición de rocas félsicas (riolíticas, graníticas), intermedias (andesitas/dioritas) y máficas; y ***(b)*** la operación de procesos sedimentarios involucra un intemperismo intenso a moderado y un transporte/reciclaje de alto a moderado.

Los datos geocronológicos del Grupo Tamatán exhiben tres poblaciones de edad de circones detríticos: ***(i)*** un grupo del Neo-Mesoproterozoico, que pueden derivarse de una fuente local de tipo Oaxaquia; las edades entre 1.5 – 1.6 Ga, sugieren al Bloque Maya como fuente plausible; ***(2)*** un grupo del Ordovícico-Silúrico, que es probable que provenga de las intrusiones ígneas del Bloque Maya y/o fuentes locales (i.e., Tonalita Peregrina del Ordovícico); y ***(3)*** un grupo Carbonífero-Pérmico, que puede estar relacionado a un magmatismo de un arco de este mismo periodo y asociado con el cierre diacrónico del Océano Réico. Un grupo de diez circones detríticos concordantes de la Formación Guacamaya sugieren una edad máxima de depósito de 283 Ma (Cisuraliano; Pérmico temprano), la cual es consistente con la edad estratigráfica.

Las concentraciones y las relaciones de elementos mayores, trazas y de tierras raras del Grupo Tamatán indican firmas geoquímicas relacionadas con un margen pasivo que evolucionó hacia un arco magmático dentro de una corteza continental.

La integración e interpretación conjunta de los datos generados en este trabajo indica que el Grupo Tamatán fue depositado en una cuenca de trasarco no reportada hasta ahora, en el Norte de Oaxaquia, localizada cerca del Bloque Maya a lo largo del margen NW de Gondwana, durante el cierre del Océano Réico y previo al ensamble final de Pangea.

Abstract

The Huizachal-Peregrina Anticlinorium in northeastern Mexico (Cd. Victoria, Tamaulipas) comprises a wide variety of Precambrian and Paleozoic basement units. This work includes Silurian-to-Permian sedimentary rocks (i.e., Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte, and Guacamaya formations) and describes them as the Tamatán Group. It structurally overlies the Novillo Metamorphic Complex, which represents the northernmost exposure of the Oaxaquia microcontinent, particularly the Ciudad Victoria Block.

This thesis aims to propose a new conceptual provenance-transport-deposit model for the Tamatán Group, based on new petrographic data and whole-rock geochemical data, and U–Pb LA-ICP-MS detrital zircon age data from these marine fossiliferous strata.

The results showed that the clastic and carbonate sediments mainly dominated the sucessions, which report development from shallow- marine to deep-water depositional conditions. Clastic successions split up into two petrographic domains: (i) feldspatho-litho-quartzose and litho-feldspatho-quartzose (Cañón de Caballeros and Vicente Guerrero formations), with a provenance from recycled orogen and (ii) litho-quartzo-feldspathic and quartzo-feldspatho-lithic sandstones derived from a magmatic arc (Del Monte and Guacamaya formations).

The analysis of the petrographic and geochemical data of the Tamatán Group indicates a derivation from: (a) felsic, intermediate, and basic rocks, and (b) an intense to moderate weathering, and high to moderate recycling of the source area.

The geochronological data can be organized into three main detrital zircon U–Pb age populations: (i) a Meso-Neoproterozoic group, likely derived from Oaxaquia and the Maya block, and which is also the probable source of 1.5–1.6 Ga zircon grains; (ii) an Ordovician–Silurian group that is likely sourced by igneous Maya Block intrusions or from local units such as the Ordovician Peregrina Tonalite; and (iii) Pennsylvanian and Permian zircons derive from magmatic arc-related intrusions from the diachronous Rheic closure. A group of ten concordant detrital zircons from the Guacamaya Formation suggest a maximum depositational age of 283 Ma (Cisuralian; Early Permian), which is consistent with the stratigraphic age.

Major, trace and rare earth concentration and ratios from the Tamatán Group indicate a passive margin that evolved into magmatic arc sources within the upper continental crust. The integration and interpretation of data generated in this work suggest that the Tamatán Group was deposited in a still unreported back-arc basin located in the northernmost part of Oaxaquia near the Maya Block along the northwestern Gondwanan margin during the closure of the Rheic Ocean before to complete assemblage of the Pangea.

1 Generalidades

1.1 Introducción

La posición de México ha sido ligeramente considerada en algunos modelos paleogeográficos del Paleozoico, por ejemplo en Cocks & Torsvik (2002); Torsvik & Cocks (2004) (**Fig.1.1)**, tomando en cuenta la información paleomagnética y paleontológica (Ziegler, 1981; Boucot, 1993; Cocks & Torsvik, 2002; Torsvik & Cocks, 2004; Domeier & Torsvik, 2014), en estos modelos se destacan:

(1) La separación de terrenos en la periferia del continente gondwánico (Torsvik & Cocks, 2011): ***(a)*** Avalonia-Carolina, Armórica, Tepla-Perúnica, ***(b)*** terrenos mexicanos (que incluyen a Oaxaquia, Mixteca y Maya) y bloque de Florida-Suwanee.

(2) El cierre progresivo de los océanos Iapetus y Ægir y el desarrollo de nuevos, como: el océano Ran que posterior se mezcla con el Réico, mar Tornquist y el Paleo-Tetis, etc. (Torsvik & Rehnström, 2003; Nance et al., 2012).

(3) Las extinciones paleozoicas de especies marinas (Berra & Angiolini, 2014): ***(a)*** finales del Ordovícico, extinción Hirnantiana (desaparición del 85% de especies, 61% en género y 12-24% de familias); ***(b)*** el evento a finales del Devónico (extinción del 50% en género y 19% en familias), caracterizado por una depositación restringida; estas, causadas por intensas glaciaciones y cambios eustáticos. Por último, ***(c)*** el evento del límite Pérmico-Triásico (extinción del 75-96% de especies), el cual no existe hasta al momento un consenso sobre las causas de esta extinción; sin embargo, se a propuesto un vulcanismo intenso producto por el impacto de un meteorito o por la liberación masiva de gases de inverandero desde el fondo oceánico (Burger et al., 2019).

(4) Las diversas colisiones de continentes y terrenos, con cierre diacrónico de océanos y desarrollo de grandes cinturones orogénicos (Cocks & Torsvik, 2002; Hatcher, 2002; Torsvik & Cocks, 2004; Murphy & Keppie, 2005; Franke et al., 2020; Nance et al., 2012**;** **Fig.1.1)**, por ejemplo: ***(a)*** Sudamérica con África (Gondwana), desarrollando la orogenia Pan-Áfricana (Neoproterozoico-Cámbrico), Europa con norte de África con desarrollo del orógeno Cadomiano (Neoproterozoico-Cámbrico***),*** ***(b)*** Laurussia con Avalonia-Báltica, con desarrollo de los orógenos Acadiano-Caledoniano (Ordovícico-Silúrico a Devónico) y Variscano ó Hercínico (Devónico al Pérmico), por cierre del océano Iapetus y el mar *Tornquist.* ***(c)*** Euroamérica (NE de Laurussia) con el SE de Asia (SE de Gondwana). ***(d)*** SE de Laurussia (conformado por Norteamérica-Avalonia-Carolina) con África (W Gondwana), y el desarrollo del orogéno Apalachiano (Carbonífero a Pérmico), por cierre del océano Réico y ***(e)*** SE de Norteamérica (Laurussia) con Sudamérica (NW de Gondwana), desarrollo del orogéno Ouachita-Maratón para formar Pangea (Pérmico Medio-Tardío), debido al completo cierre del océano Réico.

De forma particular, los terrenos tectonoestratigráficos mexicanos del Precámbrico al Paleozoico (los cuales representan en conjunto el basamento mexicano) pueden derivar de Laurussia, Gondwana o de bloques acrecionados posteriormente al desarrollo de Pangea (p.ej., Terreno Guerrero) (Campa & Coney, 1982; Sedlock et al., 1993; Dickinson & Lawton 2001; Ortega-Gutiérrez et al., 2018).

Autores como Centeno-García (2005) clasifican el basamento mexicano en terrenos con firmas isotópicas del: ***(a)*** Precámbrico al Paleozoico inferior, ***(b)*** Paleozoico superior y ***(c)*** Mesozoico.

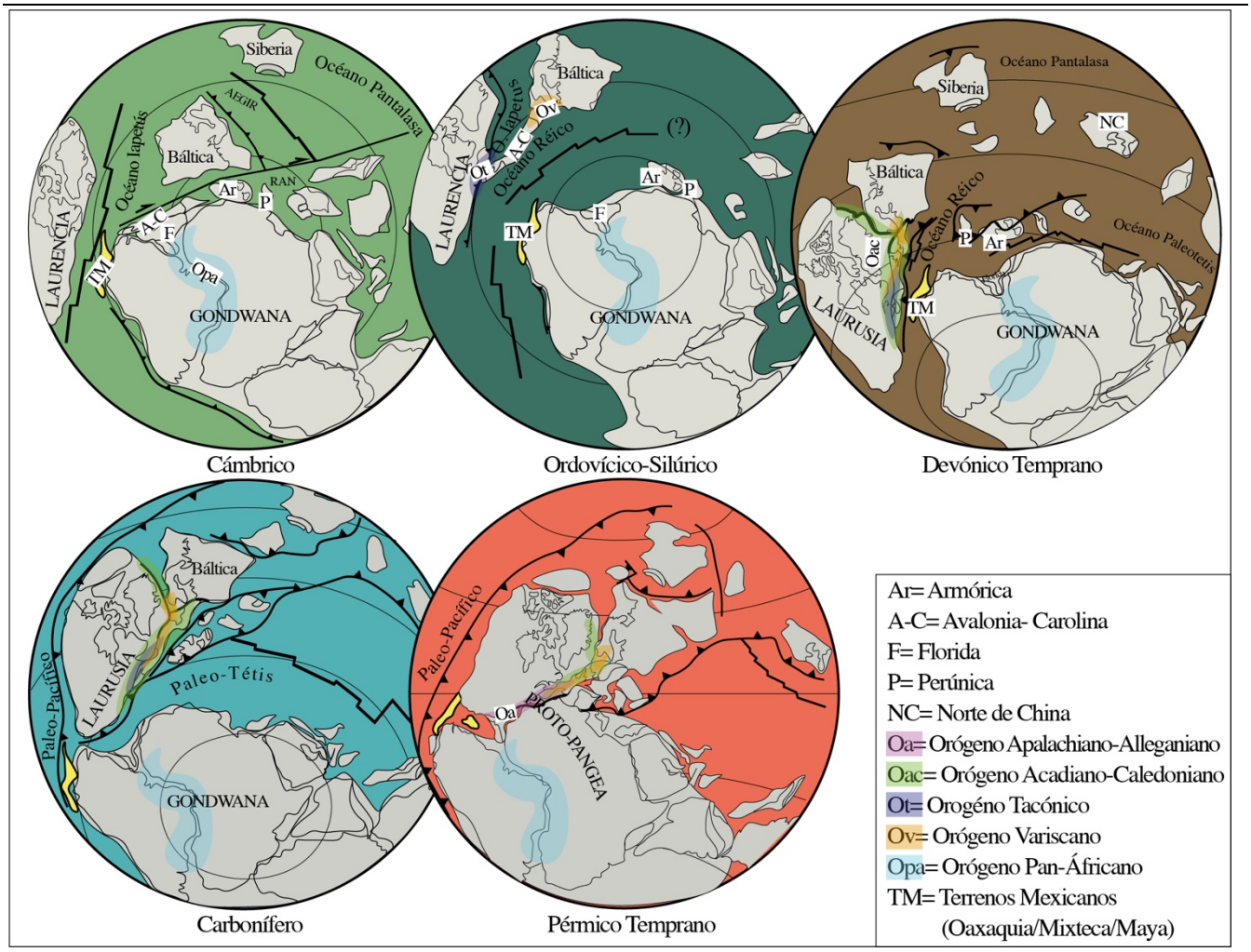


Fig.1.1. Reconstrucción paleogeográfica simplificada durante el Paleozoico (modificado de Cocks & Torsvik, 2002; Torsvik & Cocks, 2004). **Nota:** En amarillo los terrenos mexicanos (TM)

Ortega-Gutiérrez et al. (2018), propusieron una clasificación más detallada del basamento pre-Mesozoico de México, que incluye 11 sistemas metamórficos y más de 20 complejos individuales. Estos se agruparon en tres sistemas:

(i) *Sistemas paleo-proterozoicos*, incluyen los complejos Bamorí y Esquisto Pinal (en Chihuahua), interpretados como parte del SW de Laurussia.

(ii) *Sistemas meso-proterozoicos,* que incluyen rocas metamórficas de afinidad Grenviliana (en Chihuahua), asociados con el SW de Laurussia y los complejos metamórficos Novillo, Huiznopala (en Nuevo León y Hidalgo), Oaxaqueño, Guichicoví (Puebla y Oaxaca) y el complejo El Triunfo (Chiapas), asociado a Oaxaquia e interpretados como un terreno peri-Gondwánico.

(iii) *Sistemas paleozoicos,* que incluyen el sistema Ouachita asociado en la parte sur de Laurussia, el complejo Granjeno-Acatlán, el complejo Juchatengo, el complejo milonítico de Juárez y el Macizo de Chiapas, definidos en los terrenos Sierra Madre-Huastecano, Mixteco, Cuicateco y Maya.

Las sucesiones sedimentarias comúnmente afloran sobreexpuestas sobre estos sistemas metamórficos (Sánchez-Zavala et al., 1999). En general, ocurren como afloramientos puntuales y esporádicos, cuya edad y origen varía.

El intervalo estratigráfico más completo reportado (i.e., del Paleozoico inferior al superior) se localizan en los estados de Chihuahua y Sonora, y se relacionan con la parte sur de Laurussia (Sánchez-Zavala et al., 1999). Las rocas sedimentarias con intervalos de edad más restringidos (del Paleozoico medio al superior), con excepción del estado Oaxaca (p.ej., Fm. Tiñú; Murphy et al., 2005), afloran en Coahuila, Tamaulipas, Hidalgo y Chiapas (Sánchez-Zavala et al., 1999), siendo caracterizados por una mayor afinidad gondwánica (**Fig. 1. 2**).

Es importante señalar que, debido a la escasez de datos sobre la procedencia, en la mayoría de las reconstrucciones paleogeográficas, se omiten interpretaciones de la localización y el tipo de cuencas paleozoicas de las diversas sucesiones sedimentarias (p.ej., **Fig.1.1**). En particular, las formaciones Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya que afloran en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina (AHP), sobreyace discordante a un basamento cristalino, conformado por los complejos Novillo, Granjeno y cuerpos ígneos (p.ej., Tonalita Peregrina; **Fig. 1. 3; Fig. 1. 4**). Este conjunto constituye el basamento de los terrenos Sierra Madre y parte de Oaxaquia (Ortega-Gutiérrez et al., 2018; **Fig. 1. 2**). Usualmente, el terreno Sierra Madre (i.e., Complejo Granjeno) y Oaxaquia (i.e., Complejo Novillo), se han considerado como bloques independientes (p.ej., Campa & Coney, 1983; Ortega-Gutiérrez et al., 2018). Sin embargo, en este trabajo se ha preferido considerarlos como un solo bloque, denominado Norte de Oaxaquia al conjunto de unidades Precámbricas-Paleozoicas y específicamente incluso para el basamento del Anticlinorio Huizachal-Peregrina se ha descrito como Bloque Ciudad Victoria (BCV; Ramírez-Fernández et al., 2021). De acuerdo a las afinidades tectónicas de los diversos complejos sugieren una relación autóctona entre sí (cf., Barboza-Gudiño et al., 2011; Torres-Sánchez et al., 2015; 2017; Alemán-Gallardo et al., 2019 a, b).

El registro paleontológico del Paleozoico sedimentario del BCV indica que la Formación Cañón de Caballeros (la unidad más antigua) fue depositada a lo largo del margen NW de Gondwana durante el Paleozoico medio (Stewart et al., 1999). Debido a la presencia de fauna de braquiópodos norteamericanos, las formaciones carboníferas-pérmicas posiblemente se acumularon en zonas próximas a Laurussia, lo que indica una migración durante el Paleozoico Tardío (Boucot et al., 1997). Por lo tanto, la posición de la cuenca de manera adyacente a los terrenos peri-Gondwánicos mexicanos es una hipótesis plausible.

Trabajos previos sobre rocas sedimentarias - metasedimentarias paleozoicas registradas en la parte centro-sureste de México (Talavera-Mendoza et al., 2005; Rosales-Lagarde et al., 2005; Weber et al., 2006) y en zonas adyacentes, como Centroamérica (Martens et al., 2010) y norte de Sudamérica (terrenos de Venezuela-Colombia; van der Lelij et al., 2016; Tazzo-Rangel et al., 2018), revelan fuentes magmáticas-metamórficas similares a las de los terrenos peri-Gondwánicos mexicanos (p. ej., Mixteco, Sur de Oaxaquia y el Bloque Maya; Kirsch et al., 2012; Keppie & Ortega-Gutíerrez 2012), como de Gondwana en el Paleozoico Medio (p.ej., Restrepo-Pace et al., 1997). Estas observaciones corroboran la cercanía de las cuencas sedimentarias a la margen NW de Gondwana.

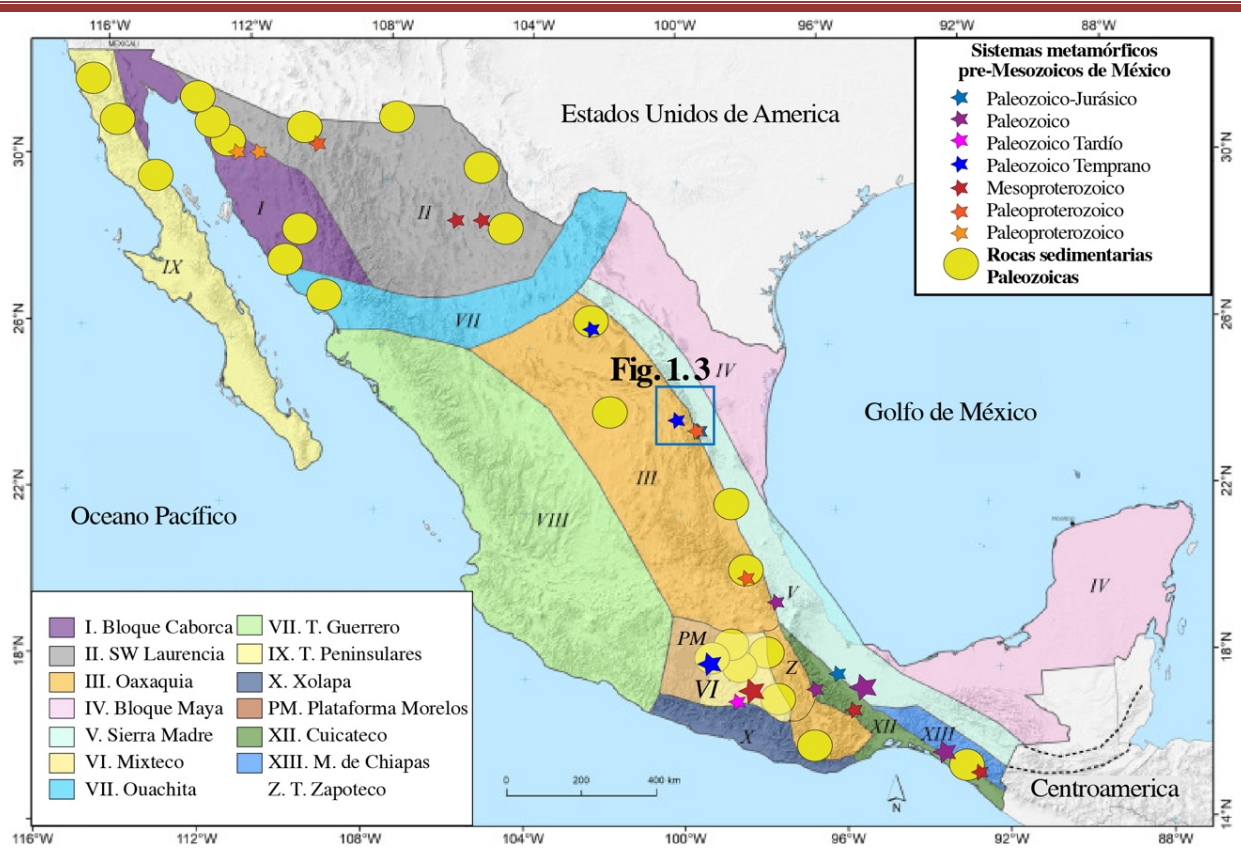


Fig. 1. 2. Mapa simplificado de la subdivisión por terrenos tectonoestratigráficos de México. Las estrellas de colores muestran los diferentes sistemas metamórficos y los óvalos amarillos la localización de los afloramientos sedimentarios del Paleozoico (modificado de Sánchez-Zavala et al., 1999; Ortega-Gutiérrez et al., 2018).

El análisis de procedencia permite elucidar la evolución tectónica de la cuenca paleozoica del BCV y la subsecuente migración hacia Laurussia, constriñendo la afinidad e interacción de Laurussia, Gondwana y de los terrenos peri-Gondwánicos hasta el cierre continuo del océano Réico

En esta tesis[1], se reportan nuevos datos de petrografía, geoquímica de roca total y edades U-Pb (ICP-MS) en circón detrítico para las sucesiones clásticas de grano grueso a fino **(Fig. 1. 3**). Se generó un nuevo modelo tectónico sobre la evolución del margen NW de Gondwana durante el Paleozoico.

[1] La mayoría de los datos presentados de la presente tesis están publicados en:

- Casas-Peña, J.M., Ramírez-Fernández, J.A., Velasco-Tapia, F., Alemán-Gallardo, E.A., Augustsson, C., Weber, B., Frei, D., & Jenchen, U. (2021): Provenance and tectonic setting of the Paleozoic Tamatán Group, NE Mexico: Implications for the closure of the Rheic Ocean. – Gondwana Research, **91**: 205-230. – [doi: 10.1016/j.gr.2020.12.012]
- Casas-Peña, J.M., Ramírez-Fernández, J.A., Velasco-Tapia, F., Alemán-Gallardo, E.A., Augustsson, C., Weber, B., Frei, D., & Jenchen, U. (2021): Petrological, geochemical (major, trace, and rare earth elements), and U–Pb zircon data of the Tamatán Group, NE Mexico. – Data in Brief (doi: 10.1016/j.dib.2021.106846).
- Casas-Peña, J.M., Ramírez-Fernández, J.A., Velasco-Tapia, F., Alemán-Gallardo, E.A., Augustsson, C., Weber, B., Frei, D., & Jenchen, U. (2021): Complete data set of petrological, geochemical (major, trace, and rare earth elements), and U–Pb zircon analysis from the Tamatán Group, NE Mexico. – Mendeley Data, **V1**, doi: 10.17632/wbzzy6hcgj.1. – [doi: 10.17632/wbzzy6hcgj.1]

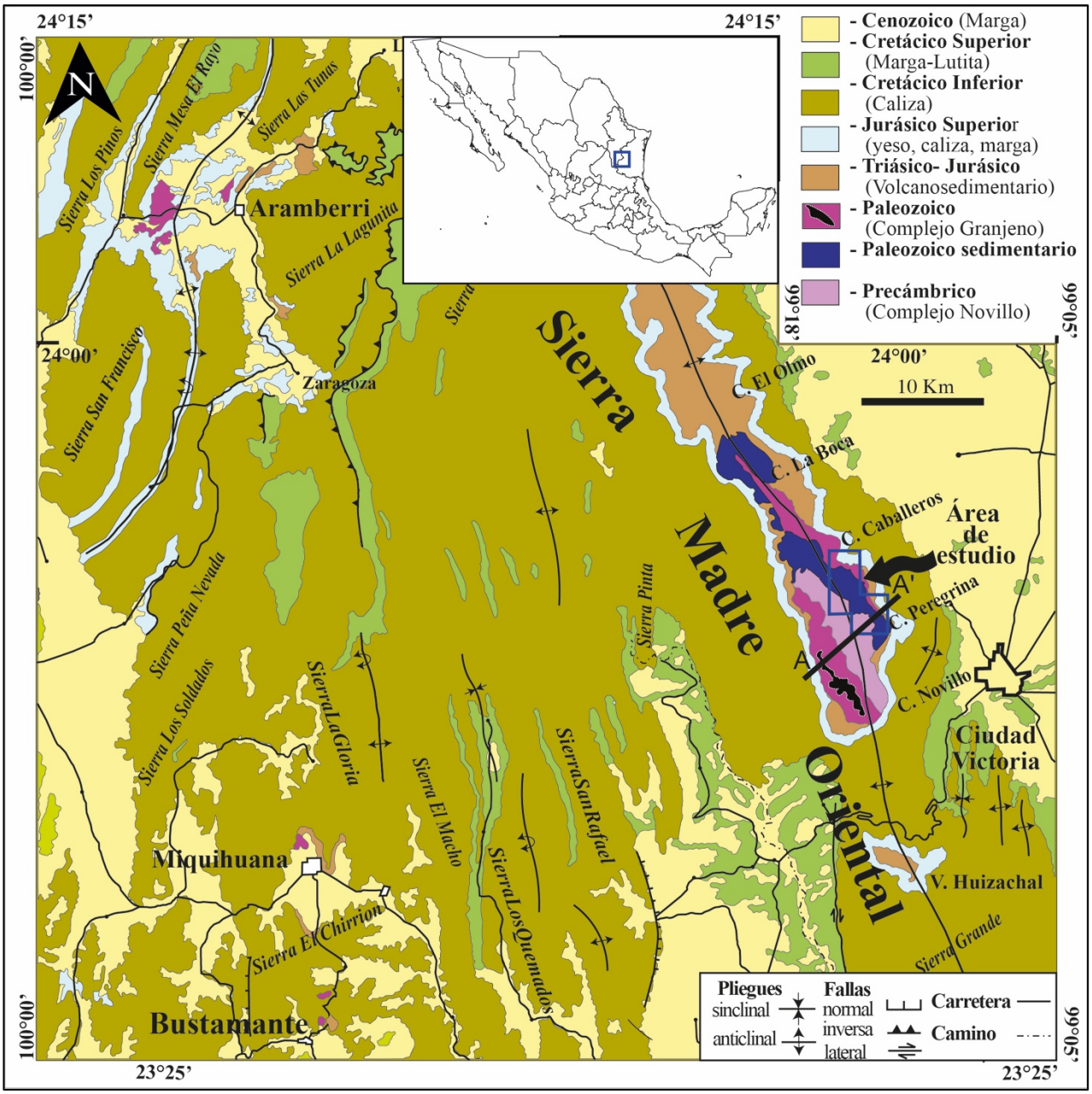


Fig. 1. 3. Afloramientos del basamento cristalino del noreste de México (modificado de Barboza-Gudiño et al., 2011). **Nota:** Los recuadros azules muestran las áreas de estudio.

1.2 Localización del área de estudio

El Grupo Tamatán se localiza en la parte noreste de México, dentro del estado de Tamaulipas, hacia el noroccidente de Ciudad Victoria **(Fig. 1. 3).** Los afloramientos se exponen en el núcleo de un anticlinal desventrado de la Sierra Madre Oriental (SMO; **Fig. 1. 4).**

El Anticlinorio Huizachal-Peregrina (AHP), presenta una tendencia NNW-SSE y es cortada transversalmente de N a S por diversos cañones que dan acceso al basamento pre-Mesozoico del noreste de México.

En particular, el Grupo Tamatán aflora en los cañones de Caballeros y la Peregrina. El Cañón de Caballeros está localizado a lo largo del arroyo Santa Ana que cuadra dentro de las coordenadas **23°47.7'** a **23°49.2'N**, y

99º16.8' a **99º18'W.** El acceso a este cañón se efectúa a través de la carretera interejidal Cd. Victoria- Santa Engracia en el km 12±200 y posterior al ejido de Santa Ana.

El acceso al Cañón de la Peregrina es a través de la carretera interejidal km 4, en dirección hacia a Santa Engracia hasta alcanzar el Ejido "La Libertad", posterior al parque los Troncones y sobre el arroyo principal San Felipe. Esta zona se encuadra en las coordenadas **23º46.2'** a **23º47.4'N** y **99º14.7'** a **99º16.5'W.**

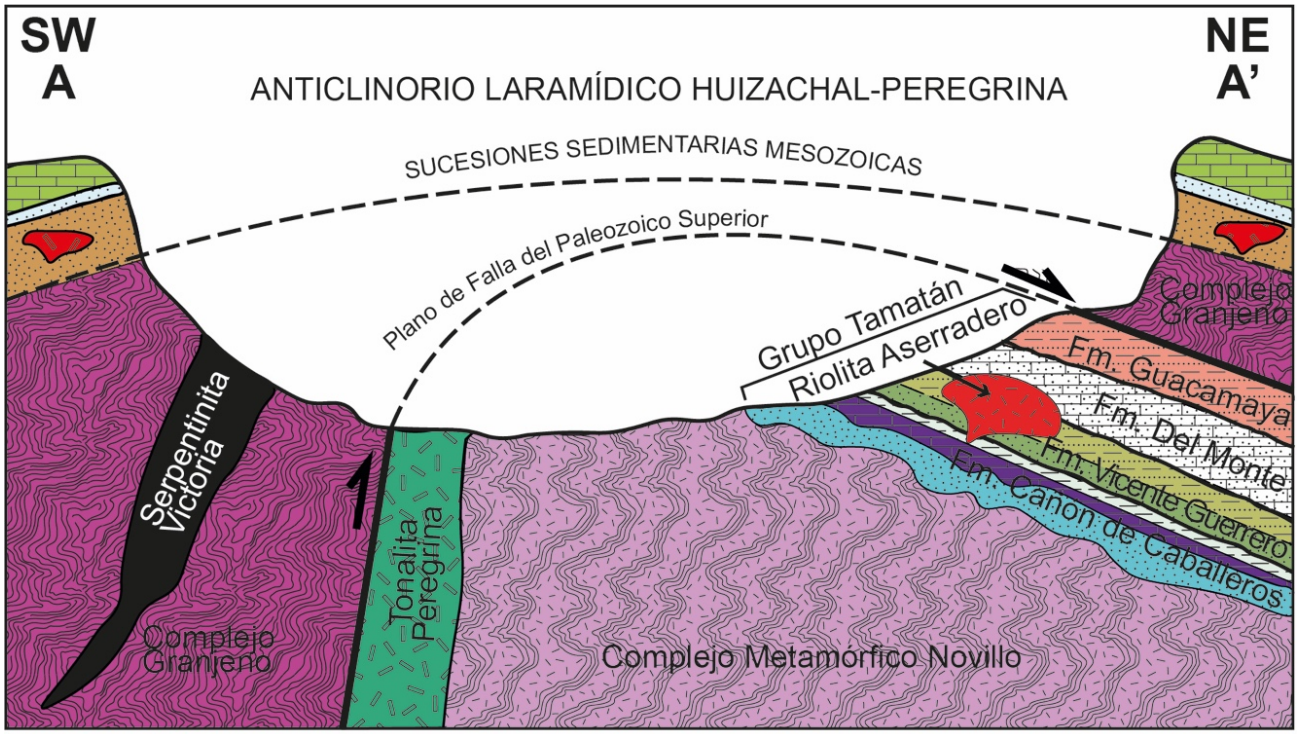


Fig. 1. 4. SW-NE Sección transversal A – A' (sin escala) del núcleo del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (modificado de Alemán-Gallardo et al., 2019a). Para la orientación del perfil geológico, **Fig. 1. 3.**

1.3 Antecedentes

Establecer el origen del Paleozoico sedimentario del NE de México en el AHP es una pieza clave para entender la evolución geológica del NE de Gondwana. No obstante, la mayoría de los estudios sobre estas unidades se ha enfocado en la estratigrafía y la paleontología.

Girty (1926): estudio pionero en documentar las sucesiones sedimentarias del Carbonífero a partir de fauna de braquiópodo del Misisípico, entre las que destacan los géneros*: Syringothyris, Reticularia* y *Athyris lamellosa*. Mencionando su similitud con la fauna fósil del sur de Estados Unidos, y por tanto del Sur de Laurussia.

Carrillo-Bravo (1961): documentó la presencia de rocas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas en el AHP. Se reconoció por primera vez rocas sedimentarias de edad silúrica y con base a características lito-bioestratigráficas se proponen siete formaciones: ***(1)*** Cuarcita La Presa, ***(2)*** Cañón de Caballeros, ***(3)*** Vicente Guerrero, ***(4)*** Conglomerado Naranjal, (***5)*** Del Monte, (***6)*** Caliza Victoria y ***(7)*** Guacamaya.

Ramírez-Ramírez (1978): re-interpretó la geología del AHP profundizando en las relaciones estratigráficas, sobre aspectos del origen y proponiendo que el complejo granulítico Novillo representa el basamento continental del NE de México. El autor sugirió que las rocas sedimentarias paleozoicas eran el resultado de transgresiones

marinas sobre el basamento continental a partir del Silúrico. Según él, el desarrollo de la región involucró dos fases tectónicas. La primera dio lugar al metamorfismo regional y la segunda que controló la evolución paleozoica del NE mexicano. En este trabajo, se propone además la presencia de un presunto arco insular teniendo como evidencia un cuerpo metasedimentario denominado como Esquisto Granjeno.

Gursky & Ramírez-Ramírez (1986): reportaron la presencia de material volcánico ácido (riolita y riodacita) denominado Novaculita La Yerba que yace dentro de las sucesiones paleozoicas en el Cañón de Caballeros.

Gursky & Michalzik (1989): Su estudio se enfocó en la formación Guacamaya del Pérmico inferior, reportando más de 1260 m de espesor de la sucesión turbidítica en el cañón de Peregrina. La unidad está constituida primordialmente por areniscas y lutitas, menormente por conglomerados, que incluyen fragmentos carbonatados e ígneos y, en menor escala, metamórficos. Los autores propusieron que el depósito tuvo lugar en una cuenca de tipo antearco (*forearc)*.

Ramírez-Ramírez (1992): en su tesis doctoral efectuó un reconocimiento exhaustivo sobre los cañones que cortan perpendicularmente al AHP (cañones Novillo, La Peregrina y Caballeros), describiendo la litologías pre-mesozoicas y aplicando métodos de petrografía-geoquímica-geocronología. El autor concluyó que: ***(a)*** el Gneis Novillo estuvo relacionado a la orogenia Grenvilliana, ***(b)*** las rocas metamórficas de grado bajo fueron atribuidas a remanentes de sistema orogénico como el cinturón Ouachita-Maratón, ***(c)*** la secuencias sedimentarias silúricas-pérmicas son similares a localidades cercanas al frente orogénico de Ouachita en México (Chihuahua) y ***(d)*** que los paquetes mesozoicos están relacionados con la apertura del Golfo de México.

Gursky (1994): propuso, con base en la lito-bioestratigrafía, propuso un modelo sobre el ambiente depositacional y la paleogeografía de las sucesiones sedimentarias paleozoicas. Describió ambiente de depósito somero para las rocas carbonatadas-clásticas de edad Silúrico-Devónico, mientras que para las unidades clásticas con intercalaciones finas de edad carbonífera-pérmica las asoció a un ambiente profundo. Así mismo, mencionó la similitud de estas rocas con los sistemas clásticos del cinturón Ouachita en los Estados Unidos. Esto implicaría que estas áreas estaban muy cerca del antiguo continente de Laurussia y que los sedimentos detríticos representan el relleno de cuencas cercanas al margen de Laurussia y Gondwana al oeste del Paleo-Tetis.

Boucot et al. (1997): reportaron que la fauna Silúrica de braquiópodos de las rocas siliciclásticas del AHP mostraba una afinidad del norte de Sudamérica o de la Provincia Euorpea (NW de Gondwana) y no con los de Norteamérica (Laurencia/ Laurussia). Este es uno de los principales trabajos en mencionar la cercanía que tendrían los paquetes silúricos del AHP con Sudamérica. En contraste, los autores señalaron que los sedimentos carboníferos contienen faunas asociada a Norteamérica.

Stewart et al. (1999): propusieron una nueva nomeclatura para el Paleozoica del AHP añadiendo miembros litológicos y simplificándola a cuatro formaciones: ***(1)*** Cañón de Caballeros***, (2)*** Vicente Guerrero, ***(3)*** Del Monte y ***(4)*** Guacamaya. Un cuerpo volcánico ácido de 334 ±34 Ma, denominado Riolita Aserradero (anteriormente, Formación La Yerba), fue reportado en el estudio. Los autores reafirmaron la relación de la

cuenca con la NW de Gondwana y su migración hacia Laurussia. Este trabajo representa la base fundamental para este trabajo.

Sour-Tovar & Martínez-Chacón (2004): estudiaron las faunas paleozoicas no solo de la región NE de México, sino también del Sureste. Se reconocen cuatro nuevas especies de braquiópodos del suborden *Chonétoides* del periodo Carbonífero en México. Estos incluyen ejemplares de: ***(a)*** *Yagonia collinsoni* en la Formación Vicente Guerrero (Misisípico), en el Cañón La Peregrina, Tamaulipas; y ***(b)*** anóplido *Tornquistia sp.,* los rugosochonétidos *Neochonetes (N.) granulifer (Owen)* y *Neochonetes (N.) mixteco n. sp.,* en la Formación Ixtaltepec (Pensilvánico Inferior), Oaxaca. Los autores señalaron que se observan características paleoestratigráficas afines a Norteamérica, aunque también existe evidencia de relación con Australia y Sudamérica.

Sour-Tovar et al. (2005): se enfocaron en el análisis paleontológico de braquiópodos encontrados en la Formación Vicente Guerrero (Misisípico inferior), algunos anteriormente estudiados por Boucot et al. (1997): *Lamellosathyris lamellosa, Cleiothyridina cf. tenuilineata, Camarophorella sp., Alispirifer tamaulipensis n. sp.* (Sour-Tovar et al., 2005)*, Tylothyris? sp., Torynifer pseudolineatus, Syringothyris cf. typa, Syringothyris? sp.,* y *Punctospirifer sp*. Los autores señalan que esta es una fauna típica a la observada en el SE de México (Oaxaca), por lo que deducen una afinidad a Norteamérica.

Alemán-Gallardo et al., (2019a): caracterizaron la geoquímica y la geocronología de uno de los cuerpos graníticos del basamento definiendo una edad del Katiense de 449± 3 Ma. Además, de discutir la relación con cuerpos magmáticos Ordovícicos del sur de México, Centroamérica y del occidente de Sudamérica. Estos mismos autores acuñaron de manera informal el término de 'secuencia Tamatán'[2].

Ramírez-Fernández et al. (2021): caracterizaron la geoquímica y la geocronología de la Riolita Aserradero del Grupo Tamatán del BCV, definiendo una edad del Misisípico Temprano a Medio de 348 ± 3 Ma y 340 ± 3.6 Ma. Los autores mencionan que la relación de la riolita y otros cuerpos magmáticos carboníferos (de Oaxaquia, Mixteco, Maya, Planicie costera del Golfo) representan una etapa temprana de un arco pre-colisional peri-gondwánico del Carbonífero-Pérmico.

1.4 Planteamiento del problema

Como se ha mencionado, la migración de Gondwana hacia Laurussia durante el Paleozoico produjo la generación márgenes divergentes, activos y colisiones. Estos fenómenos se reflejaron en diversos sistemas de arcos, complejos metamórficos, sistemas depocéntricos sedimentarios y orogenias (**Fig.1.1**). Los sedimentos de los diferentes sistemas depocéntricos paleozoicos documentados en la parte NE de México yacen discordantemente sobre rocas metamórficas e ígneas, que en asociación conforman el basamento pre-Mesozoico

[2] Las sucesiones sedimentarias paleozoica o secuencia Tamatán. Para este trabajo serán referidos como **Grupo Tamatán,** al conjunto de cuatro formaciones semi-continuas***: (i)*** Formaciones Cañón de Caballeros***, (ii)*** Vicente Guerrero***, (iii)*** Riolita Aserradero, ***(iv)*** Del Monte y ***(vi)*** Guacamaya.

del NE mexicano. Estos conjuntos caracterizan a los terrenos tectonoestratigráficos y forman parte importante de la evolución paleogeográfica de México (**Fig. 1. 2**).

La problemática de los modelos paleogeográficos previos es que no han considerado a los depósitos sedimentarios paleozoicos que afloran en la parte NE de México. De forma particular, existe incertidumbre en la interpretación de los sedimentos del Grupo Tamatán, ya que no se ha establecido con claridad el tipo de cuenca de depósito y su localización paleogeográfica. Algunos autores (p. ej. Gursky & Mickalzik, 1989; Torres-Sánchez *et al.,* 2015; 2017; 2021), han propuesto que la cuenca Tamatán está asociada a un sistema tipo antearco (forearc). Mientras que otros (p. ej., Alemán-Gallardo et al., 2019a), sugieren un sistema tipo trasarco (back-arc). Ambos modelos localizan a la cuenca Tamatán aparentemente en la margen NW de Gondwana durante el fin del Paleozoico.

El presente estudio plantea aportar información que ayude a entender los factores que intervienen en la génesis, procesos sedimentarios, tipo de cuenca, ambiente tectónico y área fuente de este paquete siliciclástico. Además, permitirá proveer un modelo actualizado de las sucesiones sedimentarias del Paleozoico del basamento de la Sierra Madre Oriental.

1.5 Justificación

Sobre el Grupo Tamatán se pueden hacer las siguientes consideraciones:

1. Se requiere un modelo que integre la evaluación mineralógica-geoquímica-geocronológica (procedencia, edad, transporte, diagénesis) de los sistemas clásticos y la relación de la cuenca perteneciente.
2. Se requiere un modelo paleogeográfico en conexión con el basamento cristalino del Norte de Oaxaquia.
3. ¿Cuál es la posición del área de trabajo entre los antiguos continentes Laurussia y Gondwana?
4. Cuales factores controlan la cuenca paleozoica en NE de México.

Esta tesis tiene como finalidad generar un modelo integral del desarrollo paleogeográfico del Paleozoico para el NE de México.

1.6 Hipótesis

El Grupo Tamatán (fms. Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte, y Guacamaya), cuenta con características sedimentológicas de una cuenca sedimentaria compleja cuyas unidades pueden estar relacionada a una cuenca de tipo antearco o trasarco durante el Paleozoico, que se ubica cercano a los terrenos peri-Gondwánicos mexicanos en la margen noroccidental de Gondwana.

1.7 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es interpretar las características geológicas, petrográficas, geoquímicas y geocronológicas en términos de procedencia, ambiente tectónico y tipo de cuenca de las formaciones del Grupo Tamatán. Para postular un modelo integral sobre el desarrollo de la cuenca Tamatán, tomando en consideración el

basamento cristalino precámbrico-paleozoico, así como el desarrollo temporal y espacial de otras cuencas paleozoicas de México.

1.8 Metas

- Cartografiar y levantar secciones estratigráficas.
- Analizar petrológicamente (microscopía, geoquímica, geocronología) las unidades estratigráficas.
- Determinar el ambiente tectónico, por medio de petrografía sedimentaria y geoquímica de elementos mayores y trazas.
- Determinar la procedencia, por medio de petrografía sedimentaria y geoquímica de elementos mayores y trazas.
- Determinar las áreas fuentes, por medio de geoquímica inorgánica y geocronología de U-Pb en circones detríticos.
- Integrar e interpretar la información geológica, estratigráfica, mineralógica, geoquímica y geocronológica.

1.9 Materiales y metodología experimental

1.9.1 Trabajo de Campo

El trabajo de campo se llevó a cabo a lo largo del arroyo Santa Ana en el Cañón de Caballeros y a través del río San Felipe en el Cañón de la Peregrina (**Fig. 1. 3**. Se cartografió las diversas unidades del Grupo Tamatán basado en las cartas geológicas-mineras F14-A29 (1:50,000) del Servicio Geológico Mexicano y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Además de los mapas geológicos propuestos en Ramírez-Ramírez (1992) y en Stewart et al. (1999). Se documentó la litología y las características sedimentológicas según Tucker (2011). Los estructurales (**Tabla 1 a Tabla 4, Anexo**), se tomaron con una brújula Brunton, siguiendo el criterio de la mano derecha para estructuras planares. Las secciones estratigráficas se midieron con base en las descritas por Carrillo-Bravo (1961) y Ramírez-Ramírez (1992). Se examinaron partes locales de las localidades tipo, así como afloramientos claves.

Las cinco secciones estudiadas representan ~ 260 m de espesor distribuidas de la siguiente forma (**Fig. 3. 1**; **Fig. 3. 2** y **Fig. 9. 1; Fig. 9. 2**, **Anexo)**:

- **Sección 1** (S1, 40 m de espesor), incluye la Formación Guacamaya en el arroyo San Felipe y sobre el camino paralelo al arroyo del Cañón Peregrina.
- **Sección 2** (S2, 40 m de espesor total), incluye los miembros inferior y superior de la Formación Vicente Guerrero y parte de la Formación Del Monte, cercano al Rancho Vicente Guerrero.
- **Sección 3** (S3, 20 m de espesor), corresponden al miembro inferior y el miembro carbonatado Santa Ana de la Formación Cañón de Caballeros, así como del miembro inferior de la Formación Vicente Guerrero expuesto sobre el sendero de la Cuchilla La Yerba.
- **Sección 4** (S4, 50 m de espesor), incluye los miembros inferior y superior de la Formación Cañón de Caballeros sobre el camino a la mina de talco y al miembro inferior de la Formación Vicente Guerrero hacia ~ 400 m hacia al oeste del Rancho Aserradero, en el Cañón de Caballeros.

- **Sección 5** (S5; 110 m de espesor), incluye las formaciones Del Monte y Guacamaya expuestas sobre el río Santa Ana en el Cañón de Caballeros.

Se recolectaron un total de 117 muestras del Grupo Tamatán, entre las cuales 105 son de conglomerado, arenisca, limolita y calcoarenita, 11 rocas de caliza (mudstone/grainstone) y una muestra de riolita. Para este estudio fueron consideradas solamente las rocas detríticas para una mayor información respecto al área fuente. En la **Tabla 1, Anexo** se ofrece una descripción detallada del muestreo. Además, se documentan las microfotografías de las rocas carbonatadas y riolíticas pertenecientes al Grupo Tamatán (**Fig. 9. 3** a **Fig. 9. 7**; **Anexo**).

1.9.2 Análisis Petrográfico

Para el análisis petrográfico se recolectaron 48 muestras de grano grueso-medio y 23 muestras de grano fino. Las muestras de roca fueron procesadas para la elaboración de secciones delgadas, siguiendo los procedimientos del laboratorio de preparación de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Las secciones delgadas fueron documentadas, utilizando un microscopio óptico de polarizado Leica MC170HD con una cámara HC FL PLAN 2.5 x 0.07; cada muestra fotografiada en Nicoles paralelos y cruzados (**ver Tabla 9 a Tabla 12, Anexo**). Se contabilizaron entre 400-600 puntos según la metodología Gazzi-Dickinson (cf., Ingersoll et al., 1984) adaptado en Zuffa (1980; 1985) y modificado por Arribas (2010), donde el esquema de clasificación es ampliado e incluye granos definidos como extracuenca no carbonatados (NCE), carbonatados (CE) y carbonatados de intracuenca (CI) **Tabla 5, Anexo**. La composición modal y los parámetros estadísticos del conteo de puntos de las modas detríticas del Grupo Tamatán, se establecieron en diversos esquemas petrográficos de procedencia de acuerdo con las metodologías reportadas por Ingersoll & Suczek (1979), Dickinson & Suczek (1979), Dickinson et al. (1983), Dickinson (1985), Tortosa et al. (1991), Garzanti (2018). De manera comparativa las muestras del Grupo Tamatán fueron adaptados a gráficos clasificatorios adicionales que se ilustra en la **Fig. 9. 8** a **Fig. 9. 16 del Anexo** (p.ej. Folk et al., 1970; Füchtbauer, 1988; Marsaglia et al., 2007). Los parámetros estadísticos de conteo fueron recalculados y para más detalle se aplicaron intervalos de confianza del 95 % y el 99% por medio del método t-Student (Borradaile, 2003), los cuales fueron trazados en tonos ópticamente distintos (**Tabla 5 a Tabla 8, Anexo).**

1.9.3 Análisis Geoquímico

Para llevar a cabo el análisis geoquímico, un total de 70 muestras del Grupo Tamatán fueron preparadas en el laboratorio de molienda de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Se llevó a cabo la limpieza de las rocas (removiendo las capas superficiales intemperizadas), obteniendo esquirlas totalmente frescas con la ayuda de un martillo geológico. Posteriormente, las esquirlas se trituraron las esquirlas de roca en una quebradora de quijadas modelo *SIEBTECHNIK EB 776*. El material triturado se colocó en un recipiente con anillos de ágata, el cual se monta dentro de un molino vibratorio tipo *SIEBTECHNIK TS 100*, durante ~ 5 minutos. El procedimiento generó un polvo con tamaño de grano < 20 µm. Por último, las muestras en polvo se guardaron en porciones de ~100 g, y se enviaron a los laboratorios ACME *Analytical Laboratories Ltd*. en Vancouver, Canadá. El análisis químico de elementos mayores (% peso) se realizó mediante la Espectrometría de Emisión Óptica con plasma acoplado por inducción (*ICP-OES*) y el de elementos traza (ppm), incluyendo el grupo elementos de tierras raras (*REE*), por

Espectrometría de Masas con Plasma acoplado por inducción (*ICP-MS*). Los resultados se reportan de la **Tabla 14** a la **Tabla 17 (ver Anexo)**. Durante el presente estudio, la distribución los elementos en las muestras aleatorias se describió utilizando la media aritmética y los intervalos de confianza (95% y 99%, respectivamente) proporcionados por el método t-Student (Borradaile, 2003; **Tabla 18, Anexo**), y se emplearon coeficientes de correlación para elementos mayores y trazas, con la finalidad de observar el comportamiento y tendencia lineal inter-elemento de cada formación (**Tabla 19, Anexo**). La validez a un nivel de confianza específico se establece a partir de un valor numérico y además se comparar el dato calculado con un valor crítico que depende del número de pares ordenados utilizados en la regresión (cf., Siegle, 2015).

La interpretación de los datos geoquímicos sigue los diferentes enfoques:

I. **La clasificación litológica:** ***(a)*** La relación Sílice/Aluminio (Si/Al), la cual proporciona información sobre el contenido de cuarzo (representativo de Si) y de arcillas (representativo de Al) (Moore & Dennen, 1970; Nathan, 1976). Esta clasificación se aplicó gráficamente, siguiendo a Jenchen & Rosenfeld (2002; modificado por Jenchen, 2018a) que permite subdividir las rocas en términos de: ***(1)*** psammitas para Al_2O_3 <14% y SiO_2> 68%; ***(2)*** pelitas para Al_2O_3> 14% y SiO_2 <68%, ***(3)*** sedimentos enriquecidos con CaO- para CaO> 5% (Ca-R) y ***(4)*** sedimentos empobrecidos de Si- y Al- (R-); ***(b)*** La relación Na_2O/K_2O según Pettijohn (1963): la cual permite clasificar a las areniscas de acuerdo a la relación entre plagioclasa y feldespato alcalino en función de la relación Na_2O/K_2O. Las areniscas con exceso de K_2O se clasifican como arcosas y aquellas con exceso de Na_2O se reconocen como litoarenita/grauvaca.

II. **El intemperismo:** ***(a)*** el Índice de Alteración Química (siglas en inglés CIA; Nesbitt & Young, 1982; Fedo et al., 1995), el cual define como: $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] * 100$, donde los óxidos se expresan en proporciones molares y CaO* como la cantidad de calcio (Ca) en la fracción silicatada. El CaO depende de la incorporación de carbonato en el material clástico durante el depósito. En el diagrama ternario del CIA se incluyó la distribución de estándares geoquímicos de rocas ígneas, para comparar las composiciones, y que se muestran en tonos grisáceos (Jenchen, 2018b). ***(b)*** La meteorización química se estimó utilizando el Índice de Alteración de la Plagioclasa (siglas en inglés: PIA; Fedo et al., 1995), el cual se ha definido como: $PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)] * 100$, de igual manera que el CIA, los óxidos se expresan en proporciones molares. El Índice de Meteorización Química (siglas en inglés: CIW; Harnois, 1988) se define como: $CIW = [(Al_2O_3) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)]$.

El intemperismo físico-químico del sedimento terrígeno se infirió además mediante el índice de variabilidad composicional (***Index of Compositional Variability***) definido como: $ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2)/Al_2O_3$; Cox et al., 1995) y de la relación K_2O/Al_2O_3 (Armstrong-Altrin et al., 2015).

La posible erosión de los minerales arcillosos se puede mostrar mediante los diagramas de Englund & Jørgensen (1973) y Schlumberger (1985).

III. **El sorteo hidráulico y reciclaje:** ***(a)*** Las relaciones entre Torio/Escandio (Th/Sc) y Circonio/Escandio (Zr/Sc) que proporcionan información sobre la composición del área de la roca fuente y el reciclaje de sedimentos asociados con los procesos autocíclicos (McLennan et al., 1993); ***(b)*** La relación Th/Sc, la cual se incrementa

con el aumento en el contenido de feldespato alcalino y/o al disminuir el contenido de minerales máficos y arcillosos (McLennan et al., 1993). Con la entrada de una fuente ácida, la relación Th/Sc se eleva muy por encima de 1.0. Cuando la contribución de minerales estables como el circón se incrementa la relación Zr/Sc aumenta por efecto del intemperismo, la clasificación y/o el reciclaje sedimentario. La fraccionación mineralógica y sorteo hidráulico de las rocas detríticas también, puede ser inferido considerando la distribución del Al_2O_3, TiO_2 y Zr (cf., Garcia et al., 1994).

IV. **Composición del área de la fuente**: ***(a)*** La relación Th/Sc acoplada al contenido de Cromo (Cr; Jenchen, 2018a). ***(b)*** La relación Titanio/Niobio (Ti/Nb) como enfoque confiable (Bonjour & Dabard, 1991; Augustsson & Bahlburg, 2003; Augustsson & Jenchen, 2011; Jenchen, 2001; 2018a). Esto se debe a que en los minerales que contienen Ti, el Nb puede reemplazarlo en la red cristalina en el momento de la formación del cristal. La relación Ti/Nb de la roca fuente se conserva durante la meteorización y el transporte, lo que brinda información directa sobre la composición del área fuente; ***(c)*** el diagrama de la relación Ti/Nb combinada con la relación SiO_2/K_2O (Jenchen, 2018a) permite distinguir las rocas magmáticas primitivas cuya relación SiO_2/K_2O es alta, mientras que, rocas altamente diferenciadas, muestran una relación SiO_2/K_2O baja; y (***d)*** La clasificación geoquímica de posibles rocas fuente fue trazada con los datos de sedimentos del Grupo Tamatán siguiendo el modelo para rocas volcánicas de Winchester & Floyd (1977).

V. **La configuración geotectónica:** ***(a)*** el diagrama SiO_2/ Al_2O_3 vs K_2O/Na_2O de acuerdo con Jenchen (2018a) y siguiendo a Pettijhon (1963). La relación K_2O/Na_2O es un indicador de un ambiente geotectónicamente estable, como los márgenes pasivos (Roser & Korsch, 1986; 1988). En cambio, las grauvacas/litoarenitas litológicas se depositan en márgenes continentales geotectónicamente activos o arcos magmáticos (Roser & Korsch, 1986; Jenchen, 2018a). ***(b)*** Los diagramas ternarios La-Th-Sc y Th-Sc-Zr/10 de Bhatia & Crook (1986); y ***(c)*** la comparación del patrón de elementos de tierras raras normalizado a condrita, la corteza continental superior (UCC), la lutita compuesta de Norteamérica (NASC) y la lutita post-arqueana de Australia (PAAS; Taylor & McLennan, 1985).

1.9.4 Análisis Geocronológico

Para llevar a cabo el análisis geocronológico se eligieron muestras representativas de cada formación con un contenido de circón observable. Se consideraron cuatro muestras: CC64-04 y CC54-14, obtenidas desde los miembros inferiores de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, respectivamente (sección estratigráfica 4) y las muestras CP207-07 y CP197-03 que se obtuvieron de la parte media de las formaciones Del Monte y Guacamaya (secciones estratigráficas 1 y 2). Se analizaron un total de 441 puntos (*spots*), de los cuales 109 puntos pertenecen a la Formación Caballeros, 113 a la Formación Vicente Guerrero, 110 a la Formación Del Monte y 109 a la Formación Guacamaya, **ver Tabla 20 a Tabla 27, Anexo.**

Todas las muestras fueron procesadas siguiendo los procedimientos estándares del Laboratorio de Geocronología del Departamento de Geología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Baja California (CICESE).

(1) En el Laboratorio de Trituración, se trituraron ~10 Kg de muestra, utilizando una presa hidráulica. El material triturado resultante fue separado granulométricamente por medio de tamices ampliados con mallas no. 10, 18, 25, 35, 45 y 60. Los tamices apilados fueron colocados en una máquina oscilatoria marca *HUMBLODT MFG. CO*, que genera vibración por alrededor de 2 minutos. Las muestras tamizadas fueron colocadas en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta.

(2) El material empaquetado de muestra más fino (malla 60) fue procesado inicialmente por medio de la mesa Wilfley, después por separación magnética en la mesa Frantz y, por último, mediante decantación por líquidos pesados (en 10 ml de Politungstato de Sodio), con el propósito de obtener la mayor cantidad de circones.

(3) cada muestra tratada por los diferentes métodos fue colocada en un portaobjetos por selección manual (*handpicking*) en un molde con resina *epoxy* y fue pulida.

Los moldes con las cuatro muestras etiquetadas fueron enviados a los laboratorios del centro analítico de la Universidad de Stellenbosch, Sudáfrica, donde fueron microfotografiadas. La localización de los disparos del láser y la trayectoria a lo largo de la muestra se realizaron en granos seleccionados al azar. Sin embargo, se prefirió el estudio de los núcleos para evitar la influencia de posible sobre-crecimiento metamórfico. El análisis geocronológico U-Pb se llevó a cabo por medio de Espectrometría de Masas Acoplada Inductivamente a Plasma con Ablación Laser (siglas en inglés *LA-ICP-MS*).

Se utilizó un espectrómetro de masas Thermo® Element2® acoplado a un sistema de ablación láser *NewWave UP213* ($\lambda = 213$ nm, $f = 10$ Hz), siguiendo el procesamiento analítico y de datos descrito en Gerdes & Zeh (2006, 2009) y Frei & Gerdes (2009). El circón de referencia GJ-1 se utilizó como patrón primario (ID TIMS 608.5 ± 0.4 Ma; Jackson et al. 2004). Los datos de U-Pb fueron obtenidos utilizando un diámetro de punto de 30 µm. Para el control de calidad, se analizaron los materiales de referencia de circón Plešovice (Sláma et al., 2008) y M127 (Nasdala et al., 2016) y se midieron las siguientes masas: ^{202}Hg, ^{204}(Pb + Hg), ^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb, ^{232}Th, ^{235}U y ^{238}U. La masa de ^{202}Hg se midió para controlar la interferencia de ^{204} Hg en ^{204} Pb (usando una relación ^{202} Hg / ^{204}Hg de 4,36).

Los gráficos de probabilidad de edad (Ludwig, 2012) se construyeron utilizando la mejor edad aparente, es decir, la edad ^{206}Pb / ^{238}U para granos de circón menores de 900 Ma, y la edad ^{207}Pb / ^{206}Pb para granos de circón mayores de 900 Ma. La razón para esta división es que 900 Ma resulta de la creciente incertidumbre de las edades de ^{206}Pb / ^{238}U y la disminución de la incertidumbre de las edades de ^{207}Pb / ^{206}Pb en función de la edad, fueron descartadas edades de > 10% de discordancia. Todas las edades se trazaron en diagramas de Wetherill Concordia y de probabilidad de edad relativa utilizando Isoplot 4.1 (Ludwig, 2012). Las edades máximas de probabilidad y los errores 2σ se calcularon utilizando diagramas de dispersión bivariados radiales en el software Radialplotter (Vermeesch, 2009; 2018). Los datos de U-Pb de circones del Grupo Tamatán se reportan en la **Tabla 20 a Tabla 27 (ver Anexo).**

2 Geología Regional

2.1 Rocas de basamento y su cobertura sedimentaria precámbrica-paleozoica en el Noroeste de México (Laurencia/ Laurussia)

El basamento más antiguo documentado en México se localiza hacia la parte NW de México en los estados de Sonora y Chihuahua, el cual corresponde a la base de los terrenos de Caborca y Chihuahua (**Fig. 2. 1;** Ortega-Gutiérrez et al., 2018), e incluye rocas ígneas-metamórficas y sucesiones sedimentarias del Proterozoica – Paleozoico, que han sido interpretadas como una extensión de la parte SW de Laurussia (p.ej., Stewart et al., 1984).

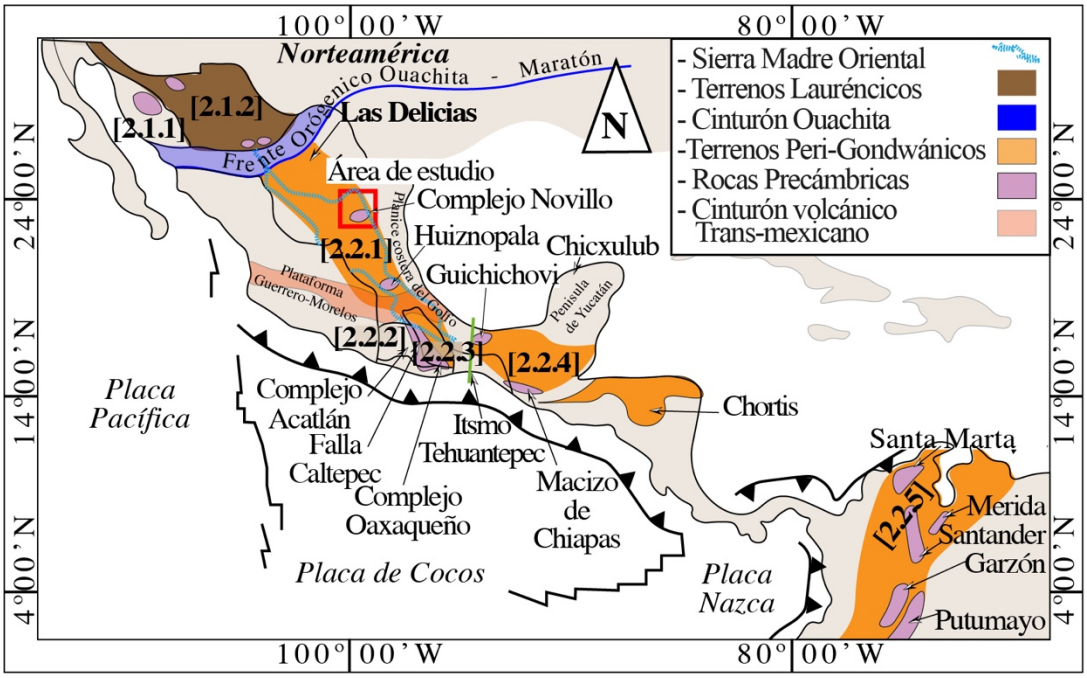


Fig. 2. 1. Marco tectónico simplificado del basamento de Laurussia y Gondwana en México – Centroamérica y norte de Sudamérica (modificado de Weber et al., 2020)**. 2.1.1** = Terreno Caborca (noroeste- centro de Sonora), **2.1.2** = Terreno Chihuahua (noreste de Sonora-Chihuahua), **2.2.1** = Norte de Oaxaquia (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas e Hidalgo)**, 2.2.2** = Sur de Oaxaquia (Oaxaca), **2.2.3** = Terreno Mixteco (Puebla), **2.2.4** = Bloque Maya (planicie costera del Golfo de México, Istmo de Tehuantepec, Chiapas, Yucatán, Guatemala y Belice)**, 2.2.5** = norte de Sudamérica (Venezuela y Colombia).

2.1.1 Terreno Caborca

Esta constituido por un ortogneis de alto grado metamórfico con edades del Paleo-proterozoico (Estateriano; ~1.85 – 1. 69 Ga) del complejo Bamorí y por rocas ígneas de ~ 1.4 Ga (Anderson & Silver, 1981; **Fig. 2. 1**). A este complejo le sobreyace discordante las rocas sedimentarias proterozoicas conformadas de areniscas, dolomitas, calizas y cuarcitas. Las rocas más antiguas cuentan con estromatolitos mesoproterozoicos y fauna Ediacarana (~ 600 Ma; Cevallos-Ferríz & Weber 1980; McMenamin et al., 1994; 1996), e incluyen los grupos Las Víboras y Cerró Las Bolas. Las sucesiones sedimentarias con edades neoproterozoicas (ca. 700 – 1000 Ma y 760 – 700 Ma, respectivamente; Stewart et al., 2002) consisten de las formaciones El Arpa, Caborca, Clemente, Pitiquito, Gamuza, Papalote, Tecolote y La Ciénega que cuentan con depósitos de aguas someras que en conjunto con los

complejos metamórfico-ígneo, forman parte del basamento proterozoico de Caborca (Cevallos-Ferríz & Weber 1980; Stewart et al., 2002).

La cobertura sedimentaria paleozoica del Terreno Caborca se conforma de las siguientes sucesiones (**Fig. 2. 1 y Fig. 2. 2**):

(1) Unidades cámbricas: se exhiben en la parte noroccidente y centro de Sonora, conformadas por las formaciones Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, El Gavilán, Arrojos y El Tren (McMenamin, 1987; Stewart et al., 1984; Cuen-Romo et al., 2016), que consisten de rocas carbonatadas con trilobites, menormente cuarcitas intercaladas con flujos basálticos y conglomerados volcánicos (Barrón-Díaz et al., 2018). De manera ascendente dominan las sucesiones cuarcíticas y se asocian con los depósitos marinos someros de plataforma y sedimentos peri-cratónicos del margen SW de Laurussia (Stewart et al., 1990; Cuen-Romo et al., 2016).

(2) Unidades Cámbrio-Ordovícico: se encuentran expuestas en la parte noroccidental y centro de Sonora, y consiste de caliza, dolomía, arenisca dolomítica con conodontos y graptolitos cuyos intervalos de edad se incluyen en el periodo Ordovícico (Bartolini et al., 1995; Poole et al., 1995). Algunos autores (p. ej., Sánchez-Zavala et al., 1999; Almazán-Vázquez et al., 2006) han reportado las formaciones Pozo Nuevo, Peña Blanca, Bísani, Quemado, Lutita El Mezquite, Pedernal El Yaqui, Cobachí y El Torote (Poole et al., 2008) y los grupos Guayacán y Tinajas. Estas unidades están asociadas a depósitos de agua somera a profunda, respectivamente, asociados a la plataforma occidental del sur de Laurussia (miogeosinclinal; Bartolini et al., 1995; Poole et al., 1995).

(3) Unidades Silúrico-Devónico: Existen pocos afloramientos preservados en el centro de Sonora (Poole et al., 1997; 2000). La parte más joven de los grupos Tinajas, Guayacan y parte de las formaciones Bísani y Murciélago que registran una edad del Devónico medio a superior por medio del registro fósil (p.ej., braquiópodos, briozoos, gasterópodos) y se conforman de calizas, lutitas y areniscas de ambiente somero.

(4) Unidades Carbonífero-Pérmico: constituidas por las formaciones Repaso, Venada, Los Monos, Antimonio y la unidad 1 a 6, que afloran en la Sierra Santa Teresa. En general, incluyen caliza con alto contenido fosilífero, flujos detríticos, paquetes areno-arcillosos asociados a depósitos de aguas profundas (González-León, 1997; Stewart et al., 1997; Lucas & Estep, 1999).

Anderson & Silver (1979; 2005) interpretaron que el Terreno Caborca forma parte de un fragmento cratónico del SW de Laurussia, el cual fue desplazado 800 km a lo largo del borde occidental de Norteamérica mediante la megacizalla Mojave-Sonora en el Jurásico Medio. Sin embargo, esta falla ha sido constantemente discutida (p.ej., Molina-Garza & Iriondo, 2005).

2.1.2 Terreno Chihuahua

Consiste de afloramientos puntuales de rocas Mesoproterozoicas localizadas al norte de Sonora, constituidos por un complejo de bajo grado metamórfico, con protolitos de rocas ígneas y sedimentarias definido como Esquisto Pinal (~1.71 – 1.63 Ga). Se considera como parte de la extensión SW del cratón de Laurencia/ Laurussia (Ortega-Gutiérrez et al., 2018). Otro complejo metamórfico que aflora en el centro de Chihuahua es el complejo El Carrizalillo-Los Filtros del Mesoproterozoico – Neoproterozoico (~1.3 – 0.98 Ga). Haenggi (2001) lo interpretó

como una continuidad del cinturón Grenviliano. Ambos complejos Carrizalillo-Los Filtros y el Esquisto Pinal, definen el basamento del Terreno Chihuahua (**Fig. 2. 1 y Fig. 2. 2**).

Por otro lado, las rocas sedimentarias paleozoicas del basamento de Chihuahua se restringen hacia la parte norte del estado Chihuahua en el límite con Arizona (**Fig. 1. 2**). Muchas de estas unidades se correlacionan con rocas sedimentarias de la parte SW de Laurussia, asociados con la periferia de la plataforma cratónica de Norteamérica (Stewart et al., 1984; Haenggi, 2001; Lawton et al., 2020) y se han definido como:

(1) Cámbrico-Ordovícico: las formaciones Cuarcita La Bolsa cuya máxima edad de depositación es de ~523 Ma (Cámbrico inferior; Gross et al., 2000), Capote, Esperanza y Abrigo afloran al NE de Sonora (Cabullona-Cananea). En conjunto se consideran como las unidades del Paleozoico más antiguas de México (Stewart et al., 1984). Otros afloramientos del Paleozoico inferior ocurren al norte de Chihuahua e incluyen a las formaciones de Bilss, El Paso, Cable Canyon y Montoya con un rango de edad del Cámbrico a Ordovícico (Sánchez-Zavala et al., 1999). Estas formaciones están constituidas por areniscas cuarcíticas y arcosas e incluso hacia el techo aparecen rocas carbonatadas presentado calizas con pedernal y dolomías. Estos depósitos también forman parte del desarrollo peri-cratónico del sur de Laurusia (sur de Norteamérica; Stewart et al., 1984; Anderson & Silver, 2005).

(2) Silúrico-Devónico: Las formaciones Solís (Silúrico), Martín, Canutillos, Percha y Monillas (Devónico) presentan calizas con nódulos de pedernal que intercalan con calizas arcillosas-calcáreas y en ocasiones lutitas calcáreas (Noll et al., 1984; Sánchez-Zavala et al., 1999; Barboza-Gudiño et al., 2016).

(3) Carbonífero – Pérmico: Está constituido por formaciones del Misisípico como el Grupo Escabrosa y Formación Santiago. El Pensilvánico está representado por las formaciones El Pastor (Horquilla), Caliza Puertecitos, Formación Abo y Formación Monillas, que en ocasiones yacen de forma discordante a las rocas misisípicas. Las formaciones del Wolfcampiano-Leonardiano (Pérmico) incluyen a las unidades Earp, Colina/Epitaph, Scherrer, Concha, Santa Rita, Hueco, Yeso, Rara, Plomosas y Verde (Armstrong & Mamet, 1988; Sánchez-Zavala et al., 1999; Barboza-Gudiño et al., 2016; Lawton et al., 2020). También se han descrito rocas carbonatadas recristalizadas, lutitas intercaladas con dolomías y areniscas con texturas diagenéticas (p.ej., Fm. Scherrer; Armin, 1987; Blodgett et al., 2002).

La mayor parte del Paleozoico sedimentario dentro del Terreno Chihuahua, se conforma por calizas, calizas arcillosas y areniscas calcáreas, en ocasiones con pedernal. El inventario fósil consiste de variedades de conodontos, corales, braquiópodos, fusulínidos, crinoideos y bivalvos de un ambiente marino somero que están relacionados con localidades de Nuevo México y Arizona, es decir de la parte sur de Laurusia (Stewart et al., 1990; Stewart et al., 1999).

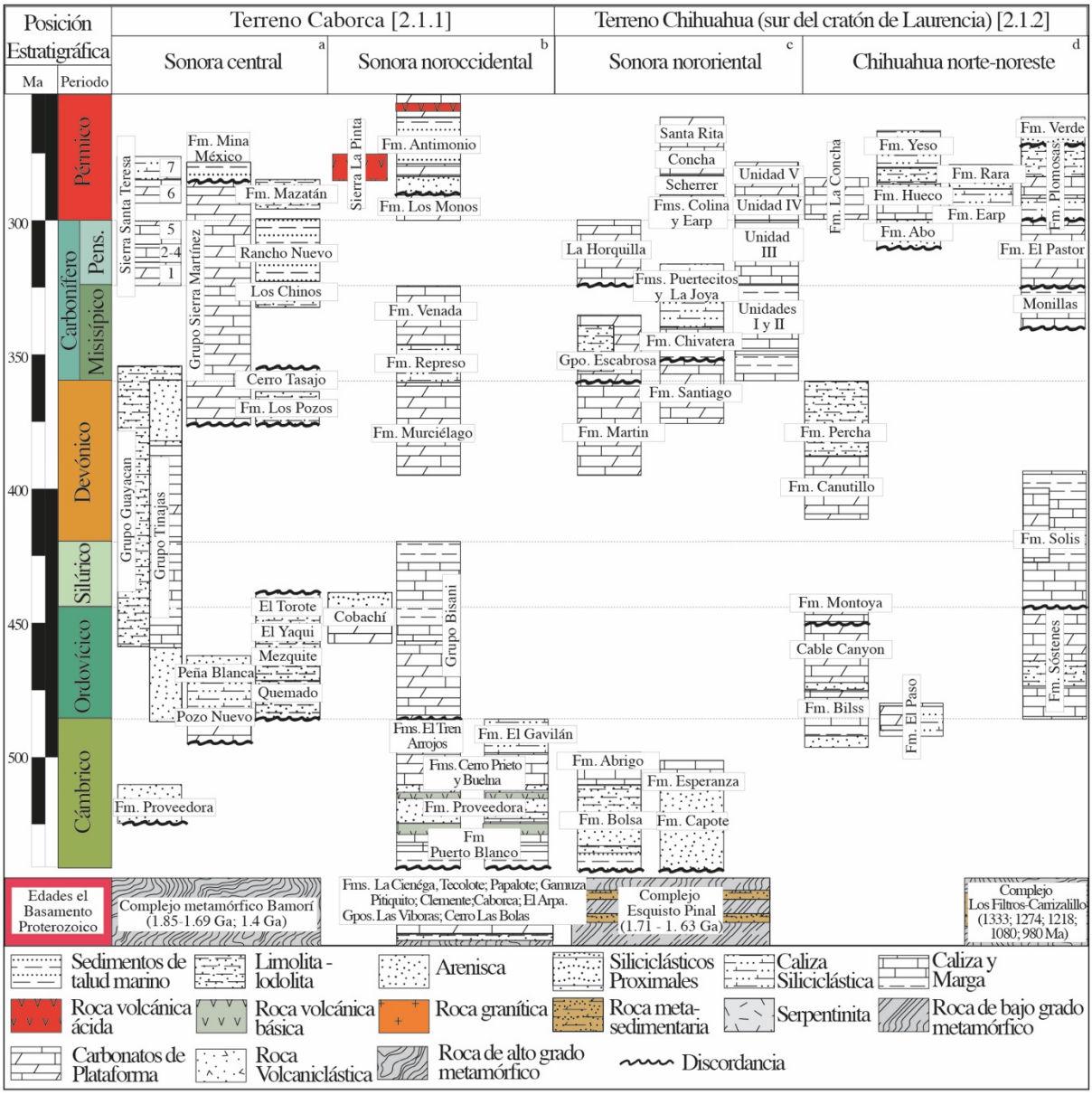


Fig. 2. 2. Estratigrafía Paleozoica simplificada de los terrenos relacionados al SW de Laurusia en México. **Nota**: La localización (número en corchete) de cada terreno se encuentran en la **Fig. 2. 1. (a – b)** = McMenamin (1987); Stewart et al. (1990); González-León (1997); Stewart et al. (1997); Lucas & Estep (1999); Poole et al. (2005); Cuen-Romo et al. (2016); Lawton et al. (2020); Arvizu et al. (2009); **(c – d) =** Noll et al. (1984); Stewart et al. (1984); Armstrong & Mamet (1988); Sánchez-Zavala et al. (1999); López-Doncel et al. (2005); Barboza-Gudiño et al. (2016); Lawton et al. (2020).

2.2 Rocas de basamento y su cobertura sedimentaria precámbrica -paleozoica en el Noreste-Centro-Sur de México y zonas aledañas (Gondwana)

El basamento de México y Centroamérica, además del norte de Sudamérica se caracteriza por una diversidad de rocas metamórficas del Proterozoico-Paleozoico y unidades sedimentarias del Paleozoico Medio-Superior. A diferencia de los terrenos del noroccidente de México, estas unidades cuentan con una afinidad gondwánica (Sánchez-Zavala et al., 1999; Weber et al., 2020) y comprende: ***(1)*** del Norte de Oaxaquia, que incluye la cuenca Las Delicias, Coahuila (?), Los altos de Aramberri (Nuevo León), Miquihuana-Bustamante, Huizachal-Peregrina

(Tamaulipas) y Huayacocotla (Hidalgo); ***(2)*** del Sur de Oaxaquia (Oaxaca); ***(3***) del Terreno Mixteco, conformado por el Complejo Acatlán (Puebla); ***(4)*** del Bloque Maya que incluye Chiapas-Yucatán, Guatemala y Belice y ***(5)*** del norte de Sudamérica; es decir de Mérida, Venezuela y del Macizo de Santander, Colombia (**Fig. 2. 1**).

2.2.1 Norte de Oaxaquia (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo)

Las rocas pre-mesozoicas en el NE de México documentan ampliamente el basamento y la historia geológica de la región desde el Proterozoico (Rodina-Grenviliano) hasta la formación de Pangea durante el Pérmico - Triásico. El basamento cuenta con afloramientos restringidos cubiertos por depósitos del Mesozoico – Cenozoico. Algunas de estas unidades fueron afectadas por un metamorfismo producto de las deformaciones del Proterozoico, Paleozoico y Mesozoico (Centeno-García, 2005). Las sucesiones sedimentarias paleozoicas en el NE de México se encuentran distribuidas en los estados de Coahuila y Tamaulipas. Cuentan con una edad exclusivamente del Paleozoico medio a superior y afloran discordantemente sobre el basamento cristalino que se atribuye al bloque de Oaxaquia (Ortega-Gutiérrez et al., 1995; **Fig. 2. 3).**

(1) La Cuenca Las Delicias (Coahuila) se encuentra delimitada al sur por el cinturón marginal plegado de Coahuila y al norte por la falla de San Marcos. Cuenta con afloramientos del Paleozoico Superior (Misisípico – Pérmico) de la Formación Las Delicias, que consiste de once litosomas que subyace discordante a carbonatos de la Formación Las Uvas (Cretácico Inferior; McKee et al., 1999). La Formación Las Delicias se compone por variedades de calizas y areniscas, además, de flujos detríticos con bloques ígneos fechados en 331 ± 4 Ma (López et al., 1997) y cantos rodados con ~ 1.23 – 1.21 G con edades interpretadas de tipo Oaxaquia (**Fig. 2. 1 y Fig. 2. 3;** López et al., 2001).

(2) En los Altos de Aramberri y Miquihuana-Bustamante se exponen rocas de bajo grado metamórfico del Complejo Granjeno (Torres-Sánchez et al., 2015; 2017; 2021). Este se encuentra constituido por rocas metaígneas y metasedimentarias. Además, se incluye un cuerpo masivo e irregular de rocas ultrabásica denominado informalmente como Serpentinita Victoria; este se encuentra reportado únicamente en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina (Ramírez-Fernández & Jenchen, 2016; Torres-Sánchez et al., 2017). El Complejo Granjeno se ha interpretado como parte de un prisma de acreción (Barboza-Gudiño et al., 2011), que incluye la corteza oceánica y el manto obducidos (Victoria Serpentinita) de un margen activo de Gondwana durante el Carbonífero y que muy probablemente puede estar relacionado con la evolución del complejo Acatlán (Keppie, 2004).

(3) El Anticlinorio Huizachal – Peregrina o Bloque Ciudad Victoria (Ramírez-Fernández et al., 2021), está conformado (**Fig. 1. 3; Fig. 1. 4):**

- El complejo metamórfico Novillo, que incluye dos unidades principales. La primera está representada por un grupo meta-ígneo en una antigua suite (~1235 – 1115 Ma; Cameron et al., 2004) que incluye gneis félsico, máfico, migmatítico y metagránitco; y una suite joven "AMCG" (anortosita, mangerita, charnockita, granito), fechada en ~1035 – 1010 Ma (Cameron et al., 2004), conformada por metaanortosita, metagranito-metagabbro, metacarnockita y metaferrodiorita rica en granate. La segunda unidad del Complejo Novillo consiste de rocas meta-sedimentarias e incluye intercalaciones de roca meta-

arcosas, anfibolitas y mármoles calcosilicatados. Ambas unidades son consideradas como parte del microcontinente de Oaxaquia (Ortega-Gutiérrez, et al., 1995; Keppie 2004; Trainor et al., 2011), cuyo metamorfismo ocurrió a los ~ 990 Ma, relacionado posiblemente con el ensamblaje de Rodina, que es denominado en México como fase Zapotecana (Solari et al., 2003; Cameron et al., 2004; alemán-Gallardo et al., 2019b). También se han documentado diques de composición basáltica tipo E-MORB, con una edad ediacarana (~619 Ma), posiblemente relacionados con la ruptura final de Rodina y el inicio de la apertura del océano Iapetus (Weber et al., 2019; 2020).

- Otro complejo metamórfico es el Granjeno, que aflora en los bordes del núcleo del AHP (**Fig. 1. 3; Fig. 1. 4),** comprende poli-ensambles de grado metamórfico bajo, que incluye roca metasedimentarias (p.ej., metapsammita y metapelita; Barboza-Gudiño et al., 2011), meta-ígnea (p.ej., lavas meta-tobas, meta-flujo y unidades almohadilladas) y roca ultramáfica serpentinizada (Serpentinita Victoria; Torres-Sánchez et al., 2017; **Fig. 2. 3).** Este complejo se encuentra en contacto tectónico con el Complejo Novillo.
- Un cuerpo ígneo tonalítico denominado como Tonalita Peregrina (Alemán-Gallardo et al., 2019a), fechado en 449 ± 3 Ma (Katiense; Alemán-Gallardo et al., 2019a). Este cuerpo ígneo se encuentra intrusionado al Complejo Novillo y se ha interpretado como parte de un magmatismo del Ordovícico asociado a un arco del oeste de Sudamérica que aparentemente se extiende hasta México (Chew et al., 2007), el cual es ha denominado Arco Famatiniano Peregrina-Mochoniano (Estrada-Carmona et al., 2012; González-Guzmán et al., 2016; Alemán-Gallardo et al., 2019a).
- La cobertura sedimentaria paleozoica del basamento del AHP que conforma el Grupo Tamatán. Como se ha mencionado en la sección 1.3 (**Antecedentes**) se encuentra conformado por rocas siliciclásticas-carbonatadas marina, fuertemente deformadas de las formaciones Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya (Stewart et al., 1999) y cuya fauna fósil indican una edad depositacional de Silúrico a Pérmico (Boucot et al., 1997; Stewart et al. 1999).

(4) Anticlinorio Huayacocotla (Hidalgo), que incluye rocas metamórficas asociadas con facies granulíticas e intrusiones ígneas con edades Mesoproterozoico - Neoproterozoico que constituyen el Gneis de Huiznopala, el cual es análogo al Complejo Novillo (Weber & Schulze, 2014). Por otra parte, se ha documentado intrusiones ígneas carboníferas denominadas granito Maxala (Martínez-Sánchez, 2016) y una cobertura volcano-sedimentaria del Grupo Huizachal discordante con el basamento cristalino, que incluyen intercalaciones de andesita y basaltos de la Formación Tuzancoa. La edad de depósito del material sedimentario de acuerdo a la fauna de crinoideos, fusulínidos y braquiópodos corresponde al Cisuraliano, por lo que puede ser equivalente a la Formación Guacamaya del Grupo Tamatán (Arellano-Gil et al., 1998; **Fig. 2. 3).** Sin embargo, Rosales-Lagarde et al. (2005) consideraron a las formaciones Guacamaya y Tuzancoa como dos unidades diferentes de acuerdo con la asociación de facies sedimentarias y el ambiente tectónico.

(5) Magmatismo sepultado del Paleozoico Superior: ha sido documentado por medio de perforaciones sobre la planicie costera del Golfo de México, el cual ha sido asociado con el arco de Tamaulipas, cuya edad es del Pérmico a Triásico, interpretado como un magmatismo desarrollado en tres fases magmáticas principales

atribuidas a la formación de Pangea y posterior disgregación y apertura del Golfo de México (Coombs et al., 2020; **Fig. 2. 3).**

2.2.2 Terreno Mixteco (Complejo Acatlán, Puebla)

El basamento del terreno Mixteco, se encuentra limitado al este por la zona de falla dextral-transpresional Caltepec del Pérmico temprano (Elías-Herrera & Ortega-Gutiérrez, 2002). Esta zona de falla separa los complejos Acatlán (Terreno Mixteco) y Oaxaqueño (Sur de Oaxaquia; Keppie et al., 2003; Solari et al., 2003; **Fig. 2. 1**). Al sur por el complejo mesozoico Xolapa mediante la falla Chacalapa-La Venta (Tolson, 2005; **Fig. 1. 2**). Al norte por rocas volcánicas del Neógeno del Cinturón Volcánico Mexicano, y al oeste por las rocas carbonatadas cretácicas de la plataforma Guerrero-Morelos por medio de la falla Papalutla.

Según el trabajo pionero de Ortega-Gutiérrez (1978), el Complejo Acatlán consiste de dos agrupaciones primordialmente: ***(1)*** el Grupo Petlalcíngo que incluye la Migmatita Magdalena y las formaciones Chazumba y Cosoltepec, y ***(2)*** el Grupo Acateco que comprende de las formaciones Xayacatlán y Tecomate, así como de otras unidades indiferenciadas de la Formación Cosoltepec (p.ej., Huerta, Amate, Salada; Morales-Gámez et al., 2008). Además, con base a las relaciones cronoestratigráficas, este mismo autor definió tres unidades magmáticas dentro del complejo Acatlán: los granitoides la Esperanza, el Plutón Totoltepec y los diques San Miguel.

En general, el basamento del terreno Mixteco cuenta con depósitos asociados con una corteza oceánica, turbiditas de trinchera y corteza Proterozoica retrabajada (Keppie et al., 2008). Las características estratigráficas-estructurales y petrológicas de sus diferentes unidades son muy contrastantes y por tanto su geología muy controversial (p.ej., Keppie et al., 2006; Nance et al., 2007a; Murphy et al., 2006; Vega-Carillo et al., 2007; Galaz et al., 2013). Sin embargo, Ortega-Gutiérrez et al. (2018) atribuyen el origen del Complejo Acatlán a diversos ciclos tectónicos, relacionados con la apertura y cierre / subducción de tres océanos primordiales del Paleozoico (Iapetus, Réico y Paleo-Pacifico). Por lo tanto, las edades y la naturaleza de las rocas del Complejo Acatlán registran distintas fases/ciclos de sedimentación y magmatismo, que son delimitadas por discordancias regionales. Estas fases se pueden agrupar en:

- Fase de rift / subducción del Ordovícico – Silúrico, que se representa primordialmente por la Formación Xayacatlán que incluye rocas de anfibolita, metagabro, serprentinita, eclogita, esquisto pelítico y cuarcita (Ortega-Gutiérrez, 1978). Las rocas de alta presión de la Formación Xayacatlán expuestas en la porción occidental del Complejo Acatlán han sido descritas como un litodema independiente (litodema Asís) dentro del grupo Piaxtla (Murphy et al., 2006; Elías-Herrera et al., 2007; Middleton et al. ., 2007; Keppie et al., 2012a, 2012b; **Fig. 2. 3**). Dentro del grupo Piaxtla la anfibolita en ocasiones incluye relictos de eclogita (por metamorfismo retrógrado) intercalado con anfibolita granate y esquistos cloríticos, psamíticos y pelíticos. La edad de U-Pb en circón detrítico de la anfibolita comprende de 470 – 460 Ma (Murphy et al., 2006; Galaz et al., 2013), estas rocas han sido consideradas como producto de un *rifting* peri-Gondwánico, que rellenó la cuenca con magmatismo bimodal y una sedimentación contemporánea (Murphy et al., 2006; Keppie et al., 2006; Ortega-Gutiérrez et al., 2018). Los granitoides peraluminoso La Esperanza también forma parte del Grupo Piaxtla (Ortega-Gutiérrez et al., 2018), incluye edades de

cristalización de 485-460 Ma (Sánchez-Zavala et al., 2004; Vega-Granillo et al., 2007; Nance et al., 2009; Galaz et al., 2013) y comúnmente circones heredados (de Oaxaquia, Gondwana o Laurusia) con picos de edad en 1200 -1000, 719 y 500 Ma (Vega-Granillo et al., 2007; Galaz et al., 2013). No obstante, se han encontrado en la localidad tipo edades de ca. 442 y 440 Ma (Ortega-Gutiérrez et al., 1999 y Talavera-Mendoza et al., 2005; respectivamente). Los granitoides La Esperanza se consideran como el producto de fusión anatéctica formada durante un levantamiento orogénico y descompresión durante el Ordovícico. Estrada-Carmona et al. (2015), sugieren que los protolitos de las eclogitas (i.e., basalto) del grupo Piaxtla es del Misisípico (ca. 352 Ma) por medio de la geocronología Lu-Hf en granate, lo que corresponde con la subducción activa por debajo de los terrenos peri-Gondwánicos durante el Carbonífero.

- Fase pre-orogénica e intrusión magmática del Devónico – Misisípico, destaca la Formación Cosoltepec que conforma el 70-80 % de los afloramientos expuestos del complejo Acatlán, esta sucesión se encuentra en contacto tectónico con los metasedimentos ordovícicos e intrusivos del Grupo Piaxtla y discordante con la Formación Tecomate del Pensilvánico tardío. La Formación Cosoltepec consiste de capas monótonas de cuarcita con intercalaciones de capas pelíticas, mica-esquisto y en menor proporción líticos basálticos (Ortega-Gutiérrez, 1978; Otrega-Gutiérrez et al., 1999). Algunos autores (p.ej., Ortega-Gutiérrez et al., 2018) subdividen esta formación en decenas de unidades debido a las litologías similares (p.ej., Huerta, Amate, Zumpango, Progreso, Buenavista, etc.). El granito de La Noria de 371 ± 34 Ma, esporádicamente bordean estas sucesiones metasedimentarias (Yáñez et al., 1991; Miller et al., 2007). El análisis geocronológico U-Pb en circones detríticos de la Formación Cosoltepec indica un rango de del Cámbrico más tardío (ca. 485 Ma) a Misisípico Tardío (334-327 Ma) (Morales-Gámez et al., 2008; Galaz et al., 2013). Los circones detríticos con edades pre-devónicas en las unidades Huerta y Amate de la Formación Cosoltepec, sugieren una edad máxima de depósito de 455 ± 4 Ma. Por otra parte, la delimitación de la edad mediante la estratigrafía de las rocas intrusivas indica una edad de 464 ± 4 Ma y 452 ± 6 Ma (Morales-Gámez et al., 2008). Por otro lado, en la localidad tipo de la Formación Cosoltepec se registra una edad máxima de depósito de ca. 410 Ma según Talavera-Mendoza et al. (2005). Esta formación es comúnmente interpretada como un prisma de acreción de trinchera antearco o asociada a depósitos en un margen pasivo en el océano Iapetus del Ordovícico. Sin embargo, Keppie et al. (2007), confirma que algunas sucesiones de la Formación Cosoltepec fueron depositadas directamente con rocas basálticas de piso oceánico, de acuerdo con los análisis petrológicos de los complejos de diques y basaltos almohadillados (E-MORB) encontrados dentro de la unidad.
- Fase sin-orogénica e intrusión magmática del Pensilvánico – Pérmico, se representa por pelitas y psammitas de las Formación Tecomate y de sucesiones marinas someras de las formaciones Patlanoaya y Los Arcos/Olinalá. Estas últimas unidades cuentan con un registro faunístico de equinodermos que se pueden correlacionar con la Formación Del Monte del Pensilvánico del Grupo Tamatán (**Fig. 2. 3**; Esquivel-Macías et al., 2004). Por otra parte, la Formación Metzontla se documenta en la parte más oriental del Complejo Acatlán y es interpretada como una exposición de una cuña tectónica dentro del Complejo

Oaxaqueño (Elías-Herrera et al., 2008). Esta formación comprende de rocas metavolcánicas y de esquistos verdes polideformado del Pensilvánico – Pérmico (Cisuraliano; Elías-Herrera et al., 2011). Según Elías-Herrera et al. (2011), la Formación Metzontla está cubierta por la Formación Matzitzi; sin embargo, la relación estratigráfica entre estas dos formaciones es incierta (cf., Juárez-Zúñiga et al., 2020), debido a que la depositación de estas sucesiones carboníferas-pérmicas se encuentra afectado por fallamiento dextral y posterior transpresional con tendencia N-S, que involucran más del 60 % de acortamiento cortical que afectó tanto al complejo Acatlán como Oaxaqueño durante el Pérmico Temprano (~295 – 270 Ma), y el cual marco el final de la evolución orogénica (Ortega-Gutiérrez et al., 2018). Asimismo, aún queda en debate el origen de los granitos no deformados (p.ej., Palo Liso, Hornos; Elías-Herrera et al., 2007) que intrusionaron tectónicamente al complejo Acatlán (Miller et al., 2007). Por otro parte, las intrusiones sin-tectónicas que representan al ciclo orogénico del Carbonífero-Pérmico, son: ***(a)*** el Plutón Cozahuico que incluye una tonalita milonitizada de 276 - 270 Ma, intruidas entre los complejos Acatlán y Oaxaqueño mediante la zona de falla Caltepec (Elías – Herrera et al., 2002; Elías-Herrera et al., 2005). Según Elías-Herrera et al. (2005), el granito Cozahuico aparentemente fue exhumado en el Pérmico Medio, antes de la depositación de la Formación Matzitzi (unidad paleozoica más joven del basamento del Terreno Mixteco; Centeno-García et al., 2009). Juárez-Zúñiga et al. (2020) señalan que en la región de Caltepec-Metzontla no se observa el contacto entre el Plutón Cozahuico y la Formación Matzitzi. Sin embargo, las rocas conglomeráticas con clastos metamórficos e ígneos indican una derivación del complejo Oaxaqueño y de granitos asociados al arco del Paleozoico tardío (Centeno-García et al., 2009; Bedoya-Mejía, 2018) o derivados del Plutón Cozahuico (Ortega-Gutiérrez et al., 2018), ***(b)*** el Plutón Totoltepec que es una intrusión trondjemitica con edad de 306 Ma (fase máfica) y 283 Ma (en pegmatita) (**Fig. 2. 3;** Kirsch et al., 2013**).** Rocas conglomeráticas con clastos derivados del plutón Totoltepec han sido documentadas en la Formación Tecomate, lo que sugiere un ciclo rápido de intrusión-exhumación e inhumación-exhumación (Ortega-Gutiérrez et al., 2018). La Formación Matzitzi que está constituida por depósitos aluviales del Pérmico medio-tardío (Centeno-García et al., 2009) y cuya edad aparentemente es contemporánea a la Formación Guacamaya. No obstante, los ambientes de depósito son distintos.

Cabe destacar, que las unidades metasedimentarias del Complejo Acatlán (p.ej., Fm. Cosoltepec) probablemente tienen una relación cercana al Complejo Granjeno en el NE de México. Por lo tanto, la naturaleza y evolución de ambos complejos es de suma importancia para entender el desarrollo paleogeográfico pre-Mesozoicos de México.

2.2.3 Sur de Oaxaquia (Complejo Oaxaqueño, Oaxaca-Puebla)

El complejo de Oaxaca corresponde a la parte más al sur de Oaxaquia. Este incluye rocas metamórficas de alto grado con edad de ~ 990 Ma, intrusiones graníticas (~ 1.14 – 1.11 Ga) y rocas AMCG (~ 1.01 Ga; Solari et al., 2003). En conjunto los complejos metamórficos Novillo, Huiznopala, Oaxaqueño y Guichicoví han sido interpretados como parte de un basamento de un microcontinente periférico a Gondwana y alóctono a Laurusia (Ortega-Gutiérrez et al., 1995).

Las sucesiones sedimentarias del Paleozoico sobreyace discordantemente al Complejo Oaxaqueño, e incluyen las formaciones Tiñú del Cámbrico-Ordovícico (considerada la más antigua de Gondwana en México), Santiago del Misisípico e Ixtaltepec del Pensilvánico (Gillis et al., 2005; Murphy et al., 2005; **Fig. 2. 3**). En general, están constituidas por calizas, limolitas, lutitas, y en menor proporción por areniscas. Algunos autores (p. ej., Navarro-Santillán et al., 2002; Sour-Tovar & Martínez-Chacón, 2004) documentan que las formaciones Santiago (Oaxaca), Patlanoaya (Puebla) y Vicente Guerrero (Tamaulipas), muestran una fauna misisípica (p.ej. braquiópodos) muy similar y la Formación Ixtaltepec contiene fauna del Pensilvánico, que incluye braquiópodos y radiolarios. Todas estas formaciones carboníferas cuentan con especies documentadas en Norteamérica, mostrando una plausible correlación (cf., Torres-Martínez & Sour-Tovar, 2016). Así mismo, el material detrítico de la Formación Santiago e Ixtaltepec indica una derivación local muy marcada del complejo Oaxaqueño. Esta incluye circones detríticos con edades de ~ 981 Ma de acuerdo con dataciones U-Pb (Gillis et al., 2005). Por otro lado, las intrusiones ígneas expuestas en el complejo Oaxaqueño incluyen el Plutón Cuanana (ca. 311 Ma), batolito Honduras (ca. 290 Ma; del Complejo Juchatengo), Batolito Zaniza (ca. 287 Ma), el stock La Carbonera (ca. 272 Ma) y el granito Etla (ca. 255 Ma). Estos se han interpretado como magmatismo del Pérmico temprano asociado con un arco continental y al cierre del océano Réico antes del ensamblaje completo de Pangea (Solari et al., 2001; Ortega-Obregón et al., 2014; **Fig. 2. 3).**

2.2.4 Bloque Maya (Yucatán, Chiapas, Guatemala y Belice)

El Bloque Maya subyace geográficamente por la Planicie Costera del Golfo de México (PCGM), la Península de Yucatán, desde el Istmo de Tehuantepec hasta Chiapas (SE de México), NE de Guatemala y Belice (**Fig. 2. 1**). Las diferentes exposiciones de las unidades pre-mesozoicas que comprenden el basamento de Bloque Maya ocurren:

(1) Al oeste del istmo de Tehuantepec, el Complejo de Guichicoví (Weber & Köhler, 1999; Weber et al., 2010) contiene protolitos ígneos de ca. 1.25 - 1.2 Ma del grupo AMCG y unidades metasedimentarias, que en conjunto se metamorfizaron bajo facies de granulita a 990 – 980 Ma. El Complejo Guichicovi es indistinguible del Complejo Oaxaqueño y otras exposiciones de Oaxaca.

(2) Al este del Istmo de Tehuantepec, el batolito pérmico más grande de México forma la mayor parte del Macizo de Chiapas (p.ej., Damon et al., 1981). El basamento del Precámbrico al Paleozoico se representa debido a los abundantes circones heredados de ca. 1.0 Ga de las rocas graníticas del batolito, lo que indica un basamento no expuesto y anatexis cortical (Weber et al., 2006, 2007).

(3) A lo largo del borde SE del macizo de Chiapas afloran rocas gnéisicas y anfibolíticas meso-neoproterozoicas de la Unidad Candelaria (1.02 - 0.91 Ga; Estrada-Carmona et al., 2012; Weber et al., 2018) que es contemporánea al grupo tipo anortosítico (i.e., anortosita Socunusco-Mariscal; Cisneros-de León et al., 2017) que comprenden el basamento metaígneo del Complejo El Triunfo. La Unidad metasedimentaria Jocote de edad ediacarana (González-Guzmán et al., 2016) se superpone discordantemente a la Unidad Candelaria (Weber et al., 2008, 2018). Diques de tipo rift (E-MORB) intruyen al basamento metaígneo-metasedimentario a los ca. 615 Ma (Weber et al., 2020). El Complejo El Triunfo se destaca por el metamorfismo ordovícico de

grado medio a alto, la anatexis y la intrusión de la suite plutónica Motozintla (~ 480–450 Ma; Estrada-Carmona et al., 2012; González-Guzmán et al., 2016; Weber et al., 2018).

(4) En el centro de Guatemala afloran plutónes del Ordovícico similares al grupo de granitoides Rabinal (462-453 Ma; Ortega-Obregón et al., 2008) y los Altos Cuchumatanes (461 Ma; Solari et al., 2010), ambos intruyen al basamento metasedimentario.

(5) En las montañas mayas en Belice se exhiben plutónes graníticos del Silúrico - Devónico más temprano (420-400 Ma) que se denominan Mountain Pine Ridge (MPR) y rocas volcánicas riolíticas (miembro volcánico Bladen; Steiner & Walker, 1996; Martens et al., 2010; Weber et al., 2012), y las cuales representan la última etapa del magmatismo de arco del Paleozoico Temprano en el Bloque Maya. Este cinturón magmático semi-continuo Ordovícico-Silúrico (Estrada-Carmona et al., 2012) probablemente estaba conectado con rocas plutónicas del Ordovícico en Tamaulipas (Tonalita Peregrina), y se interpreta como la extensión noreste del cinturón Famatiniano del Paleozoico Temprano (Weber et al., 2018; Alemán-Gallardo et al., 2019a; **Fig. 2. 3**).

(6) La Península de Yucatán se compone principalmente de sucesiones del Cretácico. Su basamento cristalino solo se conoce a partir de la eyección de Chicxulub que sugiere un basamento granítico de ~ 545 Ma (Krogh et al., 1993a, 1993b; Keppie et al., 2011) y de ~ 326 Ma de una roca granítica extraída mediante una perforación en el cráter de Chicxulub (Zhao et al., 2020). De manera similar, las rocas ígneas carboníferas se conocen sólo en los Altos Cuchumatanes, Guatemala (~ 317 Ma; Solari et al., 2010) y se interpretan como el inicio de la convergencia y subducción del Océano Réico debajo del norte de Gondwana antes de su colisión con Laurencia (Zhao et al., 2020).

Paquetes sedimentarios del Paleozoico Temprano dominan primordialmente en las Montañas Mayas (Belice), nombrada la Unidad Baldy (¿Cámbrico-Ordovícico?) y la Formación volcaniclástica Bladen (~ 406 Ma; Martens et al., 2010). La Unidad Baldy posiblemente se correlaciona con secuencias metasedimentarias similares en el norte de Guatemala (p.ej. la Secuencia San Gabriel y Complejo Barillas; Ortega-Gutiérrez et al., 2007). Similar a la unidad ediacarana Jocote, la unidad Baldy contiene, además de abundantes circones de 1.2-0.9 Ga, un número significativo de granos de circones detríticos de 1.6-1.5 Ga, poco común con Oaxaquia (Weber et al., 2008; Martens et al., 2010). Después de un hiatús devónico, se depositaron unidades fosilíferas siliciclásticas y carbonatadas del Misisípico-Pérmico temprano de las formaciones Santa Rosa, Grupera y Paso Hondo, que afloran hacia el este de Chiapas (Hernández-García, 1973) y el norte de Guatemala (Clemons & Burkart, 1971). La Formación Santa Rosa consiste de secuencias tipo flysch en Chiapas (Grupo Santa Rosa en Guatemala) e incluye un grupo de circones detríticos con un amplio rango de edad desde edades arqueanas hasta carboníferas (~ 340 a 325 Ma). Sin embargo, la mayoría de los granos de circón indican fuentes relacionadas con edades del sistema orogénico Pan-Africano-Brasiliano (Weber et al., 2006, 2009). Los conglomerados y areniscas de la Formación Macal contienen principalmente detritos locales de los granitos Mountain Pine Ridge (Martens et al., 2010). El Grupo Santa Rosa del Paleozoico Superior muestra una misma edad que las formaciones Del Monte y Guacamaya del Grupo Tamatán mostrando una correlación aparente (**Fig. 2. 3).**

2.2.5 Norte Andino (Mérida, Venezuela - Macizo de Santander, Colombia)

El basamento Proterozoico-Paleozoico del norte de los Andes es preservado en las localidades de Mérida y Caparo, Venezuela y en el Macizo de Santander, Colombia (**Fig. 2. 1).** En la región de los Andes venezolanos el basamento presenta una edad del Ediacarano-Cámbrico (~ 520 Ma; van der Lelij et al., 2016), formado de rocas de alto a bajo grado metamórfico (facies esquisto verde a anfibolita) que constituyen del Complejo Iglesias (incluyendo los grupos Sierra Nevada, Bella Vista y Tostos; González de Juana et al., 1980; Bellizzia & Pimentel, 1994; Tazzo-Rangel et al., 2019). El Complejo Iglesias está intrusionado por granitoides ordovícicos-silúricos (van der Lelij et al., 2016). Una cobertura sedimentaria paleozoica sobreyace discordantemente al Complejo Iglesias, y se conforma por:

(1) Las formaciones sedimentarias y metasedimentarias Caparo y Mucuchachí también muestran intercalaciones félsicas del Ordovícico al Pensilvánico (Bellizzia & Pimentel, 1994).

(2) La Formación El Horno con unidades clásticas y carbonatadas con abundantes fósiles silúricos (Boucot et al., 1999), de la misma edad de la Formación Cañón de Caballeros del Grupo Tamatán (Boucot et al., 1999).

(3) Las sucesiones del Devónico – Misisípico de los Andes venezolanos muestran un hiatús notable (**Fig. 2. 3)**, qué ocurre probablemente por compresión tectónica y una circulación marina restringida (González de Juana et al., 1980).

(4) Las formaciones Sabaneta y Palmarito (Paleozoico Superior) están compuestos por rocas siliciclásticas y carbonatadas intruidas por rocas félsicas y máficas del Pérmico-Triásico (Laya & Tucker, 2012; Tazzo-Rangel et al., 2019; **Fig. 2. 3).**

En Colombia, la Cordillera Oriental o Terreno Chibcha (Bellizzia & Pimentel, 1994), incluye los Macizos Quetamé, Santander, Floresta, Santa Marta y las montañas colombianas de Perijá. El basamento precámbrico aflora únicamente en el Macizo de Santander y en la Sierra de Santa Marta, conformada por paragneis, mármoles y migmatitas del Gneis Bucaramanga (945 ± 40 Ma; García et al., 2005; Urueña-Suarez & Zuluaga, 2011). El gneis de Bucaramanga es sobreyacido por la Formación Silgará del Ordovícico al Devónico, que incluye filita, cuarcita y meta-arenisca, intruidas por rocas ígneas.

Las rocas sedimentarias del Devónico medio, incluye rocas con y sin metamorfismo de la Formación Floresta, que comprende de rocas con aspecto filítico y de arenisca y lodolita marina. La Formación Floresta, que sobreyace discordantemente a la Formación Silgará, cuenta con edades U-Pb en circón detrítico de ca. 410 Ma y de 372 Ma (Mantilla-Figueroa & García-Ramírez, 2018) y es sobreyacida por la Formación Diamante del Carbonífero Tardío, ambas formaciones muestran un bajo grado de metamorfismo, diferente al del basamento. Este metamorfismo está relacionado con un evento diferente previo a la deposición de las formaciones Tiburón y Bocas (Pérmico; Vinasco et al. al., 2006; Cochrane et al., 2014; Spikings et al., 2015; van der Lelij et al., 2016; Tazzo-Rangel et al., 2019; **Fig. 2. 3).**

Las sucesiones sedimentarias no metamorfizadas están asociadas a sistemas deltaicos y relacionado con varios cambios del nivel marino (profundos y poco profundos) en una cuenca peri-cratónica de Gondwana durante el cierre del océano Réico y ensamble de Pangea (Laya & Tucker, 2012).

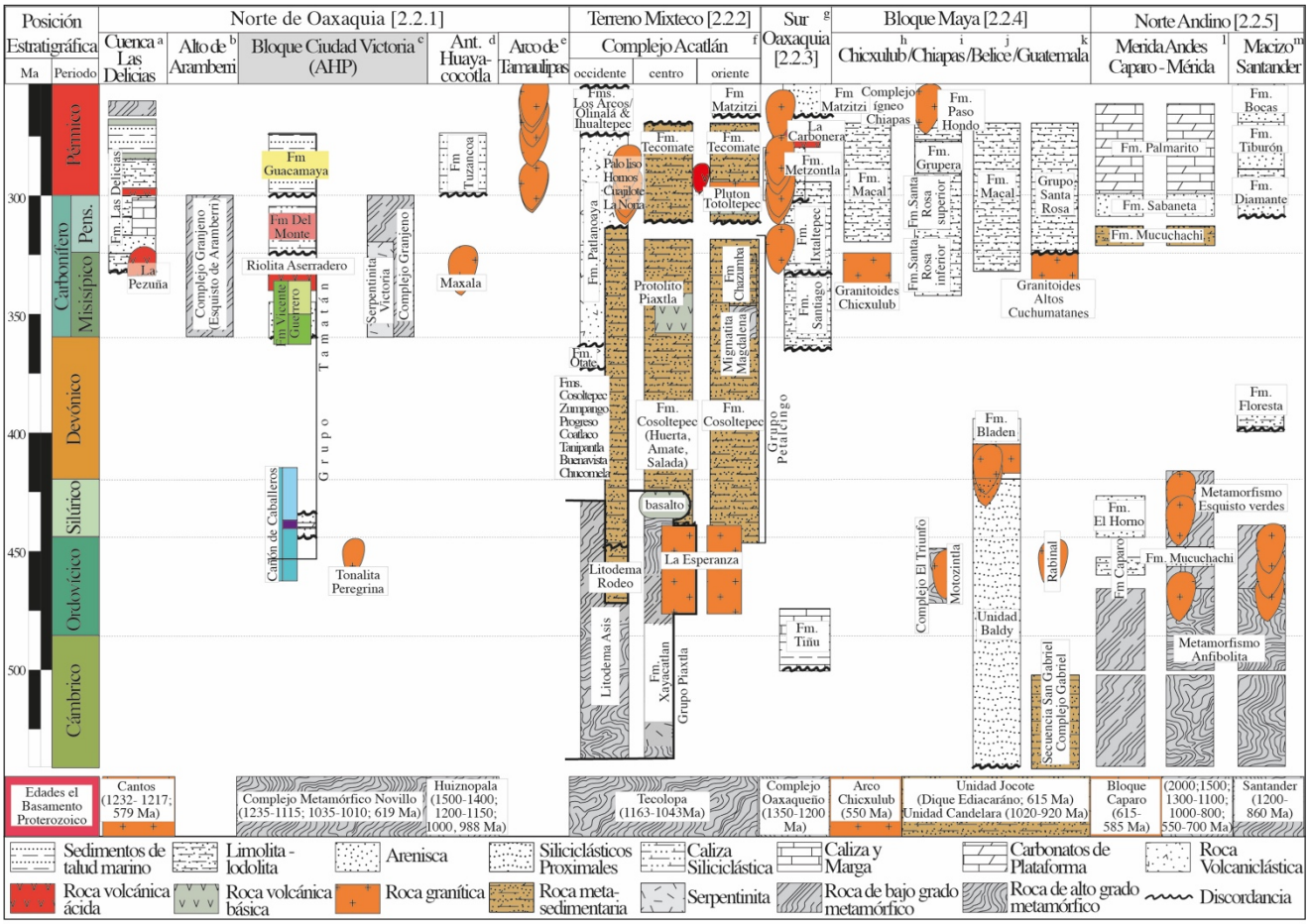


Fig. 2. 3. Estratigrafía Paleozoica simplificada de los terrenos peri-Gondwánicos de México y del norte Andino de Sudamérica; también se muestra las edades de su basamento correspondiente. **Nota**: La localización (número en corchete) de cada terreno se encuentra en la **Fig. 2. 1. (a)** = Poole et al. (2005); Lawton et al. (2020); **(b)** = Nance et al. (2007b); Torres-Sánchez et al. (2015, 2017); **(c)** = Stewart et al. (1999); Sour-Tovar et al. (2005); Alemán-Gallardo et al. (2019a, b); Ramírez-Fernández et al. (2021); **(d)** = Rosales-Lagarde et al. (2005), Weber & Schulze (2014), Martínez-Sánchez (2016); **(e)** = modificado de Ortega-Gutiérrez et al. (2018); **(f)** = Coombs et al. (2020); **(g)** = Solari et al. (2001); Murphy et al., 2005; Ortega-Obregón et al. (2014); Torres-Martínez & Sour-Tovar (2016); **(h)** = Zhao et al. (2020); **(i) y (j)** = Weber et al. (2008, 2009, 2020); **(k)** = Martens et al. (2010); **(l) y (m)** = van der Lelij et al. (2016); Tazzo-Rangel et al. (2019).

3 Geología local

3.1 Introducción

El Anticlinorio Huizachal-Peregrina (**Fig. 3. 1**) forma parte de la Sierra Madre Oriental, donde se expone la mayor galería de rocas del Proterozoico-Paleozoico del basamento del NE de México. Estas unidades fueron afectadas por procesos deformacionales a finales del Mesozoico e inicios del Cenozoico, descritas por Zhou et al. (2006) en dos etapas:

- Primera etapa: una fase piel delgada (*thin-skinned;* Cretácico Tardío), producida por el desarrollo de un cinturón de empuje; que consiste en el desarrollo de pliegues y fallas de despegue (*detachment*) que afectan primordialmente a las rocas del Jurásico.
- Segunda etapa: una fase de piel gruesa (*thick-skinned;* Paleógeno Temprano) y de mayor compresión; que incluye a las rocas del basamento; se producen cabalgaduras y reactivación de fallas inversas profundas.

Ambas etapas de deformación en parte contribuyeron a la formación del orógeno que da lugar a la formación Sierra Madre Oriental, al desarrollo de las estructuras antes mencionadas y a la exposición de las rocas del basamento por medio de grandes ventanas tectónicas (p.ej., Altos de Aramberri, Miquihuana-Bustamante, Huizachal-Peregrina, Huayacocotla; Zhou et al., 2006; Barboza-Gudiño et al., 2011). La extensión del orógeno Mexicano abarca desde el NW de Sonora hasta el sur de Oaxaca (~2000 km). Las características cinemáticas que indican un comportamiento de tipo Sevier, pero un estilo de deformación Laramide de Norteamérica. Los rangos de edad datado hasta el momento van desde ~93 – 80 Ma y 55 – 43 Ma de oeste a este (cf., Fitz-Díaz et al., 2018).

En particular, el AHP presenta una tendencia NNW-SSE, con una traza de aproximadamente 200 km y cubre un área de 35 km^2. Esta estructura es cortada transversalmente de N a S por diversos cañones que dan acceso al basamento pre-Mesozoico del NE de México. En el eje central ocurre el Grupo Tamatán (i.e., las formaciones Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya; **Fig. 1. 4**), el cual limita al occidente por el complejo metamórfico proterozoico Novillo y al oriente por el complejo paleozoico Granjeno y por los lechos rojos del Triásico-Jurásico del Grupo Huizachal (**Fig. 3. 1a**).

En general, los afloramientos del Grupo Tamatán afloran de manera discontinua, altamente deformados, fracturados y en ocasiones con fallamiento local (frecuentemente en las fms. Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya). El contacto entre las formaciones muchas veces es cubierto por vegetación y suelo. Los mejores afloramientos se encuentran en los arroyos, taludes de los caminos y, en ocasiones, sobre las faldas de los cerros (**Fig. 3. 1b)**. Ramírez-Ramírez (1992), Boucot et al. (1997) y Stewart et al. (1999) reportaron que los contactos entre las formaciones aparentemente son en su mayoría discordantes y en ocasiones de tipo tectónico.

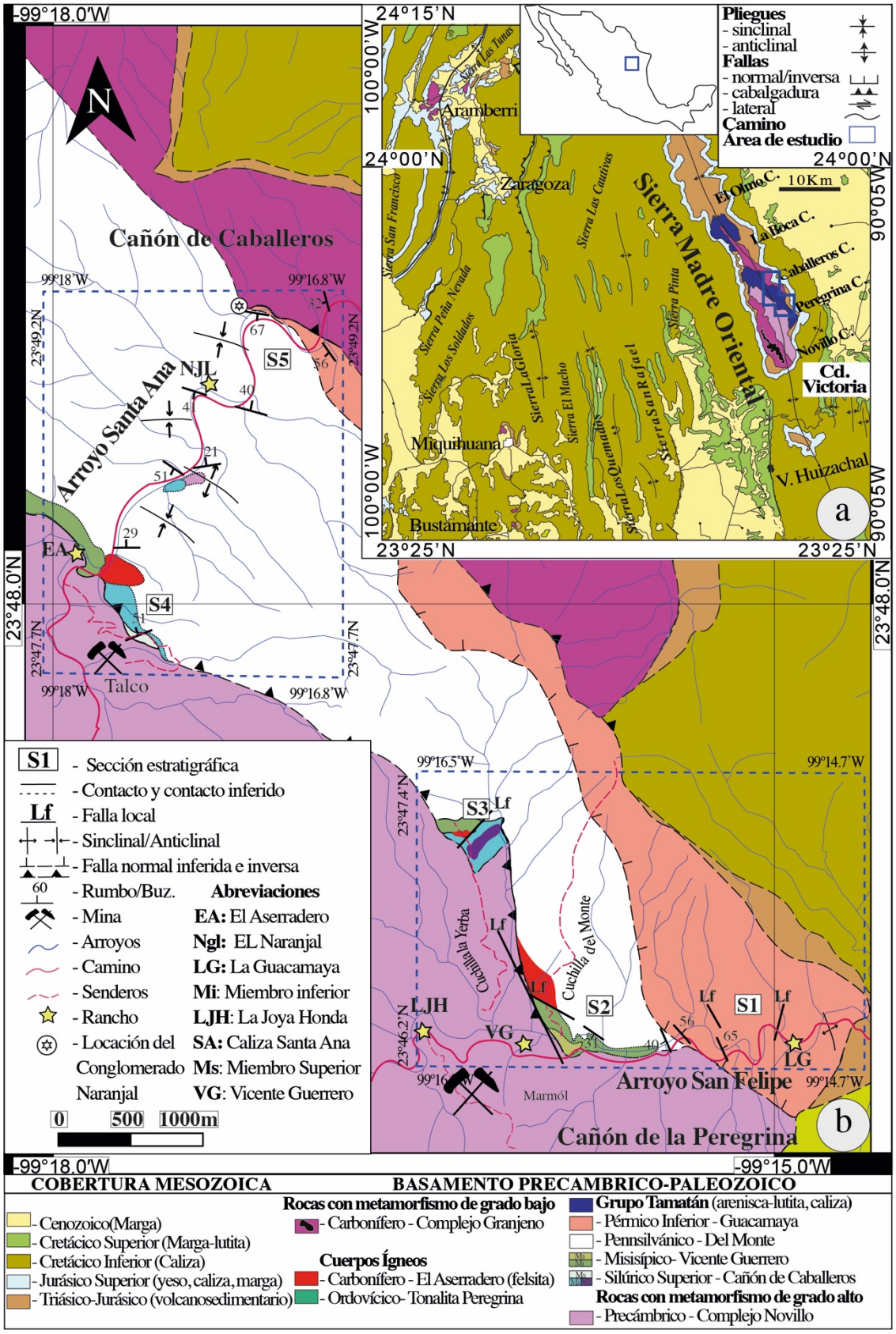


Fig. 3. 1. (a) Afloramientos de las ventanas tectónicas y exposición de las rocas del basamento del NE de la Sierra Madre Oriental (modificado de Barboza-Gudiño et al., 2011). **(b)** Mapa geológico de los afloramientos del Grupo Tamatán (modificado de Ramírez-Ramírez, 1992; Stewart et al., 1999). Los recuadros con guiones azules indican el área de estudio.

3.2 El Grupo Tamatán

Se analizaron segmentos de los afloramientos mejor preservados del Grupo Tamatán (**Fig. 3. 1**) a partir de las descripciones realizadas en Stewart et al. (1999). Se levantaron cinco secciones con una continuidad aproximada con descripciones litológicas, estructuras sedimentarias y contenido fósil (**Fig. 3. 2**). Los cambios en la sedimentación son muy marcados entre las formaciones. En general, el Grupo Tamatán muestra depósitos asociados a un ambiente somero de alta energía que se desarrolla hacia un ambiente marino profundo. A continuación, se describen las características litológicas, estructurales y paleontológicas de cada formación.

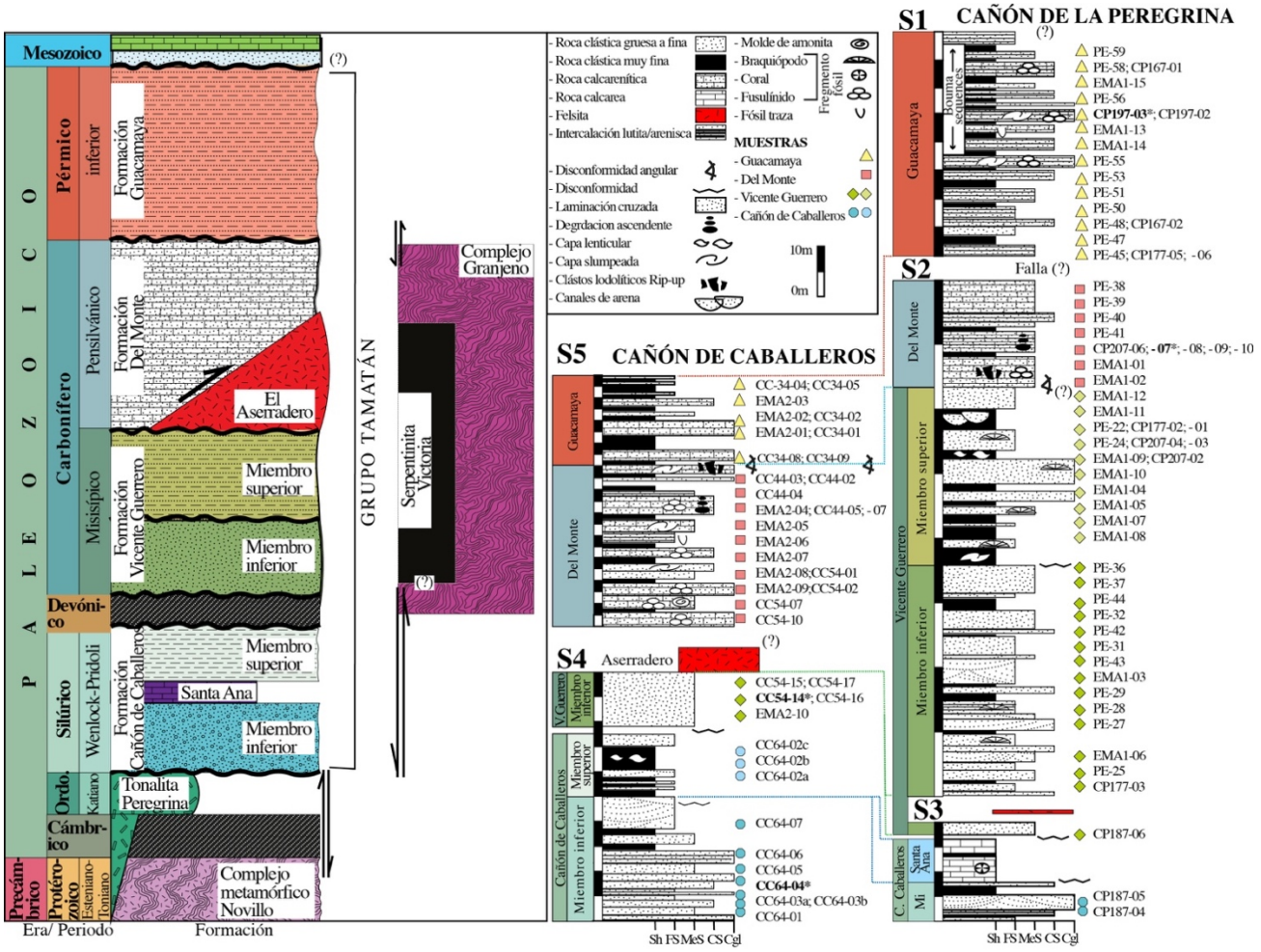


Fig. 3. 2. A la izquierda se muestra la columna geológica del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (modificado de Stewart et al., 1999); A la derecha, las secciones estratigráficas y ubicación de las muestras del Grupo Tamatán. **Nota:** en negrillas y * = muestras para geocronología, **S1** a **S5** = secciones (su ubicación se da en la **Fig. 3. 1**).

3.2.1 Formación Cañón de Caballeros

Esta es la unidad más antigua del Grupo Tamatán, aflora en los cañones Caballeros y de la Peregrina e incluye tres miembros: Inferior, Caliza Santa Ana y Superior (**Fig. 3. 1**).

3.2.1.1 Características litológico -estructurales

Con base a las características litológicas previamente descritas por Stewart et al. (1999), el miembro inferior se reconoció sobre el antiguo camino a la mina de talco Caballeros (S4; **Fig. 3. 1**), donde los afloramientos no han sido mapeados.

Se midieron alrededor de 25 m de columna estratigráfica (**Fig. 3. 2).** El *Miembro Inferior* consta de conglomerados con cuarzo, feldespato (con tonos naranja) y clastos ígneos (en tonos oscuros) de ~ 4 – 5 mm, areniscas de grano grueso con clastos redondeados de tonos verdosos. Conforme se asciende estratigráficamente las areniscas gruesas se degradan hacia un grano fino con porciones más limosas de lutita con tonalidad amarilla. Generalmente, las capas arenosas aparecen con formas masivas y estratificación cruzada. Este miembro presenta dos agrupaciones de orientaciones cuyo rumbo y buzamiento en promedio va de: **(A) 260º/38º** y **(B) 288º/52º** (**Fig. 9. 1**, **Anexo**). Además, este miembro se encuentra en contacto tectónico aparentemente por falla inversa con rumbo y buzamiento de **330º/71º** con el Complejo Novillo (**Fig. 3. 3; Fig. 3. 4; Tabla 3, Anexo**).

En el Cañón de la Peregrina, el miembro inferior aflora puntualmente subiendo el sendero de la Cuchilla La Yerba (S3; **Fig. 3. 1**). Consta de ~ 8 m de arenisca gruesa de espesor con laminación cóncava que intercalan con capas de lutita muy delgados (**Fig. 3. 3**). Acorde con las observaciones, este miembro probablemente está superpuesto discordantemente al miembro Caliza Santa Ana y a la Formación Vicente Guerrero.

• El *Miembro Caliza Santa Ana* consiste en ~ 8 m de calizas bioclásticas gris claro recristalizadas con abundantes arcillas, altamente fracturada y frecuentemente vetillas de óxido de hierro. En ocasiones se intercalan capas delgadas de limolitas. En láminas delgadas, la recristalización calcárea de este miembro es muy notable (p.ej., muestra CP187-01, **Tabla 9, Anexo**).

• El *Miembro Superior* comprende de rocas siliciclásticas de grano fino, incluyendo limolitas, lutitas y areniscas de grano fino en tonos gris verdoso y oliva, con un espesor total de aproximadamente ~13 m (**Fig. 3. 2**). Sin embargo, Stewart et al. (1999) reportaron un espesor de hasta 100 m. En general, la orientación de las capas de este miembro cuenta con rumbo y buzamiento promedio de **339º/72º** y en ocasiones se pone en contacto tectónico con orientación de **290º/51º** con el basamento (**Fig. 3. 4; Fig. 9. 1**; **Tabla 3, Anexo**).

3.2.1.2 Paleontología y asignación de edad

La asignación de edad estratigráfica de la Formación Cañón de Caballeros se hizo a partir de los trabajos de Boucot et al. (1997) y Stewart et al. (1999).

- Con base a su fauna fósil, al *Miembro Inferior* se le asigna una edad Wenlockiana Medio (~ 433 Ma). Esta consiste de rostroconcha, braquiópodo de tipo *stricklandiid, Delthyris sp.,* brioozo fenestélidos, *Atrypa reticularis*, corales rugoso y fragmentos de trilobites (?).
- Al *Miembro Caliza Santa Ana* se le ha asignado una edad de Wenlockiano Tardío - Ludlowiano, se describe de acuerdo con su fauna de braquiópodos, gasterópodos trilobites y corales. Entre los braquiópodos destacan los tipos *Sphaerirhynchia sp., Delthyris sp., Dalejina sp., Strophoprion sp., Leptaena rhomboidalis, Resserella sp., Howellella sp., Rhynchonella aff. Stricklandii, Pentamerus sp., Cyrtia sp., stropheodontido*, *athyrid,* los gasterópodos son de tipo *bellerofontido*, mientras que los trilobites están representados por *dalmanites* y corales por *favositido*. La edad más antigua del Wenlockiano Tardío (~ 430 Ma) se relaciona con la presencia de *Sphaerirhynchia;* mientras que la más joven es del Ludlowiano (~ 427 Ma) por la presencia de *Pentamerus* (Boucot et al., 1997).

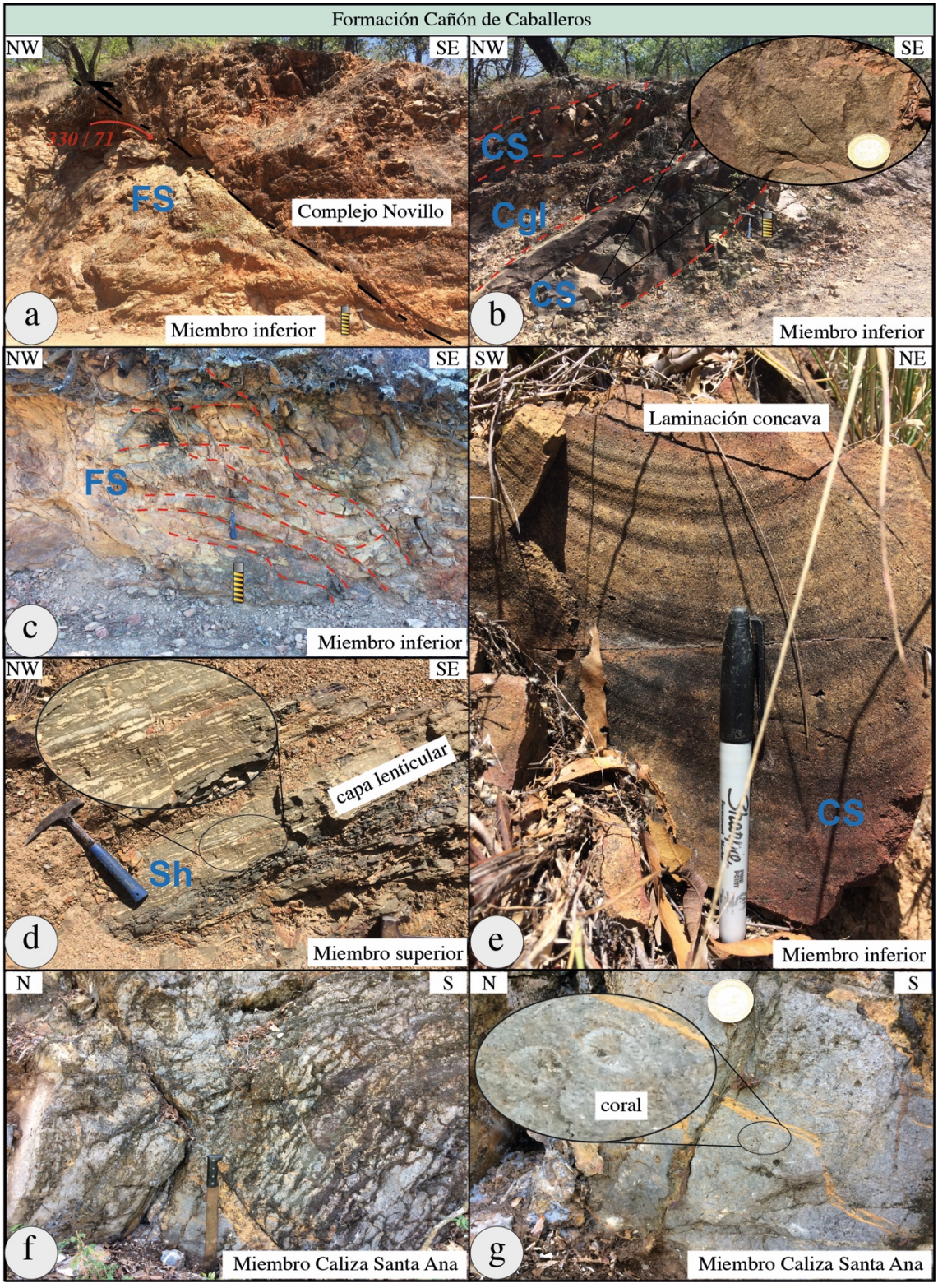


Fig. 3. 3. Afloramientos de la Formación Cañón de Caballeros (Wenlockiano a Devónico Inferior). En el Cañón de Caballeros**: (a)** contacto tectónico de arenisca fina (FS) del Miembro Inferior con el complejo Novillo, **(b)** estratos conglomerado (Cgl) y arenisca gruesa (CS), **(c)** estratos de arenisca fina (FS). En el Cañón de la Peregrina: **(d)** lutita gris-verdosa (Sh) con lentes de arena**, (e)** laminación cóncava en rocas de arenisca gruesa (CS), **(f-g)** Caliza masiva e impresiones de corales. **Nota:** barra color amarillo-negro representa una escala de 35 cm.

- Al *Miembro Superior* se le ha asignado una edad del Ludlowiano al Pridoliano. La más antigua se relaciona con 23 géneros de braquiópodos, subsecuentemente trilobites, briozoo, coral y gasterópodo. Entre los braquiópodos, *Macropleura* y *Sphaerirhymchi*a sugieren una edad del Wenlockiano Tardío a Ludlowiano. Mientras que el braquiópodo *Amphistrophiella* (Sulcastrophiella) sugiere una edad en el límite Wenlockiano- Ludlowiano (~ 427 Ma). Esta fauna también ha sido documentada en la Formación El Horno en Venezuela (p.ej. Boucot et al., 1999). Por otra parte, la fauna más joven incluye nueve géneros de braquiópodos. En particular, la presencia de *Baturria* indica una edad del Ludlowiano a Pridoliano (~ 423 Ma), mientras que la de *Delthyris* del Pridoliano Tardío (~ 419 Ma; Boucot et al., 1997). Los braquiópodos de tipo *Baturria* se han encontrado también en sedimentos del Devónico Temprano (p.ej. en España; Carls, 1977), por lo que la Formación Cañón de Caballeros pudieran ser más recientes.

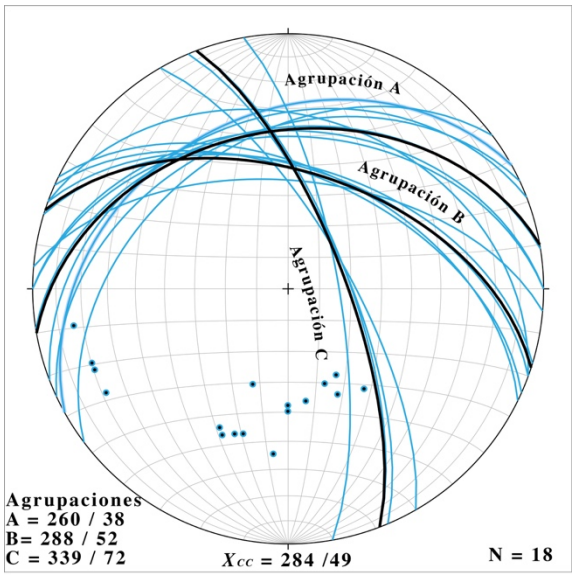


Fig. 3. 4. Orientación general de los rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Cañón de Caballeros. **Nota:** puntos refieren a los polos de cada capa.

3.2.2 Formación Vicente Guerrero

3.2.2.1 Características litológico - estructurales

En el Cañón de la Peregrina, esta unidad está en contacto tectónico con el Complejo Novillo en el arroyo San Felipe hacia al norte del Rancho Vicente Guerrero (Stewart et al., 1999). Así mismo, esta Formación subyace de manera discordante a las formaciones Del Monte y Riolita Aserradero (**Fig. 3. 5).**

En el Cañón de Caballeros a ~ 300 m al este del Rancho El Aserradero (**Fig. 3. 1**), la Formación Vicente Guerrero aflora de manera masiva, en contacto con la Riolita Aserradero. Además, en este cañón, la unidad sobreyace a la Formación Cañón de Caballeros.

La Formación Vicente Guerrero se presenta en dos miembros (Stewart et al., 1999). El *Miembro Inferior* aflora en el Cañón de Caballeros, donde se midieron aproximadamente 11 m de espesor, formado de areniscas masivas de grano medio con tonalidad gris en fresco y en naranja – ocre oscuro en intemperismo. El afloramiento se expone como un banco de arenisca (~ 11 m de espesor; **Fig. 3. 2**) sobre el camino de terracería adyacente al arroyo Santa Ana.

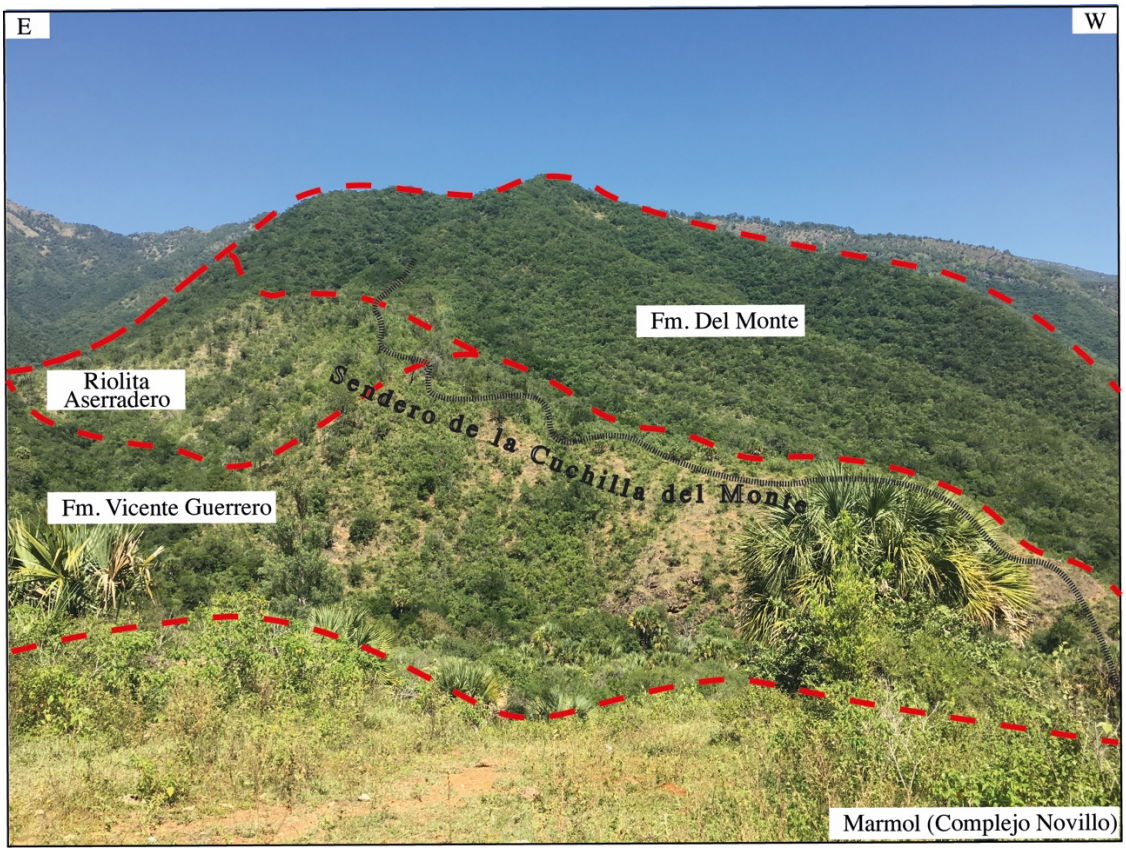


Fig. 3. 5. Panorámica de la distribución de los afloramientos de las formaciones que conforman el Grupo Tamatán. Vista de frente de casa blanca abandonada, Cañón de la Peregrina.

En el Cañón de la Peregrina, las capas del *Miembro Inferior* de la Formación Vicente Guerrero incluyen horizontes delgados (~ 10-30 cm) de conglomerados, areniscas de grano grueso, que intercalan con areniscas de grano medio a fino. También se exhiben horizontes con fragmentos y moldes fósiles (p.ej. braquiópodos, gasterópodos; **Fig. 3. 6**). Las estructuras más comunes reconocidas en los estratos del *Miembro Inferior* incluyen estratificación cruzada, bancos de arena y laminación horizontal local.

• El *Miembro Superior* aflora exclusivamente en el Cañón de la Peregrina. Este miembro consta de ~ 14 m de areniscas limosas de grano fino intercaladas con limolitas altamente deformadas y lutita (**Fig. 3. 6**). Además, incluye lentes arenosos (~ 20 cm), *slumps* locales y canales de arenisca gruesa masiva con un horizonte canalizado de conglomerados soportada en matriz en su parte basal. Los clastos aparecen imbricados con formas alargadas y muy redondeados con hasta ~10 mm de diámetro. En ocasiones ocurren horizontes de coquinas, con fragmentos de braquiópodos con un arreglo caótico.

Es posible observar la estratificación de la Formación Vicente Guerrero en el miembro inferior que aflora en el Cañón de la Peregrina. En el Cañón de Caballeros esta unidad aflora de forma masiva y su miembro superior está altamente deformado (**Fig. 3. 6c**). Por eso, los datos estructurales se presentan en una sola agrupación cuya orientación promedio es de **121º / 43º** (**Fig. 3. 7**).

El contacto tectónico entre la Formación Vicente Guerrero y las rocas metamórficas del Complejo Novillo, se considera como una probable falla local con una orientación de **150º / 49º** (**Fig. 9. 1**, **Anexo**).

3.2.2.2 Paleontología y asignación de edad

En la transición entre los miembros inferior y superior de la Formación Vicente Guerrero se encuentra una gran variedad de braquiópodos y, en menor cantidad, de gasterópodos, corales y briozoos como fragmentos y moldes (Stewart et al., 1999).

La fauna de braquiópodos que se han identificado, incluye *Rugosochonetes cf. R. Multicosta, Tolmatchoffia winchelli, Rotaia subtrigona, Actinoconchus cf. A. Lamellosus, Cleiothyridiana cf. C. Tenuilineata, Camarophorella mutabilis, Punctospirifer subtexta, Syringothyris typa* y *Becheria chouteauensis* (Stewart et al., 1999).

También se han identificado ejemplares de tipo *Yagonia collinsoni*, *Lamellosathyriss lamellosa, Torynifer pseudolineateus*, *Cleiothyridina cf. tenuilineata, Camarophorella sp., Alispirifer tamaulipensis n. sp., ¿Tylothyris? sp., Torynifer pseudolineatus, Syringothyris cf. typa, Syringothyris? sp.,* y *Punctospirifer sp*. La mayoría de estos tipos se encuentran documentados sobre el sendero Cuchilla del Monte (**Fig. 3. 5;** Sour-Tovar & Martínez-Chacón, 2004; Sour-Tovar et al., 2005) y en los alrededores del Rancho Vicente Guerrero (**Fig. 3. 5** y **Fig. 3. 6**).

Los especímenes de braquiópodos documentados en la Formación Vicente Guerrero, delimitan una edad del Osageno inferior descrita en Norteamérica, equivalente al límite del Tournasiano – Viseano (~ 346 Ma, Misisípico Medio).

3.2.3 Riolita Aserradero

Esta unidad fue descrita por primera vez por Carrillo-Bravo (1961), refiriéndose a cuerpos riolíticos como novaculitas devónicas (radiolaritas marinas) de la Formación La Yerba. Gursky & Ramírez-Ramírez (1986), Ramírez-Ramírez (1992) y Stewart et al. (1999) definieron los cuerpos como riolitas / riodacitas y acuñaron el término Riolita Aserradero [3], descartando el nombre 'Formación La Yerba'. Los análisis de espectrometría de masas de ionización térmica de dilución de isótopos U-Pb (ID-TIMS) de circón documentados en Stewart et al. (1999) arrojaron una edad de intercepción de concordia en 334 ± 39 Ma.

Recientemente Ramírez-Fernández et al. (2021) reportan una edad más delimitada del Misisípico Medio – Tardío (347.8 ± 2.7 Ma y 340.7 ± 3.6 Ma) y la cual representa la etapa principal de un arco precolisional del Carbonífero-Pérmico.

La localidad tipo de esta unidad, se ubica en las coordenadas: UTM Zona 14N- 469825 E; 2632313 N, próximo al Rancho El Aserradero (**Fig. 3. 1**). En observaciones de campo la Riolita Aserradero se exhibe en forma de cuerpos lenticulares e irregulares aislados a lo largo de los cañones de Caballeros y de la Peregrina. Los cuerpos irregulares se intercalan entre las formaciones Vicente Guerrero y Del Monte (**Fig. 3. 5; Fig. 3. 6**).

[3] Riolita Aserradero se detalla en el trabajo publicado recientemente por: Ramírez-Fernández J.A., Alemán-Gallardo, E.A., Cruz-Castillo, D., Velasco-Tapia, F., Jenchen, U., Becchio, R., De León-Barragán, L., & Casas-Peña, J.M. (2021): Early Mississippian precollisional, peri-Gondwanan volcanic arc in NE-Mexico: Asseradero Rhyolite from Ciudad Victoria, Tamaulipas. – International Journal of Earth Sciences. – [doi: 10.007/s00531-021-01992-3]

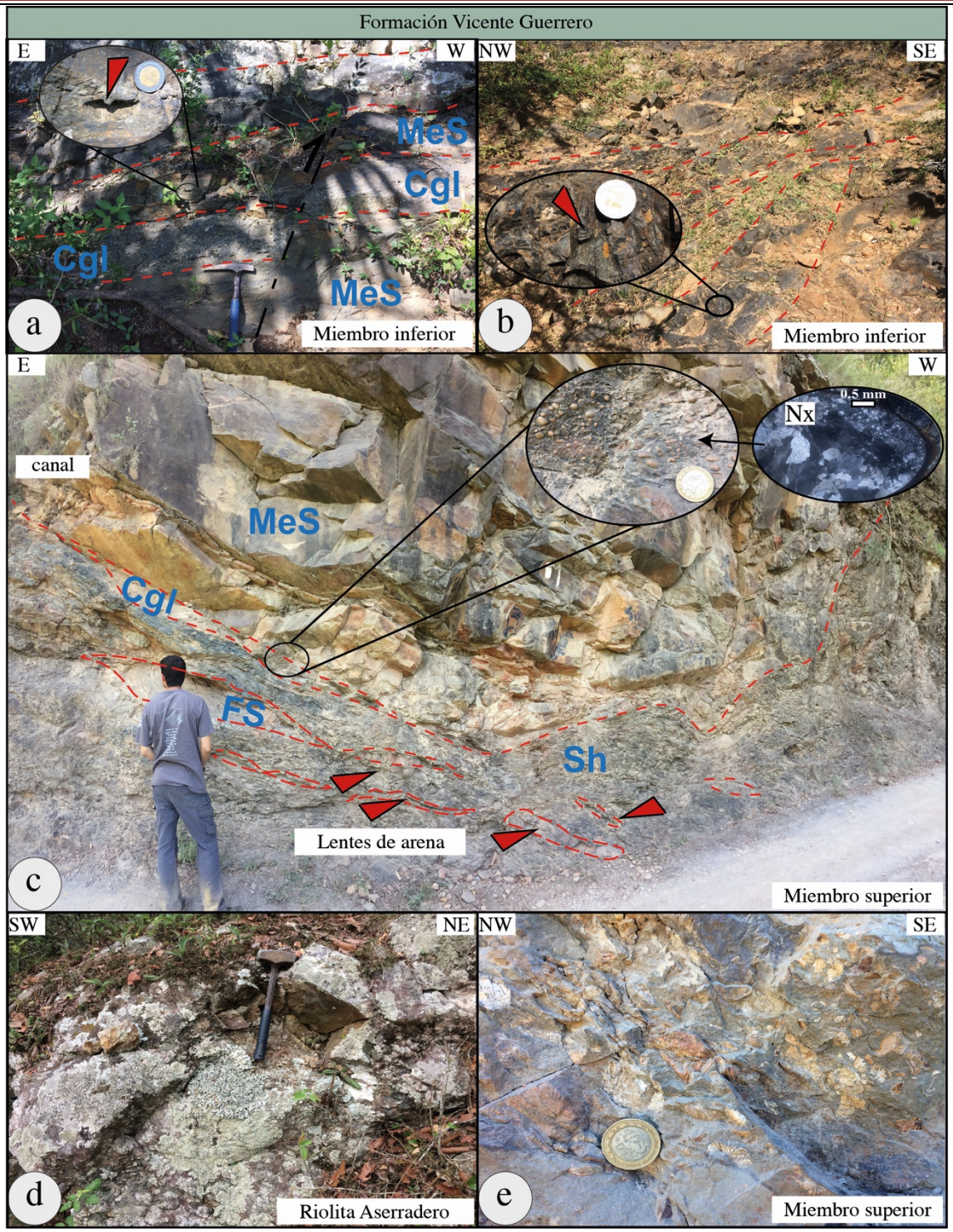


Fig. 3. 6. Afloramientos de la Formación Vicente Guerrero (Misisípico). En el Cañón de la Peregrina: **(a)** Conglomerado (Cgl) y estratos de arenisca media (MeS); triángulo rojo indica un molde de braquiópodo**, (b)** arenisca con estratificación cruzada; triángulo rojo indica la disposición caótica de los moldes de braquiópodo, **(c)** Limolita y lutita (Sh) altamente deformada, con lentes de arena fina (FS) de tipo '*budín'* y canal de arenisca de grano medio (MeS) masiva, en su base exhibe un horizonte conglomerático matriz-soportado (Cgl) con clastos imbricados muy redondeados, **(d)** afloramiento masivo de la Riolita Aserradero, **(e)** moldes de braquiópodos en capas de arenisca fina.

La Riolita Aserradero se caracteriza por una laminación interna tipo fluidal con tonalidades blanquecinas y gris oscuro a rojizo en intemperismo.

En lámina delgada, esencialmente se presentan texturas afaníticas, microcristalinas; en ocasiones se muestran cristales de cuarzo, feldespato y biotita alterada como se ilustra en la **Fig. 9. 7 del Anexo.**

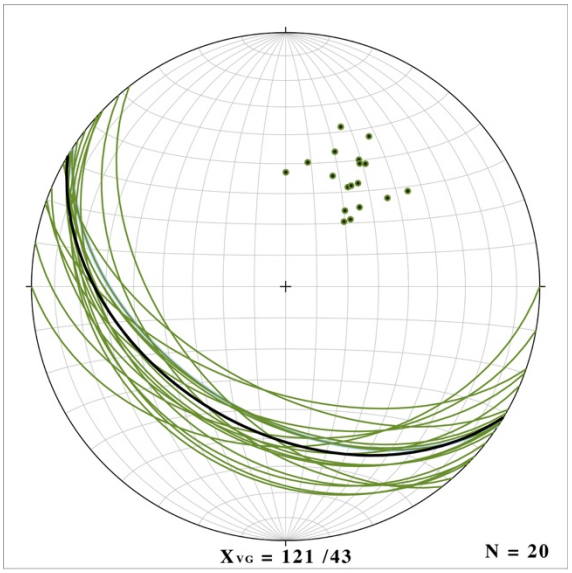


Fig. 3. 7. Orientación general en rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Vicente Guerrero**. Nota:** puntos refieren a los polos de cada capa.

3.2.4 Formación Del Monte

3.2.4.1 Características litológico - estructurales

Esta unidad se encuentra ampliamente expuesta tanto en los cañones de Caballeros y de la Peregrina (**Fig. 3. 1**). Según Carrillo-Bravo (1961) y Gursky & Michalzik (1989), la Formación Del Monte mide 230 m de espesor, de los cuales, se han documentado un total ~ 80 m en este trabajo (**S2** y **S5**; **Fig. 3. 1; Fig. 3. 2**).

En las observaciones de campo se identificó la unidad basal de la Formación Del Monte, anteriormente era reportada como Conglomerado Naranjal (Carrillo-Bravo, 1961; Stewart et al., 1999). El afloramiento se expone en las coordenadas: UTM Zona 14N- 470961 E; 2634202 N, y consiste en una brecha sedimentaria masiva de ~ 30 m^2, con abundantes fragmentos angulares a sub-redondeados de ~ 3 a 20 cm de diámetro, sin un orden o arreglo preferencial conformado de rocas metamórficas (en tonos blanquecinos y verdosos), ígneas (en tonalidades oscuros) y sedimentarias (tonos rojizos) (**Fig. 3. 8**).

En lámina delgada de un clasto meta-ígneo de la brecha basal, se ha observado cuarzo policristalino y feldespato, acompañado de cuarzo con extinción recta, lo que indica un dominio de roca metamórfica.

La Formación Del Monte se encuentra en contacto tectónico con el basamento cristalino del Complejo Novillo (**Fig. 3. 8**). En las partes más superior de la Formación del Monte, los afloramientos varían de forma masivas y sin aparente estratificación (**Fig. 3. 9a**) hasta areniscas con estratificación mediana (10- 15 cm; **Fig. 3. 9 b**) como promedio y, con menos frecuencia, delgados (~ 3 cm; **Fig. 3. 9 g)**. En ocasiones, se presentan laminación horizontal o de tipo *ripple*, así como planos de estratificación con bordes ondulados e irregulares (p.ej. **Fig. 3. 9 e-g**).



Fig. 3. 8. Afloramiento del miembro basal de la Formación Del Monte (Pensilvánico). En el Cañón de Caballeros: **(a-b)** Conglomerado de Naranjal incluye fragmentos metamórficos, meta-sedimentarios y en menormente ígneos con gran variedad de tamaño (triángulos rojos).

En general, la Formación Del Monte (**S2** y **S5**; **Fig. 3. 1; Fig. 3. 2**), incluyen principalmente rocas de composición calcáreo-arenítica (comparable a la Formación Santa Rosa Superior, Bloque Maya; Weber et al., 2006;**Fig. 2. 3**) y se puede dividir en cuatro facies:

1. Brechas con fragmentos cristalinos (metamórficos-ígneos; **Fig. 3. 8**)
2. Conglomerados calcáreos con clastos de lodo desgarrado o de tipo *rip-up*, que podrían representar un flujo de detrito de tipo calcáreo (**Fig. 3. 9 a**).
3. Arenisca calcárea (calcarenita) masiva que muestra degradación de grano (**Fig. 3. 9 e**), y
4. Alternancias de calcarenita y calcalutita laminares de tonalidad gris claro a oscuro, respectivamente (p.ej., **Fig. 3. 9 b-d**).

En la Formación Del Monte se pudieron reconocer nueve agrupaciones de capas con orientaciones contrastantes que indican plegamiento local, y explican la discordancia angular con la Formación Vicente Guerrero (Stewart et al., 1999; **Fig. 3. 7 y Fig. 3. 10**, respectivamente).

Los nueve grupos (**Fig. 3. 1 y Fig. 3. 10; Tabla 2 Anexo**), se constituyen de: **Agrupación A** = 35º / 53º**; Agrupación B** = 232º / 51º**; Agrupación C** = 158º / 56º**; Agrupación D** = 271º / 35º**; Agrupación E** = 252º / 74º**; Agrupación F** = 116º / 72º**; Agrupación G** = 335º / 56º **; Agrupación H** = 209º/ 86º, y **Agrupación I** = 314º / 80º**.**

Los grupos **A – G** e **I** se observan en las calco-arenitas del Cañón de Caballeros (donde también se presenta la mayoría de los pliegues locales). Las agrupaciones **F** y **H** se presentan en el Cañón de la Peregrina (**Fig. 3. 1**).

3.2.4.2 Paleontología y asignación de edad

El registro fósil de fusulínidos, corales y *goniatites* descritos en la Formación del Monte (p.ej. Carrillo-Bravo 1961; Stewart et al., 1999), indica una edad estratigráfica del Pensilvánico, aunque pudiera llegar a ser más joven (Moscoviano, ~ 315 Ma).

En este trabajo se encontraron amonoides de tipo *goniatites* (**Fig. 3. 9 c**) e icnofósiles (**Fig. 3. 9 d).** Además de mostrar un alto contenido de fusulínidos y ooides (**Tabla 11, Anexo**).

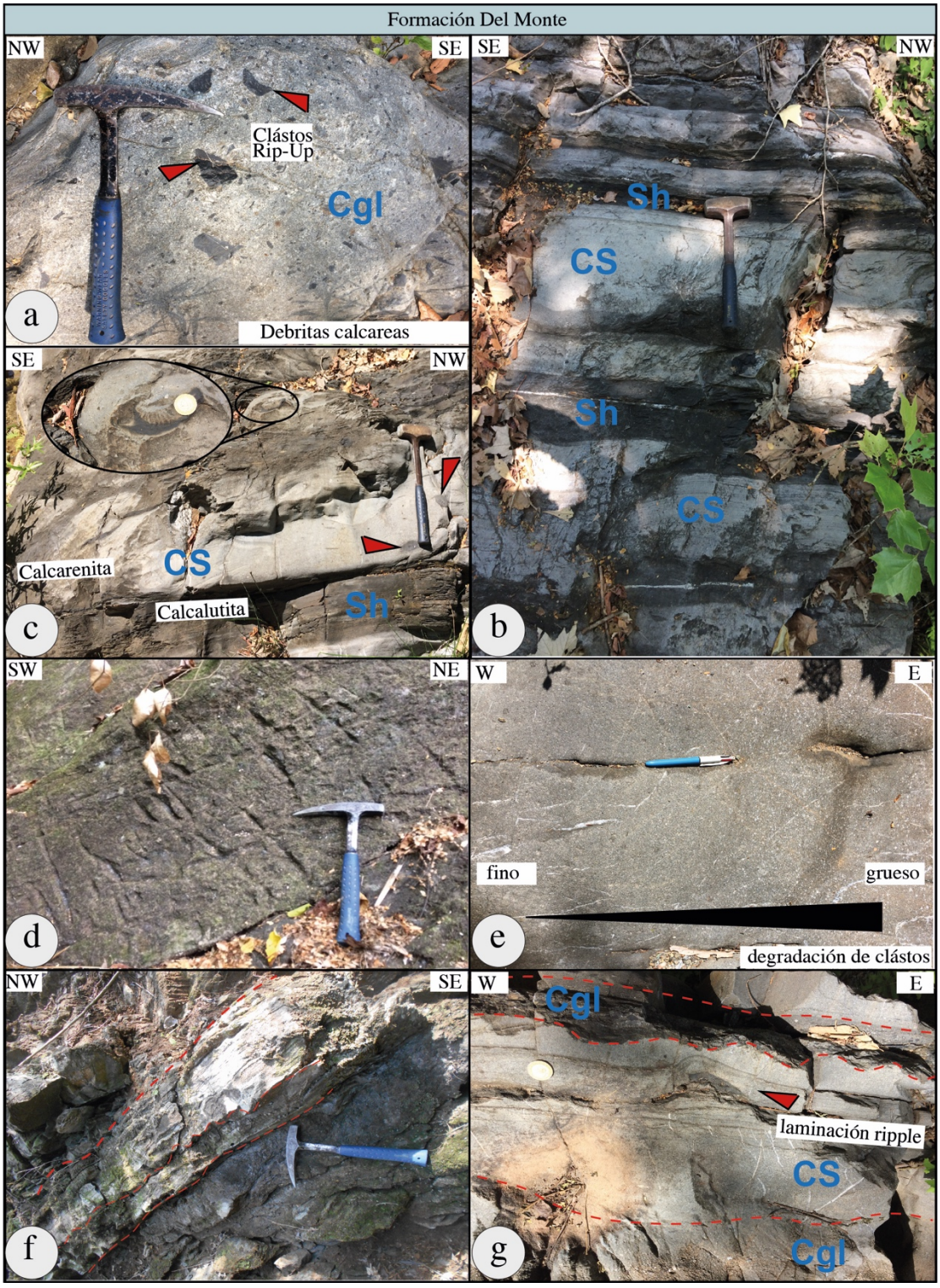


Fig. 3. 9. Afloramientos de la Formación Del Monte (Pensilvánico). En el Cañón de Caballeros: **(a)** Flujo de detrito calcáreo con clastos de lodo desgarrado (*Rip-Up*; triángulos rojos), **(b-c)** intercalación de arenisca de grano grueso (CS) y lutita calcárea (Sh); Óvalo, es el acercamiento de un molde de amonita, triángulo rojo indica la presencia de clastos de lodo, **(d)** Fósiles traza **(?).** En el Cañón de la Peregrina**: (e)** calcarenita masiva con degradación local, **(f-g)** laminación ondulada y estratos ondulados.

3.2.5 Formación Guacamaya

3.2.5.1 Características litológico - estructurales

La Formación Guacamaya aflora en los cañones de Caballeros y de la Peregrina (**Fig. 3. 1)**. Se ha descrito como la unidad más potente, de acuerdo con Gursky & Michalzik (1989) y Stewart et al. (1999), con un espesor de hasta más de 1,260 m. Su sección tipo se encuentra registrada en el Cañón de la Peregrina (Gursky & Michalzik, 1989; Stewart et al., 1999).

En este trabajo se levantó una sección estratigráfica compuesta de ~ 80 m de espesor, que se distribuyen entre ambos cañones (**S1 y S5**; **Fig. 3. 1 y Fig. 3. 2**).

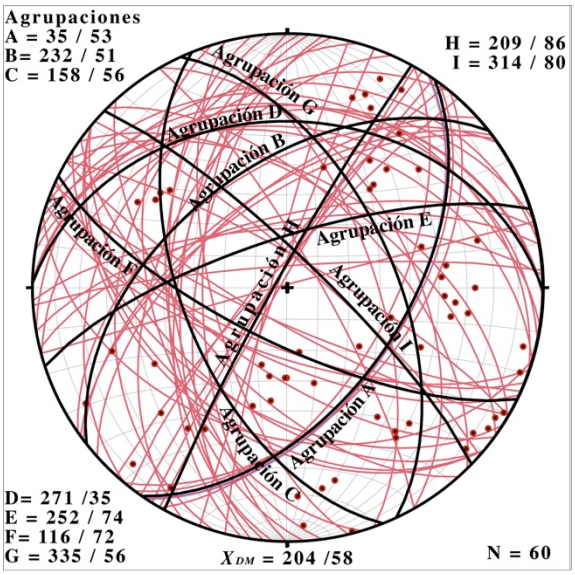


Fig. 3. 10. Orientación general de los rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Del Monte. **Nota:** puntos refieren a los polos de cada capa.

La litología dominante consiste de depósitos turbidíticos comparables con la Formación Tuzancoa en Molango, Hidalgo (Rosales-Lagarde et al., 2005; **Fig. 2. 3**). En el Cañón de Caballeros los paquetes sedimentarios incluyen capas de conglomerados y areniscas con potentes espesores de 60 a 100 cm, que se intercalan con horizontes lutíticos de entre los 40 – 50 cm (**Fig. 3. 12 b**). En intemperismo las rocas muestran pátinas de coloración café oscuro a verdosas y, en fresco tonalidades desde gris claro a oscuro (**Fig. 3. 12 b**).

En el Cañón de la Peregrina, la unidad consiste principalmente de intercalaciones rítmicas de capas delgadas a medianas de entre ~5 a 40 cm de lutitas, areniscas y areniscas calcáreas (**Fig. 3. 11**); En ocasiones se intercalan con horizontes potentes de conglomerados (~ 100 cm), que cuentan con fragmentos (de ~ 1 a 5 cm) de cuarzo, feldespatos en tonos blanquecinos, y abundantes fragmentos líticos epiclásticos con tonalidad oscura (p. ej., gris metálico; **Fig. 3. 11g**). Fragmentos calcáreos también son comunes. La matriz varía entre arcillosa y calcárea.

Las areniscas de la Formación Guacamaya son típicamente uniformes, en ocasiones contienen ondulaciones o estratificación masiva (**Fig. 3. 12d**). Se pueden reconocer capas con laminación horizontal, de tipo ripple, cruzada o convoluta. Son muy abundantes las secuencias Bouma incompletas (Bouma 1962; **Fig. 3. 11 b**). También se presentan capas caóticamente deformadas (*slumps*), además fracturadas e incluso con fallamiento local (**Fig. 3. 12; Fig. 3. 13**). Se puede interpretar que la Formación Guacamaya es el resultado de un depósito de aguas profundas (Stewart et al., 1999).

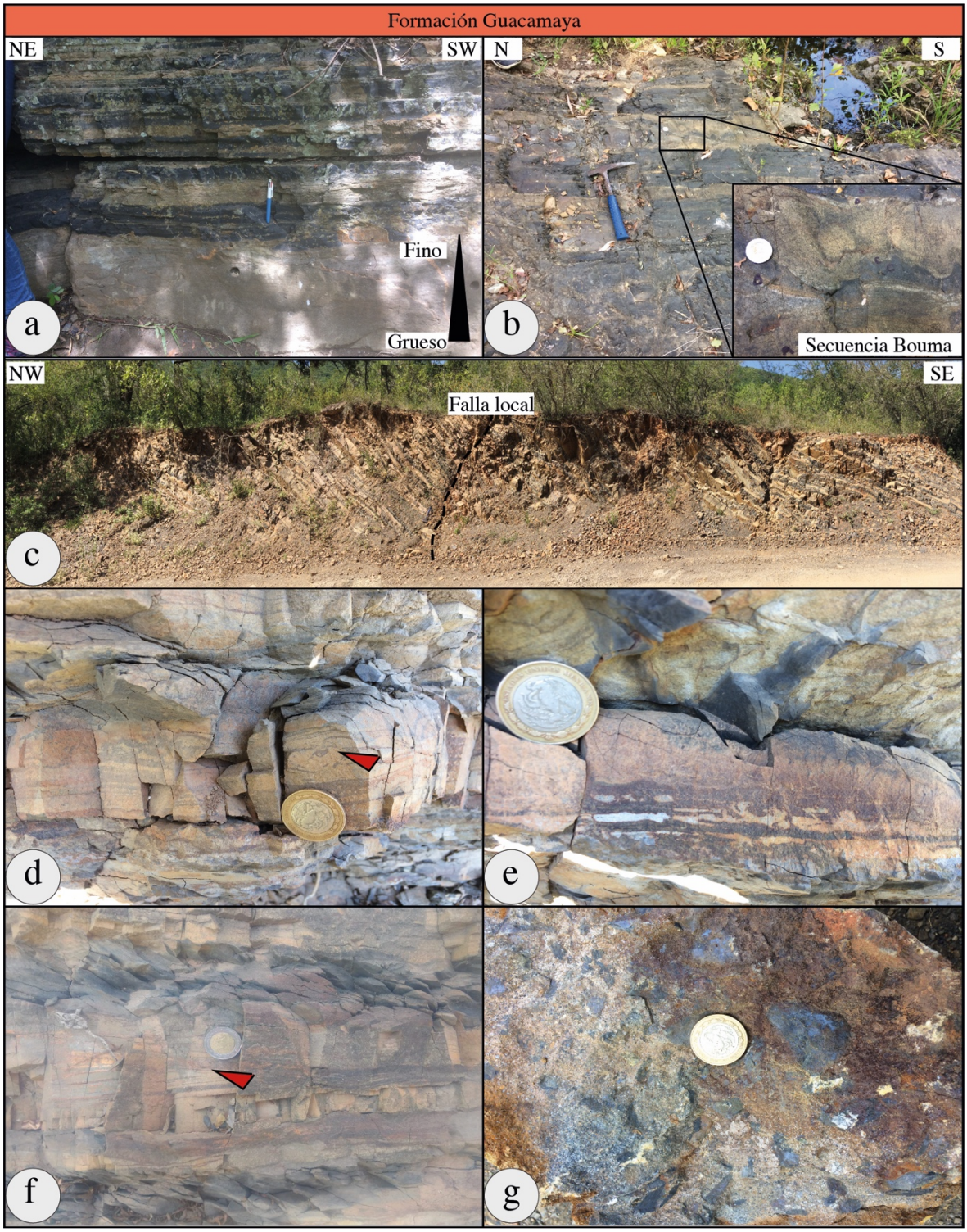


Fig. 3. 11. Afloramientos de la Formación Guacamaya (Pérmico Inferior). En el Cañón de la Peregrina: **(a-b)** capas rítmicas de arenisca – lutita con desarrollo de secuencias Bouma, **(c)** Fotoperfil de la sección tipo de la Formación Guacamaya, **(d-e)** laminación convoluta**, (f)** laminación arenosa corriente cruzada, **(g)** conglomerado con clastos ígneos y sedimentarios en matriz carbonatada.

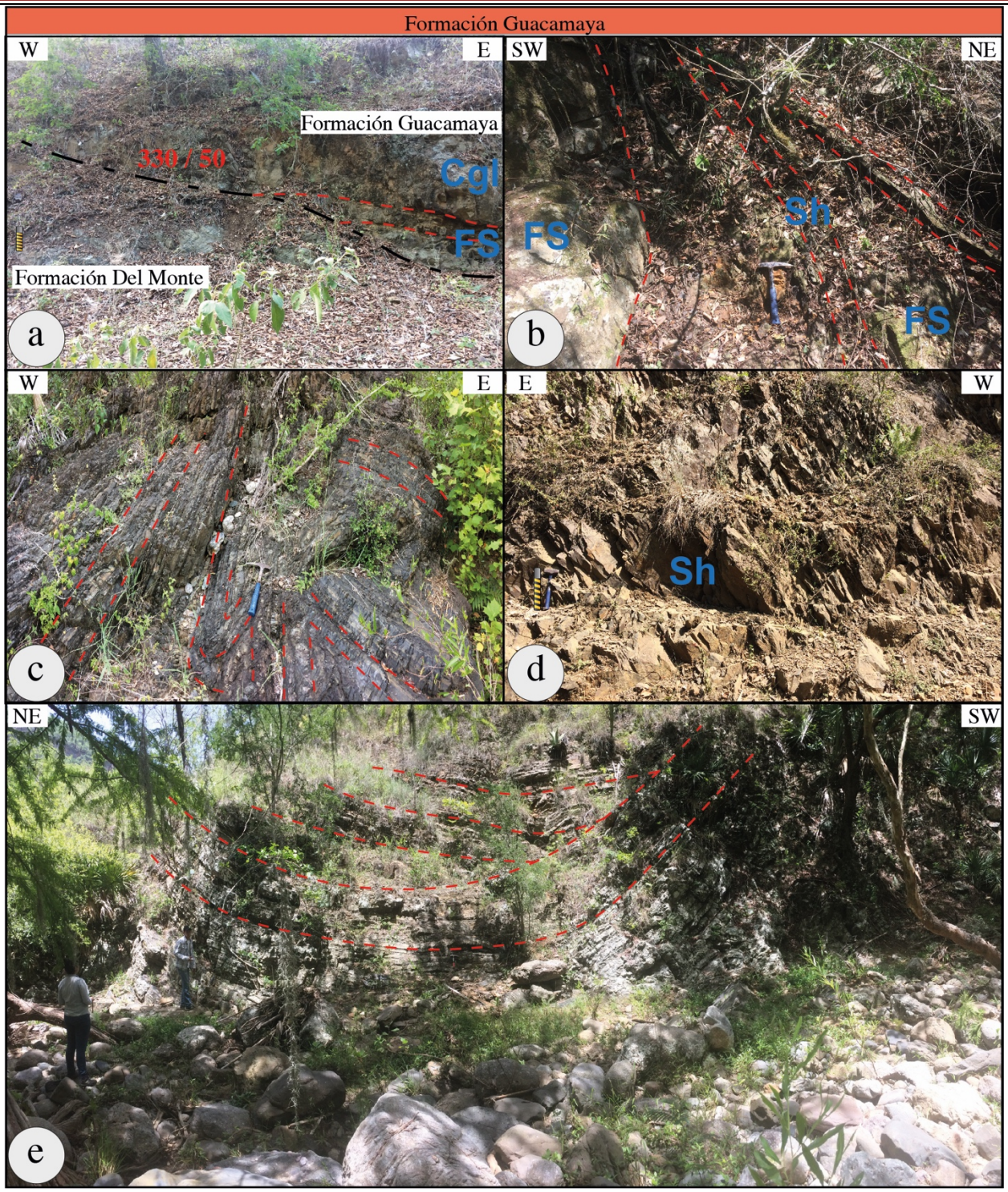


Fig. 3. 12. Afloramientos de la Formación Guacamaya (Pérmico Inferior). En el Cañón de Caballeros: **(a)** Contacto aparentemente discordante con la Formación Del Monte, **(b)** Intercalación de capas gruesas de arenisca de grano fino (FS) y lutita (Sh). En el Cañón de la Peregrina: **(c)** estratos turbidíticos muy deformados, **(d)** afloramiento masivo de lutitas, **(e)** Sinclinal local de los estratos los turbidíticos.

Las secuencias de Bouma completas de la Fm. Guacamaya se pueden encontrar en la sección tipo sobre el camino de terracería ~300 m al occidente del Rancho de la Guacamaya (**Fig. 3. 1**), en la coordenada UTM Zona 14N- 474705 E; 2629018N (**Fig. 3. 11 a**); y en la coordenada UTM Zona 14N- 474850 E; 2629151N (**Fig. 3. 11 b**). Estas secuencias muestran estratificación grano-decrecientes de la capa inferior (unidad A), a los que suprayace sedimentos de granos cada vez más finos con estratificación paralela, cruzada y horizontal (unidades B a E; **Fig. 3. 11 b-c**).

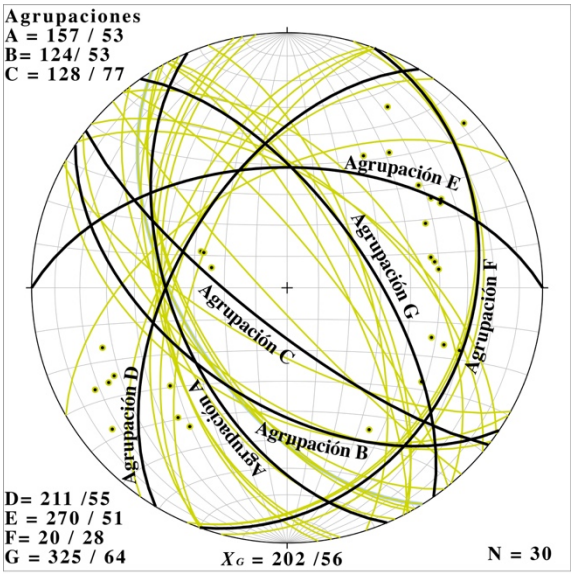


Fig. 3. 13. Orientación general de los rumbos y buzamientos de las capas de la Formación Guacamaya. **Nota**: puntos refieren a los polos de cada capa.

Estructuralmente la Formación Guacamaya exhibe orientaciones locales de las capas muy contrastantes. Se pueden reconocer, por lo menos, siete agrupaciones de un total de 30 capas medidas en diferentes puntos del Formación Guacamaya (**Tabla 2; Anexo**: **Agrupación A** = 157º / 53º; **Agrupación B** = 124º/ 53º; **Agrupación C** = 128º /77º; **Agrupación D** = 211º / 55º; **Agrupación E** = 270º / 51º; **Agrupación F** = 20º /28º; **Agrupación G** = 325º / 64º.

Las agrupaciones **A–E** se han identificado en las capas más potentes de la Formación Guacamaya en el Cañón de Caballeros. En contraste, las capas delgadas que ocurren en el Cañón de la Peregrina muestran diversas orientaciones (**Tabla 2, Anexo**). Estas incluyen capas con fallamiento y fracturamiento local (**Fig. 3. 12 a**), así como plegamiento local dentro de la misma formación (**Fig. 3. 13 c-e**).

La Formación Guacamaya sobreyace de manera discordante con una orientación de **330 / 50** a la Formación Del Monte (Pensilvánico). Este contacto puede ser reconocido en el Cañón de Caballeros, con las coordenadas: UTM Zona 14N- 471264 E; 2633908 N (**Fig. 3. 1; Fig. 3. 12 a)** y se yuxtapone con rocas metasedimentarias del Complejo Granjeno de manera tectónica con una orientación aparente de **111/70** en el punto UTM Zona 14 N- 470966 E; 2634202 N**.** En el Cañón de la Peregrina el contacto entre las formaciones Del Monte y Guacamaya es posiblemente tectónico (p.ej., Stewart et al., 1999). El contacto de la Formación Guacamaya con los lechos rojos del Grupo Huizachal (Mesozoico Temprano) es tectónico.

3.2.5.2 Paleontología y asignación de edad

El registro fósil en esta formación incluye fusulínidos descritos por Carrillo-Bravo (1961) y Stewart et al. (1999). Estos indican una edad del Pérmico Temprano (~ 290 Ma). Los sedimentos también incluyen bioturbación.

4 Petrografía

4.1 Introducción

El estudio de las rocas sedimentarias parte de la sedimentología a nivel macroscópico, donde se describen la morfología y tamaño de los fragmentos detríticos (p.ej., Wentworth, 1922), además de su comportamiento en relación con su tamaño (p.ej., Hjulstøm, 1935; Visher, 1969). Este análisis se puede profundizar con el apoyo de la petrografía, considerando en ocasiones los microorganismos. De esta forma, la clasificación de las rocas sedimentarias se desarrolla a partir de dos líneas de estudio: ***(1)*** de rocas clásticas (p.ej., Folk, 1964; Dott, 1964), y ***(2)*** de rocas carbonatadas (Folk, 1959; Dunham, 1962, Embry & Klovan, 1971). La primera línea de estudio contribuye a la información en el análisis de procedencia y la segunda al ambiente de depósito.

Con el desarrollo de la Tectónica de Placas, fue definido el análisis de procedencia (clasificación, fuente y ambiente tectónico) de clastos detríticos a través de una evolución cualitativa-cuantitativa de datos petrográficos y geoquímicos. Algunos trabajos clásicos incluyen a Dickinson (1970), Folk et al. (1970), Ingersoll & Suczek (1979). La composición del área fuente se puede inferir a partir de la identificación de los granos detríticos y la asociación de fragmentos líticos (p.ej., Basu et al., 1975; Ingersoll & Suczek, 1979; Marsaglia et al., 2007).

Durante los años 80's y 90's, en la Petrología Sedimentaria se consideró que, la complejidad de los materiales detríticos podía describirse y predecirse mediante diagramas ternarios (p.ej., Dickinson et al., 1983; Dickinson, 1985; Füchtbauer, 1988). Sin embargo, estudios recientes (p.ej., Garzanti, 2016 y 2018), han ido cuestionando los viejos fundamentos sobre la petrología sedimentaria, incluyendo los diagramas petro-tectónicos. La evidencia indica que diversos entornos tectónicos (p.ej., arcos magmáticos, derivas tectónicas de *rift*; cinturones orogénicos) y procesos naturales son mucho más complejos de lo que se puede predecir. A pesar de esto, la petrología sedimentaria al igual que otras metodologías (p.ej., Geoquímica, Geofísica, Geocronología) no deja de ser una herramienta conceptual flexible y con limitaciones. En el caso del estudio de la procedencia es una herramienta clave para la deducción de la composición de sedimentos (del área de origen; Zuffa, 1980; 1985).

En este capítulo, se documentan las características petrográficas de las formaciones Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya. Trabajos previos que documentan la clasificación y composición del Grupo Tamatán, son relativamente escasos (Gursky & Ramírez, 1986; Gursky & Michalzik, 1989; Stewart et al., 1999).

De manera general, las muestras de rocas obtenidas para el análisis petrográfico del Grupo Tamatán fueron asociadas en dos grupos de acuerdo sus características mineralógicas.

(1) El primer grupo incluye las unidades más antiguas, formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, que constan mayormente de areniscas que varían de tamaño de grano de fino a medio y en menor medida arenisca de grano grueso, con un mayor dominio composicional de cuarzo. También se documentan las rocas carbonatadas del miembro Santa Ana (**Tabla 9 y Tabla 10, Anexo**).

(2) El segundo grupo, lo conforman las formaciones Del Monte y Guacamaya. Esté grupo incluye areniscas calcáreas con abundante contenido microfósil, con presencia de conglomerados y lutitas de forma subordinada. A

diferencia de las unidades antiguas, estas rocas exhiben una disminución relativa en cuarzo, pero un aumento en el contenido de feldespatos.

Con base a los criterios composicionales y genéticos propuestos por Zuffa (1980; 1985) que incluye las entradas del medio rocoso, tanto detríticas como diagenéticas, muestran cuatro componentes principales dentro de una estructura mineralógica, de las cuales las muestras del Grupo Tamatán exhiben primordialmente, tres: ***(a)*** granos de extracuenca no carbonatados (siglas en inglés ***N**on-**C**arbonates **E**xtrabasinal grains*, ***NCE):*** considerados de origen terrígeno de acuerdo a sus componentes (p.ej., cuarzo, feldespato, líticos) y su génesis (i.e., origen ígneo, metamórfico). Los granos derivan de una fuente erosionada anterior al desarrollo de la cuenca y depósito de los componentes a la cuenca (Zuffa 1980; 1985), ***(b)*** granos carbonatados de tipo extracuenca (siglas en inglés; ***C**arbonates **E**xtrabasinal grains;* **CE**): son los que se consideraban de origen diagenético, que de acuerdo a sus componentes (p.ej., granos esparíticos, micríticos, fósiles) y su génesis (p.ej. plataforma, talud carbonatado), derivan de una fuente erosionada anterior al desarrollo de la cuenca y depósito de los componentes a la cuenca, y ***(c)*** fragmentos carbonatados de intracuenca (siglas en inglés ***C**arbonates **I**ntrabasinal grains*; **CI**): son los de origen diagenético que derivan contemporáneo al desarrollo de la cuenca y depósito (p.ej., ooides).

Por lo tanto, los términos 'extracuenca' e 'intracuenca' se refieren a un ambiente sedimentario donde la fuente y la cuenca son definidas (cf., Zuffa, 1980).

4.2 Areniscas cuarzolito-feldespáticas y cuarzo-feldespatolíticas

Las areniscas cuarzolito-feldespáticas (fLQ) y cuarzo-feldespatolíticas (lFQ; Garzanti, 2016; **Fig. 4. 1**), constituyen a las unidades más antiguas del Grupo Tamatán. La Formación Cañón de Caballeros (Silúrico) y la Formación Vicente Guerrero (Misisípico) se encuentran principalmente conformadas por granos de extracuenca no carbonatados (***NCE***; Zuffa, 1980; 1985; **Tabla 5 a Tabla 8, Anexo).**

Las modas detríticas de estas sucesiones se caracterizan por un alto contenido de cuarzo en los miembros inferiores, mientras que un moderado a bajo contenido de cuarzo es observado en sus en sus miembros superiores.

Los granos muestran formas redondeadas, sub-redondeadas y sub-angulares, con moderada y menormente alta compactación, donde dominan los granos por contacto de punto (p.ej., **Fig. 4. 2d**). La mayoría de los granos están asociados con una matriz de arcilla. En ocasiones, vetillas de óxido de fierro se encuentra asociadas a la matriz.

En la clasificación de Folk et al. (1970) y Füchtbauer (1988), modificada por Jenchen & Rosenfeld (2002), se consideran las areniscas de la Formación Cañón de Caballeros como litoarenitas feldespáticas – lito-cuarzosa y para la Formación Vicente Guerrero como arcosa lítica – cuarzo-feldespática (**ver Fig. 9. 8 a Fig. 9. 10, Anexo)**.

4.3 Areniscas feldespato-cuarzolíticas y litofeldespato-cuarzosas

Las areniscas feldespato-cuarzolíticas (lFQ) y litofeldespato-cuarzosas (qFL), (**Fig. 4. 1; ver Fig. 9. 8 a Fig. 9. 10, Anexo**) se han identificado en las unidades más jóvenes; la Formación Del Monte (Pensilvánico) y la Formación Guacamaya (Pérmico inferior). Estas rocas incluyen granos con una compactación generalmente baja, que exhiben contacto entre punto y planos (p.ej., **Fig. 4. 2j**). Los granos típicamente son de tipo sub-angular a

sub-redondeado y fracturados (**Fig. 4. 2g-l; Tabla 11 y Tabla 12, Anexo**).

En comparación con las formaciones Cañón de Caballeros y Formación Vicente Guerrero, estas unidades exhiben modas detríticas contrastantes, contienen una menor concentración de cuarzo, pero mayor concentración de feldespato.

En particular, la mayor parte de las muestras feldespato-cuarzolítica de la Formación Del Monte se encuentran embebidas en una matriz cementante de tipo carbonatada, que en ocasiones incluyen parches de dolomita (muestra CC54-12, **Tabla 11, Anexo**). Las areniscas litofeldespato-cuarzosas de la Formación Guacamaya presentan matriz cementante tanto arcillosa como carbonatada y en ocasiones vetillas de óxido de fierro en conjunto con la matriz (**Fig. 4. 2**).

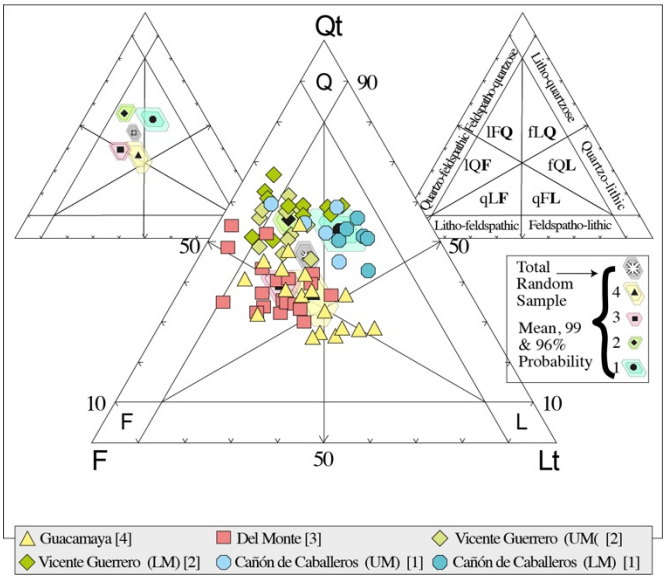


Fig. 4. 1. Clasificación petrográfica del Grupo Tamatán (Garzanti, 2016; 2018). **Abreviaciones**: **lQF** = Feldespato-cuarzolítica; **lFQ** = Cuarzo-feldespatolítica; **fLQ** = Cuarzolito-feldespática; **fQL** = Litocuarzo-feldespática; **qFL** = Litofeldespato-cuarzosa; q**LF** = Feldespatolito-cuarzosa. **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.**

4.4 Contenido petrográfico

4.4.1 Cuarzo

El esqueleto mineral de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero consiste mayormente de cuarzo tipo monocristalino, siendo aquel con extinción recta más abundante que el de extinción ondulada. El promedio ($\bar{X}$) de la relación Qmr / Qmo es de 0.42 y 0.38, respectivamente (**Tabla 6 y Tabla 7, Anexo**). Los granos de cuarzo monocristalino muestran hábitos de tipo euhedral a subhedral y, en ocasiones, formas redondeadas alargadas. Algunos cuarzos incluyen bordes con forma de golfos o bahías, (**Fig. 4. 2c**), inclusiones de cuarzo y circón, fracturas rellenas de matriz, y reemplazamiento arcilloso **(Tabla 9 y Tabla 10, Anexo**); también es común que se presenten cuarzos con sobre-crecimiento sintaxial (p.ej., muestra CC54-17; **Tabla 10, Anexo**).

Los granos de cuarzo policristalino con 2-3 cristales son los más abundantes ($Qp_{NCE}\ \bar{X}$ = 15% y 13% vol) que aquellos con más de tres componentes ($Qp_{>3;}$ **Tabla 5, Anexo**). Esto se ve reflejado por valores promedio de la relación $Qp_{2\text{-}3}$ / $Qp_{>3}$, presentando valores de 1.2 y 5.9, respectivamente (**Tabla 7, Anexo**).

El cuarzo policristalino, exhibe una estructura interna con granos muy compactados, e incluye típicamente contactos entre grano de tipo suturado (**Fig. 4. 2 a-e**).

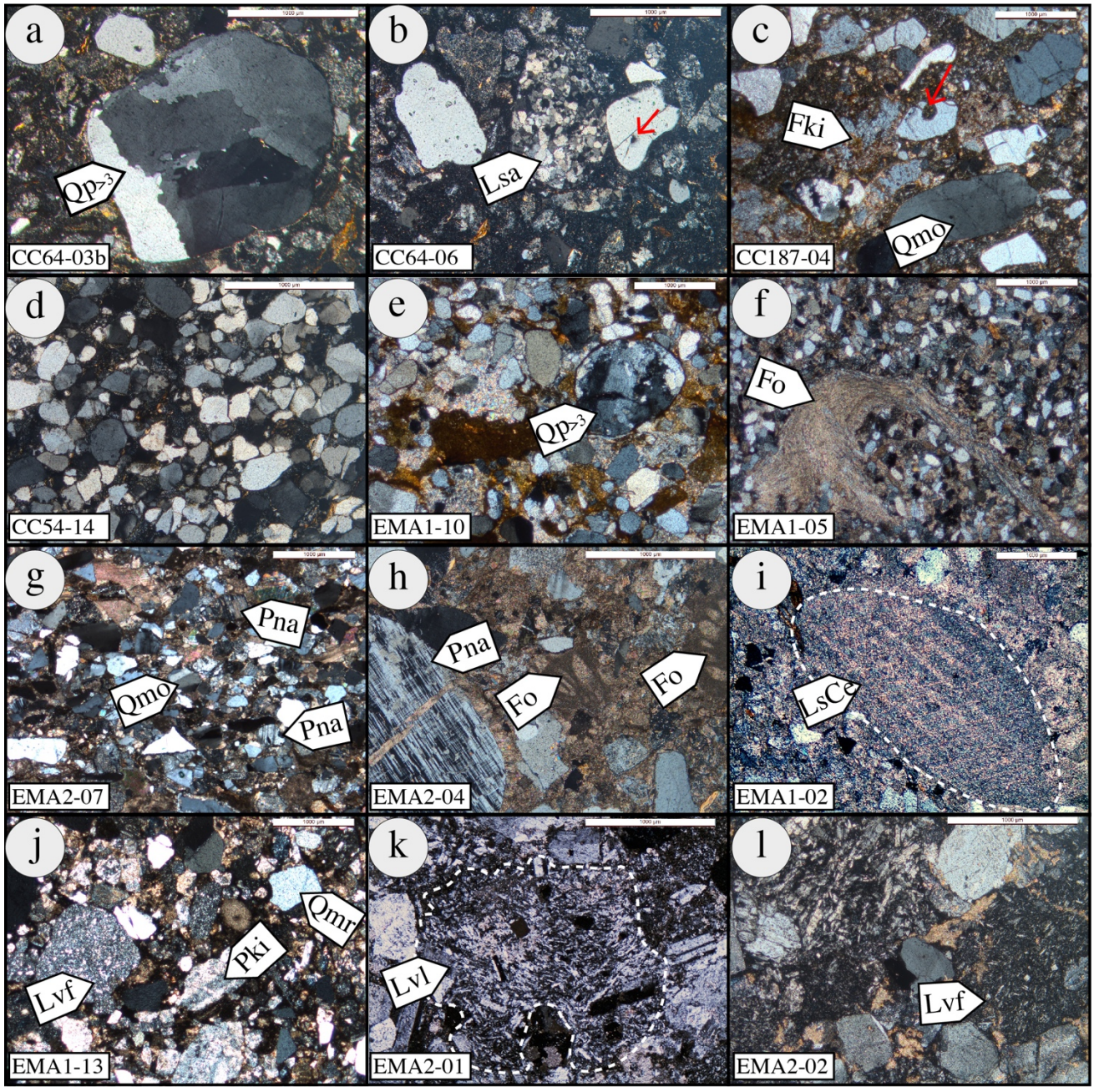


Fig. 4. 2. Microfotografías en nicoles cruzados (NX) de las muestras estudiadas. **Formación Cañón de Caballeros**: **(a)** cuarzo policristalino de tres componentes y contacto interno suturado, **(b)** fragmento sedimentario cuarzoso (Lsa) y cuarzo monocristalino con inclusiones (flecha roja), (**c)** cuarzo monocristalino con borde de bahía cubierto por matriz arcillosa (flecha roja), feldespato K con arcilla reemplazo y cuarzo monocristalino con extinción ondulada. **Formación Vicente Guerrero**: **(d)** arenisca feldespato-cuarzosa, **(e)** cuarzo policristalino con más de tres cristales (Qp> 3), (**f)** fragmento de braquiópodo (Fo). **Formación Del Monte: (g)** microclina (Fk) y plagioclasa (albita) con macla polisintética (Pna) cuarzo ondulada (Qmo), con cemento de calcita**, (h)** Plagioclasa con textura pertítica (Pna) y bioclástos fusulínidos (LsBi), **(i)** fragmento de esparita (LsCe). **Formación Guacamaya: (j)** arenisca gruesa con cuarzo volcánico (Qmr), plagioclasa sódica con reemplazo de arcilla (Pki) y fragmentos ígneos con textura felsítica (Lvf), (**k)** grano ígneo con textura tipo *lathwork*, **(l)** granos ígneos con textura felsítica en una arenisca de grano grueso. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm.

El pedernal o *chert* (p.ej., muestra EM1-10; **Tabla 10, Anexo**) muestra componentes de grano muy finos, que en ocasiones se encuentran rodeados de vetillas de óxido de hierro (**Tabla 9, Anexo**).

Así mismo, el cuarzo monocristalino de las formaciones Del Monte y Guacamaya aparece con extinción recta, con una relación promedio de **Qmr / Qmo** es de 0.6 y 0.3; respectivamente (**Tabla 6 y Tabla 7, Anexo**). Estos especímenes aparecen con inclusiones de microcuarzo o de circón, cuarzo con fracturas rellenas de matriz cementante (p.ej., muestra EMA1-15) e incluso algunos cuarzos con desarrollo de golfos, correspondientes a vacuolas (p.ej., muestra CC44-03, **Tabla 11, Anexo**).

El cuarzo policristalino no es muy común en comparación a los otros componentes de los granos no carbonatados (***NCE***). Aparece en forma de tres o más granos alargados que muestran unión por puntos y subordinadamente contactos suturados (p.ej., muestras CC54-05 y EMA1-15; **Tabla 11 y Tabla 12, Anexo**).

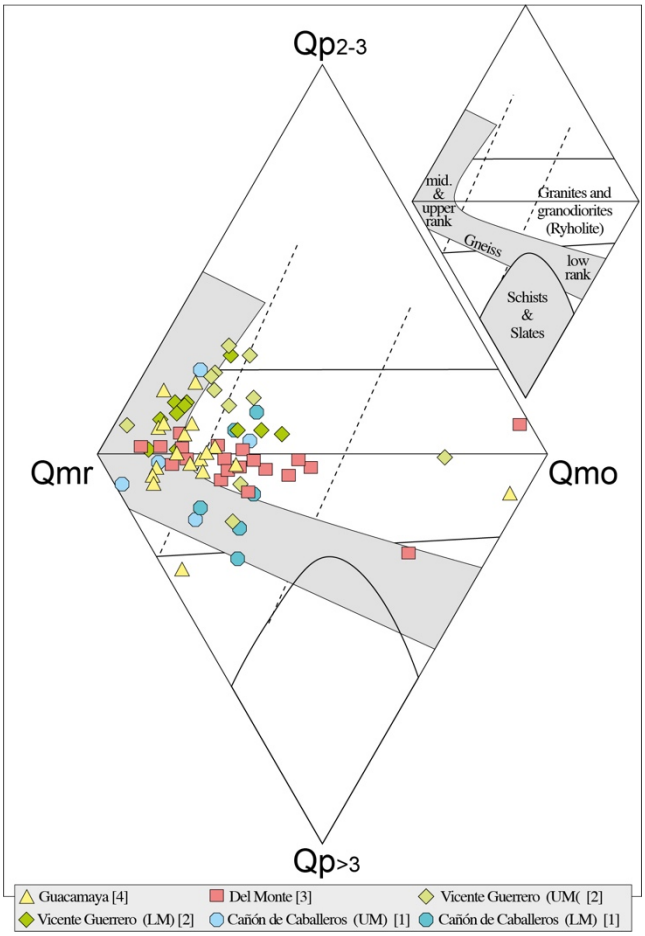


Fig. 4. 3. Diagrama en forma de diamante Qmo, Qmr, Qp <3, y Qp> 3; de la probable composición fuente (según Basu et al., 1975; modificado por Tortosa et al., 1991). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo**.

Por otro lado, los fragmentos de pedernal (*chert*) muestran un valor promedio de $\bar{X}_{Ch}$= 4% vol en la Formación Del Monte y un 7% vol en la Formación Guacamaya (**Tabla 7 y Tabla 8, Anexo**). El contenido de cuarzo provee información sobre la naturaleza del área fuente. Por tal motivo, la distribución de granos de cuarzo del Grupo Tamatán fue graficada en el diagrama de procedencia (**Fig. 4. 3**; Basu et al., 1975), el cual revela principalmente rocas derivadas de fuentes ígneas félsicas (p.ej., riolita, granito) con subordinado a fuentes metamórficas de grado bajo a medio (p.ej., esquisto, cuarcita).

4.4.2 Feldespato

Los feldespatos de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero están dominados por sanidino y microclina (**Fig. 4. 2a-f**), que en ocasiones se encuentran reemplazados parcialmente por arcilla (p.ej., **Fig. 4. 2c**). La plagioclasa es sumamente escasa, y muestra una relación promedio de P / F de 0.2 y 0.05, respectivamente (**Tabla 6 y Tabla 7, Anexo**).

Por otro lado, en las formaciones Del Monte y Guacamaya, los feldespatos son relativamente más abundantes en comparación a las unidades más antiguas. El feldespato potásico predominan sobre la plagioclasa (P / F = 0.4 y 0.5 respectivamente; **Tabla 6 y Tabla 7, Anexo**), y se presenta principalmente como sanidino con maclas de tipo Carlsbad y de microclina (**Fig. 4. 2g; muestra EMA2-07; Tabla 11, Anexo**). Por otro lado, es común que la

plagioclasa exhiba maclas polisintéticas, zonificación e incluso texturas pertíticas (**Fig. 4. 2g-h; muestra EMA2-09; Tabla 11 y Tabla 12, Anexo**). También, es típico que la plagioclasa sea reemplazada por carbonato y rara vez por sericíta (**Fig. 4. 2j; p.ej., muestras EMA2-06 ó EMA1-13; Tabla 11 y Tabla 12, Anexo**).

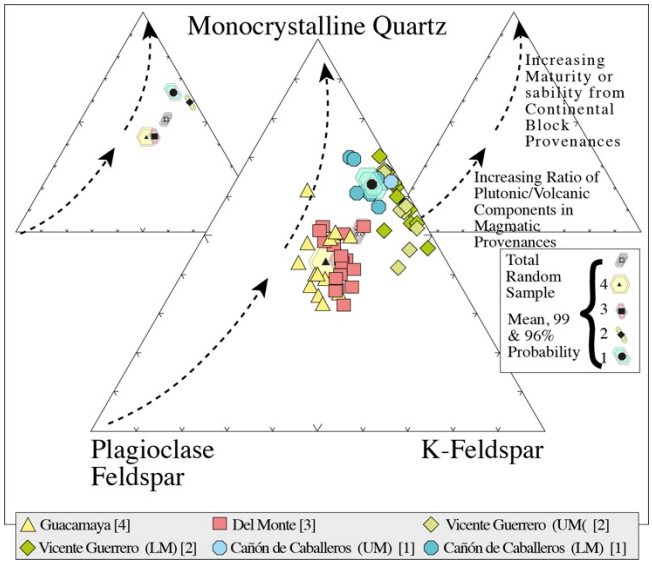


Fig. 4. 4. Diagrama ternario Qm – P – K, de la composición petrográfica del Grupo Tamatán; donde se presenta el dominio de los feldespatos (Dickinson et al., 1983 y Dickinson, 1985). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.**

En general, la composición mineralógica del Grupo Tamatán muestra un incremento en la madurez de las areniscas de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero; estas incluyen una concentración modal promedio de cuarzo monocristalino relativamente alta ($\bar{X}_{Qm}$ = 63% y 59% vol), con presencia de feldespato potásico ($\bar{X}_{k}$ = 30% y 39% vol) pero bajo contenido en plagioclasa ($\bar{X}_{P}$ = 7% y 2% vol). En contraste, las formaciones Del Monte y Guacamaya incluyen una concentración modal relativamente baja de cuarzo monocristalino, ($\bar{X}_{Qm}$ = 43% y 44% vol), pero mayor contenido de feldespato potásico ($\bar{X}_{k}$ = 33% y 29% vol) y plagioclasa ($\bar{X}_{P}$ = 24% y 27% vol) (**Fig. 4. 4;** Dickinson et al., 1983; **Tabla 8, Anexo**).

4.4.3 Fragmentos líticos

Los fragmentos líticos de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (**Fig. 4. 6**) exhiben un dominio en fragmentos ígneos ($\bar{X}_{Lv}$ = 38% y 46% vol, respectivamente) e incluyen clastos félsicos microcristalinos y algunos granos plutónicos que ocasionalmente contienen feldespato y biotita (**Tabla 9 y Tabla 10, Anexo).**

Los líticos sedimentarios para estas formaciones son regularmente notables ($\bar{X}_{Ls}$ = 32% y 48% vol, respectivamente), en orden de abundancia incluyen: granos carbonatados de tipo extracuenca (**CE**), por ejemplo, fragmentos de esparita, y fragmentos de braquiópodo, y trilobites (**Fig. 4. 2f; Fig. 4. 5a-c; ver Tabla 9 y Tabla 10, Anexo),** de los cuales representan un valor promedio ($\bar{X}_{CE}$) de 1.8% vol para la Formación Cañón de Caballeros y 0.7 % vol para la Formación Vicente Guerrero. Los fragmentos de intracuenca (**CI**) se encuentran dominados por líticos sedimentarios bioclásticos que resultan en un promedio ($\bar{X}_{CE}$) de 0.1 % vol en la Formación Cañón de Caballeros y un 0.3 % vol en la Formación Vicente Guerrero (**Tabla 6 y Tabla 7, Anexo**).

Por último, los litoclástos metamórficos son menos frecuentes ($\bar{X}_{Lm}$ = 19% y 16% vol, respectivamente) e incluyen granos con formas típicamente alargadas de rocas metapelíticas y metapsamíticas de bajo grado (**p.ej., Tabla 10, Anexo**), con una mejor preservación en areniscas de grano grueso y conglomerados.

Entre los minerales accesorios presentes en las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se encuentran la biotita, moscovita, clorita y minerales de hierro (i.e., hematita y pirita) y representan < 7 % vol.

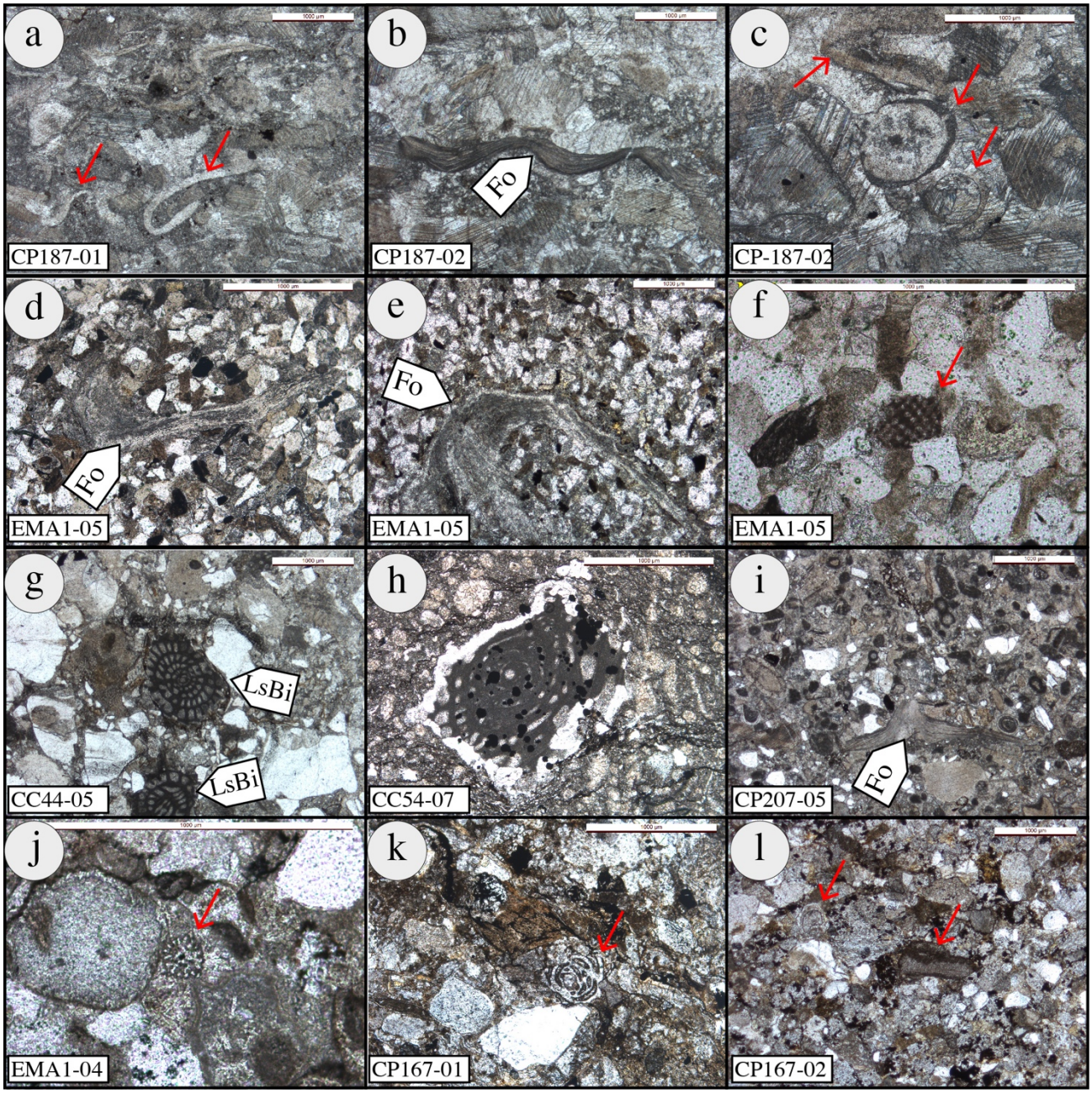


Fig. 4. 5. Microfotografías en nicoles paralelos (NII) de las muestras con microfósiles. **Formación Cañón de Caballeros: (a)** fragmentos de trilobites (?), **(b)** fragmento de braquiópodo (Fo) embebido en cemento calcáreo sumamente recristalizado, **(c)** oncoides (flecha roja). **Formación Vicente Guerrero: (d-e**) fragmentos de braquiópodos (Fo), **(f)** briozoos. **Formación Del Monte: (g)** arenisca calcárea con fusulínidos tipo *Fusulinella sp.* **(h)** foraminífero *Tronchoide***, (i)** *grainstone* bioclástico, (ooides, oncoides, intraclástos y un fragmento de braquiópodo; Fo). **Formación Guacamaya: (j)** Equinodermo (flecha roja), lítico sedimentario (parte inferior derecha) y fragmentos detríticos, **(k)** bioclásto de miliólido, rodeado de granos detríticos. **(l)** bioclástos de briozoos y oncoide. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm.

Cabe destacar que las rocas recristalizadas se presentan en el miembro carbonatado Santa Ana de la Formación Cañón de Caballeros (p.ej., muestras CC64-07, CP187-01-02**; Tabla 9, Anexo**), y cuenta con microfragmentos de trilobites, braquiópodos, moluscos (gasterópodos), ooides y organismos indeterminados embebidos en una micro-fábrica recristalizada por carbonato (**Fig. 4. 5;** muestra CP187-01, **Tabla 9, Anexo**).

Los fragmentos líticos sedimentarios ($\bar{X}_{Ls}$ = 52% y 27% vol, respectivamente) e ígneos ($\bar{X}_{Lv}$ = 33% y 61% vol, respectivamente) de las formaciones Del Monte y Guacamaya son más abundantes que los metamórficos ($\bar{X}_{Lm}$ = 15% y 12 % vol, respectivamente). Los componentes ígneos incluyen fragmentos volcánicos con texturas félsicas, líticos plutónicos que muestran fenocristales de cuarzo, feldespato y mica (**Fig. 4. 2 j-l**). Sin embargo, las texturas volcánicas microlíticas y tipo *lathwork* son muy comunes, particularmente en la Formación Guacamaya (**Fig. 4. 2k-l**).

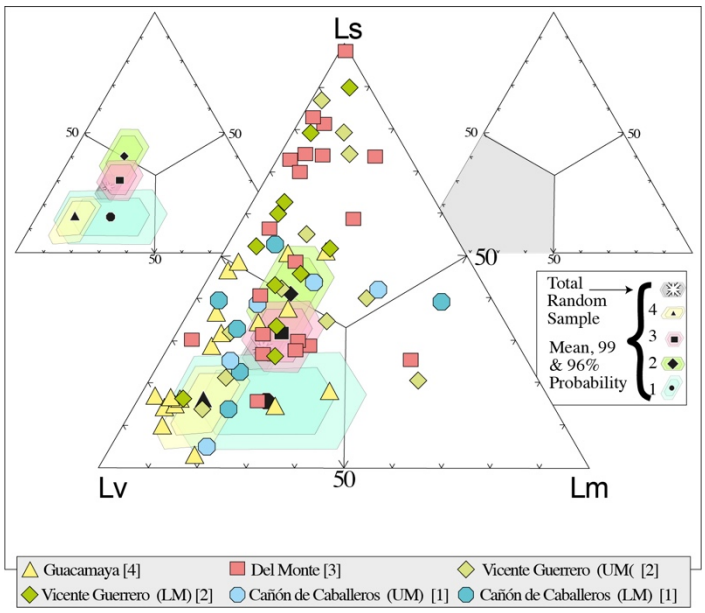


Fig. 4. 6. Diagrama ternario Lm – Lv – Ls, que presenta la composición y dominación de los granos líticos (Ingersoll & Suczek, 1979). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.**

Los fragmentos sedimentarios (**ver Tabla 11 y Tabla 12, Anexo**) consisten principalmente de carbonatos de extracuenca (CE), los más frecuentes son los extraclástos de esparita (**Fig. 4. 2i**), micrita, y líticos cuarzosos. En menor proporción los fragmentos fósiles (p.ej. braquiópodos; **Fig. 4. 5i**) y los sedimentos bioclásticos (CI) dominados por fusulínidos, que incluyen formas en espiral, biseriales y planisféricos, de los cuales destacan los foraminíferos miliólidos (**Fig. 4. 2h)** y los de tipo *Tricite sp., Fusulinella sp. Tronchoides* (**Fig. 4. 5g-l; ver Tabla 11 y Tabla 12, Anexo**). También ocurren granos carbonatados no esqueletales como equinodermos, briozoos y los más frecuentes ooides (**Fig. 4. 5g-l)**.

La Formación Del Monte es la que presenta un mayor contenido microfósil de granos carbonatados de extracuenca con un promedio de $\bar{X}_{CE}$ = 4.1 % vol y de intracuenca con un promedio de $\bar{X}_{CI}$ = 1.1% vol. La Formación Guacamaya muestra un $\bar{X}_{CE}$ =1.3% y un $\bar{X}_{CI}$ = 0.9% vol (**Tabla 6 y Tabla 7, Anexo**). Por último, los granos metamórficos de las formaciones Del Monte y Guacamaya incluyen en su mayoría una textura metasedimentaria caracterizada por granos de cuarzo y mica.

En general, en fragmentos líticos de las formaciones del Grupo Tamatán dominan los componentes volcánicos, con un aporte limitado de fragmentos de origen metamórfico. Sin embargo, con el ascenso estratigráfico es evidente un incremento en la precipitación de clastos y cementantes procedentes de rocas sedimentarias (Dickinson et al., 1983; **Fig. 4. 6 y Fig. 9. 6, Anexo**).

4.4.4 Minerales accesorios

Dentro de los minerales accesorios del Grupo Tamatán se incluyen circón, apatita y titanita, los cuales solo representan el 1% vol en las muestras de la Formación Cañón de Caballeros, 3% vol en la Formación Vicente Guerrero, 2% vol en la Formación Del Monte y 1 % vol de la Formación Guacamaya, respectivamente. Además,

se han documentando especímenes de carbonato recristalizado, un solo grano de anfíbol (muestra CP187-04; **Tabla 9 y Tabla 10, Anexo**), micas (biotita, moscovita) y minerales opacos (p.ej. pirita).

4.5 Clasificación modal del área fuente

El análisis petrográfico de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero ha revelado los siguientes valores promedio: 52% y 56% vol de cuarzo total, 21% y 29% vol de feldespato total y 27% y 14% vol de líticos totales, así como valores de 41% y 48 % vol cuarzo monocristalino total, 24% y 34% vol feldespato total y 35% y 18% vol total de líticos, respectivamente.

Con base a los diagramas ternarios propuestos por Dickinson et al. (1983) y Dickinson (1985) y modificados por Garzanti (2016; 2018), es posible inferir que las rocas de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se distribuyen entre los campos de orógeno reciclado y de bloque continental (**Fig. 4. 7a-b; ver Fig. 9. 12 a Fig. 9. 14, Anexo**).

Por otro lado, las formaciones Del Monte y Guacamaya exhiben valores promedio de 39% y 36% vol de cuarzo total, 40% y 35% vol de feldespato total, y 21% y 28% vol de líticos totales, así como valores de 32% y 30% vol de cuarzo monocristalino total, 41% y 37% vol de feldespato total y 27% y 33% vol de líticos totales. De acuerdo con los diagramas de Dickinson et al., (1983) y Dickinson (1985), las rocas de estas unidades se encuentran asociadas al campo de bloque continental y arco magmático como se muestra en la **Fig. 4. 7a-b (ver Fig. 9. 12 a Fig. 9. 14, Anexo).**

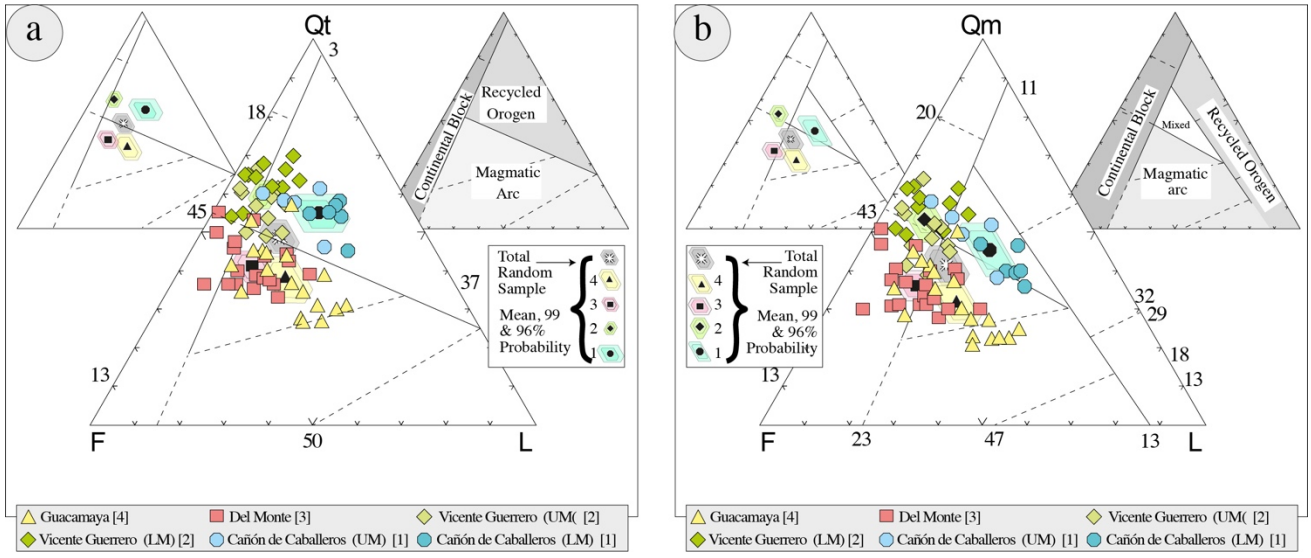


Fig. 4. 7. Diagramas ternarios **(a)** Qt – F – L y **(b)** Qm – F – L, que exponen la probable composición y relación del área fuente de arenisca (Dickinson et al., 1983 y Dickinson, 1985). **Nota:** los parámetros contabilizados que usaron para cada diagrama, se explican en la **Tabla 5, Anexo.**

4.6 Interpretación petrográfica

El análisis petrográfico del Grupo Tamatán indica que:

(1) Las areniscas cuarzolito-feldespática y cuarzo-feldespatolítica correspondientes a las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, muestran áreas fuentes controladas por rocas ígneas félsicas con un dominio en cuarzo volcánico con extinción recta (**muestra CC64-06, Tabla 9, Anexo**) y en feldespato potásico y mica. Subordinadamente se cuenta con fuentes plutónica graníticas, sedimentarias (fragmentos fósiles) y meta-sedimentaria, con base a la presencia de cuarzos policristalino y fragmentos metapsamíticos-metapelíticos (p.ej., muestra **EMA1-08; Tabla 10, Anexo**).

(2) Las altas relaciones Qm/Qp = 0.42 y baja P/K= 0.2 en la Fm. Cañón de Caballeros y Qm/Qp = 0.34 y P/K = 0.05 muy bajos de la Fm. Vicente Guerrero confirman la naturaleza litológica y su asociación fuente.

(3) La fuente magmática félsica se ha propuesto como el contribuyente dominante, pero las fuentes metasedimentarias también desempeñan un papel importante, la cual se asocian típicamente en areniscas maduras de depósito de márgenes pasivos (p.ej., McLennan et al., 1993; Jenchen, 2018a).

(4) Las areniscas de las fms. Del Monte y Guacamaya se caracterizan como feldespato-cuarzolítica y litofeldespato-cuarzosa. La alta relación P/F = 0.4 y P/F = 0.48, sugiriendo un notable incremento de feldespatos (potásicos y sódicas), entre los que destacan: los feldespatos con macla Carlsbad, microclina, feldespato con texturas pertíticas y tipo *lathwork*, cuarzo volcánico, y los fragmentos de composición ígnea (p.ej. Lvf), que indican una mezcla de fuentes de composición máfica a félsica. En particular, las fms. Del Monte y Guacamaya se alimentaron de una fuente volcánica riolítica, andesítica y gabroicas (por ejemplo, muestra **EMA1-14, Tabla 12, Anexo),** en menor proporciones de rocas de origen plutónico (granítico y granodiorítica; **muestra CC34-07, Tabla 12, Anexo**). En comparación con las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, la influencia mineralógica define la entrada de sedimento de origen ígneo (por el incremento en feldespato), y metamórfico de bajo grado muy marcada (por el incremento en la presencia de cuarzo policristalino con granos en contacto suturados y por los fragmentos meta-sedimentarios; **muestra CC54-05; Tabla 11, Anexo**).

(5) Los sedimentos de origen sedimentario indican un origen contemporáneo al depósito de las formaciones Del Monte y Guacamaya, debido a que muestran un contenido considerable en componentes calcáreos de intracuenca observándose, fragmentos bioclásticos, esparíticos y los cementos calcáreos, lo que sugieren que conforme se iban depositando los sedimentos de las fms. Del Monte y Guacamaya se desarrollaron estos componentes (**muestra CP167-02; Tabla 11, Anexo**).

(6) Las características petrográficas de los cuarzos analizados del Grupo Tamatán indican una procedencia de rocas graníticas y metamórficas de grado medio – alto (**Fig. 4. 3**).

(7) El grado de redondez es más notorio en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero **(p.ej., muestra CP187-06; Tabla 10, Anexo**), que las fms. Del Monte y Guacamaya, sugiriendo un mayor transporte en las sucesiones más antiguas, sustentado por las modas detríticas en el diagrama QmKP de Dickinson & Suczek (1979), que indican un incremento en la madurez y que reflejan un mayor transporte (**Fig. 4. 4**).

(8) La diagénesis es observada a partir de los granos del esqueleto principal (i.e., en cuarzos y feldespatos) debido a: ***(a)*** la presencia del reemplazamiento por arcilla (p.ej., **EMA1-03; Tabla 10, Anexo**) y cemento calcáreo (p.ej., **CP207-06; Tabla 11, Anexo**), ***(b)*** por la recristalización en fósiles (p.ej., **CP187-01; -02, Tabla 9, Anexo**), ***(c)*** el desarrollo de cristales dolomíticos, (p.ej., **EMA1-01; Tabla 11, Anexo**), y ***(d)*** presencia de minerales opacos (p.ej., pirita y vetillas de óxidos de Fe; **CC64-05 y CP207-03; Tabla 9 y Tabla 10, Anexo**), sugieren un grado de intenso a moderado de diagénesis del Grupo Tamatán. La intensa recristalización de matriz calcárea en el caso del miembro Santa Ana (Formación Cañón de Caballeros) que pueden alcanzar > 50 % vol del total de la roca, reflejando el intenso grado de diagénesis (**Fig. 4. 5**).

(9) La porosidad primaria del Grupo Tamatán, es más común en las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero donde se observa que los granos del esqueleto principal (i.e., NCE) exhiben contacto entre puntos y en ocasiones suturados lo que indican un moderado a bajo empaquetamiento por compactación y cementación; caso contrario a la Formación Del Monte y Guacamaya.

(10) Las modas detríticas del Grupo Tamatán, en el diagrama QmFL de Dickinson et al. (1983), que indican que las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (**Tabla 8, Anexo**), marcan procedencia de orógenos reciclados y bloque continental ($Qt_{52}F_{21}Lt_{27}$ y $Qt_{56}F_{30}Lt_{14;}$ **Fig. 4. 7**), los de la Formación Del Monte y Guacamaya evidencian fuentes de arco disectados.

5 Geoquímica

5.1 Introducción

La Geoquímica es una herramienta útil para el estudio de la procedencia, que en conjunto con la Petrografía Sedimentaria permite una mayor inferencia sobre la fuente composicional de los sedimentos terrígenos. Un aspecto clave de la geoquímica es que refleja el curso de la génesis del sedimento, por ejemplo: ***(a)*** la composición de la roca fuente y su clasificación (Pettijohn et al., 1963; 1972; Floyd & Leveridge, 1987; Jenchen & Rosenfeld, 2007; Jenchen, 2018a,b), ***(b)*** el intemperismo, ***(c)*** el transporte, el reciclamiento y la diagénesis (Englund & Jørgensen, 1973; Nesbitt & Young, 1984; Schlümberger, 1985; McLennan et al., 1993; Fedo et al., 1995).

Es muy común para el análisis de procedencia utilizar los elementos mayores, como: Sílice (Si), Aluminio (Al), Potasio (K), Sodio (Na), Calcio (Ca), Titanio (Ti), los elementos trazas o inmóviles, como: Circonio (Zr), Torio (Th), Escandio (Sc), Hafnio (Hf), Titanio (Ti), Niobio (Nb), y los elementos de tierras raras (***R**are **E**arth **E**lements; REE;* Cullers, 1994; Condie et al., 1995; Cárdenas et al., 1996; Bauluz et al., 2000), siendo algunos elementos de suma importancia para la determinación de la procedencia (Taylor & McLennan 1985; Bhatia & Crook, 1986; McLennan et al. 1993; Jenchen, 2018a, b).

Esté capítulo tiene como objetivo documentar la concentración en elementos mayores, trazas y tierras raras y la interpretación sobre la procedencia y procesos sedimentarios involucrados en las formaciones que conforman al Grupo Tamatán, se incluye: la clasificación, el intemperismo químico, el transporte, el reciclamiento, la influencia de la composición y la asociación tectónica correspondiente al área fuente.

5.2 Elementos Mayores

Las sucesiones más antiguas que conforman al Grupo Tamatán (fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero) exhiben valores de SiO_2 entre 69 a 78% en peso ($\bar{X}_{CC}$ = 73%) y 49 a 85% en peso ($\bar{X}_{VG}$ = 74%), acompañados de valores moderados de Al_2O_3 de 8 a 15% en peso ($\bar{X}_{CC}$ = 11%) y 5 a 14% en peso ($\bar{X}_{VG}$ = 10%). La mayoría de las muestras contiene altas concentraciones de K_2O con valores entre 2 a 4% en peso ($\bar{X}_{CC}$ = 3) y 0.36 a 4.0% en peso ($\bar{X}_{VG}$ = 2%) y en Fe_2O_3 ($\bar{X}_{CC}$ = 6% y $\bar{X}_{VG}$ = 5%). El resto de los elementos exhiben bajas concentraciones (Na_2O, CaO, MgO, MnO, P_2O_5 y TiO_2 con $\bar{X}_{CC\ y\ VG}$ < 2 %). Las muestras caracterizadas por una mala clasificación contienen una abundante matriz y granos menos compactados (i.e., una madurez textural baja), como es el caso de los miembros superiores de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (**Fig. 5. 11; ver Capítulo 4**), las que comúnmente exhiben valores altos de Na_2O, CaO y MgO.

En contraste, las formaciones Del Monte y Guacamaya exhiben una menor concentración en SiO_2, con valores entre 28 y 57% en peso ($\bar{X}_{DM}$ = 46%) y entre 35 y 71% en peso ($\bar{X}_{G}$ = 56%), acompañados de Al_2O_3 con un rango de 4 a 11% ($\bar{X}_{Dm}$ = 8%) y de 9 a 18% en peso ($\bar{X}_{G}$ = 13%), respectivamente. Los contenidos de K_2O van del 1% a 3% ($\bar{X}_{Dm}$ = 2%) y del 0.5% al 1.5% en peso ($\bar{X}_{G}$ = 1%), mientras que las concentraciones promedio de Fe_2O_3 son

de $\bar{X}_{Dm}$ = 2% y $\bar{X}_G$ = 7% en peso. La concentración de Na_2O consiste es de 1% a 2% ($\bar{X}_{Dm}$ = 2%) y 1% a 7% en peso ($\bar{X}_G$ = 3%), respectivamente.

En comparación con las unidades más antiguas del Grupo Tamatán, las formaciones Del Monte y Guacamaya incluyen un mayor contenido de CaO que varía del 9% al 35% ($\bar{X}_{Dm}$ = 19%) y del 0.2% al 19% en peso ($\bar{X}_G$ = 6%; **Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**), respectivamente.

De forma complementaria el contenido de SiO_2 refleja un valor del coeficiente de correlación negativo con respecto al Al_2O_3 para las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (r_{CC}= -0.90 [n = 12] y r_{VG}= -0.52 [n = 26]) y una correlación positiva para las formaciones Del Monte y Guacamaya (r_{DM}= 0.94 [n = 13] y r_G= 0.33 [n = 18]).

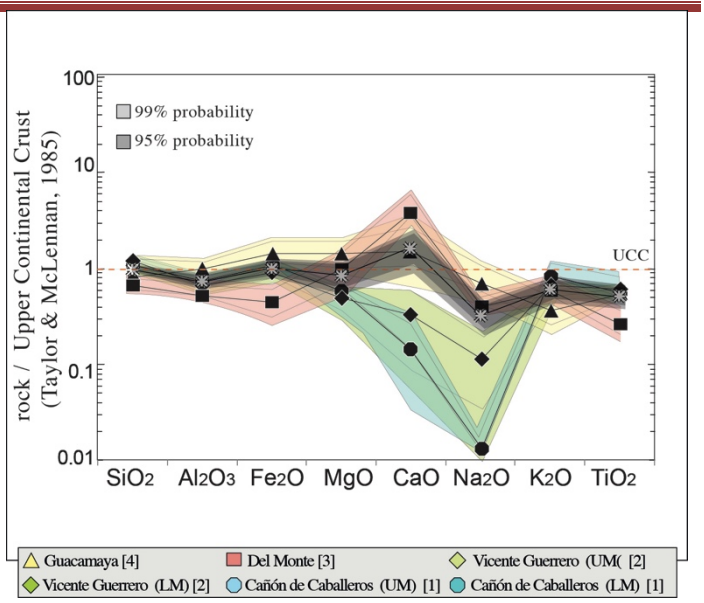


Fig. 5. 1. Diagrama multielementos tipo *spider* de las composiciones de elementos mayores para las formaciones del Grupo Tamatán. Cada formación fue normalizada con valores promedio de la corteza continental superior reportados en Taylor & McLennan (1985). **Nota:** la línea sombreada corresponde a las composiciones promedio del Grupo Tamatán y la línea naranja punteada en 1.0 a la corteza continental superior (UCC).

El SiO_2 con respecto al Na_2O (r_{CC}= -0.87 [n=12]; r_{VG}= -0.10 [n = 26]; r_{DM}= 0.69 [n = 13]; r_G= 0,26 [n = 18]) y K_2O (r_{CC}= -0.83 [n = 12]; r_{VG}= -0.57 [n = 26]; r_{DM}= 0.84 [n = 13]; r_G= 0.14 [n = 18]) se comporta relativamente similar a la relación con el aluminio (**Tabla 19, Anexo**). Estos comportamientos están controlados por el contenido de cuarzo y feldespato en las rocas.

Una correlación positiva y moderada a alta de Al_2O_3 se observa con respecto al Na_2O (r_{CC}= 0.62 [n = 12]; r_{VG}= 0.22 [n = 26]; r_{DM}= 0.57; r_G= 0.69 [n = 18]) y al K_2O (r_{CC}= 0.74 [n = 12]; r_{VG}= 0.91 [n = 26]; r_{DM}= 0.87 [n = 13]; r_G= 0.66 [n = 18]; **Tabla 19, Anexo**). Esto permite inferir la presencia de feldespatos que se alteran a minerales arcillosos (**ver Fig. 9. 25, Anexo**). La correlación entre Fe_2O_3 y CaO es muy baja en las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (r_{CC}= -0.02 [n = 12]; r_{VG}= 0.06 [n = 26]) en comparación con las formaciones Del Monte y Guacamaya (r_{DM}= -0.96 [n = 13]; r_G= -0.56 [n = 18]; **Tabla 19, Anexo**). Esta disparidad indica la presencia de cementantes carbonatos-dolomíticos y óxidos de estas últimas formaciones, siendo congruente con la petrografía debido que las fms. Del Monte y Guacamaya cuentan con la presencia de estos cementantes (**ver Capítulo 4; Tabla 11 y Tabla 12, Anexo**).

El promedio de los elementos mayores para las muestras de cada formación se normaliza respecto a la corteza continental superior (UCC; Taylor & McLennan, 1985). En general, las concentraciones de los elementos mayores del Grupo Tamatán son similar con respecto a la UCC (**Fig. 5. 1**), con excepción de Na_2O, CaO y MgO de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, cuyas concentraciones son más bajas. El CaO de las formaciones Del Monte y Guacamaya, muestra una concentración más elevada que la observada en la corteza superior (**Fig. 5. 1; ver Tabla 18, Anexo**).

5.3 Elementos Trazas

5.3.1 Litófilos

Los elementos trazas de radio iónico grande (***L**arge- **i**on **l**ithophile **e**lements;* LILE), incluyen Rb, Ba y Sr. Estos elementos en las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero presentan valores promedio que varían conforme se asciende estratigráficamente. Por ejemplo, el Rb se exhibe en 84 ppm en la Formación Cañón de Caballeros, 60 ppm en la Formación Vicente Guerrero, 57 ppm en la Formación Del Monte y 28 ppm para la Formación Guacamaya (**Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**). La concentración de Ba es muy elevada en la Formación Cañón de Caballeros (639 ppm) y moderada en las formaciones Vicente Guerrero (313 ppm), Del Monte (433 ppm) y Guacamaya (305 ppm).

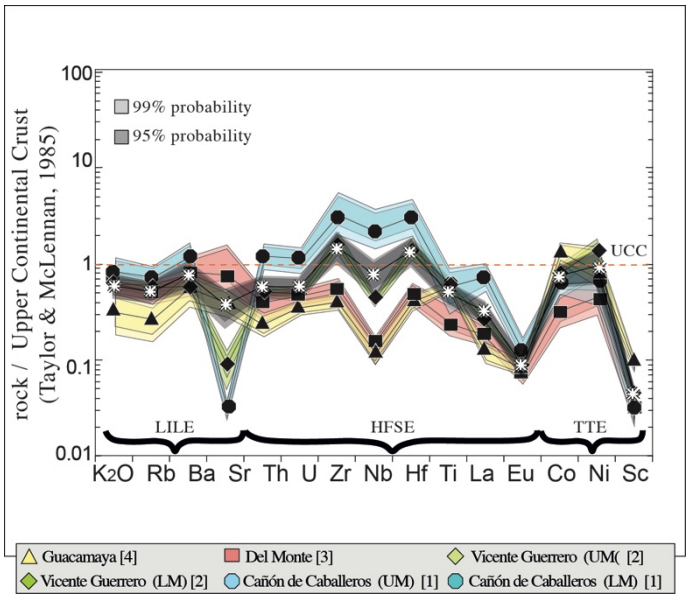


Fig. 5. 2. Diagrama multielementos tipo *spider* de las composiciones de elementos traza para las formaciones del Grupo Tamatán. Cada formación fue normalizada con valores promedio de la corteza continental superior reportados en Taylor & McLennan (1985). **Nota:** la línea sombreada corresponde a las composiciones promedio del Grupo Tamatán y la línea naranja punteada en 1.0 a la corteza continental superior (UCC).

En tanto, los valores promedio del Sr se presentan de 10 ppm en la Formación Cañón de Caballeros, de 29 ppm en la Formación Vicente Guerrero, siendo más bajos que los registrados en las formaciones Del Monte (354 ppm) y Guacamaya (136 ppm).

Entre los LILE, el Ba (r_{CC}= -0.07 [n = 12], r_{VG}= 0.90 [n = 26]; r_{DM}= 0.25 [n = 13], r_G= 0.57 [n = 18]) y Rb (r_{CC}= 0.92 [n = 12]; r_{VG}= 0.82 [n = 26]; r_{DM}= 0.87; [n = 13], r_G= 0.62 [n = 18]; **Tabla 19, Anexo**) son los que se correlacionan positivamente con valores altos a moderado contra el Al_2O_3, exceptuado el Ba de la Formación Cañón de Caballeros (**Tabla 19, Anexo**). Así mismo, la correlación del K_2O con respecto al Rb (r_{CC}= 0.93 [n = 12]; r_{VG}= 0.96 [n = 26]; r_{DM}= 0.98 [n = 13]; r_G= 0.97 [n = 18]) y Ba (r_{CC}= 0.08 [n = 12]; r_{VG}= 0.90 [n = 26]; r_{DM}= 0.22 [n = 13], r_G= 0.73 [n = 18]) se presenta de manera positiva. Usualmente, el Rb y Ba junto con el Al_2O_3 y K_2O se encuentran alojados en minerales filosilicatados (p.ej. micas y/ó arcillas; Bauluz et al., 2000; González-López et al., 2005). Por lo tanto, los altos valores de los coeficientes de correlaciones sugieren que la distribución del Grupo Tamatán esta probablemente controlada por minerales de arcilla y mica.

Los patrones multielementos del promedio de los LILE normalizados con la UCC del Grupo Tamatán exhiben un patrón con una tendencia al alza próxima a la UCC, a excepción del Sr que es relativamente más bajo (**Fig. 5. 1**).

En general, las rocas de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, muestran concentraciones de elementos litófilos comparables a las que caracterizan a la corteza continental superior (**Fig. 5. 2**). En contraste, las formaciones Del Monte y Guacamaya están menos enriquecidas. Es notable además el empobrecimiento en Sr que muestran las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (**Tabla 14 y Tabla 15, Anexo**). El Sr se

concentra principalmente en el cemento carbonatado, por lo que su remoción puede ocurrir durante la diagénesis temprana (p.ej. Otha, 2004), la pérdida del cementante en estas formaciones se corrobora a través de la petrografía.

5.3.2 Elementos de alta carga iónica

Los elementos de alta carga iónica (***H**igh- **f**ield **s**trength **e**lements*; HFSE), como es el caso del Th, U, Zr, Nb, Hf, La y Eu reflejan las concentraciones más elevadas en la parte basal del Grupo Tamatán y van disminuyendo conforme se asciende estratigráficamente (**Fig. 5. 2**). De esta forma, la concentración promedio en Th y U se presenta de 12 y 3 ppm en la Formación Cañón de Caballeros. Valores más bajos en Th y U se exhiben en las formaciones Vicente Guerrero (5 y 1 ppm, respectivamente), Del Monte (4 y 1.2 ppm, respectivamente) y Guacamaya (2 y 0.9 ppm, respectivamente). En tanto el Zr es de 682 ppm en la Formación Cañón de Caballeros, de 311 ppm en la Formación Vicente Guerrero, de 100 ppm en la Formación Del Monte y de 75 ppm en la Formación Guacamaya. La concentración promedio en Nb y Hf es de 61 ppm y 18 ppm en la Formación Cañón de Caballeros, de 10 ppm y 8 ppm en la Formación Vicente Guerrero, de 3.1 ppm y 2.7 ppm en la Formación Del Monte y de 2.7 ppm y 2.2 ppm en la Formación Guacamaya, respectivamente (**Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**).

La relación Th/U generalmente se incrementa por la oxidación y la pérdida de Uranio (U) en las rocas sedimentarias (p.ej., Taylor & McLennan, 1985; McLennan et al., 1993). Por esta razón se ha utilizado como índice de intemperismo (p.ej., Krzeszowska, 2019). Los valores promedio de la relación Th/U para el Grupo Tamatán son de 4.2 en la Formación Cañón de Caballeros, 4.4 en la Formación Vicente Guerrero, 3.4 en la Formación Del Monte y 2.5 en la Formación Guacamaya, lo que sugiere un cambio gradual un intemperismo alto a bajo y de la base hacia techo del Grupo Tamatán. Esto se ve reflejado también en el comportamiento geoquímico entre Th y U en el Grupo Tamatán cuyo coeficiente de correlación positivo entre sí, son de valores altos en las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (r_{CC}= 0.95 [n = 12]; r_{VG}= 0.63 [n = 26]) a moderados en las formaciones Del Monte y Guacamaya (r_{DM}= 0.39 [n = 13]; r_G= 0.55 [n = 18]; **Tabla 19, Anexo**).

Por otro lado, la relación Zr/Hf varía entre 30 a 36 en la mayoría de las formaciones del Grupo Tamatán, aunque con valores entre 40 a 45 se observan en las unidades Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero. Los minerales pesados como el circón son los que controlan la concentración de estos elementos (p.ej., Murali et al. 1983). Los valores más elevados en la relación podrían sugerir una tendencia a la acumulación de circón. Además, el Zr y el Hf se comportan de manera similar en todas las formaciones del Grupo Tamatán (i.e., si aumenta el Zr, aumenta Hf; y viceversa). Esta similitud se refleja en altos y positivos coeficientes de correlación (r_{CC}= 0.98; r_{VG}= 1.0; r_{DM}= 0.93 [n = 13]; r_G= 0.94 [n = 18]; **Tabla 19, Anexo**).

En las rocas clásticas, los elementos HSFE usualmente se concentran con el incremento en el grado de madurez. Valores altos se observan en rocas cuarcíticas y en lutita rica en Al, acompañados de bajos contenidos de Na_2O. Una relación de Mg/Fe más alta y menos variable y una correlación más baja en TiO_2, Zr y Hf con respecto al Na_2O implica que fueron rápidamente depositadas desde una fuente menos intemperizada (p.ej., García et al., 1994).

El Grupo Tamatán muestra un coeficiente de correlación de TiO_2 con respecto a Zr y Hf con valores moderadamente altos para las formaciones Cañón de Caballeros (r_{CC}= -0.51 y r_{CC}= -0.61 [n = 12]), Vicente Guerrero (r_{VG}= 0.68 y r_{VG}= 0.66 [n = 26]) y Del Monte (r_{DM}= 0.89 y r_{DM}= 0.84 [n = 13]), pero bajos para la Formación Guacamaya (; r_G= 0.16 y r_G= 0.22 [n = 18]; **Tabla 19, Anexo**). Este comportamiento está relacionado con el grado de madurez en estas formaciones (i.e., tiende a disminuir conforme se asciende estratigráficamente; **Fig. 5. 11**) y sugiere una fuente menos intemperizada para la Formación Guacamaya.

Por otro lado, en los patrones normalizados de los HFSE, las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero muestran una tendencia por encima de los valores de la UCC y las formaciones Del Monte y Guacamaya son relativamente más bajos (**Fig. 5. 2**).

Por último, el Nb y las tierras raras (La y Eu) de la Formación Cañón de Caballeros, se observan con un valor alto en comparación a la UCC. En contraste las formaciones Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya exhiben valores más bajos que la UCC (**Fig. 5. 2**; **Tabla 14 a Tabla 19, Anexo**).

5.3.3 Elementos trazas de transición

Los elementos trazas de transición (***T**ransition- **t**race **e**lements;* TTE) se incluyen el Co, Ni y Sc. El contenido en promedio Co, Ni y Sc del Grupo Tamatán es de 6.5, 17.6 y 5.5 ppm de la Formación Cañón de Caballeros, de 7.5, 28.5 y 7.7 ppm de la Formación Vicente Guerrero, de 3.3, 10.4 y 5.6 ppm de la Formación Del Monte y de 12.7, 20 y 16.6 ppm de la Formación Guacamaya, respectivamente. Las concentraciones del grupo TTE son comparables a las que muestra la UCC, con excepción de Sc que se presenta empobrecido respecto a este reservorio (**Fig. 5. 2**).

5.3.4 Elementos de tierras raras

El grupo de tierras raras (REE) que se divide en elementos ligeros (LREE; La-Sm) y pesados (HREE; Gd-Lu) para las rocas del Grupo Tamatán muestran un contenido promedio total de 122 ppm en ΣREE, además de contar con un enriquecimiento moderado en los LREE de acuerdo con las relaciones de $(La/Sm)_N$ = 3.0 y $(Gd_N/Yb)_N$ = 1.4 (**Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**). Los valores de ΣREE son más altos en las formaciones Cañón de Caballeros (267 ppm) y Vicente Guerrero (106 ppm). Mientras que las formaciones Del Monte (75 ppm) y Guacamaya muestran concentraciones más limitadas (60 ppm; **Tabla 14 a Tabla 17, Anexo).**

Por otra parte, los patrones de REE fueron normalizados a condrita para el Grupo Tamatán (**Fig. 5. 3b**) los cuales se compararon con respecto a las composiciones promedio de las siguientes referencias (**Fig. 5. 3 a): *(a):*** andesitas, ***(b)*** basaltos de dorsal oceánica (*Mid Ocean Ridge Basalts;* MORB), ***(c)*** lutitas de Norteamérica (*North America Shale Composite*; NASC), (***d)*** lutita post-arqueanas de Australia (*Post- Archean Australian Shale*; PAAS), ***(e)*** Corteza Continental y ***(f)*** Corteza Continental Superior (UCC; Gromet et al., 1984; Taylor & McLennan, 1985). Con excepción del MORB que presenta un patrón plano de La a Lu; las demás referencias se caracterizan por patrones enriquecidos en REE ligeras, una pequeña anomalía negativa en Eu y un patrón plano para las REE pesadas (**Fig. 5. 3 a).** Por otra parte, el patrón de REE normalizado a condrita para la Formación Cañón de Caballeros, se caracteriza por ser más enriquecido y comparable en morfología a la que distingue a las

referencias corticales (**Fig. 5. 3b**). En contraste, el patrón de la unidad más joven, Guacamaya, se encuentra menos enriquecido y la anomalía negativa en Eu es muy pequeña.

De forma particular, el parámetro $(Eu/Eu^*)_N$ (McLennan, 1989) es de utilidad para establecer si existe una anomalía positiva o negativa de Eu y, además, junto con las relaciones Th/Sc y Cr/Ni se pueden inferir en el análisis de procedencia (p.ej., McLennan et al., 1993; Jenchen, 2001; Jenchen, 2018; **ver Fig. 9. 34 a Fig. 9. 36, Anexo**). El valor promedio de la relación $(Eu/Eu^*)_N$ del Grupo Tamatán es de 0.71, lo que refleja anomalía negativa de Eu y una afinidad a una fuente cortical.

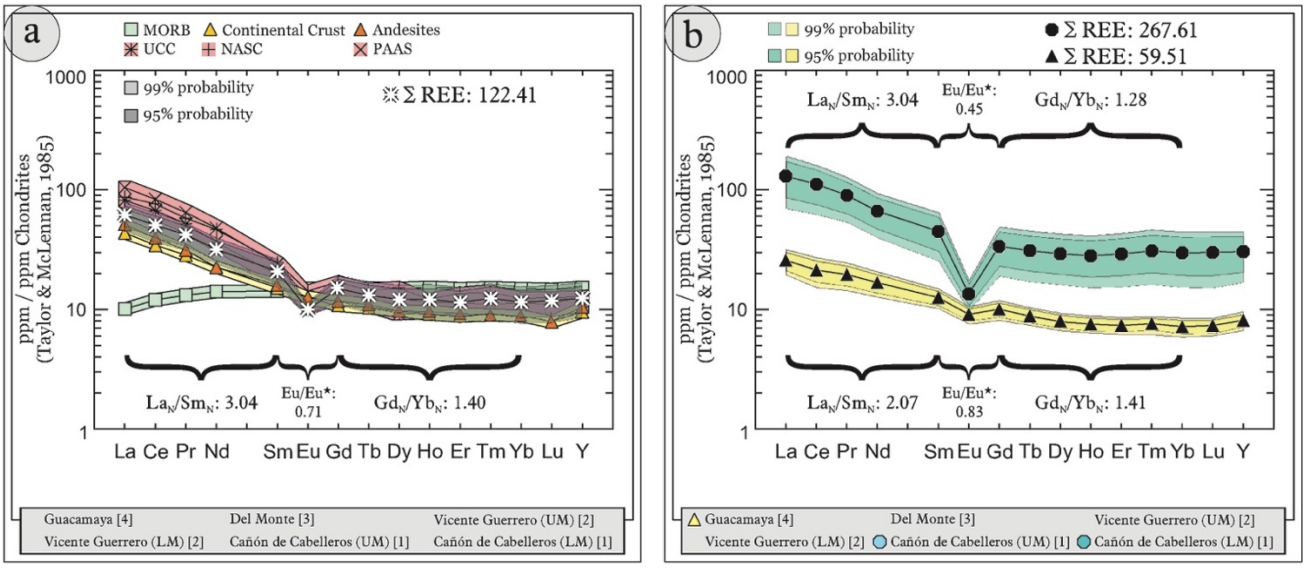


Fig. 5. 3. Diagrama de REE normalizado a condritas (Taylor & McLennan, 1985). **(a)** se muestra el promedio de todas las muestras analizadas, y la comparativa con valores promedios de Andesitas, Basaltos de Dorsales Oceánicas (MORB), de Compósito de Lutitas de Norteamérica (NASC), de lutitas pos-arqueanas de Australia (PAAS); la corteza continental (CC) y la Corteza Continental Superior (UCC; Taylor & McLennan, 1985). Notar que la distribución de los valores de Grupo Tamatán (patrón oscuro con puntos blancos) es relativamente similar a la UCC, NASC, PAAS. **(b)** Comparación de los promedios de la unidad más antigua (Fm. Cañón de Caballeros) y la más joven (Fm. Guacamaya) donde se aprecia una comparativa muy distinta.

La anomalía negativa de Eu es más marcada en la Formación Cañón de Caballeros ($[Eu/Eu^*]_N = 0.4$), mientras que en el resto de las unidades la relación oscila entre 0.6 a 0.8 (**Fig. 9. 33, Anexo).** Un valor <1.0 para este parámetro se puede explicar a través de procesos de transporte y reciclaje. Las areniscas maduras generalmente se enriquecen en LREE y tienden a tener una concentración escasa de plagioclasa- Na, acompañada de marcadas anomalías de Eu (Jenchen, 2018a).

Los REE y sus relaciones se han utilizado como herramienta para inferir un ambiente tectónico (p.ej., Bhatia,1985; McLennan et al.,1993). De esta forma la variación en niveles de concentración y morfología de los patrones del Grupo Tamatán es indicativo de cambios en la afinidad tectónica entre las sucesiones (**Fig. 5. 3b**; **Fig. 5. 9** y **Fig. 5. 11).**

Algunos autores (p.ej., Taylor & McLennan, 1985; Bhatia & Crook, 1986; McLennan, 1989; Jenchen, 2001; 2018a, b) destacan que los REE generalmente residen en minerales pesados como: circón, granate, monazita, allanita, etc. No obstante, en los minerales arcillosos también son fuentes importantes para el aporte de los REE

(según Condie, 1991). Por tanto, se considerado que los coeficientes de correlación de los LREE y los HREE con respecto Al_2O_3 (**Tabla 19, Anexo**), arrojando como resultado una correlaciones positiva y negativa, con valores bajos a moderados de las formaciones Cañón de Caballeros (r_{CC}= 0.23 y r_{CC}= 0.68 [n = 12) y Vicente Guerrero (r_{VG}= -0.29 y r_{VG}= 0.26 [n = 26]), y una correlación negativa, con valores bajos en las formaciones Del Monte (r_{DM}= -0.09 y r_{DM}= 0.40 [n = 13]) y Guacamaya (r_G= 0.37 y r_G= -0.14 [n = 18]), lo que confirma la importante aparición de minerales arcillosos en las unidades más antiguas. Por otro lado, las correlaciones mayormente positiva de los REE con TiO_2 (r_{CC}= 0.62; r_{VG}= -0.06; r_{DM}= 0.11; r_G= 0.11) y Nb (r_{CC}= -0.86 [n = 12]; r_{VG}= 0.33 [n = 26]; r_{DM}= 0.95[n = 13]; r_G= 0.31[n = 18]; **Tabla 19, Anexo**) indican la aparición de algunos óxidos que contienen Ti- y Nb, que es probable que albergue los REE (Condie, 1991).

5.4 Clasificación mineralógica y litológica

La concentración de los elementos mayores se ha empleado en los sistemas de clasificación propuestos por Pettijhon et al. (1963; **Fig. 9. 18, Anexo**) y Pettijhon et al. (1972; **Fig. 9. 19, Anexo**) y en los documentados por Jenchen & Rosenfeld (2007) y Jenchen (2018a, b).

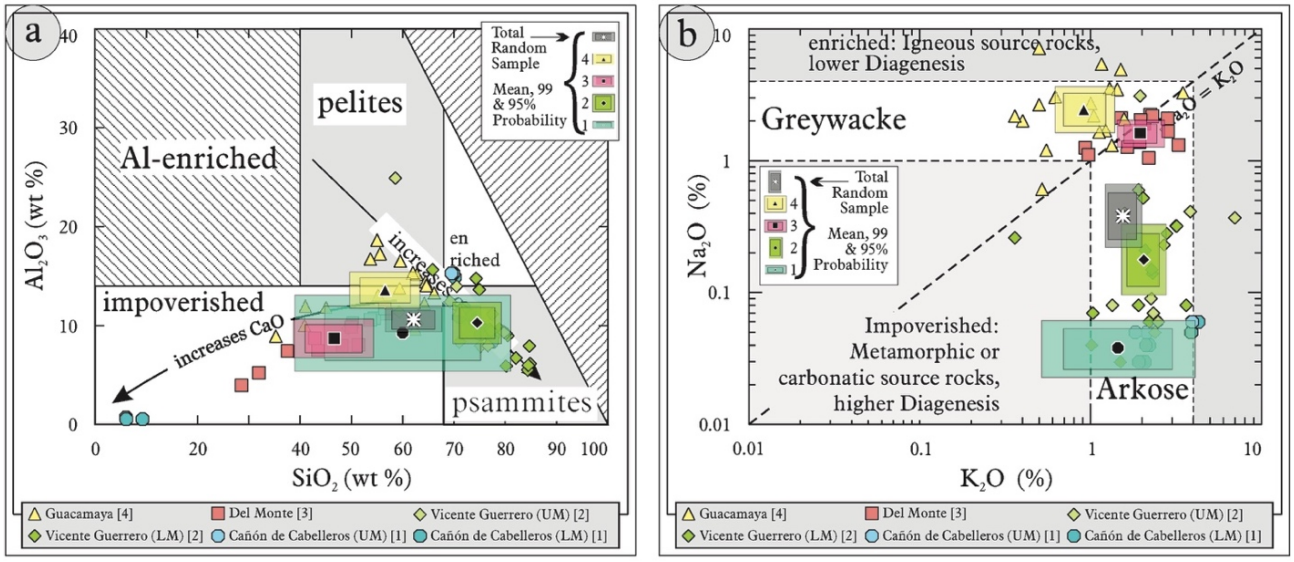


Fig. 5. 4. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: Diagramas bivariados. **(a)** SiO_2 – Al_2O_3 (después de Jenchen & Rosenfeld, 2007). **(b)** K_2O – Na_2O (después de Jenchen 2018a, b).

Las muestras de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se clasifican como psammitas, con la excepción de varias muestras de la Formación Vicente Guerrero, las cuales se distinguen por un enriquecimiento en CaO. La Formación Del Monte está constituida en su totalidad por sedimentos enriquecidos en CaO. Por último, las muestras de la Formación Guacamaya se concentran dentro en el campo de pelitas y areniscas enriquecidas con CaO (**Fig. 5. 4a**; **Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**). En el esquema de discriminación propuestos por Pettijhon et al. (1963; **Fig. 9. 18, Anexo)**, y modificados por Jenchen (2018a, b), las rocas de las formaciones Cañón de Caballeros y de Vicente Guerrero se discriminan como arcosas. Por otra parte, las muestras colectadas de las formaciones Del Monte y Guacamaya se clasifican en grauvacas y en menor proporción como arcosa (**Fig. 5. 4b**).

5.5 Intemperismo químico del área fuente

El grado de intemperismo químico del Grupo Tamatán, puede ser calculado a partir del Índice de Alteración Química (***C**hemical **I**ndex **A**leteration*; CIA; Nesbitt & Young, 1982; **ver metodología, Capítulo 1).** Los resultados que arrojan el análisis de las muestras de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero indican un intervalo de alteración y diagénesis de alto a moderado, cuyos valores de CIA van desde 61 a 83% ($\bar{X}_{CC}$ = 75%) y 56 a 84 % ($\bar{X}_{VG}$ = 76%). Mientras que los valores más bajos del Grupo Tamatán se observan en las formaciones Del Monte y Guacamaya, donde el CIA varía de 40 a 68% (media $\bar{X}_{CC}$ = 56) y 51 a 78 % ($\bar{X}_{VG}$ = 61%), respectivamente (**Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**).

El grado de meteorización química involucrado en el Grupo Tamatán pueden ser inferido mediante el Índice de Alteración de la Plagioclasa (***P**lagioclase **I**ndex **A**letration*; PIA; Fedo et al., 1995) y el Índice Químico de Meteorización (***C**hemical **I**ndex **W**eathering*; CIW; Harnois, 1988). En general, los valores promedios de PIA y CIW del Grupo Tamatán oscilan entre los 60 a 92 % ($\bar{X}_{PIA}$ = 66%) y 27 a 99 % ($\bar{X}_{CIW}$= 80%; **Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**). Similar al CIA, las formaciones más antiguas Cañón de Caballeros (PIA= 92% y el CIW =93%) y Vicente Guerrero (PIA= 61% y el CIW =92%) exhiben los valores promedios más elevados. Por lo contrario, los valores más bajos y muy similares entre sí, se registran en las formaciones Del Monte (PIA= 61% y CIW =65%) y Guacamaya (PIA= 60 % y CIW =63%) (**Fig. 5. 11**).

Los valores altos de CIA, PIA y CIW del Grupo Tamatán, reflejan probablemente una alteración intensa a moderada del área fuente (Nesbitt & Young, 1982) o alternativamente un alto reciclaje y abundancia de minerales pesados (p.ej., Shadan & Hosseini-Barzi, 2013), lo cual es apoyado con los valores altos de los REE y la alta correlación lineal de Th y U en estas formaciones mencionadas anteriormente.

Por otro lado, los valores más bajos de CIA, PIA y CIW, infieren una condición de bajo intemperismo del área fuente con condiciones climáticas frescas y/o áridas según Fedo et al. (1995), y que pueden estar controlado ya sea por la adición de minerales arcillosos de tipo illita-esmectita, por el contenido de componentes máficos durante el depósito e incluso por la asociación de fases carbonatadas en los sedimentos durante la diagénesis (p.ej., Ocampo-Díaz, 2011). Lo cual esta última puede ser plausible, debido al alto contenido de componentes carbonatados en las unidades de bajo intemperismo (i.e., fms. Del Monte y Guacamaya).

Las tendencias de las muestras del Grupo Tamatán en el diagrama ternario A – CN – K (**Fig. 5. 5**; Al_2O_3 CaO + Na_2O K_2O; Nesbitt & Young, 1984, Fedo et al., 1995), refleja claramente la procedencia del material como el nivel de intemperismo. La mayoría de las muestras de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se agrupan en una composición inicial de tipo ácida (tonos rojos; **Fig. 5. 5**), con la excepción de dos muestras de la Fm. Cañón de Caballeros, esto debido a que muestra un valor de CaO* = 0 (**Tabla 14, Anexo**). No obstante, la tendencia geoquímica es muy similar a los valores teóricos promedios de los estándares de rocas graníticas y riolíticas.

Por su parte, las formaciones Del Monte y Guacamaya presentan una tendencia hacia la composición intermedia – básica (tonos naranja-verde; **Fig. 5. 5**) similar a la composición estándar de rocas granodioríticas, gabroicas y basálticas (cf., Nesbitt & Young, 1982; Condie, 1993; Jenchen, 2018a, b).

De acuerdo con la concentración del Al_2O_3, Na_2O, K_2O, CaO, Fe_2O_3 y TiO_2 (**Fig. 5. 5**; p.ej., Nesbitt & Young, 1982; Englund & Jørgensen, 1973; **Fig. 9. 24; Fig. 9. 25, Anexo**), la illita y esmectita es muy probable que estén presentes en las unidades del Grupo Tamatán y en menor proporción de montmorillonita, considerando el contenido de potasio (K) y Torio (Th) (p.ej., Schlumberger, 1985; **Fig. 9. 26, Anexo**).

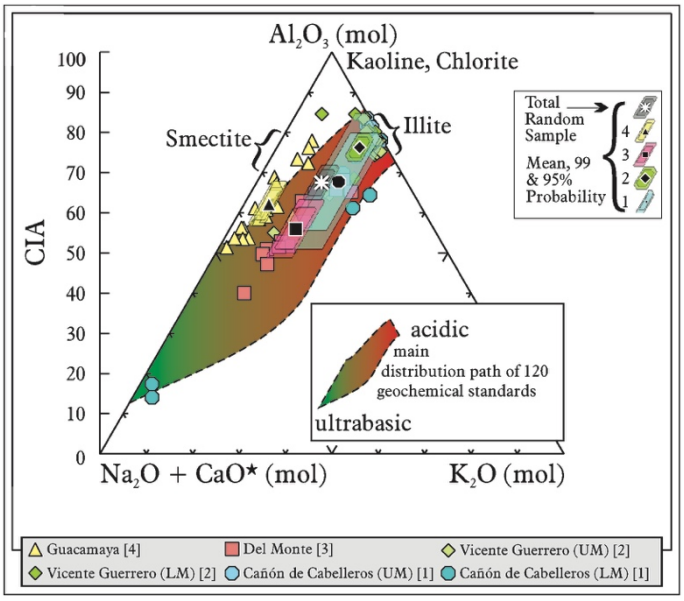


Fig. 5. 5. Diagrama ternario A-CN-K (aluminio-calcio + sodio-potasio) con los valores del índice de alteración química (CIA) (tomada de Nesbitt & Young, 1982, modificado por Jenchen, 2018).

Otra manera para determinar el intemperismo físico-químico es mediante la determinación de la madurez composicional. Esta consiste de características químicas como el contenido de los elementos alcalinos (Al, Na, K) que influyen con el producto final (p.ej., Ingersoll et al., 2003). El grado de madurez composicional puede ser calculado utilizando el índice de variabilidad composicional (***Index of Compositional Variability***; ICV; **ver metodología Capítulo 1**).

Cox et al. (1995) indicaron que los minerales detríticos del esqueleto mineralógico principal conservan valores del ICV más bajos que los minerales arcillosos; los minerales productos de la alteración como illita, moscovita y caolinita, muestran valores superiores a 0.84 (Cox et al., 1995). Por lo tanto, los valores de ICV disminuyen al aumentar la intensidad del intemperismo y/ó la madurez de los sedimentos clásticos.

El ICV del Grupo Tamatán exhibe una concentración promedio de 1.62. Mientras que, los valores relativamente bajos se observan en las formaciones Cañón de Caballeros (0.63 a 1.22; $\bar{X}_{CC}$ = 0.97) y Vicente Guerrero (0.48 a 2.5; $\bar{X}_{VG}$ = 1.12), estos valores se corroboran con los valores CIA, donde se indica un intemperismo más intenso con un mayor grado de madurez composicional química. En contraste, los valores más elevados se concentran en las formaciones Del Monte (1.62 a 9.4; $\bar{X}_{DM}$ = 3.45) y Guacamaya (0.80 a 3.65; $\bar{X}_{G}$ = 1.44), sugiriendo un menor grado tanto de madurez composicional como de intemperismo. Esto también es posible que ocurra por el enriquecimiento del contenido de CaO (**Tabla 16 y Tabla 17, Anexo**).

En el diagrama CIA contra ICV en comparación con el composito PAAS (Long et al., 2012; **Fig. 5. 6**). La mayoría de las formaciones del Grupo Tamatán caen por encima de los valores ICV del PAAS (Taylor & McLennan,1983) indicando y reafirmando la naturaleza madura e intenso intemperismo químico en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, caso contrario a lo que ocurre en las fms. Del Monte y Guacamaya (**Fig. 5. 6**).

5.6 Transporte y reciclamiento del área fuente

El transporte clástico se infiere de acuerdo al sorteo hidráulico. El sorteo hidráulico, es el grado de separación de minerales según el tamaño del grano, el cual aumenta con la densidad que presentan los minerales. En este sentido, los minerales densos (p.ej. circón, apatito) influye significativamente en la composición química de los sedimentos terrígenos y ejercen un mayor control sobre la distribución de algunos elementos trazas (p. ej., Th, U, Zr, Hf y Nb; Armstrong-Altrin, 2009; García et al., 2004).

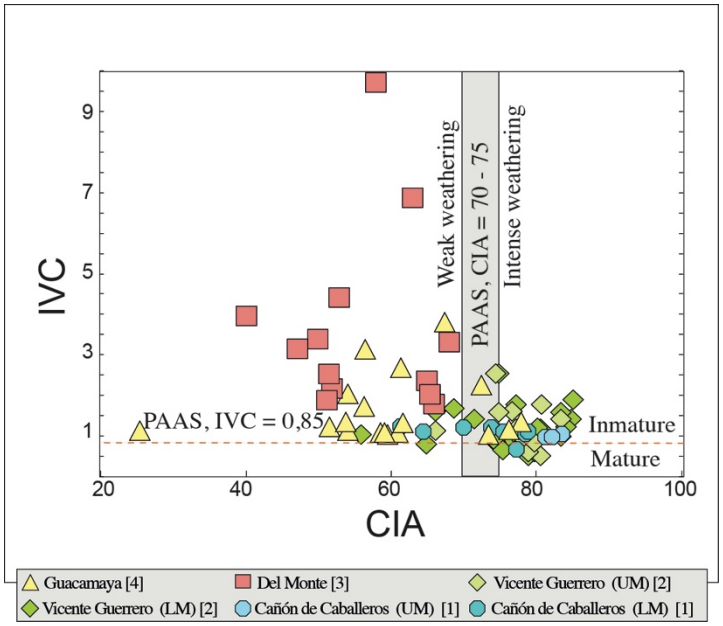


Fig. 5. 6. Diagrama ICV vs CIA, se exhibe la intensidad del intemperismo y madurez de las formaciones del Grupo Tamatán (después de Long et al., 2012).

McLennan et al. (1993) consideraron que tanto la composición de la roca fuente y los procesos sedimentarios (i.e., el transporte y reciclamiento) involucrados en una roca clástica podrían ser inferidas mediante la comparación de Th/Sc vs Zr/Sc. Donde, la relación Zr/Sc infiere la acumulación de circón, el cual aloja típicamente elementos como Zr y Hf. Además, estos elementos comúnmente se encuentran más enriquecidos en las rocas ígneas félsicas (McLennan et al., 1993). Así mismo, debido a que el Th y Sc son incompatibles y compatibles respectivamente. En los procesos de diferenciación ígnea, estos generalmente conservan la firma del área fuente. De modo que sí la relación Th/Sc se presenta en valores bajos, entonces esta se asocia a una fuente máfica y viceversa (i.e., los altos valores se asocian a un origen félsico). Por lo tanto, en el diagrama Zr/Sc versus Th/Sc (**Fig. 5. 7 y Fig. 5. 11),** es una herramienta útil, no sólo para evaluar el sorteo hidráulico y la adición de minerales pesados (p.ej. circón) durante el transporte, sino también como un indicador de la composición del área fuente.

Los resultados sobre el transporte y reciclaje del Grupo Tamatán revelan una relación de Zr/Sc elevada con valores que oscilan entre 38 y 245 en la Formación Cañón de Caballeros ($\bar{X}_{CC}$ = 138) y de 7 a 202 de la Formación Vicente Guerrero ($\bar{X}_{VG}$ = 48), respectivamente. Los valores más bajos oscilan entre 10 a 26 de la Formación Del Monte ($\bar{X}_{Dm}$ = 18) y de rangos entre 3 a 8 de la Formación Guacamaya ($\bar{X}_{G}$ = 5) (**Tabla 14 a Tabla 17, Anexo**). Lo cual sugiere que el Grupo Tamatán consiste generalmente de un mayor (fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero) a menor transporte y reciclaje (fms. Del Monte y Guacamaya).

La relación Th/Sc del Grupo Tamatán al igual que la relación Zr/Sc, se observan valores relativamente más elevados en las formaciones Cañón de Caballeros ($\bar{X}_{CC}$ = 2.7) y Vicente Guerrero ($\bar{X}_{VG}$ = 0.8); y de una relación moderada a moderada a baja en las formaciones Del Monte ($\bar{X}_{Dm}$ = 0.7) y Guacamaya ($\bar{X}_{G}$ = 0.2). Está relación sugiere fuentes inicialmente félsicas con una tendencia hacia fuentes más intermedias-máficas **(Fig. 5. 11)**.

En el diagrama Th/Sc contra Zr/Sc de McLennan et al. (1993) modificado por Jenchen (2001), el Grupo Tamatán muestra dos tendencias: ***(1)*** trazada a lo largo de la concentración de circón, donde se presentan un mayor dominio del transporte, sorteo hidráulico y el reciclaje y ***(2)*** se encuentra asociada con una contribución más directa con el área fuente (**Fig. 5. 7 y Fig. 5. 11).** Las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se trazan en su mayoría en la Tendencia 1, con pocas muestras asociadas en la Tendencia 2 (**Fig. 5. 7),** lo que indica una alta acumulación de circón mediante el reciclaje. Las formaciones Del Monte y Guacamaya se encuentran en la tendencia de variación composicional, lo que sugiere una homogeneidad composicional y mínima influencia meteorización, sorteo hidráulico y adición de circón.

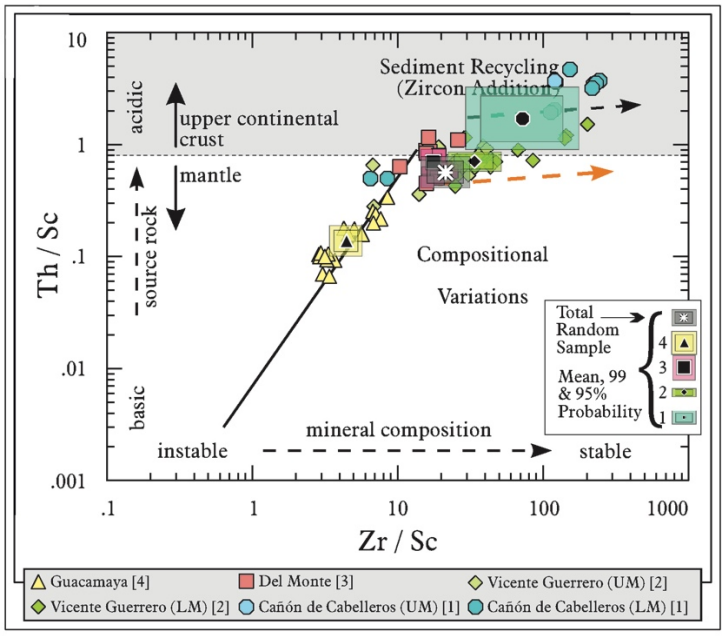


Fig. 5. 7. Diagrama bivariado que comparan las relaciones Zr/Sc vs Th/Sc de McLennan et al. (1993) modificado por Jenchen (2001). **Nota:** Las flechas punteadas delimitan la Tendencia 1, y la línea sin puntear la Tendencia 2.

Adicionalmente, García et al. (1994) infirieron el efecto del fraccionamiento mineralógico relacionado con el sorteo hidráulico (sin involucrar los efectos del intemperismo), tomando en consideración la proporción de aluminio, titanio y circonio, como se ilustra en el diagrama ternario $Al_2O_3 – TiO_2 – Zr$ de la **Fig. 5. 8.**

Siguiendo este esquema, las muestras del Grupo Tamatán revelan una variación muy marcada entre las formaciones, mostrándose una mayor tendencia del sorteo hidráulico hacia las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, indicando un mayor reciclaje y adición de circón. Menos común en las formaciones Del Monte y Guacamaya. Por lo tanto, el proceso de reciclaje es más significativo en los sedimentos clásticos que está en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero que en la fms. Del Monte y Guacamaya.

5.7 Composición del área fuente y ambiente tectónico

Las relaciones de Cr vs Th/Sc, Zr/Sc vs Th/Sc y Ti/Nb vs SiO_2/K_2O son consideradas como indicadores de la composición del área fuente (Taylor & McLennan, 1985; McLennan et al., 1993; Jenchen, 2001; 2018). Con base a esto, el Grupo Tamatán revela una asociación de una fuente ácida (fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero), con tendencia intermedia (Fm. Del Monte) y básica (Fm. Guacamaya) como se presenta en los diagramas de la **Fig. 5. 7**, **Fig. 5. 9a y Fig. 5. 11**. La composición del área fuente, también puede ser interpretada acorde con a los valores bajos a moderados de la relación Ti/Nb para la Fm. Cañón de Caballeros lo cuales varían entre 3.6 a 423 ($\bar{X}_{CC}$ = 128) y una relación SiO_2/K_2O que van de 17 a 40 ($\bar{X}_{CC}$ = 28).

Las fms. Vicente Guerrero y Del Monte muestran valores cuyos rangos abarcan entre los 66 a 600 ($\bar{X}_{VG}$ = 384) y de 300 a 671 ($\bar{X}_{Dm}$ = 501) incluyendo una relación SiO_2/K_2O entre 18 y 223 ($\bar{X}_{VG}$ = 47) y de 16 a 34 ($\bar{X}_{Dm}$ = 24), respectivamente.

Por último, la Fm. Guacamaya exhibe una relación Ti/Nb muy elevada que varía de 706 a 3340 ($\bar{X}_{G}$ = 1373), y también una alta relación en SiO_2/K_2O con promedio de 70. En la **Fig. 5. 9b** se ilustra el cambio composicional de la Fm. Cañón de Caballeros que se asocia con una fuente félsica; mientras que, hacia las sucesiones más jóvenes, cambia la composición gradualmente de intermedia a básica (**Fig. 5. 11**).

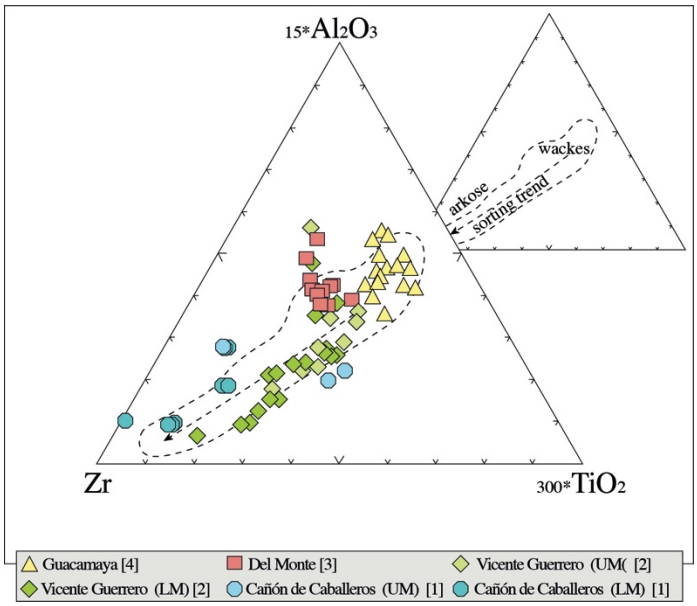


Fig. 5. 8. Diagrama ternario Al_2O_3 – Zr – TiO_2, propuesto por García et al. (1994), donde se presenta la tendencia del sorteo hidráulico de los sedimentos clásticos del Grupo Tamatán. **Nota:** el campo punteado corresponde al promedio de rocas sedimentarias marinas (cf., García et al., 1994), cuyas relaciones TiO_2/Zr y Al_2O_3/TiO_2 corresponden a 0.0033 y 20, respectivamente.

Roser & Korsch (1986; 1988) y Bhatia (1983) propusieron campos de discriminación con escenarios tectónicos característicos (margen pasivo, activo y arcos), para una gran variedad de rocas sedimentarias antiguas, apoyándose primordialmente en las concentraciones de óxidos mayores y sus respectivas relaciones (p.ej., K_2O/Na_2O – SiO_2; K_2O/Na_2O – SiO_2/Al_2O_3; Roser & Korsch,1986; 1988). Para muchos investigadores, estos diagramas de discriminación aún se siguen utilizando (p.ej., Gu et al., 2002; Otha, 2004; Armstrong-Altrin & Verma, 2005; Jenchen & Rosenfeld, 2002; 2007; de Araújo et al., 2010; Ocampo-Díaz, 2011; Malaza et al. 2016 Ejeh, 2016). Por lo tanto, en los diagramas K_2O/Na_2O versus SiO_2 y K_2O/Na_2O – SiO_2/Al_2O_3 la mayoría de las muestras de las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero residen en el campo de margen pasivo. De forma opuesta, la mayoría de las muestras de las fms. Del Monte y Guacamaya se asocian a los campos de margen continental activo y arcos, para mayor detalle ver **Fig. 9. 21** y **Fig. 9. 22 del Anexo**.

Con base a los diagramas de clasificación (Pettijhon et al.,1963) y de discriminación tectónica (Roser & Korsch, 1986;1988) anteriormente mencionados. Recientemente, Jenchen (2018 a, b) propuso una conjunción de ambos modelos, tomando en consideración las relaciones K_2O/Na_2O vs SiO_2/Al_2O_3. En este esquema clasificatorio que se ilustra en la **Fig. 5. 9c**, se observa que las muestras arcosicas-litoareníticas de las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se asocian al campo de margen pasivo (PM), mostrando un grupo menor de muestras de la Fm. Vicente Guerrero en el campo de margen activo (AM), al igual que algunas muestras de la Fm. Del Monte. Así mismo, la areniscas grauvacas-litoareníticas de la Fm. Guacamaya se exhiben con una tendencia desde el margen continental activo hacia el campo de arco de islas oceánicas (A2; **Fig. 5. 9c**).

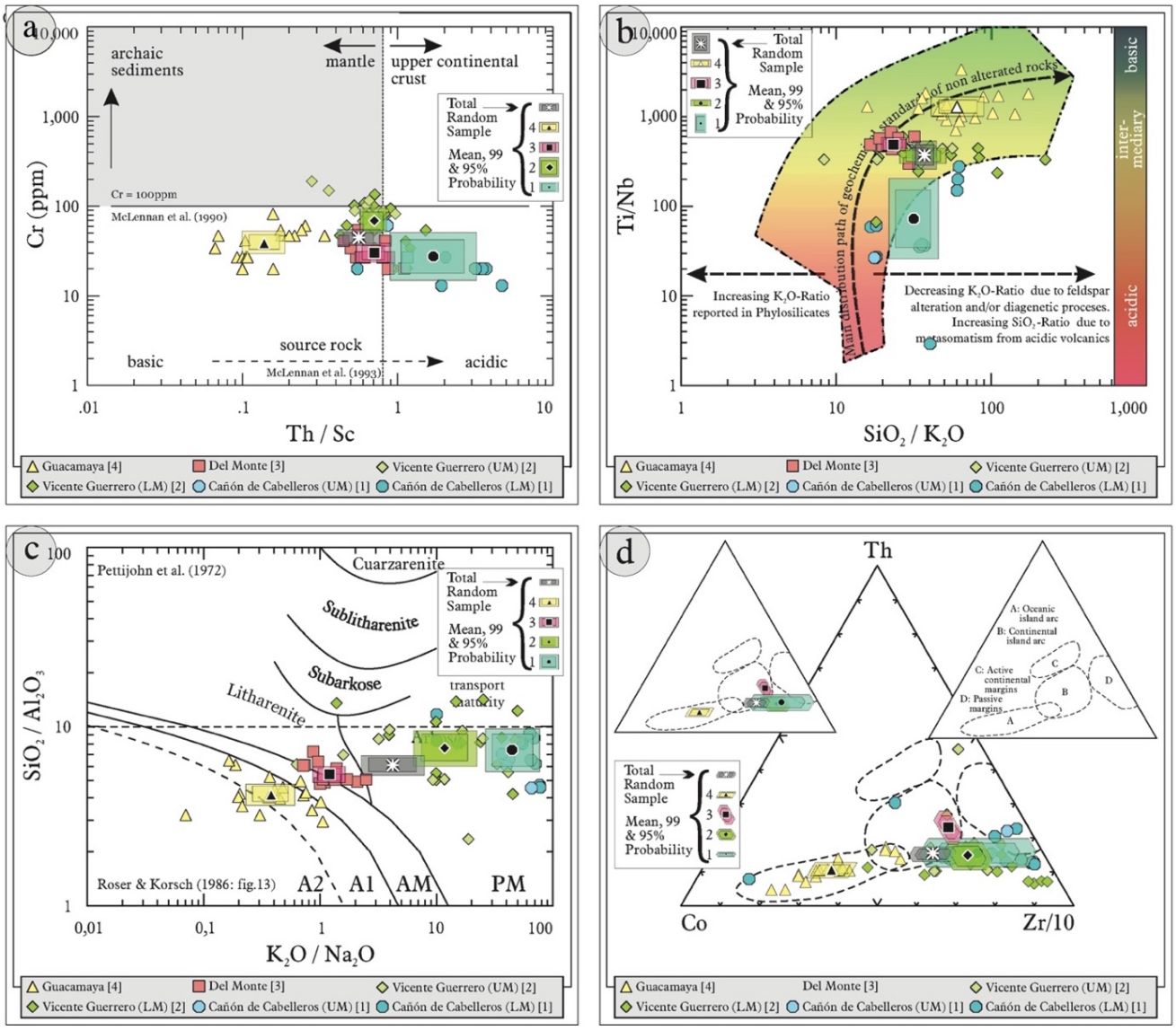


Fig. 5. 9. Discriminación del área fuente del Grupo Tamatán. **(a)** Diagrama Th / Sc - Cr (Jenchen, 2018a), **(b)** Diagrama SiO_2/K_2O - Ti/Nb (Jenchen 2018a), **(c)** Diagrama K_2O / Na_2O - SiO_2 / A_2O_3 (Jenchen, 2018a), **(d)** Gráficos ternarios Th-Co-Zr/10 y La-Th-Sc (Bhatia & Crook, 1986).

Bhatia & Crook (1986) comprueban que los elementos como La, Co, Th, Zr y Sc son buenos indicadores químicos para la discriminación de los ambientes tectónicos, debido a que estos elementos son transferidos a los sedimentos clásticos durante los procesos iniciales de meteorización y transporte, además de que muestran una baja movilidad y corto periodo de tiempo de residencia en el agua marina. Por tanto, las concentraciones de estos elementos que se presentan en las muestras del Grupo Tamatán (**Fig. 5. 10 a, b**) sugieren que la mayoría de las muestras de las formaciones Cañón de Caballeros (con la excepción de dos muestras) y Vicente Guerrero derivan de un ambiente de margen pasivo; sin embargo, algunas de las muestras de la Fm. Vicente Guerrero tiende a distribuirse hacia el campo de arco continental, al igual que las muestras de la Fm. Del Monte. Por último, la Fm. Guacamaya exhibe primordialmente una derivación de arco de isla oceánica (**Fig. 5. 9d y Fig. 5. 10 a, b**). Del mismo modo, se utilizó el promedio de la relación La_N/Yb_N en las formaciones del Grupo Tamatán revelando

valores de 5.1 de la Fm. Cañón de Caballeros, 7.5 de la Fm. Vicente Guerrero, 6.9 de la Fm. Del Monte y 3.7 de la Fm. Guacamaya, lo que parece confirmar la asociación tectónica de margen pasivo hacia un arco de islas continental y oceánico (cf., Bhatia, 1985).

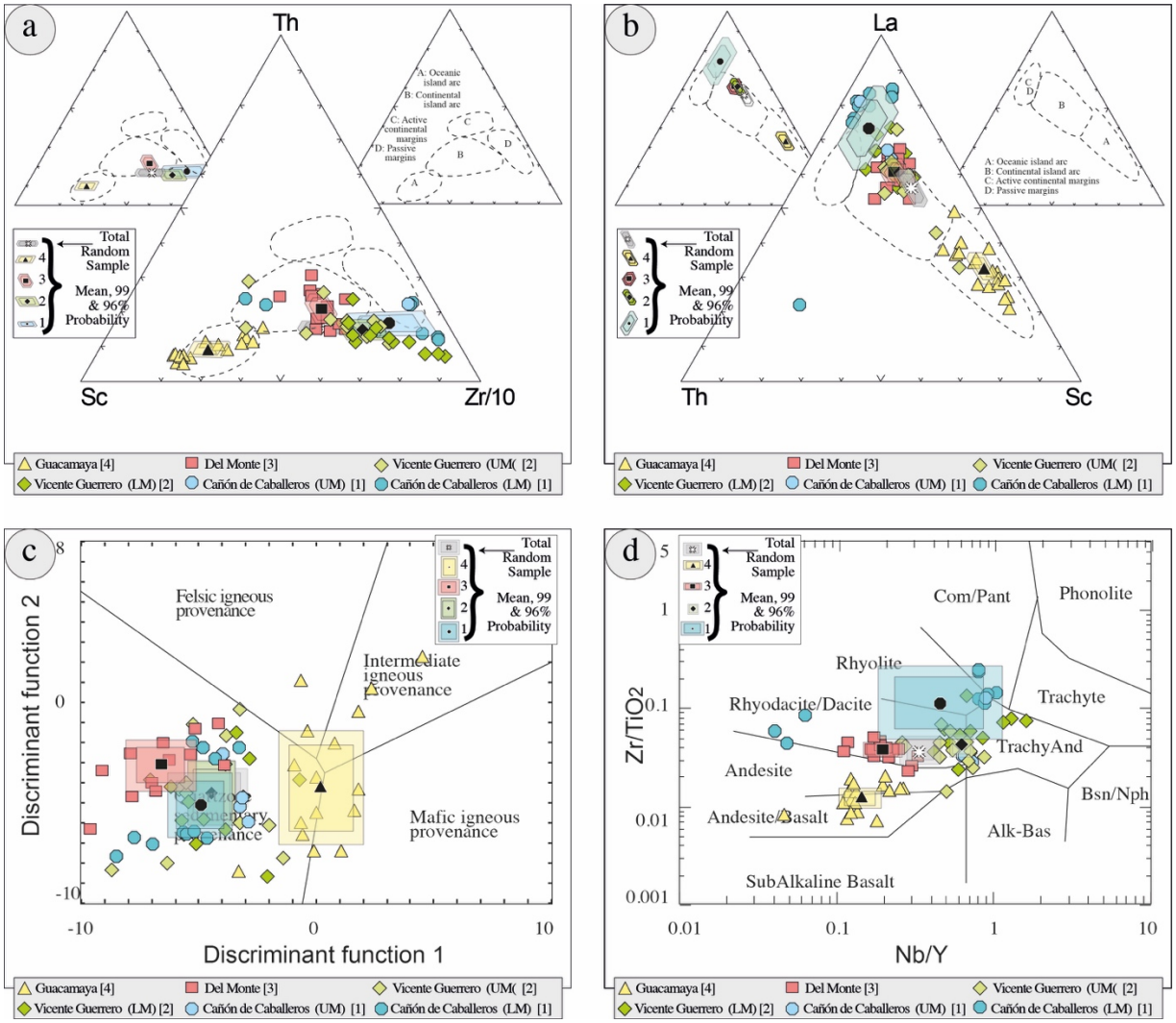


Fig. 5. 10. Asociación del ambiente tectónico y procedencia del Grupo Tamatán, **(a)** diagramas ternarios Th – Sc – Zr/10 y **(b)** La – Th – Sc (Bhatia & Crook, 1986). **(c)** diagrama de funciones discriminativas (Roser & Korsch, 1988). **(d)** diagrama bivariado Nb/Y – Zr/TiO_2 (Winchester & Floyd, 1977).

Roser & Korsch (1988) establecieron funciones discriminantes, para determinar cuatro campos de procedencia principales (máficos, intermedios, félsicos y cuarzosos reciclados). En este diagrama (**Fig. 5. 10 c**), la mayoría de las formaciones del Grupo Tamatán se concentran en el campo de procedencia sedimentaria reciclada, excepto para las muestras de la Formación Guacamaya, lo que sugiere que una mayor derivación de origen reciclado o de un cratón interior.

Adicionalmente, se emplearon gráficos que se especializan primordialmente en rocas ígneas como los es el diagrama bivariado propuesto por Winchester & Floyd (1977), en este se documentan las diferentes clasificaciones tomando en consideración la relaciones Nb/Y respecto Zr/TiO_2. De manera comparativa, las areniscas del Grupo Tamatán parecen confirmar la asociación de la composición de la roca fuente, destacando: una composición

riolítica (Fm. Cañón de Caballeros), traquidacita a riodacita/dacita (fms. Vicente Guerrero y Del Monte), así como de andesita/basalto (Fm. Guacamaya; **Fig. 5. 10 d).**

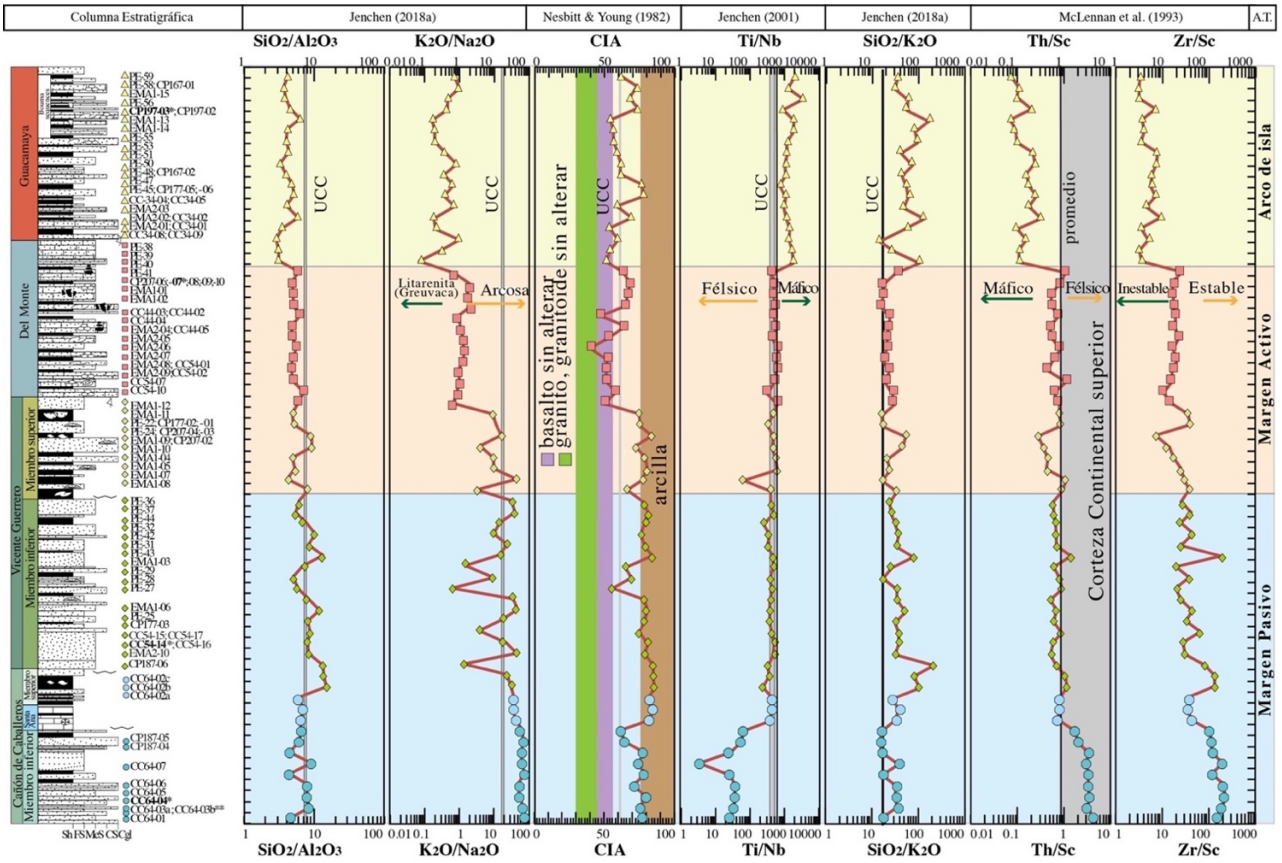


Fig. 5. 11. Columna estratigráfica local y parámetros geoquímicos que muestran las variaciones verticales en el Grupo Tamatán; **Nota:** línea UCC muestra la comparativa con el promedio de la corteza continental superior. SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/K_2O y K_2O/Na_2O (Jenchen, 2018a), CIA (Nesbitt & Young, 1982), Ti/Nb (Jenchen, 2001), Th/Sc y Zr/Sc (McLennan et al., 1993).

5.8 Interpretación geoquímica

El análisis de la información geoquímica del Grupo Tamatán indica que:

(1) Las areniscas de las formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero muestran altas concentraciones de SiO_2 (69-78% y 49-85% en peso), Al_2O_3 (8-15% y 5 a 14% en peso) y K_2O (2-4% y 0.36 a 4% en peso), confirmando la evidente presencia de cuarzo y feldespato.

(2) Entre los diferentes miembros de las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se aprecia una amplia variación en las concentraciones de SiO_2, K_2O, Al_2O_3, Na_2O, CaO y MgO. Es decir, los *Miembros Inferiores* tienen altas concentraciones en SiO_2, K_2O y valores bajos de Al_2O_3 y muy bajos en Na_2O, CaO, MgO, opuesto a los *Miembros Superiores*. Esto indica un intemperismo y contenido arcilla más elevado en los *Miembros Superiores.*

(3) Los valores bajos de Na_2O en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero (0.03 – 0.06% en peso y 0 a 3% en peso) y CaO (0.05 – 2.3% en peso) evidencian la escasez de plagioclasa sódica y carbonato (**Fig. 5. 1**).

Mientras que, el incremento de en CaO y MgO en las fms. Del Monte y Guacamaya sugieren la aparición de cementos diagenéticos de calcita y dolomita.

(4) La correlación de los LILE y los altos valores con respecto Al_2O_3 y K_2O sugieren y confirman la presencia de feldespato y arcilla para las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero. Del mismo modo, los valores altos de los LILE vs CaO reflejados en las fms. Del Monte y Guacamaya confirma que los componentes carbonatados se asocian preferencialmente en estas sucesiones.

(5) En promedio el Grupo Tamatán exhibe una concentración de HSFE similar a la corteza continental superior. Las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero exhiben las concentraciones más altas y los valores bajo se reflejan en las fms. Del Monte y Guacamaya.

(6) El análisis de correlación de los HSFE con respecto al TiO_2 muestran valores moderados a altos en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero y más bajos en las fms. Del Monte y Guacamaya. Estas características evidencian: ***(i)*** una mayor relación de minerales pesados (p.ej., circón, rutilo, etc.) en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero y una madurez preferencial en estas y ***(ii)*** los HSFE típicamente se encuentran más enriquecidos en rocas félsicas en lugar de máficas (Taylor & McLennan, 1985), lo que sugiere una composición félsica para las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero es sugerida, además que estas sucesiones muestran los niveles relativamente más altos en comparación a las fms. Del Monte y Guacamaya (**Fig. 5. 2**).

(7) El aumento de la concentración de los LREE (2.1) y decremento en HREE (1.4) con una anomalía ligera de Eu del Grupo Tamatán y las relaciones $(La/Sm^*)_N$, $(Eu/Eu^*)_N$ y $(Gd/Yb^*)_N$ también sugieren una procedencia muy similar a la de la UCC (**Fig. 5. 3a**; Bhatia, 1985; Taylor & McLennan, 1985).

(8) La fuente y el entorno geotectónico es distinto para la Fm. Cañón de Caballeros, puesto que los patrones de elementos de tierras raras (REE) presentan un incremento muy evidente de los LREE $[(La/Sm)_N]$ y con valores muy bajos en la relación $(Eu/Eu^*)_N$, con una anomalía de Europio muy marcada, y con valores bajos de HREE $[(Gd/Yb)_N]$; siendo característicos para rocas con composiciones félsicas. Un cambio notorio entre los patrones de las unidades más jóvenes es indiscutible (**Fig. 5. 3b**), ya que las fms. Vicente Guerrero, Del Monte y Guacamaya presentan patrones y una anomalía Eu relativamente similar a la UCC, PAAS, NASC evidenciando una procedencia de rocas ígneas derivadas de sistemas de arcos magmáticos como lo documentan varios autores (p.ej., Jackson et al., 1995; Ortega-Obregón et al., 2008; Alemán-Gallardo et al., 2019a).

(9) Las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se asocian con variedades de rocas como: arcosas, psammitas, pelitas y algunas muestras enriquecidas en CaO (Jenchen, 2018a; **Fig. 5. 4**). Los valores SiO_2 (28-57% en peso), K_2O (1-3% en peso), Na_2O (1-2% en peso), Al_2O_3 (3.9 - 11.1% en peso) y altas a moderadas concentraciones de CaO (9-35% en peso) de las fms. Del Monte y Guacamaya, sugiere que la mayoría de estas rocas se clasifican como rocas pelíticas a psamíticas, arenisca enriquecidas en carbonato, e incluso areniscas ricas en feldespato potásico-sódico (**Fig. 5. 4;** Jenchen, 2018a).

(10) El bajo contenido de carbonato en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero se refleja también, con los valores relativamente altos del índice químico de alteración (CIA = 75 y 76%). En tanto, los valores altos de PIA (92 y 61%) indica que la alteración en feldespato hacia componentes de arcilla (cemento illita) es más dominante. De acuerdo con Englund & Jørgensen (1973) y Schlümberger (1985) la mayor parte de las muestras del Grupo Tamatán revelan una asociación de arcillas del tipo illita-esmectita y subordinado montmorillonita (**Fig. 9. 25 y Fig. 9. 26, Anexo**).

(11) Un alto a moderado grado de intemperismo en las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, con base a los valores altos de CIA, PIA, CIW y ICW (Nesbitt & Young 1982; Long et al., 2012; **Fig. 5. 5 y Fig. 5. 6**). El intemperismo moderado a bajo sugiere condiciones climáticas áridas para el área fuente de las fms. Del Monte y Guacamaya (valores bajos de CIA = 55 y 60% y PIA = 60 y 61% respectivamente; Nesbitt & Young 1982; Fedo et al., 1995; **Fig. 5. 5**) y valores altos de IVC (1.62 – 9.4 y 0.8 – 3.65; **Fig. 5. 6;** Long et al., 2012).

(12) Se sugiere un transporte, reciclaje, sorteo hidráulico y clasificación moderado a intenso del área fuente para las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, de acuerdo al alto y moderado valor de la relación Th/Sc (2.7 y 0.8) y Zr/Sc (138 y 48; **Fig. 5. 7; Fig. 5. 8;** McLennan et al., 1993). Las bajas relaciones Th/Sc (0.7 y 0.2) y Zr/Sc (18 y 5) de las fms. Del Monte y Guacamaya, indican una disminución de moderado a bajo con respecto a la influencia de los procesos sedimentarios.

(13) La composición del Grupo Tamatán varía de fuentes félsicas para la Fm. Cañón de Caballeros, soportado por las relaciones moderadas de Ti/Nb (128) y altas SiO_2/K_2O (28), lo cual se ve reflejado el diagrama en Cr vs Th/Sc (**Fig. 5. 9a -b**). Una fuente félsica-intermedia para las fms. Vicente Guerrero y Del Monte es plausible (valores de Ti/Nb = 384 y 501; SiO_2/K_2O = 47 y 24; **Fig. 5.9a -b**). El dominio del vulcanismo máfico es sugerido para la Fm. Guacamaya, basado en el valor de la relación de moderado a alto de Ti/Nb (1373) y de bajo alto en SiO_2/K_2O (70; **Fig. 5.9a -b**; Jenchen, 2018a). Es importante mencionar que las muestras del Grupo Tamatán, exhiben un mismo patrón y cambio composicional en la mayoría de los gráficos composicionales (**Fig. 9. 24; Fig. 9. 27; Fig. 9. 28; Fig. 9. 32; Fig. 9. 33; Fig. 9. 34; Fig. 9. 35; Fig. 9. 36; Fig. 9. 37; Fig. 9. 39, Anexo**).

(14) Las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero, en los esquemas propuestos por Bhatia & Crook (1986), McLennan et al. (1993) y Jenchen (2018a) para el entorno geotectónico y procedencia, se restringen en el campo de margen pasivo, a excepción de algunas muestras de la Fm. Vicente Guerrero, que tienden a una procedencia de margen activo (**Fig. 5. 9c-d**). Las fms. Del Monte y Guacamaya se trazan en el margen activo hacia arcos de islas (**Fig. 5. 9c-d**), que se corroboran con los diagramas ternarios La-Sc-Th y Th-Co-Zr/10 (Bhatia & Crook, 1986; **Fig. 5. 9d**; **Fig. 9. 29; Fig. 9. 30; Fig. 9. 31, Anexo**).

6 Geocronología

6.1 Introducción

En el estudio de la procedencia, los circones detríticos son una porción mineralógica fundamental para determinar la fuente de los sedimentos de manera más precisa, debido a que estos minerales son sumamente estables durante la erosión, transporte y a la diagénesis de la fuente que deriva (p.ej. rocas metamórficas de alto grado o fuente ígneas). Los circones presentan una alta temperatura de formación (Lee et al., 1997; Cherniak & Watson, 2001), lo que reduce la susceptibilidad del reseteo térmico durante la depositación e inhumación (Hoskin & Schaltegger, 2003).

Para el análisis de procedencia de rocas terrígenas antiguas, comúnmente es utilizado el sistema U-Th-Pb en circones detríticos, permitiendo una datación radiométrica que cubre grandes periodos de tiempo. En este sentido, se pueden utilizar tanto para determina la procedencia, la máxima edad de depositación, la configuración tectónica, y para asociar la edad con algún evento tectono-magmático (Hemming & McLennan, 2001; Gehrels, 2012; Cawood et al., 2012; Zhang et al., 2020).

Adicionalmente, la composición química de los circones detríticos en conjunto con el análisis geocronológico U-Pb, pueden aportar información útil sobre la composición de estos granos. Durante este trabajo, sólo fue posible obtener las composiciones de ciertos elementos traza como: el Th y U. Algunos autores (Wang et al., 2011; Kirkland et al., 2015), documentan que las variaciones en la relación Th/U ayuda a distinguir la procedencia de los circones (i.e., origen ígneo y/ó metamórfico)

Estudios de geocronología de circones detríticos enfocados en el análisis de procedencia de rocas sedimentarias – metasedimentarias con edades paleozoicas, han sido documentadas en diversas regiones de México como es el caso de las cuencas paleozoicas del noreste (p.ej., López et al., 2001; Barboza-Gudiño et al., 2011; Thomas et al., 2019) y sureste de México (p.ej., Gillis et al., 2005; Talavera-Mendoza et al., 2005; Weber et al., 2006; 2007; 2008; 2009; Martens et al., 2010), así como de regiones aledañas, por ejemplo: Venezuela-Colombia (Cardona et al., 2016; van der Lelij et al., 2016; Tazzo-Rangel et al., 2018) y sur de Estados Unidos (p.ej., Soreghan & Soreghan, 2013; Xie et al., 2018; Alsalem et al., 2018; Soto-Kerans et al., 2020).

Por lo tanto, el análisis de los circones detríticos por medio del sistema U-Th-Pb, permite aportar información adicional sobre la cuenca paleozoica que conforma a las diferentes sucesiones paleozoicas del Grupo Tamatán en el NE de México. Este capítulo documenta los resultados de las poblaciones de edad y características que revelan los circones detríticos del Grupo Tamatán.

La edad de los circones detríticos reportados en este trabajo son edades aparentes $^{206}Pb/^{207}Pb$ para circones > 900 Ma y de $^{206}Pb/^{238}U$ para circones < 900 Ma (los errores reportados se presentan en 2σ). Para más detalle sobre la metodología, **ver metodología, Capítulo 1**, y para los resultados consultar la **Tabla 20 a Tabla 27 (Anexo).**

6.2 Edades de los circones detríticos U-Pb del Grupo Tamatán

6.2.1 Formación Cañón de Caballeros

Los granos de circón de la Formación Cañón de Caballeros exhiben una gran variedad de morfologías y tamaños (< 200 µm), entre las que destacan: ***(a)*** las formas cortas y redondeadas (con tamaños entre 30 – 100 µm), ***(b)*** prismáticas que oscilan entre 100 a 200 µm, y ***(c)*** en menor proporción los piramidales. Las imágenes de catodoluminiscencia (CL) muestran granos de baja y alta luminiscencia y zonas de crecimiento con zonificación oscilatoria y desigual (**Fig. 6. 1; Fig. 9. 40, Anexo**).

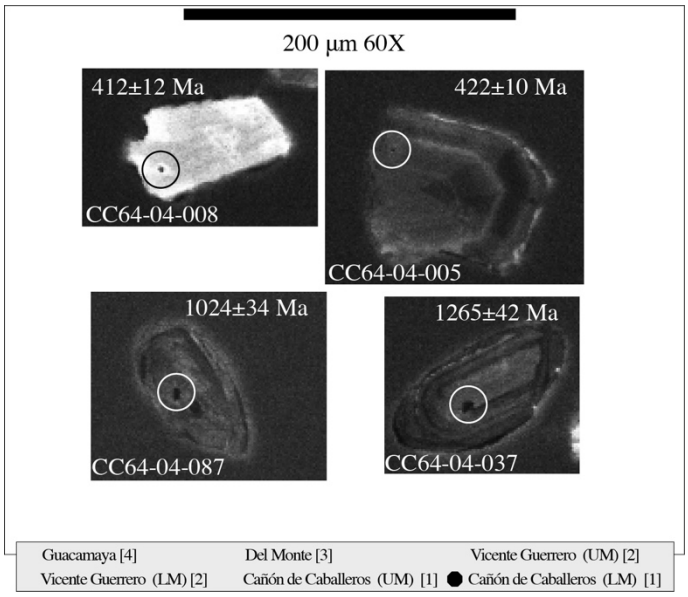


Fig. 6. 1. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CC64-04 de la Formación Cañón de Caballeros.

Se analizaron un total de 109 granos de circón detrítico de la muestra con clave CC64-04, de los datos de 105 granos arrojaron edades que son <20% discordantes y <10% inversamente discordantes.

Los rangos de edad varían entre 1712 ± 42 Ma a 397 ± 11 Ma.

Poco menos de la mitad de los granos de circón analizados (48%) exhiben poblaciones con edades que van desde el Ordovícico hasta el Devónico temprano, con una edad máxima de 426 ± 2 Ma (**Fig. 6. 2**).

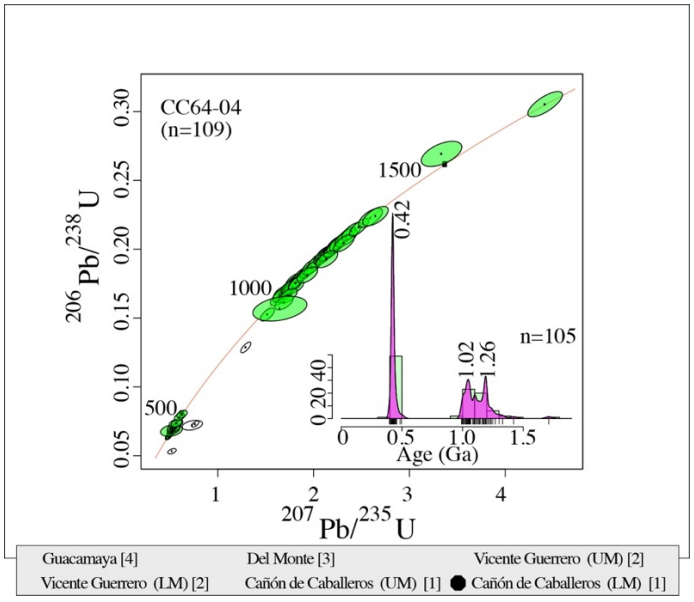


Fig. 6. 2. Diagrama de concordia e histograma de probabilidad relativa de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC64-04 de la Formación Cañón de Caballeros con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma.

La mayoría de los granos de circón de la Formación Cañón de Caballeros se trazan a lo largo de la concordia entre 1330 Ma y 990 Ma con picos de probabilidad en 1260 ± 14 Ma (23%) y 1029 ± 5 Ma (29%; p.ej., **Fig. 9. 43, Anexo**).

Dos granos de circón exhiben edades significativamente mayores de 1.42 Ga y 1.71 Ga (**Fig. 6. 2**; **Tabla 20 y Tabla 21, Anexo**).

6.2.1.1 Procedencia de los circones detríticos de la Formación Cañón de Caballeros

El análisis de la información geocronológica de la Fm. Cañón de Caballeros (**Tabla 20**, **Anexo**) indica que:

(1) La población de circones más jóvenes (n =14) de la Fm. Cañón de Caballeros tiene una edad de entre 412 a 397 Ma con un pico de edad de 426 ± 2 Ma (**Fig. 6. 2**). Esto se puede interpretar como la edad máxima de depósito, lo que sugiere una confirmación con la edad estratigráfica ya que Boucot et al. (1997) y Stewart et al. (1999) proponen para esta formación una edad estratigráfica del Wenlockiano (ca. 430 Ma) a Pridoliano (ca. 419 Ma), establecida con base a los fósiles silúricos (p.ej., gasterópodos, briozoos, corales, ostrácodos y trilobites).

(2) El rango entre 485 y 419 Ma (edades Ordovícico-Silúrico; **Fig. 6. 2 y Fig. 6. 10**) equivale al 36% del total de los circones analizados de la Fm. Cañón de Caballeros. Esta edad posiblemente deriva de rocas ígneas del Ordovícico-Silúrico que se documentan en: ***(a)*** el Norte de Oaxaquia, de una roca fuente muy local, como lo es Tonalita Peregrina (en Cd. Victoria, Tamaulipas) cuya edad documentada es de ca. 448 Ma (Alemán-Gallardo et al., 2019a), ***(b)*** el Bloque Maya, ya sea por la suite Motozintla, Chiapas (ca. 450 Ma; Estrada-Carmona et al., 2012), por la suite Rabinal, Guatemala (ca. 496 – 415 Ma; Ortega-Obregón et al., 2008), por los Altos Cuchumatanes, Guatemala (Solari et al., 2010) o por rocas del Mountain Pine Ridge, Belice (ca. 420 a 405 Ma Steiner & Walker, 1996; Martens et al., 2010; Weber et al., 2012) (**Fig. 6. 10**), (***c)*** el Norte de los Andes (una fuente relativamente más lejana), por rocas magmáticas bien definidas del Ordovícico al Devónico temprano (Chew et al., 2007; Horton et al., 2010; Mantilla et al., 2012; Cardona et al.2016; van der Lelij et al., 2016; Tazzo – Rangel et al., 2018). Estos cuerpos ígneos ordovícicos en conjunto son considerados como parte del arco magmático Famatiniano. Otra posible fuente es (***d***) el Terreno Mixteco, debido a afloran un grupo magmático bimodal del Ordovícico-Silúrico (p.ej. grupo Piaxtla; Granitoides Esperanza; Miller et al., 2007; Keppie et al., 2008, Martini et al., 2020) que, a diferencia de las otras localidades mencionadas, este se asocia a un entorno tectónico de *rifting-drifting*.

(3) La población que varía entre 1331 Ma y 991 Ma (49% del total) pueden derivar del basamento de Oaxaquia (Cameron et al., 2004; Keppie & Ortega-Gutiérrez, 2010) (**Fig. 6. 10**).

(4) Los circones datos en 1.7 Ga y 1.4 Ga pueden considerarse de una fuente distinta, ya que hay poco o ningún registro de esas edades en el oriente de Sudamérica u occidente de África (p.ej., Cordani et al., 2005). Aunque estas poblaciones de circón son de menor importancia, existe la posibilidad de que provengan del cratón de Amazonía (**Fig. 6. 10**).

6.2.2 Formación Vicente Guerrero

Los granos de circón de la Formación Vicente Guerrero (muestra CC54-14) exhiben una variedad de morfologías y tamaños (**Fig. 9. 44, Anexo**), destacando los circones redondeados a subredondeados de entre con tamaños de 100 µm, en menor concentración, las formas alargadas y elongadas que alcanza hasta las 200 µm. Estos granos, muestran una luminiscencia muy baja en las imágenes CL y en ocasiones se observa zonificación oscilatoria. Sin embargo, un número menor de granos tienen zonas de crecimiento altamente luminiscentes (**Fig. 6. 3**).

Se analizaron un total de 113 granos de circón. Dos de cada tres granos de circón del Paleozoico arrojaron edades fuertemente discordantes.

Todos los demás granos de circón arrojaron edades precámbricas que varían desde 1680 a 910 Ma (**Fig. 6. 4**).

En el diagrama de concordia (**Fig. 6. 4**). La mayoría de los granos tienden agruparse entre las edades de 1310 y 970 Ma, con picos de 1187 ± 7 Ma (47%) y 1054 ± 6 Ma (24%). Un grupo de nueve granos concordantes entre 950 y 911 Ma produce una edad de media ponderada de 934 ± 9 Ma, para más detalle ver la **Fig. 9. 47 (Anexo)**.

Por último, otro grupo incluye un total de doce granos de circón que producen edades de $^{207}Pb/^{206}Pb$ entre 1.69 y 1.44 Ga, con una edad máxima de 1563 ± 13 Ma (**Fig. 6. 4; Tabla 22 y Tabla 23, Anexo**).

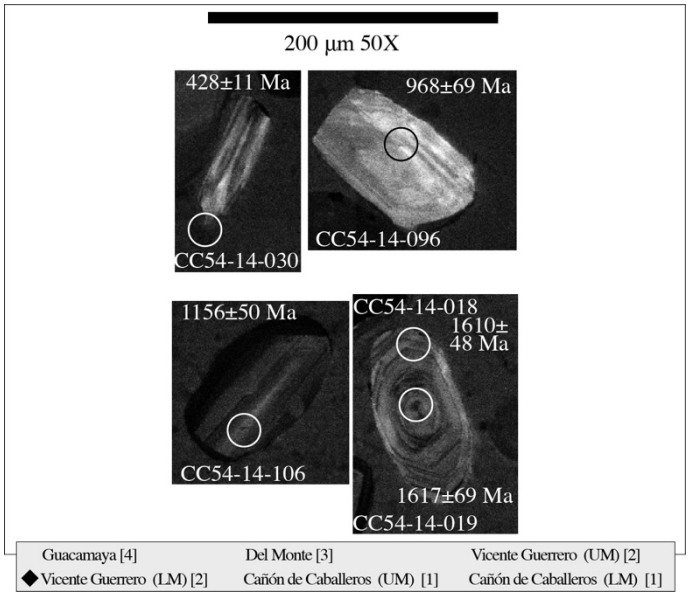


Fig. 6. 3. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero.

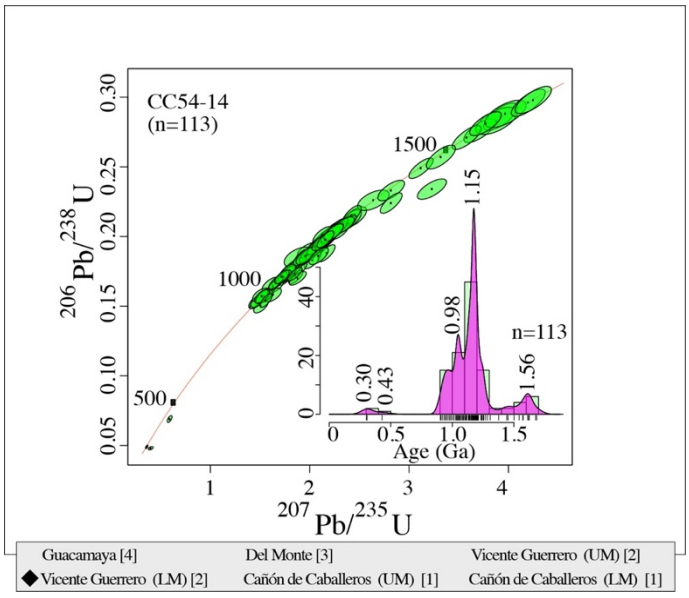


Fig. 6. 4. Diagrama de concordia e histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes**: exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma.

6.2.2.1 Procedencia de los circones detrítico de la Formación Vicente Guerrero

El análisis de la información geocronológica de la Fm. Vicente Guerrero (**Tabla 22, Anexo**) indica que:

(1) Dos de los tres granos de circón del Paleozoico arrojan edades fuertemente discordantes y el tercero una edad aparente de 305 ± 8 Ma, lo que se puede expresar como la edad máxima del depósito; sin embargo, en ausencia de más datos de esta edad (**ver Tabla 22 y Tabla 23, Anexo**), esta sugerencia no es sostenible. Por lo tanto, es posible que la variación de edad de 308 a 305 Ma de esta formación resulte simplemente de incertidumbre analítica o pérdida secundaria de plomo en ciertos granos de circón.

(2) Un grupo de nueve granos concordantes entre 950 y 911 Ma produce una edad ponderada de 934 ± 9 Ma; edad que es significativamente más joven que las edades comunes de las rocas metamórficas con facies granulíticas del basamento de Oaxaquia (p.ej., 990 – 980 Ma; Solari et al., 2003; **Fig. 6. 10**).

(3) La mayoría de los granos entre 1310 y 970 Ma, con picos en 1187 ± 7 Ma (47%) y 1054 ± 6 Ma (24%), tienen edades típicas del basamento de Oaxaquia (**Fig. 6. 10**); No obstante, si se considera una derivación de los cinturones grenvilianos de Laurencia como probable fuente, no sería plausible, debido a que en el Grenville *sensu stricto* no exhiben edades de metamorfismo a los 990 – 960 Ma ni a los 950 – 910 Ma como las que se documentan en Oaxaquia, durante la Orogenia Zapotecana.

(4) La población de doce granos de circón produce una relación $^{207}Pb/^{206}Pb$ con edades entre 1.69 y 1.44 Ga, y una edad máxima de 1563 ± 13 Ma (**Fig. 6. 10**). Tales edades no están descritas en Oaxaquia (i.e., en los complejos: Oaxaqueño, Novillo o Huiznopala), por lo tanto, implica que estos granos derivan de una fuente diferente. No obstante, edades del Paleo-proterozoico tardío a Mesoproterozoico temprano de donde puedan provenir estos circones han sido reportados en:

- ***(i)*** El Bloque Maya, proveniente de la Unidad Jocote o posiblemente de la Formación Baldy (**Fig. 6. 10;** Weber et al., 2008; Martens et al., 2010; González-Guzmán et al., 2016).
- ***(ii)*** Colombia, el complejo Putumayo cuenta con edades de 1.6 – 1.5 Ma, lo cual pueda ser plausible de acuerdo a la posición paleogeográfica para ese tiempo (Restrepo-Pace et al., 1997; Ibañez-Mejia et al., 2011; **Fig. 7. 2**).
- ***(iii)*** El occidente Amazónico, de rocas metasedimentarias e ígneas se reportan con edades de 1.6 – 1.5 Ga derivadas de las provincias de Río Negro-Jurunea (RNJ) y de Rondônoa-San Ignacio (RO; Teixeira et al.,1989; Tassinari & Geraldes, 2000; Geraldes et al., 2001) (**Fig. 6. 10**).

(5) Se sugiere que la Formación Vicente Guerrero mantenga una posición al oriente del microcontinente Oaxaquia, cerca del Bloque Maya (**Fig. 7. 2 y Fig. 7. 3**). Tal interpretación implica que el Bloque Maya (unidad Jocote) y el complejo Putumayo de Colombia pueden ser una fuente considerable para los circones detríticos con edades de 1.6 – 1.5 Ma para la cuenca de Tamatán.

6.2.3 Formación Del Monte

Los circones de la Formación Del Monte (muestra CP207-07), presentan una morfología similar pero con tamaños relativamente más pequeños que los granos de circones detríticos de la Formación Vicente Guerrero, donde la mayoría de los granos son redondeados con tamaños < 200 µm, dominando los tamaños entre 50 a 100 µm, con apariencia en tonos oscuros y baja luminosidad, acorde a las imágenes CL (**Fig. 9. 48, Anexo**). Así mismo, otros granos de circón detrítico exhiben una zonificación interna que es en su mayoría es muy compleja y no siempre oscilatoria (p.ej., **Fig. 6. 5**).

En total se analizaron 110 granos de circón (**Tabla 24 y Tabla 25, Anexo**); de estos 103 granos arrojaron edades que son < 20% discordantes y <10% inversamente discordantes.

El grano concordante más joven cuenta con una edad de 586 ± 15 Ma. El más antiguo data del Paleo-proterozoico Temprano (2394 ± 36 Ma).

En el diagrama de concordia, los datos de isotópicos de U-Pb del resto de granos de circón que se manifiestan de manera concordante, se trazan a lo largo de la línea de concordia entre los 1483 Ma y 1003 Ma.

En la curva de probabilidad relativa vs la edad concordante (**Fig. 6. 6**), el 48% de los granos analizados corresponden a un pico en 1328 ± 7 Ma, el 42% a un pico en 1166 ± 8 Ma, y solo ocho granos definen un pico débil de 1027 ± 19 Ma (**Fig. 9. 51, Anexo**).

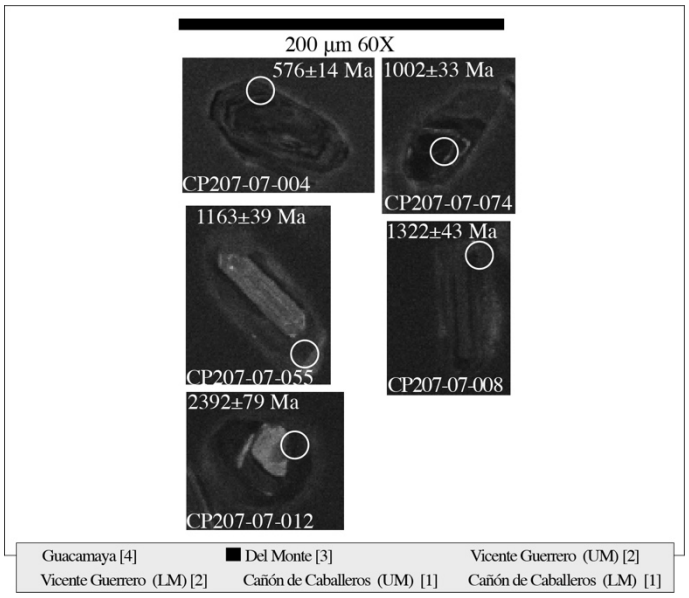


Fig. 6. 5. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CP207-07 de la Formación Del Monte.

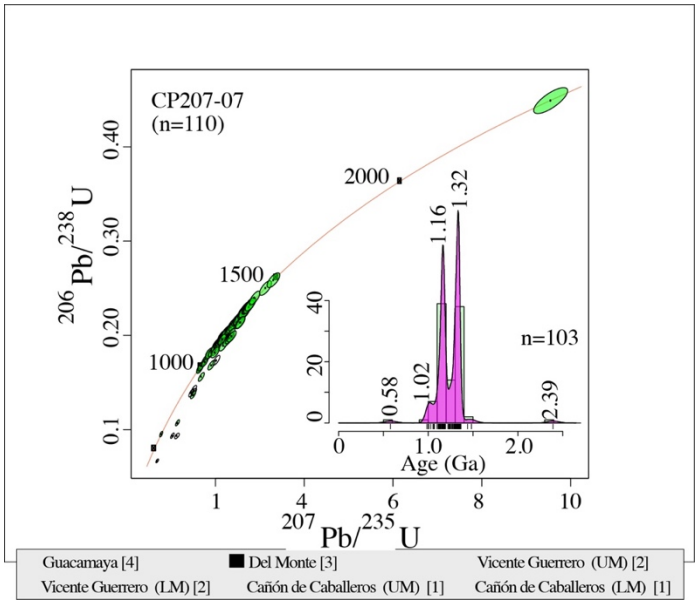


Fig. 6. 6. Diagrama de concordia e histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP207-07 de la Formación Del Monte con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma

6.2.3.1 Procedencia de los circones detríticos de la Formación Del Monte

El análisis de la información geocronológica de la Fm. Del Monte **(Tabla 24, Anexo**) indica que:

(1) Las edades de los circones detríticos de la Formación Del Monte oscilan entre 2394 y 417 Ma. Los circones datados en 586 ± 15 Ma y 575 ± 15 Ma, con un pico menor de 580 Ma, podrían derivar de rocas relacionadas con el Orógeno Pan-Africano-Brasiliano (**Fig. 6. 10**).

(2) Las edades Pan-Africano-Brasiliano de la Formación Del Monte, son menos abundantes que las reportadas en la Formación Las Delicias en Coahuila (López et al., 2001), así como en las Formaciones Santa Rosa inferior y superior o del Complejo del Macizo de Chiapas (CMC) en el Bloque Maya (Weber et al., 2006; 2008; Martens et al., 2010; **Fig. 6. 10**), por lo que una fuente Pan-Africano-Brasiliano directa hacia la cuenca Tamatán durante el Pensilvánico es cuestionable; pero una derivación de una fuente retrabajada de las formaciones mencionadas (i.e., fms Las Delicias y Santa Rosa) puede ser plausible.

(3) La falta total de circones carboníferos (**Fig. 6. 6**), sugiere que la cuenca Tamatán probablemente fue: ***(i)*** cubierta rápidamente por sedimentos con fuentes más antiguas o ***(ii)*** los sedimentos carboníferos fueron exhumados rápidamente, por lo que no se preservó la entrada de circones con esta edad.

(4) Los picos de los circones heredados de 1328 Ma y 1166 Ma (Ectasiano y Esteniano; Mesoproterozoico), pueden muy bien provenir de fuentes de tipo Oaxaquia (Keppie & Ortega-Gutiérrez, 2010; Keppie et al., 2011; **Fig. 6. 10**).

(5) El único grano de circón Paleo-proterozoico, sugiere un grano re-trabajado de una fuente cratónica (p.ej., cratón Amazónico), similar a la edad documentada de la Fm. Santa Rosa del Pensilvánico (Weber et al., 2006; 2009; **Fig. 6. 10**).

6.2.4 Formación Guacamaya

En la muestra CP197-03 de la Formación Guacamaya, los granos de circones incluyen morfologías bi-piramidales, prismáticas cortas (es decir, no redondeadas) y son relativamente grandes comparadas a los granos de las Formaciones anteriores con tamaños de que oscilan entre 100 e incluso hasta 800 µm. Sin embargo, dominan los de 200 - 300 µm; **Fig. 9. 52, Anexo**).

La mayoría de las imágenes CL muestran una zonificación oscilatoria bien desarrollada, ocasionalmente con núcleos reabsorbidos y zonas de crecimiento en etapa tardía (**Fig. 6. 7**).

Un total de 109 granos fueron analizados (**Tabla 26 y Tabla 27, Anexo**), entre los cuales dieciséis son discordantes y, por lo tanto excluidos (< 20 %). La población considerada de circones detríticos varía entre 1130 ± 41 Ma a 279 ± 9 Ma. Un total de dos análisis arrojaron las edades meso-proterozoicas; el resto de los circones cuentan con edades del Pensilvánico Tardío a Pérmico Temprano (335 – 279 Ma) formando un pico de edad muy bien definido en 303 ± 1 Ma (2σ; **Fig. 6. 8; Fig. 9. 55, Anexo**).

6.2.4.1 Procedencia de los circones detríticos de la Formación Guacamaya

El análisis de la información geocronológica de la Fm. Guacamaya **(Tabla 26, Anexo)** indica que:

(1) La mayoría de las edades de los circones del Pensilvánico tardío a Pérmico temprano, sugieren una notable continuidad, que probablemente indiquen la edad de cristalización de fuentes magmáticas (**Tabla 26 y Tabla 27, Anexo**).

(2) La población de los circones más jóvenes (n= 10) concordantes, sugieren una edad máxima de depósito del Cisuraliano (Pérmico temprano), lo cual es consistente con la edad estratigráfica propuesta para esta unidad (Stewart et al., 1999; **Tabla 26 y Tabla 27, Anexo**).

(3) Una edad pico bien definida en 303 ± 1Ma (2σ) (**Fig. 6. 10**), sugiere una derivación de una fuente ígnea contemporánea y relativamente próxima a la Cuenca Tamatán.

(4) Los circones con edades de 300 ± 12 Ma a 279 ± 9 Ma (n = 54) podrían derivar de rocas del arco carbonífero – pérmico (Ramírez-Fernández et al., 2021), y la cual es apoyado por el rango de edad que exhibe la Fm. Guacamaya (de 294 a 274 Ma).

(5) La evidencia magmática del arco carbonífero – pérmico y las edades de las cuales pueden derivar los circones de la Fm. Guacamaya ha sido documentado en diversos terrenos mexicanos, por ejemplo: ***(a)*** En el Bloque Maya estas edades se documentan en un ortogneis del Macizo de Chiapas con edades que varían de 272 ± 10 Ma al 258 ± 2 Ma (Weber et al., 2005; 2007), ***(b)*** En el Bloque Caborca (Sonora), de rocas graníticas con edades entre ca. 275 a 265 Ma (p.ej., Arvizu et al., 2009; Arvizu & Iriondo, 2011), ***(c)*** En la Llanura del Golfo de México, de rocas magmáticas cuyas edades registradas van de 294 ± 3 Ma a 274 ± 3.5 Ma (Coombs et al., 2020), ***(d)*** En el

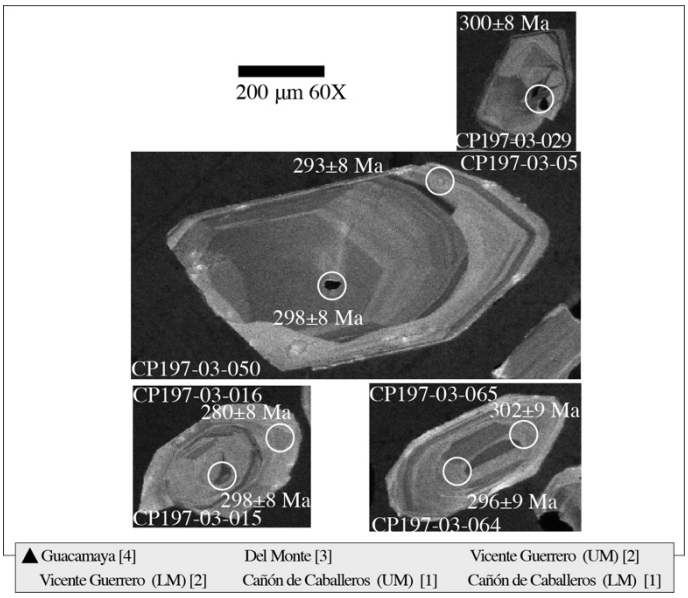


Fig. 6. 7. Imágenes de catodoluminiscencia (CL) de circones detríticos seleccionados de la muestra CP197-03 de la Formación Guacamaya.

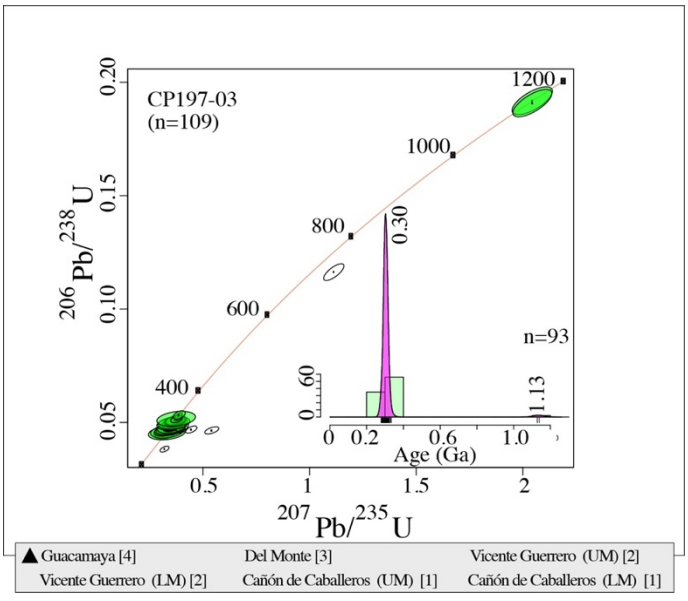


Fig. 6. 8. Diagrama de concordia e histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP197-03 de la Formación Guacamaya con respecto a la media de las edades. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma.

Terreno Mixteco, del cuerpo plutónico de Totoltepec que aflora en el Complejo Acatlán, incluye edades de ca. 306, 289 y 287 Ma (Yáñez et al., 1991; Keppie et al., 2004; Kirsch et al., 2012). En el Complejo Oaxaqueño (Sur de Oaxaquia) también se reportan rocas graníticas, riolíticas, y menormente andesitas que incluyen edades de ca. 311, 290, 287, 272, 270 y 255 Ma (Ortega-Obregón et al., 2014), y ***(e)*** En el norte de los Andes, los granitoides de la Sierra Santa Marta (Colombia) exhiben edades de 288 ± 4.5; 276 ± 5.1 y 265 ± 4 Ma (Cardona et al., 2010). Cabe señalar que las sucesiones sedimentarias de las cuencas pérmicas del sur de Laurencia/Laurusia (Norteamérica), también registran edades del magmatismo continuo del Carbonífero-Pérmico (p.ej., Soreghan & Soreghan, 2013; Xie et al., 2018; Alsalem et al., 2018).

(6) El rango entre 325 ± 9 Ma a 301 ± 9 Ma (n = 52; **Tabla 26 y Tabla 27, Anexo**) con cierta posibilidad caracterizan edades que proceden de un pulso magmático del Carbonífero Tardío, los cuales están reportados en: ***(a)*** En el Bloque Maya: el magmatismo del Alto Cuchumatanes fechado ca. 317 – 312 Ma (Solari et al., 2010); también en las rocas graníticas que derivan del cráter de Chicxulub guardan evidencias de estas edades (326 ± 5 Ma; Zhao et al., 2020), ***(b)*** En Hidalgo, el granito Maxala define una edad de 330.5 ± 2 y 327± 2 Ma (Martínez-Sánchez, 2016), ***(c)*** En Coahuila, un fragmento lítico en una roca peperítica (La Pesuña) registra la edad de 331 ± 4 Ma muy similar a la del circón con fecha de 330 ± 9 Ma de la Fm. Guacamaya. Por último ***(d)*** En Bloque Ciudad Victoria, dentro del mismo Grupo Tamatán, la Riolita Aserradero exhibe una edad de cristalización de ca. 347 a 340 Ma, la cual es considerada como la primera fase magmática que da inicio al arco del Carbonífero-Pérmico Temprano (Ramírez-Fernández et al., 2021).

(7) La edad del circón detrítico de 335 ± 9 Ma de la Fm. Guacamaya sugiere que una fuente muy local asociada con la Riolita Aserradero del Grupo Tamatán.

(8) Un grupo menor de dos *spots* con edades de ca. 1130 Ma, sugieren una derivación de Oaxaquia (**Fig. 6. 10**)

(9) La morfología y los grandes cristales de los circones detríticos de la Fm. Guacamaya (**Fig. 6. 7**), sustenta la derivación muy próxima de la fuente.

6.3 Área fuente de los circones detríticos del Grupo Tamatán

Otros de los criterios más usados para distinguir el área fuente (i.e., ígnea o metamórfica), es a partir de la concentración geoquímica de Th y U de los circones detríticos y su relación U/Th. Es decir, sí el valor de la relación U/Th es ≥ 10, entonces se trataría de un circón de origen metamórfico; mientras que, sí muestra un valor < 7.50, entonces procede de una fuente ígnea (p.ej., Hoskin & Schaltegger, 2003; Wang et al., 2011; Kirkland et al., 2015). No obstante, los circones metamórficos también pueden presentar valores bajos de U/Th, esto causado por la alta solubilidad del U. Por lo tanto, sí el circón cristaliza en presencia de un fluido metamórfico (p. ej., por reacciones de deshidratación; Bali et al., 2011), entonces este tendrá un mayor contenido en U. En cambio, esto no aplicaría para condiciones sin presencia de fluidos, como es el caso de las facies de granulita. Por lo que los valores de la relación solo representarían un indicio sobre el origen de los circones detríticos, que con base a la morfología y las edades de los circones se obtiene una mejor evaluación de estos.

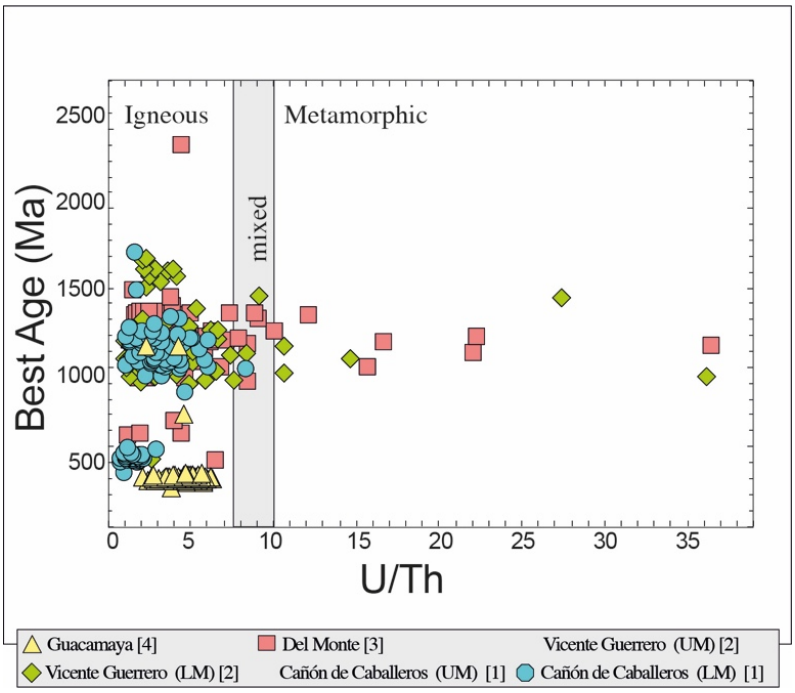


Fig. 6. 9. Diagrama bivariado de la mejor edad aparente con respecto a la relación U/Th de las formaciones que conforman el Grupo Tamatán (modificado de Weber et al., 2008). **Nota:** las mejores edades aparentes se encuentran en la **Tabla 20 a Tabla 27, Anexo.**

Los circones detríticos del Grupo Tamatán exhiben un amplio rango de U de 10.0 a 2131 ppm y de Th de 3.0 a 680 ppm. Los valores más bajos de U y Th se muestran en la Formación Guacamaya (**Tabla 20 a Tabla 27, Anexo).** El valor de la relación U/Th más bajos y con un rango más reducido se exhiben tanto en la Fm. Cañón de Caballeros (0.8 a 8.3) como en la Fm. Guacamaya (2.09 a 6.3). Mientras que, los amplios rangos y valores altos se presentan en las formaciones Vicente Guerrero (1.06 a 36.22) y Del Monte (1.27 a 36.56) (**Fig. 9. 56, Anexo)**.

El resultado más sobresaliente que emerge de los datos es que la mayoría de los circones están asociados primordialmente a una fuente ígnea como se ilustra en la **Fig. 6. 9**. No obstante, a pesar de esto es muy probable que todos los circones detríticos del Grupo Tamatán con edades entre 1200 y 900 Ma (i.e., procedentes de Oaxaquia) sean de origen metamórfico y los de edad Paleozoica de un origen ígneo y subordinadamente metamórfico (**Fig. 6. 10**).

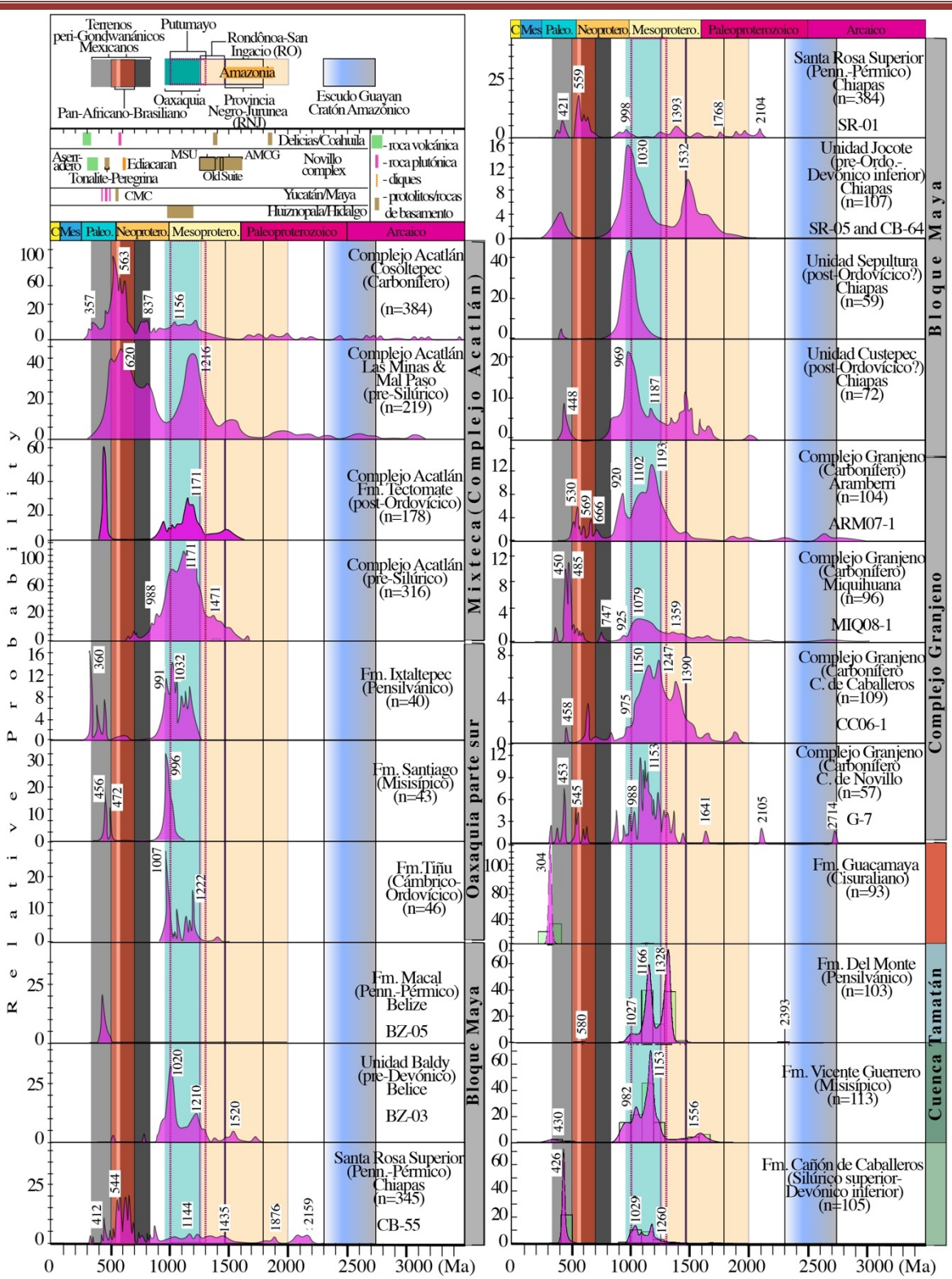


Fig. 6. 10. Comparación de datos de circón del Grupo Tamatán con rocas sedimentarias-metasedimentarias paleozoicas con posibles fuentes Gondwánicas. Además, se grafican las edades de cristalización de rocas ígneas, basamentos y protolitos. **Referencias**: Cuenca Tamatán (en este trabajo), Complejo Granjeno (Nance et al., 2007b; Barboza-Gudiño et al., 2011), Bloque Maya (Weber et al., 2006; 2007; 2008; Martens et al., 2010), Oaxaquia parte sur (Gillis et al., 2005), Bloque Mixteca (Sánchez-Zavala et al., 2004; Talavera-Mendoza et al., Vega-Granillo et al., 2007; Morales-Gámez et al., 2008).

7 Discusión

7.1 Ambiente de depósito de las rocas siliciclásticas del Grupo Tamatán

7.1.1 Formación Cañón de Caballeros

Según las observaciones de campo, la Fm. Cañón de Caballeros está compuesta esencialmente por conglomerados, areniscas, calizas y lutitas. Los afloramientos se vuelven más limosos con tonos de color marrón oscuro, lo que sugiere una mayor influencia de intemperismo, y en tono amarillento a rojizo-pardo a los de un intemperismo moderado. Los fósiles marinos (p.ej., fragmentos de trilobites *dalmanites*, coral *favositido*, braquiópodo *Delthyris*) reportados en esta unidad (cf., Boucot et al., 1997; Stewart et al., 1999) y las características sedimentarias locales, tales como: ***(1)*** litologías clásticas y carbonatadas, ***(2)*** estratos con laminación lenticular, ***(3)*** estratificación cruzada, ***(4)*** estratos con sucesiones de grueso a delgado y variación degradada hacia el techo de la formación (**Tabla 9, Anexo**), indican una depositación en ambientes marinos poco profundos. Como lo documentan Walker & Plint (1992), la ocurrencia de los estratos siliciclásticos y carbonatados, así como la sucesión de facies con degradamiento ascendentes de arena, pueden acumularse durante la progradación costera asociada a sistemas marinos poco profundos de alta energía. Por lo tanto, el predominio de depósitos conglomeráticos a areniscas y calizas fosilíferas sugiere que esta unidad fue depositada en una cuenca marginal de alta energía y proximal a la costa. Los fósiles silúricos reportados también evidencian la existencia de una cuenca marginal en las cercanías de Venezuela (Stewart et al., 1999; **Fig. 7. 1**).

7.1.2 Formación Vicente Guerrero

Al igual que la Fm. Cañón de Caballeros, la Fm. Vicente Guerrero está compuesta principalmente por conglomerados, depósitos de areniscas y lutitas, con la excepción de calizas, pero en ocasiones se observa coquinas biogénicas. Las características sedimentarias de esta unidad, tales como: ***(1)*** gradación normal, ***(2)*** bancos o barras masivas, ***(3)*** estructuras de canal, ***(4)*** estratificación cruzada, ***(5)*** capas de lentes arenosos, y ***(6)*** arreglos caóticos de fragmentos de braquiópodo espiríferidos (**Tabla 10, Anexo**), y de acuerdo con las interpretaciones de Stewart et al. (1999), sobre el registro sedimentario de esta unidad sugieren un ambiente de depósito asociado a una cuenca marina somera; no obstante, las observaciones sedimentarias, parecen también indicar que los depósitos fueron sometidos a un sistema de alta energía (p.ej., corrientes marinas) durante el Misisípico (**Fig. 7. 1**).

7.1.3 Formación Del Monte

Las características sedimentarias en la Fm. Del Monte, tal como la litología de ***(a)*** conglomerados - brechas polimícticas, cuyos fragmentos líticos indican una fuente de principalmente de rocas metamórficas graníticas y meta-pelíticas derivadas de los complejos del BVC (p.ej. Granjeno y Novillo; **Fig. 7. 1**), ***(b)*** los depósitos de flujo de detritos, ***(c)*** las intercalaciones de areniscas calcáreas - lutitas, y ***(d)*** la laminación gradual, indican que esta unidad se depositó en primera instancia como una turbidita proximal cerca o dentro de una pendiente o en un cañón submarino pronunciado que migra hacia una turbidita de cuenca distal. En total acuerdo con lo que reporta Stewart

et al. (1999). Sin embargo, otros de los aspectos sedimentarios sobresalientes son: el abundante contenido de microorganismos y bioclástos, de la presencia de icnofósiles y del molde de amonita documentados, sugieren un ambiente de depósito de plataforma carbonatada de aguas someras. Según Pemberton & MacEachern (1992), la presencia persistente de icnofósiles y los moldes de amonita implica períodos de deposición en una plataforma exterior tranquila. Por lo tanto, es evidente que los depósitos de la Fm. Del Monte sugieran un ambiente proximal-batial de plataforma con pendiente hacia la cuenca durante el Pensilvánico (**Fig. 7. 1**).

7.1.4 Formación Guacamaya

De acuerdo a sus características sedimentológicas observadas de la Fm. Guacamaya, tal es son: la ocurrencia de secuencias *Bouma*, las capas clásticas rítmicas con ondulaciones, laminaciones cruzadas y las huellas de bioturbación, se puede asociar con un ambiente de depósito de turbidita distal típico. En cuanto a los horizontes gruesos de conglomerado observados en el Cañón de Caballeros y en ocasiones en el Cañón de la Peregrina, indican un ambiente proximal. Los fragmentos epiclásticos de estas rocas conglomeráticas implican que la fuente está compuesta principalmente de rocas cristalinas de composición granítica y en menor proporción rocas metamórficas de bajo grado, con menores concentraciones de carbonato lo cual también se encuentran evidenciadas en otros horizontes de esta unidad (**Fig. 7. 1**).

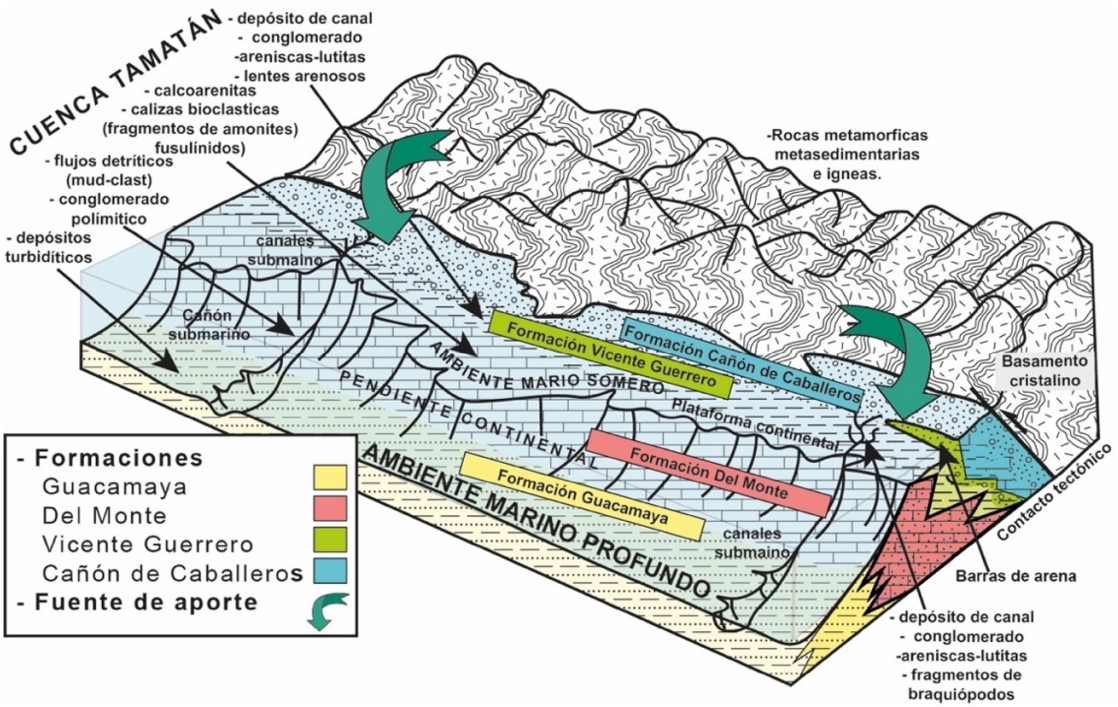


Fig. 7. 1. Modelo esquemático simplificado sin escala de los posibles ambientes de depósito de la Cuenca Tamatán. Cabe señalar que las unidades de la cuenca fueron depositadas en distintos tiempos y cuencas (**ver Capítulo 3**).

7.2 Procedencia e implicaciones tectónicas

Considerando los modelos publicados y los nuevos datos del análisis de la procedencia (petrografía, geoquímica y geocronología) de este trabajo, se propone el desarrollo paleogeográfico más coherente

7.2.1 Silúrico – Devónico Temprano

De acuerdo a los datos petrológicos los sedimentos silúricos-devónicos de la Fm. Cañón de Caballeros derivan primordialmente de una fuente de composición félsica que se asocia a un entorno geotectónico de margen pasivo (**Fig. 5. 11**). Este escenario solo ha sido documentado en los terrenos del sur de México (i.e., Terreno Mixteco) para un período del Ordovícico al Silúrico Temprano (p.ej., Nance et al., 2006; Keppie et al., 2007; 2008), en donde se infiere un escenario de *rifting* - *drifting* tectónico instaurado a lo largo del margen NW de Gondwana (**Fig. 7. 2**), donde en primera instancia ocurre la apertura del océano Réico por la separación de Avalonia-Carolina (terrenos peri-Gondwánicos) de la margen NW de Gondwana y, en consecuencia, al cierre del océano Iapetus por la colisión de estos mismos terrenos insulares (Avalonia-Carolina) con Laurencia/Laurusia (Torsvik & Rehnström, 2003; Nance et al., 2007a; 2012; Torsvik & Cocks, 2011; **Fig. 7. 2**).

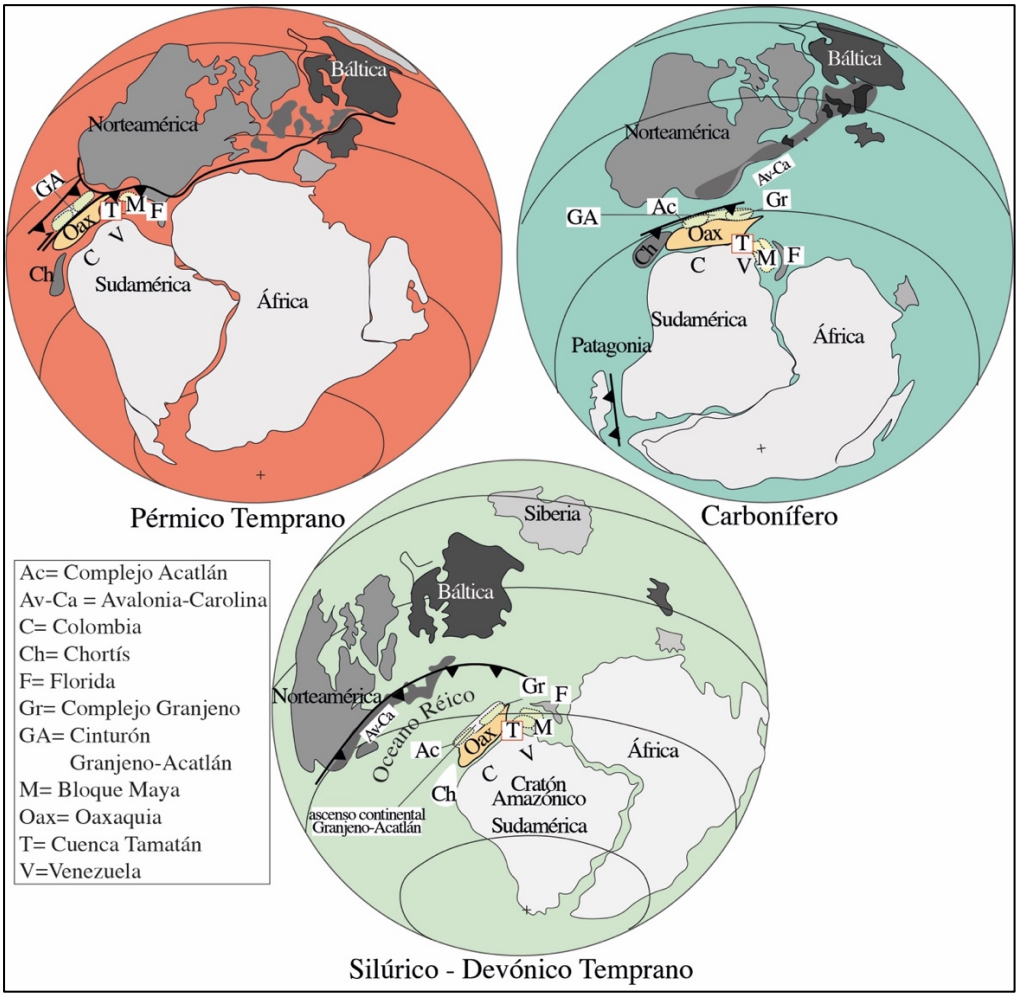


Fig. 7. 2. Paleo-reconstrucción tectónica durante el Silúrico al Pérmico, la cuenca de Tamatán se ubica en el recuadrado en rojo (modificado de Nance et al., 2007a; 2012).

En México este escenario se ve reflejado en el Terreno Mixteco (Complejo Acatlán) por un magmatismo de composición bimodal (Keppie et al., 2008), el cual es emplazado y registrado en las rocas sedimentarias clásticas de margen pasivo, a una edad de ca. 485 – 440 Ma (p.ej., Grupo Piaxtla y granitoide la Esperanza; Sánchez-Zavala et al., 2004; Talavera-Mendoza et al., 2005; Miller et al., 2007; Vega-Granillo et al., 2007; Morales-Gámez et al.,

2008; **Fig. 2. 3**). Por otra parte, la única evidencia de un margen pasivo en el Norte de Oaxaquia, es indicada por los datos de discriminación geoquímica que revelan las sucesiones clásticas maduras de la Fm. Cañón de Caballeros del Grupo Tamatán (**Fig. 5. 10; Fig. 5. 11**). Otra evidencia del sistema pasivo, se documenta en los granitoides de composición félsica del Silúrico Tardío - Devónico Temprano del Bloque Maya (p.ej., Weber et al., 2012).

En este sentido, se infiere que durante la etapa final de este margen pasivo fue depositada la Fm. Cañón de Caballeros dentro de una cuenca marina somera y lo cual es sugerible de acuerdo con la modelación geoquímica y arreglo paleogeográfico para el Silúrico - Devónico Temprano propuesto por Miall & Blakey (2008) (**Fig. 7. 6**). Así mismo, Weber et al. (2012) hacen una distinción respecto a que el margen pasivo para el Paleozoico Tardío, lo cual sugiere que estuvo asociado con un levantamiento y erosión del basamento cristalino del Mesoproterozoico (i.e., Oaxaquia, Andes Colombianos y otros bloques con edades Mesoproterozoicas) adjunto al noroccidente Amazónico en un régimen de altos y cuenca (**Fig. 7. 6**). Lo cual, es consistente con la abundancia de granos de circón detrítico con una edad del Mesoproterozoico de la Fm. Cañón de Caballeros, así como las edades Mesoproterozoicas contenidas en las unidades del Bloque Maya. Por lo tanto, una derivación de fuentes relativamente locales como resultado de la erosión del basamento de Oaxaquia, es evidente (**Fig. 7. 3)**.

Por otro lado, Estrada-Carmona et al. (2012) y González-Guzmán et al. (2016) proponen un modelo alternativo exclusivamente para un período pre-Silúrico, donde reportan que las rocas ígneas se relacionan a un margen de subducción a lo largo del margen continental NW de Gondwana. En este modelo, destacan un metamorfismo y anatexis de grado medio a alto con condiciones máximas de 650 ºC y 6 Kbar y con desarrollo de magmas e intrusiones registradas primordialmente en las unidades del Complejo el Triunfo a los 450 Ma (unidades Custepec y Jocote; Weber et al., 2018), y que son contemporáneas a las intrusiones del conjunto plutónico granítico-gabróico del Grupo Motozintla, ambos del Bloque Maya (ca. 452 y 446 Ma, Estrada-Carmona et al. 2012; González-Guzmán et al., 2016), este importante evento tectonotermal regional es denominado como Arco Famatiniano, el cual se que se extiende desde la parte norte de Oaxaquia en Tamaulipas (ca. 448 Ma, Tonalita Peregrina; Alemán-Gallardo et al., 2019a), a través del Bloque Maya y hasta la parte occidental y norte de Sudamérica (p.ej., Chew et al., 2007; Horton et al., 2010; Mantilla et al., 2012; Cardona et al., 2016; van der Lelij et al., 2016; Tazzo - Rangel et al., 2018).

Aunque la discriminación tectonomagmática (**Fig. 5.9c**) contrasta con este último modelo alternativo, estas intrusiones magmáticas pudieron ser exhumadas durante Silúrico Tardío a Devónico Temprano, esto por la abundante presencia de circones de edad Ordovícico Medio-Superior en rocas metasedimentarias del Complejo Granjeno, que incluyen una edad pico de ca. 450 Ma (Nance et al., 2007 b; Barboza-Gudiño et al., 2011; **Fig. 6. 10).** En la Fm. Cañón de Caballeros la presencia de circones del Ordovícico también están presentes, pero de manera más restringida (**Fig. 6. 10; Tabla 20, Anexo**), que además del dominio de la estructura mineralógica principal (NCE) de cuarzo, feldespato potásico y de fragmentos líticos ígneos de esta unidad **(Tabla 9, Anexo)** y la composición geoquímica félsica (**Fig. 5.9b**) es sostenible la procedencia de estos cuerpos magmáticos.

En la unidad Bladen (ca. 406 Ma; Devónico temprano) del Bloque Maya, se registran la evidencia de las rocas ígneas de composiciones félsicas que intercalan a esta unidad (Martens et al., 2005; 2010; **Fig. 7. 3; Fig. 7. 6),** la cual es un referente homólogo a la Fm. Cañón de Caballeros. Así mismo, ambas sucesiones contienen abundantes circones detríticos de una edad típica de Oaxaquia (**Fig. 6. 10)** lo cual sugiere que ambas cuencas marginales se desarrollaron en la corteza continental paleozoica de Oaxaquia durante la etapa final de un margen pasivo durante el Silúrico Tardío – Devónico Temprano a lo largo del margen cratónico Amazonia. Tal escenario geológico, pone en disposición rocas ígneas del Ordovícico - Silúrico del Norte de Oaxaquia (Bloque Ciudad Victoria, Tamaulipas) como la proximidad de la cuenca de Tamatán con el Bloque Maya y la correlación directa con las sucesiones marinas del Bloque Maya (**Fig. 7. 3; Fig. 7. 6).**

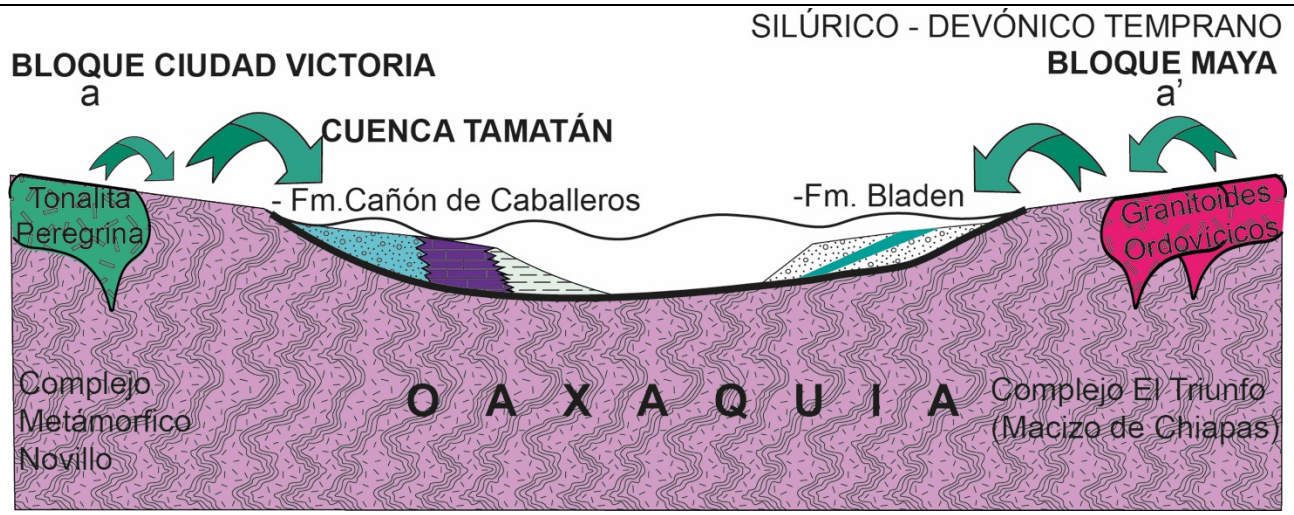


Fig. 7. 3. Sección esquemática simplificada que representa el depósito de la Formación Cañón de Caballeros en el Norte de Oaxaquia (Bloque Ciudad Victoria) y de la Formación Bladen del Bloque Maya (Martens et al., 2010), para el periodo Silúrico – Devónico Temprano. Las flechas en verde representan el aporte de las rocas fuente. Ver **Fig. 7. 6** para la localización de la sección.

7.2.2 Carbonífero (Misisípico – Pensilvánico)

Durante el Carbonífero, los terrenos peri-Gondwánicos Mexicanos y la margen NW de Gondwana estuvieron limitados por los océanos paleo-pacífico y Réico, donde se desarrolla una nueva configuración tectónica de tipo convergente (**Fig. 7. 6**). Pero, ¿Cuándo ocurre exactamente?, es cuestionable, puesto que la integridad de los datos se ve abrumados por la falta de depósito entre la Fm. Cañón de Caballeros (Silúrico - Devónico Temprano) y la Fm. Vicente Guerrero (Misisípica), el hiatús sedimentario abarca aproximadamente 50 Ma, antes de que iniciara el nuevo ciclo de sedimentación que da por origen a las formaciones del Carbonífero. La ausencia de sedimentos devónicos en el Grupo Tamatán, se ve reflejado por la escasez de circones detríticos con edades del Devónico Medio a Carbonífero. Sin embargo, los sedimentos devónicos si se documentan en la parte noroccidental de México (i.e., los Bloques de Caborca y Chihuahua; **Fig. 2. 2; Ver Capítulo 2**) y es considerada como parte de una cuenca somera paleozoica que se extendió al SW de la plataforma de Laurusia.

En tanto, la región nororiental de México (Norte de Oaxaquia) y en localidades de norte Andino (i.e., Colombia y Venezuela) solo ha sido demostrada la presencia de estos depósitos para el Devónico Temprano; En particular,

en el norte Andino los sedimentos del Devónico Medio-Superior son metamorfizados en condiciones de bajo grado (p.ej., Fm. Mucuchachí; **Fig. 2. 3;** Tazzo-Rangel et al., 2018). En ambas localidades las sucesiones sedimentarias sin metamorfismo se presentan a partir del Misisípico (**Fig. 2. 3).**

Considerando que la presencia de estos sedimentos en la que se conoce como parte de Laurusia en México (**Fig. 1. 2** y **Fig. 2. 1**), ocurre por una sedimentación transgresiva (p.ej., fms. Martín, Canutillo y Percha; Poole et al., 2005) producto de fluctuaciones marinas en el océano paleo-pacífico para ese tiempo (p.ej., Torsvik & Cocks, 2004), y por tanto una abundancia de fósiles diagnósticos indicativos (p.ej., corales rugosos del género *Pachyphyllum sp.*) de sedimentación de plataforma con edad del Devónico ocurren. No obstante, probablemente la diferencia entre la región noroccidental y nororiental de México; es que los sedimentos devónicos y carboníferos de los bloques Caborca y Chihuahua no se presentan huellas de metamorfismo. En la parte oriental de México los sedimentos devónicos pudieron estar afectados por un periodo de exhumación de la corteza continental, y por tanto erosión de paquetes devónicos y de fósiles. La única evidencia que se presenta es un circón con una edad del Devónico Tardío (ca., 366 Ma) documentado por Barboza-Gudiño et al. (2011), donde infieren una edad de depósito para los protolitos de los esquistos del Complejo Granjeno, que eventualmente desarrolla un prisma acrecional y metamorfismo en condiciones de bajo grado (Cowan & Silling,1978; Dowe et al., 2005). El registro del metamorfismo también es desarrollado en el Complejo Acatlán; ambos complejos forman el cinturón Granjeno-Acatlán (Nance et al., 2007a, b; **Fig. 7. 2**); sin embargo, debido a la escasa información que se tiene sobre los sedimentos de una cuenca devónica, las interpretaciones no pasan de ser mera especulación.

Durante el Carbonífero del Grupo Tamatán, se presenta un nuevo periodo de variación marina a lo largo del margen NW de Gondwana, donde se encuentran las mejores secciones fosilíferas para la parte oriente de México (Boucot et al., 1997; Sour-Tovar & Martínez-Chacón, 2004; Sour-Tovar et al., 2005; Torres-Martínez & Sour-Tovar, 2016; Sour-Tovar et al., 2016). La Fm. Vicente Guerrero (Misisípico) representa sedimentos de una cuenca marina somera sometida a un oleaje marino provocando la depositación caótica de fragmentos de braquiópodos. En tanto, los sedimentos de la Fm. Del Monte (Pensilvánico), representan el desarrollo de una plataforma carbonatada con talud/pendiente proximal hacia la parte de la cuenca más profunda. Las firmas geoquímicas por parte de los sedimentos de las fms. Vicente Guerrero y Del Monte indican la instauración de un margen activo (p.ej., **Fig. 5. 9; Fig. 5. 10; Fig. 5. 11**), lo cual es plausible debido a que durante el Carbonífero y Pérmico ocurre el cierre diacrónico del Océano Réico, producto de la colisión entre Laurusia y Gondwana (p.ej., Nance et al., 2012; **Fig. 7. 2**). Las sucesiones clásticas y calcáreas del Carbonífero de la cuenca de Tamatán se depositaron en una región de tras-arco (i.e., backarc; **Fig. 7. 4**). Por lo tanto, las formaciones Vicente Guerrero y Del Monte también sugieren un cambio de la composición de la roca fuente, donde los sedimentos inicialmente se encuentran dominando por una procedencia félsica y posteriormente cambia a una composición intermedia (**Fig. 5. 9; Fig. 5. 11)**. El registro de rocas ígneas con composiciones son félsicas-intermedia se han documentado en el Bloque Ciudad Victoria (p.ej., Riolita Aserradero; Stewart et al., 1999; Ramírez-Fernández et al., 2021), el Bloque Maya (p.ej., Altos Cuchumatanes; Solari et al., 2009), en el terreno Mixteco y sur de Oaxaquia (p.ej., Riolita Sosola, Granito Etla, Stock La Carbonera, Batolitos Zanisa y Honduras; Ortega-Obregón et al., 2014), estas rocas ígneas

representan el registro de un arco magmático del Carbonífero en los terrenos peri-Gondwánicos, mismo que contribuye a la derivación de sedimentos de origen ígneos hacia la Cuenca Tamatán. Esto se apoya con los componentes volcánicos (p.ej., cuarzos volcánicos, feldespatos maclados y fragmentos volcánicos; **Tabla 10 y Tabla 11, Anexo**), con los patrones de elementos de tierras raras (**Fig. 9. 33, Anexo**) y con los valores moderados de la relación Th/Sc y Ti/Nb. Los componentes metamórficos de las Fms. Vicente Guerrero y Del Monte sugieren una derivación de complejos metamórficos, en este sentido los complejos Novillo y Granjeno sugieren ser la fuente plausible y congruente para los fragmentos líticos metamórficos registrados, y la presencia de circones detríticos con edades Neo-Mesoproterozoico y menor medida Carboníferos.

La fauna fósil que presentan la Fm. Vicente Guerrero, han sido documentados en las rocas del Osageano de la Fm. Santiago en Oaxaca, lo cual cuenta con edades similares al registro fósil de Norteamérica (Laurusia). La Fm. Santa Rosa y la Unidad Macal reportadas en el Bloque Maya (en Chiapas y Belice; Martens et al., 2010; Weber et al., 2006; 2012) también muestra similitudes litológicas (i.e., sucesiones calcoareníticas y menormente carbonatos) y fauna fósil a las Fms. Vicente Guerrero y Del Monte de la Cuenca Tamatán, sugiriendo que fueron depositadas en un ambiente con características y condiciones marinas similares durante el Carbonífero.

La edad estratigráfica de las formaciones carboníferas del Grupo Tamatán, indica que la región del Bloque Ciudad Victoria (Tamaulipas), cuenta con una afinidad biogeográfica similar a la Norteaméricana durante el Misisípico. Esto contrasta con la fauna silúrica de la Fm. Cañón de Caballeros lo cual es correlacionable con la del reino antiguo (*Old World Realm*), reportadas en países relacionados con Gondwana (p.ej., Sudamérica, Nueva Escocia; Boucot et al., 1997; Stewart et al., 1999). Este último es indicativo de una proximidad con intercambio faunístico de los terrenos peri-Gondwánicos mexicanos hacia Laurusia.

Durante el Carbonífero Tardío, la cuenca de tras-arco Tamatán junto con otras cuencas (p.ej., fms. Santa Rosa y Macal) y bloques (p.ej., Bloque Maya, Oaxaquia; McKee et al., 1999; Weber et al., 2006), se localizaban en la margen NW de Gondwana. Estas recibieron sedimentos ígneos y metamórficos de las zonas con mayor exhumación, teniendo un intercambio de fauna marina con otras cuencas paleozoicas (p.ej., cuenca Las Delicias) por el acercamiento continuo de los terrenos peri-Gondwánicos mexicanos con Laurusia producto del choque diacrónico de Laurusia-Gondwana durante la orogenia Ouachita-Maratón (ca. 320 a 280 Ma; Hatcher, 2002; **Fig. 7. 4; Fig. 7. 6**). En la región del antearco (Forearc) en el Carbonífero, las sucesiones peliticas-psamiticas con metamorfismo de facies de esquistos verdes en forma de cuña ocurrieron (Dowe et al., 2005). Las sucesiones metasedimentarias resultantes son atribuidas al Complejo Granjeno que incluyen protolitos de lutitas, areniscas, tobas, lavas y conglomerados; además de rocas máficas serpentinizadas (Serpentinita Victoria; Torres-Sánchez et al., 2017) y esquistos de talco, que fueron emplazados tectónicamente y los cuales representan restos de una corteza oceánica antigua.

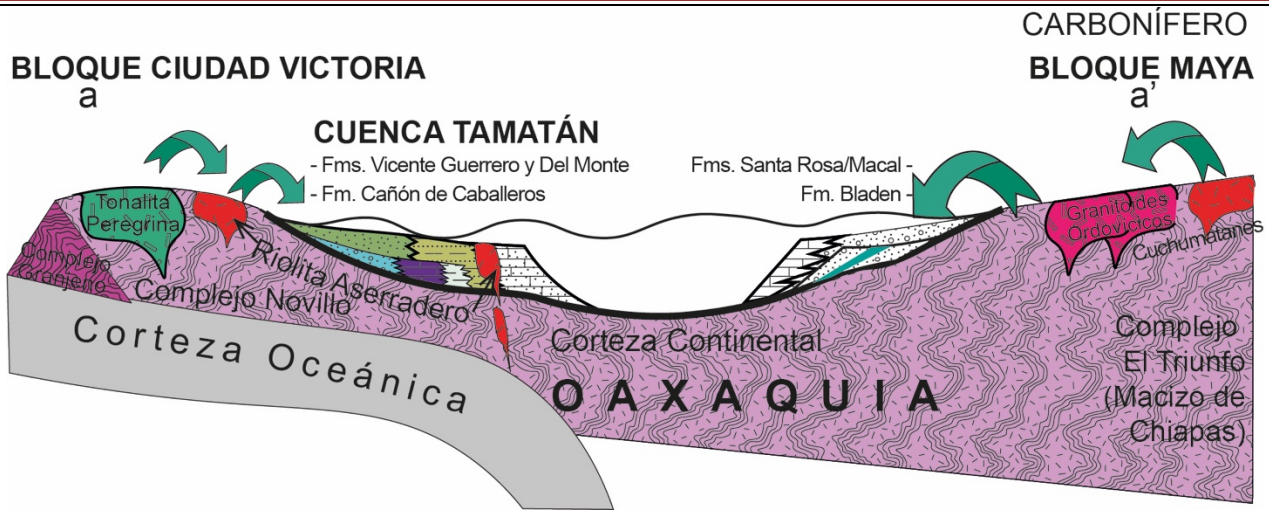


Fig. 7. 4. Sección esquemática simplificada que representa los depósitos del Grupo Tamatán para el Carbonífero; cuando se depositan los sedimentos siliciclásticos marinos someros de la Formación Vicente Guerrero (Misisípico) y los depósitos de plataforma/talud proximal de la Formación Del Monte (Pensilvánico) en el Norte de Oaxaquia (Bloque Ciudad Victoria), También, la Formación Santa Rosa y Unidad Macal del Bloque Maya (en Chiapas y Belice; Weber et al., 2009; Martens et al., 2010). Cabe señalar, el inicio de la subducción que desarrolla un arco magmático y que da origen Riolita Aserradero (Stewart et al., 1999; Coombs et al., 2020; Ramírez-Fernández et al., 2021) y el metamorfismo del Complejo Granjeno (Barboza et al., 2011). Las flechas verdes representan el aporte del área fuente. Ver **Fig. 7. 6** para la localización de la sección.

Considerando que los cuerpos magmáticos ordovícicos como la Tonalita Peregrina ya estaban expuestos desde el Silúrico en la corteza continental del Norte de Oaxaquia (en particular del Bloque Ciudad Victoria), en una zona al interior del continente, alejados de la cuña de acreción y de la influencia del metamorfismo de los esquistos verdes y también de la cuenca tras-arco Tamatán es sugerible, por lo que el aporte del magmatismo ordovícico hacía la cuenca fue de una manera restringida (**Fig. 7. 4**). Mientras que, los cuerpos magmáticos carboníferos derivados del arco volcánico continental Carbonífero-Pérmico tuvo lugar primordialmente con el desarrollo de la Riolita Aserradero a los ~ 346 - 340 Ma (Ramírez-Fernández et al., 2021) que al igual que la Tonalita Peregrina, la Riolita Aserradero se ubicaba probablemente en un área continental más al interior; además de ser plausible que el desarrollo de este magmatismo sea también de manera subaérea dentro de la Cuenca Tamatán, debido a que en las observaciones de campo de los cuerpos riolíticos, estos se encuentran intercalados con las sucesiones clásticas del Carbonífero (i.e., fms. Vicente Guerrero y Del Monte; **Fig. 3. 5; Fig. 7. 4**).

Durante el límite Carbonífero Tardío – Pérmico Temprano (ca. 300 Ma) ocurre la obducción del complejo Granjeno y subsecuente yuxtaposición tectónica con el Complejo Novillo (Dowe et al., 2005; **Fig. 7. 5; Fig. 7. 6**), a lo largo de la Falla Don Eliborio Manzano (Ramírez-Fernández et al., 2021). De igual manera, el complejo Acatlán del sur de México también registra su yuxtaposición por medio del sistema de falla de Caltepec hacia el complejo de Oaxaca para este tiempo (Elías-Herrera & Ortega-Gutiérrez, 2002). Existe una fuerte posibilidad de que un mismo sistema de fallas esté vinculado y que limite las rocas metasedimentarias de la parte NE y SE de México con el basamento cristalino de Oaxaquia.

7.2.3 Pérmico

Durante el Pérmico Temprano se desarrollan los sedimentos turbidíticos de aguas proximales a profundas de la Fm. Guacamaya. Las firmas petrográficas y geoquímicas de las rocas de esta unidad indican una fuente composicional de tipo magmática primordialmente, lo cual es plausible que deriven del arco Carbonífero-Pérmico anteriormente mencionado. Coombs et al. (2020) señalaron que el magmatismo del Pérmico se desarrolló en tres fases, cada una se formó en una etapa diferente con variabilidad del ángulo de subducción de la placa oceánica operante; y las cuales son: ***(1)*** la fase del Pérmico Temprano (294 – 274 Ma), con la formación de granitoides asociados al arco continental de la margen de NW de Gondwana durante el cierre del océano Réico, poco antes de la amalgamación final de Pangea. El registro magmático esta muy bien documentado en los complejos Acatlán-Oaxaquia, Bloque Maya, e incluso en sedimentos detríticos de las cuencas pérmicas del sur de Laurusia (p.ej., Soreghan & Soreghan, 2013; Xie et al., 2018; Alsalem et al., 2018), ***(2)*** fase del Pérmico Tardío - Triásico Temprano (263 – 243 Ma) con desarrollo de rocas graníticas con una afinidad de supra-subducción formada por anatexis cortical, estos granitos también se registran en el Sur de Oaxaquia y Macizo de Chiapas y ***(3)*** fase del Jurásico Temprano-Medio (189 – 164Ma) se incluyen rocas máficas relacionadas con el magmatismo de supra-subducción sincrónico con el Arco Nazas (i.e., magmatismo post-orogénico).

La edad más joven (ca. 280 Ma) de los circones de la Fm. Guacamaya indica una edad magmática característica de la primera fase magmática de Coombs et al. (2020), donde el arco magmático es desarrollado a partir de fundidos magmáticos derivados del manto-corteza continental. No obstante, de acuerdo a las edades de los circones de la Fm. Guacamaya, no se tiene ninguna evidencia de la segunda y tercera fase magmática (i.e., del Pérmico Tardío-Triásico y Jurásico Temprano-Medio; Coombs et al., 2020; **Tabla 26, Anexo**).

Las firmas geoquímicas de los sedimentos de la Fm. Guacamaya es diferente a la del sistema de arco típico, donde la relación muy elevada de Ti/ Nb y muy baja Th/Sc sugieren una fuente composicional de rocas máficas que se relacionan a un sistema de arcos de islas oceánicas y continentales (**Fig. 5. 9; Fig. 5. 11**). Lo cual es enigmático debido a que los modelos tectónicos de la literatura para el Pérmico sugieren un arco continental tipo cordillerano (p.ej., Arvizu et al., 2009); sin embargo, de acuerdo a los datos obtenidos en este trabajo se sugiere un escenario geotectónico de arco insular o de un posible relicto de un arco insular. Trabajos donde documentan un arco de isla continental es, por ejemplo, en la Fm. Tuzancoa, una unidad homóloga a la Fm. Guacamaya; que a pesar de tener edades similares se diferencia por la abundancia de cuerpos ígneos intercalados en las sucesiones clásticas (Rosales-Lagarde et al., 2005; **Fig. 7. 5; Fig. 7. 6**).

En el Pérmico Tardío, la cuenca antearco que da lugar al Complejo Granjeno tuvo un cierre que provocó su ascenso tectónico y una obducción contra el basamento continental del Norte de Oaxaquia (**Fig. 7. 5**). Mientras que, en la etapa final de la cuenca trasarco de Tamatán fue cerrada y fuertemente deformada por la colisión entre: Bloque Ciudad Victoria-Bloque Maya y/ó por la colisión de Laurencia y los terrenos peri-Gondwánicos mexicanos, lo cual es plausible debido a que en las mediciones de campo se presentan capas sumamente deformadas, con pliegues locales dentro de la misma formación. Guacamaya, así como de las unidades más antiguas que conforman el Grupo Tamatán (**Tabla 3 y Tabla 4, Anexo).**

Cabe señalar, que la deformación del Grupo Tamatán pudo ocurrir antes de la deformación que desarrollo al cinturón de pliegues y cabalgaduras mexicano de la Sierra Madre Oriental, durante el Mesozoico. (Zhou et al., 2006). Dos probables deformaciones anterior a la del Mesozoico es sugerible: ***(1)*** por la evolución y cambio de ambiente tectónico (de un margen pasivo a uno activo) entre las formaciones Cañón de Caballeros (Silúrico-Devónico Temprano), Vicente Guerrero y Del Monte (Carbonífero), y ***(2)*** por cierre de la cuenca, causado por la proximidad y choque de los terrenos y bloques peri-Gondwánicos mexicanos con Laurusia. Estas deformaciones afectaron a todo el Grupo Tamatán, intensificándose a partir del Carbonífero hasta el desarrollo de la Pangea.

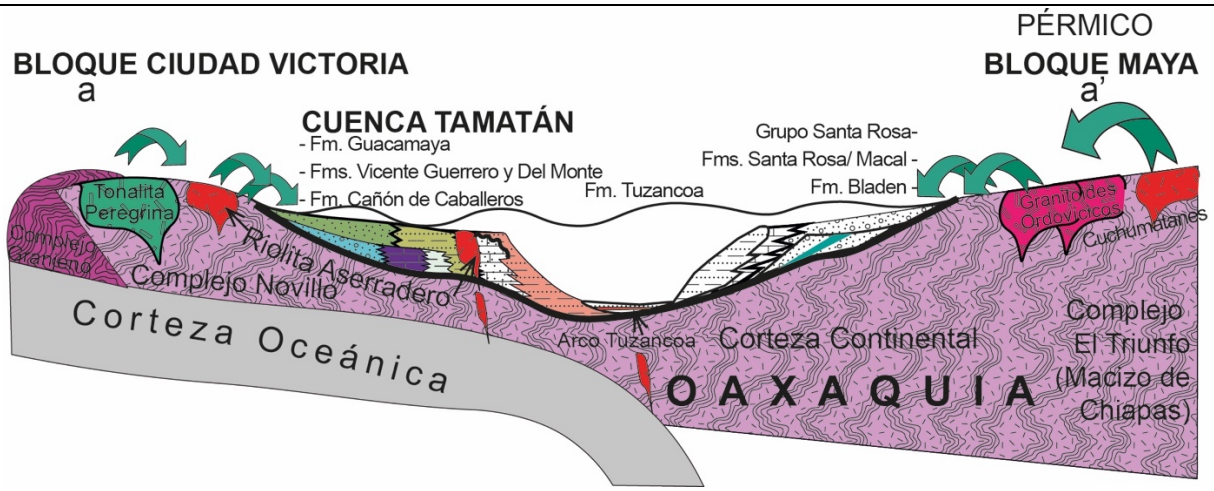


Fig. 7. 5. Sección esquemática simplificada que representa los depósitos del Grupo Tamatán para el Pérmico. Durante este tiempo se depositaron los sedimentos turbidíticos marinos profundos de la Formación Guacamaya (Pérmico) en el Norte de Oaxaquia (Bloque Ciudad Victoria) y de la Formación Tuzancoa (Hidalgo; Rosales-Lagarde et al., 2005) y Grupo Santa Rosa del Bloque Maya (localidades de Chiapas y Belice; Weber et al., 2009; Martens et al., 2010). El Complejo Granjeno (Torres-Sánchez et al., 2015; 2017) es obducido mientras que se desarrolla un arco cordillerano que dura hasta el periodo Triásico (Arvizu et al., 2009; Coombs et al., 2020). Las flechas verdes representan el aporte de las rocas fuente. Ver **Fig. 7. 6** para la localización de la sección.

El cierre de la Cuenca Tamatán se produjo en condiciones muy diferentes de presión y temperatura comparado con el Complejo Granjeno, debido a que las unidades del Grupo Tamatán no muestran ni una señal de metamorfismo. Lo cual la hipótesis de que la Cuenca Tamatán se desarrolló en una cuenca trasarco diferente a la de los metasedimentos que conforman el Complejo Granjeno se sustenta.

Posteriormente al cierre de la cuenca Tamatán se desarrolló el arco magmático cordillerano con vulcanismo continuo y activo que ocurrió durante el Pérmico Tardío al Triásico antes de la ruptura de la Pangea (Coombs et al., 2020), registros de este arco se presenta en localidades de Sonora (p.ej., Sierra Pinta; Arvizu et al., 2009), en la Llanura de la Costa del Golfo de México (Coombs et al., 2020), como en el sur de México (Macizo de Chiapas, Bloque Maya; Weber et al., 2007) y al norte de Sudamérica (Colombia; Cochrane et al., 2014). El desarrollo de este arco cordillerano, sugiere un escenario tectónico cuya placa en subducción cambia de polaridad del SSE hacia el NNE, de acuerdo con la analogía de la mayoría de los modelos de convencionales para el arco durante el Pérmico-Triásico en México (p. ej., Torres et al., 1999; Coombs et al., 2020; Ramírez-Fernández et al., 2021).

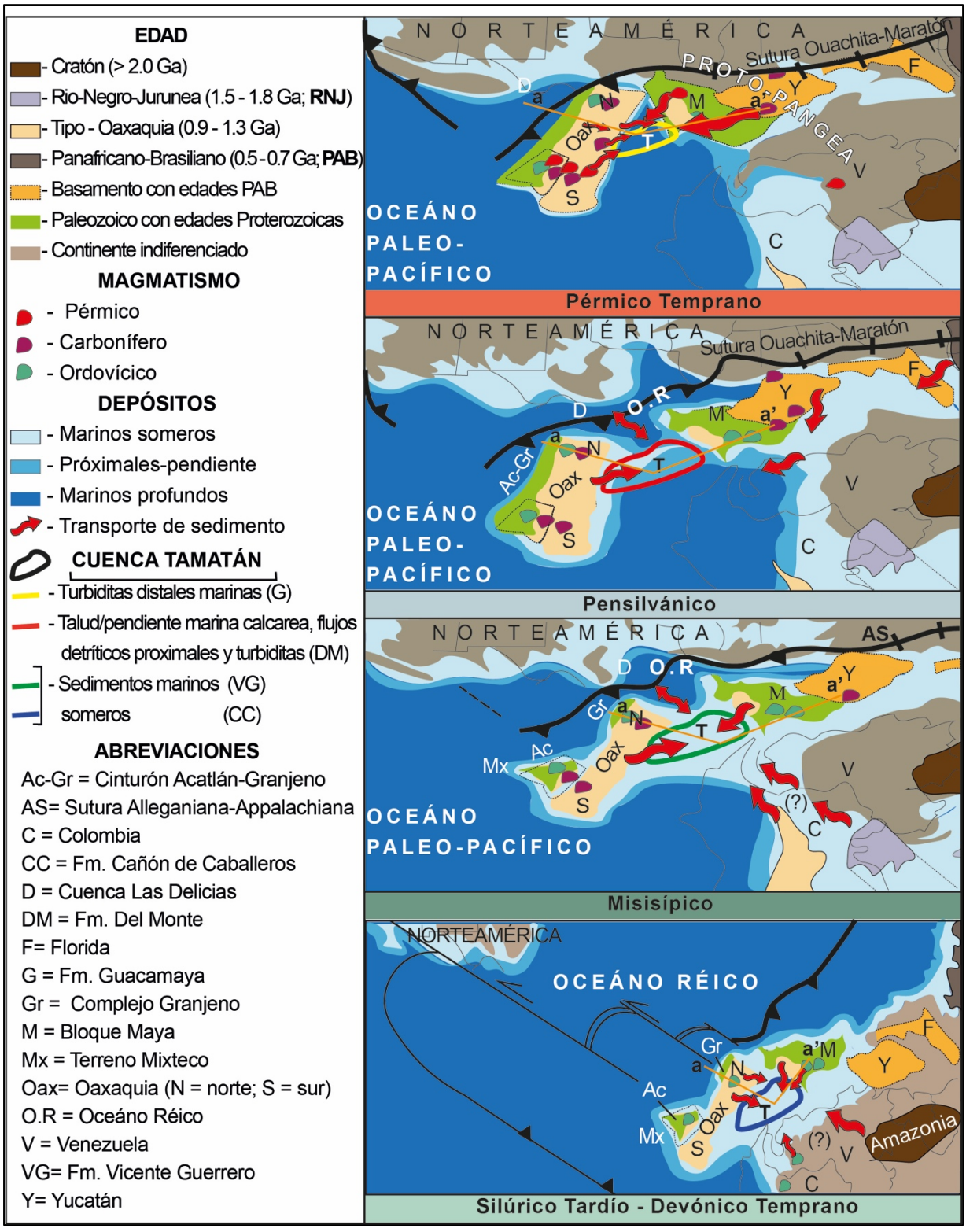


Fig. 7. 6. Modelo paleogeográfico de Silúrico a Pérmico reportado en los sedimentos del Grupo Tamatán (modificado de Miall & Blakey, 2008). **(a)** Margen pasivo del período Devónico temprano-Silúrico tardío, (**b-c-d**) Margen activo del período Carbonífero-Pérmico. **Nota:** La línea naranja **a-a'** muestra la ubicación de las secciones paleogeográficas de las **Fig. 7. 3 y Fig. 7. 5.**

8 Conclusiones

8.1 Características sedimentarias

Las formaciones del Grupo Tamatán del NE de México indica un cambio de depósitos de una cuenca somera con alto oleaje (fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero) a una plataforma carbonatada con talud proximal (Fm. Del Monte) hacia una cuenca más profunda (Fm. Guacamaya). Los depósitos marinos de la Cuenca Tamatán sugieren varios ciclos de depositación con variaciones marinas condicionadas al cambio del ambiente tectónico.

8.2 Petrografía

El Grupo Tamatán se compone por dos variaciones principales de areniscas: ***(i)*** cuarzolito-feldespática y cuarzo-feldespatolítica (fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero), y ***(ii)*** feldespato-cuarzolítica y litofeldespato-cuarzosa (fms. Del Monte y Guacamaya).

Las fuentes detríticas derivan de una composición riolítica, granítica, andesíticas, basáltica y en menor proporción tobácea, sedimentaria y metamórfica, que se asocian una procedencia de arcos magmáticos, bloque continental y de orógeno reciclado.

8.3 Geoquímica

El Grupo Tamatán revela efectos muy representativos de la composición de la fuente para cada unidad destacando:

- ***(i)*** La clasificación de rocas arcosicas (fms. Cañón de Caballero y Vicente Guerrero), pelíticas y pelíticas enriquecidas en carbonato (fms. Del Monte y Guacamaya)
- ***(ii)*** Variaciones considerables en los índices de alteración (p.ej., CIA, PIA, CIW, IVC), valores altos a moderadamente bajo, como evidencia de intenso a muy bajo intemperismo del Grupo Tamatán.
- ***(iii)*** Las fms. Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero revelan altas relaciones Zr/Sc, y por tanto un alto reciclaje sedimentario con incorporación de minerales estables (p.ej., circón, apatita, turmalina, cuarzo, etc.). Las fms. Del Monte y Guacamaya revelan relaciones Zr / Sc moderadas a bajas indicando una menor adición de minerales estables.
- ***(iv)*** La concentración de REE evidencia una composición muy similar a las rocas de corteza continental superior e indican un evolución y cambio composicional entre las unidades del Grupo Tamatán.
- ***(v)*** Las áreas fuentes del Grupo Tamatán, son de composiciones inicialmente félsica, subsecuentemente félsica-intermedias a máficas, las cuales se asocian al cambio de ambiente geotectónico (i.e., de un margen pasivo a activo y arco de islas).

8.4 Geocronología

Los circones detríticos del Cuenca Tamatán evidencian que:

(i) Las unidades del Grupo Tamatán tienen señales bien definidas derivadas de circones detríticos con edades tipo Oaxaquia, sugiriendo una derivación de fuente próximas con edad Neo-Mesoproterozoico como es el caso del Complejo Novillo (Norte de Oaxaquia), Complejo El Triunfo (Macizo de Chiapas) y el complejo Putumayo (Norte Andino).

(ii) La Fm. Cañón de Caballeros (Silúrico-Devónico Temprano) exhibe una distribución de edad muy similar a la unidad Baldy del Bloque Maya, excepto por la señal Mesoproterozoico temprano (1.52 Ma); mientras que, las fms. Vicente Guerrero y Del Monte exhiben una distribución de edades muy similar a la Fm. Santa Rosa, unidad equivalente del Bloque Maya, y unidades carboníferas del complejo Acatlán en el Terreno Mixteco (Fm. Cosoltepec).

(iii) La señal del Mesoproterozoico Temprano (~ 1.55 Ga) de los registros de circones detríticos de la Fm. Vicente Guerrero del Bloque Ciudad Victoria con la unidad Jocote del Bloque Maya son muy similares y significativas. Esto hace razonable sugerir que ambos bloques estaban próximos en la mayor parte del Paleozoico.

(iv) La reconstrucción tectónica del NE de Gondwana, efectivamente establece la migración y cierre diacrónico del océano Réico, que comenzó durante el Pensilvánico Tardío al Pérmico. Indudablemente coloca a todos los terrenos y bloques peri-Gondwánicos próximos entre el NW de Gondwana y SW de Laurussia (p.ej., Murphy et al., 2006; Nance et al., 2007a, b).

(v) La población detrítica en ca. 304 Ma de la Fm. Guacamaya, se reconocen también en las unidades Cosoltepec, (Mixteco), Macal, Santa Rosa (Bloque Maya). El evento tectónico más plausible es el magmatismo desarrollado por del arco magmático del Carbonífero-Pérmico asociado con el cierre diacrónico del océano Réico y (Murphy et al., 2006; Nance et al., 2007 a; Coombs et al., 2021; Ramírez-Fernández et al., 2021), el cual está registrado en las poblaciones de circones de la mayoría de las sucesiones del Paleozoico Superior de la Cuenca Tamatán, Bloque Maya y Terreno Mixteco.

8.5 Tectónica

El ambiente geotectónico de la Cuenca Tamatán denota que:

(i) La Fm. Cañón de Caballeros fue depositada en una cuenca marginal (posterior a la configuración del arco magmático del Ordovícico-Silúrico Temprano) asociada a un margen pasivo peri-Gondwánico entre el Silúrico Tardío y el Devónico Temprano. Las principales fuentes prexistieron por áreas exhumadas del basamento de Oaxaquia y del Bloque Maya.

(ii) La conexión de la Cuenca Tamatán con el océano Réico se confirma por la presencia de fauna silúrica de Gondwana.

(iii) Los circones detríticos derivados del basamento de Oaxaquia se aumento durante el período de deposición de la Fm. Del Monte (Pensilvánico), lo que indica una primera erosión del Complejo Novillo con base en las edades pico de 1328 Ma y 1166 Ma.

(iv) De acuerdo con los sedimentos sin metamorfismo para la Cuenca Tamatán, una posición trasarco es sugerible, que difiere con los metasedimentos de antearco del Complejo Granjeno.

(v) Las características petrológicas de la Fm. Guacamaya son marcadamente diferentes a las de las otras unidades sedimentarias de Tamatán. Estas características indican la influencia de un sistema de arco de islas oceánicas.

(vi) Las variaciones mineralógicas, geoquímicas y geocronológicas observadas en el Grupo Tamatán revelan la evolución progresiva de la fase terminal de un margen pasivo a margen continental activo y arco de isla.

9 Investigaciones futuras

Se proponen las siguientes investigaciones futuras:

(1) Un análisis estructural a detalle del Grupo Tamatán y su relación con el basamento cristalino, para distinguir fases de deformaciones paleozoicas (choque de los terrenos y bloques peri-gondwánicos hacía Laurussia) de las posteriores.

(2) De acuerdo con los autores como Gursky & Michelzik (1989) y Stewart et al. (1999), la Cuenca de Tamatán consta de un espesor potente de >1200 m. Se requiere un análisis estratigráfico-estructural de alta resolución para distinguir deformaciones sin- y post-deposicionales.

(3) Un análisis petrológico y geocronológico de los fragmentos líticos de la brecha basal de la Fm. Del Monte (anteriormente Conglomerado Naranjal) y de los horizontes conglomeráticos de la Fm. Guacamaya. Para corroborar la procedencia de los arcos carboníferos-pérmico y la relación con otras sucesiones paleozoicas mencionadas en este trabajo.

(4) Análisis geocronológicos de las diferentes subunidades estratigráficas del Grupo Tamatán. Para una mejor visión de la estratigrafía, edad y procedencia.

(5) La búsqueda y estudio de organismos conodontales (p.ej. Canudo, 2002; Garcia-López et al., 2006) para una valoración sobre las paleo-condiciones tectónicas y térmicas de la Cuenca Tamatán.

10 Referencias

Alemán-Gallardo et al. (2019a) → Alemán-Gallardo, E., Ramírez Fernández, J.A., Rodríguez Díaz, A., Velasco-Tapia, F., Jenchen, U., Cruz-Gámez, E., Navarro-de León, I., & de Leon-Barragán, L. (2019a): Evidence for an Ordovician continental arc in the pre-Mesozoic basement of the Huizachal-Peregrina Anticlinorium, Sierra Madre Oriental, Mexico: the Peregrina Tonalite. – Mineralogy and Petrology, 113 (4): 433 – 562. – [doi: 10.1007/s00710-019-00660-4]

Alemán-Gallardo et al. (2019b) → Alemán-Gallardo, E.A., Ramírez-Fernández, J.A., Weber, B., Velasco- Tapia, F. & Casas-Peña, J.M. (2019b): Novillo Metamorphic Complex, Huizachal-Peregrina Anticlinorium, Tamaulipas, Mexico: Characterization and development based on whole-rock geochemistry and Nd-isotopic ratios. – Journal of South American Earth Sciences, 96 (102382): 1 – 17. – [doi: 10.1016/j.jsames.2019.102382]

Almazán-Vázquez et al. (2006) → Almazán-Vázquez E., Buitrón-Sánchez, B.E., & Franco-Vega, O. (2006): Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 23 (1): 23 – 38.

Alsalem et al. (2018) → Alsalem, O.B., Fan, M., Zamora, J., Xie, X., & Griffin, W.R. (2018): Paleozoic sediment dispersal before and during the collision between Laurentia and Gondwana in the Fort Worth Basin, USA. – Geosphere, 14 (1): 325–342. – [doi:10.1130 /GES01480.1]

Anderson & Silver (1981) → Anderson T. H., & Silver L. T. (1981): An Overview of Precambrian rocks in Sonora. – Revista del Instituto de Geología, UNAM, 5 (2): 131 – 139.

Anderson & Silver (2005) → Anderson, T.H., & Silver, L.T. (2005): The Mojave-Sonora megashear—Field and analytical studies leading to the conception and evolution of the hypothesis. – en: Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., & Steiner, M.B., (eds.): The Mojave-Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives. – Geological Society of America Special Paper, 393: 1 – 50. – [doi: 10.1130/2005.2393(01)]

Arellano-Gil et al. (1998) → Arellano-Gil, J., Vachard, D., Yussim, S., & Flores de Dios-González, A. (1998): Aspectos estratigráficos, estructurales y paleogeográficos del Pérmico Inferior al Jurásico Inferior en Pemuxco, Estado de Hidalgo, México. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15 (1): 9 – 13.

Arribas (2010) → Arribas, J. (2010): Análisis de la procedencia en depósitos arenosos. – en: Arche, A. (Ed.): Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. – Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, Textos Universitarios, 46: 397 – 439.

Armin (1987) → Armin, R.A. (1987): Sedimentology and tectonic significance of Wolfcampian (Lower Permian) conglomerates in the Pedregosa basin: Southeastern Arizona, southwestern New Mexico, and northern Mexico. – Geological Society of America Bulletin, 99: 45 – 65. – [doi: 10.1130/0016-7606(1987)99<42:SATSOW>2.0.CO;2]

Armstrong & Mamet (1988) → Armstrong, A.K., & Mamet, B.L. (1988): Mississippian (Lower Carboniferous) Biostratigraphy, Facies, Microfossils, Pedregosa Basin, Southeastern Arizona and Southwestern New Mexico. – U.S Geological Survey Bulletin, 1826: 1 – 28. – [doi: 10.3133/b1826]

Armstrong-Altrin (2009) → Armstrong-Altrin, J.S. (2009): Provenance of sands from Cazones, Acapulco, and Bahía Kino beaches, Mexico. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26: 764 – 782.

Armstrong-Altrin & Verma (2005) → Armstrong-Altrin, J.S., & Verma, S.P. (2005): Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings. – Sedimentary Geology, 177 (1-2): 115 – 129. – [doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.02.004]

Armstrong-Altrin et al. (2015) → Armstrong-Altrin, J.S., Machain-Castillo, M.L., Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Sanchez-Cabeza, J.A., & Ruíz- Fernández, A.C. (2015): Provenance and depositional history of continental slope sediments in the southwestern Gulf of Mexico unraveled by geochemical analysis. – Continental Shelf Research 95, 15 – 26. – [doi: 10.1016/j.csr.2015.01.003]

Arvizu & Iriondo (2011) → Arvizu, H.E., & Iriondo, A. (2011): Hf isotopic study of zircons from Permian granitoids of NW Mexico: Evidence for mixing of magmas derived from multiple crustal sources. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 28: 493 – 518.

Arvizu et al., (2009) → Arvizu, H.E., Iriondo, A., Izaguirre A., Chávez-Cabello, G., Kamenov, G.D., Solís-Pichardo, G., Foster, D.A., & Lozano-Santa Cruz, R. (2009): Rocas graníticas pérmicas en la Sierra Pinta, NW de Sonora, México: Magmatismo de subducción asociado al inicio del margen continental activo del SW de Norteamérica. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26 (3): 709 – 728. –

Bali et al. (2011) → Bali, E., Audétat, A., & Keppler, H. (2011): The mobility of U and Th in subduction zone fluids: an indicator of oxygen fugacity and fluid salinity. – Contrib. Mineral. Petrol., 161: 597 – 613. – [doi: 10.1007/s00410-010-0552-9]

Barboza-Gudiño et al. (2011) → Barboza-Gudiño, J.R., Ramírez-Fernández, J.A., Torres-Sánchez, S.A. & Valencia, V.A. (2011): Geocronología de circones detríticos de diferentes localidades del Esquisto Granjeno en el noreste de México. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63 (2): 201 – 216.

Barboza-Gudiño et al. (2016) → Barboza-Gudiño, J.R., Torres-Hernández, J.R., & Villasuso-Martínez, R. (2016): Revisión estratigráfica y estructura de la Sierra Plomosa, Chihuahua. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 33 (2): 221 – 238.

Barrón-Díaz et al. (2018) → Barrón-Díaz, A.J., Paz-Moreno, F.A., Lozano-Santa Cruz, R., Herrera-Urbina, S., Centeno-García, E., & López-Martínez, M. (2018): Early Cambrian alkaline volcanism on the southern margin of Laurentia: evidence in the volcaniclastic units from the Puerto Blanco Formation in the Caborca block, NW Mexico. – International Geology Review: 1 – 16. – [doi: 10.1080/00206814.2018.1501619]

Bartolini et al. (1995) → Bartolini, C., Morales-Montaño, M., Barrera-Moreno, E., Domínguez-Perla, J.E., Navarro-Martínez, L.A., Luis, Soto-Contreas, L.A., Finney, S.C., & Carter, C. (1995): Geologic reconnaissance of Ordovician deep-marine sequences in central Sonora, Mexico. – en: Cooper, J.D., Droser, M.L., & Finney, S.C. (eds.): Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System. – Fullerton, Calif., Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM) book 77: 285 – 289

Basu et al (1975) → Basu, A., Young, S.W., Suttner, L.J., James, W.C., & Mack, G.H. (1975): Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. – Journal of Sedimentary Research (45): 873 – 882. – [doi: 10.1306/212F6E6F-2B24-11D7-8648000102C1865D]

Bauluz et al. (2000) → Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., Gonzalez-Lopez, J.M. (2000): Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting. – Chemical Geology, 168: 135 – 150. – [doi: 10.1016/S0009-2541(00)00192-3]

Bedoya-Mejía (2018) → Bedoya-Mejía, A.M. (2018): Análisis de procedencia y termocronología detrítica de las Formaciones Matzitzi y Tianguistengo: implicaciones tectónicas en la evolución Paleozoica-Mesozoica del sur de México. – Tesis de Maestría, Universidad Autonoma de México (UNAM): 221 pp.

Bellizzia & Pimentel (1994) → Bellizzia, A., & Pimentel, N. (1994): Terreno Mérida: Un cinturón alóctono herciniano en la Cordillera de Los Andes de Venezuela. – en: Proceedings, V Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas: Puerto La Cruz, Venezuela, Sociedad Venezolana de Geólogos, 271– 290. – [doi: 10.3997/2214-4609-pdb.116.037esp]

Berra & Angiolini (2014) → Berra, F. & Angiolini, L. (2014): The evolution of the Tethys Region throughout the Phanerozoic: A Brief Reconstruction. – en: Marlow, L., Kendall, C., & Yose, L. (eds.), Petroleum system of the Tethyan region. – American Association of Petroleum Geologists Memoir, 106: 1-27. – [doi: 10.1306/13431840M1063606]

Bhatia (1983) → Bhatia, M.R. (1983): Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. – Journal of Geology 91: 611 - 627. – [doi: 10.1086/628815]

Bhatia (1985) → Bhatia, M.R. (1985): Rare earth element geochemestry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and Tectonic control. - Sedimentology Geology, 45: 97 – 113. – [doi: 10.1016/0037-0738(85)90025-9]

Bhatia & Crook (1986) → Bhatia, M.R. & Crook, K.A.W. (1986): Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. – Contributions to Mineralogy and Petrology, **92**: 181-193.

Blodgett et al. (2002) → Blodgett, R.B., Moore, T.E. & Gray, F. (2002): Stratigraphy and paleontology of Lower Permian rocks north of Cananea, northern Sonora, Mexico. - Journal of South American Earth Sciences, 15: 481 – 495. – [doi: 10.1016/S0895-9811(02)00064-0]

Borradaile (2003) → Borradaile, G.J. (2003): Statistics of Earth Science Data: Their Distribution in Time, Space and Orientation. – 351 p.; Berlin, Heidelberg (Springer).

Boucot (1993) → Boucot, A.J (1993): Paleozoic Paleogeography and biogeography. – Revista Española de Paleontología: 15-20.

Boucot et al. (1997) → Boucot, A.J., Blodggett, R.B., & Stewart, J.H. (1997): European Province Late Silurian brachiopods from the Ciudad Victoria area, Tamaulipas, northeastern Mexico. – en: Klapper, G., Murphy, M.A., & Talent, J.A. (eds.):

Paleozoic sequence stratigraphy, biostratigraphy, and biogeography: Studies in honor of J. Granville ("Jess") Johnson. – GSA Special Paper, 321: 273 – 293. – [doi: 10.1130/0-8137-2321-3.273]

Boucot et al. (1999) → Boucot, A.J., Benedetto, J. L., Grahn, Y., Melo, J. H. G., Sanchez, T. M., & Waisfeld, B. A. (1999): South American marine Silurian communities. – en: Boucot, A. J., and Lawson, J. D. (eds.): Paleocommunities. – a case study from the Silurian and Lower Devonian 841 – 848.

Bouma (1962) → Bouma, A.H. (1962): Sedimentology of some flysch deposits, a graphic approach to facies interpretation. – Elsevier (Amsterdam): 168 p.

Burger et al. (2019) → Burger, B.J., Estrada, M.V., & Gustin, M.S. (2019): What caused Earth's largest mass extinction event? New evidence from the Permian-Triassic boundary in northeastern Utah. – Global and Planetary Change. – [doi:10.1016/ j.gloplacha.2019.03.013]

Cameron et al. (2004) → Cameron, K.L., Lopez, R., Ortega-Gutiérrez, F., Solari, L.A., Keppie, J.D., & Schulze, C. (2004): U-Pb geochronology and Pb isotopic compositions of leached feldspars: Constraints on the origin and evolution of Grenville rocks from eastern and southern Mexico. – en: Tollo, R.P., Corriveau, L., McLelland, J., & Bartholomew, M.J. (eds.): Proterozoic tectonic evolution of the Grenville orogen in North America. – GSA Memoir, 197: 755 – 769. – [doi: 10.1130/0-8137-1197-5.755]

Campa & Coney (1982) → Campa, M.F. & Coney, P.J. (1982): Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. – Canadian Journal of Earth Sciences, 20: 1040 - 1051. – [doi: 10.1139/e83-094]

Canudo (2002) → Canudo, J.I. (2002): Conodontos. – en: Molina, E. (Ed.): Micropaleontología. – 437 – 450.

Cárdenas et al. (1996) → Cárdenas, A.A., Girty, G.H., Hanson, A.D., Lahren, M. M., Knaack, C., & Johnson, D. (1996): Assessing differences in composition between low metamorphic grade mudstone and high-grade schists using Logratio Techniques. – The Journal of Geology, 104: 279 – 293. – [doi: 10.1086/629825]

Cardona et al. (2010) → Cardona, A., Valencia, V., Garzón, A., Montes, C., Ojeda, G., Ruiz, J., & Weber, J. (2010): Permian to Triassic I to S-type magmatic switch in the northeast Sierra Nevada de Santa Marta and adjacent regions, Colombian Caribbean: Tectonic setting and implications within Pangea paleogeography. - Journal of South America Earth Sciences, 29: 772 – 783. – [doi: 10.1016/j.jsames.2009.12.005]

Cardona et al. (2016) → Cardona, A., Valencia, V.A., Lotero, A., Villafañez, Y., & Bayona, G. (2016): Provenance of middle to late Palaeozoic sediments in the northeastern Colombian Andes: implications for Pangea reconstruction. – International Geology Review: 1 – 26. – [doi: 10.1080/00206814.2016.1190948]

Carls (1977) → Carls, P. (1977): Spain. – en: Martisson, A. (eds.): The Silurian-Devonian boundary. – IUGS, Series A (5), Schweizerbarth'sche, Stuttgart: 143-158.

Carozzi (1960) → Carozzi, A.V. (1960): Microscopic Sedimentary Petrography. – Wiley, NewYork: 485 pp.

Carrillo-Bravo (1961) → Carrillo-Bravo, J. (1961): Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamps. – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13 (1/2): 1 – 98

Casas-Peña et al. (2021) → Casas-Peña, J.M., Ramírez-Fernández, J.A., Velasco-Tapia, F., Alemán-Gallardo, E.A., Augustsson, C., Weber, B., Frei, D., & Jenchen, U. (2021): Provenance and tectonic setting of the Paleozoic Tamatán Group, NE Mexico: Implications for the closure of the Rheic Ocean. – Gondwana Research, 91: 205-230. – [doi: 10.1016/j.gr.2020.12.012]

Cawood et al. (2012) → Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J., & Dhuime, B. (2012): Detrital zircon record and tectonic setting. – Geology, 40: 875 – 878. – [doi: 10.1130/G32945.1]

Centeno-García (2005) → 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. – en: Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., & Steiner, M.B. (eds.): The Mojave- Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives. – GSA Special Paper, 393: 233- 258. – [doi: 10.1130/2005.2393(08)]

Centeno-García et al. (2009) → Centeno-García, E., Mendoza, C.C., & Silva-Romo, G. (2009): Sedimentología de la Formación Matzitzi (Paleozoico superior) y significado de sus componentes volcánicos, región de Los Reyes Metzontla-San Luis Atolotitlán, Estado de Puebla. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26 (1): 18 – 36.

Cevallos-Ferríz & Weber (1980) → Cevallos-Ferríz, S., & Weber, R. (1980): Arquitectura, estructura y ambiente de depósito de algunos estromatolitos del Precámbrico sedimentario de Caborca, Sonora. – Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 4 (2): 97 – 103.

Cherniak & Watson (2001) → Cherniak, D. J., & Watson, E. B. (2000): Pb diffusion in zircon. – Chemical Geology, 172: 5 – 24. – [doi: 10.1016/S0009-2541(00)00233-3]

Chew et al. (2007) → Chew, D.M., Schaltegger, U., Košler, J., Whitehouse, M.J., Gutjahr, M., Spikings, R.A., & Aleksandar Mišković, A. (2007): U-Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwanan margin of the north-central Andes. – GSA Bulletin, 119 (5/6): 697-711. – [doi: 10.1130/B26080.1]

Cisneros-de Léon et al. (2017) → Cisneros-de León, A., Weber, B., Ortega-Gutiérrez, F., González-Guzmán, R., Maldonado, R., Solari, L., Schaaf, P., & Manjarrez-Juárez, R. (2017): Grenvillian massif-type anorthosite suite in Chiapas, Mexico: Magmatic to polymetamorphic evolution of anorthosites and their Ti-Fe ores. – Precambrian Research 295: 203–226. – [doi: 10.1016/j.precamres.2017.04.028]

Cocharne et al. (2014) → Cochrane, R., Spikings, R., Gerdes, A., Ulianov, A., Mora, A., Villagómez, D., Putlitz, B., & Chiaradia, M. (2014): Permo-Triassic anatexis, continental rifting and the disassembly of western Pangaea. – Lithos, 190: 383 – 402. – [doi:10.1016/j.lithos.2013.12.020]

Cocks & Torsvik (2002) → Cocks L.R.M., & Torsvik, T.H. (2002): Earth geography from 500 to 400 Ma: a paleomagnetic, faunal and facies review. – Journal of the Geological Society, London, 159: 631-644.

Cohen et al. (2013) → Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013): The ICS International Chronostratigraphic Chart. – Episodes **36**: 199-204. – [doi: 10.1144/0016-764901-118]

Condie (1991) → Condie, K.C. (1991): Another look at rare earth elements in shales. – Geochimica et Cosmochimica Acta 55, 2527 – 2531. – [doi: 10.1016/0016-7037(91)90370-K]

Condie (1993) → Condie, K.C. (1993): Chemical composition and evolution of upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. – Chemical Geology 104, 1–37. – [doi: 10.1016/0009-2541(93)90140-E]

Condie et al. (1995) → Condie, K.C., Dengate, J., & Cullers, R.L. (1995): Behavior of rare earth elements I a paleoweathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA. – Geochemica et Cosmochimica Acta, 59 (2): 279 – 294. – [doi: 10.1016/0016-7037(94)00280-Y]

Coombs et al. (2020) → Coombs, H.E., Kerr, A.C., Pindell, J., Buchs, D., Weber, B., & Solari, L. (2020): Petrogenesis of the crystalline basement along the western Gulf of Mexico: Postcollisional magmatism during the formation of Pangea. – en: Martens, U., & Molina-Garza, R.S. (eds.): Southern and Central Mexico: Basement Framework, Tectonic Evolution, and Provenance of Mesozoic–Cenozoic Basins. – GSA Special Paper, 546:1 – 24. – [doi: 10.1130/2020.2546(02)]

Cordiani et al. (2005) → Cordani U.G, A. Cardona, D.M. Jimenez, D. Liu, & A.P Nutman (2005): Geochronology of Proterozoic Basement Inliers in the Colombian Andes: Tectonic History of remnants of a fragmented Grenville Belt. – en: Vaughan A.P.M., Leat P.T., & R.J. Pankhurst (eds.): Terrane Processes at the margins of Gondwana. – Geological Society of London, Special Publications, 246: 329–346. – [doi: 10.1144/GSL.SP.2005.246.01.13]

Cowan & Silling (1978) → Cowan, D.S., & Silling, R.M. (1978): A dynamic scaled model of accretion at trenches and its implications for the tectonic evolution of subduction complexes. – Journal of Geophysical Research, 83 (B11), 5389 – 5396. – [doi: 10.1029/jb083ib11p05389]

Cox et al. (1995) → Cox, R., Lowe, D.R., & Cullers, R.L. (1995): The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. – Geochimica et Cosmochimica Acta 59 (14), 2919 – 2940. – [doi: 10.1016/0016-7037(95)00185-9]

Cuen-Romero et al. (2016) → Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, R., Sundberg, F. Montijo-, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón, B.E., Monreal, R., Sundberg, F. Montijo-González, A. Minjarez-Sosa, I. (2016): Cambrian stratigprahy of San José de Garcia, Sonora, Mexico: El Gavilán Formation, a new lithostratigraphic unit of Middle Cambrian open shelf enviorment. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68 (3): 429 – 441.

Cullers (1994) → Cullers, R.L. (1994): The controls on the major and trace element variation of shales, silstones, and sandstone of Pennsylvanian-Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA. – Geochemica et Cosmochimica Acta, 58 (22): 4955 – 4972. – [doi: 10.1016/0016-7037(94)90224-0]

de Araújo et al. (2010) → de Araújo, C.E.G., Pinéo, T.R.G., Caby, R., Costa, F.G., Cavalcante, J.C., Vasconcelos, A.M., & Rodriguez, J.B. (2010): Provenance of the Novo Oriente Group, southwestern Ceará Central Domain, Borborema Province (NE-Brazil): a dismembered segment of a magma-poor passive margin or a restricted rift- related basin?. –

Damon et al. (1981) → Damon, P.E., Shafiqullah, M., & Clark, K. (1981): Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in the southern Cordillera. – en: Dickinson, W., & Payne, W.D. (Eds.): Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera. – Arizona Geological Society Digest. 14: 137–153

Dickinson (1970) → Dickinson, W.R. (1970): Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. – Journal of Sedimentary Research, 40 (2): 695-707. – [doi: 10.1306/74D72018-2B21-11D7-8648000102C1865D]

Dickinson (1974) → Dickinson, W.R. (1974): Plate tectonics and sedimentation. – en: Dickinson, W.R (Ed): Tectonics and sedimentation. – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication. 22: 1-27. – [doi: 10.2110/pec.74.22.0001]

Dickinson (1985) → Dickinson, W.R. (1985): Interpreting provenance relations form detrital modes of sandstones. – en: Zuffa, G.G. (eds.): Provenance of Arenites. – NATO ASI Series C, 148: 333-361; D. Riedel, Dordrecht.

Dickinson & Lawton (2001) → Dickinson, W.R. & Lawton, T.F. (2001): Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. – GSA Bulletin, 133 (9): 1142-1660. – [doi: 10.1130/0016-7606(2001)113<1142: CTCAAF>2.0.CO;2]

Dickinson & Suczek (1979) → Dickinson, W.R. & Suczek, C.R. (1979): Plate tectonics and sandstone composition. – AAPG Bulletin, 63 (12): 2164-2182. – [doi: 10.1306/2F9188FB-16CE-11D7-8645000102C1865D]

Dickinson et al. (1983) → Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A. & Ryberg, R.T. (1983): Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. – GSA Bulletin, 94 (2): 222-235. – [doi: 10.1130/0016-7606(1983)94<222:PONAPS>2.0.CO;2]

Domeier & Torsvik (2014) → Domeier, M. & Torvisk, T.H. (2014): Plate tectonics in the late Paleozoic. – Geoscience Frontiers, 5: 303-350. – [doi: 10.1016/j.gsf.2014.01.002]

Dott (1964) → Dott, Robert, H. Jr. (1964) Wacke, greywacke and matrix-what approach to immature sandstone classification?. – Journal of Sedimentary Petrology, 34: 625 – 632. – [doi: 10.1306/74D71109-2B21-11D7-8648000102C1865D]

Dowe et a.l (2005) → Dowe, D.S., Nance, R.D., Keppie, J.D., Cameron, K.L., Ortega-Rivera, A., Ortega-Gutiérrez, F., & Lee, J.W.K. (2005): Deformational History of the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, Mexico: Constraints on the Closure of the Rheic Ocean? International Geological Review, 47 (9), 920 – 937. – [doi: 10.2747/0020-6814.47.9.920]

Dunham (1962) → Dunham, R. J. (1962): Classification of carbonate Rocks according to depositional texture. – en: Ham, W. E. (ed.), Classification of carbonate Rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir: 108 – 121.

Ejeh (2016) → Ejeh, O.I. (2016): Geochemical Discriminant for Provenance Characterization and Palaeogeography of Shales from Dahomey Embayment, Southwestern Nigeria. – Journal of Geoscience and Environment Protection, 4, 56 – 68. – [doi:10.4236/gep.2016.46005]

Elías-Herrera & Ortega- Gutiérrez (2002) → Elías-Herrera, M., & Ortega-Gutiérrez, F. (2002): Caltepec fault zone: An Early Permian dextral transpressional boundary between the Proterozoic Oaxacan and Paleozoic Acatlán complexes, southern Mexico, and regional tectonic implications. – Tectonics, 21 (3), 4-1–4-18. – [doi: 10.1029/2000TC001278]

Elías-Herrera et al. (2011) → Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Macías-Romo, C., Sánchez-Zavala, J.L. & Solari, L.A. (2011): Colisión oblicua del Cisuraliano-Guadalupiano entre bloques continentales en el sur de México: evidencias estratigráfico-estructurales y geocronológicas. – en: Dr. Zoltán de Cserna: Región Sur. – Libro de Resumenes, Instituto de Geología, UNAM, 159–164.

Elías-Herrera et al. (2008) → Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Macías-Romo, C., Sánchez-Zavala, J.L., Solís-Pichardo, G.N., Torres-López, M., Valencia, V. & Ortega-Rivera, A. (2008): Relaciones estratigráfico-estructurales y geocronológicas de una secuencia metavolcanosedimentaria (Fm. Metzontla) en la zona de yuxtaposición de los complejos Acatlán y Oaxaqueño, sur de México. – Remanentes de una cuenca intrarco pensilvánica. Abstract. Geos, 28(2), 351.

Elías-Herrera et al. (2007) → Elías-Herrera, M., Macías-Romo, C., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J.L., Iriondo, A., & Ortega-Rivera, A. (2007): Conflicting stratigraphic and geochronologic data from the Acatlán Complex: "Ordovician" granites intrude metamorphic and sedimentary rocks of Devonian-Permian age. – Eos Trans. AGU 88, Jt. Assem. Suppl., Abstract T41A–12.

Elías-Herrera et al. (2005) → Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J.L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A. & Iriondo, A. (2005): La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LVII(1), 83-109.

Embry & Klovan (1971) → Embry, A. & Klovan, J.E. (1971): A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories. – Bulletin Canadian Petroleum Geology, 19: 730 – 781. – [doi: 10.35767/gscpgbull.19.4.730]

Englund & Jørgensen (1973) → Englund, J.O. & Jørgensen, P. (1973): A chemical classification system for argillaceous sediments and factors affecting their composition. – Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar, **95 (1)**: 87-97. – [doi: 10.1080/11035897309455428]

Esquivel-Macías et al. (2004) → Esquivel-Macías, C., Solís-Marín, F., & Buitrón-Sánchez, B.E. (2004): New records of Upper Paleozoic crinoids columnar plates (Echinodermata, Crinoidea) from Upper Paleozoic of Mexico, some paleobiogeographic and paleoenvironmental implications. – Coloquios de Paleontología, 54 : 15 – 23.

Estrada-Carmona et al. (2012) → Estrada-Carmona, J., Weber, B., Martens, U., & López-Martínez, M. (2012): Petrogenesis of Ordovician magmatic rocks in the southern Chiapas Massif Complex: relations with the early Palaeozoic magmatic belts of northwestern Gondwana. – International Geology Review, 54 (16): 1918-1943. – [doi:10.1080/00206814.2012.685553]

Estrada-Carmona et al. (2015) →Estrada-Carmona, J., Weber, B., Scherer, E.E., Martens, U., & Elías-Herrera, M. (2015): Lu-Hf geochronology of Mississippian high-pressure metamorphism in the Acatlán Complex, southern México. – Gondwana Research, 34: 174 -186. – [doi: 10.1016/j.gr.2015.02.016]

Fedo et al. (1995) → Fedo, C.M., Nesbitt, H.W. & Young, G.M. (1995): Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and Paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. – Geology, **23 (10)**: 921-924. – [doi: 10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2]

Fitz-Díaz et al. (2018) → Fitz-Díaz, E., Lawton, T.F., Juárez-Arriaga, E., & Chávez-Cabello, G. (2018): The Cretaceous-Paleogene Mexican orogen: Structure, basin development, magmatism and tectonics. – Earth-Science Reviews, 183: 56 – 84. – [doi: 10.1016/j.earscirev.2017.03.002]

Floyd & Leveridge (1987) → Floyd, P.A. & Leveridge, B.E. (1987): Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. – Journal of the Geological Society, **144 (4)**: 531-542.

Flügel (1982) → Flügel, E. (1982): Microfacies analysis of limestones. Springer-Verlag, Berlín: 633 pp.

Folk (1959) → Folk, R.L. (1959): Practical petrography classi cation of limestones. – Springer Verlag, Berlín: 633 pp. – [doi: 10.1306/0BDA5C36-16BD-11D7-8645000102C1865D]

Folk (1964) → Folk, R.L.(1964): A review of Grain-size parameter. – Sedimentology, 6: 73 – 93. – [doi: doi.org/10.1111/j.1365-3091.1966.tb01572.x]

Folk et al. (1970) → Folk, R.L., Andrews, P.B., & Lewis, D.W. (1970): Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. – New Zealand Journal of Geology and Geophysics, **13 (4)**: 937 – 968. – [doi:10.1080/00288306.1970.10418211]

Franke et al. (2020) → Franke, W., Ballèvre, M., Cocks, L.R.M., Torsvik, T.H., & Zelazniewic, A. (2020): Variscan Orogeny. – Encycopedia of Geology (2), 1- 11. – [doi: 10.1016/B978-0-08-102908-4.00022-9]

Frei & Gerdes (2009) → Frei, D., & Gerdes, A. (2009): Precise and accurate in situ U–Pb dating of zircon with high sample throughput by automated LA-SF-ICP-MS. – Chemical Geology, 261 (3-4): 261-270. – [doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.07.025]

Füchtbauer (1988) → Füchtbauer, H. (1988): Sandsteine. – en: Füchtbauer, H. (eds.): Sediment-Petrologie, Teil II: Sedimente und Sedimentgesteine, Stuttgart (Schweizerbart): 97 – 184. –

Galaz et al. (2013) → Galaz, E.G., Keppie, J.D., Lee, J.K.W., Ortega-Rivera, A. (2013): A high-pressure folded klippe at Tehuitzingo on the western margin of an extrusion zone, Acatlán Complex, southern México. – Gondwana Research, 23: 641 – 660. – [doi: 10.1016/j.gr. 2012.04.011]

Garcia et al. (1994) → Garcia, D., Fonteilles, M., & Moutte, J. (1994): Sedimentary Fractionations between Al, Ti and Zr and the Genesis of Strongly Peraluminous Granites. – The Journal of Geology, 102: 411 – 422. – [doi: 10.1086/629683]

Garcia et al. (2004) → Garcia, D., Ravenne, C., Maréchal, B., & Moutte, J. (2004): Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis. – Sedimentary Geology 171 (1–4), 113–128. - [doi: 10.1016/j.sedgeo.2004.05.013]

Garcia et al. (2005) → García, C., Ríos, C., & Castellanos, Ó.M.A. (2005): Medium-pressure metamorphism of the Silgará Formation in the central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes: constraints for a collision model. – Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, 27 (2): 43 – 68. – [doi: 10.18273/revbol]

García-López et al. (2006) → García-López, S.. Blanco-Ferrera, S., & Sanz-López, J. (2006): Aplicación de los Conodontos al conocimiento de la evolución tectonotérmica de las zonas externas de los orógenos. – Revista Española de Micropaleontología, 38 (2-3): 289 – 297.

Garzanti (2016) → Garzanti, E. (2016): From static to dynamic provenance analysis–Sedimentary petrology upgraded. – Sedimentary Geology **336**: 3–13. – [10.1016/j.sedgeo.2015.07.010]

Garzanti (2018) → Garzanti, E. (2018): Petrographic classification of sand and sandstone. – Earth Science Review, 192: 545 – 563. – [doi: 10.1016/j.earscirev.2018.12.014]

Gehrels (2012) → Gehrels, G. (2012): Detrital zircon U-Pb geochronology: current methods and new opportunities. – en: Busby, C., & Azor, A. (Eds.): Tectonics of Sedimentary Basins. – Blackwell publishing Ltd, 47–62. – [doi: 10.1002/9781444347166.ch2]

Geraldes et al. (2001) → Geraldes, M.C., Van Schmus, W.R., Condie, K.C., Bell, S., Teixeira, W., & Babinski, M. (2001): Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso state, Brazi. – Precambrian Research, 111: 91 – 128. – [doi: 10.1016/S0301-9268(01)00158-9]

Gerdes & Zeh (2006) → Gerdes, A., & Zeh, A. (2006): Combined U–Pb and Hf isotope LA-(ICP-MS) analyses of detrital zircons: Comparison with SHRIMP and new constraints for the provenance and age of an Armorican metasediment in Central Germany. – Earth and Planetary Science Letters, 249 (1-2): 47-61. – [doi: 10.1016/j.epsl.2006.06.039]

Gerdes & Zeh (2009) → Gerdes, A., & Zeh, A. (2009): Zircon formation versus zircon alteration – New insights from combined U–Pb and Lu–Hf in-situ LA-ICP-MS analyses, and consequences for the interpretation of Archean zircon from the Central Zone of the Limpopo Belt. – Chemical Geology, 261 (3-4): 230-243. – [doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.03.005]

Gillis et al. (2005) → Gillis, R.J., Gehrels, G.E., Ruiz, J., & Flores de Dios-Gonzaléz, L.A. (2005): Detrital zircon provenance of Cambrian–Ordovician and Carboniferous strata of the Oaxaca terrane, southern Mexico. – Sedimentary Geology, 182 (1-4): 87 – 100. – [doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.07.013]

Girty (1926) → Girty, G.H. (1926): A new area of Carboniferous Rocks in Mexico. – Science, 63: 286 – 287. – [doi: 10.1126/science.63.1628.286]

González de Juana (1980) → González de Juana, C., de Arozena, J.M.I., and Cadillat, X.P. (1980): Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. – Caracas, Tomos I y II, Ediciones Foninves.

González-Guzmán et al. (2016) → González-Guzmán, R., Weber, B., Manjarrez-Juárez, R., Cisneros-de León, A., Hecht, L. & Herguera-García, J.C. (2016): Provenance, age constraints and metamorphism of Ediacaran metasedimentary rocks from the El Triunfo Complex (SE Chiapas, México): evidence for Rodinia breakup and Iapetus active margin. – International Geology Review, 58 (16): 2065-2091. – [doi: 10.1080/00206814.2016.1207208]

González-León (1997) → González-León, C.M. (1997): Secuence stratigraphy and paleogeographic setting of the Antimonio Formation (Late Permian-Early Jurrasic), Sonora, Mexico. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 14 (2): 136 – 148.

González-López et al. (2005) → González-López, J.M., Bauluz, B., Yuste, A., Mayayo, M.J., & Fernández-Nieto, C. (2005): Mineralogical and trace element composition of clay-sized fractions from Albian siliciclastic rocks (Oliete Basin, NE Spain). – Clay Minerals, 40: 565 – 580. – [doi: 10.1180/0009855054040193]

Gromet et al. (1984) → Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A., & Korotev, R.L. (1984): The 'North American shale composite': Its compilation, major and trace element characteristics. – Geochemica et Cosmochimica Acta, 48: 2469 – 2482. – [doi: 10.1016/0016-7037(84)90298-9]

Gross et al. (2000) → Gross, E.L., Stewart, J.H., & Geherls, G.E. (2000): Detrital zircon geochronology of Neoproterozoic to Middle Cambrian miogeoclinal and platformal strata: Northwest Sonora, Mexico. – Geofísica Internacional, 39 (4): 295 – 308.

Gu et al. (2002) → Gu, X.X., Liu, J.M., Zheng, M.H., Tang, X.J., & Qi, L. (2002): Provenance and tectonic setting of the proterozoic turbidites in Hunan, South China: Geochemical Evidence. – Journal of Sedimenaty Research, 72 (3): 393 – 407. – [doi: 10.1306/081601720393]

Gursky (1994) → Gursky, H.J. (1994): Paleozoic stratigraphy of the Peregrina Canyon area, Sierra Madre Oriental, NE Mexico. – Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I: Allgemeine, Angewandte, Regionale und Historische Geologie, 1994 (1996) (7-8): 973-989.

Gursky & Michalzik (1989) → Gursky, H.J., & Michalzik, D. (1989): Lower Permian turbidites in the northern Sierra Madre Oriental, Mexico. – Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie, Teil I: Allgemeine, Angewandte, Regionale und Historische Geologie, 1989 (1989) (5-6): 821-838.

Gursky & Ramírez-Ramírez (1986) → Gursky, H.J. & Ramírez-Ramírez, C. (1986): Notas preliminares sobre el descubrimiento de volcanitas ácidas en el Cañón Caballero (Núcleo del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México). – en: Barbarín, J.M. & Gursky, H.J. (eds.): Aspectos geológicos del noreste de México. – Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares N.L, 1: 11-22.

Haenggi (2001) → Haenggi, W.T. (2001): Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part I: the pre-Mesozoic setting. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, tomo LIV: 28 – 66.

Harnois, L. (1988) → Harnois, L. (1988): The CIW index: A new chemical index of weathering. – Sedimentary Geology, 55 (3-4): 319-322. – [doi: 10.1016/0037-0738(88)90137-6]

Hatcher (2002) → Hatcher, R.D. (2002): Alleghanian (Appalachian) orogeny, a product of zipper tectonics; Rotational transpressive continent-continent collision and closing of ancient oceans along irregular margins. – en: Martínez-Catalán, J.R., Hatcher, R.D., Arenas, R., & Díaz-García, F. (eds): Variscan-Appalachian Dynamics; The building of the late Paleozoic basement: Boulder, Colorado. – Geological Society of America, Special Paper, 364: 199 – 208. – [doi: 10.1130/0-8137-2364-7.199]

Hemming & McLennan (2001) → Hemming, S.R., & McLennan, S.M. (2001): Pb isotope compositions of modern deep sea turbidites. – Earth and Planetary Science Letters, 184: 489 –503. – [doi:10.1016/s0012-821x(00)00340-x]

Hjülstrom (1935) → Hjülstrom, F. (1935): Studies on the Morphological activity of rivers as Illustrated by River Fyris. – Bulletin of the Geological institute, Uppsala, 25: 221 – 527.

Horton et al. (2010) → Horton, B.K., Saylor, J.E., Nie, J., Mora, A., Parra, M., Reyes- Harker, A., & Stockli, D.F. (2010): Linking sedimentation in the northern Andes to basement configuration, Mesozoic extension, and Cenozoic shortening: Evidence from detrital zircon U-Pb ages, Eastern Cordillera, Colombia. – Geological Society of America Bulletin, 122: 1423 – 1442. – [doi:10.1130/B30118.1]

Hoskin & Schaltegger (2003) → Hoskin, P. W. O., & Schaltegger, U. (2003): The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. – en: Hanchar, J.M., & Hoskin, P.W.O. (Eds): Zircon. – Reviews in mineralogy and Geochemestry, 53(1), 27–62. – [doi:10.2113/0530027]

Ibañez-Mejia et al. (2011) → Ibañez-Mejia, M., Ruiz, J., Valencia, V.A., Cardona, A., Gehrels, G.E., & Mora, A.R. (2011): The Putumayo Orogen of Amazonia and its implications for Rodinia reconstructions: New U–Pb geochronological insights into the Proterozoic tectonic evolution of northwestern South America. – Precambrian Research, 191 (1-2): 58–77. – [doi: 10.1016/j.precamres.2011.09.005]

Ingersoll & Suczek (1979) → Ingersoll, R.V., & Suczek, C.A. (1979): Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. – Journal of Sedimentary Research, 49 (4): 1217-1228. – [doi: 10.1306/212F78F1-2B24-11D7-8648000102C1865D]

Ingersoll et al. (1984) → Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Grimm, J.P., Pickle, J.D., & Sares, S.W. (1984): The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-countin method. – Journal of Sedimentary Petrology, 54 (1): 103 – 116. – [doi: 10.1306/212F878D-2B24-11D7-8648000102C1865D]

Ingersoll et al. (2003) → Ingersoll, R.V., Dickinson, W.R., & Graham, S.A. (2003): Remnant-ocean submarine fans: largest sedimentary systems on Earth. – en: Chan, M.A., &Archer, A.W. (Eds.): Extreme Depositional Environments: Mega End Members in Geologic Time. – Geological Society of America Special Papers, 370: 191 – 208. – [doi: 0.1130/0-8137-2370-1.191]

Jackson et al. (1995) → Jackson, T.A., Duke, M.J.M., Scott, P.W., Smith, F. & Wilkinson, F. C. F. (1995): Petrology and Inferred Tectonic Setting of the Mountain Pine Ridge Granitoids, Maya Mountains, Belize. – International Geology Review, 37:1, 26 – 38. – [doi: 10.1080/00206819509465390]

Jackson et al. (2004) → Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L., & Belousova, E.A. (2004): The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. – Chemical Geology, 211 (1-2): 47-69. – [doi: 10.1016/j.chemgeo.2004.06.017]

Jenchen (2018a) → Jenchen, U. (2018a): Petrography and geochemistry of the Triassic El Tranquilo Group, Deseado Massif, Patagonia, Argentina: Implications for provenance and tectonic setting. – Journal of South American Earth Sciences, 88: 530-550. – [doi: 10.1016/j.jsames.2018.09.007]

Jenchen (2018b) → Jenchen, U. (2018b): Petrological and geochemical (major-, trace-, and rare earth element) data of the Triassic El Tranquilo Group, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. – Data in Brief, **21**: 1970-2014. – [doi: 10.1016/j.dib.2018.11.062]

Jenchen (2001) → Jenchen, U. (2001): Fazies und Geochemie in kontinentalen Trias-Becken im westlichen Argentinien und in Patagonien (30º-50ºS). Münstersche Forschungen zur Geologie un Paläontologie 91, 411.

Jenchen & Rosenfeld (2002) → Jenchen, U. & Rosenfeld, U. (2002): Continental Triassic in Argentina: Response to tectonic activity. – Journal of South American Earth Sciences, **15**: 461 – 479. – [doi: 10.1016/S0895-9811(02)00049-4]

Jenchen & Rosenfeld (2007) → Jenchen, U., & Rosenfeld, U. (2007): Geochemical investigations as a tool to sedimentary analyses demonstrated in Argentinean continental Triassic sediments: Methods and aspects. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen, 246 (1): 37-61. – [doi: 10.1127/0077-7749/2007/0246-0037]

Juárez-Zúñiga et al. (2020) → Juárez-Zúñiga, S., Solari, L.A., & Ortega-Obregón, C. (2020): Permian igneous clasts from the Matzitzi Formation, southern Mexico: isotopic constraints on the final amalgamation of Pangea. – Geological Society, London, Special Publications.- [doi: 10.1144/SP503-2019-238]

Keppie (2004) → Keppie, J.D. (2004): Terranes of Mexico revisited; a 1.3 billion year odyssey. – International Geology Review, 46 (9): 765 – 794. – [doi: 10.2747/0020-6814.46.9.765]

Keppie & Ortega-Gutiérrez (2010) → Keppie, J.D., & Ortega-Gutiérrez, F. (2010): 1.3–0.9 Ga Oaxaquia (Mexico): Remnant of an arc/backarc on the northern margin of Amazonia. - Journal of South American Earth Sciences, 29: 21 – 27. – [doi:10.1016/j.jsames.2009.07.001]

Keppie et al. (2006) → Keppie, J.D., Nance, R.D., Fernández-Suárez, J., Storey, C.D., Jeffries, T.E. & Murphy, J.B. (2006): Detrital Zircon Data from the Eastern Mixteca Terrane, Southern Mexico: Evidence for an Ordovician-Mississippian Continental Rise and a Permo-Triassic Clastic Wedge Adjacent to Oaxaquia. – International Geology Review, 48 (2): 97 – 111. – [doi: 10.2747/0020-6814.48.2.97]

Keppie et al. (2007) → Keppie, J.D., Dostal, J., and Eliás-Herrera, M. (2007): Ordovician–Devonian oceanic basalts in the Cosoltepec Formation, Acatlán Complex, southern México: Vestiges of the Rheic Ocean?. – en: Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., and Zulauf, G. (eds.): The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision. – Geological Society of America Special Paper, 423: 477 – 487. – [doi: 10.1130/2007.2423(24)]

Keppie et al. (2008) → Keppie, J.D., Dostal, J., Miller, B.V., Ramos-Arias, M.A., Morales-Gámez, M., Nance, R.D., Murphy, J.B., Ortega-Rivera, A., Lee, J.W.K, Housh, T., & Cooper, P. (2008a): Ordovician–earliest Silurian rift tholeiites in the Acatlán Complex, southern Mexico: Evidence of rifting on the southern margin of the Rheic Ocean. – Tectonophysics, 461: 130–156. – [doi: 10.1016/j.tecto.2008.01.010]

Keppie et al. (2011) → Keppie, J.D., Dostal, J., Norman, M., Urrutia-Fucugauchi, J., & Grajales-Nishimura, M. (2011): Study of melt and a clast of 546 Ma magmatic arc rocks in the 65 Ma Chicxulub bolide breccia, northern Maya block, Mexico: western limit of Ediacaran arc peripheral to northern Gondwana. – International Geology Review, 53 (10): 1180 – 1193. – [doi: 10.1080/00206810903545527]

Keppie et al. (2012a) → Keppie, J.D., Dostal, J., Murphy, J.B., Galaz-Escanilla, G., Ramos-Arias, M.A., & Nance, R.D., (2012a): High pressure rocks of the Acatlán Complex, southern Mexico: large-scale subducted Ordovician rifted passive margin extruded into the upper plate during the Devonian–Carboniferous. – Tectonophysics 560–561: 1–21. – [doi: 10.1016/j.tecto.2012.06.015]

Keppie et al. (2012b) → Keppie, J.D., Nance, R.D., Dostal, J., Lee, J.K.W., & Ortega-Rivera, A. (2012b): Constraints on the subduction erosion/extrusion cycle in the Paleozoic Acatlán Complex of southern Mexico: Geochemistry and geochronology of the type Piaxtla Suite. – Gondwana Research 21: 1050–1065. – [doi: 10.1016/j.gr.2011.07.020]

Kirkland et al. (2015) → Kirkland, C.L., Smithies, R.H., Taylor, R.J.M., Evans, N., McDonald, B. (2015): Zircon Th/U ratios in magmatic environs. – Lithos, 212-215: 397 – 414. – [doi: 10.1016/j.lithos.2014.11.021]

Kirsch et al. (2013) → Kirsch, M., Keppie, J.D., Murphy, B., & Lee K.W. (2013): Arc plutonism in a transtensional regime: the late Palaeozoic Totoltepec pluton, Acatlán Complex, southern Mexico. – International Geology Review 55 (3): 263 – 286. – [doi: 10.1080/00206814.2012.693247]

Krogh et al. (1993a) → Krogh, T.E., Kamo, S.L., & Bohor, B.F. (1993a): Fingerprinting the K/T impact site and determining the time of impact by U Pb dating of single shocked zircons fromdistal ejecta. - Earth and Planetary Science Letters, 119: 425–429. – [doi: 10.1016/0012-821X(93)90150-8]

Krogh et al. (1993b) → Krogh, T.E., Kamo, S.L., Sharpton, V.L., Marin, L.E., & Hildebrands, A.R. (1993b): U/Pb ages of single shocked zircons linking distal K/T ejecta to the Chicxulub crater. – Nature, 366: 731–734. – [doi: 10.1038/366731a0]

Krzeszowska (2019) → Krzeszowska, E. (2019): Geochemistry of the Lublin Formation from the Lublin Coal Basin: T Implications for weathering intensity, palaeoclimate and provenance. – International Journal of Coal Geology, 216: 1 – 12. – doi:[10.1016/j.coal.2019.103306]

Lawton et al. (2020) → Lawton, T.F., Sierra-Rojas, M.I., & Martens, U. (2020): Stratigraphic correlation chart of Carboniferous–Paleogene rocks of Mexico, adjacent southwestern United States, Central America, and Colombia. – en: Martens, U., & Molina Garza, R.S. (eds.): Southern and Central Mexico: Basement Framework, Tectonic Evolution, and Provenance of Mesozoic–Cenozoic Basins. – Geological Society of America Special Paper, 546: 1–28. – [doi:10.1130/2020.2546(05)]

Laya & Tucker (2012) → Laya, J.C. & Tucker, M.E. (2012): Facies analysis and depositional environments of Permian carbonates of the Venezuelan Andes: Palaeogeographic implications for Northern Gondwana. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 331 – 332: 1 – 26. – [doi: 10.1016/j.palaeo.2012.02.011]

Lee et al. (1997) → Lee, J., Williams, I., Ellis, D. (1997): Pb, U and Th diffusion in nature zircon. – Nature, 390 (13): 159 – 162. – [doi: 10.1038/36554]

Long et al. (2012) → Long, X., Yuan, C., Sun, M., Xiao, W., Wang, Y., Cai, K., & Jiang, Y. (2012): Geochemistry and Nd isotopic composition of the Early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, Central Asia: evidence for a northward derived mafic source and insight into Nd model ages in accretionary orogen. – Gondwana Research 22, 554 – 566. – [doi:10.1016/j.gr.2011.04.009]

Lopez (1997) → Lopez, R. (1997): The pre-Jurassic geotectonic evolution of the Coahuila terrane, northwestern Mexico: Grenville basement, a late Paleozoic arc, Triassic plutonism, and the events south of the Ouachita suture. – Tesis Doctoral, Universidad de California, Santa Cruz, California: 55 – 147.

Lopez et al. (2001) → Lopez, R. Cameron, K.L., & Jones, N.W. (2001): Evidence for Paleoproterozoic, Grenvillian, and Pan-African age Gondwanan crust beneath northeastern Mexico. – Precambrian Research, 107: 195 – 214. – [doi: S0301-9268(00)00140-6]

López-Doncel et al. (2005) → López-Doncel, R., Labarthe-Hernández, G., & Mata-Segura, J.L. (2005): Estudio sedimentológico-estratigráfico de la Sierra Las Lilas (Paleozoico) y Sierra El Cartucho (Mesozoico) en la porción noroccidental del Estado de Chihuahua, México (Distrito Minero de Bismark). – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22 (3): 298 – 314.

Lucas & Estep (1999) → Lucas, S. G., & Estep, J. W. (1999): Permian, Triassic and Jurassic stratigraphy, biostratigraphy, and sequence stratigraphy in the Sierra del Alamo Muerto, Sonora, Mexico. – en: Bartolini, C., Wilson, J. L., & Lawton, T. F. (eds.): Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico. – Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340.

Ludwig, K.R (2012) → Ludwig, K.R (2012): User's Manual for Isoplot 4.1: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. – Berkeley Geochronology Center, Special Publication: 5: 75 p.; Berkeley, CA.

Malaza et al. (2016) → Malaza N, Liu K W, & Zhao B J. (2016): Petrology and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Late Palaeozoic Madzaringwe Formation, Tshipise-Pafuri Basin, South Africa. – Science China Earth Sciences. – [doi: 10.1007/s11430-016-5274-z]

Mantilla et al. (2012) → Mantilla, L.C., Bissig, T., Cottle, J.M., & Hart, C.J.R. (2012): Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). – Journal of South American Earth Sciences, 38: 1 – 12. – [doi:10.1016/j.jsames.2012.03.001]

Mantilla-Figueroa & García-Ramírez (2018) → Mantilla-Figueroa, L.C., & García-Ramírez, C.A. (2018): Geología y geocronología de las litologías aforantes en el tramo Mogotes-San Joaquín (sector SW del Macizo de Santander). – Boletín de Geología, 40 (1): 123-144. - [doi: 10.18273/revbol.v40n1-2018008]

Marsaglia et al. (2007) → Marsaglia, K.M., Pavia, J.A., & Maloney, S.J. (2007): Eocene–Albian sandstones and grainstones recovered during ODP Leg 210: implications for passive margin (rift-to-drift) sandstone provenance models. – in: Tucholke, B.E., Sibuet, J.C., Klaus, A. (Eds.): Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results: 210: 1-47. – [doi: 10.2973/odp.proc.sr.210.107.2007]

Martens et al. (2005) → Martens, U., Ortega-Obregón, C., Estrada, J. & Valle, M. (2005): Metamorphism and metamorphic rocks. – en: Bundschuh, J. & Alvarado. G.E. (eds): In Central America: Geology, resources and hazards. – Taylor & Francis, Oxford, UK. : 489 – 526. – [doi: 10.1201/9780203947043]

Martens et al. (2010) → Martens, U., Weber, B., & Valencia, V.A. (2010): U/Pb geochronology of Devonian and older Paleozoic beds in the southeastern Maya block, Central America: Its affinity with peri- Gondwanan terranes. – GSA Bulletin, 122 (5/6): 815 – 829. – [doi: 10.1130/B26405.1]

Martens et al. (2012) → Martens, U.C., Restrepo, J.J., Solari, L.A. (2012): Sinifaná metasedimentites and relations with Cajamarca Paragneisses of the Central Cordillera of Colombia. – Boletín Ciencias de la Tierra, (32): 99-110.

Martínez-Sánchez (2016) → Martínez-Sánchez, L.E. (2016): Estudio geológico, geoquímico y geocronológico del Granito Maxala, del magmatismo carbonífero de México (Hidalgo y Veracruz). – Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Ticomán, Ciudad de México, México.165 p.

McKee et al. (1999) → McKee, J.W., Jones, N.W., & Anderson, T.H. (1999): Late Paleozoic and early Mesozoic history of the Las Delicias terrane, Coahuila, Mexico. – in: Bartolini, C., Wilson, J.L. & Lawton, T.F. (eds.): Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico. – GSA Special Paper, 340: 161 – 189. – [doi:10.1130/0-8137-2340-X.161]

McLennan (1989) → McLennan, S.M. (1989): Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. – en: Lipin, B.R., & McKay G.A. (Eds.): Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. – Reviews in Mineralogy, 21: 169–200.

McLennan et al. (1990) → McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T. & Maynard, J.B. (1990): Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites; crustal evolution and plate tectonic associations. – Geochimica et Cosmochimica Acta, **54 (7)**: 2015-2050. – [doi: 10.1016/0016-7037(90)90269-Q]

McLennan et al. (1993) → McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K. & Hanson, G.N. (1993): Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. – in: Johnsson, J. & Basu, A. (Eds.): Processes controlling the composition of clastic sediments. – GSA Special Paper, **284**: 21-40. – [doi: 10.1130/SPE284-p21]

McMenamin (1987) → McMenamin, M.A.S. (1987): Lower Cambrian trilobites, zonation and correlation of the Puerto Blanco Formation, Sonora, Mexico. – Journal of Paleontology, 61: 738 – 749. – [doi: 10.1017/S0022336000029097]

McMenamin (1996) → McMenamin, M.A.S. (1996): Ediacaran biota from Sonora, Mexico. – Proceedings of the National Academy of Science, USA, 93: 4990 – 4993. – [doi: 10.1073/pnas.93.10.4990]

McMenamin et al. (1994) → McMenamin, M.A.S., Pittenger, S.L., Carson, M.R., & Larrabee, E.M. (1994): Upper Precambrian-Cambrian faunal sequence, Sonora, Mexico, and Lower Cambrian fossils from New Jersey, United States, in Studies of Stratigraphy and Paleontology. – New York State Museum Bulletin, 481, 213 – 227.

Miall & Blackey (2008) → Miall, A.D., & Blackey, R.C. (2008): The Phanerozoic Tectonic and Sedimentary Evolution of North America. - The Sedimentary Basins of the United States and Canada. – [doi: 10.1016/B978-0-444-63895-3.00001-2]

Middleton et al. (2007) → Middleton, M., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Miller, B.V., Nance, R.D., Ortega-Rivera, A., & Lee, J.K.W. (2007): P-T-t constraints on exhumation following subduction in the Rheic Ocean from eclogitic rocks in the Acatlan Complex of southern Mexico. – Geological Society of America, Special Papers, 423: 489–509. – [doi: 10.1130/2007. 2423(25)]

Miller et al. (2007) → Miller, B.V., Dostal, J., Keppie, J.D., Nance, R.D., Ortega-Rivera, A., & Lee, J.K.W. (2007): Ordovician calc-alkaline granitoids in the Acatlán Complex, southern México: Geochemical and geochronologic data and implications for the tectonics of the Gondwanan margin of the Rheic Ocean. – en: Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., & Zulauf, G. (eds.): The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision. – Geological Society of America Special Paper 423: 465 – 475. – [doi: 10.1130/2007.2423(23)]

Molina-Garza & Iriondo (2005) → Molina-Garza, R.S., & Iriondo, A. (2005): La Megacizalla Mojave-Sonora: la hipótesis, la controversia y el estado actual de conocimiento. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Grandes Fronteras Tectónicas de México, Tomo LVII (1): 1 – 26.

Moore & Dennen (1970) → Moore, B.R. & Dennen, W.H. (1970): A geochemical trend in Silicon-Aluminium-Iron ratios and the classification of clastic sediments. – Journal of Sedimentary Petrology, 40 (4): 1147-1152. – [doi: 10.1306/74D72153-2B21-11D7-8648000102C1865D]

Morales-Gámez et al. (2008) → Moralez-Gámez, M., Keppie, J.D., & Norman, M. (2008): Ordovician–Silurian rift-passive margin on the Mexican margin of the Rheic Ocean overlain by Carboniferous–Permian periarc rocks: Evidence from the eastern Acatlán Complex, southern Mexico. – Tectonophyscis, 461: 291 – 310. – [doi: 10.1016/j.tecto.2008.01.014]

Murali et al. (1983) → Murali, A.V., Parthasarathy, R., Mahadevan, T.M., & Sankar Das, M. (1983): Trace element characteristics, REE patterns and partition coefficients of zircons from different geological environment. – a case study on Indian zircons. – Geochimica et Cosmochimica Acta, 47: 2047–2052. – [doi: 10.1016/0016-7037(83)90220-X]

Murphy & Keppie (2005) → Murphy, J.B., & Keppie, J.D. (2005) The Acadian orogeny in the Northern Appalachians. – International Geology Review ,47, 663-687. – [doi: 10.2747/0020-6814.47.7.663]

Murphy et al. (2005) → Murphy, J.B., Keppie, J.D., Braid, F.J., & Nance, R.D., (2005): Geochemistry of the Tremadocian Tiñu Formation (Southern Mexico): Provenance in the Underlying ~1 Ga Oaxacan Complex on the Southern Margin of the Rheic Ocean. – International Geology Review, 47: 887 – 900. – [doi: 10.2747/0020-6814.47.9.887]

Murphy et al. (2006) → Murphy, J.B., Keppie, J.D., Nance, R.D., Miller, B.V., Dostal, J., Middleton, M., Fernández-Suárez, J., Jeffries, T.E., & Storey, C.D. (2006): Geochemistry and U–Pb protolith ages of eclogitic rocks of the Asís Lithodeme, Piaxtla Suite, Acatlán Complex, southern Mexico: tectonothermal activity along the southern margin of the Rheic Ocean. – Journal of Geological Society, London, 163: 683- 695.

Nance et al. (2007a) → Nance, R.D., Miller, B.V., Keppie, J.D., Murphy, J.B., & Dostal, J. (2007a): Vestige of the Rheic Ocean in North America: The Acatlán Complex of southern Mexico. – en: Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., & Zulauf, G. (eds.): The evoluition of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision. – Geological Society of America Special Paper, 423: 437 – 452. – [doi: 10.1130/2007.24.23(21)]

Nance et al. (2007b) → Nance, R.D., Fernández-Suárez, J., Keppie, J.D., Storey, C., & Jeffries, T.E. (2007): Provenance of the Granjeno Schist, Ciudad Victoria, México: Detrital zircón U-Pb age constraints and implications for the Paleozoic paleogeography of the Rheic Ocean. – en: Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., & Zulauf, G. (eds.): The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision. – GSA Special Paper, 423: 453 – 464. – [doi: 10.1130/2007.2423(22)]

Nance et al. (2012) → Nance, D.R., Gutiérrez-Alonso, G., Keppie, J.D., Linnemann, U., Murphy, J.B., Quesada, C., Strachan, R.A. & Woodcock, N.H. (2012): A Brief history of the Rheic Ocean. – Journal of the China University of Geosciences (Beijing), Geoscience Frontiers: 125-135. – [doi: 10.1016/j.gsf.2011.11.008]

Nance et al. (2009) → Nance, R.D., Keppie, J.D., Miller, B.V., Murphy, J.B., & Dostal, J. (2009): Palaeozoic palaeogeography of Mexico: constraints from detrital zircon age data. – Geological Society, London, Special Publications 327: 239–269. – [doi: 10.1144/SP327.12]

Nasdala et al. (2016) → Nasdala, L., Corfu, F., Valley, J.W., Spicuzza, M.J., Wu, F.Y., Li, Q.L., Yang, Y.H., Fisher, C., Münker, C., Kennedy, A.K., Reiner,s P.W., Kronz, A., Wiedenbeck, M., Wirth, R., Chanmuang, C., Zeug, M., Váczi, T., Norberg, N., Häger, T., Kröner, A., & Hofmeister, W. (2016): Zircon M127 – A reference material for U-Pb combined with hafnium, oxygen and, potentially, lithium isotope analysis. – Geostandards and Geoanalytical Research, 40 (4): 457-475. – [doi: 10.1111/ggr.12123]

Nathan (1976) → Nathan, S. (1976): Geochemistry of Greenland Group (Early Ordovician), New Zealand. – New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 19 (5): 683-706. – [doi: 10.1080/00288306.1976.10426314]

Navarro-Santillan et al. (2002) → Navarro- Santillan, D., Sour-Tovar, F., & Centeno-García, E. (2002): Lower Mississippian (Osagean) brachiopods from the Santiago Formation, Oaxaca, Mexico: stratigraphic and tectonic implications. – Journal of South American Earth Sciences, 15: 327 – 336. – [doi: 10.1016/S0895-9811(02)00047-0]

Nesbitt & Young (1982) → Nesbitt, H.W., & Young, G.M. (1982): Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. – Nature 299, 715–717. – [doi: 10.1038/299715a0]

Nesbitt & Young (1984) → Nesbitt, H.W. & Young, G.M. (1984): Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. – Geochimica et Cosmochimica Acta, 48: 1523-1534. – [doi: 10.1016/0016-7037(84)90408-3]

Noll et al. (1984) → Noll, J.H., Dutro, J.T., Jr., & Beus, S.S. (1984): A new species of the Late Devonian (Famennian) brachiopod Dzieduszyckia from Sonora, Mexico. – Journal of Paleontology, 58 (6): 1412 – 1421.

Ocampo-Díaz (2011) → Ocampo-Díaz, Y.Z.E. (2011): Implicaciones tectono-sedimentarias de las intercalaciones clásticas en el límite Jurásico – Cretácico del noreste de México (Fosa de Monterrey y Cuenca de Sabinas). – Tesis Doctoral, UANL: 275 pp.

Ohta (2004) → Ohta, T. (2004): Geochemistry of Jurassic to earliest Cretaceous deposits in the Nagato Basin, SW Japan: implication of factor analysis to sorting effects and provenance signatures. – Sedimentary Geology, 171: 159 – 180. – [doi: 10.1016/j.sedgeo.2004.05.014]

Ortega-Gutiérrez (1978) → Ortega-Gutiérrez, F. (1978): El Gneis Novillo y rocas metamórficas asociadas en los cañones del Novillo y de la Peregrina, área de Ciudad Victoria, Tamaulipas. – Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 2 (1): 19 – 30.

Ortega-Gutiérrez et al. (1995) → Ortega-Gutiérrez, F., Ruíz, J., & Centeno-García, E. (1995): Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. – Geology, 23 (12): 1127– 1130. – [doi: 10.1130/0091-7613(1995)023<1127:OAPMAT>2.3.CO;2]

Ortega-Gutiérrez et al. (1999) → Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macias-Romo, C., & Lopez, R. (1999): Late Ordovician-Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections. – Geology 28, 719–722. –[doi: 10.1130/0091-7613(1999)027<0719:LOESCC>2.3.CO;2]

Ortega-Gutiérrez et al. (2018) → Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Morán-Zenteno, D. J., Solari, L., Weber, B., & Luna-González L. (2018): The pre-Mesozoic metamorphic basament of Mexico, 1.5 billones years of cristal evolution. – Earth-Science Reviews. – [doi: 10.1016/j.earscirev.2018.03.006]

Ortega-Obregón et al. (2008) → Ortega-Obregón, C., Solari, L.A., Keppie. J.D., Ortega-Gutiérrez, F., Solé, J., & Morán-Ical, S. R. (2008): Middle-Late Ordovician magmatism and Late Cretaceous collision in the southern Maya block, Rabinal-Salamá area, central Guatemala: Implications for North America–Caribbean plate tectonics. – GSA Bulletin:. – [doi: 10.1130/B26238.1]

Ortega-Obregón et al. (2009) → Ortega-Obregón, C., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Lee, J.K.W., & Ortega-Rivera, A. (2009): Geology and geochronology of Paleozoic rocks in western Acatlán Complex, southern Mexico: Evidence for contiguity across an extruded high-pressure belt and constraints on Paleozoic reconstruction. – GSA Bulletin, 121 (11/12): 1678 – 1694. – [doi: 10.1130/B26597.1]

Ortega-Obregón et al. (2014) → Ortega-Obregón, C., Solari, L., Gómez-Tuena, A., Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., & Macías-Romo, C. (2014): Permian–Carboniferous arc magmatism in southern Mexico: U–Pb dating, trace element and Hf isotopic evidence on zircons of earliest subduction beneath the western margin of Gondwana. – International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 103 (5): 1287-1300. – [doi: 10.1007/s00531-013-0933-1]

Pemberton & McEachern (1992) → Pemberton, G., & MacEachern, J.A. (1992): Trace Fossil Facies Models: Environmental and Allostratigraphic Significance. – en: Walker, R.G., & James, N.P. (eds.): Facies Models: Re- sponse to Sea Level Change. – Geological Association of Canada GeoText 1, Newfoundland: 47 - 72.

Pettijohn (1963) → Pettijohn, F.J. (1963): Chemical composition of sandstones: excluding carbonate and volcanic sands: data of geochemistry. – U.S. Geological Survey, Professional Paper, 440 (S): 1-21. – [doi: 10.3133/pp440S]

Pettijohn et al. (1972) → Pettijohn, F.J., Potter, P.E. & Siever, R. (1972): Sand and sandstones. –Springer (New York): 618 pp.

Poole et al. (1995) → Poole, F. G., Stewart, J. H., Berry, W. B. N., Harris, A. G., Repetski, J. E.,Madrid, R. J., Ketner, K. B., Carter, C., & Morales-Ramírez, J. M. (1995): Ordovician ocean-basin rocks of Sonora, Mexico. – en Cooper, J. D., Droser, M. L. & Finney, S. C. (eds.): Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System, Las Vegas. – Fullerton, Calif., Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM) book, 77: 277 – 284.

Poole et al. (1997) → Poole, F.G., Page, W.R., & Amaya-Martínez, R. (1997): Newly discovered Silurian carbonate-shelf rocks in west-central Sonora, Mexico. – Geological Society of America Abstracts with Programs, 29 (6): 483pp.

Poole et al. (2008) → Poole, F.G., Gehrels, G.E., & Stewart, J.H. (2008): Significance of detrital zircons in Upper Devonian ocean-basin strata of the Sonora allochthon and Lower Permian synorogenic strata of the Mina México foredeep, central Sonora, México. – en: Blodgett, R.B., & Stanley, G.D., Jr. (eds): The terrane puzzle: New perspectives on paleontology and stratigraphy from the North American Cordillera. – Geological Society of America Special Paper, 442: 121–131. – [doi: 10.1130/2008.442(08)]

Ramírez-Fernández & Jenchen (2016) → Ramírez-Fernández, J.A., & Jenchen, U. (2016): Cinturones orogénicos sepultados bajo la Sierra Madre Oriental: basamento precámbrico y paleozoico. – Ciencia UANL., (80): 56 – 62.

Ramírez-Fernández et al. (2021) → Ramírez-Fernández J.A., Alemán-Gallardo, E.A., Cruz-Castillo, D., Velasco-Tapia, F., Jenchen, U., Becchio, R., De León-Barragán, L., & Casas-Peña, J.M. (2021):Early Mississippian precollisional, peri-Gondwanan volcanic arc in NE-Mexico: Asseradero Rhyolite from Ciudad Victoria, Tamaulipas. – International Journal of Earth Sciences. – [doi: 10.007/s00531-021-01992-3]

Ramírez-Ramírez (1992) → Ramírez-Ramírez, C. (1992): Pre-Mesozoic geology of Huizachal-Peregrina Anticlinorium, Ciudad Victoria, Tamaulipas, and adjacent parts of eastern Mexico. – Tesis Doctoral, Universidad de Texas, Austín, Tx.: 317 pp.

Ramírez-Ramírez, (1978): → Ramírez-Ramírez, C. (1978): Reinterpretación Tectónica del Esquisto Granjeno de Ciudad Victoria, Tamaulipas. – Revista del Instituto de Geología, UNAM, 2: 5-42.

Ramos-Arias & Keppie (2010) → Ramos-Arias, M.A., Keppie, J.D. (2010): U-Pb Neoproterozoic-Ordovician protolith age constraints for high- to medium- pressure rocks thrust over low-grade metamorphic rocks in theIxcamilpa area, Acatlán Complex, southern Mexico. – Canadian Journal of Earth Sciences, 48: 45 – 61. – [doi: 10.1139/E10-082]

Restrepo-Pace et al. (1997) → Restrepo-Pace, P.A., Ruíz, J. Gehrels, G., & Cosca, M. (1997): Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes; new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. – Earth and Planetary Science Letters, 150: 427 – 441. – [doi: 10.1016/S0012-821X(97)00091-5]

Rosales-Lagarde et al. (2005) → Rosales-Lagarde, L., Centeno-García, E., Dostal, J., Sour-Tovar, F., Ochoa- Camarillo, H., & Quiroz-Barroso, S. (2005): The Tuzancoa Formation: Evidence of an Early Permian Submarine Continental Arc in East-Central Mexico. – International Geology Review, 47: 901 – 919. – [doi: 0020-6814/05/822/901-19]

Roser & Korsch (1986) → Roser, B.P., & Korsch, R.J. (1986): Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O-ratio. – Journal of Geology, 94 (5): 635-650. – [doi: 10.1086/629071]

Roser & Korsch (1988) → Roser, B.P., & Korsch, R.J. (1988): Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. ─ Chemical Geology, 67 (1-2): 119-139. – [doi: 10.1016/0009-2541(88)90010-1]

Sánchez-Zavala et al. (1999) → Sánchez-Zavala, J.L., Centeno-García, E., & Ortega-Gutiérrez, F. (1999): Review of Paleozoic stratigraphy of México and its role in the Gondwana- Laurentia connections. – en: Ramos, V. A., & Keppie, J. D. (eds.): Laurentia-Gondwana Connections before Pangea: Boulder, Colorado. – Geological Society of America, Special Paper, 336. – [doi: 10.1130/SPE336]

Sánchez-Zavala et al. (2004) → Sánchez-Zavala, J.L., Jenner, G.A., Belousova, E.A., & Macías-Romo, C. (2004): Ordovician and Mesoproterozoic zircons from the Tecomate Formation and Esperanza granitoids, Acatlán Complex, southern Mexico: Local provenance in the Acatlán and Oaxacan Complexes. – International Geology Review, 46 (11): 1005 – 1021. – [doi: 10.2747/0020-6814.46.11.1005]

Schlumberger (1985) → Schlumberger (1985): Log Interpretation Charts. – Schlumberger, New York, USA. 207 pp.

Sedlock et al. (1993) → Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F. & Speed, R.C. (1993): Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. – Geological Society of America, Special Paper, 278: 153 pp. – [doi: 10.1130/SPE278]

Shadan & Hosseini-Barzi (2013) → Shadan, M., & Hosseini-Barzi, M. (2013): Petrography and geochemistry of the Ab-e-Haji Formation in central Iran: implications for provenance and tectonic setting in the southern part of the Tabas block. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 30 (1): 80 – 95.

Sláma et al. (2008) → Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A. Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., & Whitehouse, M.J. (2008): Plešovice zircon – A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. – Chemical Geology, 249 (1-2): 1-35. – [doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.11.005]

Siegle (2015) → Siegle, D. (2015): Critical values of the Pearson Product-Moment Correlation Cofficient. – Neag School of Education, University of Connecticut: Extraído de: https://researchbasics.education.uconn.edu/r_critical_value_table/#

Solari et al. (2003) → Solari, L.A., Keppie, J.D., Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K.L., Lopez, R., & Hames, W.E. (2003): 990 and 1100 Ma Grenvillian tectonothermal events in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: roots of an orogen. – Tectonophysics, 365 (1-4): 257 – 282. – [doi: 10.1016/s0040- 1951(03)00025-8]

Solari et al. (2010) → Solari, L.A., Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Gómez-Tuena, A., & Schaaf, P. (2010): Refning the age of magmatism in the Altos Cuchumatanes, western Guatemala, by LA-ICPMS, and tectonic implications. – International Geology Review, 52 (9): 977-998. – [doi: 10.1080/00206810903216962]

Soreghan & Soreghan (2013) → Soreghan, G.S. & Soreghan, M.J (2013): Tracing clastic delivery to the Premian Delaware Basin, USA: implications for paleogeography and circulation in Westernmost equatorial Pangea. – Journal of Sedimentary Research, 83: 786 – 802. – [doi: 10.2110/jsr.2013.63]

Soto-Kerans et al. (2020) → Soto-Kerans, G.M., Stockli, D.F., Janson, X., Lawton, T.F., & Covault, J.A. (2020): Orogen proximal sedimentation in the Permian foreland basin. – Geosphere, 16 (2): 567 – 593. – [doi:10.1130 /GES02108.1.]

Sour-Tovar & Martínez-Chacón (2004) → Sour-Tovar, F., & Martínez-Chacón, M.L. (2004): Braquiópodos chonetoideos del Carbonífero de México. [Chonetoidea (Brachiopoda) from the Carboniferous of Mexico]. – Revista Española de Paleontología, 19 (2): 125-138.

Sour-Tovar & Martínez-Chacón (2004) → Sour-Tovar, F., & Martínez-Chacón, M.L. (2004): Braquiópodos chonetoideos del Carbonífero de México. [Chonetoidea (Brachiopoda) from the Carboniferous of Mexico. – Revista Española de Paleontología, 19 (2): 125-138.

Sour-Tovar et al. (2005) → Sour-Tovar, F., Álvarez, F., & Martínez Chacón, M.L. (2005): Lower Mississippian (Osagean) spire-bearing Brachiopods from Cañón de la Peregrina, North of Ciudad Victoria, Tamaulipas, northeastern México. – Journal of Paleontology, 79 (3), 469-485. – [doi: 10.1666/0022-3360(2005)079<0469:LMOSBF>2.0.CO;2]

Sour-Tovar et al. (2016) → Sour-Tovar, F., Quiroz-Barroso, S.A., Quiroz-Barragán, J., Torres-Martínez, M.A., González-Mora, S. (2016): Presencia de Anispoyge perannulata y Ditomopyge D. whitei (Trilobita, Proetidae) en el Pémico (Guadalupiano medio) de la Formación Las Delicias, Coahuila, norte de México. – Paleontología Mexicana, 5 (2): 103 – 109.

Spikings et al. (2015) → Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., and Beate, B. (2015): The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). – Gondwana Research, 27 (1): 95 – 139. – [doi: 10.1016/j.gr.2014.06.004]

Stacey & Kramers (1975) → Stacey, J.S.K. & Kramers, J.D. (1975): Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. – Earth and Planetary Science Letters, 26 (2); 207-221. – [doi: 10.1016/0012-821X(75)90088-6]

Steiner & Walker (1996) → Steiner, M.B., & Walker, J.D. (1996): Late Silurian plutons in Yucatan. – Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 101 (B8): 17727 – 17735. – [doi: 10.1029/96jb00174]

Stewart et al. (1984) → Stewart, J.H, McMenamin, M.A.S., & Morales-Ramírez, J.M (1984): Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico – physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies, and regional relations. – U.S Geological Survey Professional paper, 1309: 36 pp. – [doi: 10.3133/pp1309]

Stewart et al. (1990) → Stewart, J.H., Poole, F.G., Ketner, K.B., Madrid, R.J., Roldán-Quintana, J., & Amaya-Martínez, R. (1990): Tectonics and stratigraphy of the Paleozoic and Triassic southern margin of North America, Sonora, Mexico. – en: Gehrels, G.E., & Spencer, J.E. (eds.): Geologic excursions through the Sonoran Desert Region, Arizona and Sonora. – Arizona Geological Survey Special Paper, 7: 183 – 202.

Stewart et al. (1997) → Stewart, J. H., Amaya-Martínez, R., Stamm, R.G., Wardlaw, B.R., Stanley, G.D. Jr., & Stevens, C.H. (1997): Stratigraphy and regional significance of Mississippian to Jurassic rocks in Sierra Santa, Teresa, Sonora, México. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 14 (2): 115 – 135.

Stewart et al. (1999) → Stewart, J.H., Blodgett, R.B., Boucot, A.J., Carter, J.L. & Lopez, R. (1999): Exotic Paleozoic strata of Gondwanan provenance near Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico. – en: Ramos, V.A. & Keppie, J.D. (eds.): Laurentia-Gondwana connections before Pangea. – GSA Special Paper, 336: 227 – 252. – [doi: 10.1130/0-8137-2336-1.227]

Stewart et al. (2002) → Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R., & Palmer, A.R., (2002): Neoproterozoic and Cambrian strata of Sonora, Mexico: Rodinian supercontinent to Laurentian Cordilleran margin. – en: Barth, A. (eds.): Contributions to Crustal Evolution of the Southwestern United States. – Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 365; 5 – 48. – [doi: 10.1130/0-8137-2365-5.5]

Talavera-Mendoza et al. (2005) → Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Meza-Figueroa, D.M., Vega-Granillo, R. & Campa-Uranga, M.F. (2005): U–Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico. – Earth and Planetary Science Letters, 235 (3-4): 682 – 699. – [doi: 10.1016/j.epsl.2005.04.013]

Talavera-Mendoza et al. (2007) →Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Valencia, V.A., & Centeno-García, E. (2007): Detrital zircon U/Pb geochronology of southern Guerrero and western Mixteca arc successions (southern Mexico): New insights for the tectonic evolution of southwestern North America during the late Mesozoic. – GSA Bulletin, 119 (9/10): 1052 – 1065. – [doi: 10.1130/B26016.1]

Tassinari & Geraldes (2000) → Tassinari, C.C.G., Bettencourt, J.S., & Geraldes, M.C. (2000): The Amazon craton. – en: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A., & Campos, D.A. (eds.): Tectonic evolution of South America. – Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, 41 – 95.

Taylor & McLennan (1985) → Taylor, S.R. & McLennan, S.M. (1985): The Continental Crust: Its Composition and Evolution. – Blackwell Scientific Publications: 312 pp.

Tazzo-Rangel et al. (2018) → Tazzo-Rangel, D.M., Weber, B., González-Guzmán, R., Valencia, V.A., Frei, D., Schaaf, P., & Solari, L.A. (2018): Multiple metamorphic events in the Palaeozoic Mérida Andes basement, Venezuela: insights from U–Pb geochronology and Hf–Nd isotope systematics. – International Geology Review: 1 – 37. – [doi: 10.1080/00206814.2018.1522520]

Teixeira et al. (1989) → Teixeira, W., Tassinari, C., Cordani, U., & Kawashita, K (1989): A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications. – Precambrian Research, 42 (3-4): 213–227. – [doi:10.1016/0301-9268(89)90012-0]

Thomas et al. (2019) → Thomas, W.A., Gehrels, G.E., Lawton, T.F., Satterfield, J.I., Romero, M.C., & Sundell, K.E. (2019): Detrital zircons and sediment dispersal from the Coahuila terrane of northern Mexico into the Marathon foreland of the southern Midcontinent. – Geosphere, 15 (4):. 1102–1127. - [doi:10.1130 /GES02033.1.]

Tolson (2005 →Tolson, G. (2005): La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57: 111–122.

Torres-Martínez & Sour-Tovar (2016) → Torres-Martínez, M.A., & Sour-Tovar, F. (2016): Braquiópodos discínidos (Lingulida, Discinoidea) de la Formación Ixtaltepec, Carbonífero del área de Santiago Ixtaltepec, Oaxaca. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68 (2): 313 – 321. – [doi: 10.18268/BSGM2016v68n2a9]

Torres-Sánchez et al. (2015) → Torres-Sánchez, S.A., Augustsson, C., Barboza-Gudiño. J.R., Jenchen, U., Ramírez-Fernández, J.A., Abratis, M., & Schersten, A. (2015): Magmatic source and metamorphic grade of metavolcanic rocks from the Granjeno Schist: was northeastern Mexico a part of Pangaea?. – Geological Journal. – [doi:10.1002/gj.2702.]

Torres-Sánchez et al. (2017) → Torres-Sánchez, S.A., Augustsson, C., Jenchen, U., Barboza-Gudiño, J. R., Alemán-Gallardo, E., Ramírez-Fernández, J. A., Torres- Sánchez, D. & Abratis, M. (2017): Petrology and geochemistry of meta-ultramafic rocks in the Paleozoic Granjeno Schist, northeastern Mexico: Remnants of Pangaea ocean floor. – Open Geoscience, 9: 361 – 384. – [doi: 10.1515/geo-2017-0029]

Torres-Sánchez et al. (2021) → Torres-Sánchez, S.A., Augustsson, C., Jenchen, U., Barboza-Gudiño, J.R., Gärtner, A., Hofmann, M. & Linnemann, U. (2021): Geochemistry and detrital zircon geochronology of metasedimentary rocks in the Sierra Madre Terrane, Mexico: Implications of deposition along the western margin of Pangea. – Geological Journal (4108): 1-36. – [doi: 10.1002/gj.4108]

Torsvik & Cocks (2004) → Torsvik T.H., & Cocks L.R.M. (2004): Earth geography from 400 to 250 Ma: a paleomagnetic, faunal and facies review – Journal of the Geological Society, 161: 555-572.

Torsvik & Cocks (2011) → Torsvik T.H., & Cocks L.R.M. (2011): The Palaeozoic palaeogeography of central Gondwana. – en: Van Hinsbergen, D. J. J., Buiter, S. J. H., Torsvik, T. H., Gaina, C. & Webb, S. J. (eds): The Formation and Evolution of Africa: A Synopsis of 3.8 Ga of Earth History. – Geological Society, London, Special Publications, 357, 137–166. – [doi: 10.1144/SP357]

Torsvik & Rehnström (2003) → Torsvik, T.H., & Rehnström, E.F. (2003): The Tornquist sea and Baltica-Avalonia docking. – Tectonophysics, 362: 67-82. – [doi:10.1016/S0040-1951(02)00631-5]

Trainor et al. (2011) → Trainor, R.J., Nance, R.D. & Keppie, J.D. (2011): Tectonothermal history of the Mesoproterozoic Novillo Gneiss of eastern Mexico: support for a coherent Oaxaquia microcontinent. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 28 (3): 580 – 592.

Tucker (2011) → Tucker, M.E. (2011): Sedimentary Rocks in the Field: A Practical Guide. – 4th ed. Wiley- Blackwell, West Sussex, U.K: 276 pp

Urueña-Suarez & Zuluaga (2011) → Urueña-Suárez, C.L., & Zuluaga, C.A. (2011): Petrography of the Bucaramanga Gneiss near to Cepita, Berlin and Vetas - Santander. – Geología Colombiana, 36 (1), 37 – 56.

Vachard & Flores de Dios (2002) → Vachard, D., & Flores de Dios, A. (2002): Discovery of Latest Devonian/Earliest Mississippian microfossils in San Salvador Patlanoaya (Puebla, Mexico); biogeographic and geodynamic consequences. – Geoscience, 334: 1095–1101. – [doi: 10.1016/S1631-0713(02)01851-5]

van der Lelij et al. (2016) → van der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A., Chiaradia, M., & Mora, A. (2016): Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. – Gondwana Research, 31: 271 – 294. – [doi: 10.1016/j.gr.2015.01.01]

Vega-Granillo et al. (2007) → Vega-Granillo, R., Talavera-Mendoza, O., Meza-Figueroa, D., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Lopez-Martinez, M., & De la Cruz-Vargas, J.C. (2007): Pressure-temperature-time evolution of Paleozoic high-pressure rocks

of the Acatlan Complex (southern Mexico): implica- tions for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans. – Geological Society of America Bulletin, 119: 1249 – 1264. – [doi: 10.1130/B226031.1]

Vermeesch (2009) → Vermeesch, P. (2009): RadialPlotter: A Java application for fission track, luminescence and other radial plots. – Radiation Measurements 44: 409 – 410– [doi: 10.1016/j.radmeas.2009.05.003]

Vermeesch (2018) → Vermeesch, P. (2018): IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. – Geoscience Frontiers, 9 (5): 1479-1493. – [doi: 10.1016/j.gsf.2018.04.001]

Villanueva-Olea et al. (2019) → Villanueva-Olea, R., Barragán, R., Palafox-Reyes, J.J., Jiménez-López, J.C., & Buitrón-Sánchez B.E. (2019): Microfacies and stable isotope analyses from the Carboniferous of the La Joya section in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 71 (3): 585 – 607. – [doi: 10.18268/BSGM2019v71n3a1]

Vinasco et al. (2006) → Vinasco, C.J., Cordani, U.G., González, H., Weber, M., & Pelaez, C. (2006): Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. – Journal of South American Earth Sciences 21 (4): 355 – 371. – [doi: 10.1016/j.jsames.2006.07.007]

Visher (1969) → Visher, G.S. (1969): Grain Size Distribution and Depositional Processes. – Journal Sedimentary Petrology, 39, 1074 – 1106. – [doi: 10.1306/74D71D9D-2B21-11D7-8648000102C1865D]

Walker & Plint (1992) → Walker, R.G., & Plint, A.G. (1992): Wave- and Storm-Dominated Shallow Marine Systems. – en: Walker, R.G., James, N.P. (eds.): Facies Models: Response to Sea Level Change Geological Association of Canada. – Geological Association of Canada GeoText: 219 - 238. – [doi: 10.1002/gj.3350290317]

Wang et al. (2011) → Wang, X., Griffin, W.L., Chen, J., Huang, P., & Li, X. (2011): U and Th contents and Th/U ratios of Zircon in Felsic and Mafic Magmatic rocks: improved zircon-melt distribution coefficients. – Acta geologica Sinica, 85 (1): 164 – 174. – [doi: 10.1111/j.1755-6724.2011.00387.x]

Weber & Köhler (1999) → Weber, B., & Köhler, H. (1999): Sm-Nd, Rb-Sr, and U-Pb isotope geochronology of a Grenville terrane in South- ern Mexico: Origin and geologic history of the Guichicovi complex. – Precambrian Research, 96: 245 – 262. – [10.1016/S0301-9268(99)00012-1]

Weber & Schulze (2014) → Weber, B., & Schulze, C.H. (2014): Early Mesoproterozoic (>1.4 Ga) ages from granulite basement inliers of SE Mexico and their implications on the Oaxaquia concept – Evidence from U-Pb and Lu-Hf isotopes on zircon. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 31 (3): 377 – 394.

Weber et al. (2005) → Weber, B., Cameron, K.L., Osorio, M., & Schaaf, P. (2005): A Late Permian Tectonothermal Event in Grenville Crust of the Southern Maya Terrane: U-Pb Zircon Ages from the Chiapas Massif, Southeastern Mexico. – International Geology Review, 47: 509 – 529. – [doi: 10.2747/0020-6814.47.5.509]

Weber et al. (2006) → Weber, B., Schaaf, P., Valencia, V.A., Iriondo, A., & Ortega-Gutiérrez, F. (2006): Provenance ages of late Paleozoic sandstones (Santa Rosa Formation) from the Maya block, SE Mexico. Implications on the tectonic evolution of western Pangea. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 23 (3): 262 – 276.

Weber et al. (2007) → Weber B, Iriondo A, Premo W, Hecht L,& Schaaf P (2007): New insights into the history and origin of the southern Maya block, SE México: U–Pb–SHRIMP zircon geochronology from metamorphic rocks of the Chiapas massif. – International Journal Earth Science, 96: 253 – 269. – [doi: 10.1007/s00531-006-0093-7]

Weber et al. (2008) → Weber, B., Valencia, V.A., Schaaf, P., Pompa-Mera, V., & Ruíz, J. (2008): Significance of provenance ages from the Chiapas Massif Complex (Southeastern Mexico): Redefining the Paleozoic basement of the Maya Block and its evolution in a Peri-Gondwana realm. – The Journal of Geology, 116: 619 – 639. – [doi: 10.1086/591994]

Weber et al. (2009) → Weber, B., Valencia, V.A., Schaaf, P. & Ortega-Gutiérrez, F. (2009): Detrital zircon ages from the Lower Santa Rosa Formation, Chiapas: implications on regional Paleozoic stratigraphy. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26 (1): 260 – 276.

Weber et al. (2010) → Weber, B., Scherer, E.E., Schulze, C., Valencia, V.A., Montecinos, P., Mezger, K., & Ruiz, J. (2010): U–Pb and Lu–Hf isotope systematics of lower crust from central-southern Mexico – Geodynamic significance of Oaxaquia in a Rodinia Realm. – Precambrian Research, 182 (1-2): 149–162. – [doi: 10.1016/j.precamres.2010.07.007]]

Weber et al. (2012) → Weber, B., Scherer, E.E., Martens, U.K., & Mezger, K. (2012): Where did the lower Paleozoic rocks of Yucatan come from? A U–Pb, Lu–Hf, and Sm–Nd isotope study. – Chemical Geology, 312–313: 1–17. – [doi: 10.1016/j.chemgeo.2012.04.010]

Weber et al. (2018) → Weber, B., González-Guzmán, R., Manjarrez-Juárez, R., Cisneros de León, A., Martens, U., Solari, L., Hecht, L., & Valencia, V. (2018): Late Mesoproterozoic to Early Paleozoic history of metamorphic basement from

the southeastern Chiapas Massif Complex, Mexico, and implications for the evolution of NW Gondwana. – Lithos 300–301, 177–179. – [doi: 10.1016/j.lithos.2017.12.009]

Weber et al. (2019) → Weber, B., Schmitt, A.K., Cisneros-de León, A. E., & González-Guzmán, R. (2019): Coeval Early Ediacaran break-up of Amazonia, Baltica, and Laurentia: Evidence from micro- baddeleyite dating of dykes from the Novillo Canyon, Mexico. – Geophysical Research Letters, 46: 2003 – 2011. – [doi: 10.1029/2018GL079976]

Weber et al. (2020) →Weber, B., Schmitt, A.K., & Cisneros de León, A.E. (2020): Neoproterozoic extension and the Central Iapetus Magmatic Province in southern Mexico – New U-Pb ages, Hf-O isotopes and trace element data of zircon from the Chiapas Massif Complex. – Gondwana Research: 20 pp. – [doi:10.1016/j.gr.2020.06.022]

Weber et al., (2012) → Weber, B., Scherer, E.E., Martens, U.K., & Mezger, K. (2012): Where did the lower Paleozoic rocks of Yucatan come from? A U–Pb, Lu–Hf, and Sm–Nd isotope study. – Chemical Geology, 312-313: 1 – 17. – [doi: 10.1016/j.chemgeo.2012.04.010]

Wentworth (1992) → Wentworth, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. – Journal of Geology, 30, 377 – 392.

Winchester & Floyd (1977) → Winchester, J.A. & Floyd, P.A. (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. – Chemical Geology, **20 (4)**: 325-343. – [doi: 10.1016/0009-2541(77)90057-2]

Xie et al. (2018) → Xie, X., Anthony, J.M. & Busbey, A.B. (2018): Provenance of Permian Delaware Mountain Group, central and southern Delaware Basin, and implications of sediment dispersal pathway near the southwestern terminus of Pangea. – International Geology Review: 1-20. – [doi: 10.1080/00206814.2018.1425925]

Yañez et al. (1991) → Yañez, P., Ruiz, J., Patchett, P.J., Ortega-Gutiérrez, F., & Gehrels, G.E. (1991): Isotopic studies of the Acatlan complex, southern Mexico: Implications for Paleozoic North American tectonics. – GSA Bulletin, 103 (6): 817 – 828. – [doi: 10.1130/0016-7606(1991)103<0817:isotac>2.3.co;2]

Zhang et al. (2020) → Zhang, X., Jian, X., Pullen, A., Fu, L., Liang, H., Hong, D., & Zhang, W. (2020): Tectono-magmatic events of the Qilian orogenic belt in northern Tibet: new insights from detrital zircon geochronology of river sands. – International Geology Review: 1 – 24. – [doi: 10.1080/00206814.2020.1734876]

Zhao et al. (2020) → Zhao, J, Xiao, L., Gulick, S.P.S., Morgan, J.V., Kring, D., Urrutia-Fucugauchi, J., Schmieder, M., de Graaff, S.J., Wittmann, A., Ross, C.H., Claeys, P., Pickersgill, A., Kaskes, P., Goderis, S., Rasmussen, C., Vajda, V., Ferriere, L., Feignon, J.G., Chenot, E., Perez-Cruz, L., Sato, H., Yamaguchi, K., & IODP–ICDP Expedition 364 scientists (2020): Geochemistry, geochronology and petrogenesis of Maya Block granitoids and dykes from the Chicxulub Impact Crater, Gulf of México: Implications for the assembly of Pangea. – Gondwana Research, 82: 128 – 150. – [doi: 10.1016/j.gr.2019.12.003]

Zhou et al. (2006) → Zhou Y, Murphy MA, & Hamade A. (2006): Structural development of the Peregrina-Huizachal anticlinorium, Mexico. – Journal of Structural Geology, 28 (3): 494-507. – [doi: 10.1016/j.jsg.2005.11.005]

Ziegler (1981) → Ziegler, A. M (1981): Paleozoic Paleogeography. – Geodynamics series, 2: 31-37. – [doi: 10.1146/annurev.ea.07.050179.002353]

Zuffa (1980) → Zuffa, G.G. (1980): Hybrid arenites: their composition and classication. – Journal Sedimentary Petrology, 50: 21-29. – [doi: 10.1306/212F7950-2B24-11D7-8648000102C1865D]

Zuffa (1985) → Zuffa, G.G. (1985): Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. – en: Zuffa, G.G. (ed.): Provenance of Arenites. – NATO ASI Series C, D. Riedel, Dordrecht., 148: 165-189. – [doi: 10.1007/978-94-017-2809-6_8]

11 Anexo

Datos de petrología, geoquímica de roca total (elementos mayores, trazas, REE) y geocronología (U-Pb en circones detríticos) de las formaciones del Grupo Tamatán (Cañón de Caballeros, Vicente Guerrero, Del Monte, Guacamaya), del Anticlinorio Huizachal-Peregrina NE de México

11.1 Introducción

A partir de muestras del Grupo Paleozoico Tamatán del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, se realizaron trabajos de campo (mapas y redes estereográficas), muestreo (n= 117), análisis petrográficos (cualitativos y modales; n = 71) y análisis geoquímicos (elementos mayores, traza y tierras raras; REE; n= 70). Además, del análisis geocronológico de U-Pb sobre circones detríticos (n = 4) de las formaciones del Grupo Tamatán.

Aquí se presentan los datos suplementarios para una mayor profundización del tema, se incluye: mapa geológico, tabla del listado de muestras, ubicación de las muestras estudiadas, fotomicrografías, datos del recuento de puntos modales y recalculados, datos geoquímicos y estadísticos de algunos parámetros geoquímicos seleccionados, datos de las edades y su relación Th/U y las respectivas fotos para cada grano de circón detrítico.

11.1.1 Mapas Topográfico-Geológico del Grupo Tamatán

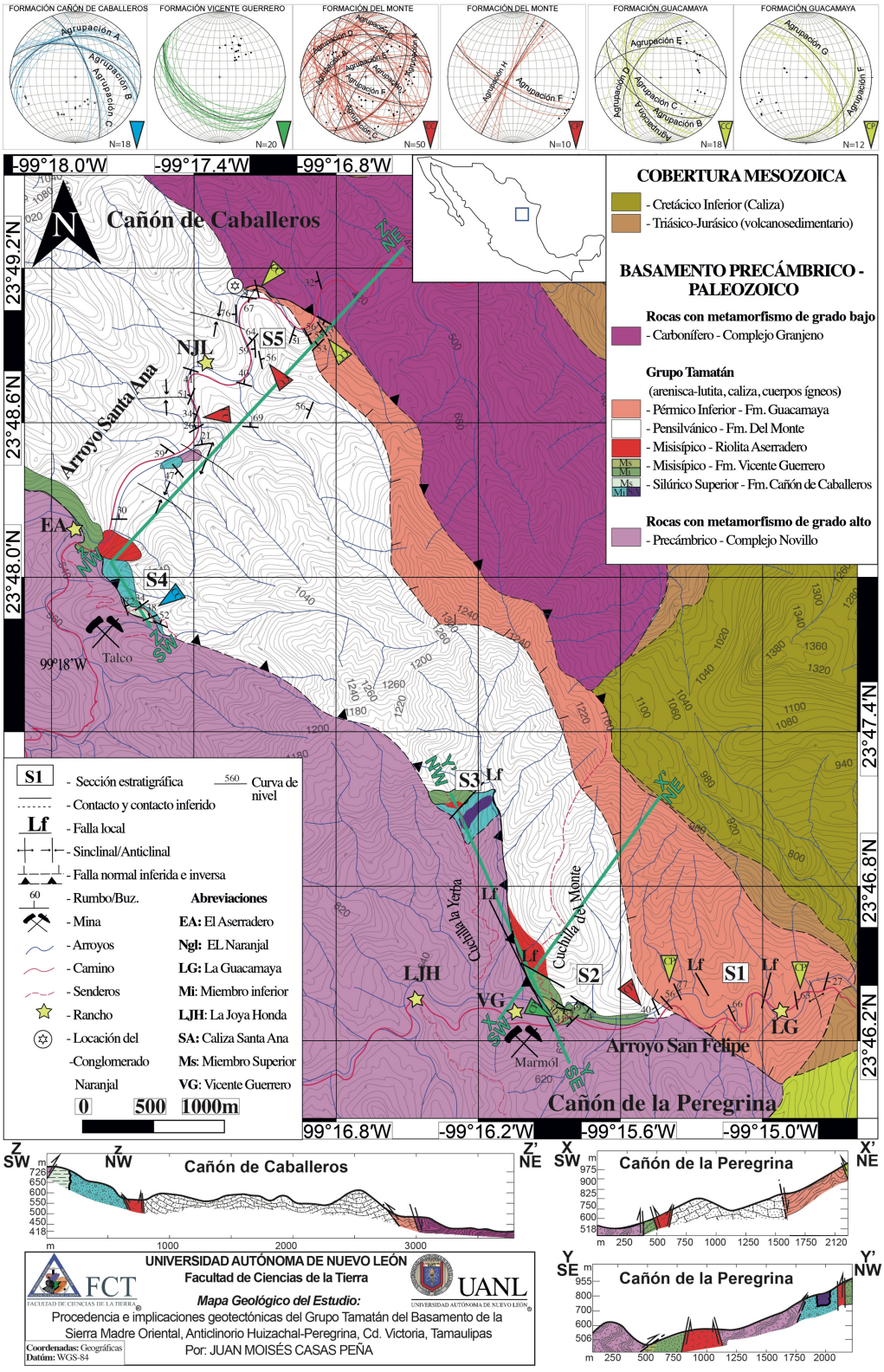


Fig. 9. 1. Mapa geológico-topográfico del área de estudio (modificado de Ramírez-Ramírez, 1992; Stewart et al., 1999). **Nota**: triángulos de colores indican la localización aproximada de los datos de rumbo y buzamiento de los estratos del Grupo Tamatán (parte superior). Cortes geológicos (parte inferior) *X – X'; Y – Y'* en Cañón de Peregrina, *Z – z – Z'* Cañón de Caballeros. La versión aplificada se encuentra al final del documento.

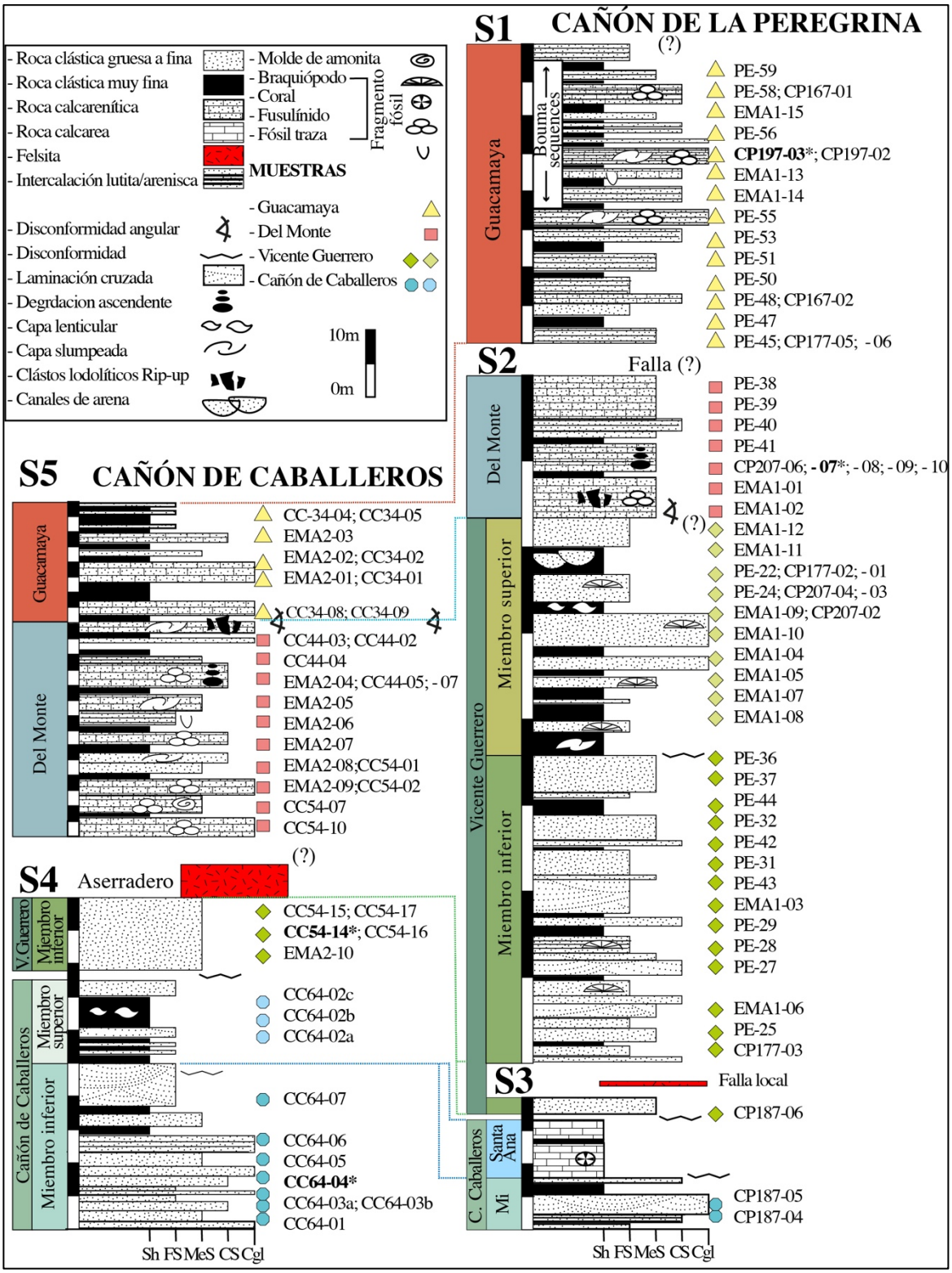


Fig. 9. 2. Columnas estratigráficas. **Nota:** La localización para cada sección se presenta en el mapa geológico de la **Fig. 9. 1. Abreviaciones: Sh** = lutita, limolita, lodolita **FS=** arenisca grano fino, **MeS** = arenisca grano medio**, CS=** arenisca grano grueso, **Cgl =** conglomerado.

11.1.2 Lista de Muestras

Tabla 1. Listado de muestra, localización y método analítico empleado.

Muestras	Litología	Cañón	Formación	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Método analítico		
						Grados decimales		Grados, minutos, segundos				
						Latitud (°N)	Longitud (°E)	Latitud (°S)	Longitud (°W)	I	II	III
CC64-01	mS	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	470094	2631870	23.797787°	-99.293581°	23° 47' 52.04"	99°17'36.86"	X	X	
CC64-02a	sZ	Caballeros	C. de Caballeros (Ms)	470153	2631822	23.797355°	-99.292991°	23° 47' 50.48"	99°17'34.77"	X	X	
CC64-02b	zS	Caballeros	C. de Caballeros (Ms)	470153	2631822	23.797355°	-99.292991°	23° 47'50.48"	99°17'34.77"	X	X	
CC64-02c	zS	Caballeros	C. de Caballeros (Ms)	470153	2631822	23.797355°	-99.292991°	23° 47'50.48"	99°17'34.77"		X	
CC64-03a	(g) S	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	470276	2631703	23.796264°	-99.291791°	23°47'46.617"	99°17'30.41"	X	X	
CC64-03b	(g) S	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	470276	2631703	23.796264°	-99.291791°	23°47'46.617"	99°17'30.41"	X	X	
CC64-04	(g) S	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	470240	2631770	23.796878°	-99.292146°	23°47'48.793"	99°17'31.69"	X	X	X
CC64-05	cS	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	470240	2631770	23.796887°	-99.292136°	23°47'48.793"	99°17'31.69"	X	X	
CC64-06	(g) S	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	470096	2631875	23.797833°	-99.293561°	23°47'52.198"	99°17'36.79"	X	X	
CC64-07	cS	Caballeros	C. de Caballeros (Ms)	470096	2631875	23.797833°	-99.293552°	23°47'52.198"	99°17'36.79"	X	X	
CP187-01	M-G	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	472344	2630312	23.783755°	-99.271455°	23°47'01.519"	99°16'17.24"	X		
CP187-02	M-G	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	472344	2630312	23.783755°	-99.271455°	23°47'01.519"	99°16'17.24"	X		
CP187-03	M-G	Caballeros	C. de Caballeros (Mi)	472344	2630312	23.783755°	-99.271455°	23°47'01.519"	99°16'17.24"	X		
CP187-04	gS	Peregrina	C. de Caballeros (Mi)	472333	2630392	23.784725°	-99.271565°	23° 47'04.12	99°16'17.63"	X	X	
CP187-05	gS	Peregrina	C. de Caballeros (Mi)	472333	2630392	23.784478°	-99.271565°	23° 47'04.12	99°16'17.63"	X	X	
EMA1-03	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473048	2629003	23.772106°	-99.264522°	23°46'18.998"	99°15'52.28"	X	X	
EMA1-04	(g) S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	472991	2629012	23.772024°	-99.265081°	23°46'19.287"	99°15'54.29"	X	X	
EMA1-05	zS	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	472991	2629012	23.772024°	-99.265081°	23°46'19.287"	99°15'54.29"	X	X	
EMA1-06	zS	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	472925	2629068	23.772529°	-99.265730°	23°46'21.104"	99°15'56.63"	X	X	
EMA1-07	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	472889	2629075	23.772591°	-99.266083°	23°46'21.33"	99°15'57.90"	X	X	
EMA1-08	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	472905	2629072	23.772565°	-99.265926°	23°46'21.233"	99°15'57.33"	X	X	
EMA1-09	G	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473116	2628969	23.771638°	-99.263853°	23°46'17.897"	99°15'49.87"	X	X	
EMA1-10	G	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473116	2628969	23.771638°	-99.263853°	23°46'17.897"	99°15'49.87"	X	X	
EMA1-11	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473092	2628969	23.771637°	-99.264089°	23°46'17.895"	99°15'50.72"	X	X	
EMA1-12	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473092	2628969	23.771637°	-99.264089°	23°46'17.895"	99°15'50.72"	X	X	
EMA2-10	S	Caballeros	V. Guerrero (Mi)	469794	2632328	23.802072°	-99.296526°	23°48'06.907"	99°17'47.49"	X	X	
CC54-14	S	Caballeros	V. Guerrero (Mi)	469772	2632328	23.801918°	-99.296741°	23°48'06.906"	99°17'48.27"	X	X	X
UJe-20171110-01	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473071	2628970	23.771650	-99.264290	23° 46'17.926"	99°15'51.46"		X	
CC54-15	S	Caballeros	V. Guerrero (Mi)	469772	2632328	23.801918°	-99.296741°	23°48'06.906"	99°17'48.27"	X	X	
CC54-16	S	Caballeros	V. Guerrero (Mi)	469772	2632328	23.801918°	-99.296741°	23°48'06.906"	99°17'48.27"	X		
CC54-17	S	Caballeros	V. Guerrero (Mi)	469772	2632328	23.801918°	-99.296741°	23°48'06.906"	99°17'48.27"	X		
CP177-01	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473015	2628991	23.771997°	-99.264845°	23°46'18.606"	99°15'53.44"	X		
CP177-02	zS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473015	2628991	23.771997°	-99.264845°	23°46'18.606"	99°15'53.44"	X		
CP177-03	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473053	2629009	23.771998°	-99.264472°	23°46'19.194"	99°15'52.1"	X		
CP187-06	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	472242	2630525	23.785948°	-99.272461°	23°47'08.439"	99°16'20.86"	X		
CP207-02	cS	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473080	2628950	23.771628°	-99.264206°	23°46'17.277"	99°15'51.14"	X		
CP207-03	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473080	2628950	23.771466°	-99.264206°	23°46'17.277"	99°15'51.14"	X		
CP207-04	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473080	2628950	23.771466°	-99.264206°	23°46'17.277"	99°15'51.14"	X		
PE-22	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473070	2628938	23.771357°	-99.264304°	23°46'16.886"	99°15'51.49"		X	
PE-24	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473070	2628938	23.771357°	-99.264304°	23°46'16.886"	99°15'51.49"		X	
PE-25	S	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473002	2629019	23.772088°	-99.264973°	23°46'19.516"	99°15'53.90"		X	

Muestras	Litología	Cañón	Formación	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Método analítico		
						Grados decimales		Grados, minutos, segundos				
						Latitud (°N)	Longitud (°E)	Latitud (°S)	Longitud (°W)	I	II	III
PE-27	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473050	2628988	23.771808°	-99.264501°	23°46'18.511"	99°15'52.21"		X	
PE-28	cS	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473050	2628963	23.771583°	-99.264501°	23°46'17.698"	99°15'52.20"		X	
PE-29	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473090	2628991	23.771836°	-99.264109°	23°46'18.61"	99°15'50.79"		X	
PE-31	cS	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473144	2628978	23.771720°	-99.263579°	23°46'18.191"	99°15'48.88"		X	
PE-32	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473220	2628947	23.771441°	-99.262832°	23°46'17.188"	99°15'46.20"		X	
PE-36	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473596	2628962	23.771583°	-99.259142°	23°46'17.698"	99°15'32.91"		X	
PE-37	S	Peregrina	V. Guerrero (Mi)	473571	2628959	23.771555°	-99.259387°	23°46'17.599"	99°15'33.79"		X	
PE-42	gS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473147	2629064	23.772496°	-99.263551°	23°46'20.988"	99°15'48.78"		X	
PE-43	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473087	2629025	23.772143°	-99.264139°	23°46'19.716"	99°15'50.9"		X	
PE-44	cS	Peregrina	V. Guerrero (Ms)	473492	2628950	23.771473°	-99.260163°	23°46'17.301"	99°15'36.59"		X	
EMA1-01	G	Peregrina	Del Monte	473140	2629008	23.771991°	-99.263618°	23°46'19.166"	99°15'49.03"	X	X	
EMA1-02	zS	Peregrina	Del Monte	473072	2629012	23.772026°	-99.264286°	23°46'19.292"	99°15'51.43"	X	X	
EMA2-04	mS	Caballeros	Del Monte	470841	2633811	23.815333°	-99.286277°	23°48'55.199"	99°17'10.59"	X	X	
EMA2-05	mS	Caballeros	Del Monte	470841	2633811	23.815333°	-99.286277°	23°48'55.199"	99°17'10.59"		X	
EMA2-06	gS	Caballeros	Del Monte	470841	2633811	23.815333°	-99.286277°	23°48'55.199"	99°17'10.59"	X	X	
EMA2-07	(g) S	Caballeros	Del Monte	470841	2633811	23.815333°	-99.286277°	23°48'55.199"	99°17'10.59"	X	X	
EMA2-08	S	Caballeros	Del Monte	470875	2633788	23.815126°	-99.285943°	23°48'54.454"	99°17'09.39"		X	
EMA2-09	(g) S	Caballeros	Del Monte	470915	2633706	23.814386°	-99.285548°	23°48'51.79"	99°17'07.97"	X	X	
PE-38	gmS	Peregrina	Del Monte	473571	2628959	23.771555°	-99.259387°	23°46'17.599"	99°15'33.79"		X	
PE-39	(g) S	Peregrina	Del Monte	473523	2628959	23.771554°	-99.259859°	23°46'17.596"	99°15'35.49"		X	
PE-40	(g) S	Peregrina	Del Monte	473243	2629037	23.772254°	-99.262608°	23°46'20.115"	99°15'45.39"		X	
PE-41	(g) S	Peregrina	Del Monte	473195	2629064	23.772497°	-99.263089°	23°46'20.991"	99°15'47.08"		X	
CP207-06	gS	Peregrina	Del Monte	473181	2629063	23.772488°	-99.263217°	23°46'20.957"	99°15'47.58"	X		
CP207-07	gS	Peregrina	Del Monte	473181	2629063	23.772488°	-99.263217°	23°46'20.957"	99°15'47.58"	X	X	X
CP207-08	(g) S	Peregrina	Del Monte	473181	2629063	23.772488°	-99.263217°	23°46'20.957"	99°15'47.58"	X		
CP207-09	(g) S	Peregrina	Del Monte	473181	2629063	23.772488°	-99.263217°	23°46'20.957"	99°15'47.58"	X		
CP207-10	gS	Peregrina	Del Monte	473181	2629063	23.772488°	-99.263217°	23°46'20.957"	99°15'47.58"	X		
CC44-02	(g) M	Caballeros	Del Monte	470999	2634161	23.818497°	-99.284732°	23°49'06.591"	99°17'5.037"	X		
CC44-03	(g) M	Caballeros	Del Monte	470908	2634183	23.818694°	-99.285626°	23°49'07.3"	99°17'8.255"	X		
CC44-04	sZ	Caballeros	Del Monte	470748	2633936	23.816460°	-99.287192°	23°48'59.258"	99°17'13.89"	X		
CC44-05	gS	Caballeros	Del Monte	470825	2633834	23.815541°	-99.286434°	23°48'55.946"	99°17'11.16"	X		
CC44-07	gS	Caballeros	Del Monte	470825	2633834	23.815541°	-99.286434°	23°48'55.946"	99°17'11.16"	X		
CC54-01	zS	Caballeros	Del Monte	470869	2633813	23.815352°	-99.286002°	23°48'55.266"	99°17'09.61"	X		
CC54-02	mS	Caballeros	Del Monte	470871	2633762	23.814891°	-99.285981°	23°48'53.608"	99°17'09.53"	X		
CC54-03	M-G	Caballeros	Del Monte	470844	2633250	23.810266°	-99.286236°	-23°48'36.96"	99°17'10.45"	X		
CC54-04	M-G	Caballeros	Del Monte	470568	2633591	23.813341°	-99.288952°	-23°48'48.03"	99°17'20.23"	X		
CC54-05	M-G	Caballeros	Del Monte	470568	2633591	23.813341°	-99.288952°	-23°48'48.03"	99°17'20.23"	X		
CC54-06	M-G	Caballeros	Del Monte	470568	2633591	23.813341°	-99.288952°	-23°48'48.03"	99°17'20.23"	X		
CC54-07	(g) M	Caballeros	Del Monte	470568	2633591	23.813341°	-99.288953°	23°48'48.028"	99°17'20.23"	X		
CC54-08	M-G	Caballeros	Del Monte	470438	2633333	23.811008°	-99.290223°	-23°48'39.63"	99°17'24.80"	X		
CC54-09	M-G	Caballeros	Del Monte	470496	2633065	23.808588°	-99.289648°	-23° 48'30.91"	99°17'22.73"	X		
CC54-10	(g) S	Caballeros	Del Monte	470464	2633065	23.808588°	-99.289963°	23°48'30.917"	99°17'23.87"	X		
CC54-11	M-G	Caballeros	Del Monte	470376	2632969	23.807719°	-99.290825°	-23°48'27.79"	99°17'26.97"	X		

Muestras	Litología	Cañón	Formación	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Método analítico		
						Grados decimales		Grados, minutos, segundos				
						Latitud (°N)	Longitud (°E)	Latitud (°S)	Longitud (°W)	I	II	III
CC54-12	M-G	Caballeros	Del Monte	470464	2633065	23.808588°	-99.289963°	23°48'30.917"	99°17'23.87"	X		
CC54-12.1	(g) S	Caballeros	Del Monte	469772	2632546	23.803887°	-99.296745°	-23°48'13.99"	99°17'48.28"	X		
EMA1-13	(g) S	Peregrina	Guacamaya	474564	2629094	23.772791°	-99.249644°	23°46'22.046"	99°14'58.72"	X	X	
EMA1-14	(g) S	Peregrina	Guacamaya	474556	2625094	23.772791°	-99.249644°	23°44'11.978"	99°14'58.75"	X	X	
EMA1-15	(g) S	Peregrina	Guacamaya	474833	2629133	23.773147°	-99.247005°	23°46'23.33"	99°14'49.22"	X	X	
EMA2-01	gS	Caballeros	Guacamaya	471266	2633885	23.816009°	-99.282106°	23°48'57.633"	99°16'55.58"	X	X	
EMA2-02	gS	Caballeros	Guacamaya	471033	2634126	23.818182°	-99.284398°	23°49'5.455"	99°17'03.83"	X	X	
EMA2-03	gS	Caballeros	Guacamaya	471033	2634126	23.818182°	-99.284398°	23°49'5.455"	99°17'03.83"	X	X	
CC34-01	(g)S	Caballeros	Guacamaya	471345	2633992	23.816977°	-99.281332°	23° 49'1.118"	99°16'52.79"	X		
CC34-02	mS	Caballeros	Guacamaya	471340	2633992	23.816977°	-99.281381°	23°49'1.117"	99°16'52.97"	X		
CC34-04	mS	Caballeros	Guacamaya	471340	2633992	23.816977°	-99.281381°	23°49'1.117"	99°16'52.97"	X		
CC34-05	mS	Caballeros	Guacamaya	471340	2633992	23.816977°	-99.281381°	23°49'1.117"	99°16'52.97"	X		
CC34-06	sZ	Caballeros	Guacamaya	471347	2633988	23.816941°	-99.281312°	23°49'0.988"	99°16'52.72"	X		
CC34-07	sZ	Caballeros	Guacamaya	471290	2633879	23.815955°	-99.281869°	23°48'57.44"	99°16'54.73"	X		
CC34-08	gS	Caballeros	Guacamaya	471235	2633893	23.816081°	-99.282410°	23°48'57.891"	99°16'56.68"	X	X	
CC34-09	gS	Caballeros	Guacamaya	474564	2629094	23.772791°	-99.249644°	23°46'22.046"	99°14'58.72"	X		
CP167-01	(g) S	Peregrina	Guacamaya	474900	2629160	23.773392°	-99.246347°	23°46'24.212"	99°14'46.85"	X		
CP167-02	(g) S	Peregrina	Guacamaya	473890	2629161	23.773385°	-99.256260°	23°46'24.186"	99°15'22.54"	X		
CP177-05	(g) S	Peregrina	Guacamaya	473771	2629034	23.772236°	-99.257426°	23°46'20.049"	99°15'26.73"	X		
CP177-06	S	Peregrina	Guacamaya	473771	2629034	23.772236°	-99.257426°	23°46'20.049"	99°15'26.73"	X		
PE-45	cS	Peregrina	Guacamaya	473774	2629038	23.772272°	-99.257397°	23°46'20.18"	99°15'26.63"		X	
PE-47	cS	Peregrina	Guacamaya	473851	2629038	23.772273°	-99.256641°	23°46'20.184"	99°15'23.91"		X	
PE-48	cS	Peregrina	Guacamaya	473880	2629100	23.772834°	-99.256357°	23°46'22.202"	99°15'22.89"		X	
PE-50	(g) S	Peregrina	Guacamaya	474208	2628948	23.771466°	-99.253135°	23°46'17.278"	99°15'11.289		X	
PE-51	(g) S	Peregrina	Guacamaya	474043	2628847	23.770551°	-99.254753°	23°46'13.985"	99°15'17.11"		X	
PE-53	(g) S	Peregrina	Guacamaya	474327	2628976	23.771721°	-99.251968°	23°46'18.196"	99°15'07.09"		X	
PE-55	zS	Peregrina	Guacamaya	474621	2629035	23.772259°	-99.249084°	23°46'20.131"	99°14'56.70"		X	
PE-56	zS	Peregrina	Guacamaya	474615	2629046	23.772358°	-99.249143°	23°46'20.488"	99°14'56.91"		X	
PE-58	zS	Peregrina	Guacamaya	474838	2629141	23.773219°	-99.246956°	23°46'23.59"	99°14'49.04"		X	
PE-59	mS	Peregrina	Guacamaya	474984	2629181	23.773583°	-99.245523°	23°46'24.899"	99°14'43.88"		X	
CP197-02	mS	Peregrina	Guacamaya	474593	2629044	23.772339°	-99.249359°	23°46'20.422"	99°14'57.69"	X		
CP197-03	gS	Peregrina	Guacamaya	474593	2629044	23.772339°	-99.249359°	23°46'20.422"	99°14'57.69"	X	X	X
CC54-13	R	Caballeros	Riolita Aserradero	469806	2632320	23.801846°	-99.296407°	23°48'06.65"	99°17'47.07"	X		

Abreviaciones: **G=** conglomerado, **gS=** arenisca conglomerática, **(g) S=** arenisca ligeramente conglomerática, **(g) M=** lodolita ligeramente conglomératica, **S=** arenisca (buen sorteo), **zS** = arenisca limolítica (pobremente sorteada), **mS=** arenisca lodolítca (bimodal fino a muy fino), **cS=** arenisca arcillosa**, sZ=** limolita arenosa, **M-G=** Mudstone-Grainstone, **R=** Riolita **Mi=** miembro inferior, **Ms=** miembro superior. Nomeclatura de texturas según Folk et al. (1970). **Método de análisis: I =** Petrografía, **II** = Geoquímica y **III** = Geocronología.

11.2 Datos estructurales

Tabla 2. Datos de los rumbos y buzamientos de estratos medidos de diversos afloramientos del Grupo Tamatán en los Cañones de Caballeros y la Peregrina del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, noreste de México.

Medición	Grupo	Rumbo	Buzamiento	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Cañón
						Grados decimales		Grados, minutos, segundos		
						Latitud (°N)	Longitud (°E)	Latitud (°N)	Longitud (°E)	
Complejo Granjeno										
N= 7		166	33	471342	2634276	23.81954229	-99.28136717	23'49'10.3"	99'16'52.9"	Caballeros
		146	35	471342	2634276	23.81954229	-99.28136717	23'49'10.3"	99'16'52.9"	Caballeros
		170	33	471342	2634276	23.81954229	-99.28136717	23'49'10.3"	99'16'52.9"	Caballeros
		169	29	471342	2634276	23.81954229	-99.28136717	23'49'10.3"	99'16'52.9"	Caballeros
		195	26	471337	2634276	23.8195422	-99.28141626	23'49'10.3"	99'16'52.9"	Caballeros
		170	19	471337	2634276	23.8195422	-99.28141626	23'49'10.3"	99'16'52.9"	Caballeros
		155	51	471337	2634276	23.8195422	-99.28141626	23'49'10.3"	99'16'52.9"	Caballeros
Promedio total ($\bar{x}$)		**167**	**32**							
Formación Cañón de Caballeros										
N = 18		241	32	470097	2631880	23.79787789	-99.29354193	23'47'52.3"	99'17'36.7"	Caballeros
		245	38	470097	2631880	23.79787789	-99.29354193	23'47'52.3"	99'17'36.7"	Caballeros
		270	40	470097	2631880	23.79787789	-99.29354193	23'47'52.3"	99'17'36.7"	Caballeros
		249	33	470097	2631880	23.79787789	-99.29354193	23'47'52.3"	99'17'36.7"	Caballeros
	A	233	41	470153	2631822	23.79735505	-99.29299104	23'47'50.48'	99'17'34.7"	Caballeros
		290	33	470153	2631822	23.79735505	-99.29299104	23'47'50.48'	99'17'36.7"	Caballeros
		261	37	470158	2631827	23.79740031	-99.29294206	23'47'50.6"	99'17'34.5"	Caballeros
		255	39	470158	2631827	23.79740031	-99.29294206	23'47'50.6"	99'17'34.5"	Caballeros
		270	38	470158	2631827	23.79740031	-99.29294206	23'47'50.6"	99'17'34.5"	Caballeros
		290	51	470228	2631796	23.7971216	-99.29225429	23'47'49.6"	99'17'32.1"	Caballeros
		275	55	470228	2631796	23.7971216	-99.29225429	23'47'49.6"	99'17'32.1"	Caballeros
	B	287	50	470228	2631796	23.7971216	-99.29225429	23'47'49.6"	99'17'32.1"	Caballeros
		294	53	470228	2631796	23.7971216	-99.29225429	23'47'49.6"	99'17'32.1"	Caballeros
		296	51	470228	2631796	23.7971216	-99.29225429	23'47'49.6"	99'17'32.1"	Caballeros
		330	71	470024	2631897	23.79803007	-99.29425887	23'47'52.9"	99'17'39.3"	Caballeros
	C	337	71	470024	2631897	23.79803007	-99.29425887	23'47'52.9"	99'17'39.3"	Caballeros
		339	72	470024	2631897	23.79803007	-99.29425887	23'47'52.9"	99'17'39.3"	Caballeros
		350	74	470024	2631897	23.79803007	-99.29425887	23'47'52.9"	99'17'39.3"	Caballeros
Promedio total ($\bar{x}$)		**284**	**49**							
Agrupación A		**260**	**38**							
Agrupación B		**288**	**52**							
Agrupación C		**339**	**72**							
Formación Vicente Guerrero										
N = 20		123	48	473149	2629065	23.77250564	-99.26353106	23'46'21.0"	99'15'48.7"	Peregrina
		120	48	473149	2629065	23.77250564	-99.26353106	23'46'21.0"	99'15'48.7"	Peregrina
		142	51	473149	2629065	23.77250564	-99.26353106	23'46'21.0"	99'15'48.7"	Peregrina
		119	50	473149	2629065	23.77250564	-99.26353106	23'46'21.0"	99'15'48.7"	Peregrina
		110	47	473049	2629010	23.77200717	-99.26451151	23'46'19.2"	99'15'52.2"	Peregrina
		121	47	473049	2629010	23.77200717	-99.26451151	23'46'19.2"	99'15'52.2"	Peregrina
		90	37	473049	2629010	23.77200717	-99.26451151	23'46'19.2"	99'15'52.2"	Peregrina

Medición	Grupo	Rumbo	Buzamiento	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Cañón
						Grados decimales		Grados, minutos, segundos		
						Latitud (°N)	Longitud (°E)	Latitud (°N)	Longitud (°E)	
		128	31	472963	2629026	23.77215024	-99.26535584	23'46'19.7"	99'15'55.2"	Peregrina
		134	30	472963	2629026	23.77215024	-99.26535584	23'46'19.7"	99'15'55.2"	Peregrina
		132	28	472963	2629026	23.77215024	-99.26535584	23'46'19.7"	99'15'55.2"	Peregrina
		113	39	472998	2629008	23.77198825	-99.26501201	23'46'19.1"	99'15'54.0"	Peregrina
		100	41	472998	2629008	23.77198825	-99.26501201	23'46'19.1"	99'15'54.0"	Peregrina
		125	41	472998	2629008	23.77198825	-99.26501201	23'46'19.1"	99'15'54.0"	Peregrina
		122	38	473016	2628991	23.771835	-99.26483504	23'46'18.6"	99'15'53.4"	Peregrina
		123	39	473016	2628991	23.771835	-99.26483504	23'46'18.6"	99'15'53.4"	Peregrina
		133	35	473016	2628991	23.771835	-99.26483504	23'46'18.6"	99'15'53.4"	Peregrina
		139	44	473016	2628991	23.771835	-99.26483504	23'46'18.6"	99'15'53.4"	Peregrina
		109	56	473164	2629069	23.77254202	-99.26338392	23'46'21.15"	99'15'48.18"	Peregrina
		119	57	473164	2629069	23.77254202	-99.26338392	23'46'21.15"	99'15'48.18"	Peregrina
		111	61	473164	2629069	23.77254202	-99.26338392	23'46'21.15"	99'15'48.18"	Peregrina
Promedio total ($\bar{x}$)		**121**	**43**							
Formación Del Monte										
N = 60		34	52	471240	2633893	23.81608105	-99.28236112	23'48'57.8"	99'16'56.5"	Caballeros
	A	37	52	471240	2633893	23.81608105	-99.28236112	23'48'57.8"	99'16'56.5"	Caballeros
		40	50	471240	2633893	23.81608105	-99.28236112	23'48'57.8"	99'16'56.5"	Caballeros
		30	57	471235	2633893	23.81608096	-99.28241021	23'48'57.9"	99'16'56.7"	Caballeros
	B	228	61	470830	2633839	23.81558588	-99.28638533	23'48'56.1"	99'17'10.9"	Caballeros
		234	62	470830	2633839	23.81558588	-99.28638533	23'48'56.1"	99'17'10.9"	Caballeros
		260	69	470849	2633255	23.81031131	-99.28618723	23'48'37.1"	99'17'10.2"	Caballeros
	C	107	41	470416	2633620	23.81360019	-99.29044546	23'48'48.9"	99'17'25.6"	Caballeros
		130	51	470367	2632952	23.80756564	-99.29091307	23'48'27.2"	99'17'27.3"	Caballeros
		130	44	470367	2632952	23.80756564	-99.29091307	23'48'27.2"	99'17'27.3"	Caballeros
		185	56	470874	2633813	23.81535184	-99.28595283	23'48'55.3"	99'17'09.4"	Caballeros
		176	51	470367	2632952	23.80756564	-99.29091307	23'48'27.2"	99'17'27.3"	Caballeros
		190	55	470874	2633813	23.81535184	-99.28595283	23'48'55.3"	99'17'09.4"	Caballeros
	B	166	66	470874	2633813	23.81535184	-99.28595283	23'48'55.3"	99'17'09.4"	Caballeros
		300	54	470914	2633762	23.81489191	-99.28555912	23'48'53.6"	99'17'08.0"	Caballeros
		315	59	470914	2633762	23.81489191	-99.28555912	23'48'53.6"	99'17'08.0"	Caballeros
		286	40	470840	2633591	23.81334603	-99.28628224	23'48'48.0"	99'17'10.6"	Caballeros
		270	29	470507	2633089	23.80880566	-99.28954142	23'48'31.6"	99'17'22.3"	Caballeros
		271	29	469903	2632551	23.80393499	-99.29546001	23'48'14.2"	99'17'43.6"	Caballeros
	B	163	46	470908	2634183	23.81869444	-99.28562635	23'49'7.3"	99'17'8.25"	Caballeros
		138	59	470362	2632993	23.80793588	-99.29096298	23'48'28.56"	99'17'27.46"	Caballeros
		172	53	470362	2632993	23.80793588	-99.29096298	23'48'28.56"	99'17'27.46"	Caballeros
		115	67	470376	2632969	23.80771936	-99.29082506	23'48'27.8"	99'17'26.9"	Caballeros
		123	50	470376	2632969	23.80771936	-99.29082506	23'48'27.8"	99'17'26.9"	Caballeros
	B	233	60	470825	2633834	23.81554063	-99.28643432	23'48'55.94"	99'17'11.16"	Caballeros
		183	52	470869	2633813	23.81535175	-99.28600192	23'48'55.26"	99'17'9.607"	Caballeros
		188	61	470869	2633813	23.81535175	-99.28600192	23'48'55.26"	99'17'9.607"	Caballeros
	D	305	57	470909	2633757	23.81484666	-99.28560811	23'48'53.44"	99'17'8.189"	Caballeros
		278	37	470835	2633586	23.81330078	-99.28633123	23'48'53.44"	99'17'10.8"	Caballeros

Medición	Grupo	Rumbo	Buzamiento	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Cañón
						Grados decimales		Grados, minutos, segundos		
						Latitud (°N)	Longitud (°E)	Latitud (°N)	Longitud (°E)	
	C	107	41	470411	2633615	23.81355493	-99.29049444	23'48'48.79"	99'17'25.78"	Caballeros
	B	235	52	470404	2633460	23.81215478	-99.29056005	23'48'43.75"	99'17'26.016"	Caballeros
		204	48	470438	2633333	23.8110083	-99.29022371	23'48'39.63"	99'17'24.80"	Caballeros
	D	254	32	469897	2632546	23.80388972	-99.29551881	23'48'14.0"	99'17'43.868"	Caballeros
		288	26	469897	2632546	23.80388972	-99.29551881	23'48'14.0"	99'17'43.868"	Caballeros
		219	30	469903	2632551	23.80393499	-99.29546001	23'48'14.16"	99'17'43.6"	Caballeros
		281	29	469903	2632551	23.80393499	-99.29546001	23'48'14.16"	99'17'43.6"	Caballeros
	B	196	35	470443	2633333	23.81100839	-99.29017462	23'48'39.6"	99'17'24.6"	Caballeros
		259	21	470451	2633155	23.80940077	-99.29009251	23'48'33.8"	99'17'24.3"	Caballeros
		180	63	470908	2634183	23.81869444	-99.28562635	23'49'7.3"	99'17'8.255"	Caballeros
	E	255	69	470844	2633250	23.81026605	-99.28623622	23'48'36.95"	99'17'10.45"	Caballeros
		267	71	470844	2633250	23.81026605	-99.28623622	23'48'36.95"	99'17'10.45"	Caballeros
		256	67	470844	2633250	23.81026605	-99.28623622	23'48'36.95"	99'17'10.45"	Caballeros
		266	83	470748	2633936	23.81646052	-99.28719231	23'48'59.258"	99'17'13.89"	Caballeros
		218	82	470748	2633936	23.81646052	-99.28719231	23'48'59.258"	99'17'13.89"	Caballeros
	F	112	71	470748	2633936	23.81646052	-99.28719231	23'48'59.258"	99'17'13.89"	Caballeros
		109	68	470748	2633936	23.81646052	-99.28719231	23'48'59.258"	99'17'13.89"	Caballeros
	G	330	50	471259	2633903	23.81617172	-99.28217478	23'48'58.21"	99'16'55.83"	Caballeros
		340	62	471259	2633903	23.81617172	-99.28217478	23'48'58.21"	99'16'55.83"	Caballeros
	H	200	87	473088	2628959	23.77154717	-99.26412781	23'46'17.5"	99'15'50.8"	Peregrina
		215	86	473088	2628959	23.77154717	-99.26412781	23'46'17.5"	99'15'50.8"	Peregrina
		194	85	473088	2628959	23.77154717	-99.26412781	23'46'17.5"	99'15'50.8"	Peregrina
		210	88	473088	2628959	23.77154717	-99.26412781	23'46'17.5"	99'15'50.8"	Peregrina
		222	84	473088	2628959	23.77154717	-99.26412781	23'46'17.5"	99'15'50.8"	Peregrina
		212	86	473088	2628959	23.77154717	-99.26412781	23'46'17.5"	99'15'50.8"	Peregrina
	I	120	79	473181	2629063	23.77248811	-99.26321696	23'46'20.96"	99'15'47.58"	Peregrina
		126	64	473181	2629063	23.77248811	-99.26321696	23'46'20.96"	99'15'47.58"	Peregrina
		114	79	473181	2629063	23.77248811	-99.26321696	23'46'20.96"	99'15'47.58"	Peregrina
	J	330	80	473738	2629000	23.77192828	-99.25774917	23'46'18.84"	99'15'27.89"	Caballeros
		311	81	470185	2632895	23.80704741	-99.29269863	23'48'25.371"	99'17'33.71"	Caballeros
		300	80	470185	2632895	23.80704741	-99.29269863	23'48'25.371"	99'17'33.71"	Caballeros
Promedio total ($\bar{x}$)		**204**	**58**							
Agrupación A		35	53							
Agrupación B		232	51							
Agrupación C		158	56							
Agrupación D		271	35							
Agrupación E		252	74							
Agrupación F		116	72							
Agrupación G		335	56							
Agrupación H		209	86							
Agrupación I		314	80							
Formación Guacamaya										
N = 30	A	148	56	471343	2633941	23.81651645	-99.28135083	23'48'59.4"	99'16'52.8"	Caballeros

Medición	Grupo	Rumbo	Buzamiento	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Cañón
						Grados decimales		Grados, minutos, segundos		
						Latitud (°N)	Longitud (°E)	Latitud (°N)	Longitud (°E)	
		150	59	471343	2633941	23.81651645	-99.28135083	23'48'59.4"	99'16'52.8"	Caballeros
		142	55	471343	2633941	23.81651645	-99.28135083	23'48'59.4"	99'16'52.8"	Caballeros
		168	48	470913	2634188	23.8187397	-99.28557735	23'48'07.4"	99'17'08.0"	Caballeros
	B	120	50	471340	2633992	23.81697705	-99.28138127	23'49'1.117"	99'16'52.973"	Caballeros
		127	56	471340	2633992	23.81697705	-99.28138127	23'49'1.117"	99'16'52.973"	Caballeros
	A	151	58	471338	2633936	23.8164712	-99.281400	23'48'59.296"	99'16'53.04"	Caballeros
	C	119	70	471338	2633936	23.8164712	-99.281400	23'48'59.296"	99'16'53.04"	Caballeros
	A	173	50	471338	2633936	23.8164712	-99.281400	23'48'59.296"	99'16'53.04"	Caballeros
	C	137	84	471338	2633936	23.8164712	-99.281400	23'48'59.296"	99'16'53.04"	Caballeros
	D	199	50	471303	2633296	23.81068984	-99.28173097	23'48'38.483"	99'16'54.23"	Caballeros
		200	61	471303	2633296	23.81068984	-99.28173097	23'48'38.483"	99'16'54.23"	Caballeros
	A	170	49	470913	2634188	23.8187397	-99.28557735	23'48'07.4"	99'17'08.0"	Caballeros
		155	50	470913	2634188	23.8187397	-99.28557735	23'48'07.4"	99'17'08.0"	Caballeros
	D	200	55	471295	2633879	23.81595559	-99.28182087	23'48'57.4"	99'16'54.5"	Caballeros
		240	54	471295	2633879	23.81595559	-99.28182087	23'48'57.4"	99'16'54.5"	Caballeros
	E	270	51	471295	2633879	23.81595559	-99.28182087	23'48'57.4"	99'16'54.5"	Caballeros
	D	215	54	471295	2633879	23.81595559	-99.28182087	23'48'57.4"	99'16'54.5"	Caballeros
	F	23	30	474836	2629144	23.77324657	-99.24697535	23'46'23.688"	99'14'49.111"	Peregrina
		15	25	474836	2629144	23.77324657	-99.24697535	23'46'23.688"	99'14'49.111"	Peregrina
		23	29	474836	2629144	23.77324657	-99.24697535	23'46'23.688"	99'14'49.111"	Peregrina
	G	305	56	473753	2629013	23.77204595	-99.25760218	23'46'19.36"	99'15'27.36"	Peregrina
		310	56	473753	2629013	23.77204595	-99.25760218	23'46'19.36"	99'15'27.36"	Peregrina
		320	50	474221	2628952	23.77150256	-99.25300795	23'46'17.409"	99'15'10.829"	Peregrina
		342	65	474593	2629044	23.77233949	-99.24935857	23'46'20.422"	99'14'57.691"	Peregrina
		334	65	474232	2628957	23.7715479	-99.25290008	23'46'17.5"	99'15'10.4"	Peregrina
		332	68	474232	2628957	23.7715479	-99.25290008	23'46'17.5"	99'15'10.4"	Peregrina
		333	65	474232	2628957	23.7715479	-99.25290008	23'46'17.5"	99'15'10.4"	Peregrina
		321	77	473770	2629045	23.77233527	-99.25743591	23'46'17.5"	99'15'10.4"	Peregrina
		332	74	473770	2629045	23.77233527	-99.25743591	23'46'17.5"	99'15'10.4"	Peregrina
Promedio total ($\bar{x}$)		**202**	**56**							
Agrupación A		157	53							
Agrupación B		124	53							
Agrupación C		128	77							
Agrupación D		211	55							
Agrupación E		270	51							
Agrupación F		20	28							
Agrupación G		325	64							

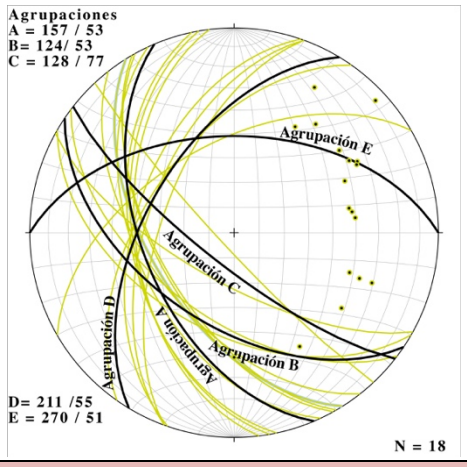
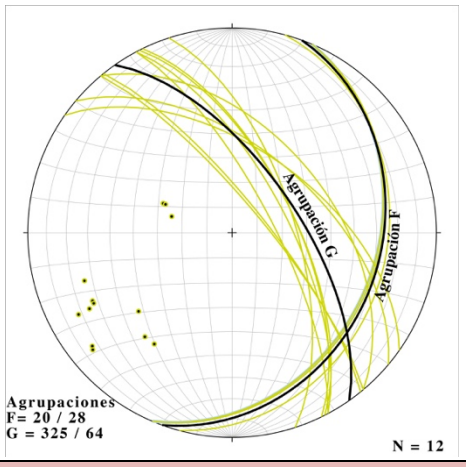
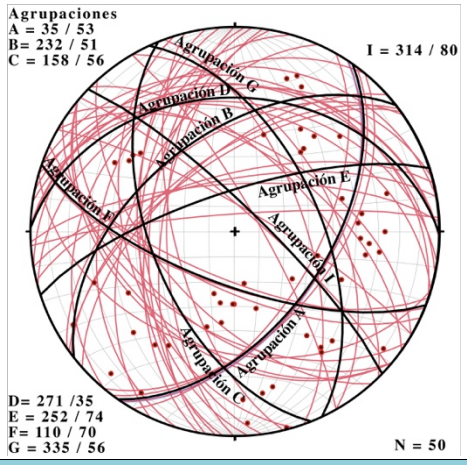
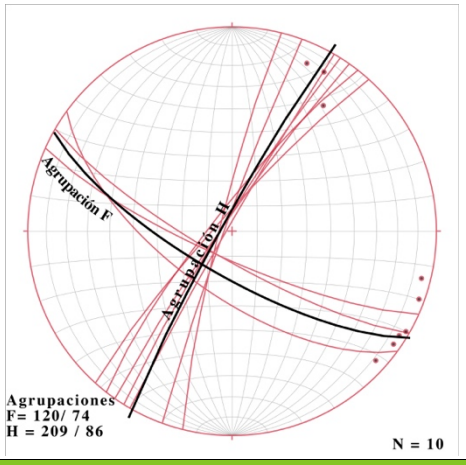
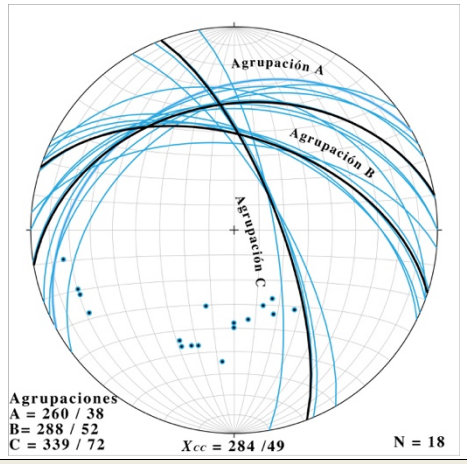
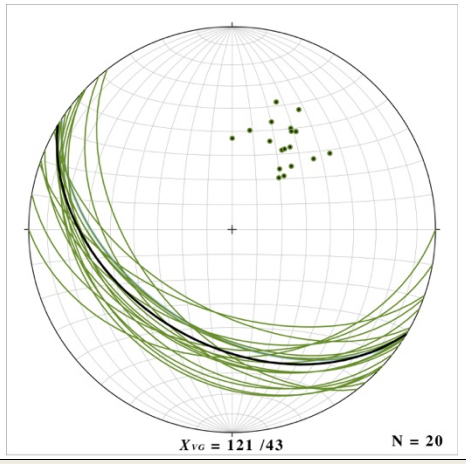
Nota: El promedio de cada punto de coordenada distinto entre formaciones fueron las que se consideraron para el mapa geológico de la **Fig. 9.2**. Las agrupaciones se basaron en orientaciones semejantes entre cada medición. **N =** corresponde al número total de mediciones tomadas para cada formación.

Tabla 3. Datos de las mediciones de rumbo y buzamiento de los contactos geológicos encontrados en el área de estudio.

Contactos geológicos y fallas	Rumbo	Buza-miento	UTM-E (Zona 14)	UTM-N (Zona 14)	Geográficas				Cañón
					Latitud (ºN)	Longuitud (ºE)	Latitud (ºS)	Longuitud (ºW)	
Tectónico: C. Novillo - Fm. CC	290	51	470226	2631794	23.7971035	-99.29227388	23'47'49.5"	99'17'32.1"	Caballeros
	330	71	470019	2631892	23.79798482	-99.29430785	23'47'52.7"	99'17'39.5"	Caballeros
Tectónico: C. Novillo - Fm. VG	150	49	472894	2629058	23.77243812	-99.26603363	23'46'20.8"	99'15'57.7"	Peregrina
Discordante: fms. Del Monte - G	330	50	471264	2633908	23.81621697	-99.28212579	23'48'58.4"	99'16'55.6"	Peregrina
Tectónico: C. Granjeno - Fm. G	111	70	470966	2634202	23.81886711	-99.28505728	23'49'07.9"	99'17'06.2"	Peregrina
	120	50	471350	2633997	23.81702239	-99.28128319	23'49'01.3"	99'16'52.6"	Peregrina
	100	67	470966	2634207	23.81891227	-99.28505738	23'49'08.1"	99'17'06.2"	Peregrina
Falla local (VG-RA)	240	77	472831	2629268	23.77433387	-99.26665581	23'46'27.6"	99'15'59.9"	Peregrina
Falla local (G)	32	76	474454	2629095	23.77279793	-99.25072366	23'46'22.1"	99'15'02.6"	Peregrina
Falla local (G)	343	65	474056	2629119	23.77300832	-99.25463026	23'46'22.8"	99'15'16.6"	Peregrina
Falla local (CC-RA-VG)	314	77	472370	2630447	23.78497524	-99.27120243	23'47'05.9"	99'16'16.3"	Peregrina

Abreviaciones. CC = Fm. Cañón de Caballeros, **G =** Fm. Guacamaya, **VG =** Fm. Vicente Guerrero, **RA =** Riolita Aserradero.

Tabla 4. Redes estereográficas con las orientaciones de rumbo y buzamiento que comúnmente presentan los estratos sedimentarios del Grupo Tamatán del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Noreste de México. **Nota:** Líneas negras representan el promedio de los grupos de orientaciones para cada formación y los puntos respectivo polos.

Grupo Tamatán	
Cañón de Caballeros	**Cañón de la Peregrina**
Formación Guacamaya (Pérmico inferior)	
	
Formación Del Monte (Pensilvánico)	
	
Formación Cañón de Caballeros (Silúrico-Devónico)	**Formación Vicente Guerrero (Misisípico)**
	

Nota: La localización para cada red estreográfica se encuentra representanda **Fig. 9. 1**

11.3 Datos petrológicos

11.3.1 Tablas del Conteo de Puntos

Tabla 5. Parámetros contabilizados empleados en Folk et al., (1970), Dickinson & Suczek (1979), Dickinson et al. (1983), Arribas (2010).

Conteo	Granos/Fragmentos	Parámetero	Cálculo	Signíficado
Qmr*	cuarzo monocristalino con extinción recta	Qm	**Qmo+Qmr+Cq**	cuarzo monocristalino
Qmo*	cuarzo monocristalino con extinción ondulosa			
Qp2-3*	cuarzo policristalino con 2-3 unidades	Qp	**Qp2-3+Qp< 3**	cuarzo policristalino
Qp>3*	cuarzo policristalino con >3 unidades			
Cq*	cuarzo con calcite y/ó illita			
		Qt	Qm+Qp	Cuarzo estable total
Fk*	feldespato potásico sin reemplazamiento	K	**Fk+Fki+Frc**	feldespato potásico
Fki*	feldespato potásico con reemplazamiento de illita			
Frc*	feldespato potásico con reemplazamiento de calcita			
Pna*	plagioclasa sódica sin reemplazamiento	P	**Pna+Pki+Prc**	plagioclasa
Pki*	plagioclasa sódica con reemplazamiento de illita/sericita			
Prc*	plagioclasa sódica con reemplazamiento de calcita			
		F	K+P	Feldespato Total
Lmf*	lítico psammitico	Lm	**Lmf + Lmp**	líticos metamórfico
Lmp*	lítico metapelitico			
Lvf*	lítico volcánico felsítico	Lv	**Lvf+Lvt+Lvl+Lp**	líticos ígneos
Lvt*	lítico volcánico tobaceo			
Lvl*	lítico volcánico lathwork			
Lp*	lítico plutónico			
Lsa*	lítico sedimentario cuarzoso	Ls	**Lsa+Lslu+LsCe+LsCm+Fo+LsBi**	líticos sedimentarios
Lslu*	lítico sedimentario argilítico			
LsCe**	lítico sedimentario esparítico			
LsCm**	lítico sedimentario micritíco			
Fo**	microfósil			
LsBi***	lítico sedimentario bioclástico			
Ch	chert			
		R +Ch	Lm+Lv+Ls+Ch	Líticos inestables total + Chert
		L	Lm+Lv	Líticos inestables
		Lt	Lm+Lv+Ls	Líticos inestables total
M	**mica (incluye biotita; Bt, muscovita; Bt y/ó clorita; Chl)**			
Hm	**mineraless pesados (incluye: circón; Zr y/ó apatito; Ap)**			

* = granos extracuenca sin carbonatos (**NCE**), ** = componentes de extracuenca carbonáticos (**CE**), *** = componentes de intracuenca carbonáticos **(CI**).

Tabla 6. Datos del conteo de puntos

Muestra	Textura				Esqueleto																		Esqueleto total
	Granulometría	Mádurez	Dispocisión		NCE												NCE total	Otros componentes particulares					
			Ro.	Sor.	Qt	Qmo	Qmr	Qp2-3	Qp>3	Cq	K	P	Lm	Lv	Ls	Ch		CE	CI	M	HM	Cm	
Formación Cañón de Caballeros																							
CC-64-01 (Ms)	Medio	InMa	r	P	117	29	32	18	14	24	51	12	15	60	4	17	276	0	0	46	5	119	446
CC-64-02a(Ms)	Fino	SubMa	Sub-a	P	88	12	70	2	4	0	42	5	5	8	5	9	162	5	0	59	0	206	427
CC-64-02b(Ms)	Fino	InMa	Sub-a	P	109	3	89	4	13	0	49	3	5	22	9	17	214	0	0	30	1	221	466
CC-64-03a(Mi)	Grueso	Ma	Sub-r	W	209	34	85	25	65	0	57	9	26	89	27	15	432	7	0	36	11	50	529
CC-64-03b(Mi)	Grueso	SubMa	Sub-r	M	152	23	52	43	34	0	40	4	5	66	38	49	354	8	0	24	0	95	473
CC-64-04 (Mi)	Grueso	SubMa	Sub-a	M	207	44	70	28	50	15	40	15	16	80	29	20	407	17	0	24	10	87	528
CC-64-05 (Ms)	Medio	InMa	Sub-r	P	142	17	65	33	5	14	32	10	10	38	20	17	261	10	0	44	3	117	425
CC-64-06 (Mi)	Grueso	SubMa	Sub-r	P	174	25	50	17	63	19	43	17	68	15	31	10	358	21	0	0	0	113	471
CC-64-07 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	W	147	19	76	7	32	13	52	14	27	17	28	15	300	4	0	0	5	101	406
CP-187-04(Mi)	Grueso	SubMa	Sub-r	M	163	24	80	11	34	14	39	31	13	53	49	30	378	21	3	37	5	97	517
CP-187-05(Mi)	Grueso	SubMa	r	W	150	36	53	31	16	14	53	14	26	93	17	14	367	0	3	33	3	109	512
Formación Vicente Guerrero																							
EMA1-03 (Mi)	Fino	SubMa	Sub-r	W	272	29	126	69	34	14	104	7	2	18	4	15	422	0	0	62	44	62	590
EMA1-04 (Ms)	Grueso	SubMa	Sub-a	M	169	5	106	35	23	0	121	4	10	42	12	25	383	2	0	90	13	155	641

Muestra	Textura				Esqueleto																Esqueleto total
	Granulometría	Madurez	Dispocisión		NCE												NCE total	Otros componentes particulares				
			Ro.	Sor.	Qt	Qmo	Qmr	Qp2-3	Qp>3	Cq	K	P	Lm	Lv	Ls	Ch		CE	CI	M	HM	Cm	
EMA1-05 (Mi)	Fino	InMa	Sub-a	M	212	56	111	37	8	0	84	16	10	7	86	14	429	21	36	52	8	124	613
EMA1-06 (Mi)	Medio	Ma	Sub-a	M	235	39	100	67	9	20	99	7	10	30	30	29	440	0	0	75	13	51	579
EMA1-07 (Ms)	Fino	InMa	Sub-a	M	206	49	67	61	9	20	119	6	10	21	38	12	412	0	0	68	15	95	590
EMA1-08 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	M	241	37	100	73	8	23	105	2	7	38	7	17	417	0	0	53	14	75	559
EMA1-09 (Ms)	Grueso	SubMa	r	P	266	46	96	27	72	25	110	4	16	37	19	20	472	0	0	11	8	118	609
EMA1-10 (Ms)	Grueso	SubMa	r	M	228	46	80	32	50	20	107	3	16	44	32	19	449	12	0	38	7	96	590
EMA1-11 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	P	204	33	110	45	4	12	102	3	26	12	10	15	372	0	0	36	10	132	550
EMA1-12 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	P	153	33	65	41	4	10	109	15	5	26	5	0	313	0	0	58	9	153	533
EMA2-10 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	227	49	90	41	29	18	73	4	16	39	27	15	401	0	0	52	14	75	542
CC-54-14 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	235	59	101	44	31	0	65	2	6	30	60	4	402	0	0	0	10	85	497
CC-54-15 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	235	68	95	41	31	0	80	3	6	32	57	12	425	0	0	50	9	79	563
CC54-16 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	197	30	130	20	17	0	137	3	3	22	27	14	403	0	0	16	5	79	503
CC54-17 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	194	22	142	13	11	6	142	8	7	9	17	14	391	0	0	31	9	72	503
CP177-01 (Ms)	Fino	SubMa	Sub-a	M	161	19	93	24	3	22	99	7	26	33	29	21	376	1	1	23	6	108	513
CP177-02 (Ms)	Fino	SubMa	Sub-a	M	209	24	131	21	4	29	87	5	7	6	31	21	366	5	0	31	2	107	506
CP177-03 (Mi)	Fino	InMa	Sub-a	M	197	29	107	26	3	32	98	3	1	5	19	19	342	3	0	44	11	112	509
CP187-06 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	231	33	132	25	2	39	113	3	4	8	10	17	386	0	0	23	4	100	513
CP207-02 (Ms)	Medio	Ma	Sub-r	W	175	33	91	29	2	20	102	9	24	18	23	23	374	5	0	19	7	113	513
CP207-03 (Ms)	Fino	InMa	Sub-a	M	175	33	91	29	2	20	102	9	6	7	31	23	353	18	0	19	2	139	513
CP207-04 (Ms)	Fino	Ma	Sub-a	M	167	39	88	24	4	12	96	3	1	7	32	20	326	18	0	27	4	156	513
Formación Del Monte																							
EMA1-01	Medio	InMa	a	P	159	49	54	14	23	12	104	74	17	64	39	17	467	9	7	44	0	100	611
EMA1-02	Medio	InMa	Sub-r	M	149	48	62	9	15	15	110	85	12	71	66	10	503	40	0	64	6	127	700
EMA2-04	Grueso	InMa	Sub-r	P	128	27	46	16	29	10	88	55	15	65	15	0	366	86	14	31	10	139	546
EMA2-06	Fino	SubMa	a	M	142	32	64	22	10	14	109	84	3	55	25	12	430	0	0	82	13	149	674
EMA2-07	Grueso	SubMa	Sub-r	M	130	33	57	5	23	12	102	81	5	41	74	0	433	44	0	61	9	106	609
EMA2-09	Grueso	SubMa	Sub-a	M	131	30	67	6	14	14	72	29	12	54	86	0	384	67	0	7	5	120	516
CP207-06	Medio	SubMa	a	M	114	23	54	14	11	8	104	74	6	16	53	17	380	33	7	43	0	73	496
CP-207-07	Grueso	SubMa	Sub-a	P	147	48	39	12	16	12	67	52	29	84	35	10	404	0	16	22	10	98	534
CP207-08	Medio	SubMa	Sub-a	P	136	38	59	12	11	16	67	44	23	53	44	22	389	22	5	22	11	78	500
CP207-09	Medio	InMa	Sub-a	M	121	28	49	12	13	19	79	57	21	37	22	17	354	0	0	35	13	98	500
CP207-10	Fino	InMa	Sub-a	P	108	17	70	9	3	9	88	50	31	55	30	23	385	6	0	24	10	81	500
CC44-02	Grueso	InMa	Sub-r	P	134	48	39	12	16	19	87	61	20	54	27	19	402	0	0	0	9	89	500
CC44-03	Grueso	InMa	Sub-r	M	141	23	68	12	9	29	72	55	38	18	19	19	362	0	0	24	12	102	500
CC44-04	Fino	InMa	Sub-r	M	111	17	39	12	14	29	40	37	6	15	4	23	236	0	0	19	5	139	399
CC44-05	Medio	SubMa	Sub-r	M	106	14	51	7	5	29	67	52	36	14	79	17	371	42	14	18	12	99	500
CC44-07	Fino	SubMa	Sub-r	M	137	38	59	12	16	12	80	55	15	13	39	18	357	0	0	62	13	68	500
CC54-01	Grueso	InMa	Sub-r	M	120	32	42	4	9	33	85	58	13	27	64	23	390	34	12	15	2	93	500
CC54-02	Medio	InMa	Sub-r	M	85	18	27	12	16	12	47	33	2	14	44	10	235	16	16	4	3	157	399
CC54-07	Medio	InMa	Sub-r	P	92	13	48	6	9	16	37	36	1	1	48	4	219	29	16	9	0	172	400
CC54-10	Grueso	SubMa	Sub-r	P	139	15	66	9	7	42	69	63	4	6	4	18	303	0	0	38	14	145	500
Formación Guacamaya																							
EMA1-13	Grueso	Ma	Sub-r	M	153	5	56	18	64	10	58	54	30	102	43	5	445	8	16	22	10	98	575
EMA1-14	Grueso	SubMa	Sub-r	M	139	16	63	35	10	15	68	72	59	128	69	10	545	28	14	33	5	95	678
EMA1-15	Grueso	SubMa	Sub-a	M	114	12	63	10	14	15	71	80	14	152	50	7	488	22	23	22	3	89	602
EMA2-01	Grueso	Ma	Sub-r	M	131	12	63	22	15	19	67	69	9	107	64	8	455	31	13	11	0	105	571
EMA2-02	Grueso	Ma	Sub-r	M	124	24	71	8	11	10	58	80	14	131	28	5	440	0	0	7	3	68	518
EMA2-03	Medio	Ma	Sub-r	M	109	9	58	12	18	12	85	79	12	132	8	5	430	8	0	4	3	81	518
CC34-01	Medio	SubMa	Sub-r	P	108	23	53	13	12	7	87	66	16	117	31	9	434	16	6	14	5	68	521
CC34-02	Fino	InMa	Sub-r	P	116	23	57	13	14	9	24	31	1	33	4	36	245	1	2	3	0	172	420
CC34-04	Fino	SubMa	Sub-a	P	93	18	39	7	11	18	36	44	2	34	18	33	260	13	0	19	0	141	420
CC34-05	Fino	InMa	Sub-a	P	110	18	53	12	14	13	48	39	4	52	9	26	288	0	0	13	7	112	420
CC34-08	Grueso	InMa	Sub-r	P	119	18	47	11	16	27	88	87	27	32	13	27	393	0	0	7	2	98	500
CC34-09	Grueso	InMa	Sub-r	P	134	23	29	12	7	63	66	50	20	28	49	16	363	0	0	11	2	124	500
CP197-02	Fino	SubMa	Sub-a	M	83	13	36	7	8	19	49	35	3	38	8	29	245	0	0	14	4	158	421
CP197-03	Grueso	Ma	Sub-r	M	105	23	47	13	15	7	46	48	18	125	48	24	414	0	18	20	5	82	521
CP167-01	Fino	InMa	Sub-r	P	99	7	31	9	17	35	41	30	5	14	19	27	235	0	0	18	0	146	399
CP167-02	Medio	InMa	Sub-r	P	90	7	38	16	4	25	52	53	8	16	4	51	274	0	0	8	0	118	400
CP177-05	Medio	Ma	Sub-a	M	91	13	33	15	9	21	51	39	6	61	6	26	280	6	0	3	0	116	399
CP177-06	Medio	Ma	Sub-r	W	107	14	39	9	2	43	62	35	6	27	1	29	267	0	0	3	0	130	400

Abreviaciones: **Cm** = cemento calcítico / martiz de arcilla, **Sor.** = sorteo, **P- M- W** = sorteo pobre (P), moderado (M) ó Bueno (B), **Ro.** = redondez, **Sub-a** = granos sub-angulares, **Sub-r** = granos sub-redondeados, **r** = granos redondeados, **Ma** = mádurez, SubMa = submadura, **InMa** = inmadura. **NCE=** granos extracuenca sin carbonatos, **CE=** componentes de extracuenca carbonáticos **CI=** componentes de intracuenca carbonáticos. Parámetros principales se encuentra en negritas.

Tabla 7. Porcentaje del conteo de puntos.

Muestra	Textura				Esqueleto (%)																			Qmo/Qmr	Qm/Qp	P/F
	Granulometría	Mádurez	Disposición		NCE (%)													Otros componentes particulares								
			Ro.	Sor.		Q (%)					F (%)		Lt (%)			Ch										
					Qt	Qmo	Qmr	Qp2-3	Qp>3	Cq	K	P	Lm	Lv	Ls	(%)	CE	CI	M	HM	Cm					
Formación Cañón De Caballeros																										
CC-64-01 (Ms)	Medio	InMa	r	P	42	11	12	7	5	9	18	4	5	22	1	6	0	0	10	2	27	0.91	2.66	0.19
CC-64-02a(Ms)	Fino	SubMa	Sub-a	P	54	7	43	1	2	0	26	3	3	5	3	6	1	0	14	0	48	0.17	13.67	0.11
CC-64-02b(Ms)	Fino	InMa	Sub-a	P	51	1	42	2	6	0	23	1	2	10	4	8	0	0	6	0	47	0.03	5.41	0.06
CC-64-03a(Mi)	Grueso	Ma	Sub-r	W	48	8	20	6	15	0	13	2	6	21	6	3	1	0	7	3	9	0.40	1.32	0.14
CC-64-03b(Mi)	Grueso	SubMa	Sub-r	M	43	6	15	12	10	0	11	1	1	19	11	14	2	0	5	0	20	0.44	0.97	0.09
CC-64-04 (Mi)	Grueso	SubMa	Sub-a	M	51	11	17	7	12	4	10	4	4	20	7	5	3	0	5	2	16	0.63	1.65	0.27
CC-64-05 (Ms)	Medio	InMa	Sub-r	P	54	7	25	13	2	5	12	4	4	15	8	7	2	0	10	1	28	0.26	2.53	0.24
CC-64-06 (Mi)	Grueso	SubMa	Sub-r	P	49	7	14	5	18	5	12	5	19	4	9	3	4	0	0	0	24	0.50	1.18	0.28
CC-64-07 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	W	49	6	25	2	11	4	17	5	9	6	9	5	1	0	0	2	25	0.25	2.77	0.21
CP-187-04(Mi)	Grueso	SubMa	Sub-r	M	43	6	21	3	9	4	10	8	3	14	13	8	4	1	7	1	19	0.30	2.62	0.44
CP-187-05(Mi)	Grueso	SubMa	r	W	41	10	14	8	4	4	14	4	7	25	5	4	0	1	6	1	21	0.68	2.19	0.21
Promedio ($\bar{x}$)	Grueso	SubMa	Sub-r	P	47.8	7.3	22.5	6.0	8.6	3.2	15.3	3.7	5.9	14.5	6.9	6.2	1.8	0.1	6.4	1.1	25.9	0.42	3.36	0.20
Formación Vicente Guerrero																										
EMA1-03 (Mi)	Fino	SubMa	Sub-r	W	64	7	30	16	8	3	25	2	0	4	1	4	0	0	11	10	11	0.23	1.6	0.06
EMA1-04 (Ms)	Grueso	SubMa	Sub-a	M	44	1	28	9	6	0	32	1	3	11	3	7	0	0	14	3	24	0.05	1.9	0.03
EMA1-05 (Mi)	Fino	InMa	Sub-a	M	49	13	26	9	2	0	20	4	2	2	20	3	3	6	8	2	20	0.50	3.7	0.16
EMA1-06 (Mi)	Medio	Ma	Sub-a	M	53	9	23	15	2	5	23	2	2	7	7	7	0	0	13	3	9	0.39	2.1	0.07
EMA1-07 (Ms)	Fino	InMa	Sub-a	M	50	12	16	15	2	5	29	1	2	5	9	3	0	0	12	4	16	0.73	1.9	0.05
EMA1-08 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	M	58	9	24	18	2	6	25	0	2	9	2	4	0	0	9	3	13	0.37	2.0	0.02
EMA1-09 (Ms)	Grueso	SubMa	r	P	56	10	20	6	15	5	23	1	3	8	4	4	0	0	2	2	19	0.48	1.7	0.04
EMA1-10 (Ms)	Grueso	SubMa	r	M	51	10	18	7	11	4	24	1	4	10	7	4	2	0	6	2	16	0.58	1.8	0.03
EMA1-11 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	P	55	9	30	12	1	3	27	1	7	3	3	4	0	0	7	3	24	0.30	3.2	0.03
EMA1-12 (Ms)	Fino	InMa	Sub-r	P	49	11	21	13	1	3	35	5	2	8	2	0	0	0	11	3	29	0.51	2.4	0.12
EMA2-10 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	57	12	22	10	7	4	18	1	4	10	7	4	0	0	10	3	14	0.54	2.2	0.05
CC-54-14 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	58	15	25	11	8	0	16	0	1	7	15	1	0	0	0	2	17	0.58	2.1	0.03
CC-54-15 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	55	16	22	10	7	0	19	1	1	8	13	3	0	0	9	2	14	0.72	2.3	0.04
CC54-16 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	49	7	32	5	4	0	34	1	1	5	7	3	0	0	3	1	16	0.23	4.3	0.02
CC54-17 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	50	6	36	3	3	2	36	2	2	2	4	4	0	0	6	2	14	0.15	7.1	0.05
CP177-01 (Ms)	Fino	SubMa	Sub-a	M	43	5	25	6	1	6	26	2	7	9	8	6	0	0	4	2	21	0.20	5.0	0.07
CP177-02 (Ms)	Fino	SubMa	Sub-a	M	57	7	36	6	1	8	24	1	2	2	8	6	1	0	6	1	21	0.18	7.4	0.05
CP177-03 (Mi)	Fino	InMa	Sub-a	M	58	8	31	8	1	9	29	1	0	1	6	6	1	0	9	3	22	0.27	5.8	0.03
CP187-06 (Mi)	Medio	Ma	Sub-r	W	60	9	34	6	1	10	29	1	1	2	3	4	0	0	4	1	19	0.25	7.6	0.03
CP207-02 (Ms)	Medio	Ma	Sub-r	W	47	9	24	8	1	5	27	2	6	5	6	6	1	0	4	2	22	0.36	4.6	0.08
CP207-03 (Ms)	Fino	InMa	Sub-a	M	50	9	26	8	1	6	29	3	2	2	9	7	4	0	4	1	27	0.36	4.6	0.08
CP207-04 (Ms)	Fino	Ma	Sub-a	M	51	12	27	7	1	4	29	1	0	2	10	6	4	0	5	1	30	0.44	5.0	0.03
Promedio ($\bar{x}$)	Fino	Ma	Sub-a	M	52.9	9.3	26.2	9.5	3.9	4.0	26.3	1.5	2.5	5.6	6.9	4.3	0.7	0.3	7.1	2.6	19.1	0.38	3.65	0.05
Formación Del Monte																										
EMA1-01	Medio	InMa	a	P	34	10	12	3	5	3	22	16	4	14	8	4	1	1	7	0	16	0.91	3.1	0.42
EMA1-02	Medio	InMa	Sub-r	M	30	10	12	2	3	3	22	17	2	14	13	2	6	0	9	1	18	0.77	5.2	0.44
EMA2-04	Grueso	InMa	Sub-r	P	35	7	13	4	8	3	24	15	4	18	4	0	16	3	6	3	25	0.59	1.8	0.38
EMA2-06	Fino	SubMa	a	M	33	7	15	5	2	3	25	20	1	13	6	3	0	0	12	3	22	0.50	3.4	0.44
EMA2-07	Grueso	SubMa	Sub-r	M	30	8	13	1	5	3	24	19	1	9	17	0	7	0	10	2	17	0.58	3.6	0.44
EMA2-09	Grueso	SubMa	Sub-a	M	34	8	17	2	4	4	19	8	3	14	22	0	13	0	1	1	23	0.45	5.6	0.29
CP207-06	Medio	SubMa	a	M	30	6	14	4	3	2	27	19	2	4	14	4	7	1	9	0	15	0.43	3.4	0.42
CP-207-07	Grueso	SubMa	Sub-a	P	36	12	10	3	4	3	17	13	7	21	9	2	0	3	4	2	18	1.23	3.5	0.44
CP207-08	Medio	SubMa	Sub-a	P	35	10	15	3	3	4	17	11	6	14	11	6	4	1	4	3	16	0.64	4.9	0.40
CP207-09	Medio	InMa	Sub-a	M	34	8	14	3	4	5	22	16	6	10	6	5	0	0	7	4	20	0.57	3.8	0.42
CP207-10	Fino	InMa	Sub-a	P	28	4	18	2	1	2	23	13	8	14	8	6	1	0	5	3	16	0.24	8.0	0.36
CC44-02	Grueso	InMa	Sub-r	P	33	12	10	3	4	5	22	15	5	13	7	5	0	0	0	2	18	1.23	3.8	0.41
CC44-03	Grueso	InMa	Sub-r	M	39	6	19	3	2	8	20	15	10	5	5	5	0	0	5	3	20	0.34	5.7	0.43
CC44-04	Fino	InMa	Sub-r	M	47	7	17	5	6	12	17	16	3	6	2	10	0	0	5	2	35	0.44	3.3	0.48
CC44-05	Medio	SubMa	Sub-r	M	29	4	14	2	1	8	18	14	10	4	21	5	8	3	4	3	20	0.27	7.8	0.44
CC44-07	Fino	SubMa	Sub-r	M	38	11	17	3	4	3	22	15	4	4	11	5	0	0	12	4	14	0.64	3.9	0.41
CC54-01	Grueso	InMa	Sub-r	M	31	8	11	1	2	8	22	15	3	7	16	6	7	2	3	1	19	0.76	8.2	0.41
CC54-02	Medio	InMa	Sub-r	M	36	8	11	5	7	5	20	14	1	6	19	4	4	4	1	1	39	0.67	2.0	0.41
CC54-07	Medio	InMa	Sub-r	P	42	6	22	3	4	7	17	16	0	0	22	2	7	4	2	0	43	0.27	5.1	0.49
CC54-10	Grueso	SubMa	Sub-r	P	46	5	22	3	2	14	23	21	1	2	1	6	0	0	8	5	29	0.23	7.7	0.48
Promedio ($\bar{x}$)	Medio	SubMa	Sub-r	P	35.0	7.8	14.7	3.0	3.8	5.3	21.1	15.4	4.1	9.6	11.2	4.0	4.1	1.1	5.7	2.1	22.2	0.59	4.70	0.42
Formación Guacamaya																										
EMA1-13	Grueso	Ma	Sub-r	M	34	1	13	4	14	2	13	12	7	23	10	1	1	3	4	2	17	0.09	0.9	0.48
EMA1-14	Grueso	SubMa	Sub-r	M	26	3	12	6	2	3	12	13	11	23	13	2	4	2	5	1	14	0.25	2.1	0.51
EMA1-15	Grueso	SubMa	Sub-a	M	23	2	13	2	3	3	15	16	3	31	10	1	4	4	4	1	15	0.19	3.8	0.53
EMA2-01	Grueso	Ma	Sub-r	M	29	3	14	5	3	4	15	15	2	24	14	2	5	2	2	0	18	0.19	2.5	0.51

Muestra	Textura				Esqueleto (%)																	Qmo/Qmr	Qm/Qp	P/F
	Granulometría	Mádurez	Disposición		NCE (%)												Otros componentes particulares							
			Ro.	Sor.		Q (%)						F (%)		Lt (%)			Ch							
					Qt	Qmo	Qmr	Qp2-3	Qp>3	Cq	K	P	Lm	Lv	Ls	(%)	CE	CI	M	HM	Cm			
EMA2-02	Grueso	Ma	Sub-r	M	28	5	16	2	3	2	13	18	3	30	6	1	0	0	1	1	13	0.34	5.5	0.58
EMA2-03	Medio	Ma	Sub-r	M	25	2	13	3	4	3	20	18	3	31	2	1	2	0	1	1	16	0.16	2.6	0.48
CC34-01	Medio	SubMa	Sub-r	P	25	5	12	3	3	2	20	15	4	27	7	2	3	1	3	1	13	0.43	3.3	0.43
CC34-02	Fino	InMa	Sub-r	P	47	9	23	5	6	4	10	13	0	13	2	15	0	0	1	0	41	0.40	3.3	0.56
CC34-04	Fino	SubMa	Sub-a	P	36	7	15	3	4	7	14	17	1	13	7	13	3	0	5	0	34	0.46	4.2	0.55
CC34-05	Fino	InMa	Sub-a	P	38	6	18	4	5	5	17	14	1	18	3	9	0	0	3	2	27	0.34	3.2	0.45
CC34-08	Grueso	InMa	Sub-r	P	30	5	12	3	4	7	22	22	7	8	3	7	0	0	1	1	20	0.38	3.4	0.50
CC34-09	Grueso	InMa	Sub-r	P	37	6	8	3	2	17	18	14	6	8	13	4	0	0	2	1	25	0.79	6.1	0.43
CP197-02	Fino	SubMa	Sub-a	M	34	5	15	3	3	8	20	14	1	16	3	12	0	0	3	2	38	0.36	4.5	0.42
CP197-03	Grueso	Ma	Sub-r	M	25	6	11	3	4	2	11	12	4	30	12	6	0	3	4	1	16	0.49	2.8	0.51
CP167-01	Fino	InMa	Sub-r	P	42	3	13	4	7	15	17	13	2	6	8	11	0	0	5	0	37	0.23	2.8	0.42
CP167-02	Fino	InMa	Sub-r	P	33	3	14	6	1	9	19	19	3	6	1	19	0	0	2	0	30	0.18	3.5	0.50
CP177-05	Medio	Ma	Sub-a	M	32.5	5	12	5	3	8	18	14	2	22	2	9	2	0	1	0	29	0.39	2.8	0.43
CP177-06	Medio	Ma	Sub-r	W	40	5	15	3	1	16	23	13	2	10	0	11	0	0	1	0	33	0.36	8.7	0.36
Promedio ($\bar{x}$)	Grueso	Ma	Sub-r	W	32.5	4.5	13.8	3.8	4.0	6.4	16.5	15.2	3.4	18.8	6.5	7.0	1.3	0.9	2.6	0.7	24.0	0.34	3.67	0.48

Abreviaciones: **Cm =** cemento calcítico / martiz de arcilla, **Sor. =** sorteo, **P- M- W =** sorteo pobre (P), moderado (M) ó Bueno (B), **Ro. =** redondez, **Sub-a** = granos sub-angulares, **Sub-r =** granos sub-redondeados, **r =** granos redondeados, **Ma** = mádurez**, SubMa=** submadura, **InMa =** inmadura. **NCE=** granos extracuenca sin carbonatos, **CE=** componentes de extracuenca carbonáticos **CI=** componentes de intracuenca carbonáticos. Parámetros principales se encuentra en negritas.

Tabla 8. Datos modales recalculados e índices ternarios.

Muestras	Qt–F–Lt (%)			Qt–F–L (%)			Qm–F–L (%)			Qm–K–P (%)			Lm–Lv–Ls (%)			Qp–Lv–Ls (%)			Qt–F–R+Ch (%)		
	Garzanti (2018)			Dickinson et al. (1983) Ingersoll & Suzeck (1979)			Dickinson et al. (1983)			Dickinson & Suczek (1979)			Ingersoll & Suczek (1979)						Folk et al. (1970)		
	Qt	F	Lt	Qt	F	L	Qm	F	L	Qm	K	P	Lm	Lv	Ls	Qp	Lv	Ls	Qt	F	R+Ch
Formación Cañón de Caballeros																					
CC-64-01 (Ms)	45	24	31	46	25	29	38	28	34	57	34	8	19	76	5	50	47	3	42	23	35
CC-64-02a(Ms)	59	32	9	59	32	9	58	33	9	64	33	4	22	35	43	53	21	26	54	29	17
CC-64-02b(Ms)	55	26	18	58	28	14	54	30	16	64	34	2	14	61	25	56	31	13	51	24	25
CC-64-03a(Mi)	51	16	33	54	17	29	40	22	38	64	31	5	17	60	23	52	35	13	48	15	36
CC-64-03b(Mi)	51	15	34	57	16	27	39	23	37	63	34	3	4	56	39	54	27	19	43	12	45
CC-64-04 (Mi)	56	15	29	58	15	27	46	20	34	70	22	8	11	56	32	48	33	19	51	14	36
CC-64-05 (Ms)	59	17	24	61	18	21	52	23	26	70	23	7	13	49	38	49	29	23	53	16	32
CC-64-06 (Mi)	53	18	28	55	19	26	40	25	35	61	28	11	50	11	39	70	7	23	49	17	35
CC-64-07 (Ms)	52	23	24	57	26	17	50	30	20	62	30	8	36	22	42	62	13	25	49	22	29
CP-187-04(Mi)	50	22	28	55	23	22	46	28	26	63	21	16	9	38	53	41	25	34	43	19	38
CP-187-05(Mi)	43	19	38	45	20	35	36	23	41	61	31	8	19	67	14	44	47	10	41	18	41
Promedio ($\bar{x}$)	52.3	20.7	26.9	54.9	21.7	23.4	45.3	26.0	28.8	63.5	29.1	7.4	19.5	48.3	32.2	52.5	28.6	18.9	46.6	19.0	33.4
(-95%)	48.9	17.2	21.5	51.4	18.2	18.2	40.4	23.1	21.9	61.0	25.7	4.7	10.7	35.1	22.8	47.0	20.3	13.1	44.6	15.6	28.2
(+95%)	55.8	24.3	32.4	58.5	25.3	28.5	50.1	28.8	35.7	66.0	32.5	10.1	28.2	61.6	41.6	58.0	36.9	24.7	50.7	22.4	38.6
(-99%)	47.4	15.6	19.2	49.9	16.7	16.0	38.3	21.9	19.0	60.0	24.3	3.6	7.0	29.5	18.8	44.6	16.8	10.7	43.3	14.1	26.0
(+99%)	57.2	25.8	34.7	59.9	26.8	30.7	52.2	30.0	38.6	67.0	33.9	11.2	31.9	67.1	45.6	60.4	40.4	27.2	52.1	23.8	40.8
Formación Vicente Guerrero																					
EMA1-03 (Mi)	67	27	6	67	28	5	56	37	7	60	37	3	8	75	17	85	13	3	64	26	9
EMA1-04 (Ms)	47	35	17	49	36	15	39	43	18	47	51	2	15	64	21	62	28	9	44	33	23
EMA1-05 (Mi)	59	28	13	64	30	5	59	35	6	63	31	6	6	4	89	32	3	65	49	23	27
EMA1-06 (Mi)	57	26	17	62	28	10	52	35	13	60	37	3	14	43	43	66	17	17	53	24	23
EMA1-07 (Ms)	52	31	17	57	35	9	47	43	11	52	46	2	14	30	55	61	14	25	50	30	20
EMA1-08 (Ms)	58	26	16	61	27	11	51	34	14	60	39	1	11	58	32	64	23	13	56	25	19
EMA1-09 (Ms)	59	25	16	61	26	12	50	34	16	59	39	1	22	51	26	71	19	10	56	24	19
EMA1-10 (Ms)	55	26	19	57	28	15	46	35	19	57	42	1	15	42	42	57	21	21	51	24	25
EMA1-11 (Ms)	57	29	13	59	30	11	52	35	13	60	39	1	54	25	21	80	11	9	55	28	17
EMA1-12 (Ms)	49	40	12	50	40	10	41	47	12	47	47	6	14	72	14	62	32	6	49	40	12
EMA2-10 (Mi)	59	20	21	63	21	15	54	27	19	67	31	2	20	48	33	60	23	16	57	19	24
CC-54-14 (Mi)	59	17	24	70	20	11	61	25	14	70	29	1	6	31	63	49	17	34	58	17	25
CC-54-15 (Mi)	57	20	23	66	23	11	57	29	13	66	33	1	6	34	60	50	18	32	55	20	25
CC54-16 (Mi)	51	36	13	54	39	7	49	43	8	53	46	1	6	42	52	52	21	26	49	35	16
CC54-17 (Mi)	51	40	9	54	42	4	51	45	5	53	44	3	21	27	52	63	13	24	50	38	12
CP177-01 (Ms)	46	30	24	49	33	18	45	35	20	56	41	3	29	37	34	54	24	22	43	28	29
CP177-02 (Ms)	61	27	11	67	29	4	64	32	4	67	32	2	14	12	73	56	6	38	57	25	18
CP177-03 (Mi)	62	32	7	65	33	2	61	37	2	62	36	1	4	18	79	64	7	29	58	30	13
CP187-06 (Mi)	63	31	6	64	32	3	61	35	4	64	35	1	18	36	45	73	12	15	60	30	10
CP207-02 (Ms)	51	32	17	53	34	13	48	37	14	56	40	4	34	26	40	63	15	23	47	30	24
CP207-03 (Ms)	56	36	8	60	36	4	55	40	5	56	40	4	10	11	79	52	6	42	50	31	19
CP207-04 (Ms)	58	34	8	61	36	3	57	40	3	58	40	1	2	12	86	46	7	47	51	30	18
Promedio ($\bar{x}$)	56.0	29.5	14.5	59.7	31.2	9.1	52.6	36.6	10.9	58.9	38.9	2.2	15.7	36.3	48.0	60.1	15.9	24.0	52.8	27.8	19.4
(-95%)	53.7	26.8	11.9	57.0	28.6	7.0	49.6	34.1	8.3	56.1	36.4	1.5	10.4	27.7	37.9	54.9	12.5	17.4	50.5	25.2	16.9
(+95%)	58.4	32.2	17.1	62.4	33.8	11.1	55.5	39.1	13.4	61.6	41.5	2.9	20.9	45.0	58.2	65.2	19.4	30.6	55.2	30.3	21.9
(-99%)	52.8	25.8	11.0	56.1	27.7	6.2	48.5	33.2	7.4	55.1	35.5	1.3	8.5	24.5	34.2	53.1	11.3	15.0	49.6	24.3	16.0
(+99%)	59.3	33.1	18.0	63.4	34.7	11.9	56.6	40.0	14.3	62.6	42.4	3.1	22.8	48.1	61.8	67.1	20.6	33.0	56.0	31.3	22.8
Formación Del Monte																					
EMA1-01	36	40	24	38	43	19	31	48	22	39	35	25	13	47	40	37	34	29	34	38	29
EMA1-02	33	43	24	35	46	19	31	48	21	39	34	27	6	38	56	21	32	48	30	39	32
EMA2-04	34	38	28	36	41	23	27	47	26	37	39	24	5	21	74	17	19	64	27	30	43
EMA2-06	34	46	20	36	49	15	30	53	16	36	36	28	4	66	30	37	43	20	33	45	22
EMA2-07	33	47	20	36	51	13	31	55	14	36	36	28	3	25	72	17	21	61	30	42	28
EMA2-09	41	32	27	44	34	22	40	36	24	52	34	14	5	25	70	13	23	64	34	26	40
CP207-06	35	54	11	36	57	7	30	62	8	32	40	28	5	14	81	31	10	59	30	46	24
CP-207-07	37	30	33	39	31	30	30	36	34	45	31	24	18	51	31	33	42	25	35	28	37
CP207-08	40	33	27	42	34	24	38	37	25	50	30	20	16	36	48	35	28	37	35	29	37
CP207-09	36	40	24	38	43	18	33	47	20	41	34	25	26	46	28	52	30	18	34	38	27
CP207-10	30	39	31	33	42	26	30	43	27	41	38	21	25	45	30	42	35	23	28	36	36
CC44-02	35	39	26	38	42	21	32	45	23	42	34	24	20	53	27	45	36	18	33	37	30
CC44-03	41	37	22	44	39	17	40	42	18	49	29	22	51	24	25	68	16	17	39	35	26
CC44-04	52	36	12	53	37	10	46	42	11	52	25	23	24	60	16	74	20	5	47	33	20
CC44-05	36	40	24	39	43	18	36	45	19	44	31	24	19	8	73	30	7	63	29	32	39
CC44-07	40	40	20	46	45	9	40	50	10	45	33	23	22	19	58	54	12	35	38	38	24
CC54-01	37	45	18	40	47	13	37	49	14	43	34	23	9	18	73	26	15	59	31	37	33
CC54-02	44	41	15	47	44	9	37	52	10	42	34	24	2	15	83	31	11	58	36	34	30
CC54-07	54	43	3	55	44	1	51	48	1	51	25	24	1	1	98	18	1	82	42	33	25
CC54-10	49	46	5	49	47	4	46	50	4	48	27	25	29	43	29	79	13	8	46	44	11

Muestras	Qt–F–Lt (%)			Qt–F–L (%)			Qm–F–L (%)			Qm–K–P (%)			Lm–Lv–Ls (%)			Qp–Lv–Ls (%)			Qt–F–R+Ch (%)		
	Garzanti (2018)			Dickinson et al. (1983) / Ingersoll & Suzeck (1979)			Dickinson et al. (1983)			Dickinson & Suczek (1979)			Ingersoll & Suczek (1979)						Folk et al. (1970)		
	Qt	F	Lt	Qt	F	L	Qm	F	L	Qm	K	P	Lm	Lv	Ls	Qp	Lv	Ls	Qt	F	R+Ch
Promedio ($\bar{x}$)	39	40	21	41	43	16	36	47	17	43	33	24	15	33	52	38	22	40	34	36	30
(-95%)	35.9	37.8	16.8	38.3	40.1	12.4	32.8	43.8	13.5	40.5	31.0	22.3	9.3	24.3	40.6	29.1	16.6	29.0	31.9	33.4	25.9
(+95%)	41.9	43.2	24.4	44.1	45.7	19.5	38.8	49.9	21.3	46.0	34.9	25.3	20.9	41.3	63.5	47.0	28.0	50.3	37.1	38.6	33.2
(-99%)	34.8	36.8	15.4	37.2	39.1	11.1	31.6	42.7	12.0	39.5	30.2	21.7	7.2	21.1	36.4	25.8	14.5	25.1	30.9	32.4	24.6
(+99%)	43.1	44.1	25.8	45.1	46.8	20.8	40.0	51.0	22.7	47.0	35.6	25.8	23.1	44.5	67.7	50.3	30.0	54.2	38.1	39.5	34.5
Formación Guacamaya																					
EMA1-13	37	27	36	39	28	33	23	36	42	39	32	30	15	51	34	41	36	23	34	25	40
EMA1-14	28	28	43	30	30	40	22	33	44	40	29	31	20	43	37	32	36	31	26	26	49
EMA1-15	26	35	39	26	35	39	22	37	41	37	29	33	5	58	36	15	52	33	23	31	46
EMA2-01	33	34	34	34	36	30	27	39	34	41	29	30	4	48	48	20	40	40	29	30	41
EMA2-02	29	32	40	30	34	36	27	36	37	43	24	33	8	76	16	19	66	14	28	31	40
EMA2-03	26	39	35	26	39	35	20	42	37	33	35	33	8	83	10	24	68	8	25	38	37
CC34-01	27	38	35	27	39	34	22	41	36	35	37	28	9	63	28	23	53	24	25	35	40
CC34-02	56	27	17	57	27	17	50	31	19	62	17	22	2	80	17	62	32	7	47	22	30
CC34-04	43	37	19	44	38	17	39	42	19	48	23	28	3	51	46	45	29	26	36	31	33
CC34-05	42	33	25	43	34	22	37	38	25	49	28	23	6	80	14	48	44	8	38	30	32
CC34-08	33	48	20	34	50	17	28	54	18	34	33	33	38	44	18	64	25	10	30	45	25
CC34-09	39	33	28	45	39	16	41	42	17	50	29	22	21	29	51	42	21	37	37	32	31
CP197-02	38	39	23	40	40	20	35	44	21	45	32	23	6	78	16	51	41	9	34	34	32
CP197-03	28	25	47	31	27	42	25	30	46	45	27	28	9	60	32	27	48	25	25	23	52
CP167-01	48	34	18	52	38	10	45	44	12	51	28	21	13	37	50	64	15	21	42	30	28
CP167-02	40	47	13	41	48	11	35	53	12	40	30	30	29	57	14	80	16	4	33	38	29
CP177-05	37	36	27	37	36	27	30	40	30	43	32	25	8	77	15	43	47	9	32.5	32	35
CP177-06	45	41	14	45	41	14	42	43	15	50	32	18	18	79	3	62	36	1	40	36	24
Promedio ($\bar{x}$)	36	35	28	38	37	25	32	40	28	44	29	27	12	61	27	42	39	18	33	32	36
(-95%)	32.1	32.0	23.2	33.5	33.5	20.2	27.2	37.1	22.2	40.0	26.9	24.8	7.5	52.3	19.5	32.9	31.7	12.4	29.2	28.9	31.8
(+95%)	40.6	38.4	33.7	42.3	39.7	30.8	36.3	43.4	33.8	47.2	31.6	29.6	16.9	69.2	34.6	51.7	46.8	24.4	35.9	34.5	39.7
(-99%)	30.5	30.9	21.3	31.8	32.4	18.2	25.6	35.9	20.0	38.6	26.1	23.9	5.7	49.2	16.6	29.4	28.9	10.2	27.9	27.8	30.3
(+99%)	42.2	39.5	35.6	44.0	40.9	32.7	38.0	44.5	36.0	48.5	32.4	30.4	18.7	72.4	37.4	55.2	49.6	26.7	37.1	35.6	41.2

Parámetros recalculados para los diagramas ternarios

	Parámetro	Cálculo	Significado
Qt–F–Lt Garzanti (2018)	Qt%	100 Qt/(Qt+F+Lt)	Cuarzo estable total
	F%	100F/(Qt+F+Lt)	Feldespato total
	Lt%	100Lt/(Qt+F+Lt)	Fragmentos líticos inestables total
Qt–F–L Dickinson et al. (1983); Ingersoll & Suczek (1979)	Qt%	100Qt/(Qt+F+L)	Cuarzo estable total
	F%	100F/(Qt+F+L)	Feldespato total
	L%	100L/(Qt+F+L)	Fragmentos líticos inestables
Qm–F–L Dickinson et al. (1983)	Qm%	100Qm/(Qm+F+L)	Cuarzo monocristalino
	F%	100F/(Qm+F+L)	Feldespato total
	L%	100L/(Qm+F+L)	Fragmentos líticos inestables
Qm–K–P Dickinson et al. (1983)	Qm%	100Qm/(Qm+K+P)	Cuarzo monocristalino
	K%	100K/ (Qm+K+P)	Feldespato potásico
	P%	100P/(Qm+K+P)	Plagioclasa
Lm–Lv–Ls Ingersoll & Suczek (1979)	Lm%	100Lm/(Lm+Lv+Ls)	Líticos metamórficos total
	Lv%	100Lv/(Lm+Lv+Ls)	Líticos ígneos total
	Ls%	100Ls/(Lm+Lv+Ls)	Líticos sedimentarios total
Qp–Lv–Ls Ingersoll & Suczek (1979)	Qp%	100Qp/(Qp+Lv+Ls)	Cuarzo policristalino + Chert + lítico metamórfico
	Lv%	100Lv/(Qp2+Lv+Ls)	Líticos ígneos total
	Ls%	100Ls/(Qp2+Lv+Ls)	Líticos sedimentarios total
Qt–F–Lt+Ch Folk et al. (1970)	Qt%	100 Qt/(Qt+F+R+Ch)	Cuarzo estable total
	F%	100F/(Qt+F+R+Ch)	Feldespato total
	R+Ch%	100R+Ch/(Qt+F+R+Ch)	Fragmentos de líticos inestables total + Chert

11.3.2 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Cañón de Caballeros

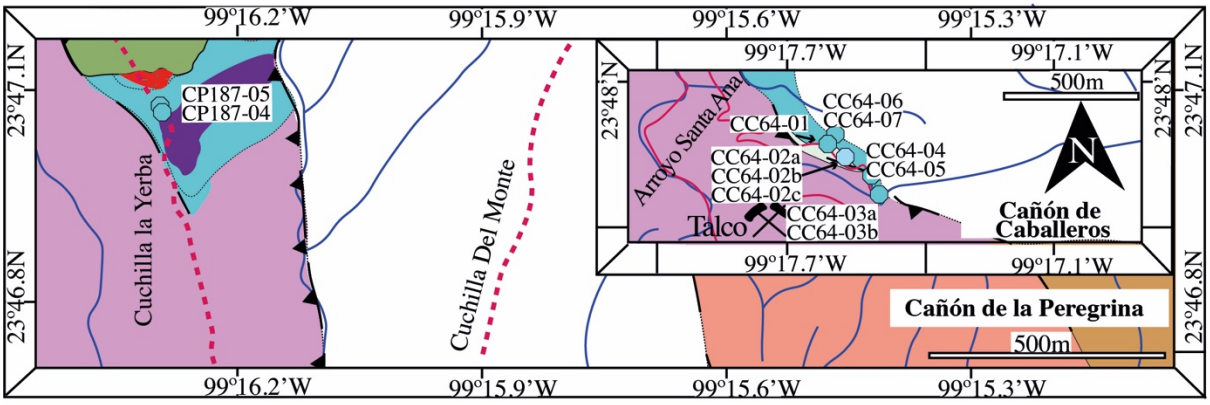
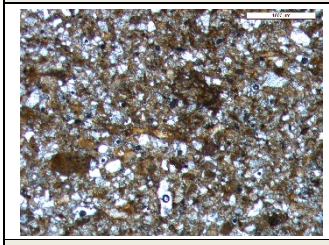
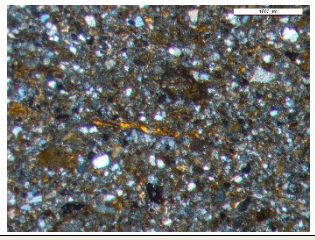
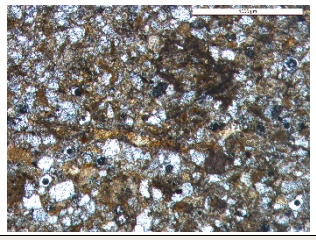
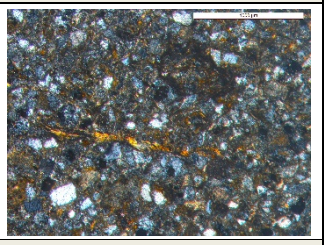
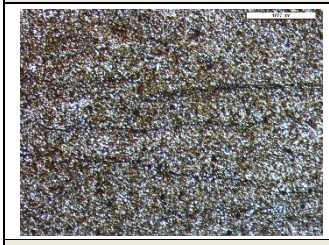
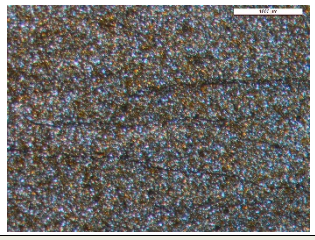
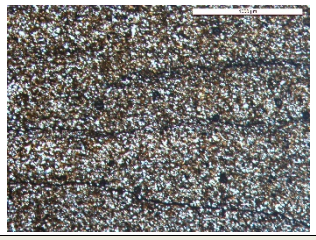
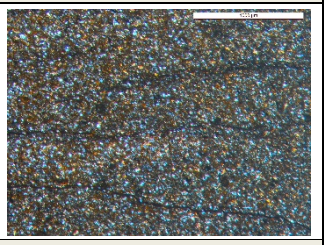
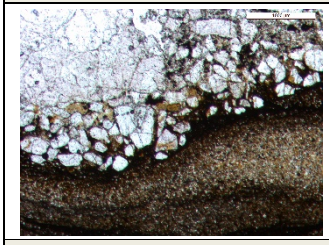
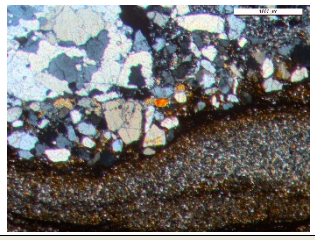
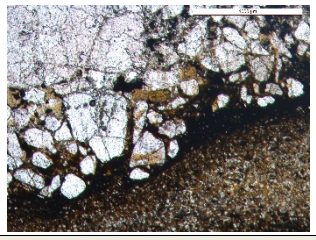
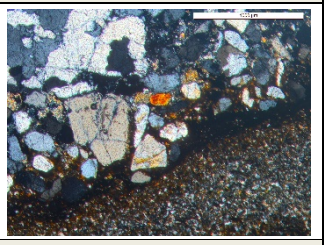
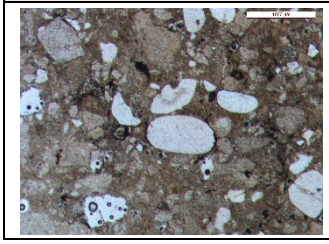
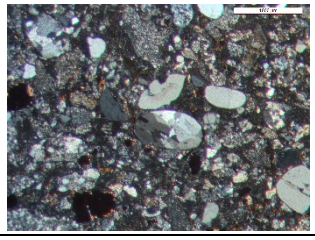
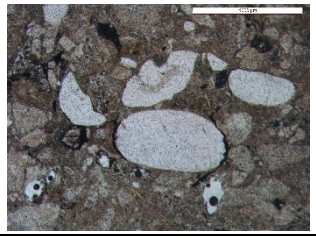
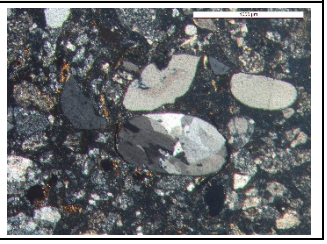
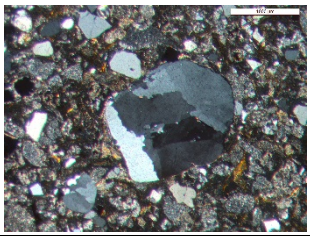
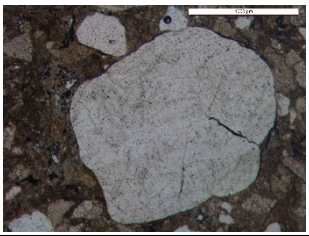
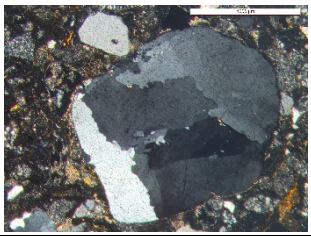
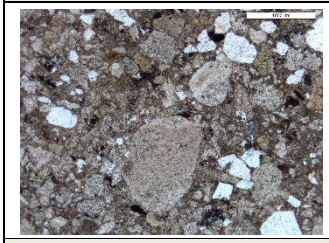
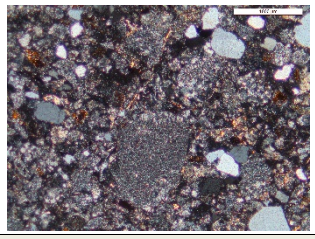
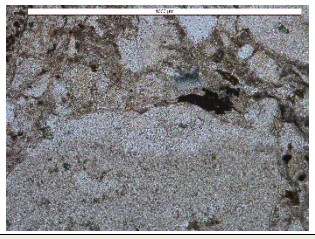
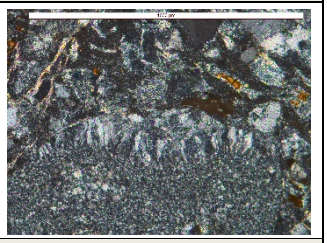
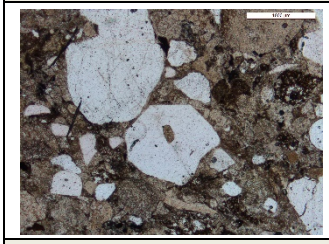
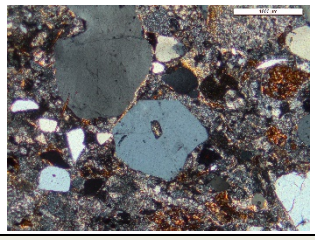
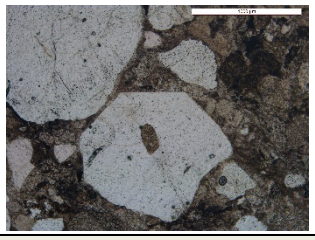
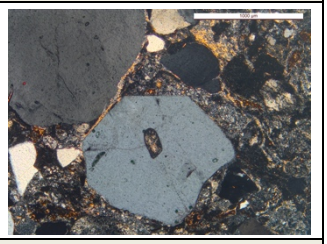
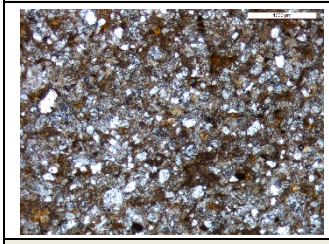
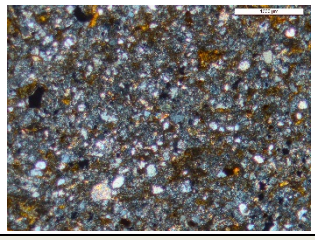
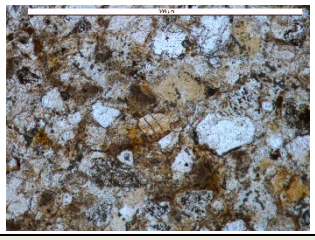
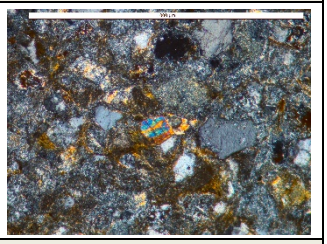
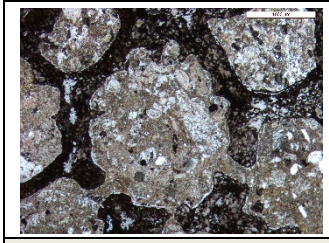
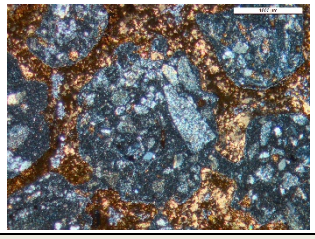
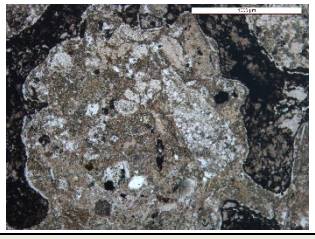
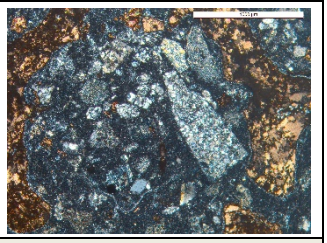
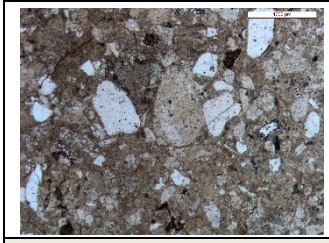
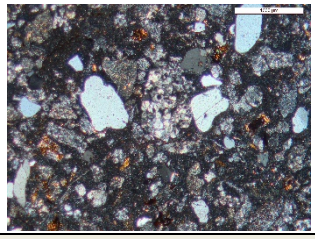
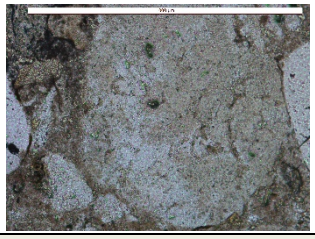
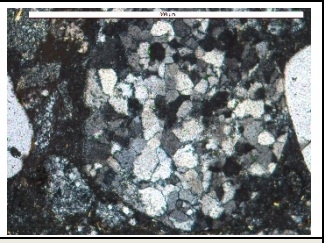
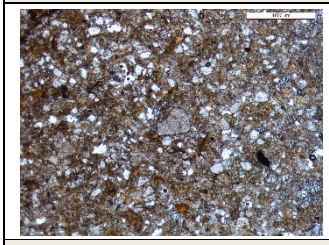
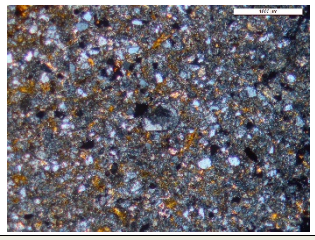
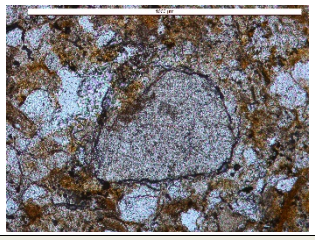
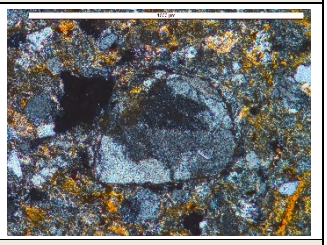
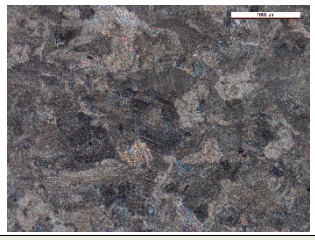
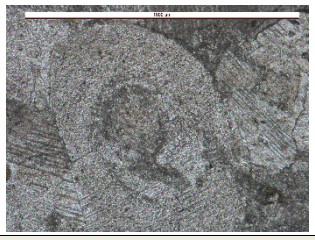
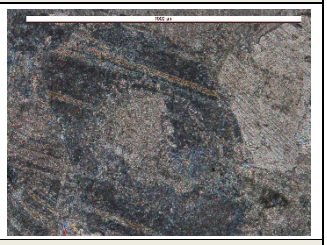
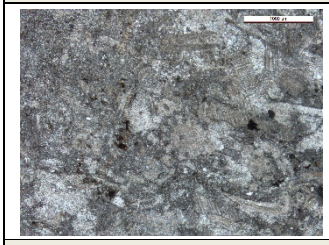
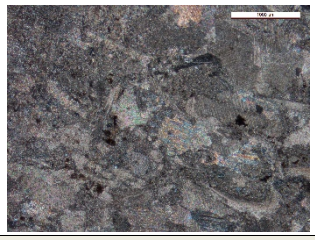
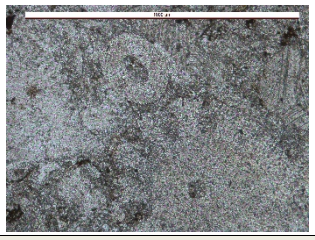
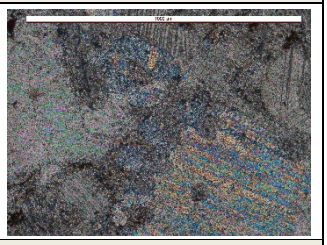
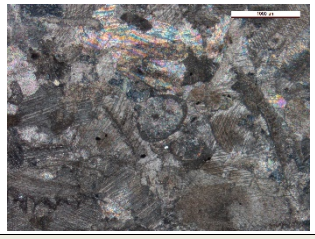
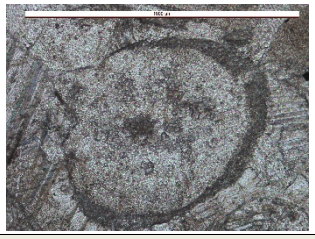
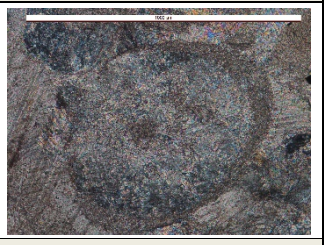
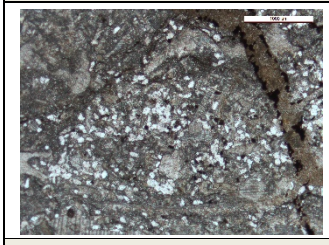
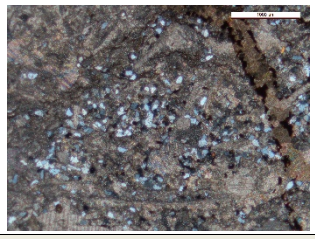
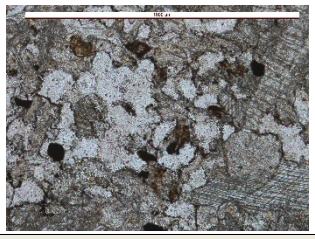
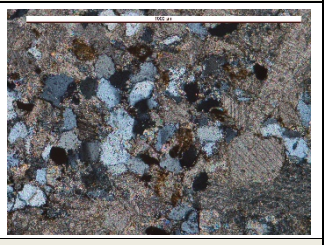
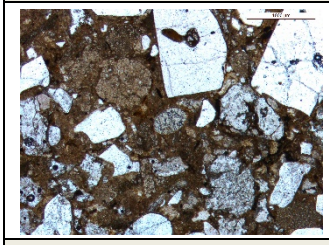
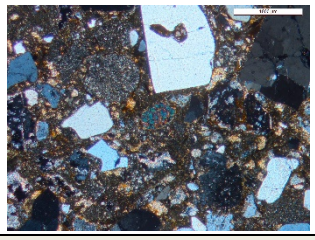
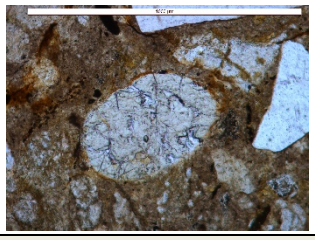
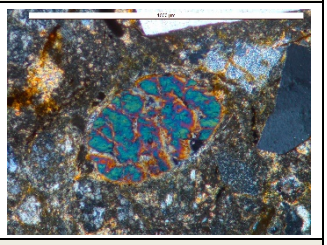


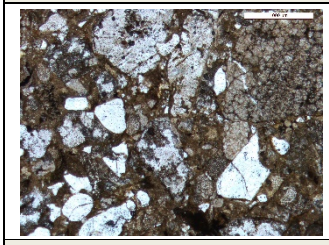
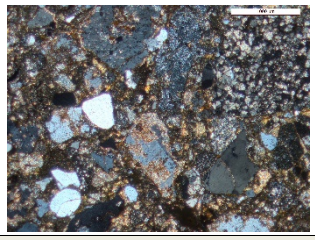
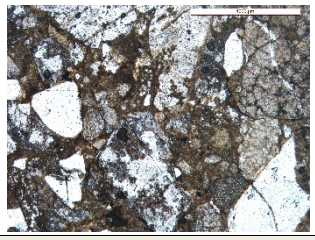
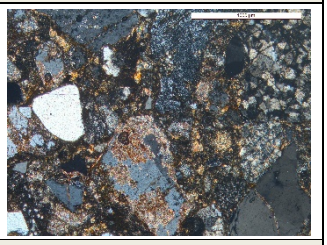
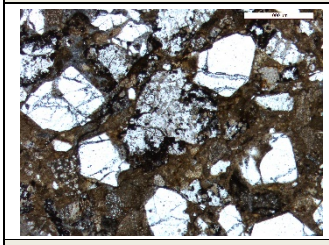
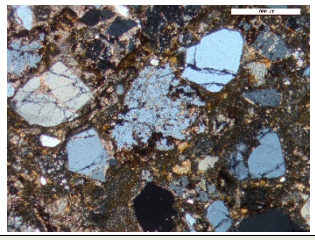
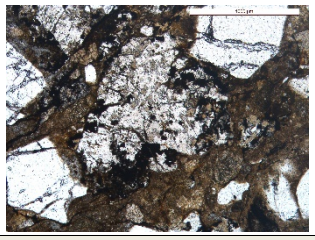
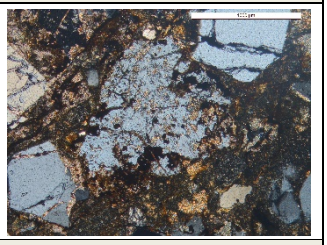
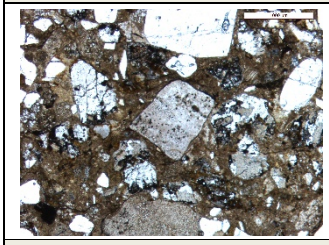
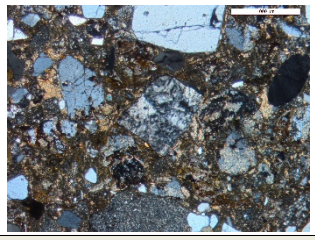
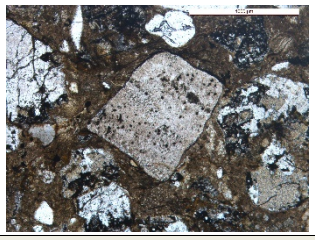
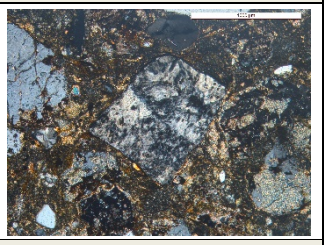
Fig. 9. 3. Localización de las muestras de la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior).

Tabla 9. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Cañón de Caballeros. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm.

Formación Cañón de Caballeros			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC64-01		CC64-01	
			
CC64-02a		CC64-02a	
			
CC64-02b		CC64-02b	
			

Formación Cañón de Caballeros			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
CC64-03a		CC64-03a	
			
CC64-03b		CC64-03b	
			
CC64-04		CC64-04	
			
CC64-04		CC64-04	
			
CC64-05		CC64-05	
			
CC64-06		CC64-06	
			
CC64-06		CC64-06	

Formación Cañón de Caballeros			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC64-07		**CC64-07**	
			
CP187-01		**CP187-01**	
			
CP187-01		**CP187-01**	
			
CP187-02		**CP187-02**	
			
CP187-03		**CP187-03**	
			
CP187-04		**CP187-04**	

Formación Cañón de Caballeros			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CP187-04		CP187-04	
			
CP187-05		CP187-05	
			
CP187-05		CP187-05	

11.3.3 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Vicente Guerrero

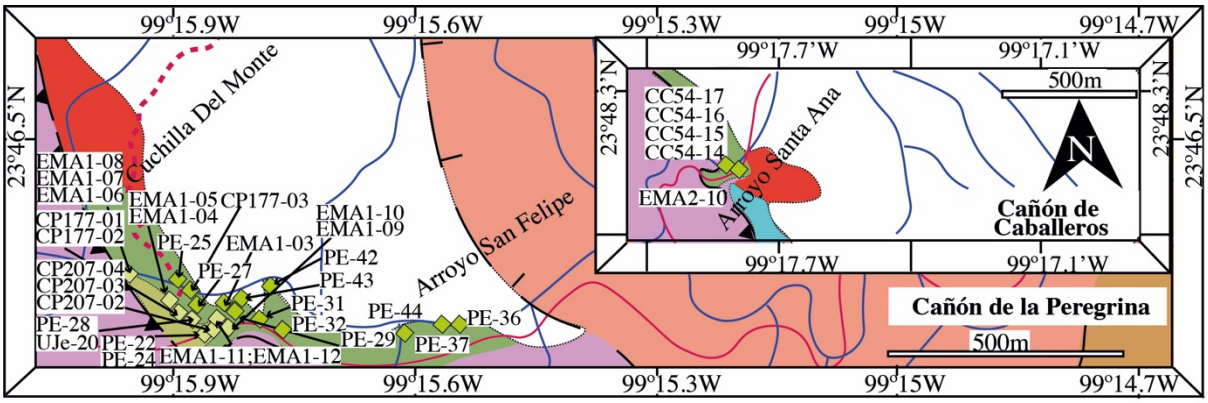
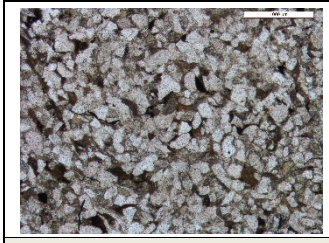
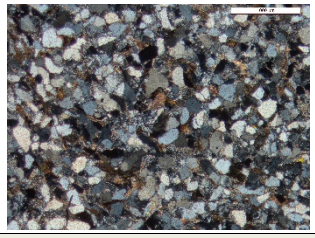
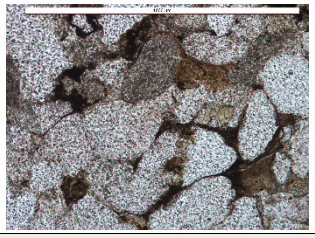
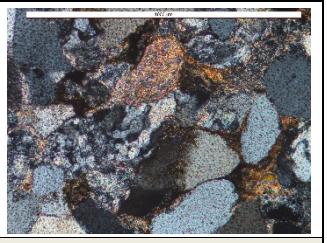
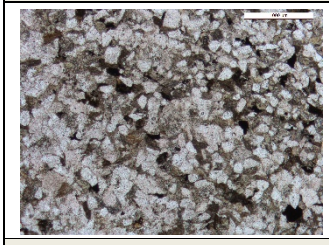
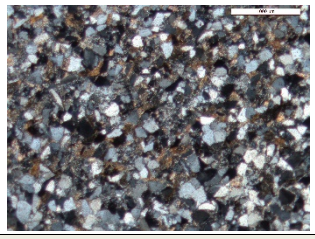
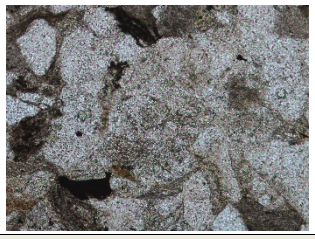
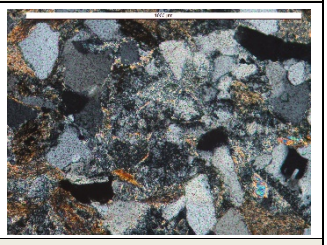
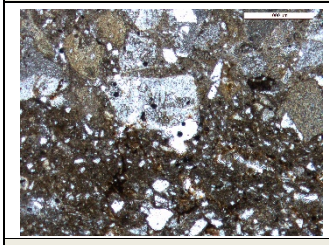
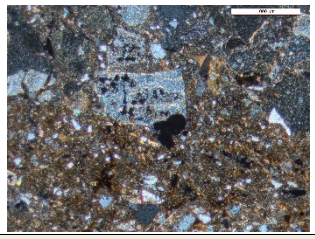
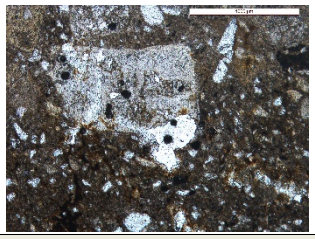
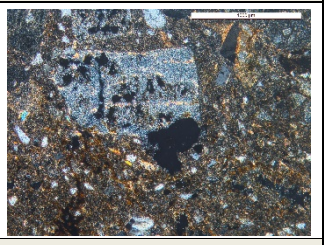
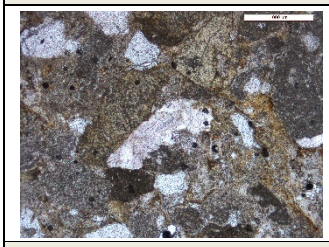
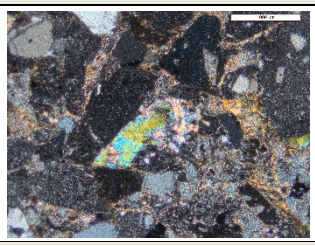
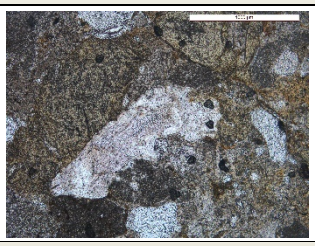
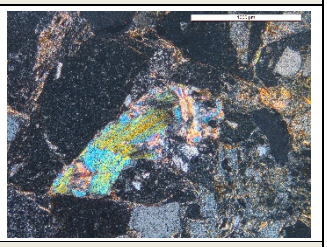
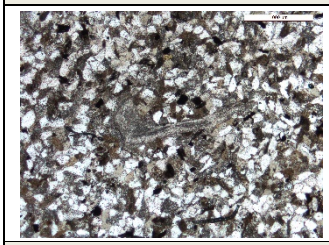
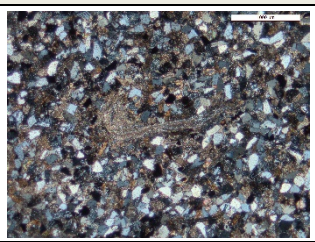
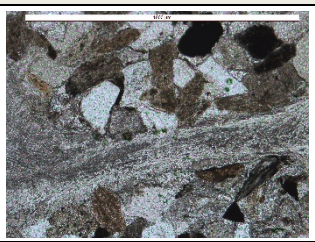
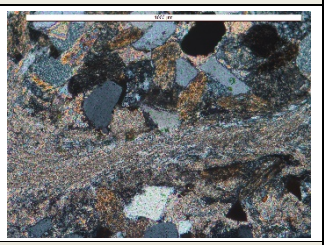
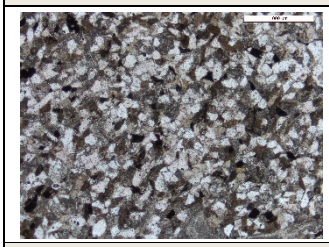
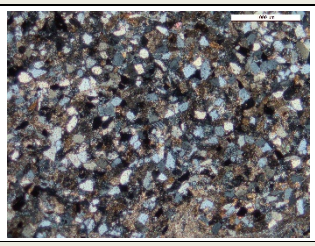
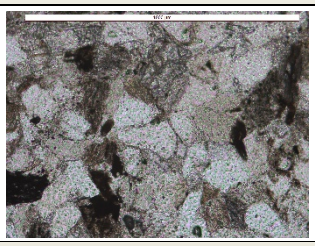
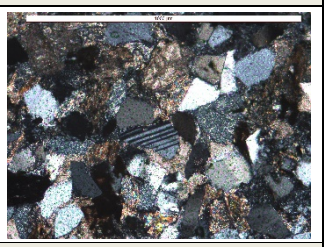
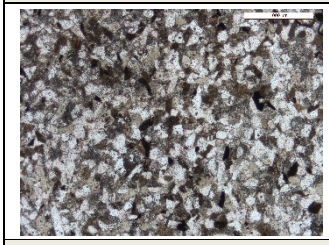
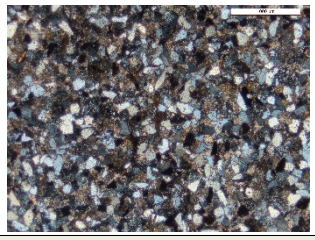
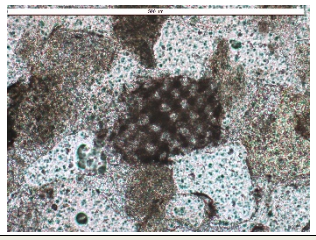
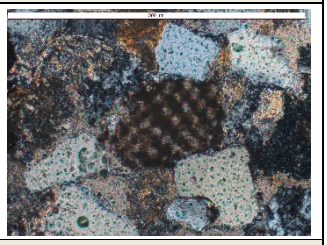
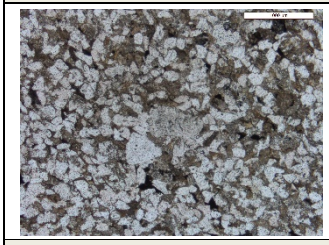
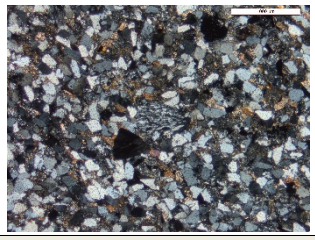
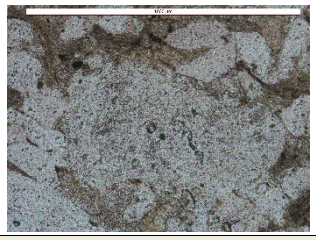
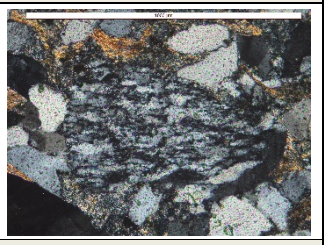
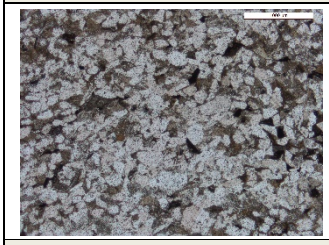
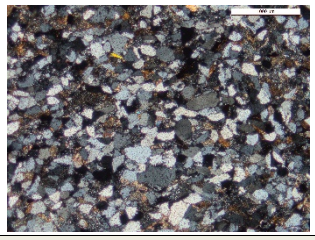
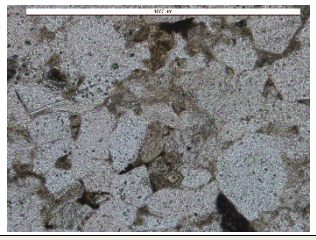
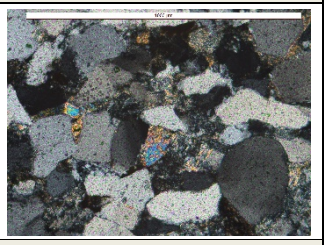
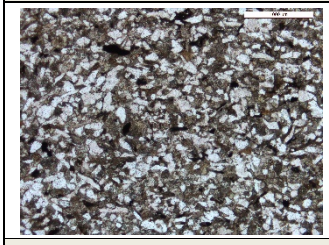
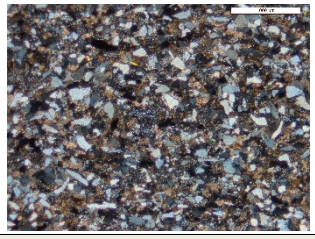
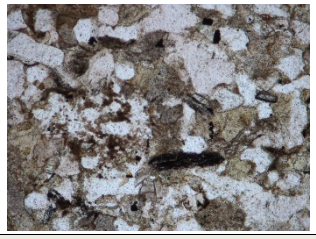
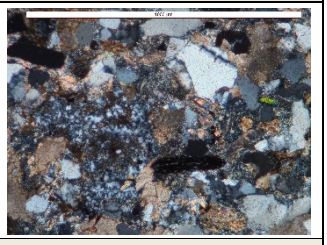
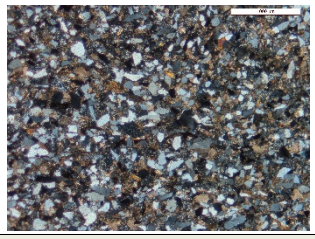
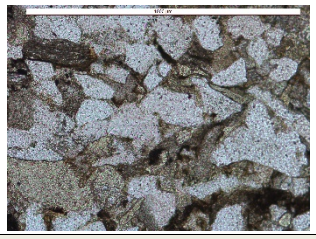
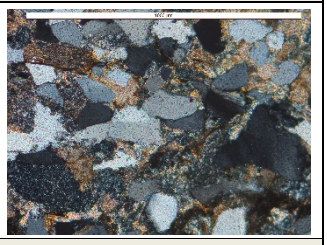
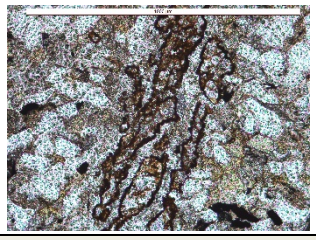
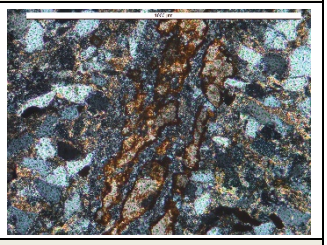
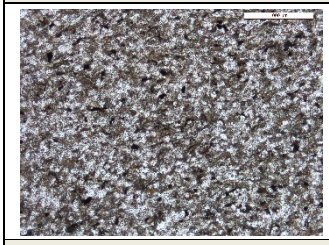
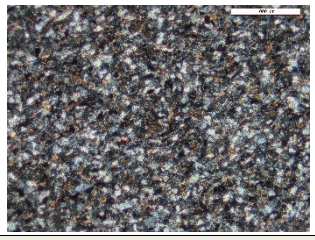
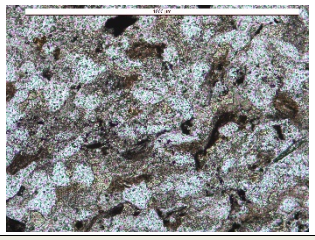
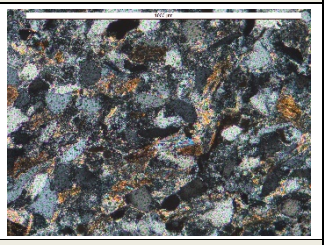
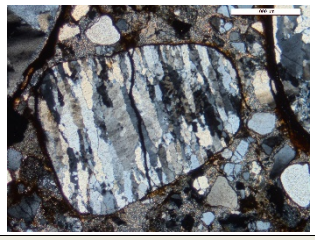
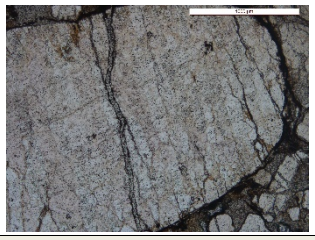
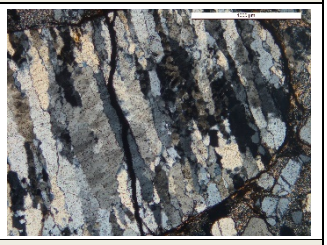
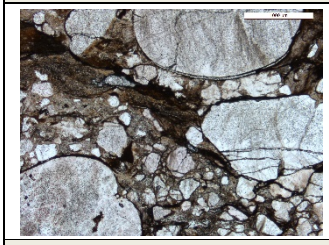
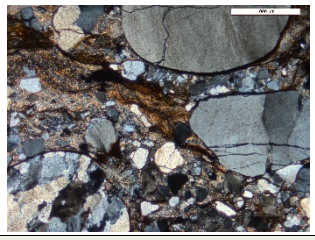
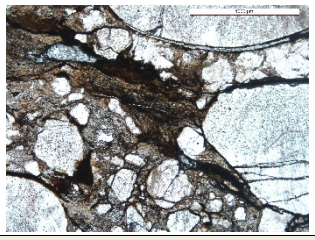
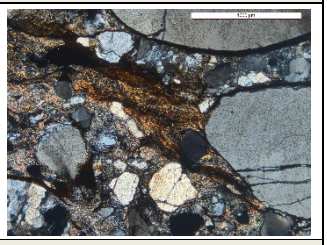
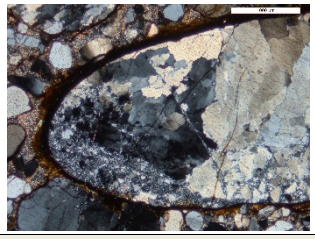
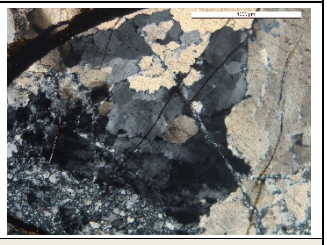
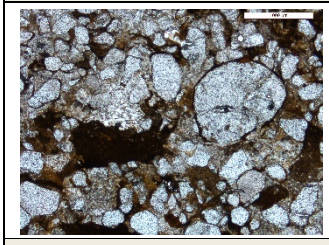
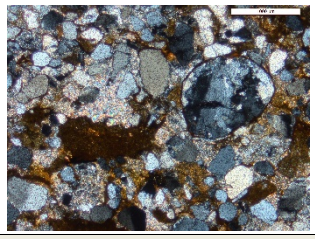
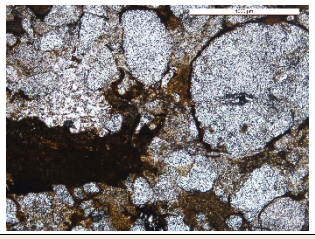
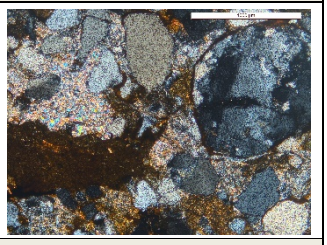
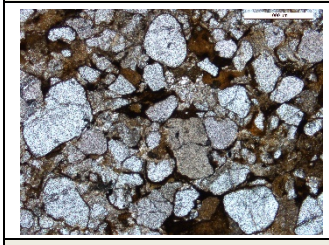
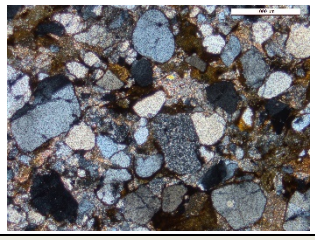
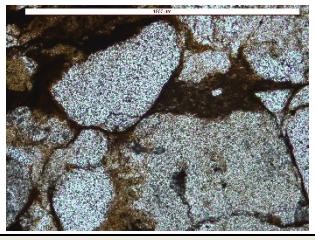
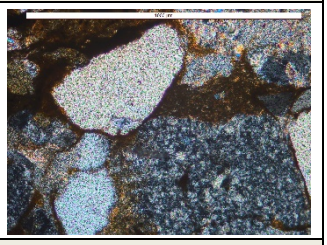


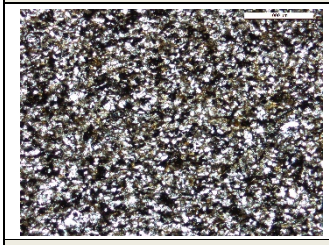
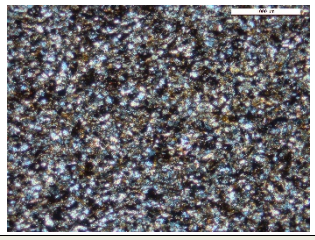
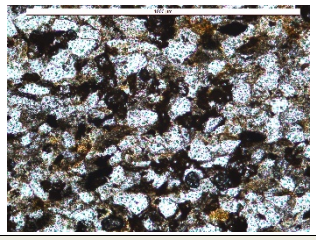
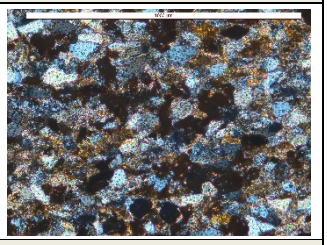
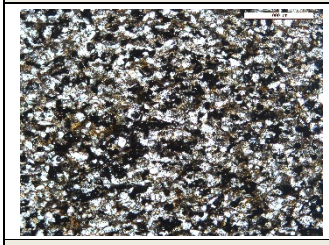
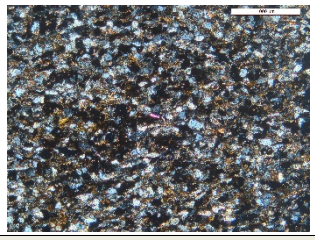
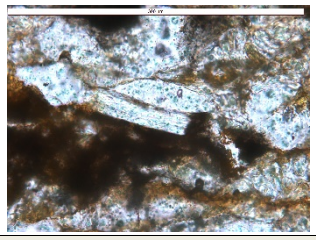
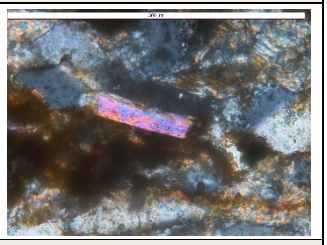
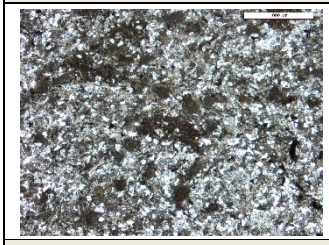
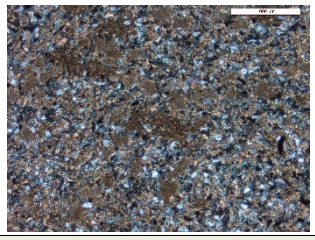
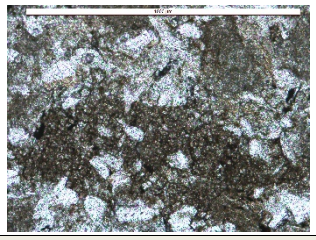
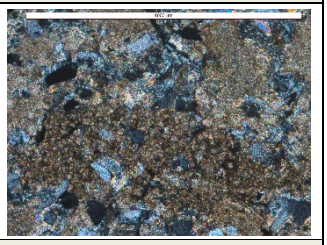
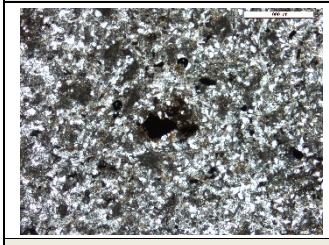
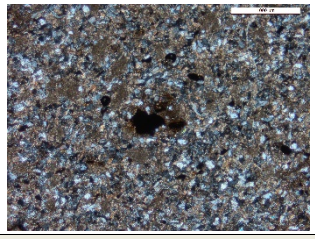
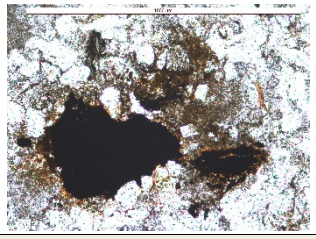
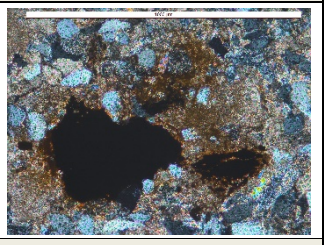
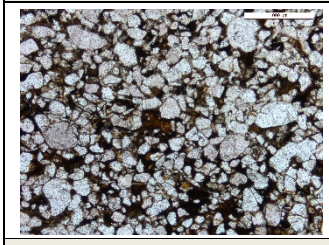
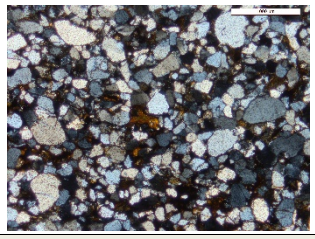
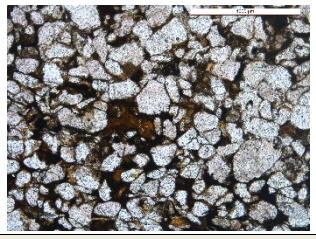
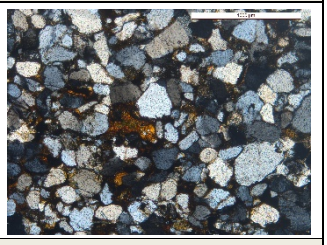
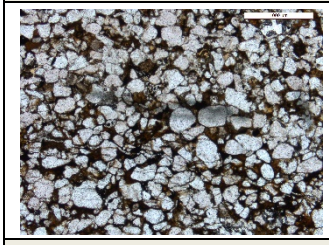
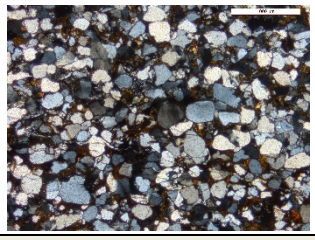
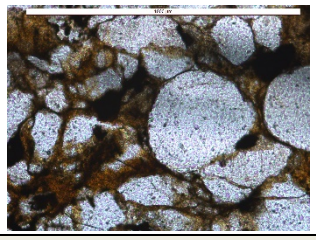
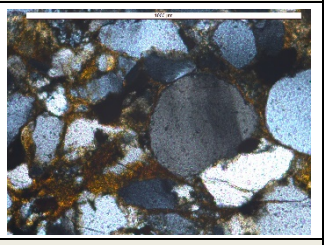
Fig. 9. 4. Localización de las muestras de la Formación Vicente Guerrero (Misisípico).

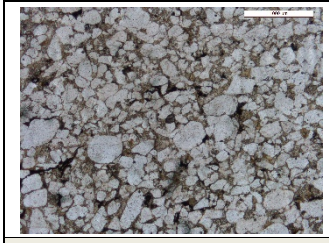
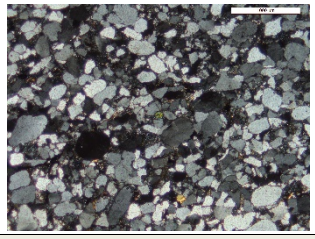
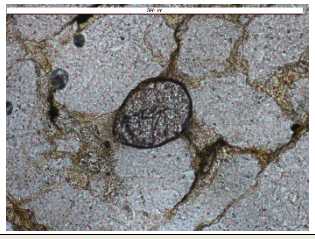
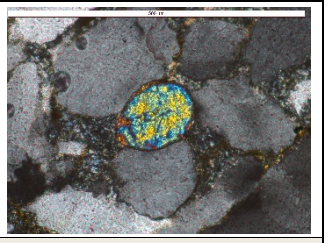
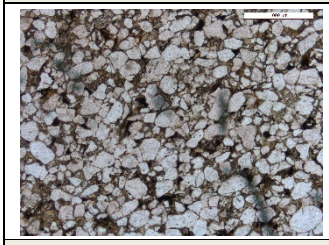
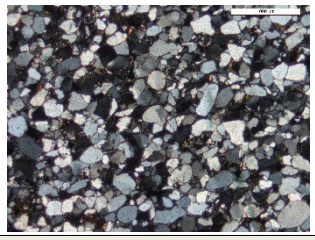
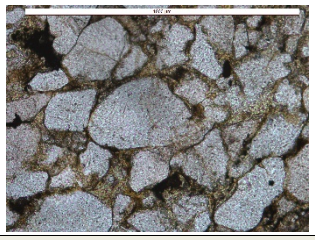
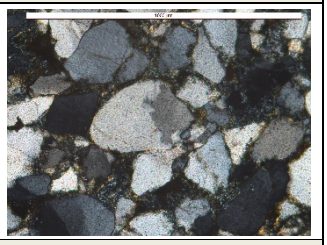
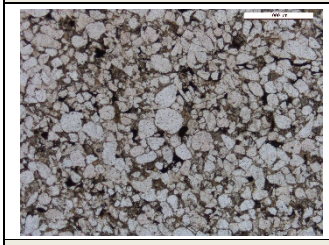
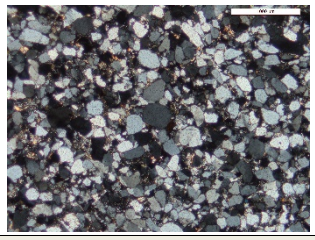
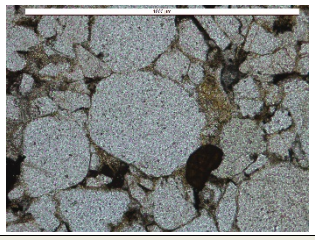
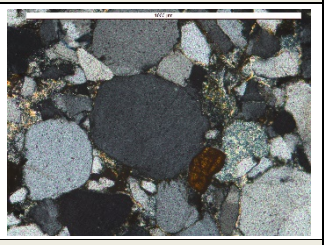
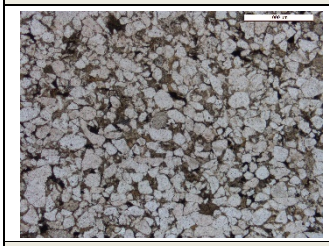
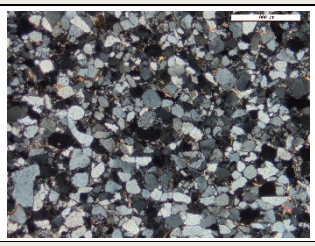
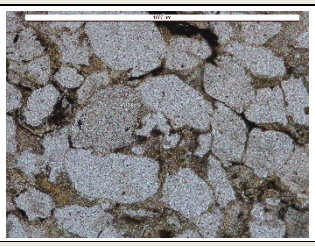
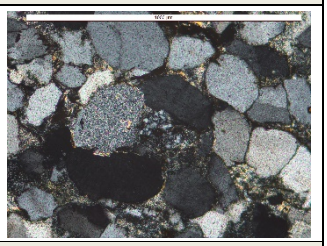
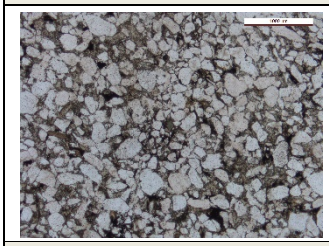
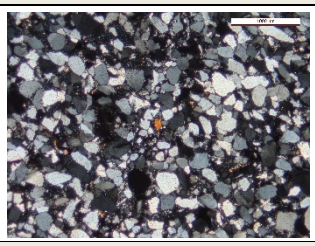
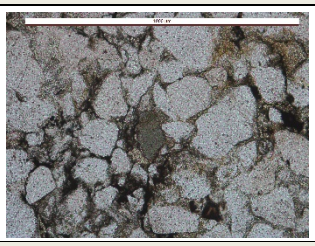
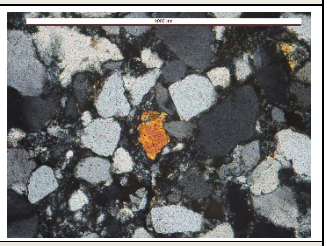
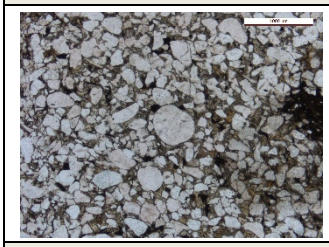
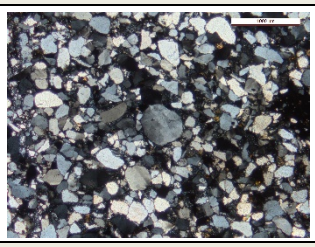
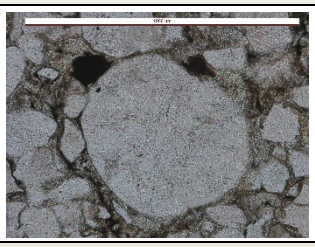
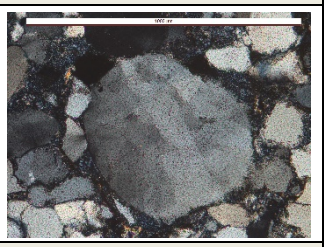
Tabla 10. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Vicente Guerrero. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm.

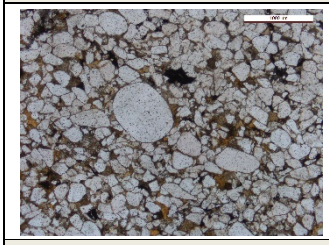
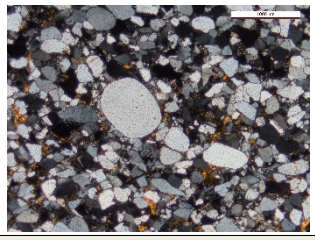
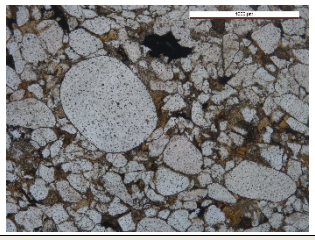
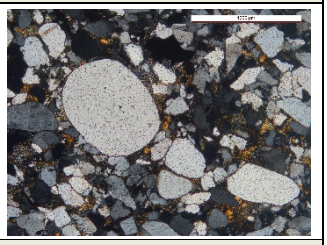
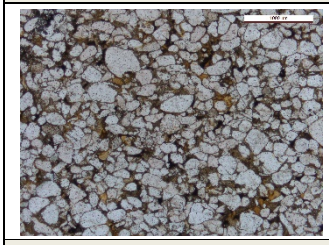
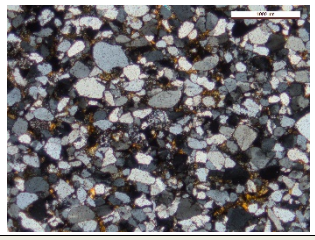
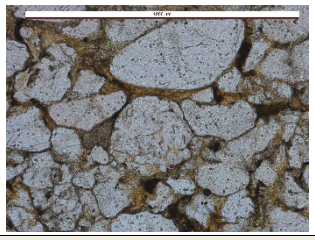
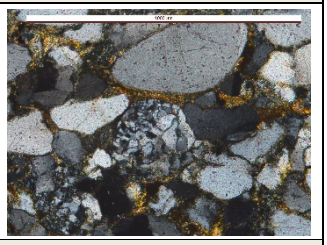
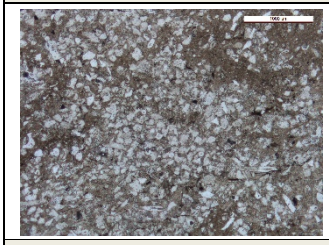
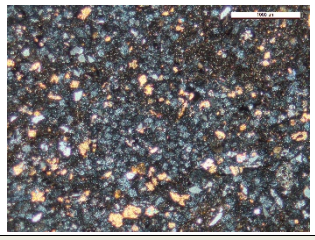
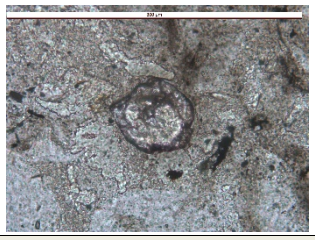
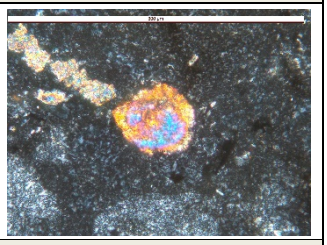
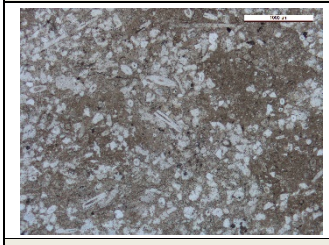
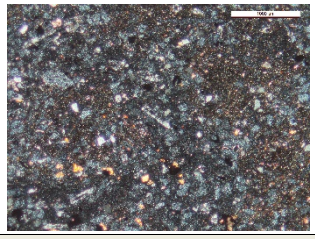
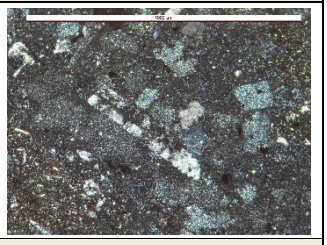
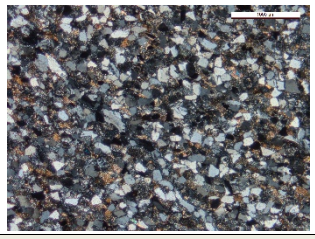
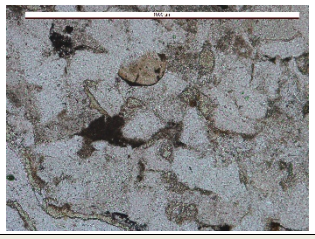
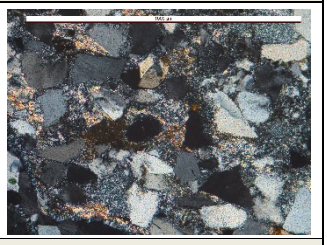
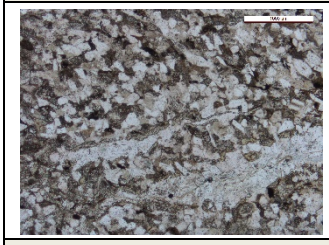
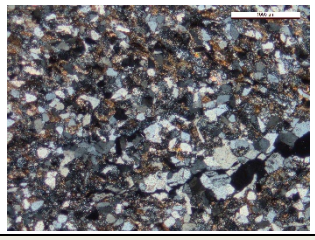
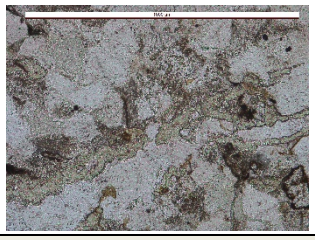
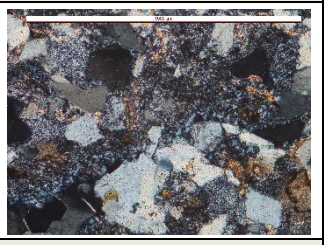
Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		**Fotomicrografías**	
Nicoles paralelo	**Nicoles cruzados**	**Nicoles paralelos**	**Nicoles cruzados**
			
EMA1-03		**EMA1-03**	
			
EMA1-03		**EMA1-03**	
			
EMA1-04		**EMA1-04**	
			
EMA1-04		**EMA1-04**	
			
EMA1-05		**EMA1-05**	
			
EMA1-05		**EMA1-05**	

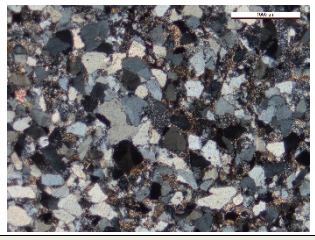
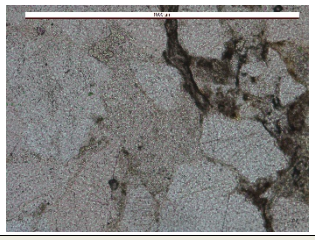
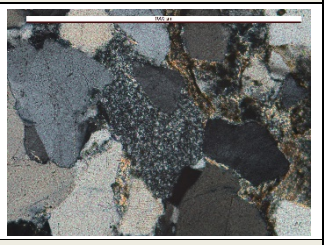
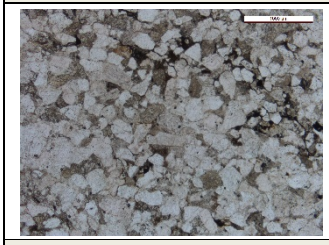
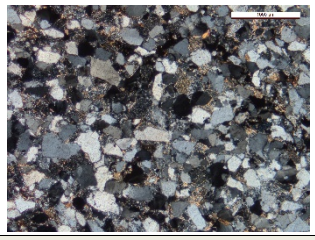
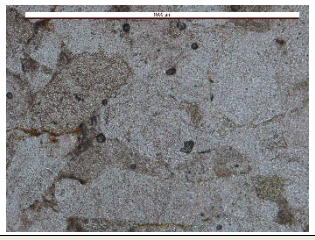
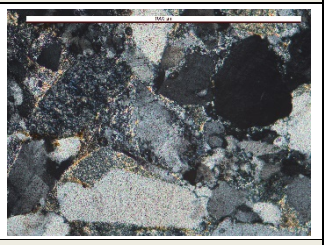
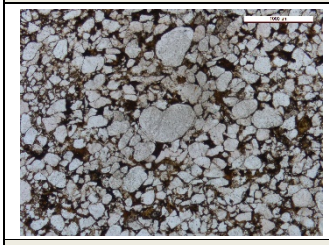
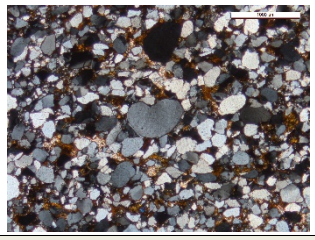
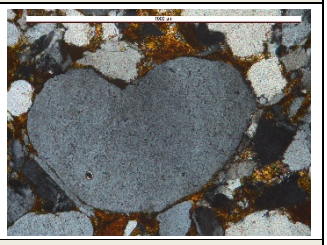
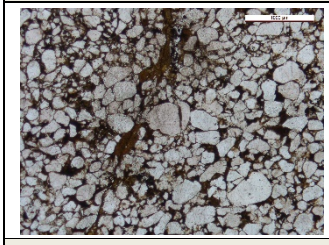
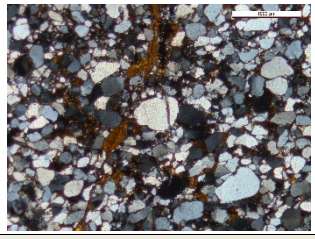
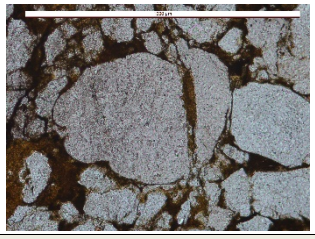
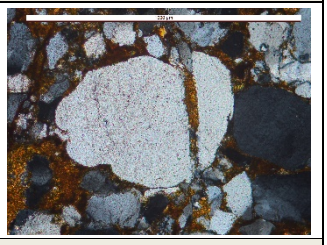
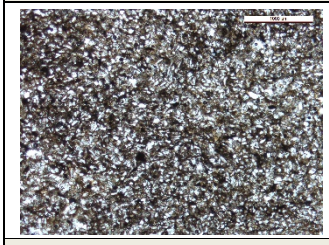
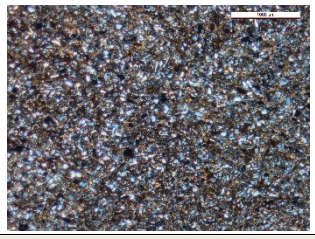
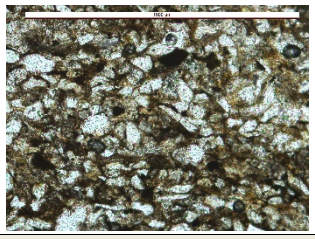
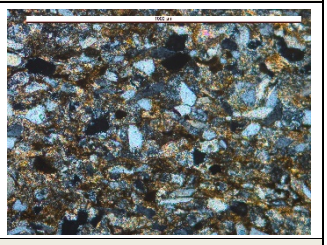
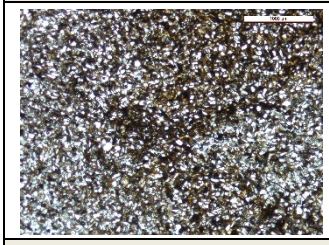
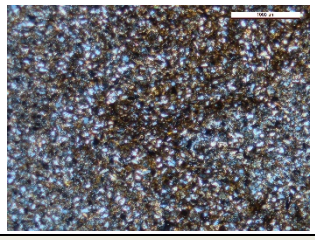
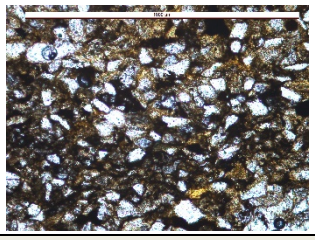
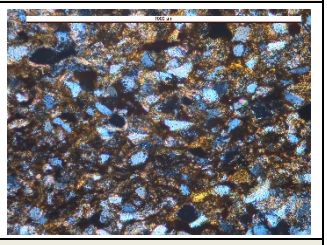
Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelo	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-05		**EMA1-05**	
			
EMA1-06		**EMA1-06**	
			
EMA1-06		**EMA1-06**	
			
EMA1-07		**EMA1-07**	
			
EMA1-07		**EMA1-07**	
			
EMA1-08		**EMA1-08**	

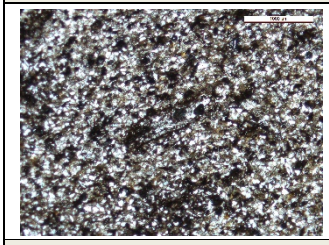
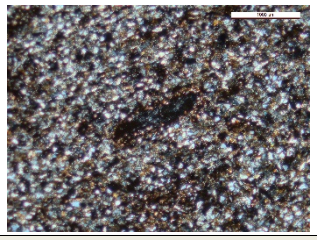
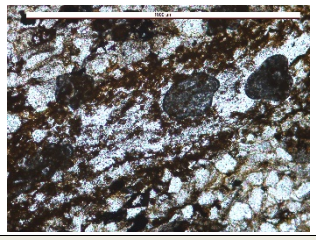
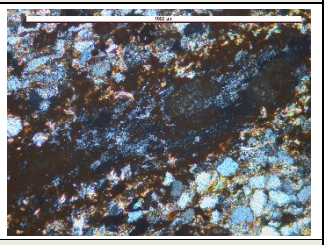
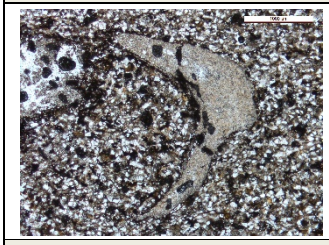
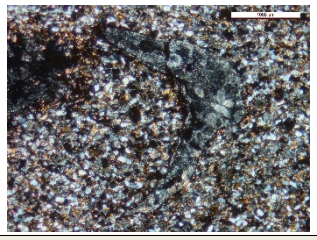
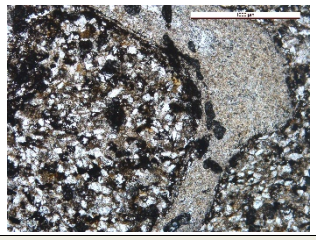
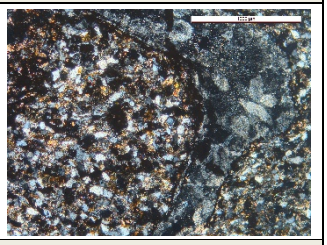
Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelo	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-08		**EMA1-08**	
			
EMA1-09		**EMA1-09**	
			
EMA1-09		**EMA1-09**	
			
EMA1-09		**EMA1-09**	
			
EMA1-10		**EMA1-10**	
			
EMA1-10		**EMA1-10**	

Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelo	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-11		**EMA1-11**	
			
EMA1-11		**EMA1-11**	
			
EMA1-12		**EMA1-12**	
			
EMA1-12		**EMA1-12**	
			
EMA2-10		**EMA2-10**	
			
EMA2-10		**EMA2-10**	

Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelo	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-14		**CC54-14**	
			
CC54-14		**CC54-14**	
			
CC54-15		**CC54-15**	
			
CC54-15		**CC54-15**	
			
CC54-16		**CC54-16**	
			
CC54-16		**CC54-16**	

Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelo	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-17		**CC54-17**	
			
CC54-17		**CC54-17**	
			
CP177-01		**CP177-01**	
			
CP177-01		**CP177-01**	
			
CP177-02		**CP177-02**	
			
CP177-02		**CP177-02**	

Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelo	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CP177-03		**CP177-03**	
			
CP177-03		**CP177-03**	
			
CP187-06		**CP187-06**	
			
CP187-06		**CP187-06**	
			
CP207-02		**CP207-02**	
			
CP207-03		**CP207-03**	

Formación Vicente Guerrero			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelo	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CP207-04		CP207-04	
			
CP207-04		CP207-04	

11.3.4 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Del Monte

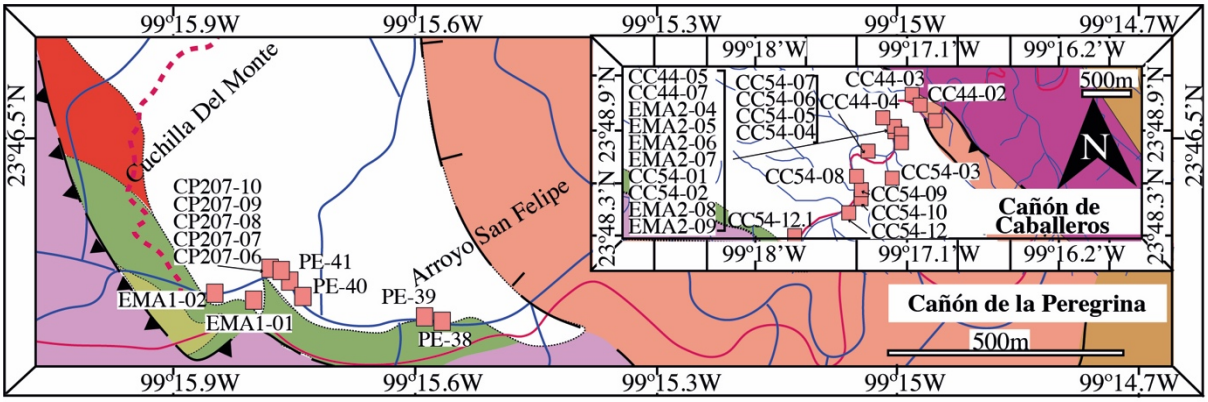
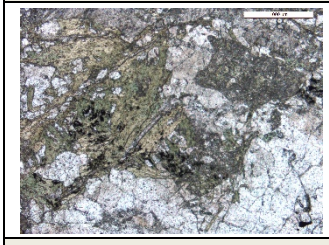
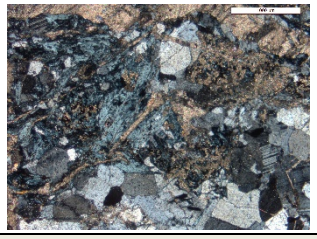
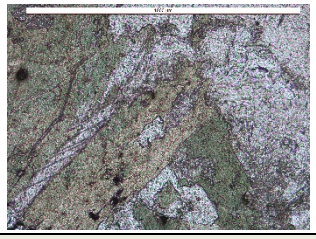
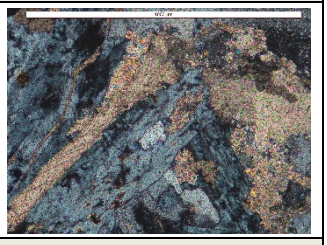
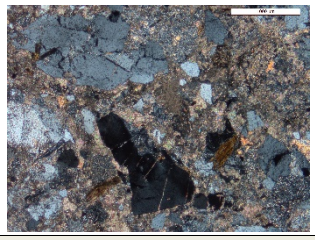
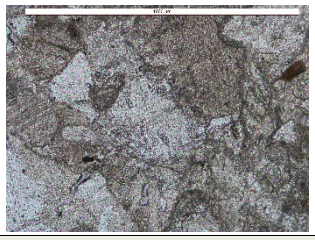
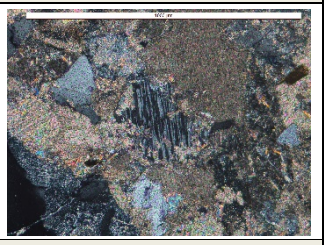
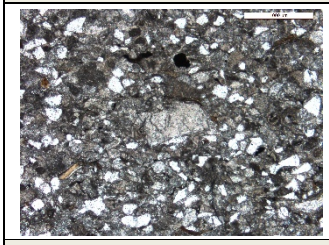
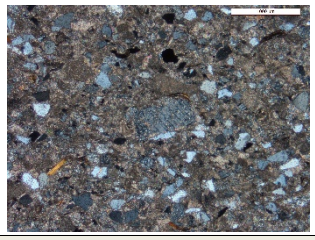
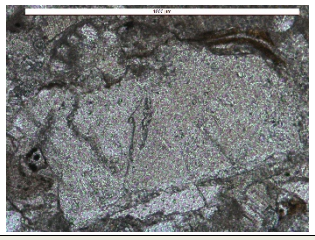
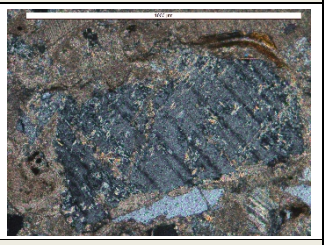
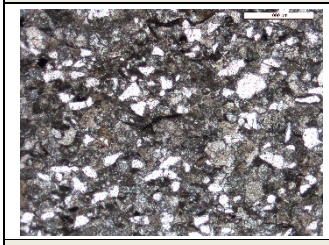
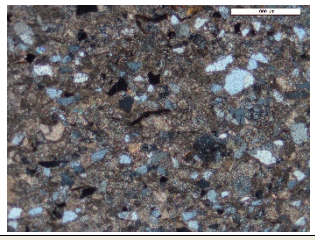
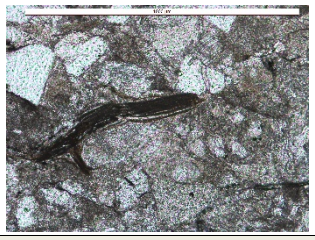
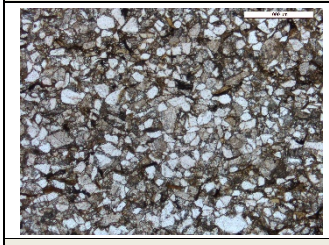
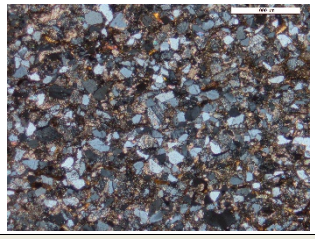
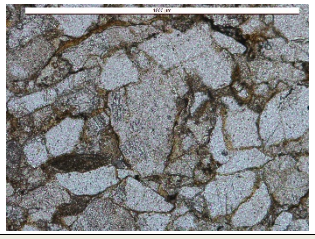
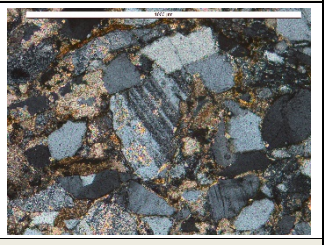
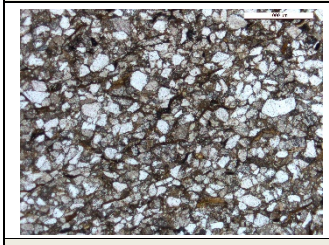
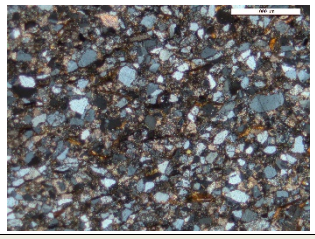
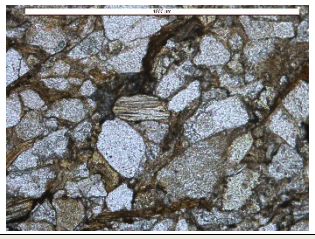
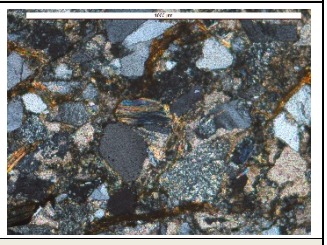
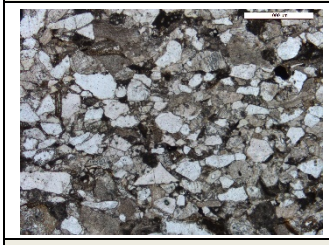
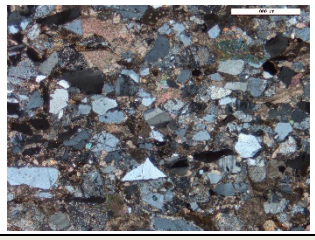
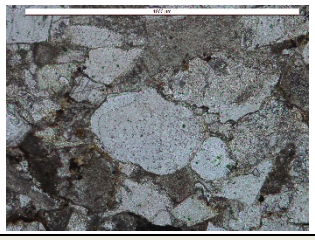
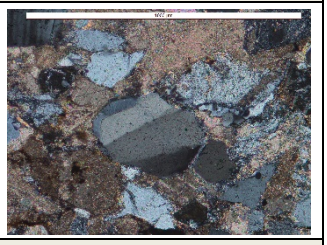
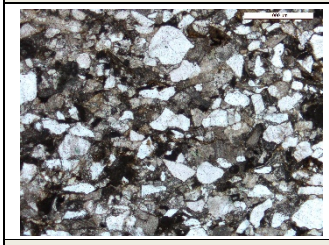
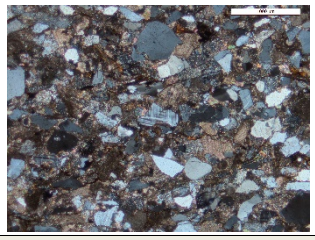
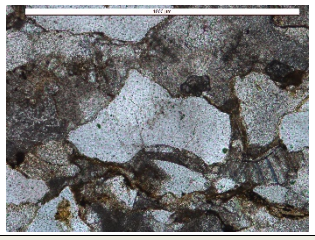
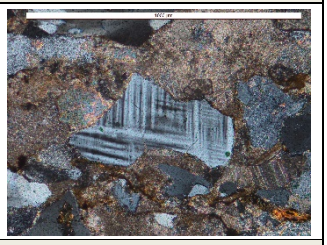
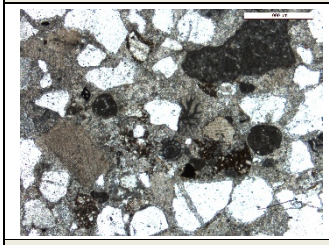
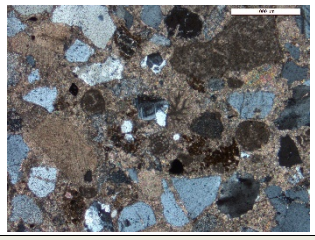
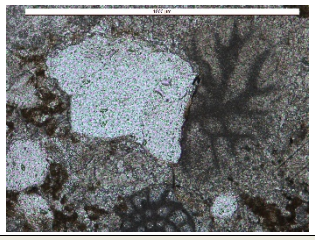
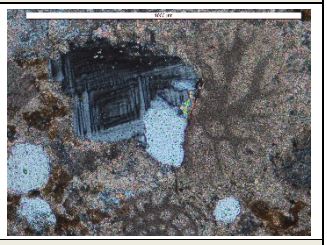
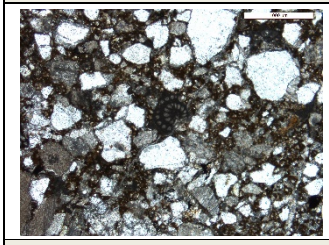
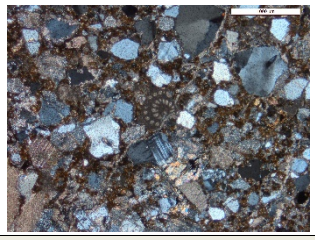
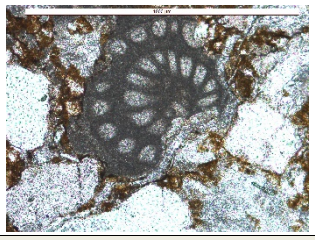
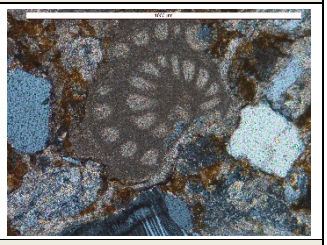
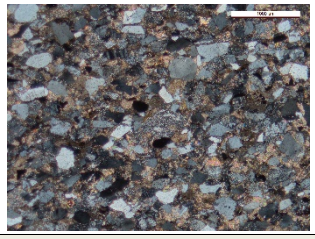
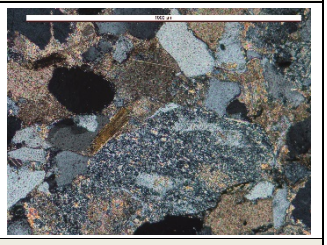
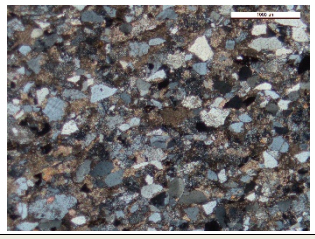
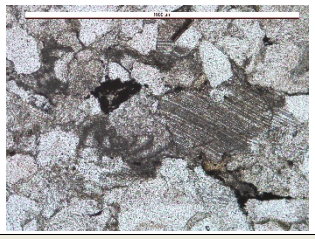
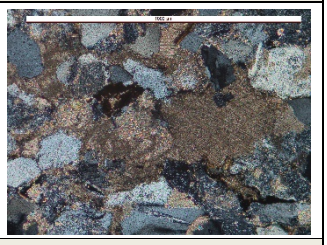
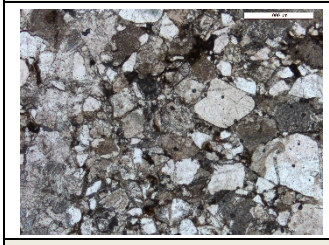
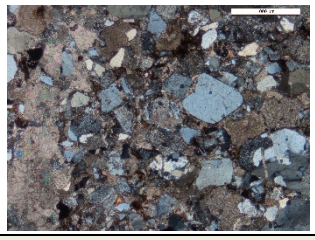
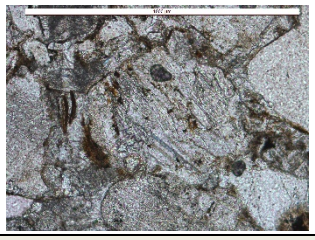
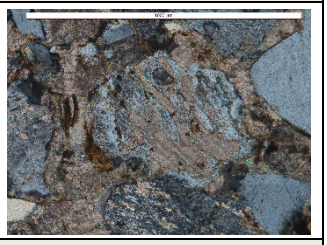


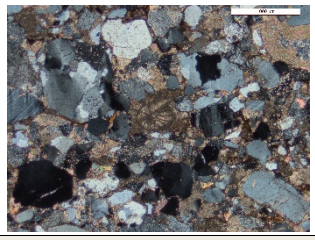
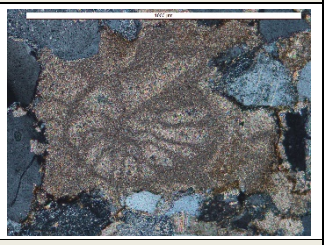
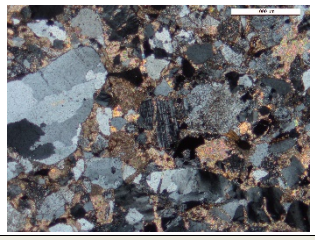
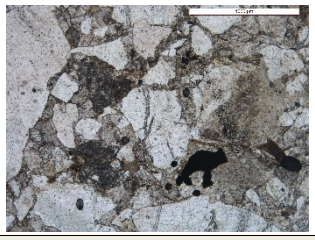
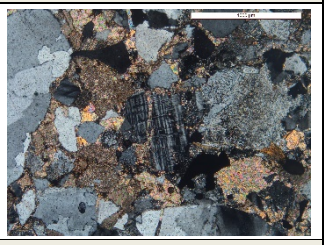
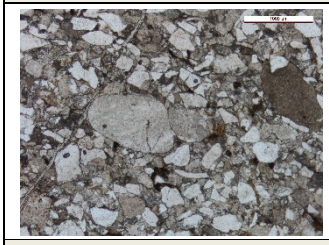
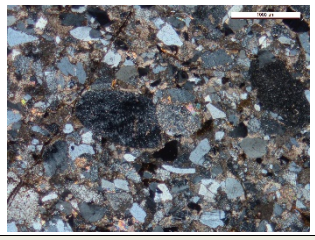
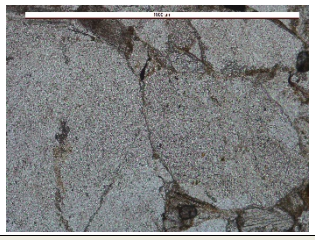
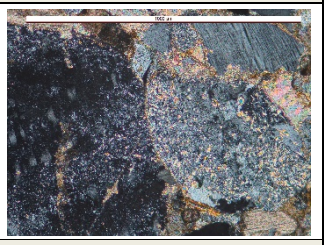
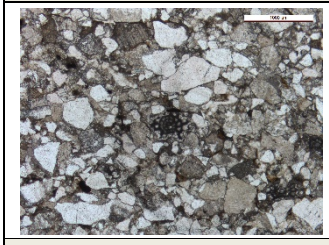
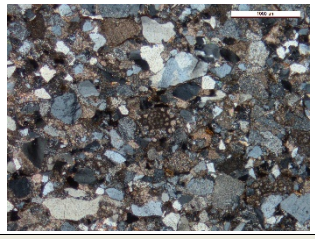
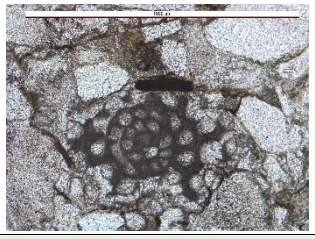
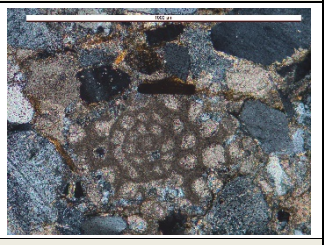
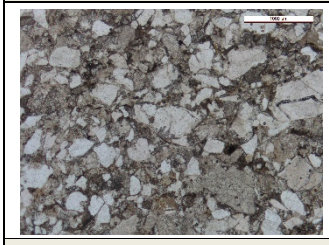
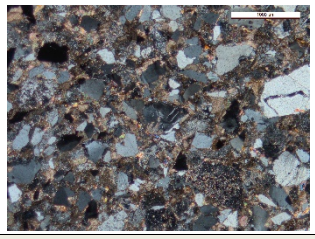
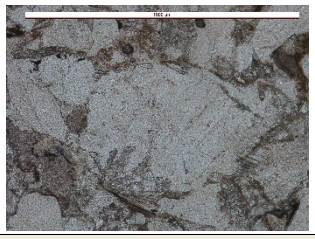
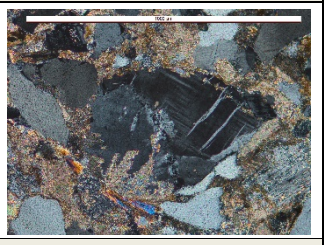
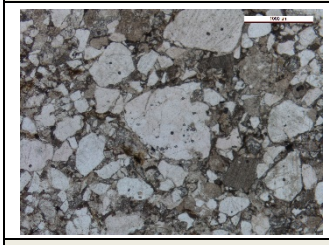
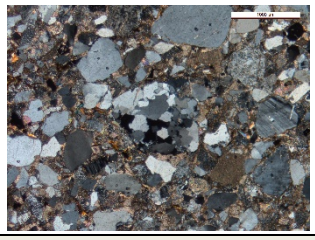
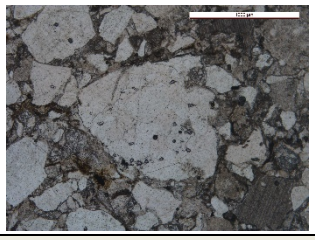
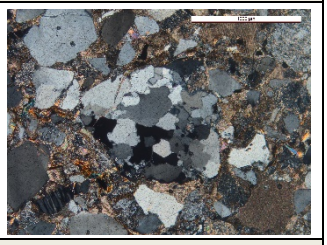
Fig. 9. 5. Localización de las muestras de la Formación Del Monte (Pensilvánico).

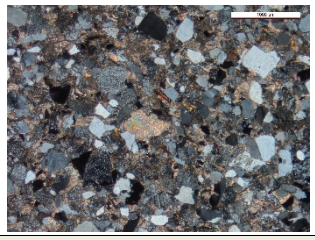
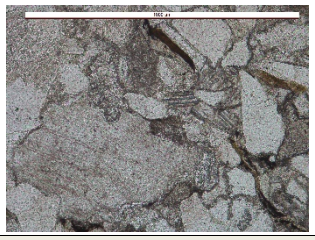
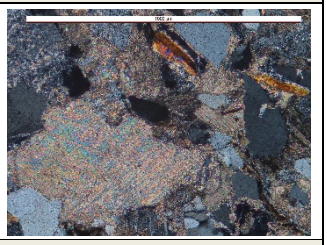
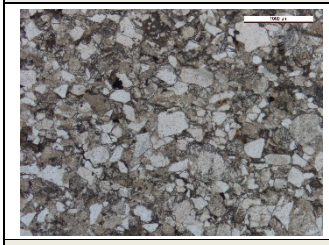
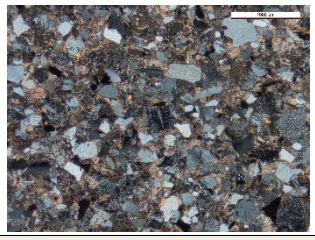
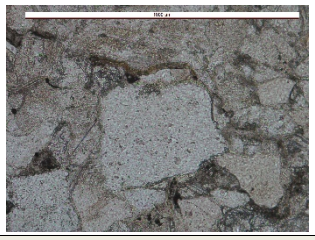
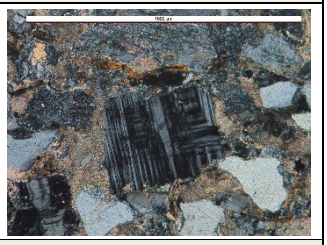
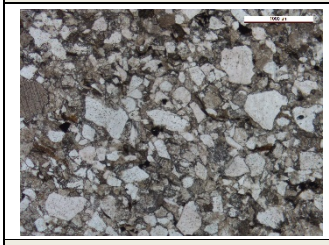
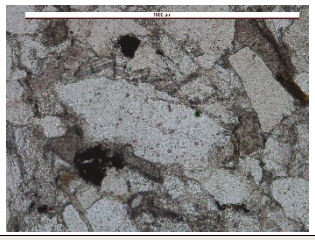
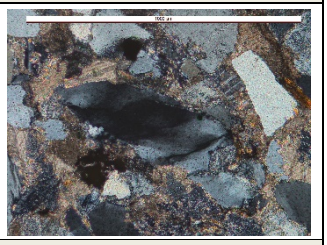
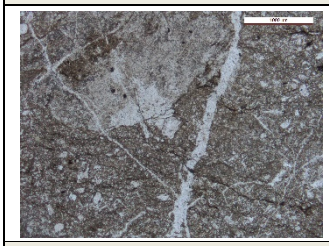
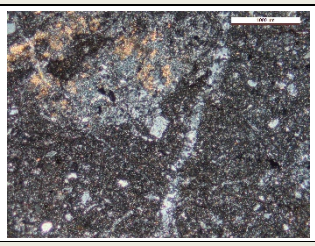
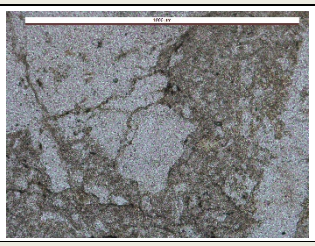
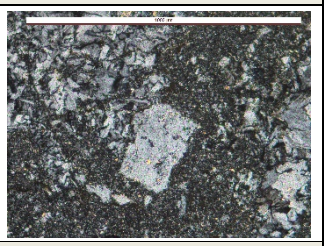
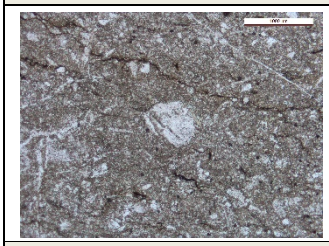
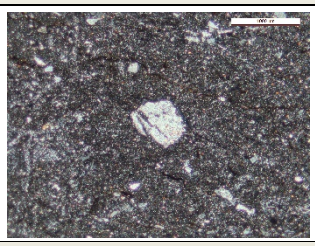
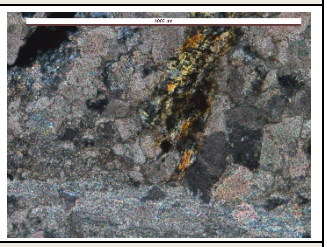
Tabla 11. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Del Monte. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 μm.

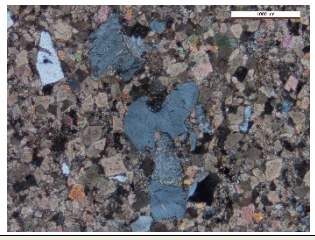
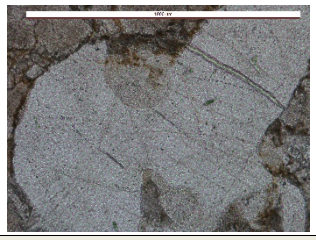
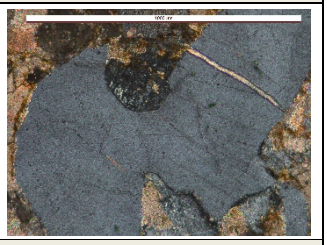
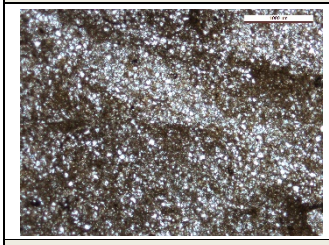
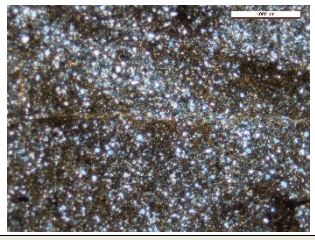
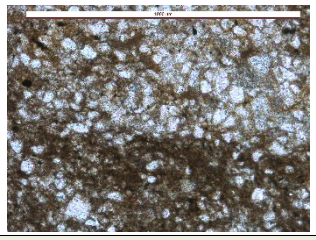
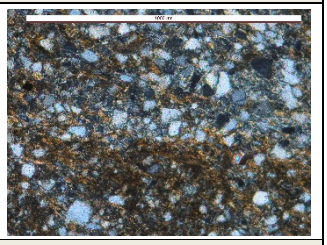
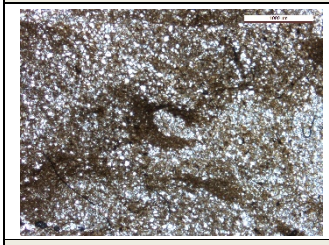
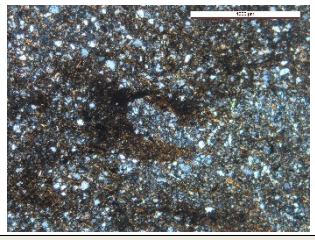
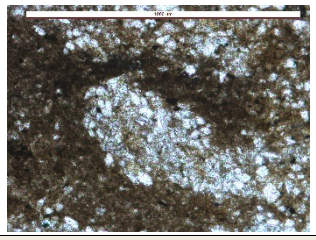
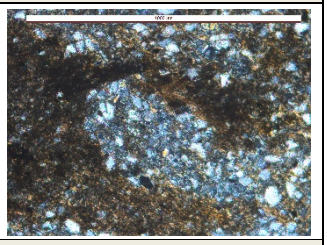
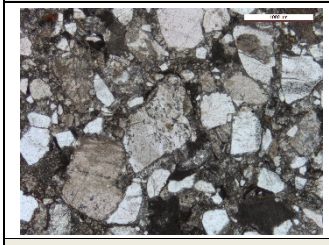
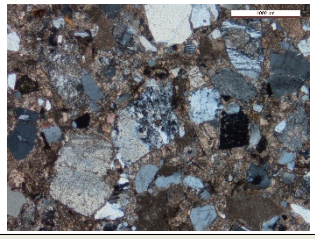
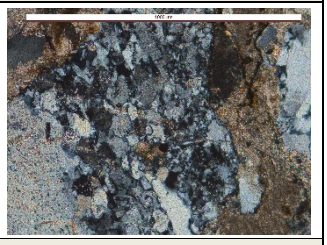
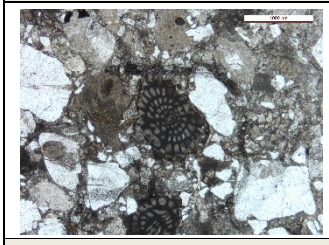
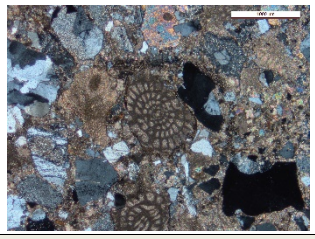
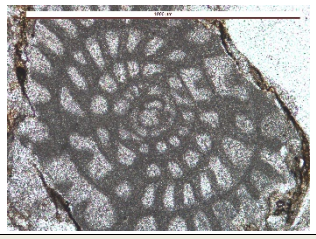
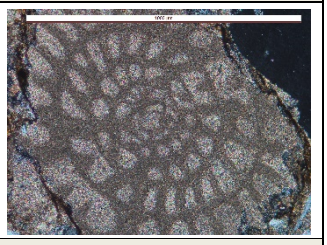
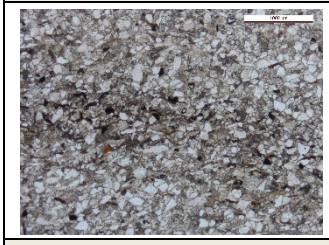
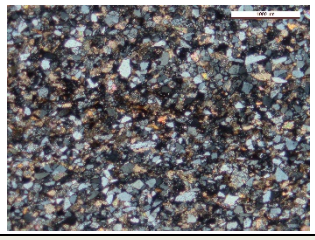
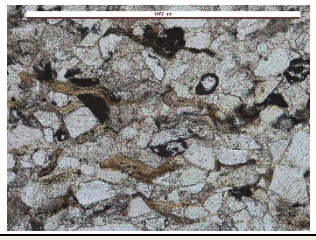
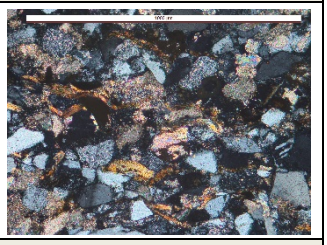
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-01		EMA1-01	

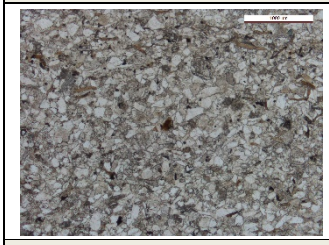
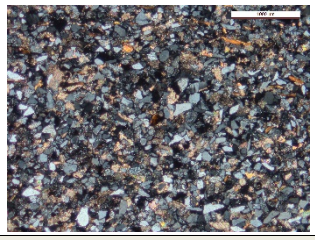
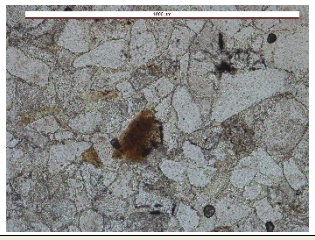
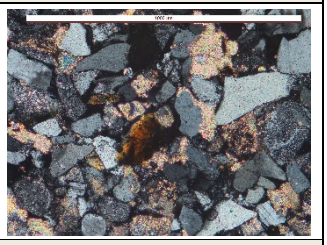
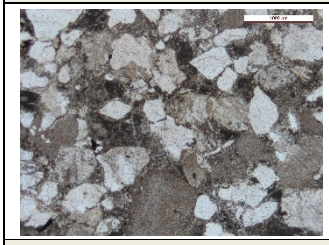
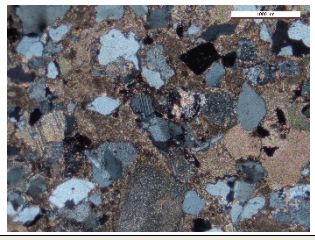
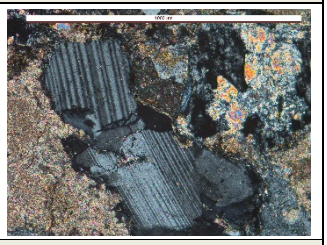
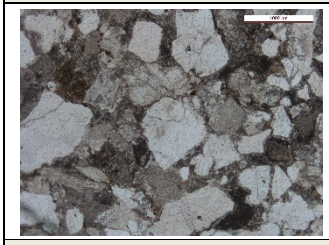
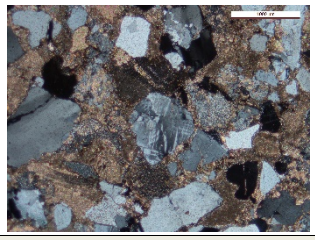
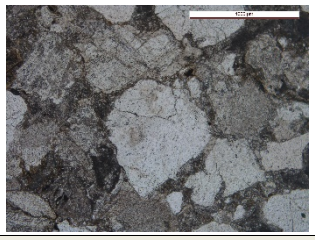
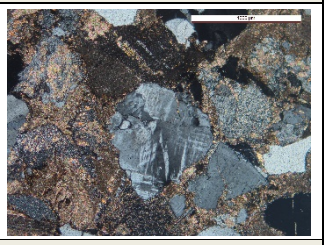
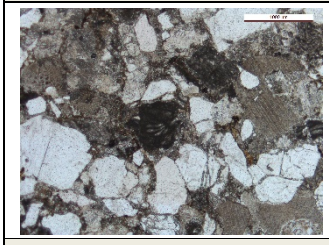
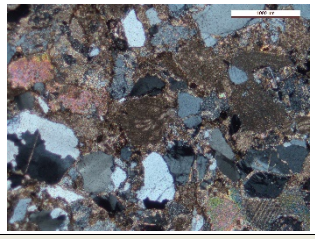
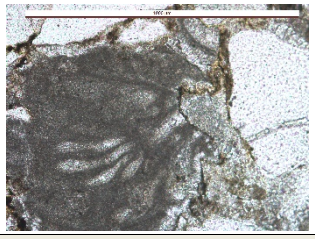
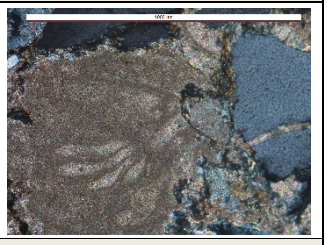
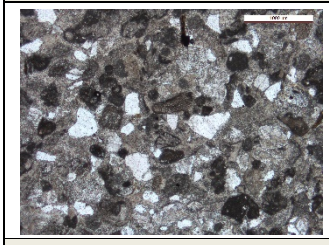
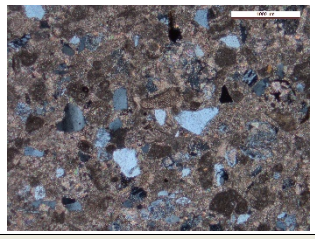
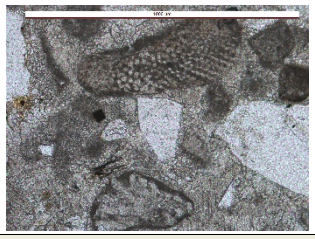
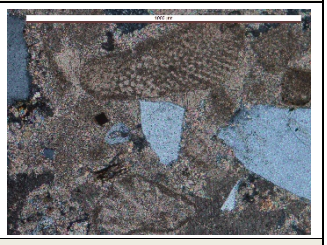
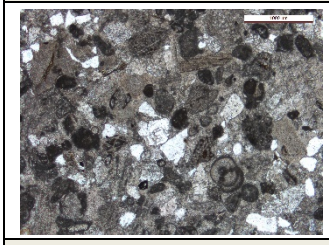
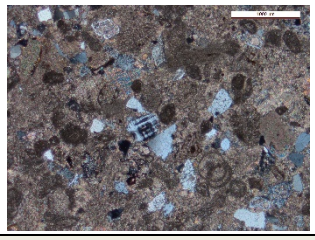
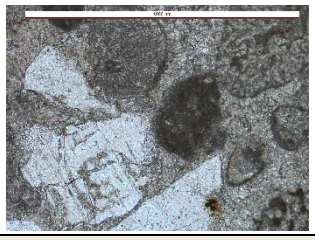
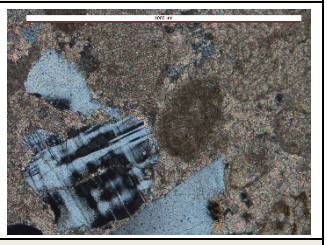
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-01		**EMA1-01**	
			
EMA1-02		**EMA1-02**	
			
EMA1-02		**EMA1-02**	
			
EMA2-04		**EMA2-04**	
			
EMA2-06		**EMA2-06**	
			
EMA2-07		**EMA2-07**	

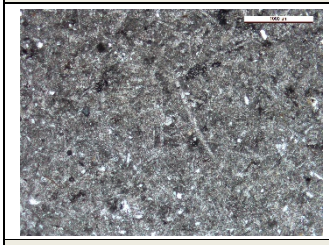
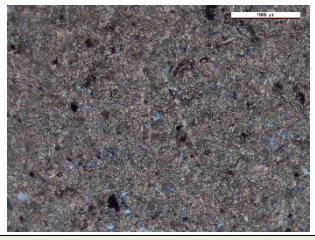
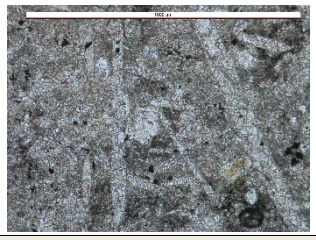
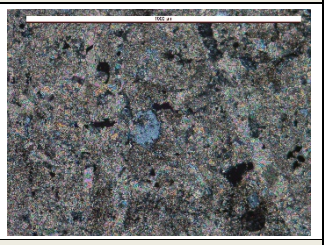
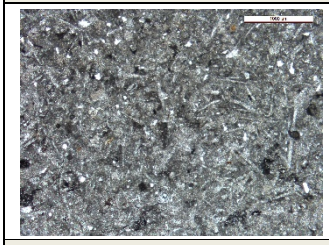
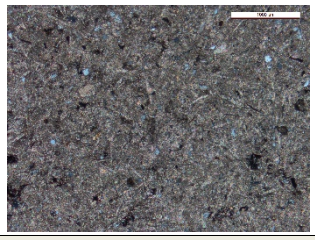
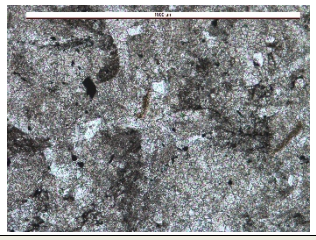
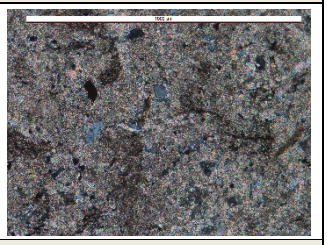
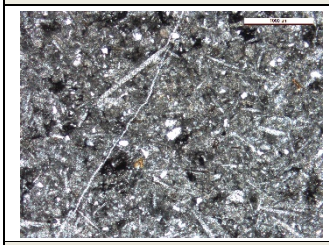
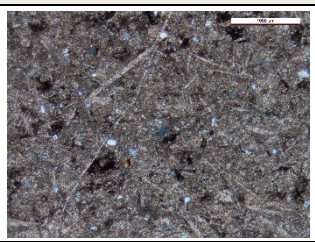
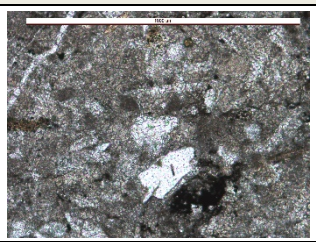
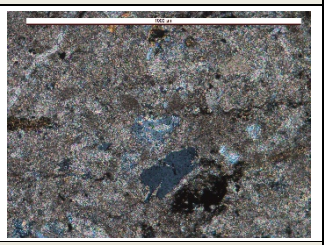
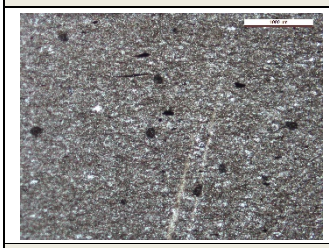
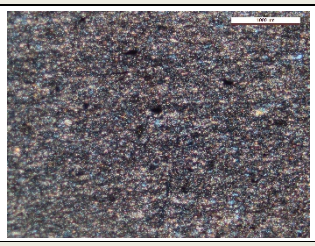
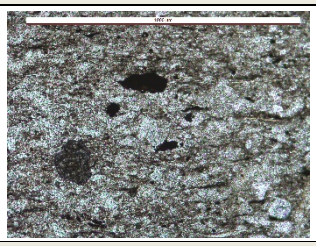
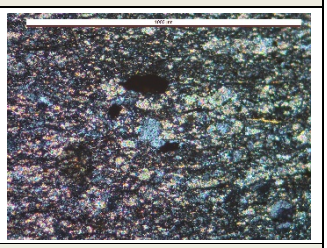
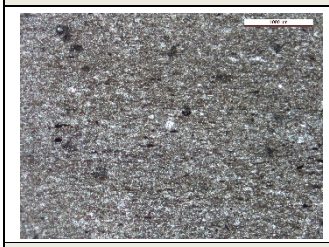
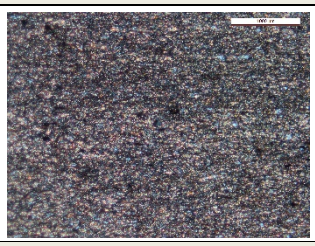
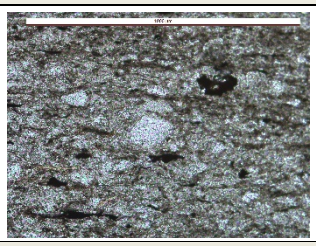
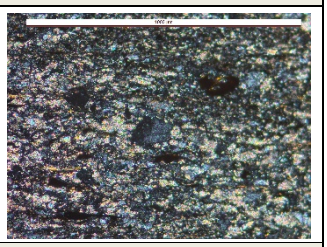
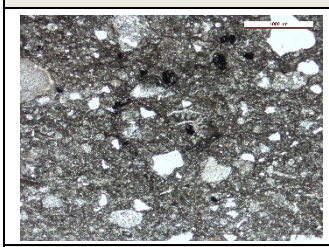
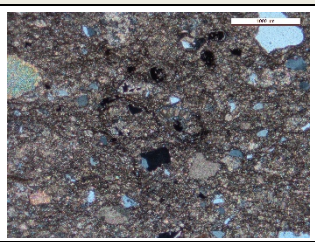
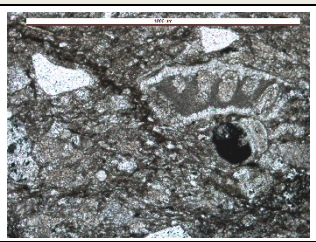
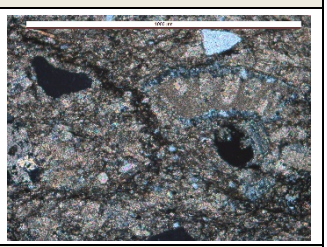
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		**Fotomicrografías**	
Nicoles paralelos	**Nicoles cruzados**	**Nicoles paralelos**	**Nicoles cruzados**
			
EMA2-07		**EMA2-07**	
			
EMA2-09		**EMA2-09**	
			
EMA2-09		**EMA2-09**	
			
CP207-06		**CP207-06**	
			
CP207-06		**CP207-06**	
			
CP207-07		**CP207-07**	

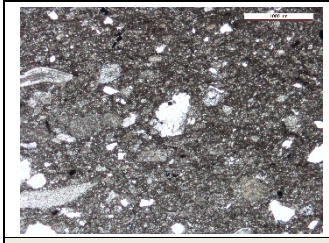
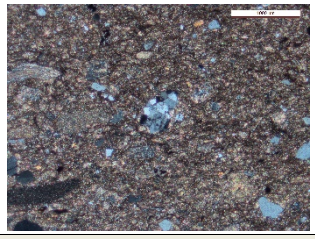
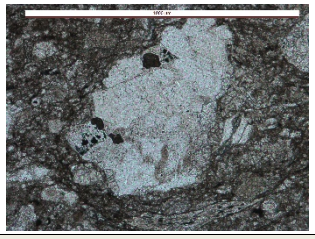
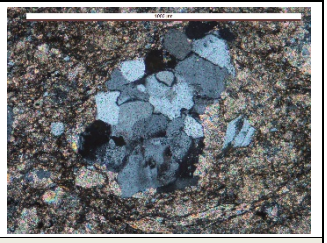
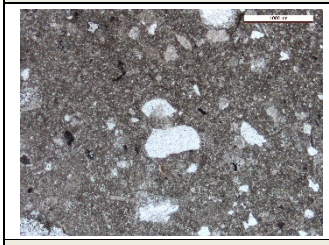
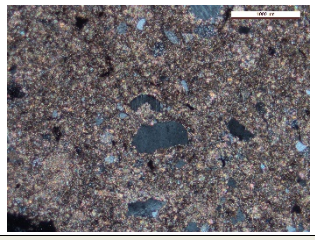
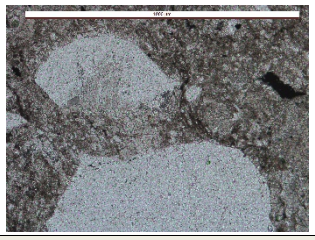
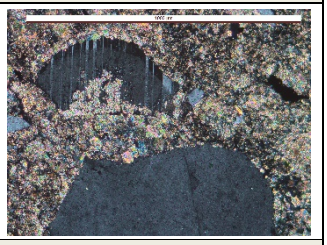
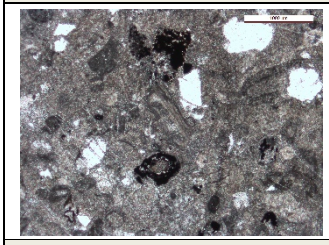
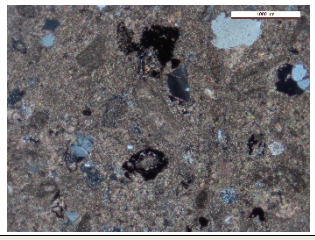
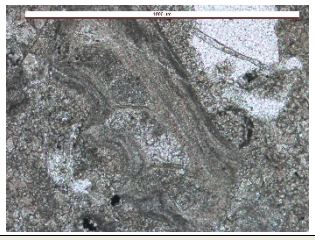
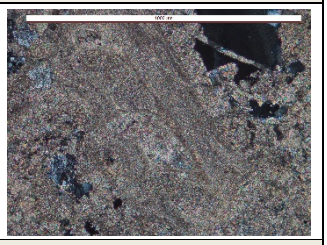
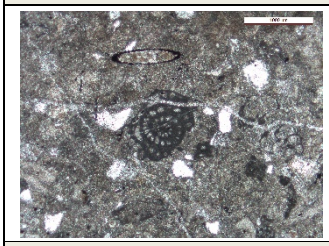
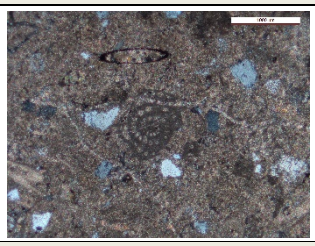
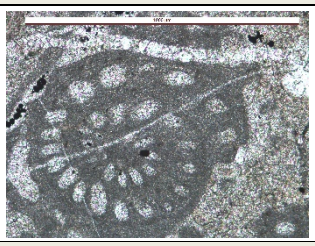
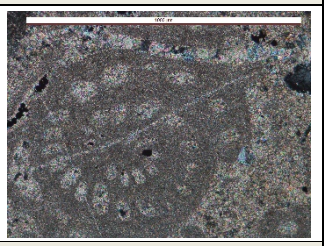
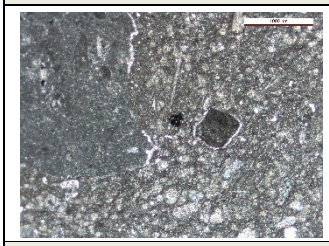
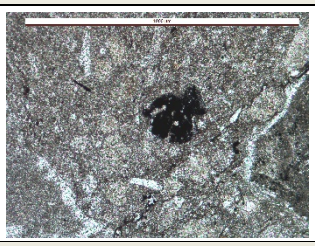
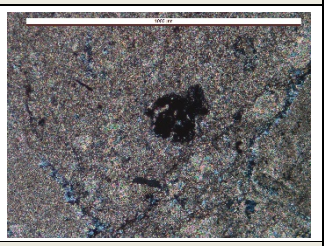
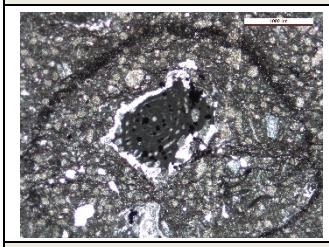
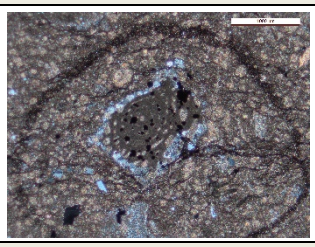
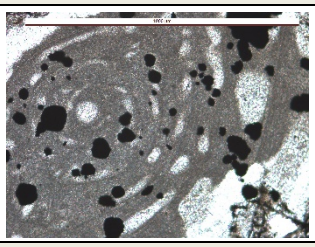
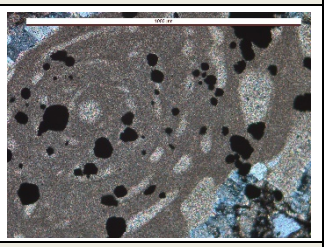
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CP207-07		**CP207-07**	
			
CP207-07		**CP207-07**	
			
CP207-08		**CP207-08**	
			
CP207-08		**CP207-08**	
			
CP207-09		**CP207-09**	
			
CP207-09		**CP207-09**	

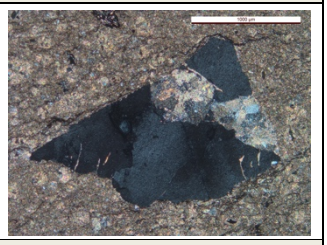
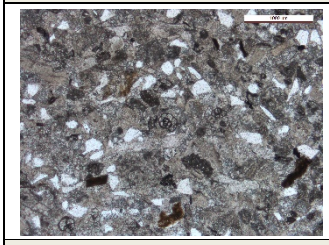
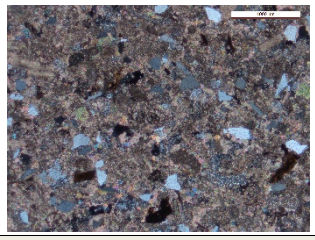
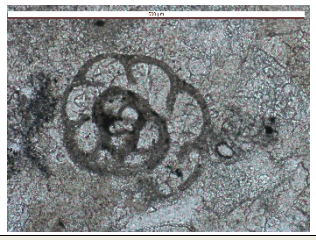
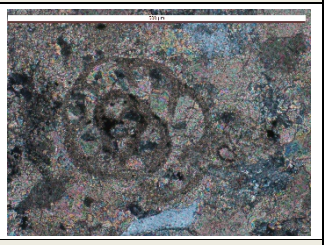
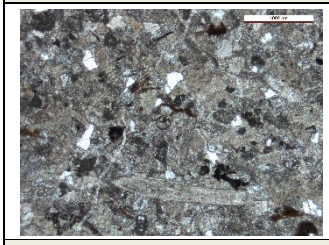
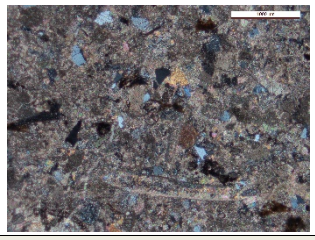
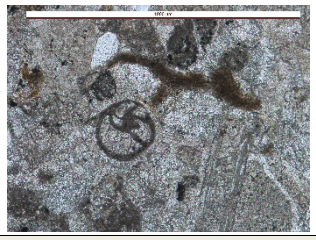
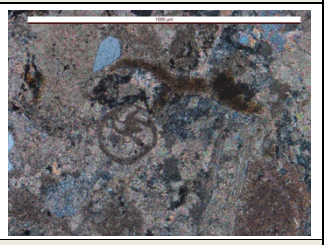
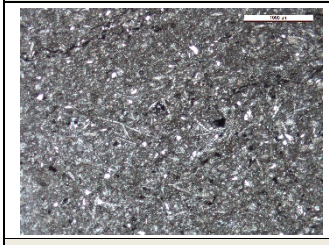
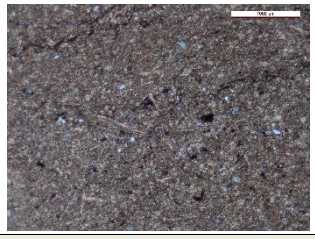
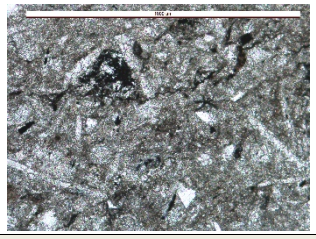
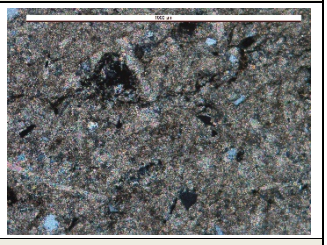
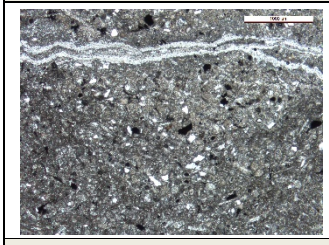
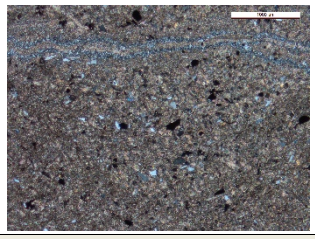
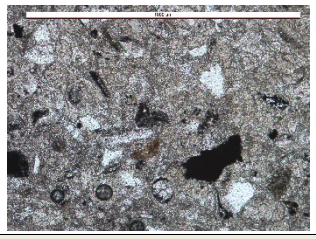
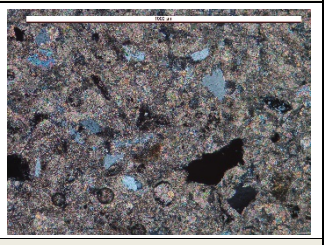
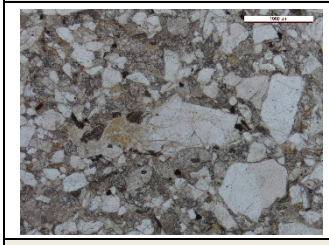
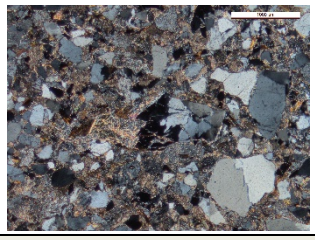
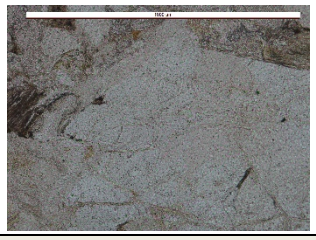
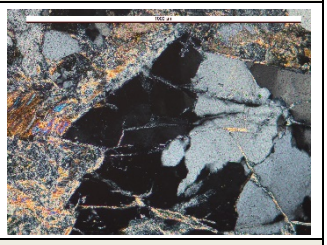
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CP207-10		**CP207-10**	
			
CP207-10		**4CP207-10**	
			
CP207-10		**CP207-10**	
			
CC44-02		**CC44-02**	
			
CC44-02		**CC44-02**	
			
CC44-03		**CC44-03**	

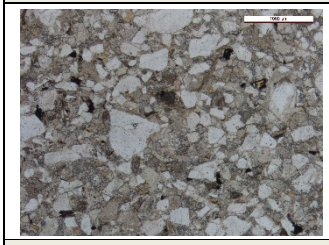
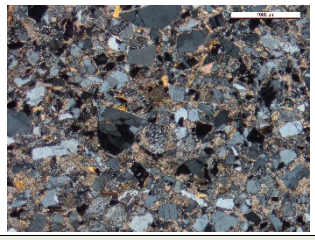
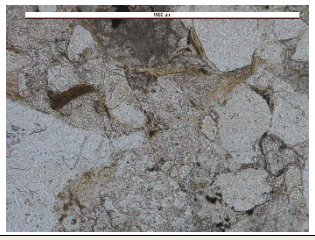
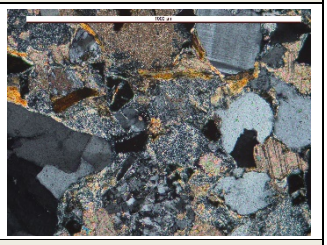
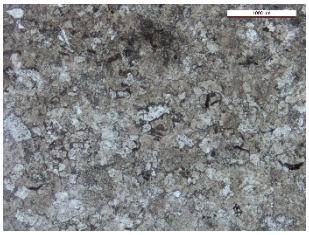
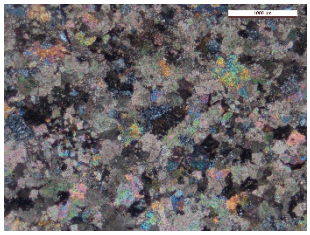
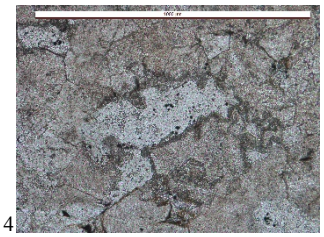
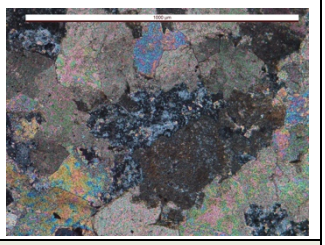
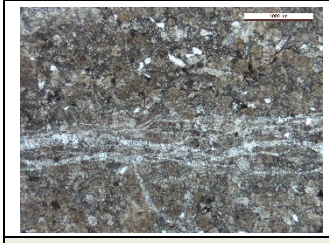
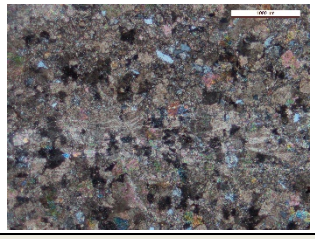
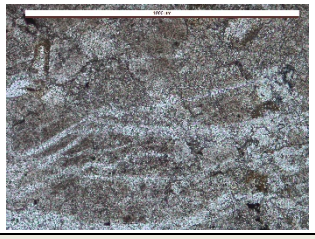
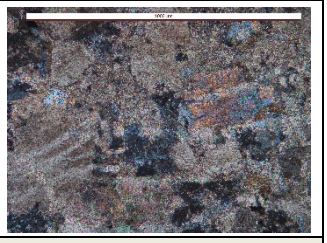
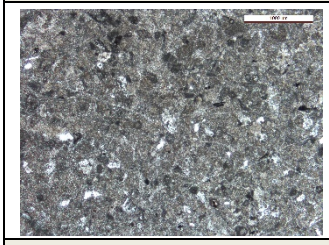
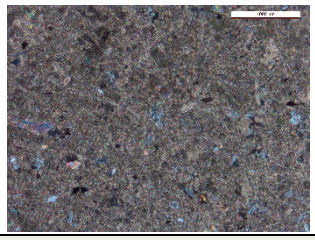
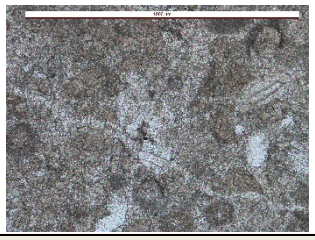
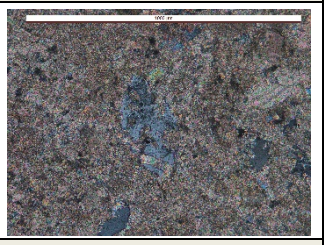
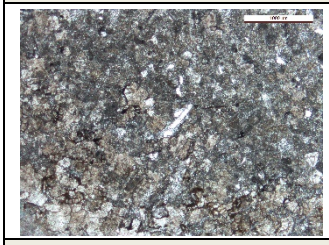
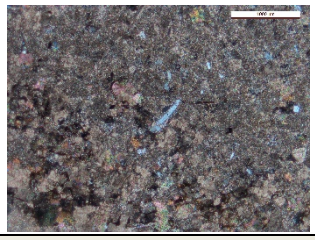
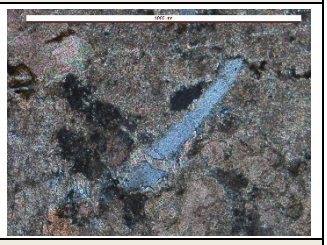
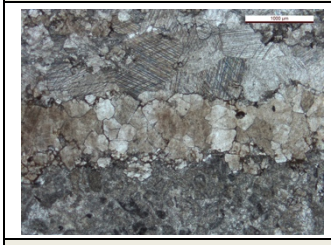
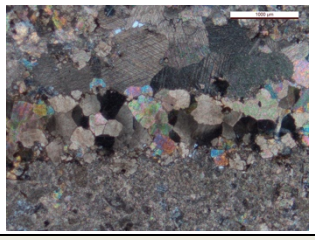
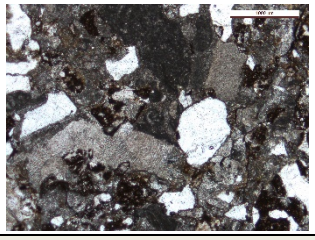
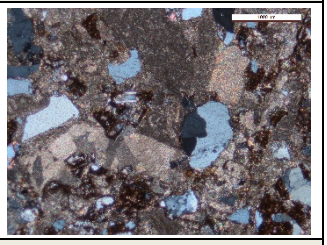
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC44-03		**CC44-03**	
			
CC44-04		**CC44-04**	
			
CC44-04		**CC44-04**	
			
CC44-05		**CC44-05**	
			
CC44-05		**CC44-05**	
			
CC44-07		**CC44-07**	

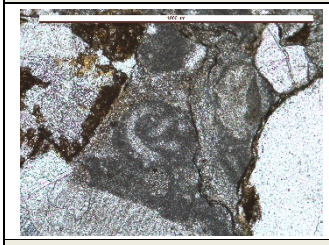
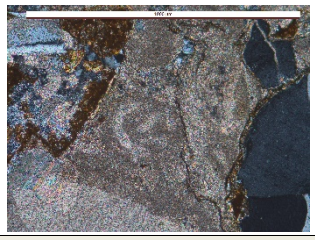
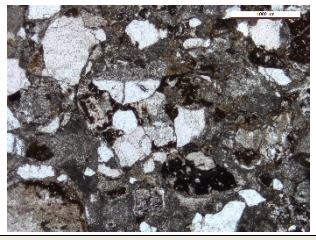
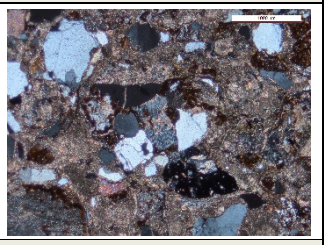
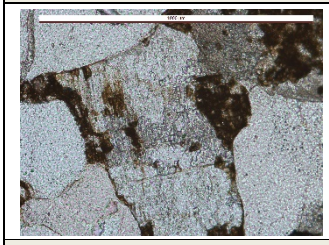
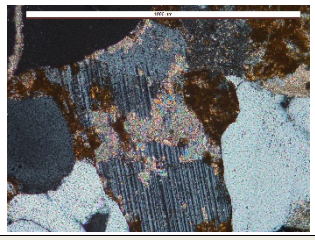
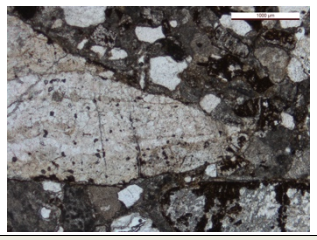
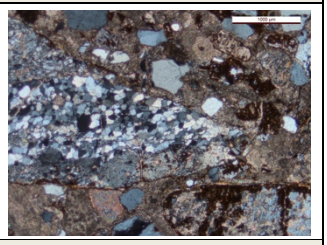
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC44-07		**CC44-07**	
			
CC54-01		**CC54-01**	
			
CC54-01		**CC54-01**	
			
CC54-01		**CC54-01**	
			
CC54-02		**CC54-02**	
			
CC54-02		**CC54-02**	

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-03		**CC54-03**	
			
CC54-03		**CC54-03**	
			
CC54-03		**CC54-03**	
			
CC54-04		**CC54-04**	
			
CC54-04		**CC54-04**	
			
CC54-05		**CC54-05**	

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-05		**CC54-05**	
			
CC54-05		**CC54-05**	
			
CC54-06		**CC54-06**	
			
CC54-06		**CC54-06**	
			
CC54-07		**CC54-07**	
			
CC54-07		**CC54-07**	

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-07		**CC54-07**	
			
CC54-08		**CC54-08**	
			
CC54-08		**CC54-08**	
			
CC54-09		**CC54-09**	
			
CC54-09		**CC54-09**	
			
CC54-10		**CC54-10**	

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-10		**CC54-10**	
			
CC54-11		**CC54-11**	
			
CC54-11		**CC54-11**	
			
CC54-12		**CC54-12**	
			
CC54-12		**CC54-12**	
			
CC54-12		**CC54-12.1**	

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-12.1		CC54-12.1	
			
CC54-12.1		CC54-12.1	

11.3.5 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Guacamaya

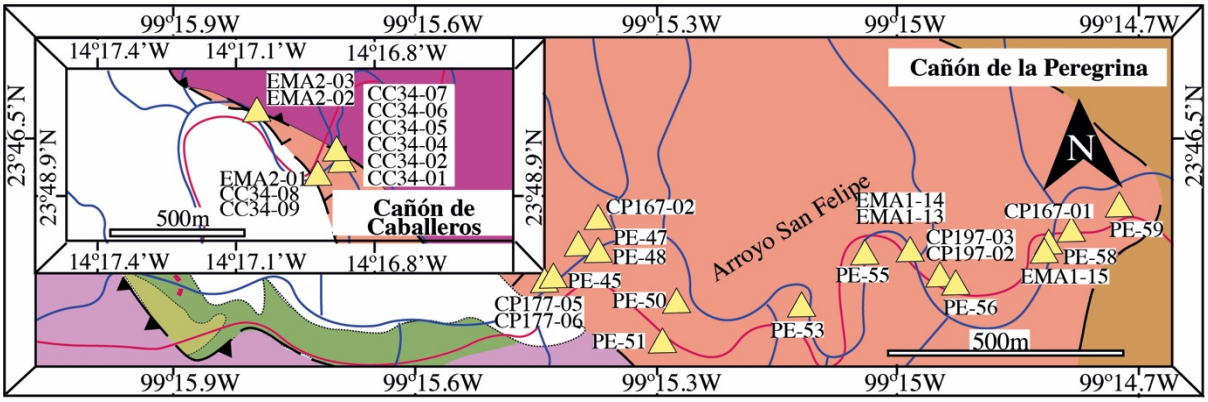
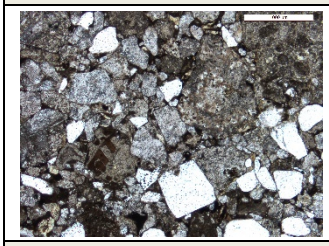
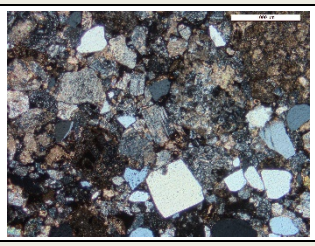
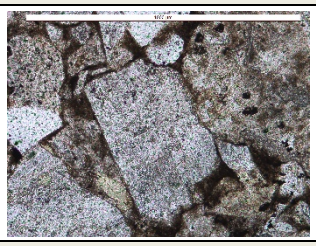
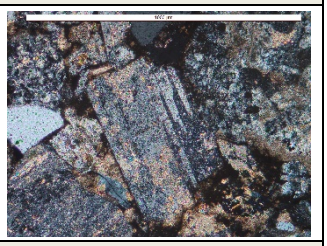
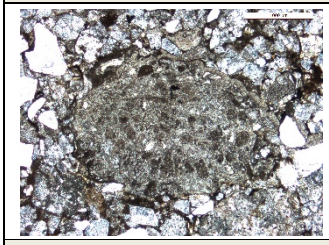
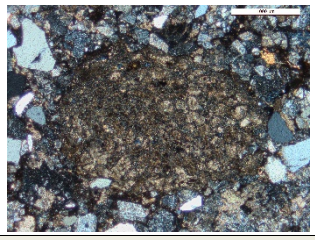
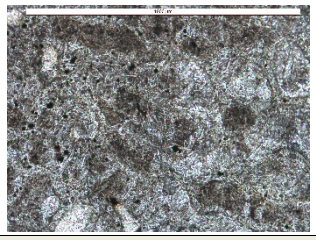
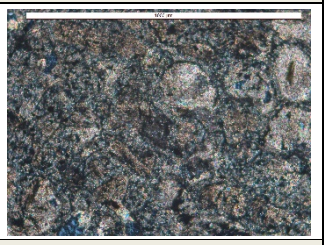
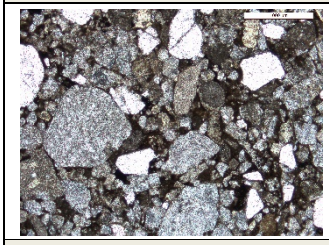
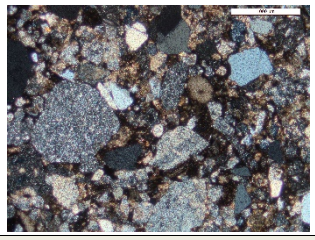
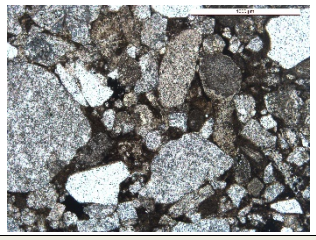
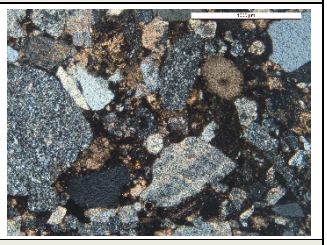
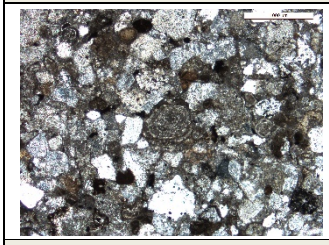
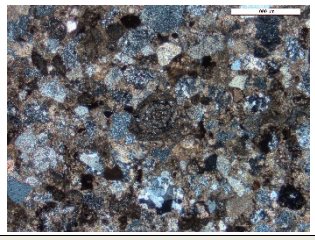
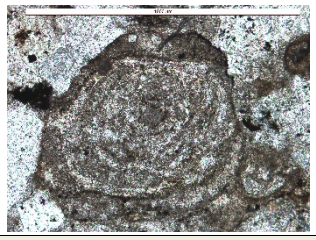
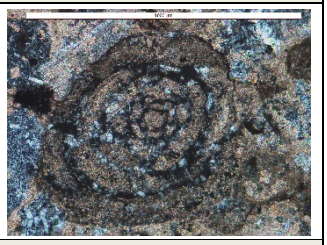
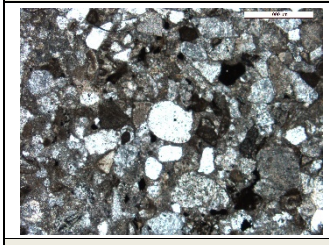
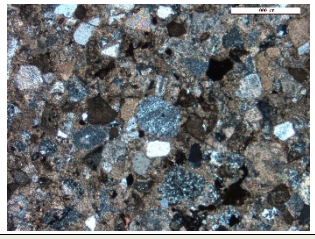
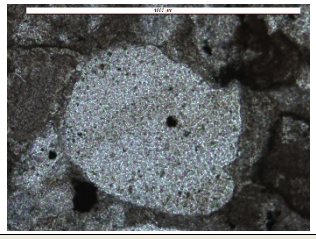
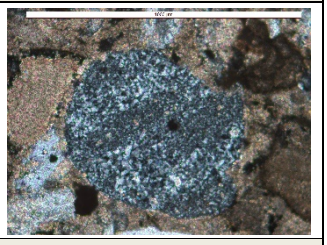
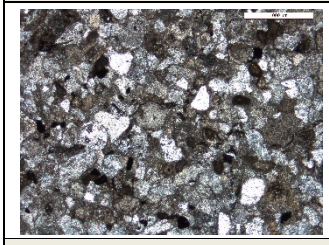
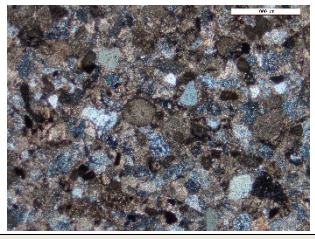
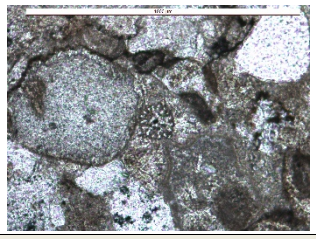
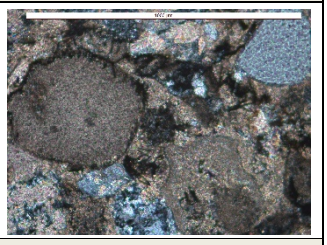
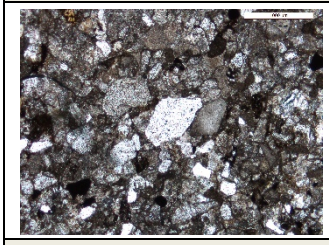
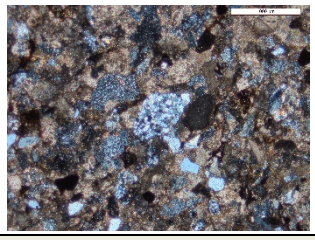
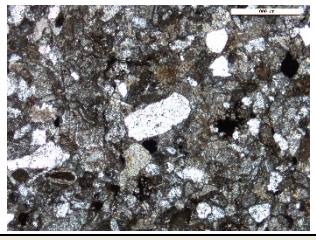
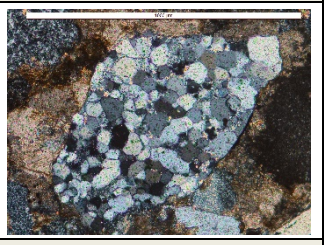
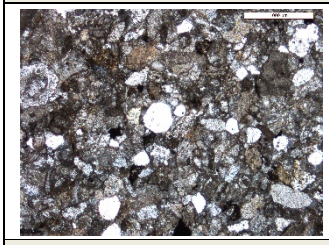
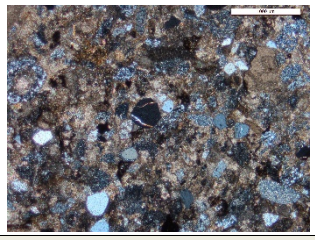
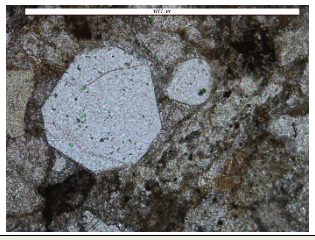
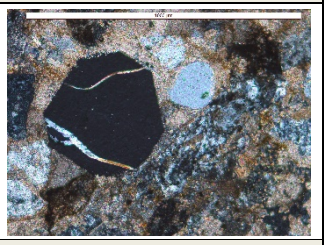
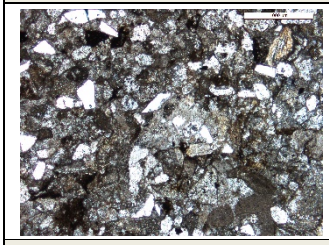
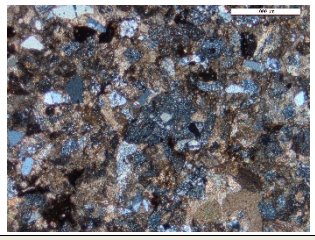
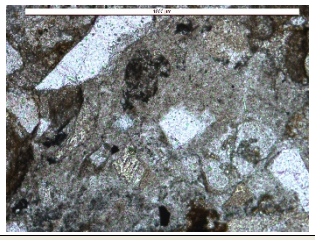
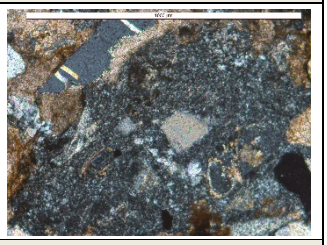
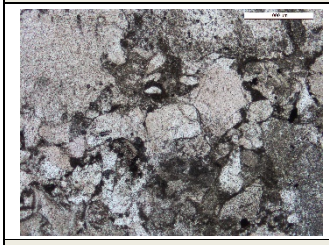
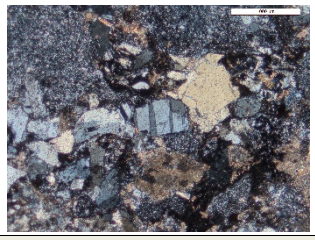
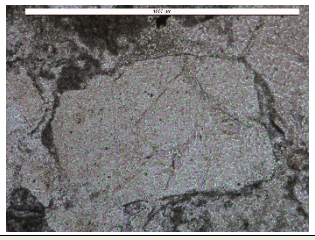
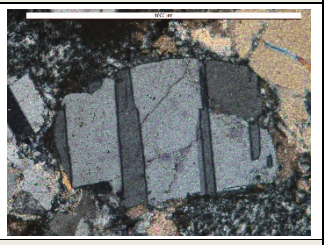
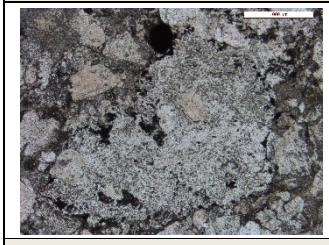
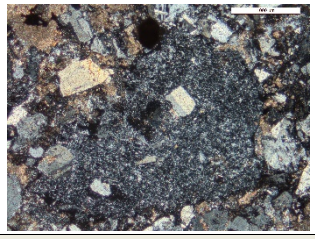
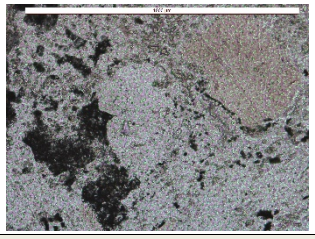
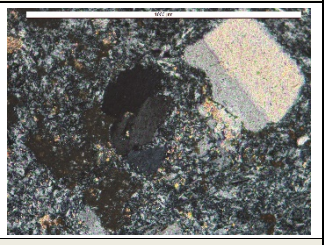
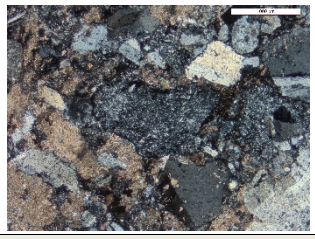
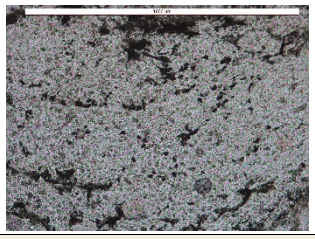
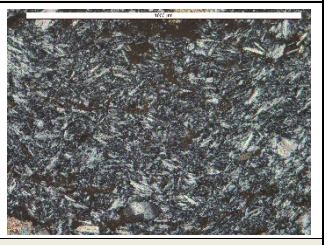
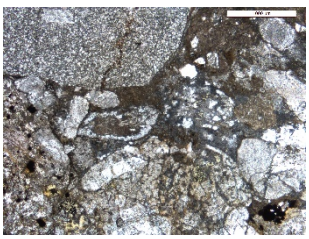
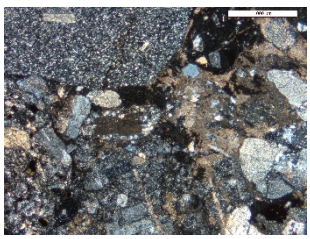
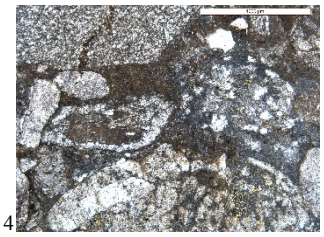
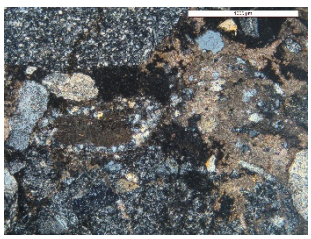


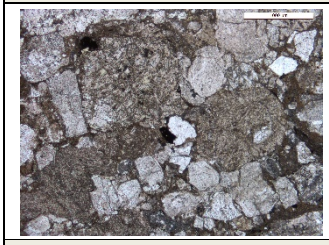
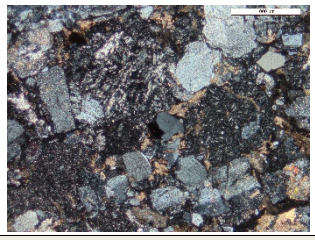
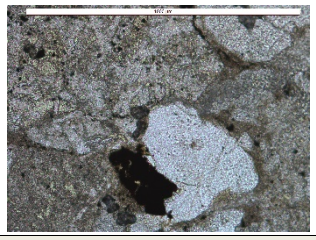
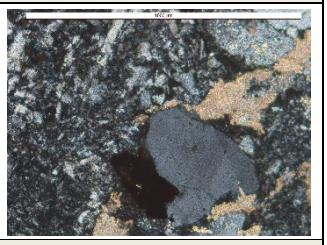
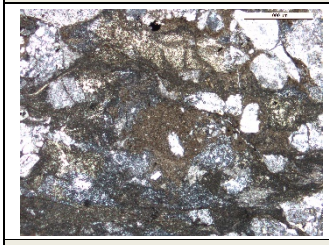
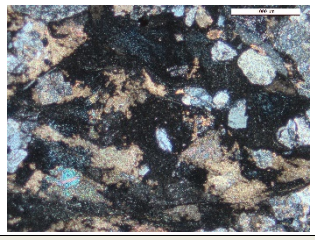
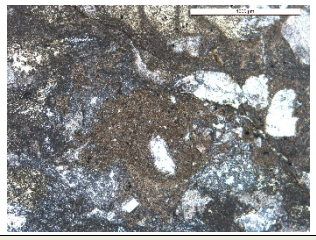
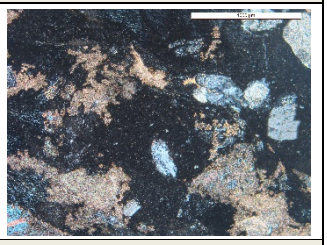
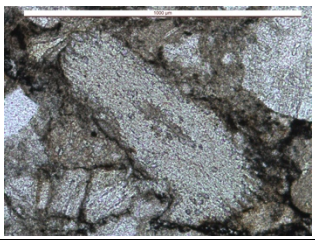
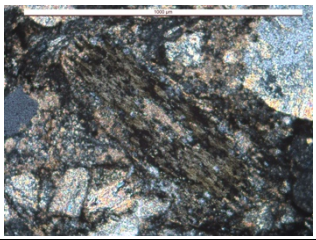
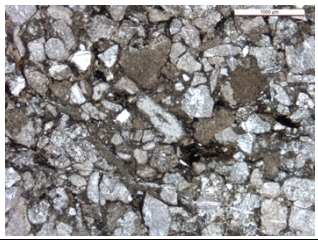
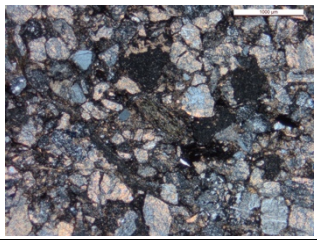
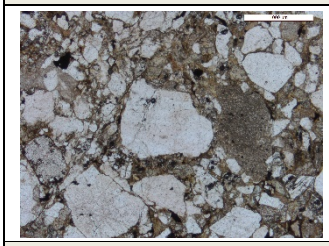
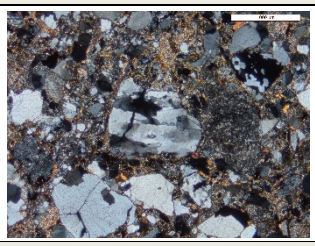
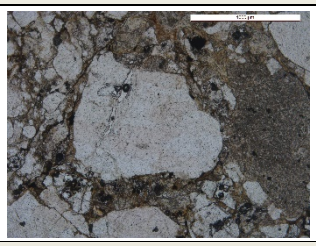
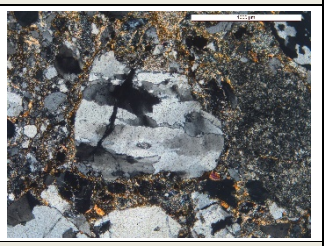
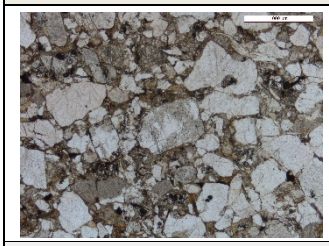
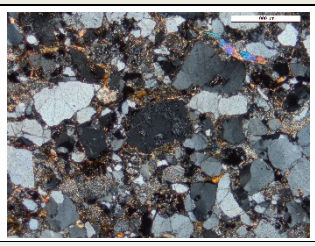
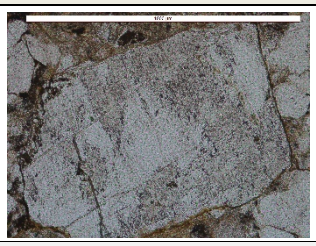
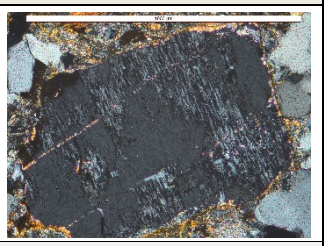
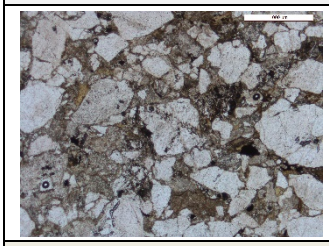
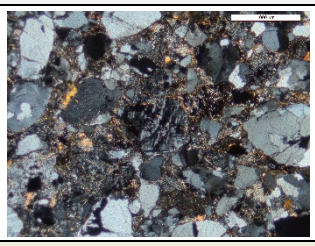
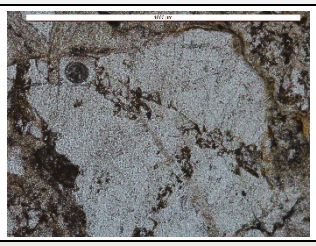
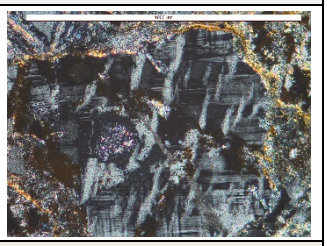
Fig. 9. 6. Localización de las muestras de la Formación Guacamaya (Pérmico inferior).

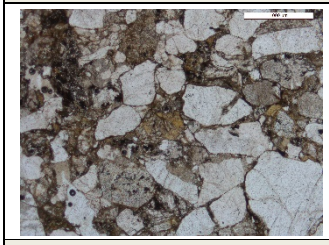
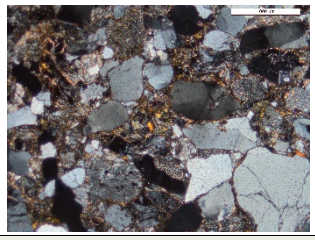
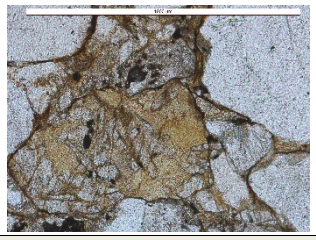
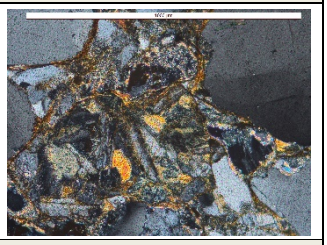
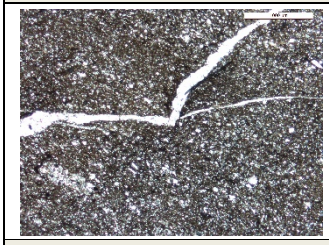
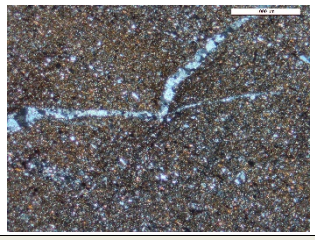
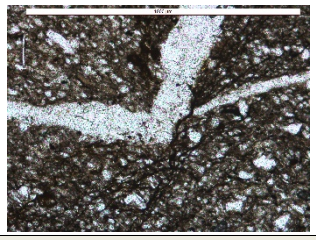
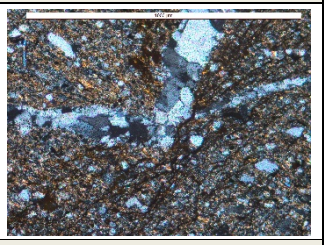
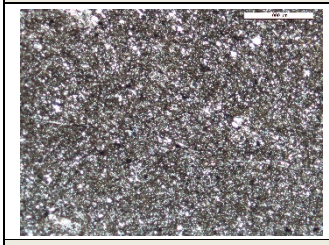
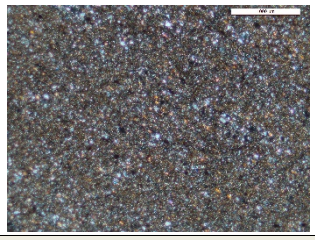
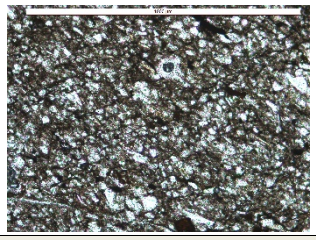
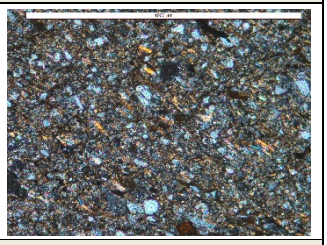
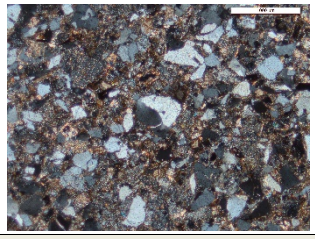
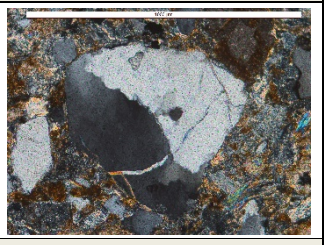
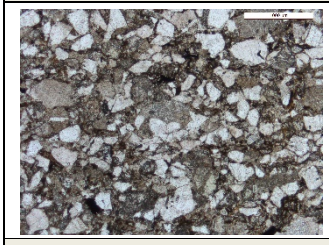
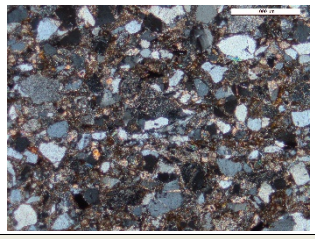
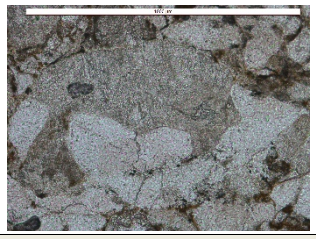
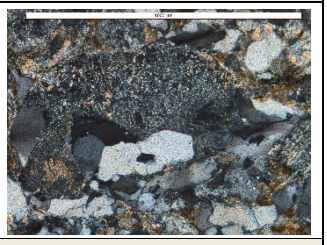
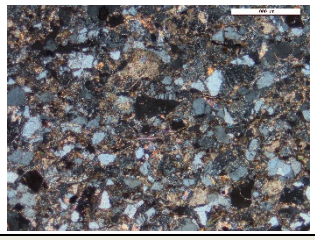
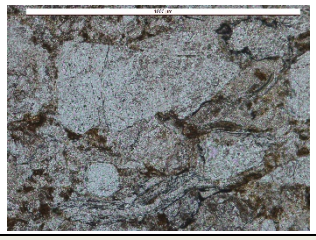
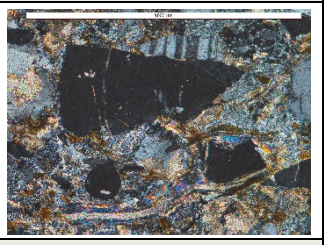
Tabla 12. Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Formación Guacamaya. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 µm.

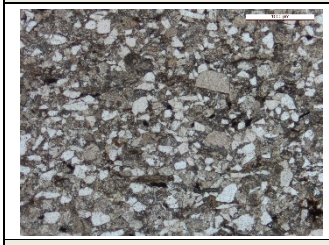
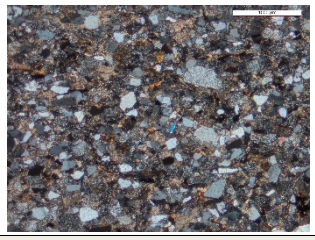
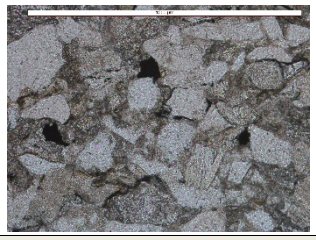
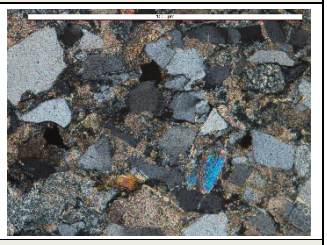
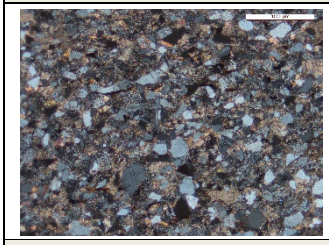
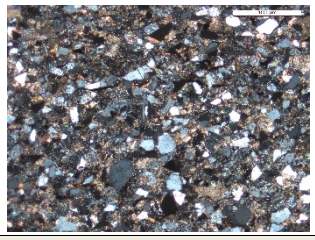
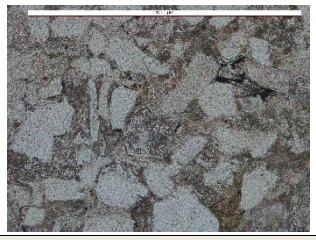
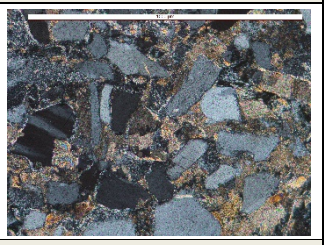
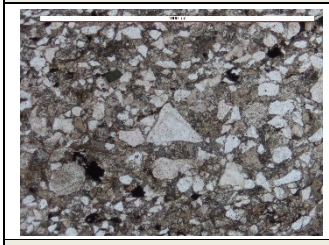
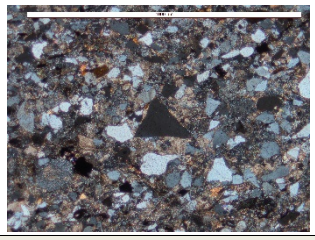
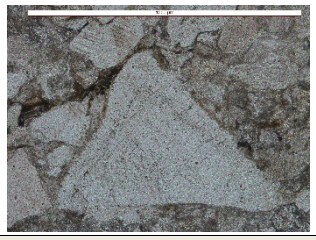
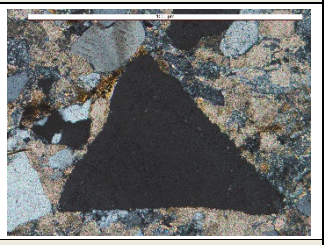
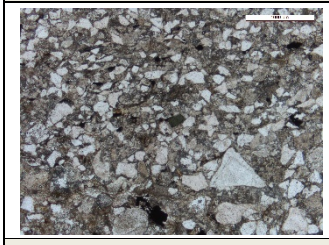
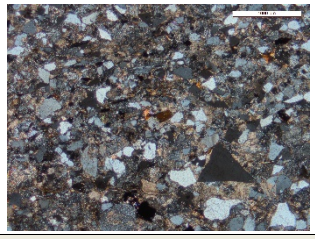
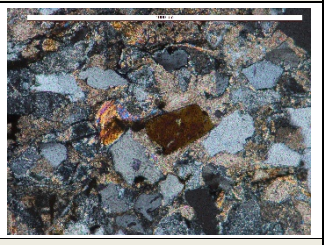
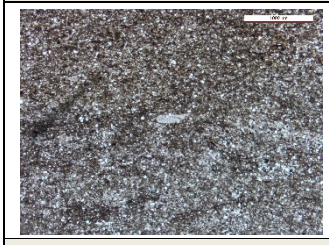
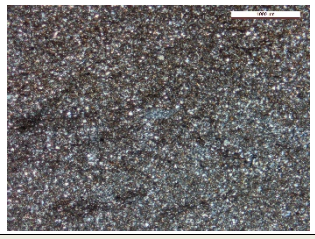
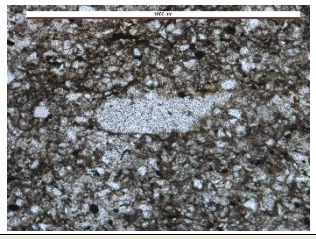
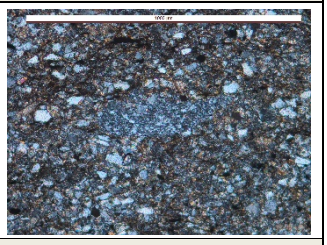
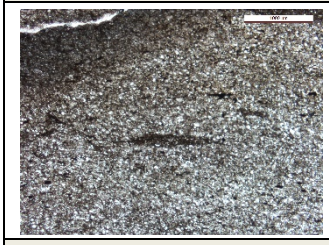
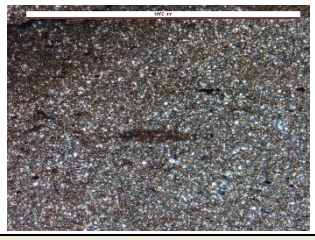
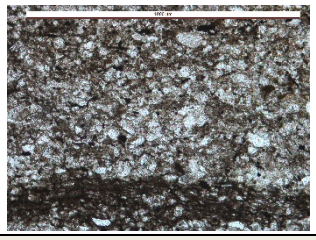
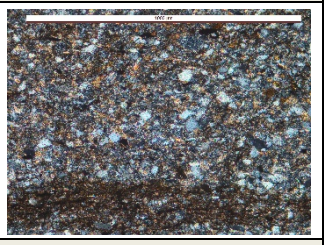
Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-13		EMA1-13	

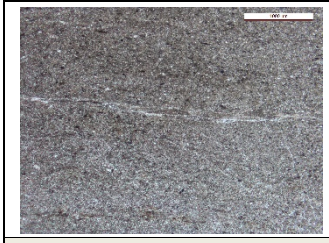
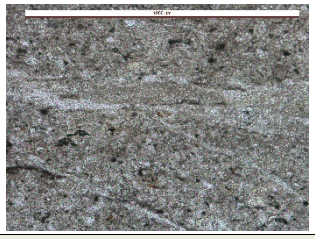
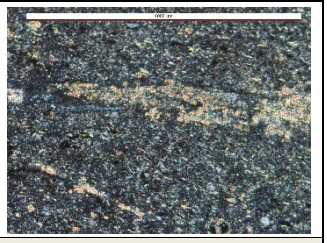
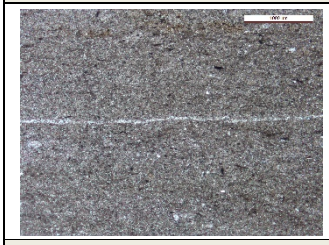
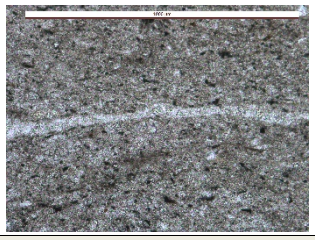
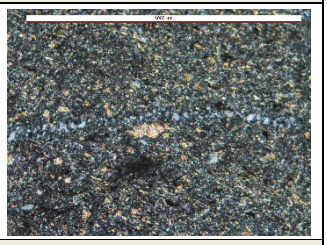
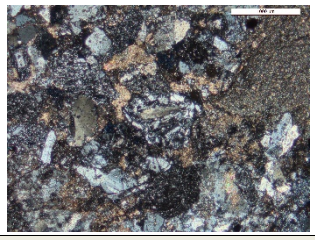
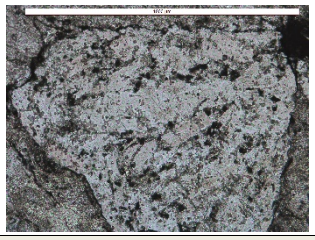
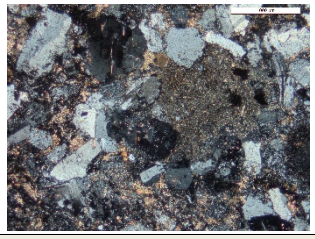
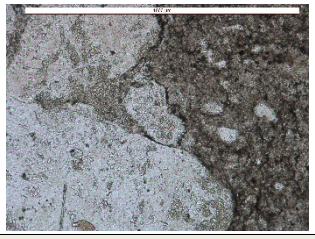
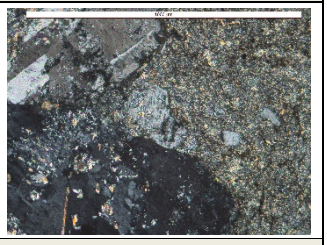
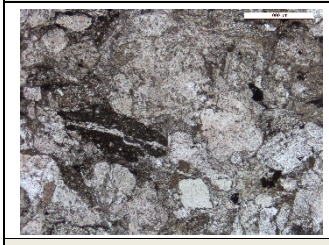
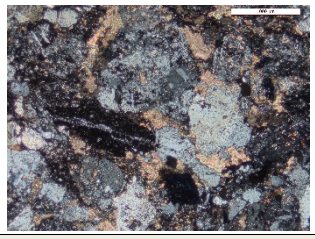
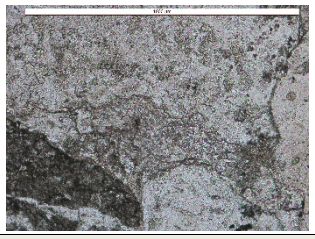
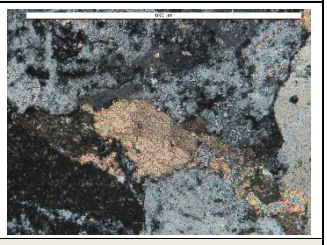
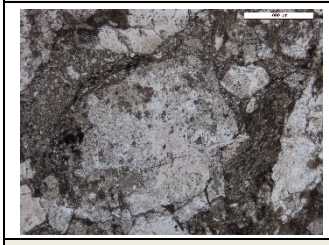
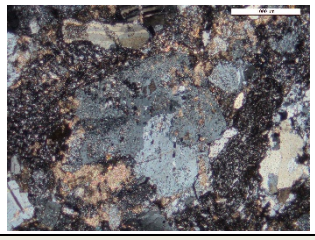
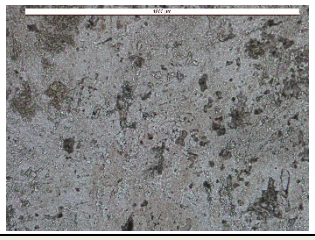
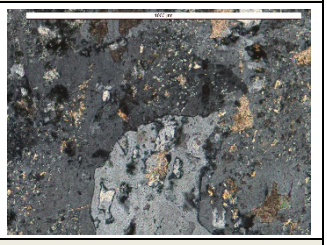
Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-13		**EMA1-13**	
			
EMA1-13		**EMA1-13**	
			
EMA1-14		**EMA1-14**	
			
EMA1-14		**EMA1-14**	
			
EMA1-14		**EMA1-14**	
			
EMA1-15		**EMA1-15**	

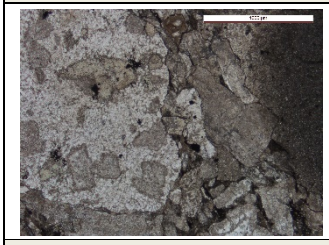
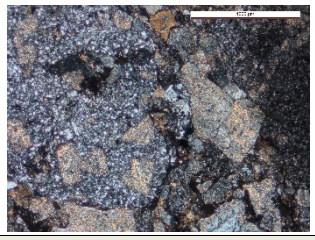
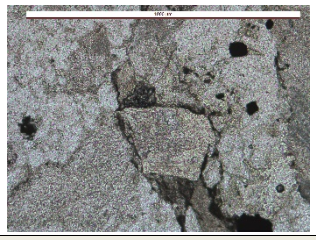
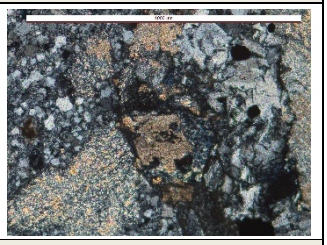
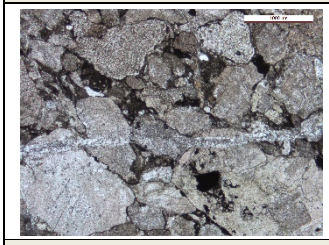
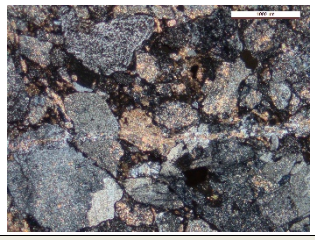
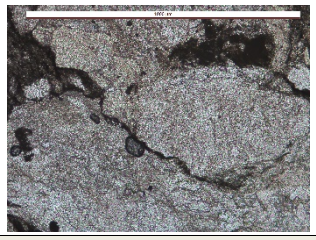
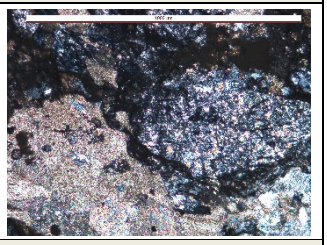
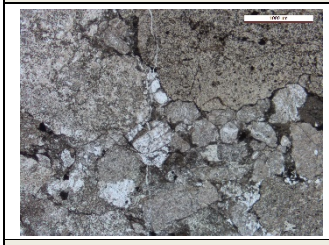
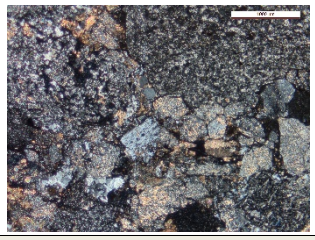
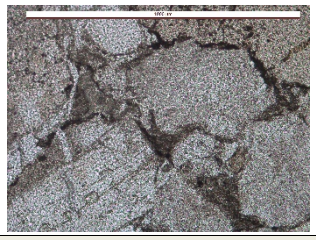
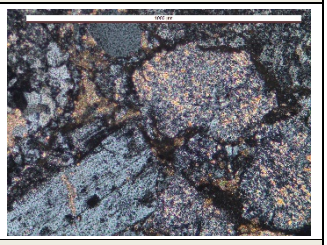
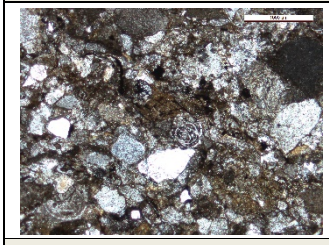
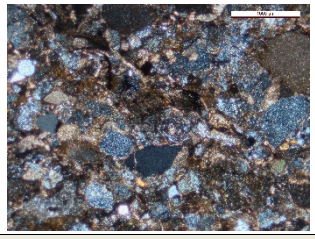
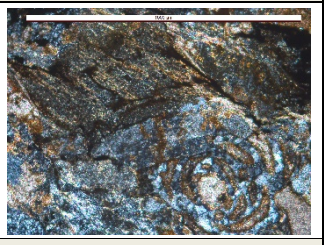
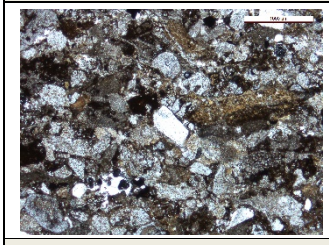
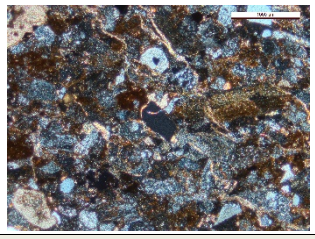
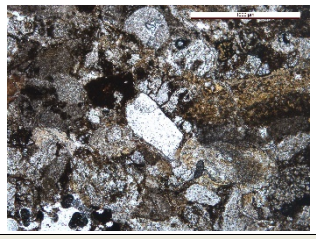
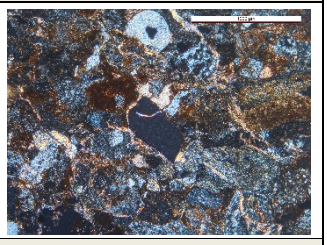
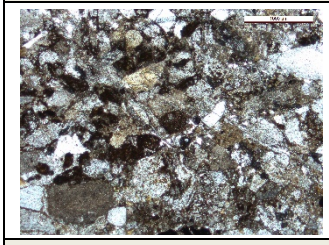
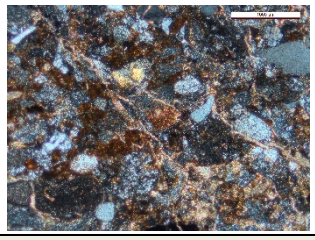
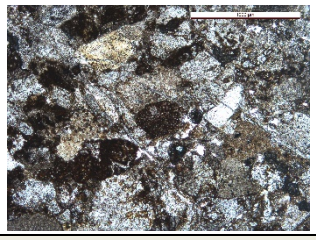
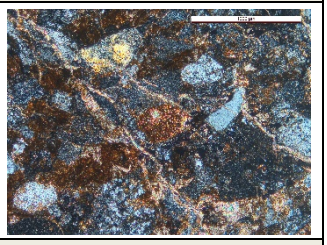
Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA1-15		**EMA1-15**	
			
EMA1-15		**EMA1-15**	
			
EMA2-01		**EMA2-01**	
			
EMA2-01		**EMA2-01**	
			
EMA2-01		**EMA2-01**	
			
EMA2-02		**EMA2-02**	

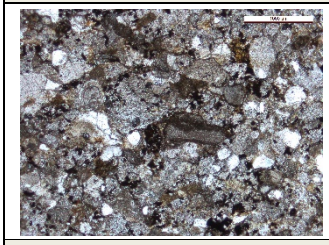
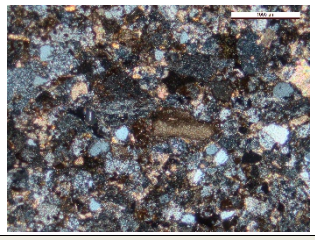
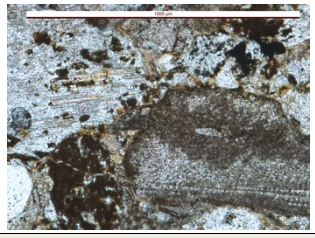
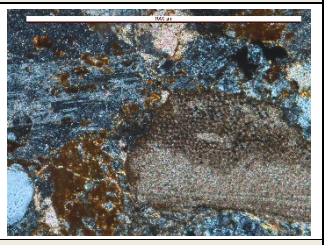
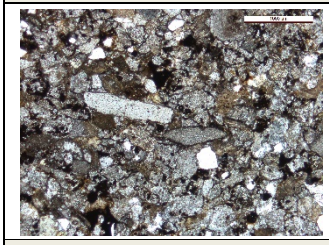
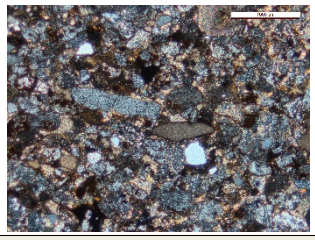
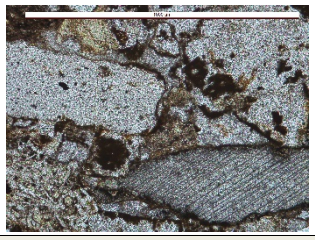
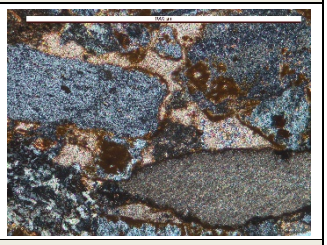
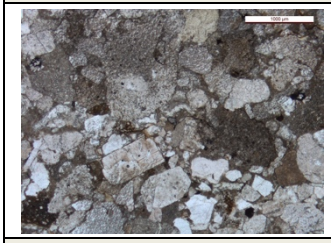
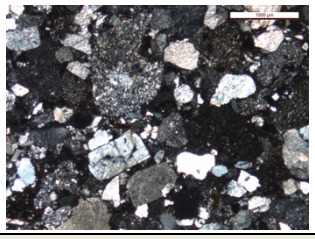
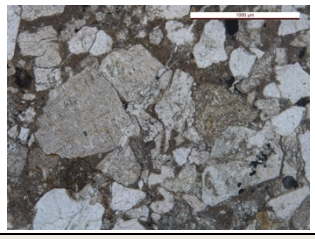
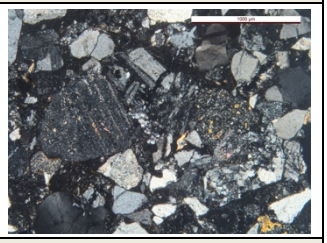
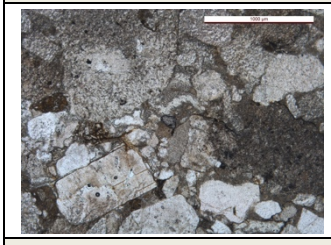
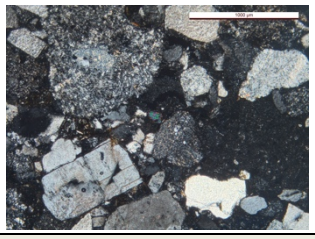
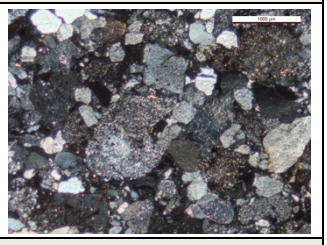
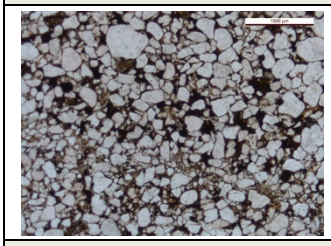
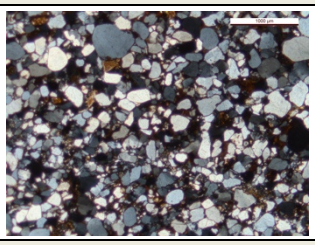
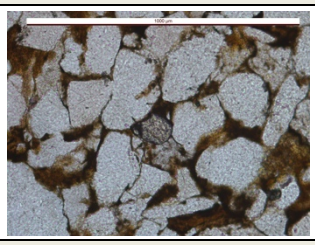
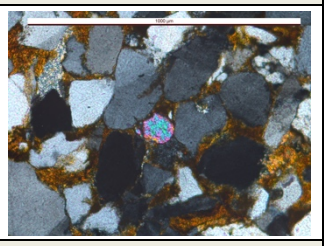
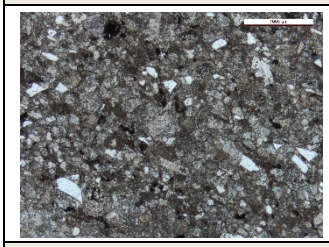
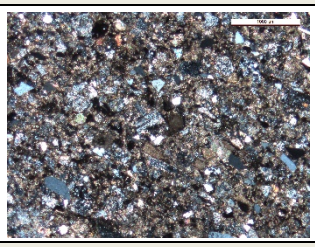
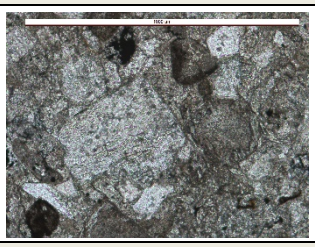
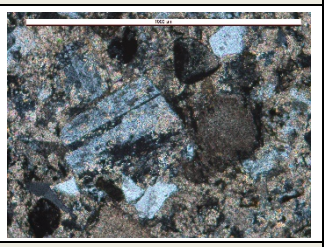
Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
EMA2-02		**EMA2-02**	
			
EMA2-02		**EMA2-02**	
			
EMA2-03		**EMA2-03**	
			
CC34-01		**CC34-01**	
			
CC34-01		**CC34-01**	
			
CC34-01		**CC34-01**	

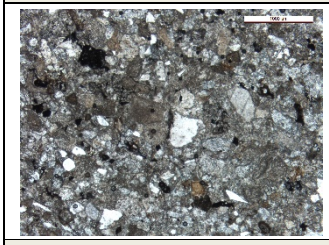
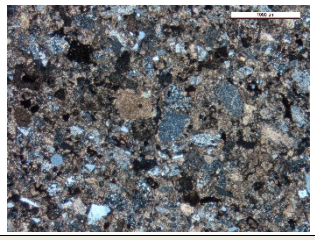
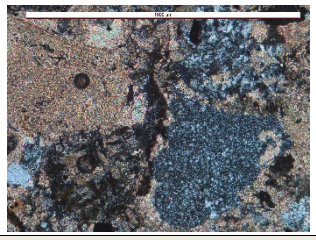
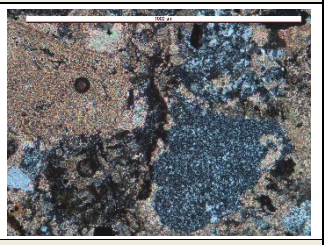
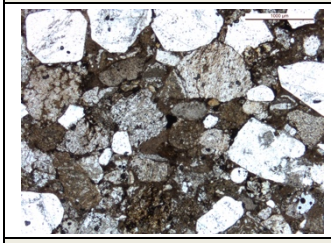
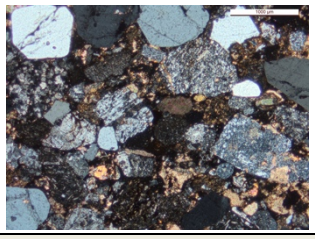
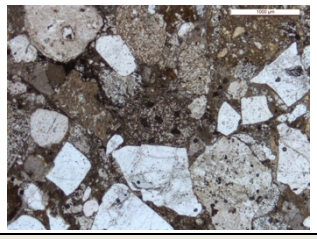
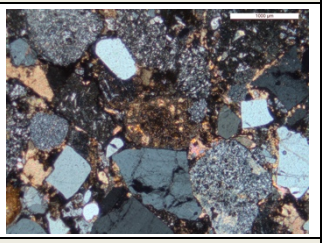
Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC34-01		**CC34-01**	
			
CC34-02		**CC34-02**	
			
CC34-02		**CC34-02**	
			
CC34-04		**CC34-04**	
			
CC34-04		**CC34-04**	
			
CC34-04		**CC34-04**	

Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC34-05		**CC34-05**	
			
CC34-05		**CC34-05**	
			
CC34-05		**CC34-05**	
			
CC34-05		**CC34-05**	
			
CC34-06		**CC34-06**	
			
CC34-06		**CC34-06**	

Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC34-07		**CC34-07**	
			
CC34-07		**CC34-07**	
			
CC34-08		**CC34-08**	
			
CC34-08		**CC34-08**	
			
CC34-08		**CC34-08**	
			
CC34-08		**CC34-08**	

Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC34-09		**CC34-09**	
			
CC34-09		**CC34-09**	
			
CC34-09		**CC34-09**	
			
CP167-01		**CP167-01**	
			
CP167-01		**CP167-01**	
			
CP167-01		**CP167-01**	

Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CP167-02		**CP167-02**	
			
CP167-02		**CP167-02**	
			
CP177-05		**CP177-05**	
			
CP177-05		**CP177-05**	
			
CP177-06		**CP177-06**	
			
CP197-02		**CP197-02**	

Formación Guacamaya			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CP197-02		CP197-02	
			
CP197-03		CP197-03	

11.3.6 Fotomicrografías de las secciones delgadas de la Riolita Aserradero

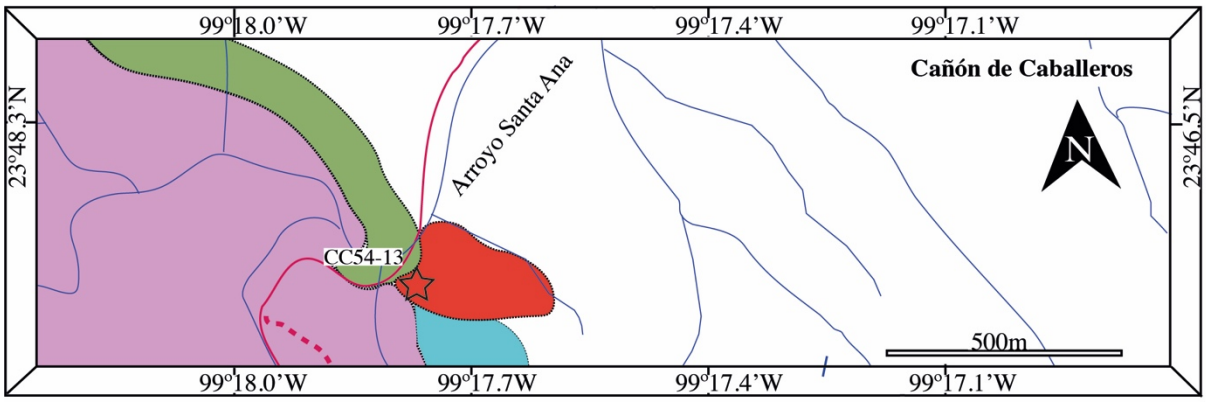
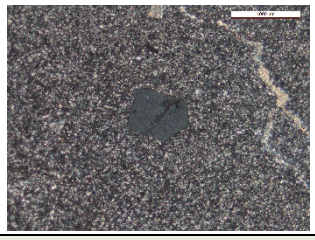
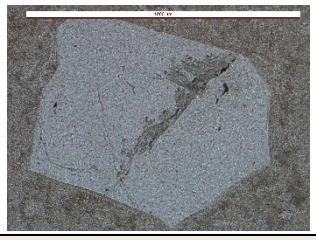
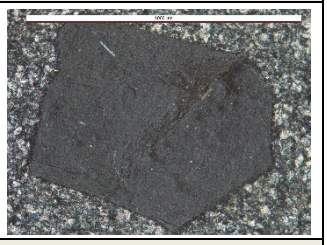
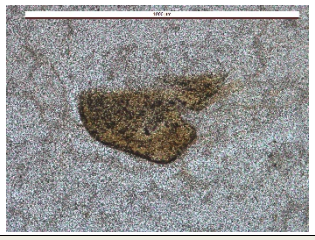
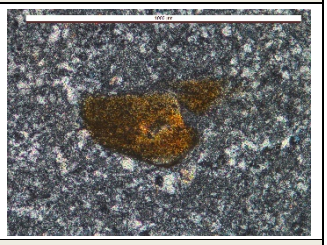
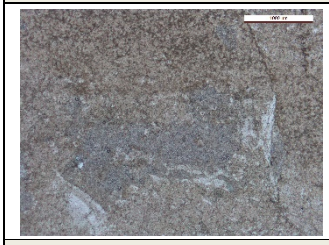
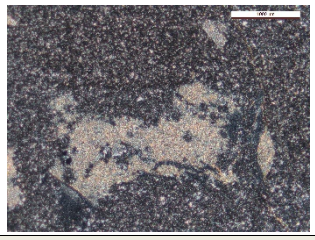
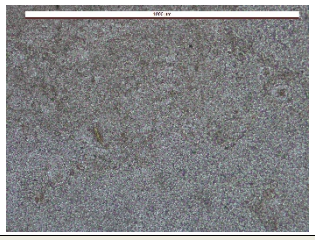
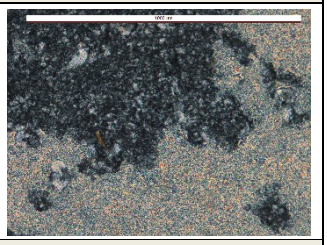


Fig. 9. 7. Localización de las muestras de la Riolita Aserradero (Carbonífero).

Tabla 13. Fotomicrografías de la sección delgada de la Riolita Aserradero. **Nota:** Barra blanca en la esquina superior derecha refiere a la escala de 1000 μm.

Riolita Aserradero (Carbonífero)			
Fotomicrografías		Fotomicrografías	
Nicoles paralelos	Nicoles cruzados	Nicoles paralelos	Nicoles cruzados
			
CC54-13		CC54-13	

Riolita Aserradero (Carbonífero)			
Fotomicrografías		**Fotomicrografías**	
Nicoles paralelos	**Nicoles cruzados**	**Nicoles paralelos**	**Nicoles cruzados**
			
CC54-13		**CC54-13**	
			
CC54-13		**CC54-13**	

11.3.7 Análisis Petrográfico Modal del Grupo Tamatán

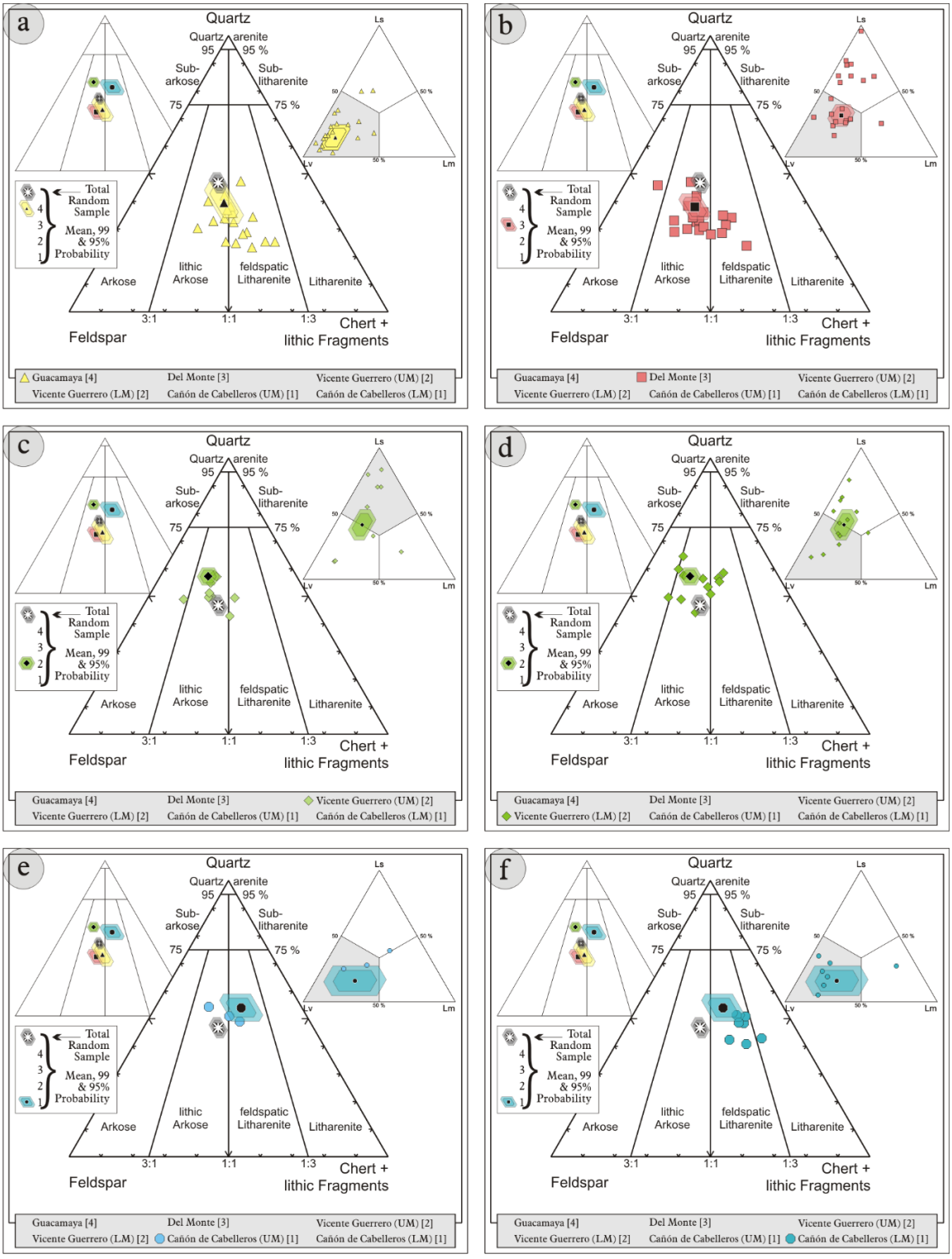


Fig. 9. 8. Clasificación modal de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – R + Ch (Folk et al., 1970) y la dominación de los granos líticos Lv – Ls – Lm (Ingersoll & Suczek, 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, (**d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): (**e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

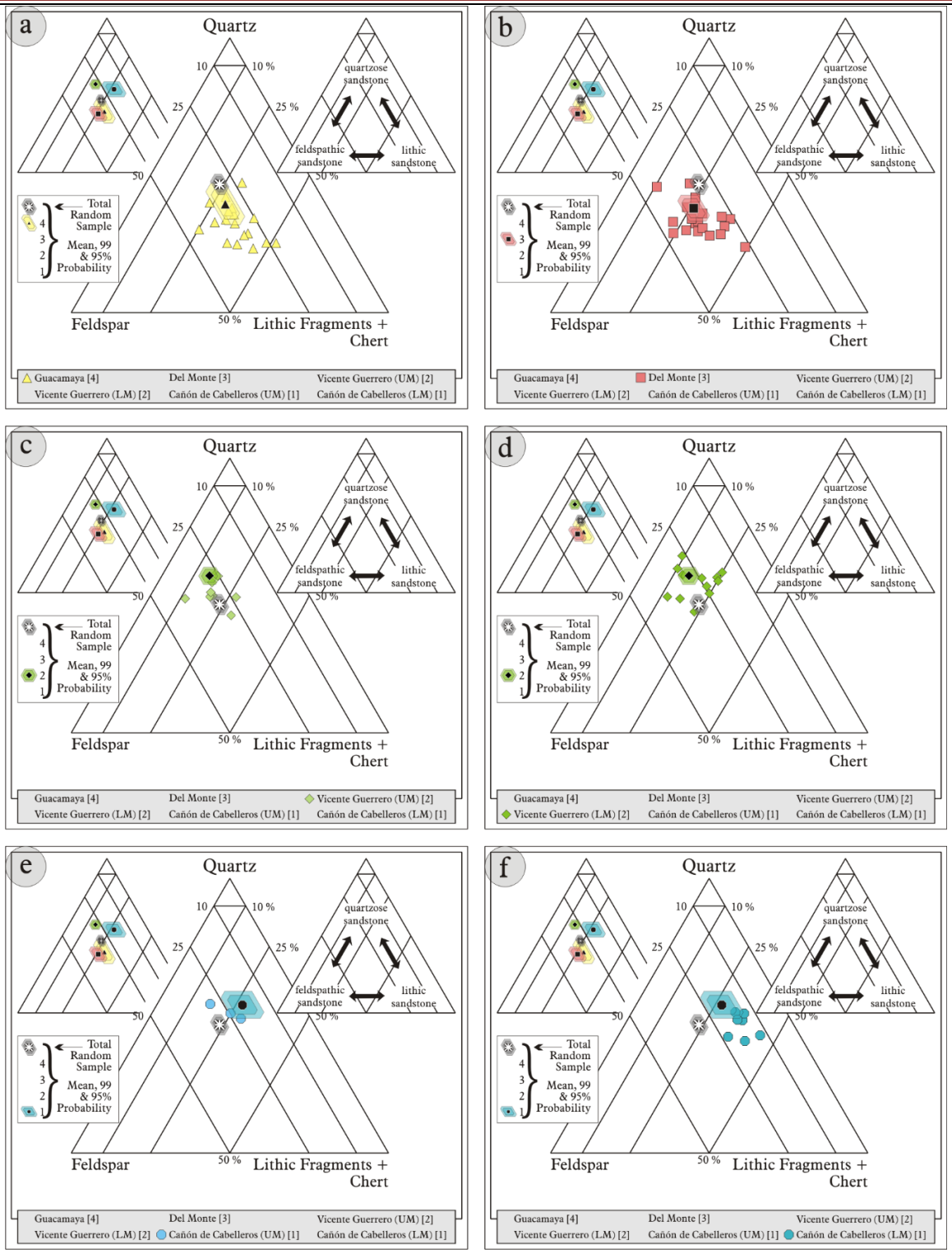


Fig. 9. 9. Clasificación modal de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Q – F – L + Ch (Füchtbauer, 1988; modificado por Jenchen & Rosenfeld, 2002). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

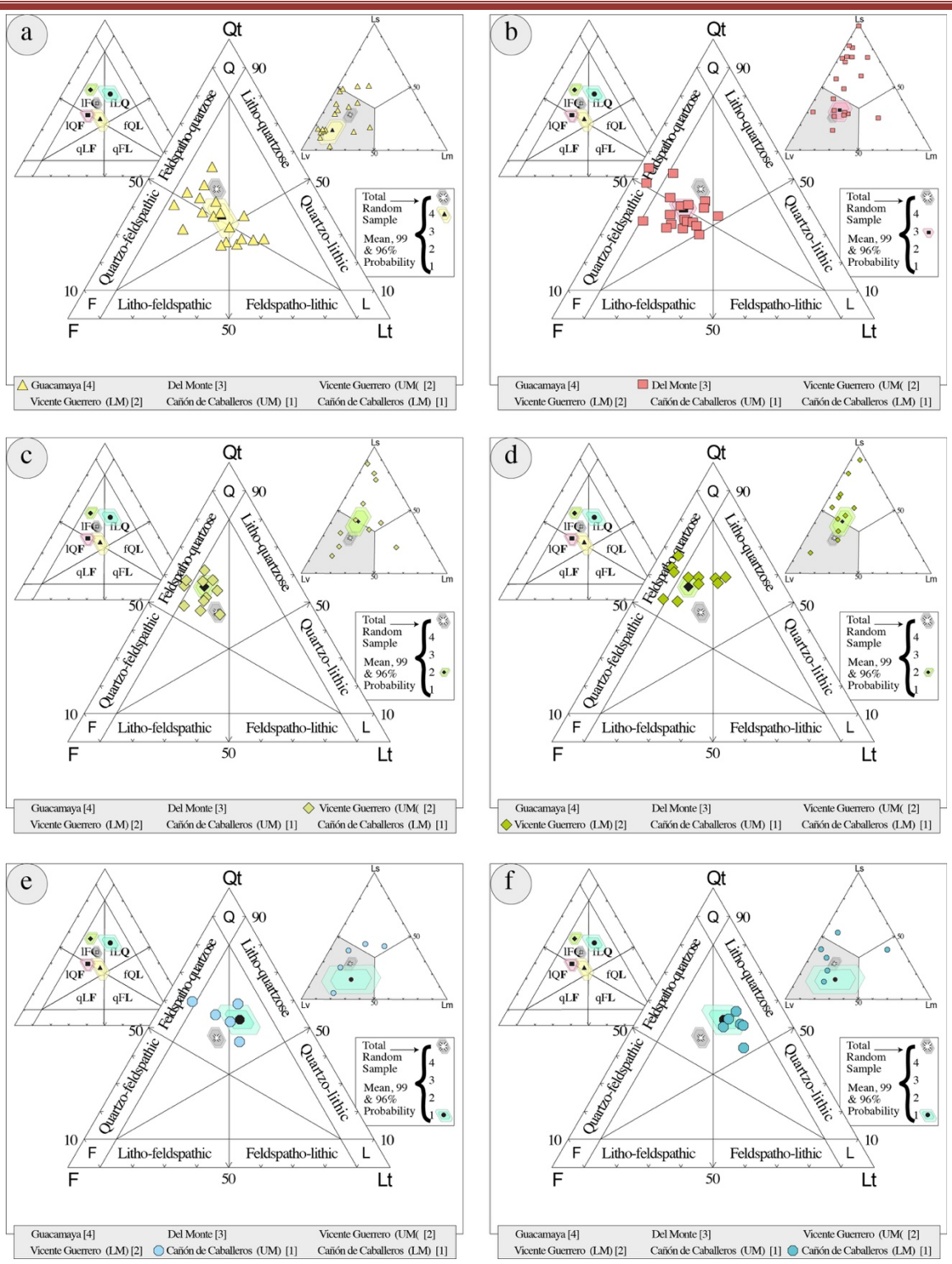


Fig. 9. 10. Clasificación modal de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – Lt (Garzanti, 2018) y la dominación de los granos líticos Lv – Ls – Lm (Ingersoll & Suczek, 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, (**d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

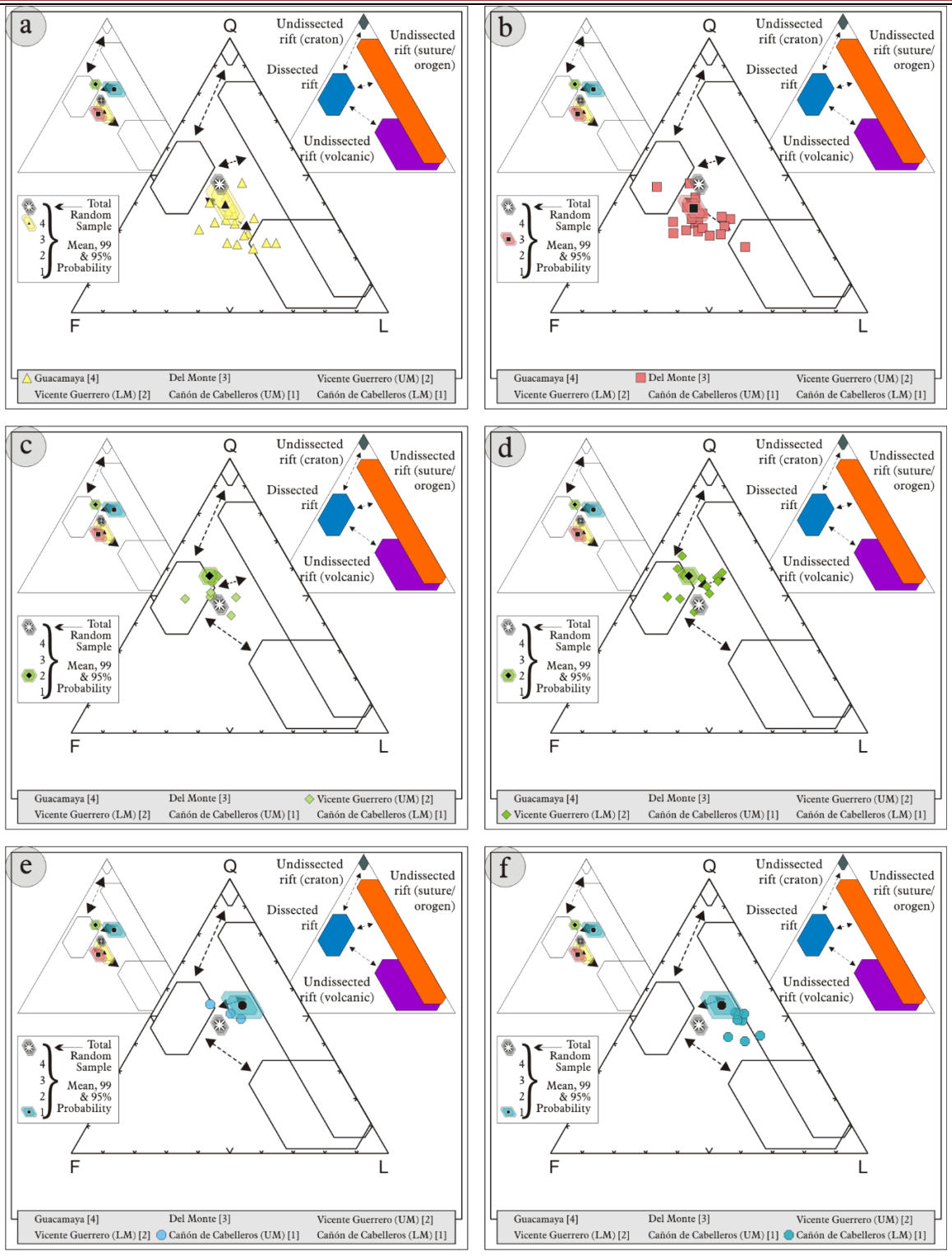


Fig. 9. 11. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Marsaglia et al., 2007). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

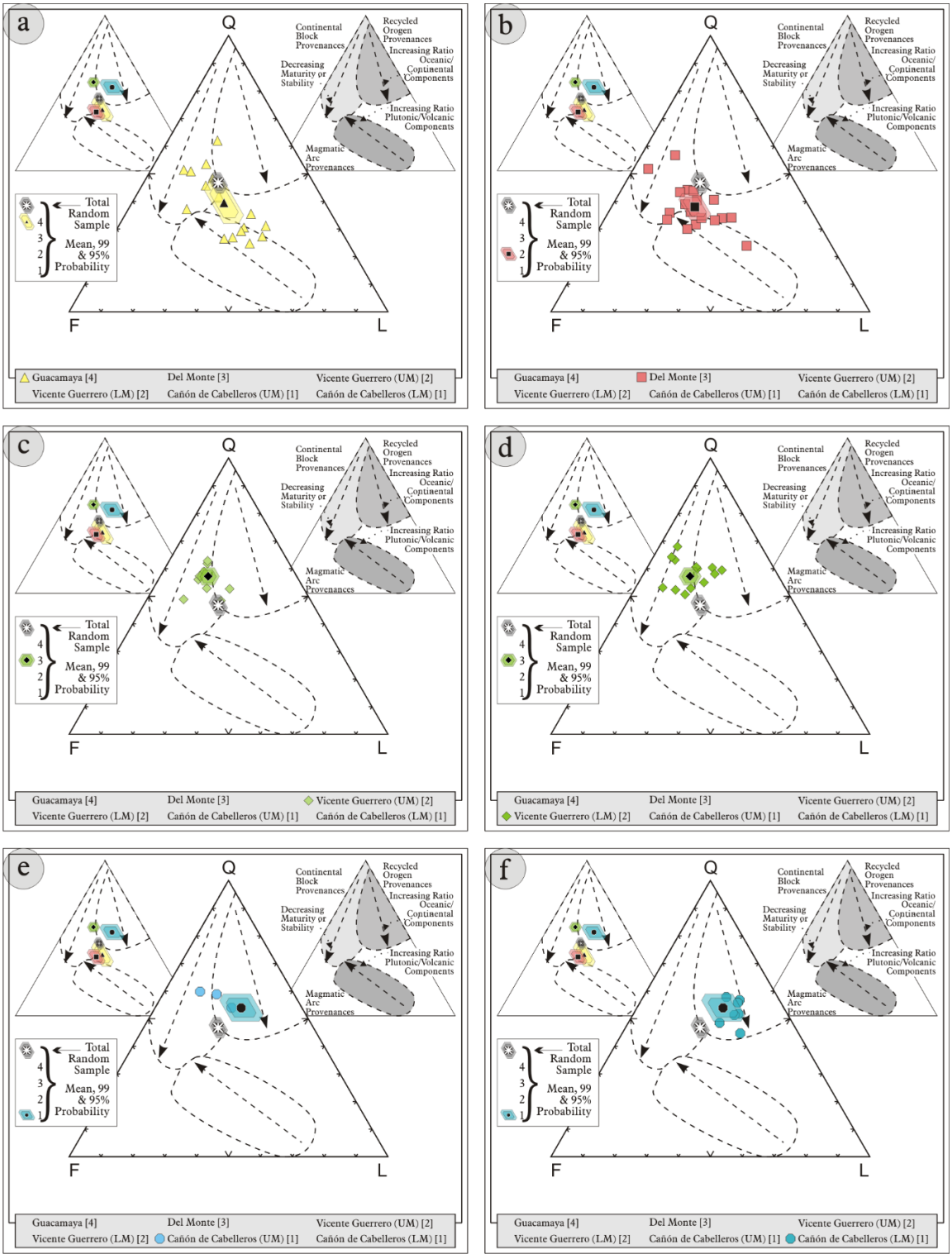


Fig. 9. 12. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Dickinson & Suczek, 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

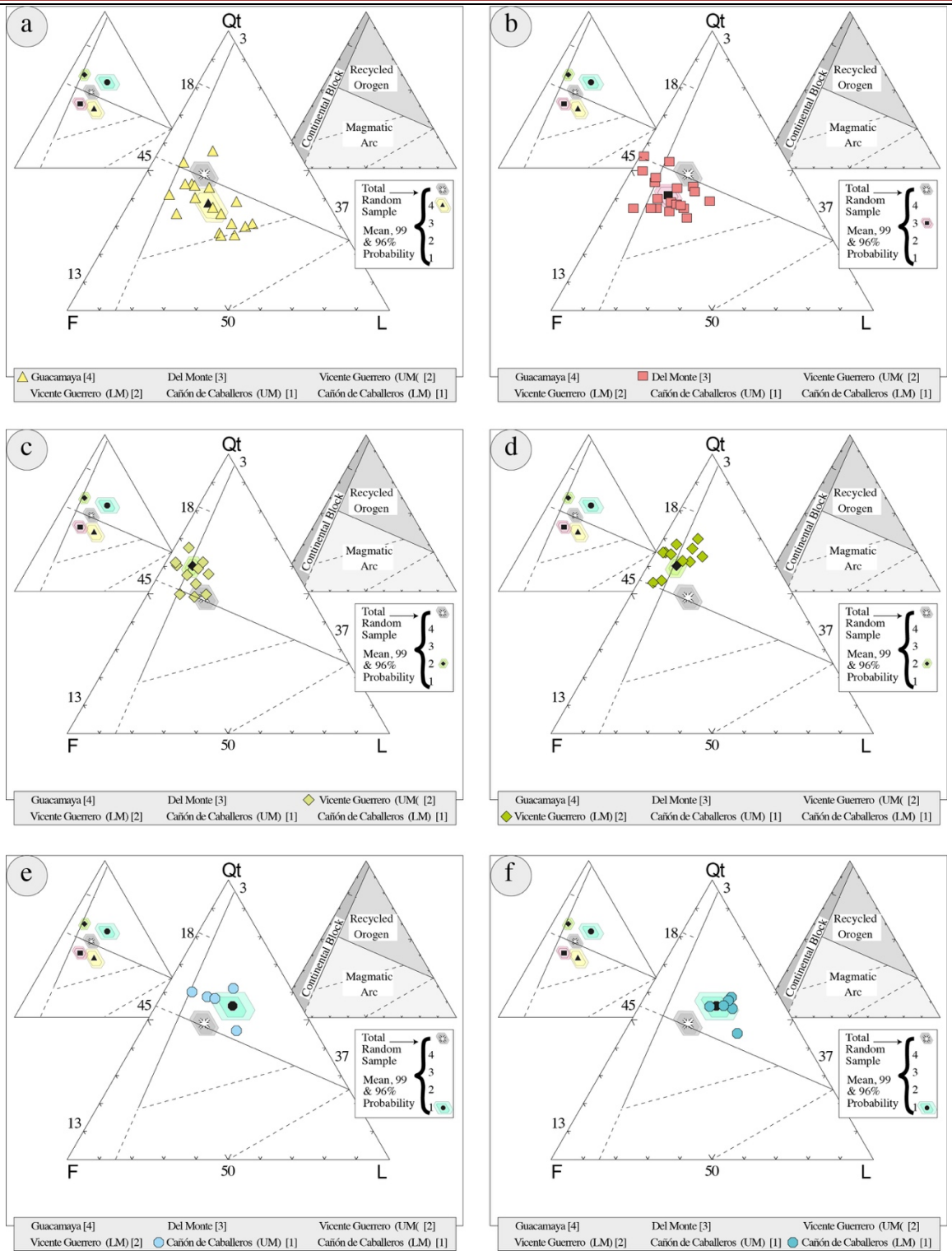


Fig. 9. 13. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Dickinson et al., 1983). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

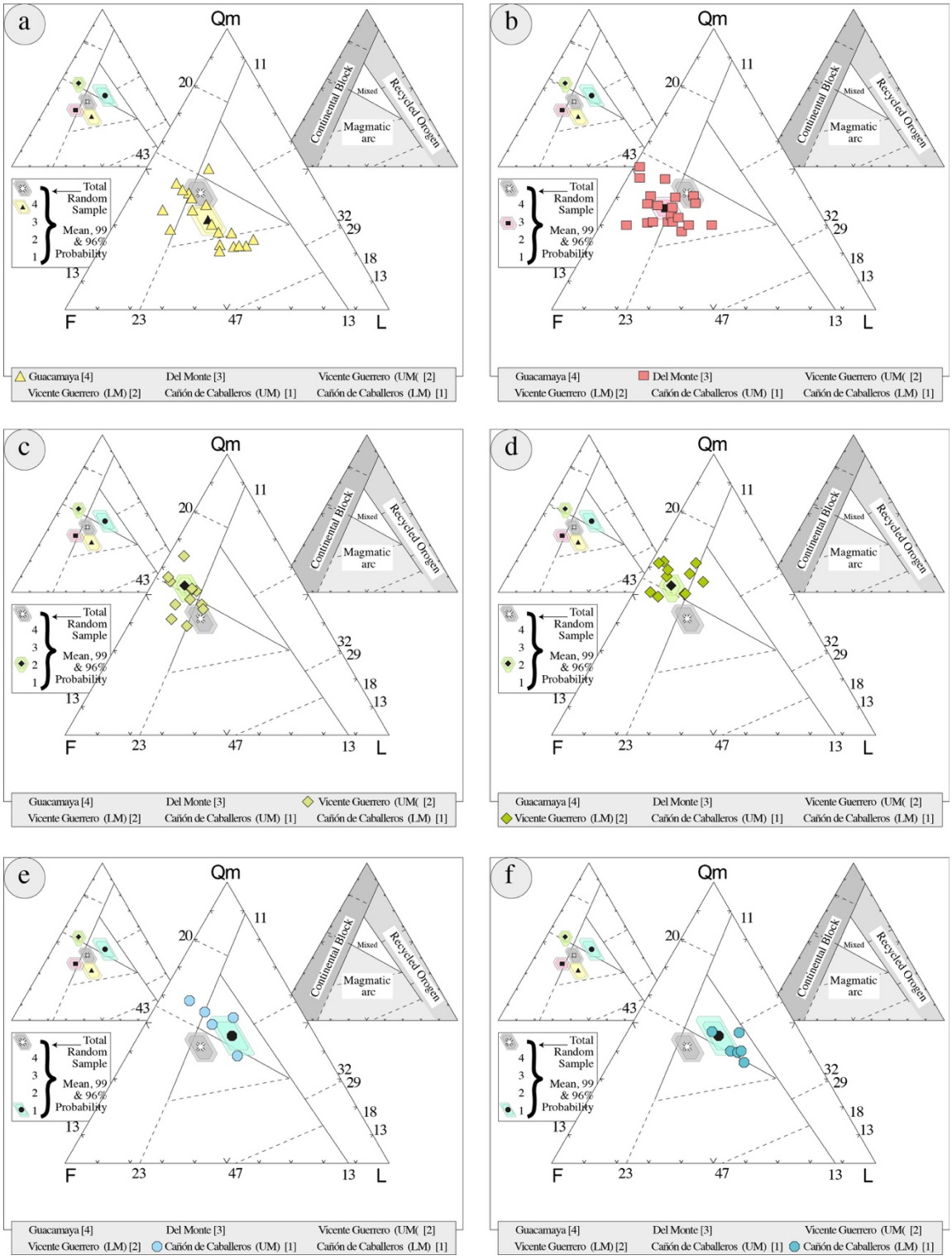


Fig. 9. 14. Asociación tectónica de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qt – F – L (Dickinson, 1985). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

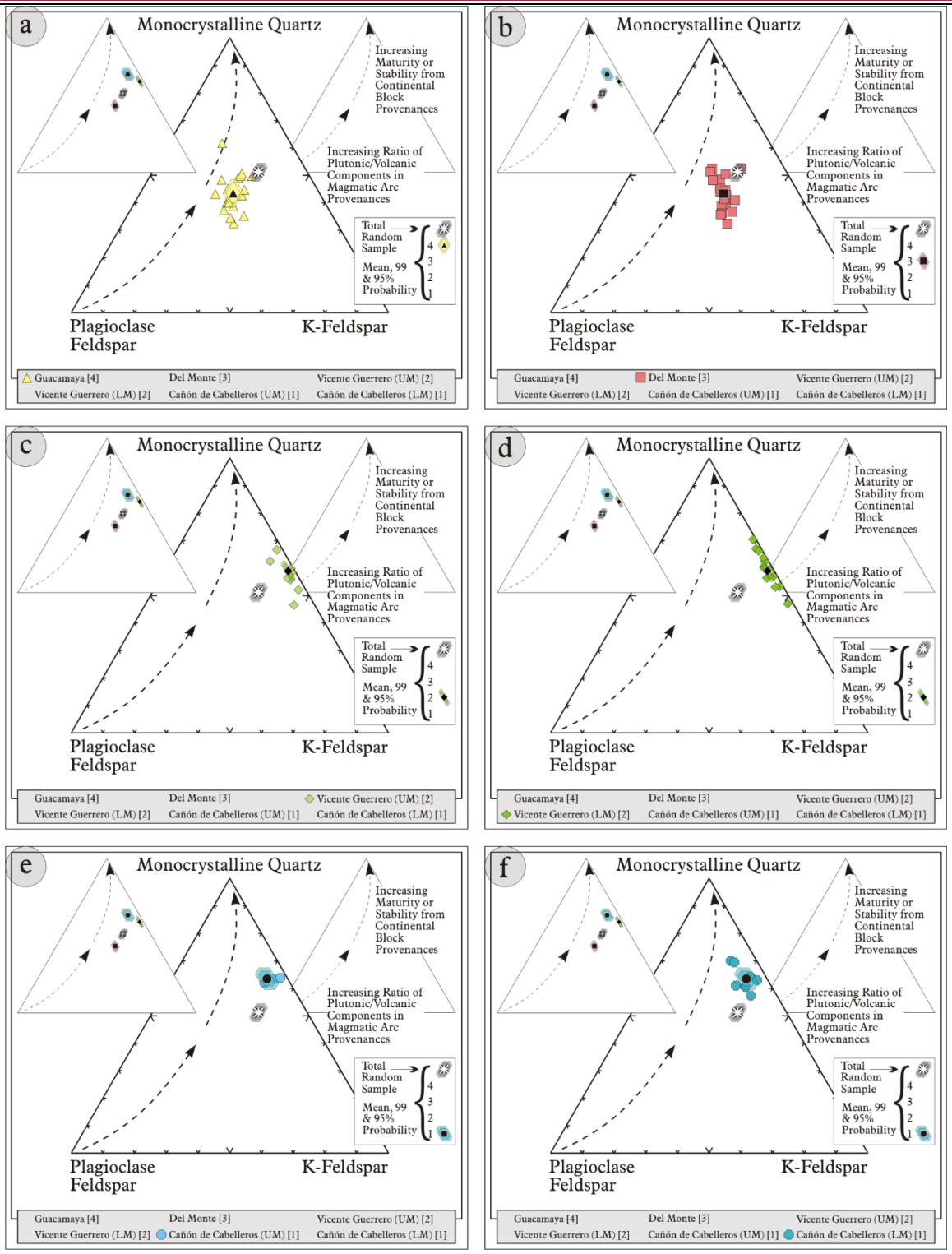


Fig. 9. 15. Área fuente de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qm – P – K (Dickinson & Suczek 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

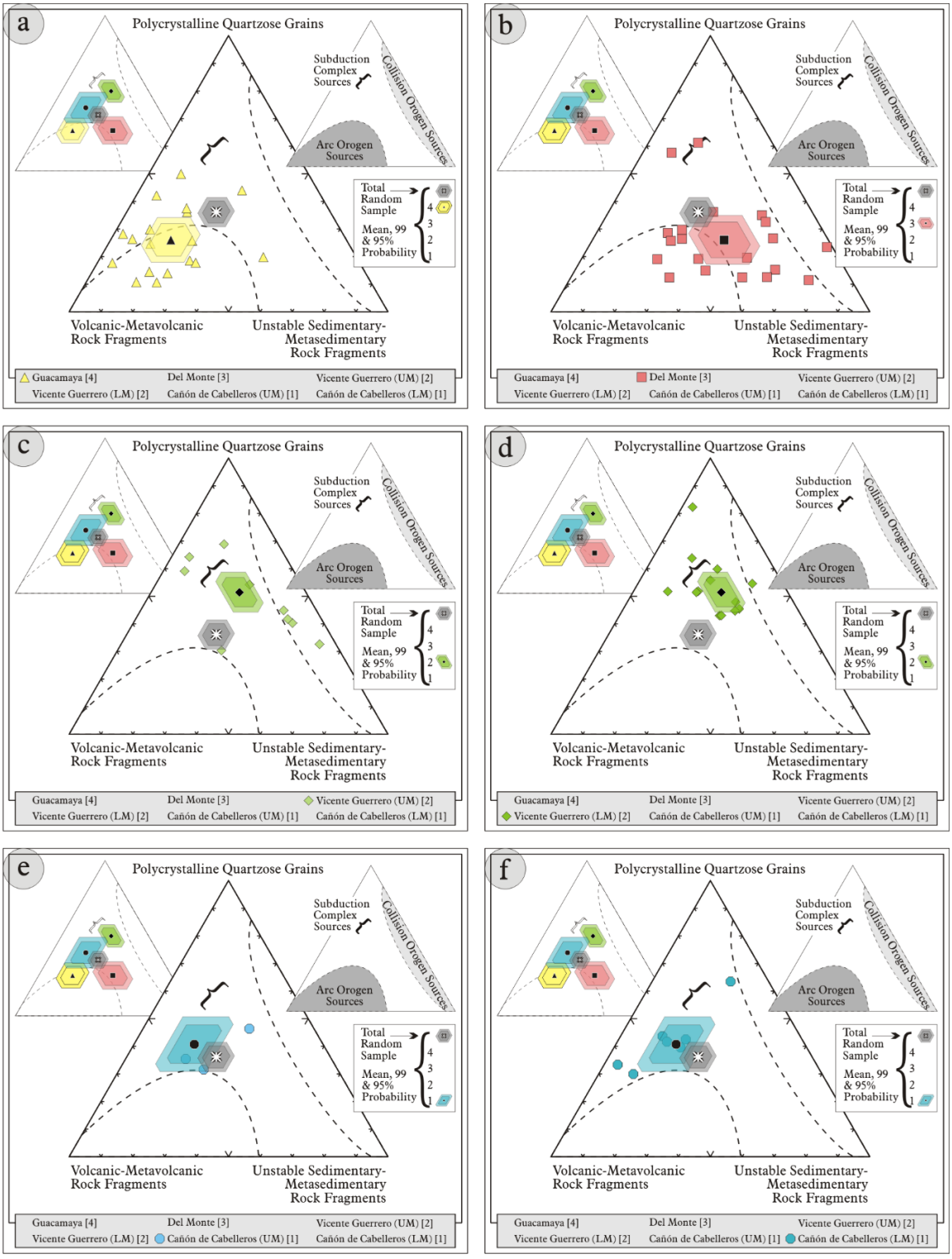


Fig. 9. 16. Área fuente de las areniscas del Grupo Tamatán: diagrama ternario Qp – Lv – Lm (Dickinson & Suczek 1979). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior.

11.4 Datos geoquímicos

11.4.1 Parámetros geoquímicos

Tabla 14. Parámetros geoquímicos de las muestras de las Formaciones Cañón de Caballeros y Vicente Guerrero.

	Formación Cañón de Caballeros												Formación Vicente Guerrero				
Muestras	**CC64-01**	**CC64-02a**	**CC64-02b**	**CC64-02c**	**CC64-03a**	**CC64-03b**	**CC64-04**	**CC64-05**	**CC64-06**	**CC64-07**	**CP187-04**	**CP187-05**	**CC54-14**	**CC54-15**	**EMA1-03**	**EMA1-04**	**EMA1-05**
SiO2	70,21	73,15	74,21	71.92	77,66	76,59	75,27	69,94	77,53	69,55	71,5	71	80,23	84,51	80,15	65,83	71,13
TiO2	0,36	1,06	0,93	1.13	0,51	0,53	0,52	0,36	0,04	0,36	0,52	0,52	0,63	0,78	0,59	0,22	0,61
Al2O3	14,9	11,1	10,45	11.77	8,95	9,47	9,12	15,27	8,42	15,28	11,51	10,86	5,94	5,97	9,2	15,65	8,34
Fe2O3	4,15	6,43	6,62	6.51	5,09	5,49	5,52	4,49	5,38	4,17	5,25	5,38	8,5	4,65	4,24	7,55	3,22
MnO	0,03	0,01	0,02	0.01	0,04	0,06	0,08	0,04	0,09	0,07	0,07	0,08	0,04	0,02	0,01	0,03	0,09
MgO	1,35	0,86	0,87	0.85	1,69	1,75	1,84	0,88	1,72	1,29	0,95	0,96	1,17	0,66	0,94	1,55	0,88
CaO	0,14	0,11	0,09	0.13	0,51	0,22	1,18	0,05	0,67	0,13	1,63	2,36	0,23	0,06	0,16	0,74	6,14
CaO*	0,09	0,02	0	0.01	0,32	0,05	0,87	0	0,47	0,08	0,89	1,4	0,15	0	0,03	0,5	0,78
Na2O	0,05	0,05	0,05	0.06	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06	0,26	0,04	0,06	0,08	0,6
K2O	3,84	2,13	1,83	2.41	2,09	2,22	2,11	3,89	1,92	3,94	4,28	3,91	0,36	1,01	2,2	3,63	1,91
P2O5	0,04	0,08	0,08	0.1	0,1	0,14	0,12	0,04	0,11	0,04	0,09	0,09	0,07	0,09	0,09	0,07	0,08
LOI	4,7	4,9	4,7	5.1	3	3,1	3,8	4,7	3,2	4,8	3,9	4,6	2,5	2,1	2,2	4,5	6,9
CO2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,29	n.d.	0,43	n.d.	0,26	n.d.	0,9	1,04	n.d.	n.d.	0,16	0,48	4,96
CaCO3*	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,12	n.d.	0,3	n.d.	0,12	n.d.	1,12	1,52	n.d.	n.d.	0,04	0,29	9,41
Cr	13	75	61	82.1	20	20	20	n.d.	20	n.d.	27	13	34	41	102	20	82
Ni	7	35	38	31.9	9	11	10	26	10	10	10	11	9	7	19	23	15
Co	2	8	10	7.3	5	7	6	7	5	4	5	8	4	2	3	4	3
Sc	3	9	7	10	5	5	5	4	5	4	5	5	5	4	8	4	6
V	32	70	59	79	50	42	38	32	38	29	42	40	74	77	118	23	73
Pb	15	2	2	2.7	6	5	4	14	5	18	8	9	4	4	1	5	1
Zn	165	47	45	36	112	204	348	222	403	204	51	50	66	52	27	47	21
Rb	103	72	64	79.6	65	70	67	113	62	111	97	90	8	22	59	80	61
Ba	715	333	295	366	624	653	719	722	1282	807	596	562	78	147	268	456	296
Sr	10	9	8	9.7	8	8	9	6	11	11	13	16	13	10	10	15	94
Ga	31	14	13	14.1	19	21	19	33	18	34	25	23	7	7	12	17	11
Ta	4,5	1	0,9	1	5,3	5,8	5,4	5,1	5	4,5	2,9	2,9	0,5	0,7	0,8	1,6	0,9
Nb	79	15,4	14,4	16	85	90,7	83,6	81,6	82,3	81,1	53,1	51,3	11,4	13,4	9,9	19,8	9,3
Hf	15,9	9,4	7,1	10	28,9	31	29,5	17,1	27,6	16,9	14,9	14	10,3	13,7	6	4,4	5,6
Zr	460	357	266	378.6	1114	1223	1158	491	1090	482	601	566	426	566	206	116	232
Y	91	24	19	24.7	107	116	108	80	105	91	68	61	10	12	14	24	14
Th	14,1	7,1	6	8.3	17,3	18,6	17,6	14,4	15,9	14,7	10,2	9,6	3,6	4,5	4,2	4,6	5,8
U	3,3	2,2	1,6	2.4	4,2	4,2	4,1	3,5	4	3,2	1,9	1,8	0,9	1,1	0,8	2,2	1
La	73,9	29,1	20,6	36.6	70,9	76,5	89,8	55,9	6	79	76,1	55,9	15	17,5	14,7	21,5	19
Ce	135,7	60,7	41,4	72.8	165,7	175,2	210,7	117,5	145,2	144,3	149,2	103,9	24,8	35,4	28,3	41,6	39,5
Pr	18,18	7,3	4,86	8.49	17,28	18,44	22,02	14,27	15,16	19,7	16,37	11,57	2,49	4,22	2,86	4,97	4,82
Nd	71	28,7	18	31.8	65,5	71,1	85,1	54,8	58,4	74,5	60	43	8,9	16,2	11,7	17,8	20,5
Sm	16,16	5,32	3,43	5.89	15,2	16,24	19,73	12,25	13,28	17,42	11,42	8,98	1,4	2,92	2,27	4,07	4,09
Eu	1,1	1,12	0,74	1.21	1,69	1,74	2,19	0,9	1,48	1,18	1,09	0,86	0,35	0,67	0,5	0,73	0,81
Gd	17,28	4,26	3,2	4.43	15,25	16,45	17,97	12,86	14,17	17,49	10,92	9,17	1,35	2,39	2,15	3,95	3,42
Tb	2,91	0,69	0,54	0.72	2,75	3,02	2,96	2,4	2,66	2,95	1,87	1,62	0,23	0,38	0,35	0,68	0,55
Dy	17,15	4,28	3,43	4.32	17,43	19,3	18,23	15,59	16,96	17,45	11,43	10,4	1,72	2,21	2,64	4,37	2,96
Ho	3,54	0,91	0,74	0.92	3,97	4,27	3,87	3,33	3,78	3,56	2,44	2,25	0,38	0,49	0,42	0,92	0,62
Er	10,31	2,86	2,32	2.85	12,01	13,37	12,28	10	12,16	10,41	7,41	6,69	1,49	1,53	1,6	1,99	1,81
Tm	1,53	0,44	0,35	0.45	1,89	2,04	1,9	1,5	1,85	1,6	1,13	1,04	0,21	0,24	0,24	0,41	0,27
Yb	10,24	2,81	2,53	3.12	12,41	13,84	12,82	10,07	12,43	10,71	7,68	7,06	1,48	1,65	1,72	2,07	1,71
Lu	1,52	0,44	0,38	0.48	1,94	2,17	2	1,49	1,94	1,61	1,25	1,11	0,25	0,26	0,28	0,36	0,23
Chem.Lit	Rest++	Psam.it	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	Rest++	Psam.	Rest++	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	Pelite	CaO++
Zr/Ti	1278	337	286	335.04	2186	2308	2228	1365	2245	1341	1158	1089	677	726	351	530	381
Zr/Hf	28.9	38.0	37.5	37.9	37.9	38.6	39.5	39.3	28.7	39.5	28.6	40.4	41.4	41.3	34.3	26.4	41.4
Nb/Y	0,86	0,63	0,72	0.79	0,79	0,77	0,77	1,02	0,77	0,88	0,77	0,83	1,04	1,04	0,7	0,79	0,65
Th/Sc	4,7	0,78	0,85	0.83	3,46	3,72	3,52	3,6	3,18	3,67	2,04	1,92	0,72	1,12	0,52	1,14	0,96
Ti/Nb	27	413	387	423.4	36	35	37	26	4	27	59	61	331	349	357	67	393
CIA	77	82	84	81.2	76	79	70	78	74	77	64	61	85	84	78	76	65
PIA	98	99	99	98.7	91	98	81	99	88	98	80	72	89	99	98	92	72
CIW	98	99	99	99	93	98	85	100	90	98	87	80	90	99	98	94	78
ICV	0.66	0.95	0.99	0.94	1.11	1.08	1.22	0.63	1.16	0.65	1.10	1.21	1.83	1.20	0.88	0.87	1.53
Eu/Eu*	0,2	0,72	0,68	0.72	0,34	0,33	0,36	0,22	0,33	0,21	0,3	0,29	0,78	0,78	0,69	0,56	0,66
REE	4,88	7	5,5	4.5	3,86	3,74	4,73	3,75	0,33	4,98	6,7	5,35	6,85	7,17	5,78	7,02	7,51
LREE	2,87	3,44	3,78	3.91	2,93	2,96	2,86	2,87	0,28	2,85	4,19	3,91	6,74	3,77	4,07	3,32	2,92
HREE	1,36	1,22	1,02	1.15	0,99	0,96	1,13	1,03	0,92	1,32	1,15	1,05	0,73	1,17	1,01	1,54	1,62
∑-REE	380,52	148,93	102,52	174.08	403,92	433,68	501,57	312,86	305,47	401,88	358,31	263,55	60,05	86,06	69,73	105,42	100,29

Nota: En porcentaje (%) se presentan los óxidos y la perdida por ignición (lost on ingnition; LOI), y en partes por millon (ppm) los demás elementos. **Abreviaciones**: **n.d.**= no detectado; **CaCO*** = máximo CaO de carbonatos recalculados del CO_2; **Chem.Lit** = litología química (Jenchen 2018a); **CaO++** = muestras enriquecidas en CaO; **Psam.** = muestras clasificadas en Psammita; **Rest++** = enriquecido en SiO_2 y Al_2O_3; **Rest–** = empobrecido en SiO_2 y Al_2O_3; **Eu/Eu*=** $Eu_N/ (Sm_N x Gd_N)^{0.5}$; **REE**= La_N/ Lu_N; **LREE**= La_N/Sm_N; **HREE**= Gd_N/ Lu_N; **∑-REE**= Total REE (en ppm); Las muestras no fueron recalculadas con el LOI-free.

Tabla 15. Parámetros geoquímicos de las muestras de las Formación Vicente Guerrero.

	Formación Vicente Guerrero																	
Muestras	**EMA1-06**	**EMA1-07**	**EMA1-08**	**EMA1-09**	**EMA1-10**	**EMA1-11**	**EMA1-12**	**EMA2-10**	**PE-22**	**PE-24**	**PE-25**	**PE-27**	**PE-28**	**PE-29**	**PE-31**	**PE-32**	**PE-36**	**PE-37**
SiO2	77,35	62,9	69,27	74,32	74,97	70,53	49,43	84,4	75,24	76,73	79,84	80,53	78,95	82,12	59.33	84,89	77,13	84,71
TiO2	0,57	0,57	0,94	0,72	0,59	0,97	0,57	0,74	0,42	0,49	0,65	0,83	0,61	0,61	0.68	0,77	0,37	0,47
Al2O3	9,44	10,19	12,44	14,76	13,63	13,96	9,71	5,49	7,94	7,97	9,41	8,95	9,69	6,71	11.4	6,15	9,66	7,95
Fe2O3	6,5	7,01	9,07	2,92	4,06	5,55	6,55	5,26	9,24	5,81	3,84	3,49	4,2	5,25	5.52	3,76	5,72	1,79
MnO	0,03	0,13	0,03	0	0	0,14	0,16	0,02	0,02	0,06	0,01	0,02	0,2	0,05	0.11	0	0,02	0,01
MgO	1,42	3,39	1,78	0,25	0,46	0,77	4,17	0,73	1,19	1,03	0,66	0,98	1,07	0,53	0.96	0,34	0,47	0,52
CaO	0,16	4,55	0,33	0,03	0,06	0,15	10,28	0,25	0,17	1,94	0,11	0,15	0,12	0,04	8.42	0,1	0,18	0,14
CaO*	0,04	0,25	0,15	0	0	0	0	0,1	0	0,53	0	0,04	0,01	0	0.70	0	0	0
Na2O	0,08	0,07	0,06	0,32	0,28	0,41	0,23	0	0,08	0,4	0,05	0,52	0,14	0,03	0.32	0,07	0,15	0,21
K2O	1,91	2,33	2,48	3,19	2,78	3,83	2,69	0,77	1,34	1,58	2,38	2,03	2,3	1,49	1.03	1,03	2,27	2,08
P2O5	0,09	0,09	0,12	0,12	0,09	0,14	0,09	0,09	0,07	0,08	0,11	0,07	0,08	0,07	0.16	0,06	0,12	0,06
LOI	2,4	8,6	3,3	3,2	3	3,3	15,9	2,1	4,2	3,8	2,8	2,3	2,7	3	5.14	2,6	3,8	2
CO2	0,06	6,7	0,26	0,03	0,05	0,04	14,56	0,15	0,81	1,8	0,18	0,22	0,18	0,4	6.85	0,22	0,66	0,4
CaCO3*	0,02	7,48	0,07	0	0	0	18,15	0,07	0,16	2,36	0	0,05	0,04	0	7.53	0,05	0,07	0,12
Cr	68	68	102	61	47	89	20	34	191	150	89	95	109	136	82	54	102	102
Ni	24	23	39	22	32	25	22	9	33	56	28	54	37	68	26	29	53	21
Co	6	7	13	5	10	10	7	3	11	5	11	9	8	21	9	8	17	3
Sc	7	9	13	10	8	12	9	4	15	10	7	7	8	8	11	5	6	5
V	90	113	135	64	46	87	97	95	239	120	116	79	103	64	99	40	127	52
Pb	1	1	1	4	0	11	5	1	15	6	2	2	2	4	4	2	16	3
Zn	45	38	87	29	0	36	36	36	52	38	29	28	31	42	35	47	23	22
Rb	54	67	69	81	73	116	82	19	47	51	60	57	66	45	97	31	62	60
Ba	264	291	296	613	515	577	350	185	236	290	283	256	271	176	402	140	349	279
Sr	9	32	15	27	15	34	70	17	12	39	12	16	10	8	31	8	21	16
Ga	11	11	14	12	12	15	12	8	10	8	9	10	11	8	14	7	10	9
Ta	1,1	0,5	0,6	0,6	0,3	0,8	0,6	0,9	0,3	0,4	0,4	0,7	0,6	0,6	0.8	0,5	0,6	0,5
Nb	7,3	8,8	12,5	8,1	5,9	13,2	10,3	18,8	5,7	6,7	8,7	12,6	10,1	9,8	11.5	10,4	9	7,7
Hf	5,7	6,6	15	4,5	4,7	11	9,7	14,8	3,1	4	5,8	12,6	7	9	11.5	26,7	3,9	5,7
Zr	201	222	566	170	200	431	367	579	103	141	215	470	268	361	412	1010	152	236
Y	12	16	24	14	15	30	23	15	8	10	13	21	15	14	24	16	17	13
Th	4,2	5,4	8,2	4,7	3,4	9,7	8,2	4,8	4,2	3,6	3,7	6,3	4,9	5,7	9.1	7,6	4,1	3,5
U	1,1	0,8	2	2	1	1,9	1,5	0,9	0,9	0,7	0,8	1,6	1,1	1,2	1.7	2,3	1,4	1
La	18,4	19	25,9	28,7	16,3	37,5	26,9	18,3	9,4	10,3	16,2	22,5	17,4	17,6	59.33	20,3	14,4	23,9
Ce	38,2	41,5	59,9	63,4	34,8	81,4	55,7	38,5	19,3	21,5	33,8	47,7	33,6	36	0.68	46,1	28	47,6
Pr	4,12	4,88	7,23	8,04	4,21	9,51	6,53	4,63	2,34	2,64	4,1	5,4	3,7	4,2	11.4	5,29	3,75	5,48
Nd	16	18,6	30,7	31,4	18,9	36,5	22,7	16,6	8,3	9,7	14,9	20,1	13,1	15,5	5.52	21	14,8	20,8
Sm	2,94	4,08	5,73	6,59	3,54	6,99	4,83	3,96	1,62	1,86	2,79	3,88	2,38	2,65	59.33	3,78	3,14	3,81
Eu	0,68	0,95	1,24	1,24	0,82	1,56	1,06	0,72	0,44	0,52	0,78	0,92	0,6	0,54	0.68	0,64	1,35	0,82
Gd	2,52	3,83	4,77	4,3	3,02	6,18	4,08	3,16	1,23	1,61	2,4	3,36	2,24	2,23	11.4	2,87	3,15	2,8
Tb	0,42	0,59	0,79	0,56	0	0,96	0,67	0,53	0,23	0,28	0,44	0,59	0,44	0,43	5.52	0,49	0,53	0,45
Dy	2,12	3,32	5,09	2,89	0	5,23	4,36	3,11	1,32	1,61	2,38	3,45	2,67	2,45	59.33	2,71	2,8	2,51
Ho	0,44	0,7	0,95	0,7	0	1,17	0,76	0,48	0,28	0,37	5	0,7	0,54	0,5	0.68	0,57	0,56	0,48
Er	1,25	1,66	2,89	2,07	0	3,26	2,35	1,51	0,87	1,15	1,45	2,03	1,67	1,53	11.4	1,81	1,65	1,37
Tm	0,24	0,28	0,49	0,28	0	0,48	0,35	0,31	0,15	0,19	0,22	0,33	0,26	0,23	5.52	0,28	0,25	0,22
Yb	1,32	1,66	2,59	1,83	0	2,72	2,33	1,85	0,98	1,19	1,44	2,26	1,74	1,51	59.33	2,13	1,64	1,35
Lu	0,23	0,26	0,49	0,29	0	0,5	0,36	0,28	0,14	0,19	0,22	0,33	0,27	0,22	0.68	0,34	0,26	0,21
Chem.Lit	Psam.	Rest--	Psam.	Rest++	Psam.	Psam.	CaO++	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	Psam.	CaO++	Psam.	Psam.	Psam.
Zr/Ti	354	390	603	237	340	445	645	784	246	288	331	567	440	592	605.88	1312	412	503
Zr/Hf	35.3	33.6	37.7	37.8	42.6	39.2	37.8	39.1	33.2	35.3	37.1	37.3	38.3	40.1	35.8	37.8	39.0	41.4
Nb/Y	0,57	0,52	0,51	0,54	0,38	0,44	0,44	1,24	0,68	0,62	0,62	0,59	0,64	0,69	35.8	0,61	0,51	0,55
Th/Sc	0,6	0,6	0,63	0,47	0,42	0,8	0,91	1,2	0,28	0,36	0,52	0,9	0,61	0,71	0.83	1,52	0,68	0,7
Ti/Nb	468	388	451	533	599	441	332	236	442	438	448	395	362	373	354.49	444	246	366
CIA	81	77	80	79	80	74	75	84	83	71	78	74	78	80	68.6	83	78	75
PIA	97	93	96	96	96	94	95	96	98	79	99	88	97	99	81.6	98	97	94
CIW	98	95	97	97	97	95	96	97	98	83	99	91	98	99	86.4	98	98	96
ICV	1.12	1.75	1.17	0.48	0.58	0.81	2.50	1.41	1.56	1.36	0.81	0.84	0.86	1.18	1.64	0.98	0.93	0.63
Eu/Eu*	0,76	0,73	0,72	0,71	0,77	0,73	0,73	0,62	0,95	0,92	0,92	0,78	0,79	0,68	0.73	0,59	1,31	0,77
REE	9,42	7,73	6,76	10,6	0	9,32	7,8	6,68	6,48	5,85	7,6	6,73	6,76	7,88	6.8	6,44	5,93	11,96
LREE	3,93	2,93	2,84	2,74	2,89	3,37	3,5	2,9	3,65	3,48	3,65	3,65	4,6	4,18	3.4	3,38	2,88	3,94
HREE	1,54	1,86	1,49	1,9	0	1,84	1,41	1,38	1,01	1,09	1,35	1,2	1,04	1,19	1.1	1,09	1,55	1,68
∑-REE	88,88	101,31	148,76	152,29	81,59	193,96	132,98	93,94	46,6	53,11	86,12	113,55	80,61	85,59	108.3	108,31	76,28	111,8

Nota: En porcentaje (%) se presentan los óxidos y la perdida por ignición (lost on ingnition; LOI), y en partes por millon (ppm) los demás elementos. **Abreviaciones**: **n.d.**= no detectado; **CaCO*** = máximo CaO de carbonatos recalculados del CO_2; **Chem.Lit** = litología química (Jenchen 2018a); **CaO++** = muestras enriquecidas en CaO; **Psam.** = muestras clasificadas en Psammita; **Rest++** = enriquecido en SiO_2 y Al_2O_3; **Rest–** = empobrecido en SiO_2 y Al_2O_3;. **Eu/Eu*=** $Eu_N/(Sm_N x Gd_N)^{0.5}$; **REE**= La_N/ Lu_N; **LREE**= La_N/Sm_N; **HREE**= Gd_N/ Lu_N; **∑-REE**= Total REE (en ppm); Las muestras no fueron recalculadas con el LOI-free.

Tabla 16. Parámetros geoquímicos de las muestras de las Formaciones Vicente Guerrero y Del Monte.

	Formación Vicente Guerrero			Formación Del Monte												
Muestras	**PE-42**	**PE-43**	**PE-44**	**CP-207-07**	**EMA1-01**	**EMA1-02**	**EMA2-04**	**EMA2-05**	**EMA2-06**	**EMA2-07**	**EMA2-08**	**EMA2-09**	**PE-38**	**PE-39**	**PE-40**	**PE-41**
SiO2	77,6	71,76	79,82	51,44	50,23	37,57	43,59	53,72	56,53	50,01	28,57	48,29	31,96	42,88	56,81	54,49
TiO2	0,44	0,25	0,64	0,17	0,33	0,21	0,28	0,38	0,5	0,25	0,07	0,25	0,1	0,28	0,36	0,35
Al2O3	11,17	11,65	9,29	8,07	10,3	7,42	7,49	10,62	11,73	9,86	3,94	7,96	5,22	8,7	11,19	10,74
Fe2O3	2,36	1,86	3,95	2,25	2,26	1,64	2,98	2,41	4,96	2,14	0,9	2,03	0,83	1,91	2,09	2,51
MnO	0,05	0,05	0	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,04	0,06	0,07	0,09	0,03	0,07	0,03	0,06
MgO	0,97	1,51	0,7	0,82	1,95	1,85	4,96	3,43	3,21	1,71	0,64	1,55	0,59	1,03	1,65	2,94
CaO	0,6	3,36	0,08	18,08	15,78	26,01	18,03	11,8	8,78	16,21	34,51	19,42	32,14	22,25	11,22	11,16
CaO*	0,16	1,27	n.d.	1,94	0,11	1,52	3,77	1,88	2,85	1,79	n.d.	1,61	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na2O	1,74	3,1	0,09	2,04	1,9	1,27	1,39	2,09	2,24	2,18	1,11	2,11	1,26	1,05	1,67	1,32
K2O	2,75	1,95	2,26	1,96	2,07	1,64	1,93	2,82	2,24	2,3	0,97	1,51	0,93	2,19	2,84	3,28
P2O5	0,1	0,09	0,03	0,05	0,09	0,07	0,08	0,08	0,2	0,13	0,07	0,12	0,05	0,08	0,07	0,09
LOI	2,1	4,3	3	15	14,9	22,1	19	12,4	9,4	14,9	28,9	16,5	26,8	19,5	12	12,9
CO2	0,81	2,53	1,14	13,42	14,31	21,05	15,38	10,83	6,74	12,84	28,24	15,41	26,38	18,8	10,74	11,87
CaCO3*	0,57	3,53	0,07	28,7	27,77	43,57	25,29	17,54	10,16	25,47	61,45	31,54	57,26	39,55	19,88	19,72
Cr	82	20	54	27	34	27	20	27	41	27	0	41	20	27	54	27
Ni	36	10	22	6	8	11	6	8	20	10	2	9	20	6	17	12
Co	7	4	5	2	3	3	4	4	6	5	1	3	1	3	4	3
Sc	7	6	8	4	7	4	6	7	8	7	3	6	2	6	7	7
V	52	26	58	20	30	18	25	34	52	25	0	18	10	2	32	33
Pb	6	9	2	5	10	10	6	8	13	10	4	6	4	9	3	4
Zn	45	36	70	34	36	88	61	39	75	57	8	24	19	32	24	53
Rb	76	62	72	55	65	45	49	74	59	68	26	42	30	62	81	93
Ba	446	326	351	306	443	314	513	804	745	8	539	600	177	316	347	525
Sr	73	138	14	321	266	337	387	251	199	425	931	451	404	242	202	190
Ga	11	11	11	7	10	7	7	12	12	10	3	8	5	9	12	11
Ta	0,3	0,2	0,8	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0	0,3	0	0,2	0,2	0,2
Nb	5,8	3,5	12,6	2,1	3,5	2,9	2,5	4	5,2	3,1	1,4	2,5	1,5	3,6	4,5	4,3
Hf	3,8	3,3	5	2,2	4,1	2,2	2,3	3,8	3,4	2,9	1,1	3,3	1,5	2,7	3,3	3,1
Zr	137	115	202	77	131	93	100	148	126	115	31	95	52	94	124	115
Y	13	14	15	13	15	15	15	18	18	15	12	23	9	17	14	15
Th	4,3	5,7	5,7	3,2	3,5	2,3	5,2	4,3	3,6	8,1	1,9	5	2,2	5,3	3,9	3,8
U	0,9	1	1,4	0,9	0,8	1,4	1,1	1	1,3	1,8	1,3	1,7	1,4	1,3	0,8	0,9
La	30,2	14,2	20,6	14,1	14,7	12,7	16,5	17,5	19,5	17	8,7	19,6	6,9	14,7	13,8	12,2
Ce	52,1	30,6	45,7	25,8	28,4	23,9	31,9	34,5	39,5	36	16,3	36,6	13,6	30,9	29,1	26,5
Pr	5,79	3,75	5,26	3,17	3,62	3,31	3,94	4,25	5,05	4,44	2,09	4,68	1,78	4	3,66	3,42
Nd	20,8	15	20,5	12,1	14,1	13,1	16,7	15,1	22,1	18,6	9,3	17,4	6,9	17,2	14,7	14,3
Sm	3,46	2,83	2,71	2,34	3,37	2,95	2,88	3,27	4,57	3,64	2,11	3,88	1,35	3,14	2,86	2,81
Eu	0,76	0,58	0,5	0,61	0,79	0,69	0,56	0,79	1,12	0,71	0,48	0,8	0,37	0,7	0,76	0,68
Gd	2,91	2,7	2,11	2,14	2,99	2,53	2,78	2,9	4,35	3,11	1,95	4,03	1,37	2,85	2,54	2,62
Tb	0,47	0,43	0,39	0,33	0,44	0,42	0,43	0,47	0,68	0,49	0,33	0,59	0,23	0,45	0,42	0,46
Dy	2,52	2,38	2,43	2,05	2,77	2,69	2,92	2,83	3,53	2,94	1,86	3,71	1,34	2,44	2,41	2,53
Ho	0,49	0,48	0,5	0,42	0,6	0,48	0,58	0,64	0,72	0,58	0,41	0,73	0,28	0,5	0,49	0,51
Er	1,35	1,37	1,52	1,28	1,46	1,48	1,59	1,78	1,94	1,5	1,18	2	0,78	1,41	1,44	1,53
Tm	0,22	0,22	0,25	0,18	0,27	0,22	0,26	0,25	0,27	0,27	0,16	0,29	0,12	0,23	0,23	0,24
Yb	1,33	1,31	1,72	1,21	1,57	1,13	1,56	1,49	1,65	2,05	0,85	1,54	0,76	1,5	1,44	1,5
Lu	0,2	0,2	0,26	0,19	0,24	0,23	0,24	0,24	0,26	0,28	0,16	0,3	0,11	0,21	0,22	0,22
Chem.Lit	Psam.	Psam.	Psam.	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:	CaO++:
Zr/Ti	312	461	316	453	398	445	360	389	253	461	446	383	520	339	346	329
Zr/Hf	36.1	34.8	40.4	35.0	32.0	42.3	43.5	38.9	37.1	39.7	28.2	28.8	34.7	34.8	37.6	37.1
Nb/Y	0,42	0,23	0,84	0,16	0,22	0,19	0,15	0,21	0,27	0,2	0,11	0,1	0,15	0,21	0,3	0,27
Th/Sc	0,61	0,95	0,71	0,8	0,5	0,57	0,86	0,61	0,45	1,15	0,63	0,83	1,1	0,88	0,55	0,54
Ti/Nb	455	428	305	485	565	434	671	570	576	483	300	600	400	466	480	488
CIA	65	55	78	47	65	53	40	52	51	51	58	50	63	68	66	65
PIA	72	56	98	46	71	54	37	53	51	52	61	50	67	79	75	77
CIW	78	61	98	54	76	61	45	61	57	59	68	55	72	83	80	83
ICV	0.64	0.77	0.82	2.88	2.17	4.23	3.76	1.96	1.68	2.29	9.41	3.11	6.63	3.18	1.62	1.88
Eu/Eu*	0,73	0,64	0,64	0,83	0,76	0,77	0,6	0,78	0,77	0,64	0,72	0,62	0,83	0,72	0,86	0,77
REE	15,34	7,32	8,09	7,87	6,33	7,59	7,15	7,94	7,99	5,6	6,92	8,6	6,14	6,62	6,48	5,5
LREE	5,49	3,15	4,78	3,79	2,74	2,7	3,6	3,36	2,68	2,93	2,59	3,17	3,21	2,94	3,03	2,73
HREE	1,77	1,67	0,99	1,43	1,54	1,81	1,44	1,57	2,13	1,22	1,85	2,12	1,46	1,53	1,42	1,41
∑-REE	122,6	76,05	104,45	65,92	75,32	65,83	82,84	86,01	105,24	91,61	45,88	96,15	35,89	80,23	74,07	69,52

Nota: En porcentaje (%) se presentan los óxidos y la perdida por ignición (lost on ingnition; LOI), y en partes por millon (ppm) los demás elementos. **Abreviaciones**: **n.d.=** no detectado; **CaCO*** = máximo CaO de carbonatos recalculados del CO_2; **Chem.Lit** = litología química (Jenchen 2018a); **CaO++** = muestras enriquecidas en CaO; **Psam.** = muestras clasificadas en Psammita; **Rest++** = enriquecido en SiO_2 y Al_2O_3; **Rest–** = empobrecido en SiO_2 y Al_2O_3;. **Eu/Eu*=** $Eu_N/(Sm_N x Gd_N)^{0.5}$; **REE**= La_N/ Lu_N; **LREE**= La_N/Sm_N; **HREE**= Gd_N/ Lu_N; **∑-REE**= Total REE (en ppm); Las muestras no fueron recalculadas con el LOI-free.

Tabla 17. Parámetros geoquímicos de las muestras de la Formación Guacamaya.

	Formación Guacamaya																	
Muestras	**CC-34-08**	**CP-197-03**	**EMA1-13**	**EMA1-14**	**EMA1-15**	**EMA2-01**	**EMA2-02**	**PE-45**	**EMA2-03**	**PE-47**	**PE-48**	**PE-50**	**PE-51**	**PE-53**	**PE-55**	**PE-56**	**PE-58**	**PE-59**
SiO2	59,56	62,46	55,24	40,88	35,27	55,58	53,73	71,14	55,04	62,79	64,22	66,16	62,02	41	64,5	64,65	45,07	59,45
TiO2	0,45	0,72	0,5	0,53	0,39	0,51	0,67	0,66	0,52	0,58	0,51	0,53	0,51	0,55	0,54	0,55	0,58	0,77
Al2O3	16,53	9,64	13,09	10,08	8,93	17,27	16,72	11,62	18,65	15,19	12,24	13,3	15,35	11,99	14,44	14,05	11,87	13,84
Fe2O3	4,9	7,32	7,39	6,85	8,08	4,92	6,47	6,77	4,43	9,4	4,45	8,71	5,22	13,88	4,28	8,26	8,24	6,88
MnO	0,1	0,08	0,09	0,19	0,17	0,12	0,14	0,04	0,09	0,06	0,08	0,05	0,05	0,22	0,05	0,05	0,18	0,09
MgO	2,78	2,09	2,69	2,52	6,28	2,72	3,47	2,28	2,68	3,04	1,99	2,8	2,36	4,34	2,12	2,03	4,01	2,19
CaO	3,9	6,95	8,15	19,18	17,29	5,31	5,49	0,29	4,95	0,25	5,74	0,45	3,69	12,14	3,6	0,36	11,27	4,54
CaO*	2,32	2,39	2,49	2,25	0,97	2,22	2,56	0,18	1,97	0,11	1,76	0,13	1,48	3,32	1,51	0,23	0,52	1,95
Na2O	5,41	2,18	3,03	2,01	1,2	7,13	4,93	2,66	3,29	1,69	2,7	1,65	3,53	0,61	3,48	2,16	1,31	2,08
K2O	1,16	0,36	0,62	0,4	0,55	0,5	1,5	0,5	3,47	1,22	1	1,12	1,29	0,52	1,43	1,04	1,33	1,57
P2O5	0,07	0,09	0,09	0,04	0,08	0,09	0,12	0,07	0,1	0,07	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06
LOI	5	8	9	17,2	21,6	5,7	6,6	3,9	6,6	5,6	6,9	5	5,8	14,5	5,4	6,6	15,9	8,4
CO2	2,34	4,95	6,36	15,67	19,17	4	4,12	0,26	3,93	0,81	4,54	1,8	3,11	10,26	2,86	0,4	12,53	3,3
CaCO3*	2,68	7,94	9,91	30,13	28,97	5,32	4,98	0,05	5,1	0,11	6,96	0,43	3,75	15,58	3,57	0,11	19,06	4,5
Cr	20	34	27	0	27	27	27	47	20	47	61	54	82	54	47	47	41	47
Ni	4	19	7	14	8	5	6	16	9	36	23	41	35	45	18	28	26	20
Co	10	15	11	10	9	9	16	10	7	13	8	17	11	19	7	18	17	22
Sc	19	15	13	15	12	18	26	13	19	19	13	17	14	15	12	17	23	20
V	93	112	90	111	72	101	131	97	93	112	84	113	93	79	83	84	89	160
Pb	10	14	6	8	11	12	8	6	8	19	4	27	5	19	2	13	22	20
Zn	128	46	78	82	38	62	50	87	45	118	90	89	76	333	62	136	39	177
Rb	26	9	16	11	13	11	32	14	83	36	28	40	38	16	37	31	38	34
Ba	224	159	161	110	121	125	400	173	654	506	392	402	441	174	361	600	275	217
Sr	108	99	200	234	152	161	251	82	185	51	108	53	173	106	195	60	87	156
Ga	16	7	12	9	8	14	14	9	18	14	11	14	14	14	12	12	11	11
Ta	0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Nb	2	2,4	1,8	2,9	0,7	1,8	2,5	3,7	2,4	3,8	3	4,5	2,9	3,4	2,8	3,7	2,8	2,5
Hf	1,6	1,3	1,7	1,7	0,9	1,9	2,5	3,2	2,9	2,1	2,5	2,5	2,2	2,8	2,9	3,4	2,3	2,1
Zr	60	51	48	49	35	60	77	111	87	81	88	86	80	106	92	116	66	61
Y	16	13	13	23	15	16	22	14	18	20	15	17	13	27	11	18	21	21
Th	1,9	1	1,2	1,4	1,2	1,9	2,8	4,4	3	3,4	3,3	3	2,2	3,6	2,6	3,4	2,4	1,4
U	0,7	0,6	0,5	0,8	1	0,9	1,3	1	1,5	1,1	0,9	1,2	0,8	1,1	0,7	1,1	1,1	1
La	10,2	6,8	4,7	7,5	5,3	6,2	7,8	10,9	8,2	11,7	9,6	19,1	8,8	11,1	9,7	8,1	11,2	13,4
Ce	19,8	11,7	11	14,8	9,9	12,6	19	25,2	15,2	26,5	19,2	43,7	17,7	22,8	21	18,9	24,7	33,1
Pr	2,52	1,61	1,48	2,14	1,44	1,88	2,35	3,41	2,13	3,57	2,43	5,33	2,27	3,08	2,7	2,35	3,15	4,34
Nd	10,8	7,1	7,9	11,1	7,5	7,3	10,9	14,9	10,2	15,4	9,9	21,8	9,7	14,1	11	10,5	13,5	20,3
Sm	2,43	1,93	2,17	3,35	2,21	2,51	2,92	2,98	2,83	3,82	2,27	4,13	2,05	4,59	2,34	2,72	2,86	4,12
Eu	1	0,52	0,76	0,95	0,71	1,03	0,83	0,64	0,94	0,72	0,67	0,73	0,55	1,23	0,62	0,68	0,82	0,82
Gd	2,73	2,33	2,34	3,95	2,41	2,61	3,37	2,7	3,24	3,64	2,36	3,2	2,09	5,54	2,19	3,27	3,31	3,89
Tb	0,46	0,37	0,4	0,65	0,43	0,48	0,59	0,46	0,53	0,61	0,41	0,54	0,36	0,87	0,35	0,54	0,59	0,62
Dy	2,8	2,23	2,32	3,17	2,73	2,83	3,89	2,49	3,64	3,57	2,39	3,13	2,17	4,78	1,96	3,12	3,68	3,76
Ho	0,64	0,46	0,53	0,65	0,58	0,6	0,97	0,49	0,69	0,7	0,52	0,66	0,48	0,94	0,41	0,67	0,76	0,78
Er	1,78	1,3	1,44	2,25	1,42	1,87	2,56	1,39	2,05	1,96	1,5	1,85	1,42	2,65	1,23	1,92	2,24	2,17
Tm	0,27	0,18	0,23	0,36	0,21	0,26	0,34	0,23	0,29	0,2	0,23	0,3	0,21	0,41	0,18	0,29	0,32	0,34
Yb	1,85	1,21	1,33	2,27	1,16	1,53	2,71	1,43	2	2	1,57	1,92	1,32	2,52	1,19	1,9	2,04	2,14
Lu	0,28	0,2	0,19	0,3	0,19	0,25	0,4	0,22	0,32	0,32	0,25	0,31	0,22	0,38	0,19	0,3	0,32	0,34
Chem.Lit	Pelite	CaO++	CaO++	CaO++	CaO++	CaO++	CaO++	Psam.	Pelite	Pelite	CaO++	Rest--	Pelite	CaO++	Peliet	Pelite	CaO++	Rest--
Zr/Ti	134	71	97	93	92	118	116	169	168	140	174	163	158	194	172	213	115	80
Zr/Hf	37.7	39.5	28.2	28.8	38.9	30.8	34.7	34.7	30.0	38.6	35.2	34.4	36.4	37.9	31.7	34.1	28.7	29.0
Nb/Y	0,12	0,17	0,13	0,12	0,04	0,1	0,1	0,26	0,12	0,18	0,2	0,25	0,22	0,12	0,23	0,2	0,13	0,11
Th/Sc	0,1	0,06	0,09	0,09	0,1	0,1	0,1	0,33	0,15	0,17	0,25	0,17	0,15	0,24	0,21	0,2	0,1	0,06
Ti/Nb	1349	1799	1665	1096	3340	1699	1607	1069	1299	915	1019	706	1054	970	1156	891	1242	1846
CIA	54	54	56	56	67	51	54	69	59	78	58	76	61	61	59	73	72	62
PIA	54	54	57	57	69	52	54	70	62	82	59	80	62	62	60	77	77	64
CIW	56	55	58	58	71	52	57	71	68	84	62	82	64	63	63	78	79	67
ICV	0.80	1.81	1.48	2.92	3.65	0.81	1.05	0.90	0.86	0.95	1.12	1.02	0.85	2.62	0.83	0.87	2.14	1.15
Eu/Eu*	1,19	0,75	1,03	0,8	0,94	1,23	0,81	0,69	0,95	0,59	0,88	0,61	0,81	0,75	0,84	0,7	0,81	0,63
REE	3,73	3,8	2,39	2,23	3,09	2,74	1,94	5,15	2,77	3,95	4,13	6,72	4,5	2,98	5,51	2,88	3,71	4,23
LREE	2,64	2,21	1,36	1,4	1,5	1,55	1,68	2,3	1,82	1,92	2,66	2,91	2,7	1,52	2,6	1,87	2,46	2,04
HREE	1,19	1,56	1,42	1,41	1,68	1,38	1	1,53	1,31	1,47	1,21	1,35	1,28	1,78	1,49	1,39	1,31	1,47
∑-REE	57,56	37,94	36,79	53,44	36,19	41,95	58,63	67,44	52,26	74,71	53,3	106,7	49,34	74,99	55,06	55,26	69,49	90,12

Nota: En porcentaje (%) se presentan los óxidos y la perdida por ignición (lost on ingnition; LOI), y en partes por millon (ppm) los demás elementos. **Abreviaciones**: **n.d.=** no detectado; **CaCO* =** máximo CaO de carbonatos recalculados del CO_2; **Chem.Lit =** litología química (Jenchen 2018a); **CaO++ =** muestras enriquecidas en CaO; **Psam. =** muestras clasificadas en Psammita; **Rest++ =** enriquecido en SiO_2 y Al_2O_3; **Rest–** = empobrecido en SiO_2 y Al_2O_3;. **Eu/Eu*=** $Eu_N/(Sm_N x Gd_N)^{0.5}$; **REE=** La_N/ Lu_N; **LREE=** La_N/Sm_N; **HREE=** Gd_N/ Lu_N; **∑-REE=** Total REE (en ppm); Las muestras no fueron recalculadas con el LOI-free.

11.4.2 Datos Estadísticos Simples

Tabla 18. Estadísticas simples de los datos geoquímicos selectos de las muestras del Grupo Tamatán.

		K_2O (%)	Na_2O (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Cr	SiO_2/K_2O	Ti/Nb	K (%)	Th (ppm)	Th/Sc	Zr/Sc	K_2O/Na_2O	SiO_2/Al_2O_3
Formación Cañón de Caballeros	($\bar{x}$)	2.881	0.048	11.425	73.211	29.650	28.436	127.856	2.392	12.817	2.691	138.615	6.718	59.838
	-95%	2.259	0.041	9.851	71.317	12.027	22.188	20.083	1.875	10.038	1.837	89.719	5.698	50.828
	+95%	3.503	0.055	12.999	75.104	47.273	34.683	235.630	2.908	15.595	3.545	187.510	7.739	68.847
	-99%	2.003	0.038	9.204	70.539	4.782	19.620	-24.222	1.663	8.896	1.486	69.619	5.278	47.124
	+99%	3.759	0.058	13.646	75.883	54.518	37.251	279.935	3.120	16.738	3.896	207.611	8.159	72.551
Formación Vicente Guerrero	($\bar{x}$)	2.143	0.361	9.718	75.141	78.242	47.463	384.68	1.779	5.373	0.751	48.235	8.516	17.944
	-95%	1.803	0.096	8.602	71.717	61.478	30.512	343.36	1.497	4.648	0.637	29.585	7.239	11.646
	+95%	2.482	0.626	10.833	78.565	95.007	64.414	426.00	2.061	6.099	0.866	66.884	9.793	24.242
	-99%	1.683	0.003	8.208	70.507	55.552	24.521	328.76	1.397	4.391	0.596	22.993	6.788	9.420
	+99%	2.602	0.720	11.227	79.775	100.932	70.405	440.60	2.160	6.355	0.906	73.476	10.244	26.468
Formación Del Monte	($\bar{x}$)	2.052	1.664	8.711	46.622	28.646	24.156	501.41	1.704	4.023	0.732	17.937	5.508	1.287
	-95%	1.634	1.395	7.294	41.076	20.919	20.987	443.32	1.357	3.026	0.594	15.569	5.055	0.968
	+95%	2.471	1.932	10.127	52.168	36.373	27.325	559.50	2.051	5.020	0.869	20.305	5.961	1.606
	-99%	1.466	1.287	6.725	38.847	17.814	19.713	419.97	1.217	2.625	0.539	14.617	4.873	0.840
	+99%	2.639	2.040	10.697	54.397	39.479	28.599	582.85	2.191	5.421	0.924	21.256	6.143	1.734
Formación Guacamaya	($\bar{x}$)	1.088	2.836	13.600	56.598	39.428	70.339	1373.44	0.903	2.450	0.153	4.731	4.266	0.473
	-95%	0.729	2.023	12.249	51.626	30.142	50.307	1077.11	0.605	1.960	0.116	3.794	3.791	0.322
	+95%	1.447	3.649	14.951	61.569	48.713	90.370	1669.76	1.201	2.940	0.190	5.669	4.741	0.624
	-99%	0.595	1.719	11.744	49.769	26.673	42.821	966.38	0.494	1.777	0.103	3.443	3.614	0.265
	+99%	1.581	3.953	15.456	63.427	52.183	97.856	1780.49	1.312	3.123	0.204	6.020	4.918	0.680
Grupo Tamatán	($\bar{x}$)	2.041	1.227	10.863	62.893	42.598	596.846	1.694	6.166	43.992	1.082	52.379	6.252	19.885
	-95%	1.606	0.889	9.499	58.934	30.998	470.970	1.333	4.918	31.142	0.796	34.667	5.446	15.941
	+95%	2.476	1.566	12.228	66.852	54.198	722.722	2.055	7.413	56.842	1.367	70.092	7.058	23.830
	-99%	1.437	0.762	8.970	57.416	26.669	422.723	1.193	4.422	26.205	0.681	27.668	5.138	14.412
	+99%	2.645	1.693	12.756	68.370	58.528	770.969	2.196	7.909	61.778	1.483	77.091	7.366	25.358

		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2
Formación Cañón de Caballeros	($\bar{x}$)	1.109	0.752	1.075	0.569	0.143	0.012	0.847	0.570
	-95%	1.081	0.648	0.968	0.452	0.031	0.011	0.664	0.368
	+95%	1.138	0.855	1.182	0.685	0.256	0.014	1.030	0.772
	-99%	1.069	0.606	0.923	0.404	-0.016	0.010	0.589	0.285
	+99%	1.150	0.898	1.226	0.733	0.302	0.015	1.106	0.855
Formación Vicente Guerrero	($\bar{x}$)	1.139	0.639	1.014	0.509	0.353	0.093	0.630	0.605
	-95%	1.087	0.566	0.847	0.347	0.085	0.025	0.530	0.532
	+95%	1.190	0.713	1.181	0.670	0.621	0.160	0.730	0.678
	-99%	1.068	0.540	0.788	0.290	-0.010	0.001	0.495	0.506
	+99%	1.209	0.739	1.240	0.727	0.716	0.184	0.765	0.704
Formación Del Monte	($\bar{x}$)	0.706	0.573	0.445	0.921	4.494	0.427	0.604	0.272
	-95%	0.622	0.480	0.322	0.568	3.341	0.358	0.481	0.200
	+95%	0.790	0.666	0.567	1.273	5.648	0.496	0.727	0.343
	-99%	0.589	0.442	0.273	0.427	2.877	0.330	0.431	0.172
	+99%	0.824	0.704	0.617	1.415	6.111	0.523	0.776	0.371
Formación Guacamaya	($\bar{x}$)	0.858	0.895	1.405	1.323	1.502	0.727	0.320	0.559
	-95%	0.782	0.806	1.172	1.082	0.848	0.519	0.214	0.513
	+95%	0.933	0.984	1.638	1.564	2.156	0.936	0.425	0.606
	-99%	0.754	0.773	1.085	0.991	0.604	0.441	0.175	0.496
	+99%	0.961	1.017	1.725	1.655	2.400	1.014	0.465	0.623
Grupo Tamatán	($\bar{x}$)	0.953	0.715	0.985	0.830	1.623	0.315	0.600	0.501
	-95%	0.893	0.625	0.827	0.612	1.076	0.228	0.472	0.403
	+95%	1.013	0.804	1.142	1.048	2.170	0.401	0.728	0.600
	-99%	0.870	0.590	0.767	0.528	0.864	0.195	0.423	0.365
	+99%	1.036	0.839	1.202	1.132	2.382	0.434	0.778	0.638

(Continuación)

		K_2O	Rb	Ba	Sr	Th	U	Zr	Nb	Hf	Ti	La	Eu	Co	Ni	Sc
Formación Cañón de Caballeros	($\bar{x}$)	0.847	0.743	1.163	0.030	1.198	1.083	3.592	2.445	3.194	0.570	0.738	0.126	0.652	0.885	0.029
	-95%	0.664	0.635	0.860	0.025	0.938	0.856	2.404	1.678	2.261	0.368	0.570	0.099	0.520	0.513	0.022
	+95%	1.030	0.851	1.465	0.034	1.458	1.311	4.781	3.212	4.127	0.772	0.907	0.153	0.783	1.257	0.036
	-99%	0.589	0.591	0.736	0.023	0.831	0.762	1.915	1.363	1.878	0.285	0.500	0.089	0.466	0.360	0.020
	+99%	1.106	0.896	1.590	0.036	1.564	1.405	5.269	3.527	4.510	0.855	0.976	0.164	0.837	1.409	0.039
Formación Vicente Guerrero	($\bar{x}$)	0.630	0.542	0.569	0.083	0.502	0.456	1.641	0.404	1.415	0.605	0.245	0.080	0.755	1.429	0.041
	-95%	0.530	0.457	0.474	0.047	0.434	0.387	1.203	0.344	1.047	0.532	0.214	0.068	0.574	1.118	0.035
	+95%	0.730	0.626	0.664	0.120	0.570	0.525	2.079	0.464	1.783	0.678	0.277	0.092	0.936	1.740	0.047
	-99%	0.576	0.496	0.517	0.064	0.465	0.418	1.401	0.371	1.214	0.565	0.228	0.073	0.656	1.259	0.038
	+99%	0.685	0.588	0.621	0.103	0.539	0.494	1.880	0.437	1.616	0.645	0.262	0.087	0.854	1.599	0.044
Formación Del Monte	($\bar{x}$)	0.604	0.515	0.788	1.012	0.376	0.431	0.527	0.126	0.476	0.272	0.177	0.069	0.330	0.522	0.030
	-95%	0.481	0.406	0.539	0.661	0.280	0.361	0.421	0.098	0.383	0.200	0.148	0.058	0.243	0.351	0.024
	+95%	0.727	0.624	1.038	1.364	0.472	0.502	0.632	0.155	0.570	0.343	0.206	0.080	0.417	0.693	0.036
	-99%	0.431	0.362	0.438	0.520	0.241	0.333	0.379	0.087	0.345	0.171	0.136	0.053	0.208	0.283	0.022
	+99%	0.776	0.668	1.139	1.505	0.511	0.530	0.675	0.166	0.607	0.372	0.218	0.085	0.452	0.762	0.038
Formación Guacamaya	($\bar{x}$)	0.320	0.255	0.555	0.391	0.229	0.343	0.396	0.110	0.388	0.559	0.116	0.078	1.273	1.001	0.088
	-95%	0.214	0.178	0.401	0.303	0.183	0.298	0.336	0.093	0.331	0.513	0.095	0.069	1.048	0.682	0.078
	+95%	0.425	0.333	0.709	0.478	0.275	0.388	0.456	0.128	0.445	0.606	0.136	0.087	1.499	1.321	0.098
	-99%	0.175	0.149	0.344	0.271	0.166	0.282	0.313	0.086	0.310	0.496	0.088	0.066	0.963	0.562	0.074
	+99%	0.465	0.362	0.767	0.511	0.292	0.405	0.479	0.135	0.466	0.623	0.144	0.090	1.584	1.440	0.102
Grupo Tamatán	($\bar{x}$)	0.600	0.514	0.769	0.379	0.576	0.578	1.539	0.771	1.368	0.501	0.319	0.088	0.753	0.959	0.047
	-95%	0.472	0.419	0.568	0.259	0.459	0.476	1.091	0.553	1.006	0.403	0.257	0.073	0.596	0.666	0.040
	+95%	0.728	0.609	0.969	0.499	0.694	0.681	1.987	0.990	1.731	0.600	0.381	0.103	0.909	1.253	0.054
	-99%	0.443	0.399	0.509	0.219	0.426	0.449	1.002	0.477	0.937	0.379	0.238	0.070	0.573	0.616	0.038
	+99%	0.758	0.628	1.029	0.539	0.727	0.708	2.076	1.066	1.800	0.624	0.400	0.106	0.932	1.303	0.056

		La_N	Ce_N	Pr_N	Nd_N	Sm_N	Eu_N	Gd_N	Tb_N	Dy_N	Ho_N	Er_N	Tm_N	Yb_N	Lu_N
Cañón de Caballeros	($\bar{x}$)	164.464	132.558	105.620	77.579	52.424	14.655	39.066	35.082	34.114	32.883	34.361	36.798	35.524	35.717
	-95%	126.898	99.477	80.849	59.125	38.035	11.565	27.637	24.430	24.080	23.116	24.060	25.768	24.965	25.052
	+95%	202.031	165.639	130.392	96.033	66.814	17.745	50.495	45.733	44.149	42.650	44.661	47.827	46.083	46.383
	-99%	111.454	85.878	70.665	51.538	32.119	10.295	22.938	20.052	19.955	19.101	19.826	21.234	20.625	20.667
	+99%	217.474	179.239	140.576	103.619	72.729	19.015	55.193	50.111	48.274	46.665	48.896	52.361	50.424	50.767
Vicente Guerrero	($\bar{x}$)	53.709	42.939	35.285	26.291	15.525	9.229	9.976	8.404	7.392	6.694	6.707	7.532	6.789	7.019
	-95%	6.958	5.914	4.918	3.804	2.391	1.389	1.470	1.338	1.178	1.080	0.987	1.095	0.885	1.033
	+95%	46.751	37.025	30.367	22.487	13.134	7.840	8.506	7.065	6.214	5.614	5.719	6.437	5.905	5.985
	-99%	9.406	7.994	6.649	5.142	3.232	1.878	1.987	1.809	1.592	1.459	1.335	1.480	1.196	1.397
	+99%	44.303	34.945	28.636	21.149	12.293	7.352	7.989	6.595	5.800	5.234	5.372	6.052	5.593	5.622
Formación Del Monte	($\bar{x}$)	39.384	29.982	26.620	20.729	13.044	8.011	9.090	7.613	6.869	6.273	5.984	6.461	5.661	5.855
	-95%	33.170	25.161	22.486	17.370	10.921	6.756	7.536	6.436	5.854	5.374	5.212	5.620	4.826	-3.922
	+95%	45.598	34.802	30.754	24.089	15.166	9.265	10.644	8.790	7.883	7.172	6.755	7.301	6.496	15.632
	-99%	30.673	23.223	20.824	16.019	10.068	6.251	6.911	5.963	5.447	5.013	4.902	5.283	4.490	-7.851
	+99%	48.095	36.740	32.416	25.439	16.019	9.770	11.269	9.263	8.290	7.533	7.065	7.639	6.832	19.561
Formación Guacamaya	($\bar{x}$)	25.549	20.997	19.223	16.464	12.541	9.182	10.087	8.925	8.055	7.631	7.468	7.634	7.272	7.349
	-95%	20.749	16.400	15.383	13.415	10.721	8.089	8.620	7.742	7.039	6.698	6.578	6.657	6.295	6.453
	+95%	30.349	25.594	23.062	19.513	14.362	10.275	11.553	10.108	9.070	8.564	8.357	8.611	8.249	8.245
	-99%	18.935	14.664	13.933	12.263	10.033	7.676	8.066	7.295	6.656	6.346	6.242	6.287	5.926	6.114
	+99%	32.162	27.330	24.513	20.665	15.049	10.688	12.107	10.555	9.453	8.917	8.693	8.980	8.619	8.584
Grupo Tamatán	($\bar{x}$)	63.334	50.678	41.927	31.741	20.740	9.932	14.895	13.191	12.104	11.400	11.567	12.445	11.693	11.872
	-95%	50.108	39.766	33.490	25.618	16.455	8.991	11.622	10.119	9.174	8.547	8.556	9.224	8.566	8.731
	+95%	76.560	61.589	50.364	37.864	25.025	10.873	18.168	16.263	15.034	14.253	14.579	15.666	14.819	15.013
	-99%	45.769	36.187	30.723	23.610	15.049	8.682	10.549	9.111	8.212	7.611	7.569	8.168	7.541	7.701
	+99%	80.898	65.168	53.132	39.873	26.430	11.181	19.242	17.271	15.996	15.189	15.566	16.722	15.845	16.043

Tabla 19. Matriz de correlación entre elementos mayores y trazas de las muestras del Grupo Tamatán. **Nota:** recuedro con sombra gris, presenta los valores con mayor validez estadística a partir del valor crítico del coeficiente de correlación de Pearson publicado en Siegle (2015; Tablas de colores). En negrita se representa los valores más altos de correlación.

Formación Cañón de Caballeros	n= 12	*SiO2*	*Al2O3*	*Fe2O3*	*MgO*	*CaO*	*Na2O*	*K2O*	*TiO2*	*Rb*	*Ba*	*Sr*	*Th*	*U*	*Zr*	*Nb*	*Hf*	*La*	*Eu*	*Co*	*Ni*	*Sc*	*Y*	*REE*	*LREE*	*HREE*
	SiO2	1.00																								
	Al2O3	**-0.90**	1.00																							
	Fe2O3	0.37	-0.58	1.00																						
	MgO	0.68	-0.48	-0.30	1.00																					
	CaO	-0.03	-0.32	-0.02	0.01	1.00																				
	Na2O	**-0.87**	0.62	0.01	-0.78	0.19	1.00																			
	K2O	**-0.83**	0.74	-0.67	-0.38	0.34	0.66	1.00																		
	TiO2	-0.09	-0.08	0.78	-0.57	-0.22	0.39	-0.33	1.00																	
	Rb	**-0.89**	**0.92**	-0.71	-0.40	0.00	0.64	**0.93**	-0.28	1.00																
	Ba	0.24	-0.07	-0.58	0.63	0.09	-0.49	0.08	**-0.91**	0.08	1.00															
	Sr	-0.29	-0.04	-0.12	-0.15	**0.81**	0.43	0.49	-0.20	0.20	0.13	1.00														
	Th	0.40	-0.14	-0.60	**0.88**	-0.05	-0.64	-0.05	-0.71	-0.01	0.68	-0.24	1.00													
	U	0.51	-0.19	-0.45	**0.87**	-0.27	-0.76	-0.27	-0.58	-0.16	0.64	-0.45	**0.95**	1.00												
	Zr	0.76	-0.65	-0.15	**0.91**	0.20	-0.78	-0.39	-0.51	-0.47	0.56	-0.11	**0.84**	**0.80**	1.00											
	Nb	0.20	0.04	-0.79	0.76	0.06	-0.50	0.20	**-0.86**	0.21	0.75	-0.08	**0.95**	**0.84**	0.71	1.00										
	Hf	0.66	-0.47	-0.34	**0.94**	0.10	-0.77	-0.29	-0.61	-0.32	0.64	-0.18	**0.94**	**0.90**	**0.98**	**0.83**	1.00									
	La	0.06	0.04	-0.71	0.70	0.30	-0.22	0.35	-0.68	0.27	0.57	0.17	**0.82**	0.64	0.64	**0.86**	0.73	1.00								
	Eu	0.18	-0.31	**0.87**	-0.43	-0.24	0.13	-0.54	**0.90**	-0.50	-0.69	-0.20	-0.64	-0.44	-0.33	**-0.83**	-0.47	-0.74	1.00							
	Co	0.09	-0.27	0.76	-0.50	0.00	0.19	-0.37	0.65	-0.36	-0.63	-0.19	-0.58	-0.52	-0.30	-0.66	-0.42	-0.72	0.55	1.00						
	Ni	-0.13	0.08	0.70	-0.69	-0.44	0.27	-0.34	0.78	-0.18	-0.66	-0.44	-0.73	-0.54	-0.63	**-0.81**	-0.69	**-0.91**	0.74	0.78	1.00					
	Sc	0.12	-0.29	**0.88**	-0.46	-0.20	0.20	-0.51	**0.88**	-0.46	-0.62	-0.16	-0.66	-0.46	-0.35	**-0.84**	-0.48	-0.74	**0.97**	0.61	0.76	1.00				
	Y	0.36	-0.14	-0.68	**0.87**	0.10	-0.59	0.07	**-0.82**	0.04	0.75	-0.05	**0.97**	**0.87**	**0.82**	**0.98**	0.91	**0.88**	-0.75	-0.65	**-0.85**	-0.77	1.00			
	REE	-0.50	0.29	0.21	-0.58	0.16	0.66	0.33	0.62	0.26	-0.79	0.19	-0.59	-0.67	-0.57	-0.54	-0.61	-0.20	0.30	0.30	0.31	0.28	-0.56	1.00		
	LREE	-0.47	0.23	0.29	-0.63	0.21	0.70	0.31	0.69	0.23	**-0.88**	0.17	-0.58	-0.68	-0.53	-0.56	-0.59	-0.25	0.40	0.42	0.35	0.34	-0.58	**0.87**	1.00	
	HREE	-0.69	0.68	-0.33	-0.26	-0.18	0.56	0.47	0.17	0.57	-0.22	0.16	-0.21	-0.24	-0.53	-0.14	-0.44	0.13	-0.06	-0.41	-0.04	-0.05	-0.19	0.57	0.31	1.00
df = n-2		**0.9**	**0.95**	**0.98**	**0.99**																					
df		**0.1**	**0.05**	**0.02**	**0.01**																					
10		0.497	0.576	0.658	0.708																					

Formación Vicente Guerrero	n= 26	*SiO2*	*Al2O3*	*Fe2O3*	*MgO*	*CaO*	*Na2O*	*K2O*	*TiO2*	*Rb*	*Ba*	*Sr*	*Th*	*U*	*Zr*	*Nb*	*Hf*	*La*	*Eu*	*Co*	*Ni*	*Sc*	*Y*	*REE*	*LREE*	*HREE*
	SiO2	1.00																								
	Al2O3	-0.52	1.00																							
	Fe2O3	-0.35	-0.01	1.00																						
	MgO	-0.76	0.11	0.43	1.00																					
	CaO	**-0.82**	0.08	0.06	0.65	1.00																				
	Na2O	-0.10	0.22	-0.46	0.04	0.17	1.00																			
	K2O	-0.57	0.91	-0.11	0.15	0.22	0.09	1.00																		
	TiO2	0.13	-0.12	0.06	-0.15	-0.12	-0.40	-0.04	1.00																	
	Rb	-0.62	**0.82**	-0.12	0.19	0.34	0.15	**0.96**	0.01	1.00																
	Ba	-0.44	**0.90**	-0.21	-0.03	0.11	0.20	**0.90**	-0.06	**0.86**	1.00															
	Sr	-0.41	0.19	-0.36	0.31	0.56	**0.85**	0.14	-0.36	0.25	0.23	1.00														
	Th	-0.52	0.22	0.13	0.28	0.48	0.03	0.36	0.53	0.49	0.20	0.19	1.00													
	U	-0.26	0.46	0.11	-0.05	0.01	-0.16	0.44	0.32	0.38	0.35	-0.16	0.63	1.00												
	Zr	0.20	-0.41	0.07	-0.09	-0.04	-0.28	-0.37	0.68	-0.36	-0.44	-0.28	0.51	0.45	1.00											
	Nb	-0.02	-0.01	0.30	0.01	-0.07	-0.47	0.04	0.33	-0.08	-0.10	-0.39	0.28	0.45	0.43	1.00										
	Hf	0.16	-0.37	0.09	-0.06	-0.02	-0.28	-0.34	0.66	-0.32	-0.42	-0.28	0.54	0.49	**1.00**	0.44	1.00									
	La	-0.34	0.49	-0.17	0.10	0.17	0.05	0.63	0.46	0.64	0.58	0.11	0.63	0.58	0.23	0.26	0.23	1.00								
	Eu	-0.48	0.55	0.02	0.10	0.26	-0.07	0.66	0.37	0.67	0.62	0.07	0.58	0.53	0.10	0.14	0.11	0.69	1.00							
	Co	-0.03	0.05	0.26	-0.09	-0.13	-0.19	0.11	0.12	0.15	0.02	-0.26	0.21	0.18	0.06	-0.14	0.06	0.00	0.30	1.00						
	Ni	0.10	0.01	0.08	-0.15	-0.19	-0.14	0.09	0.00	0.13	0.03	-0.24	0.01	0.09	-0.08	-0.19	-0.07	-0.09	0.11	0.76	1.00					
	Sc	-0.41	0.33	0.42	0.20	0.15	-0.10	0.35	0.25	0.49	0.34	-0.05	0.39	0.11	-0.17	-0.29	-0.15	0.17	0.33	0.38	0.32	1.00				
	Y	-0.56	0.54	0.17	0.27	0.31	-0.08	0.66	0.37	0.65	0.46	0.03	**0.80**	0.70	0.29	0.52	0.32	0.70	0.73	0.19	0.05	0.21	1.00			
	REE	0.09	0.02	-0.29	0.03	-0.07	0.27	0.14	-0.06	0.15	0.13	0.23	0.00	0.01	-0.14	-0.10	-0.14	0.52	0.09	-0.17	-0.09	-0.07	-0.06	1.00		
	LREE	0.24	-0.33	0.04	-0.03	-0.13	0.16	-0.39	-0.26	-0.38	-0.44	0.00	-0.33	-0.35	-0.09	-0.18	-0.12	-0.28	-0.34	-0.07	-0.11	-0.28	-0.29	0.08	1.00	
	HREE	-0.11	0.12	-0.09	0.13	0.06	-0.08	0.28	0.10	0.28	0.20	0.08	0.27	0.35	0.04	0.20	0.07	0.53	0.45	-0.05	-0.04	-0.01	0.26	0.71	-0.28	1.0
df = n-2		**0.9**	**0.95**	**0.98**	**0.99**																					
df		**0.1**	**0.05**	**0.02**	**0.01**																					
24		0.33	0.388	0.453	0.496																					

(*Continuación)*

Formación Del Monte	n= 13	*SiO2*	*Al2O3*	*Fe2O3*	*MgO*	*CaO*	*Na2O*	*K2O*	*TiO2*	*Rb*	*Ba*	*Sr*	*Th*	*U*	*Zr*	*Nb*	*Hf*	*La*	*Eu*	*Co*	*Ni*	*Sc*	*Y*	*REE*	*LREE*	*HREE*
	SiO2	1.00																								
	Al2O3	**0.94**	1.00																							
	Fe2O3	0.69	0.70	1.00																						
	MgO	0.42	0.45	0.66	1.00																					
	CaO	**-0.98**	-0.96	-0.77	-0.58	1.00																				
	Na2O	0.69	0.57	0.55	0.20	-0.63	1.00																			
	K2O	**0.84**	**0.87**	0.48	0.48	**-0.87**	0.28	1.00																		
	TiO2	**0.83**	**0.92**	**0.84**	0.63	**-0.90**	0.48	0.76	1.00																	
	Rb	**0.83**	**0.87**	0.41	0.37	**-0.84**	0.28	**0.98**	0.71	1.00																
	Ba	0.29	0.25	0.50	0.53	-0.36	0.22	0.22	0.51	0.10	1.00															
	Sr	-0.74	**-0.81**	-0.53	-0.37	0.75	-0.29	-0.71	-0.74	-0.72	-0.06	1.00														
	Th	0.42	0.42	0.25	0.28	-0.44	0.40	0.39	0.31	0.40	-0.26	-0.22	1.00													
	U	-0.38	-0.34	-0.15	-0.23	0.38	0.09	-0.48	-0.31	-0.49	-0.30	0.39	0.39	1.00												
	Zr	**0.85**	**0.93**	0.62	0.59	**-0.90**	0.57	**0.81**	**0.89**	0.79	0.32	-0.76	0.46	-0.30	1.00											
	Nb	**0.80**	**0.93**	0.72	0.46	**-0.85**	0.35	**0.82**	**0.95**	**0.80**	0.38	-0.74	0.25	-0.33	**0.84**	1.00										
	Hf	**0.84**	**0.89**	0.55	0.41	**-0.84**	0.63	0.70	**0.84**	0.71	0.37	-0.68	0.40	-0.28	**0.93**	0.77	1.00									
	La	0.69	0.64	0.72	0.52	-0.71	0.73	0.42	0.70	0.35	0.40	-0.41	0.62	0.16	0.70	0.54	0.71	1.00								
	Eu	0.74	**0.80**	**0.81**	0.36	-0.76	0.65	0.51	**0.87**	0.47	0.49	-0.53	0.26	-0.03	0.74	**0.83**	0.77	0.79	1.00							
	Co	0.76	**0.80**	**0.85**	0.60	**-0.82**	0.65	0.60	**0.82**	0.54	0.21	-0.56	0.59	0.04	0.77	0.75	0.64	**0.82**	**0.81**	1.00						
	Ni	0.27	0.35	0.31	0.02	-0.27	0.19	0.13	0.36	0.16	-0.08	-0.49	-0.15	0.03	0.22	0.41	0.16	-0.04	0.29	0.28	1.00					
	Sc	**0.85**	**0.91**	0.73	0.58	**-0.91**	0.54	0.79	**0.92**	0.77	0.37	-0.60	0.59	-0.19	**0.90**	**0.87**	**0.88**	0.78	**0.81**	**0.83**	0.12	1.00				
	Y	0.49	0.45	0.47	0.34	-0.49	0.49	0.29	0.55	0.23	0.53	-0.26	0.44	0.26	0.52	0.43	0.63	**0.86**	0.70	0.50	-0.14	0.62	1.00			
	REE	0.08	-0.06	0.30	0.14	-0.05	0.38	-0.24	0.11	-0.35	0.58	0.05	-0.20	0.11	0.03	-0.04	0.09	0.50	0.37	0.16	-0.12	-0.02	0.57	1.00		
	LREE	0.51	0.41	0.43	-0.04	-0.45	0.47	0.34	0.21	0.39	-0.30	-0.27	0.39	-0.13	0.19	0.21	0.18	0.26	0.25	0.44	0.02	0.32	-0.09	-0.22	1.00	
	HREE	0.19	0.27	-0.01	0.03	-0.18	0.36	0.10	0.27	0.12	0.42	-0.14	-0.18	-0.15	0.46	0.23	0.58	0.25	0.40	0.04	-0.09	0.23	0.40	0.34	-0.35	1.00
df = n-2		**0.9**	**0.95**	**0.98**	**0.99**																					
df		**0.1**	**0.05**	**0.02**	**0.01**																					
11		0.476	0.553	0.634	0.684																					

Formación Guacamaya	n= 18	*SiO2*	*Al2O3*	*Fe2O3*	*MgO*	*CaO*	*Na2O*	*K2O*	*TiO2*	*Rb*	*Ba*	*Sr*	*Th*	*U*	*Zr*	*Nb*	*Hf*	*La*	*Eu*	*Co*	*Ni*	*Sc*	*Y*	*REE*	*LREE*	*HREE*
	SiO2	1.00																								
	Al2O3	0.33	1.00																							
	Fe2O3	-0.38	-0.42	1.00																						
	MgO	-0.78	-0.31	0.48	1.00																					
	CaO	**-0.92**	-0.56	0.23	0.59	1.00																				
	Na2O	0.26	0.69	-0.67	-0.31	-0.29	1.00																			
	K2O	0.14	0.66	-0.36	-0.14	-0.31	0.11	1.00																		
	TiO2	0.35	-0.05	0.11	-0.40	-0.29	-0.12	0.03	1.00																	
	Rb	0.21	0.62	-0.28	-0.16	-0.37	0.00	**0.97**	-0.02	1.00																
	Ba	0.42	0.57	-0.17	-0.29	-0.57	-0.02	0.73	-0.03	**0.82**	1.00															
	Sr	-0.37	0.20	-0.42	0.03	0.43	0.40	0.18	-0.05	0.03	-0.17	1.00														
	Th	0.40	0.23	0.21	-0.14	-0.52	-0.14	0.21	0.07	0.30	0.51	-0.45	1.00													
	U	-0.11	0.35	0.21	0.27	-0.16	-0.16	0.60	0.10	0.62	0.57	-0.13	0.55	1.00												
	Zr	0.50	0.26	0.18	-0.33	-0.59	-0.13	0.23	0.16	0.32	0.57	-0.40	**0.92**	0.43	1.00											
	Nb	0.51	0.03	0.34	-0.43	-0.52	-0.35	0.04	0.31	0.21	0.44	-0.54	0.72	0.32	0.75	1.00										
	Hf	0.45	0.35	0.05	-0.39	-0.54	-0.06	0.38	0.22	0.44	0.59	-0.21	0.84	0.49	**0.94**	0.68	1.00									
	La	0.36	0.06	0.27	-0.15	-0.43	-0.32	0.18	0.26	0.31	0.23	-0.53	0.43	0.36	0.40	0.72	0.36	1.00								
	Eu	-0.55	0.27	0.32	0.31	0.36	0.16	0.07	-0.20	-0.01	-0.23	0.17	0.04	0.28	-0.03	-0.13	0.01	0.02	1.00							
	Co	-0.04	-0.15	0.64	0.05	-0.09	-0.42	-0.10	0.59	-0.07	0.00	-0.33	0.04	0.24	0.15	0.37	0.14	0.46	0.12	1.00						
	Ni	0.15	-0.19	0.62	-0.03	-0.21	-0.62	-0.08	0.12	0.11	0.30	-0.58	0.46	0.21	0.52	0.75	0.37	0.64	-0.09	0.50	1.00					
	Sc	-0.08	0.50	0.03	0.06	-0.16	0.24	0.42	0.38	0.37	0.28	0.06	0.06	0.54	-0.02	0.07	0.10	0.22	0.33	0.47	-0.10	1.00				
	Y	-0.53	-0.01	0.62	0.31	0.35	-0.32	0.06	0.22	0.04	-0.02	0.00	0.18	0.52	0.11	0.24	0.13	0.25	0.70	0.58	0.30	0.55	1.00			
	REE	0.60	-0.10	-0.08	-0.27	-0.51	-0.20	0.02	0.11	0.16	0.13	-0.50	0.30	-0.05	0.33	0.52	0.25	0.75	-0.46	0.03	0.48	-0.28	-0.41	1.00		
	LREE	-0.04	0.37	0.20	0.14	-0.18	0.10	0.33	0.10	0.27	0.32	-0.15	0.42	0.46	0.34	0.06	0.28	-0.12	0.37	0.03	-0.11	0.44	0.36	-0.37	1.00	
	HREE	0.36	-0.14	-0.03	-0.23	-0.29	-0.13	-0.03	0.37	-0.01	-0.05	-0.34	0.16	-0.05	0.22	0.10	0.19	0.22	-0.25	0.20	0.26	-0.19	-0.23	0.39	-0.32	1.00
df = n-2		**0.9**	**0.95**	**0.98**	**0.99**																					
df		**0.1**	**0.05**	**0.02**	**0.01**																					
16		0.4	0.468	0.542	0.59																					

11.4.3 Clasificación y Composición Geoquímica del Grupo Tamatán

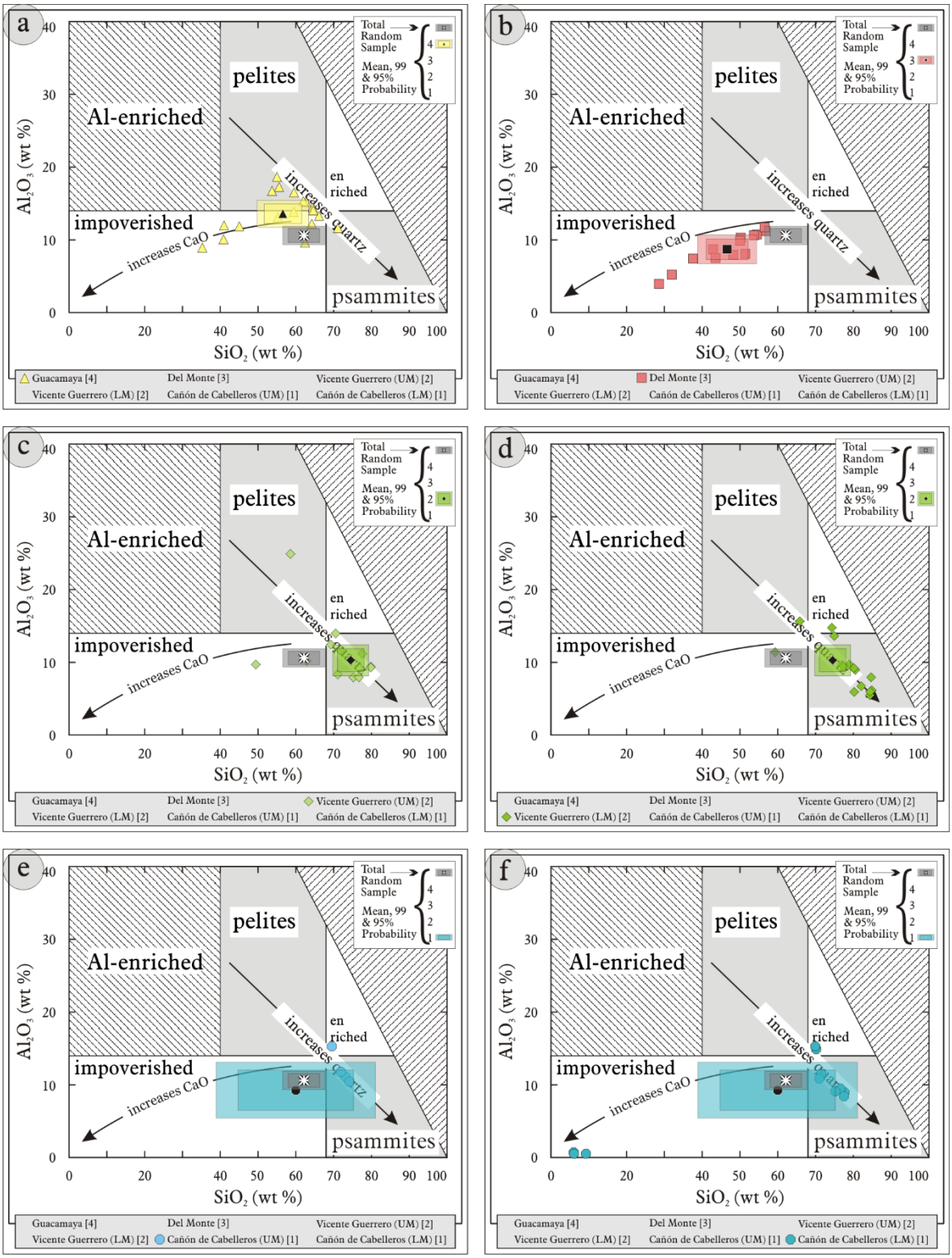


Fig. 9. 17. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado SiO_2 – Al_2O_3 (después de Jenchen & Rosenfeld, 2007). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, **(f)** miembro inferior

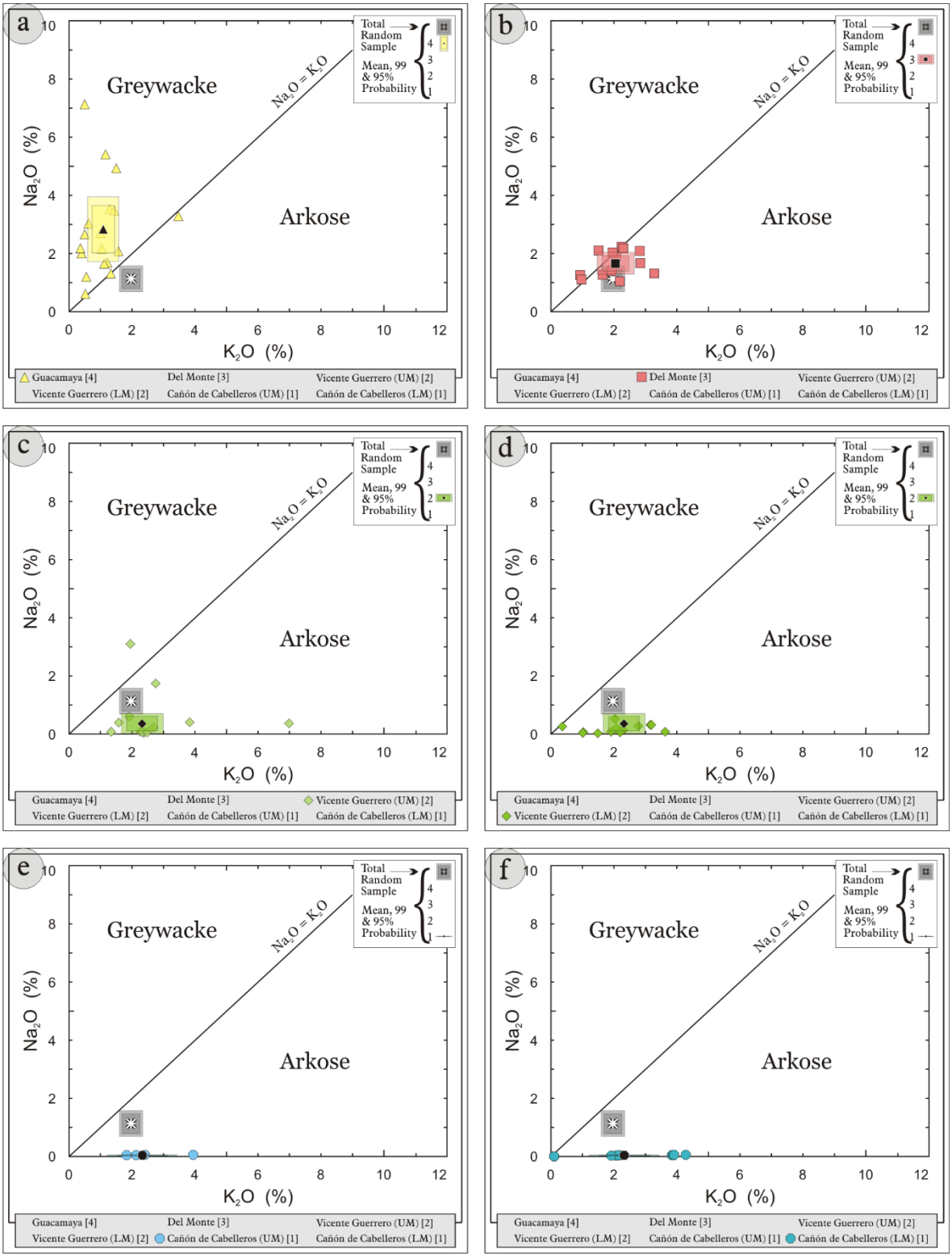


Fig. 9. 18. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O – Na_2O (después de Pettijohn, 1963). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior): **(e)** miembro superior, (**f**) miembro inferior**.**

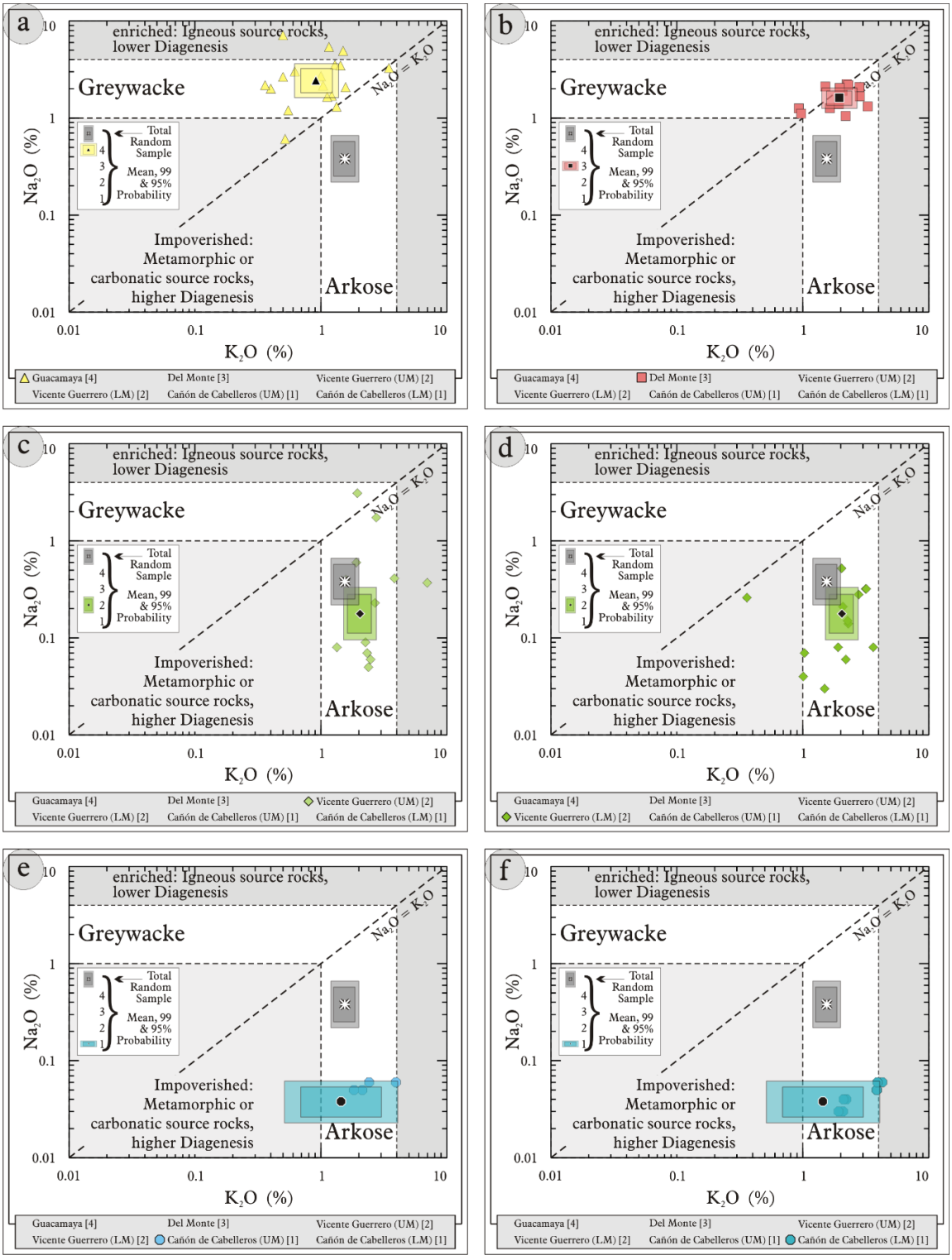


Fig. 9. 19. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O – Na_2O (después de Jenchen 2018a). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

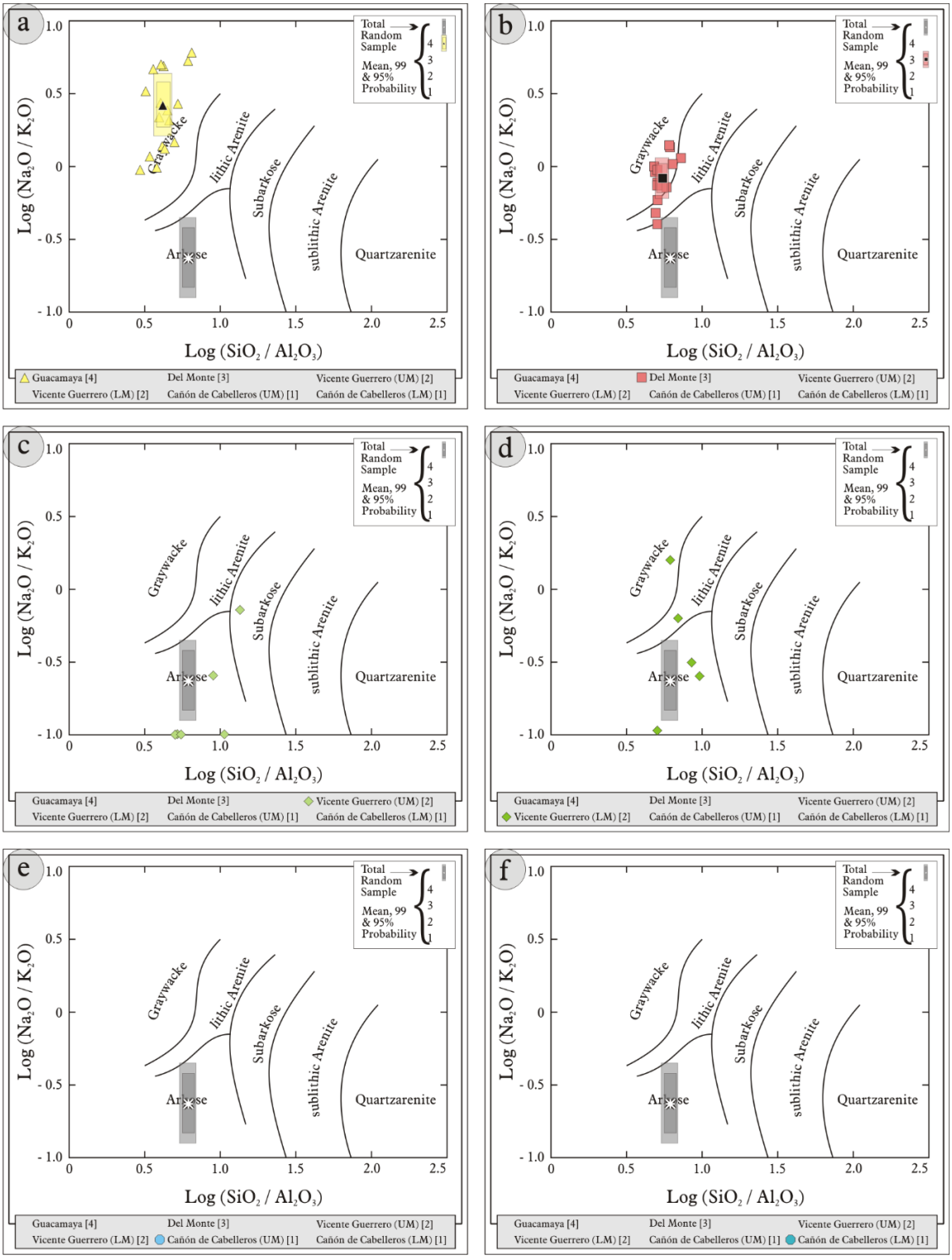


Fig. 9. 20. Clasificación geoquímica del Grupo Tamatán: diagrama bivariado $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Na_2O/K_2O)$ (Pettijhon et al., 1972). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior)**: (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

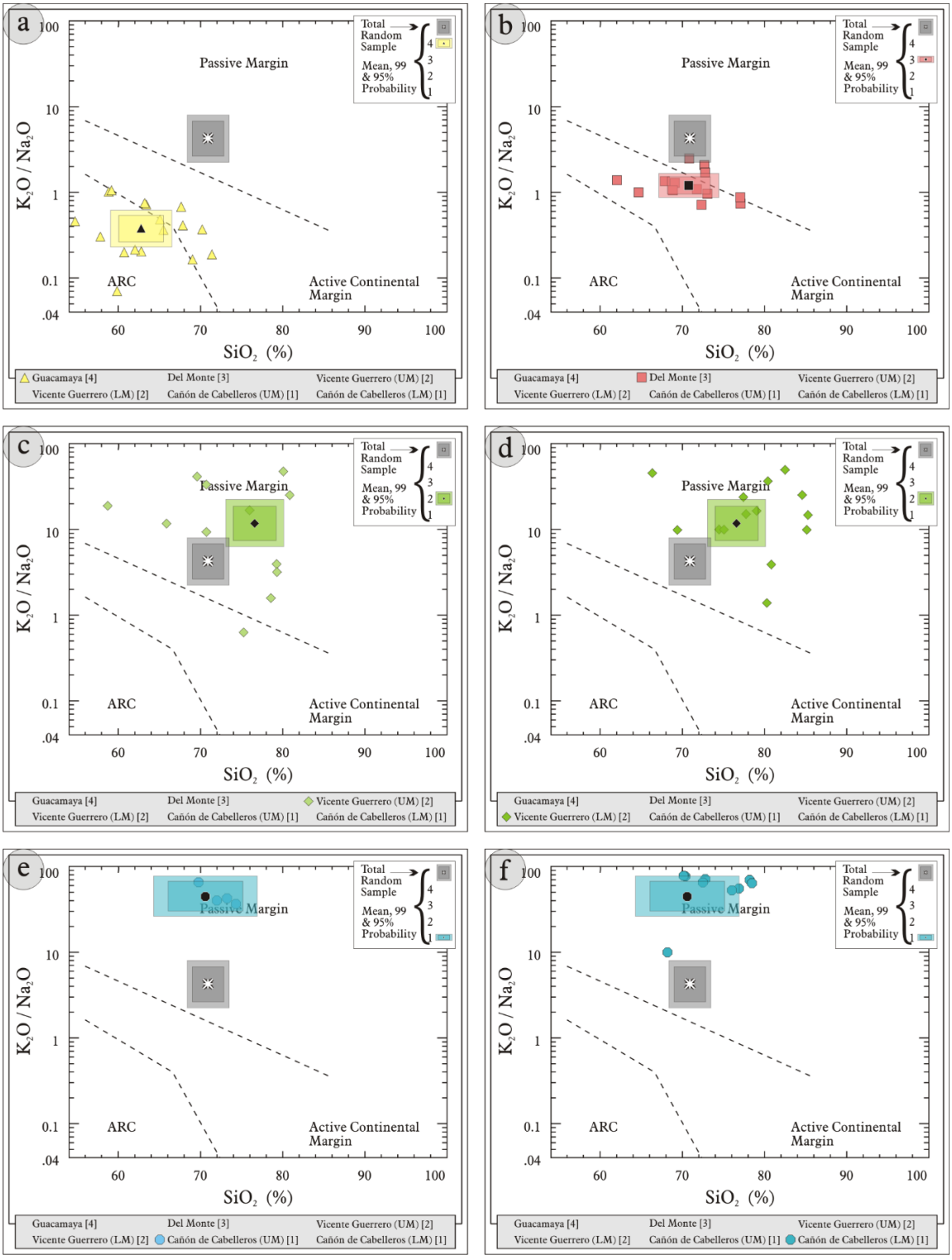


Fig. 9. 21. Asociación del ambiente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado $SiO_2 - K_2O/Na_2O$ (Roser & Korsch, 1986). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

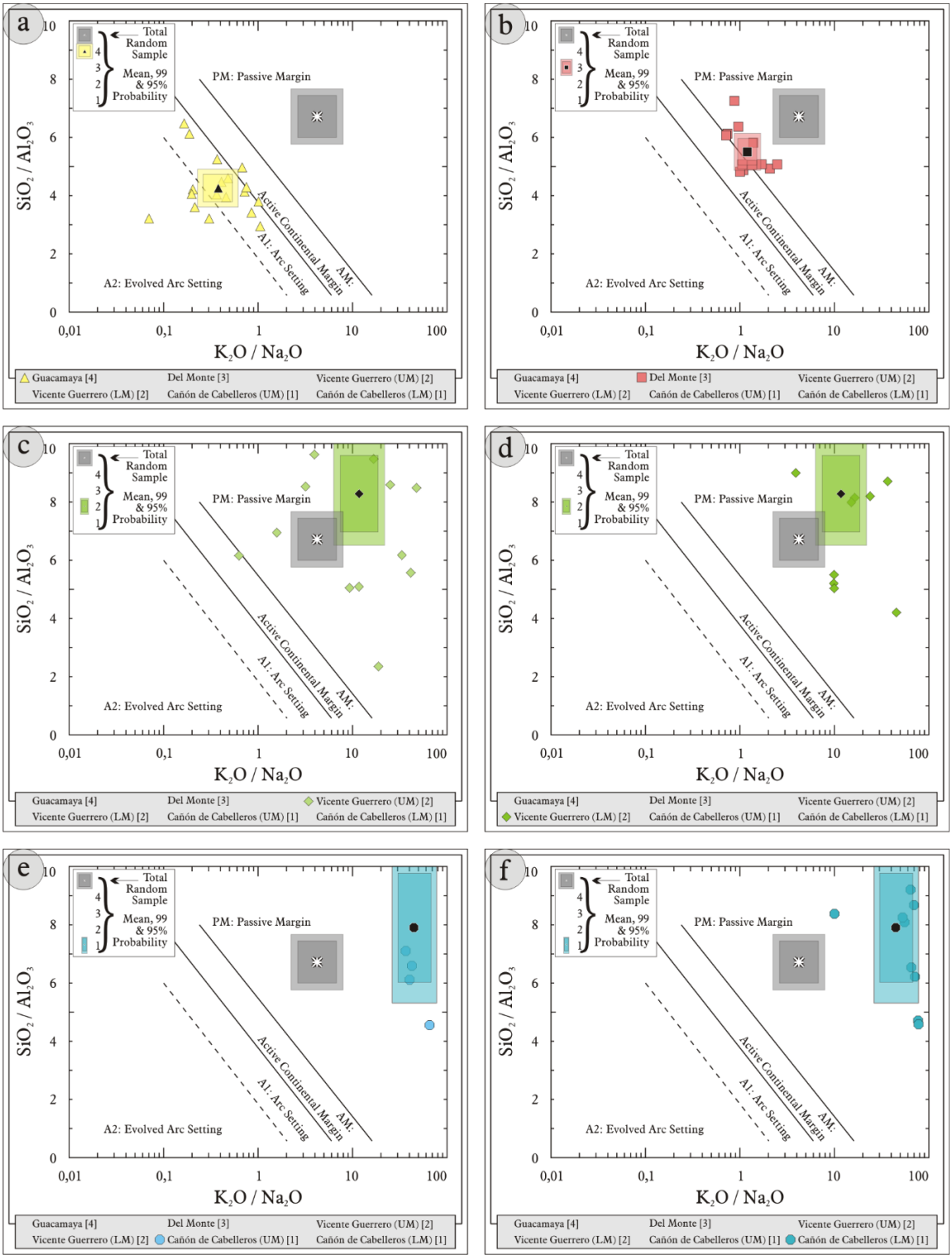


Fig. 9. 22. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O/Na_2O – SiO_2/Al_2O_3 (Roser & Korsch, 1986). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

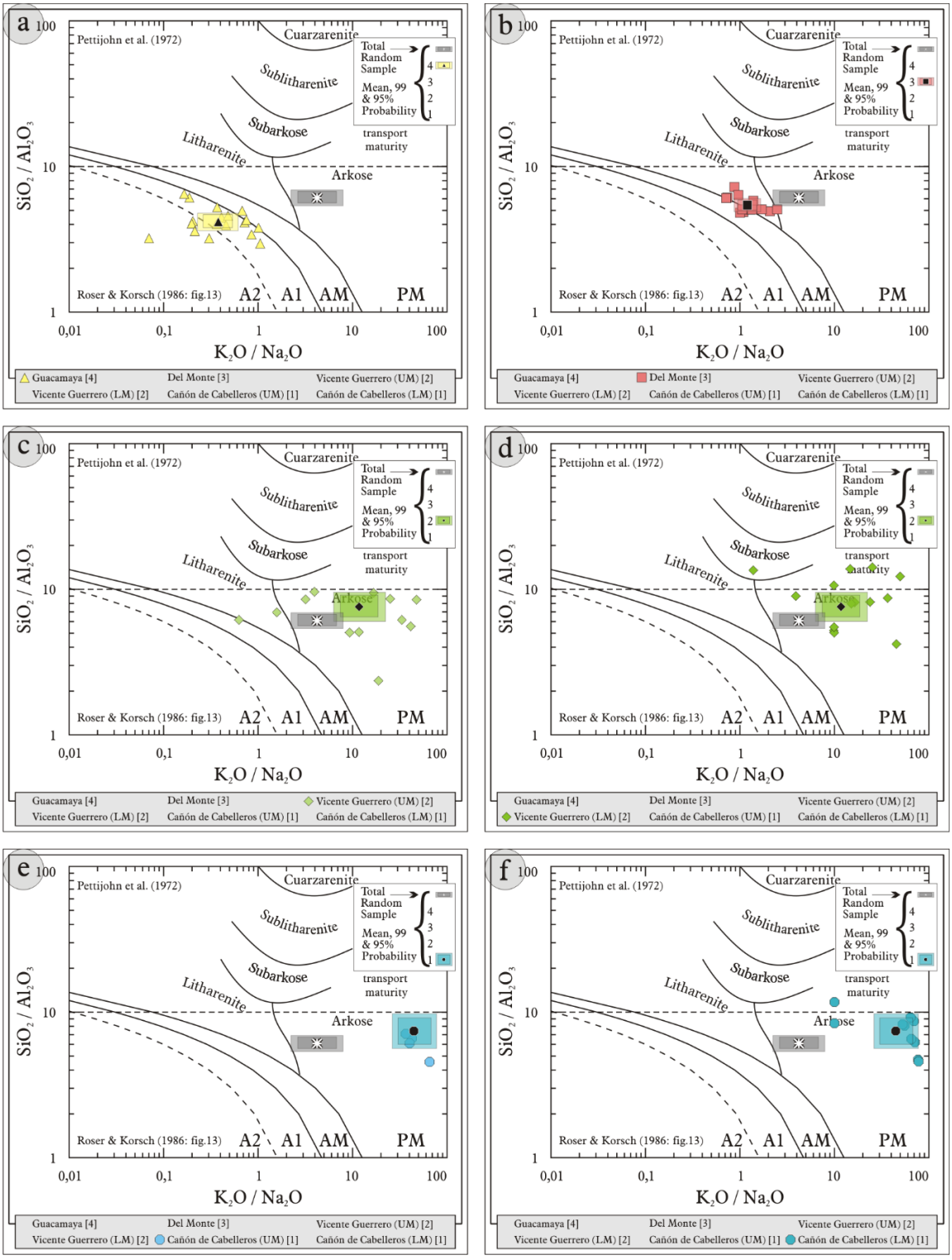


Fig. 9. 23. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K_2O/Na_2O – SiO_2/Al_2O_3 (después de Jenchen, 2018a). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

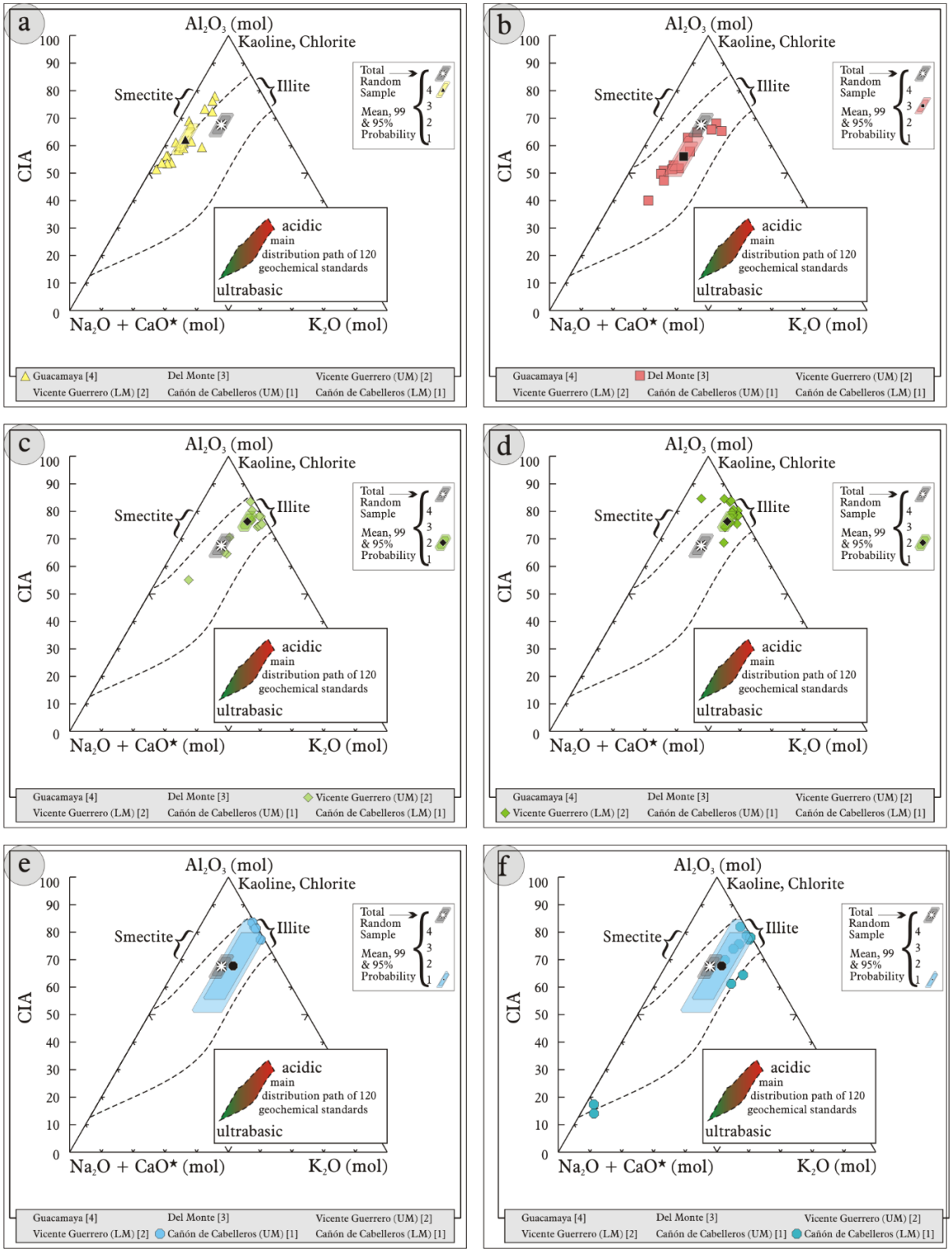


Fig. 9. 24. Intemperismo químico del Grupo Tamatán: diagrama ternario $Na_2O+CaO - Al_2O_3 - K_2O$ (Nesbitt & Young, 1984 Fedo et al., 1995; modificado por Jenchen, 2018a). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior)**: (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

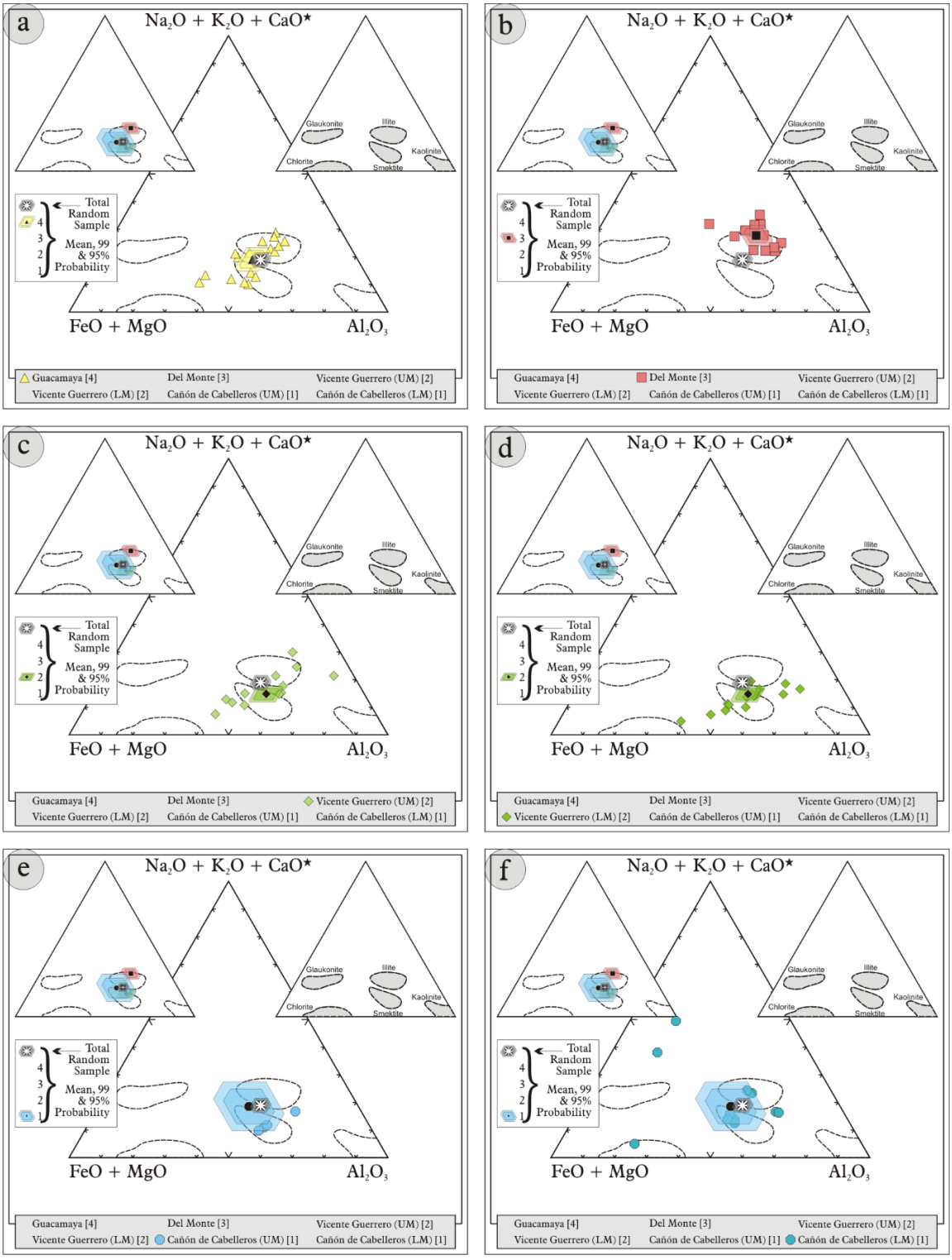


Fig. 9. 25. Posibles minerales de alteración del Grupo Tamatán: diagrama ternario FeO+MgO – Na_2O+K_2O/CaO^* – Al_2O_3 (Englund & Jørgensen, 1973). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior)**: (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

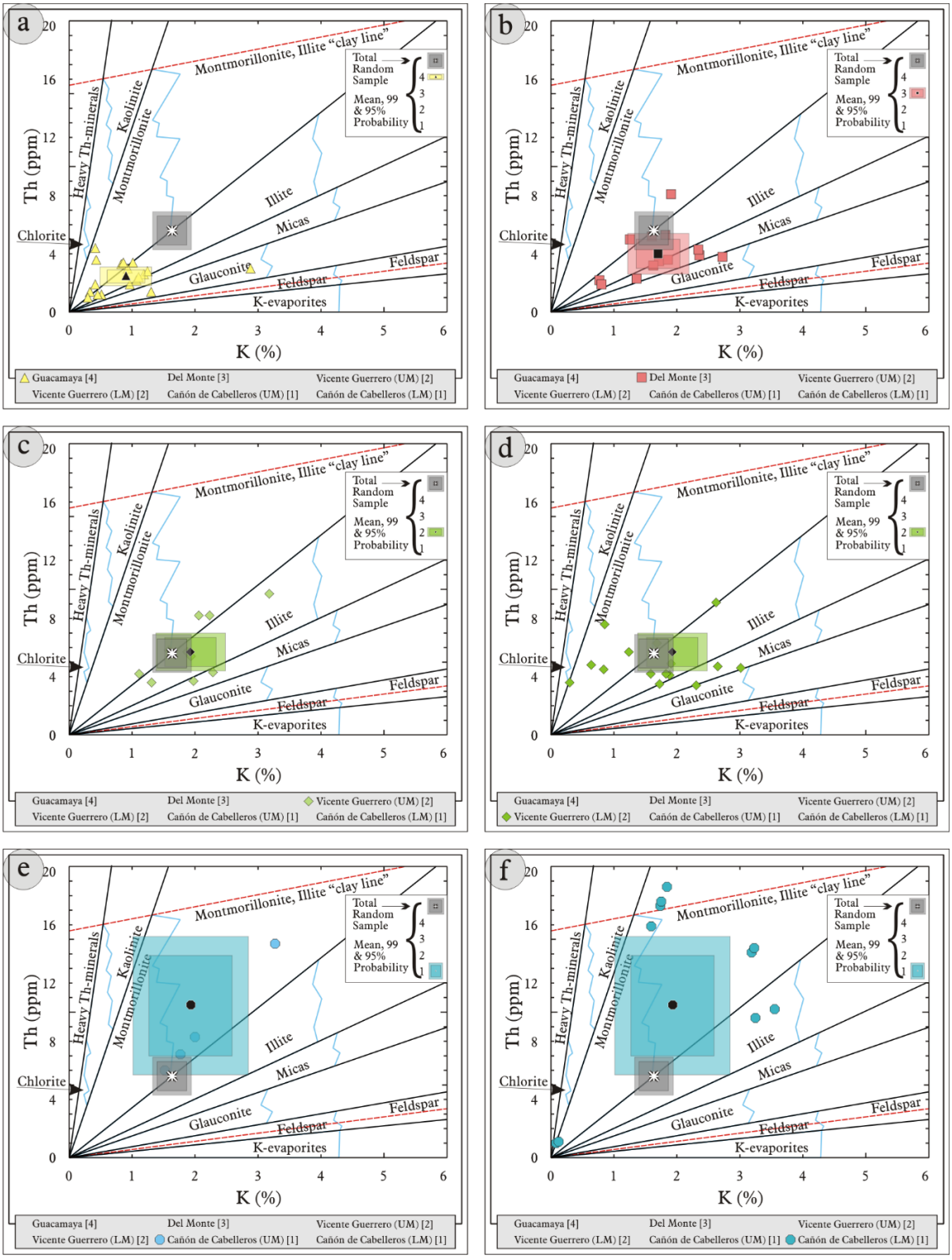


Fig. 9. 26. Posibles minerales de alteración del Grupo Tamatán: diagrama bivariado K – Th (Schlümberger, 1985). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

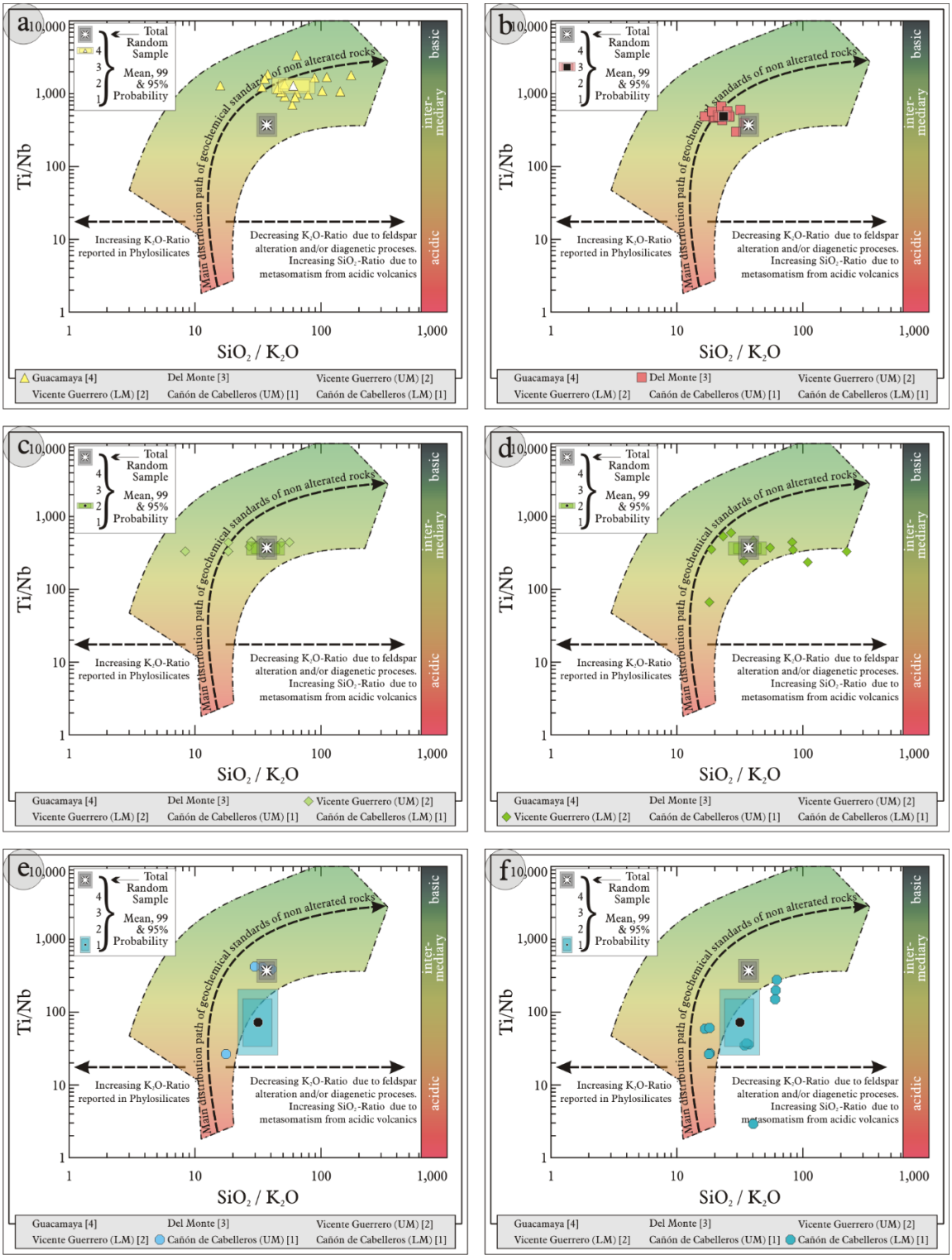


Fig. 9. 27. Composición del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado SiO_2/K_2O – Ti/Nb (Jenchen, 2018a). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

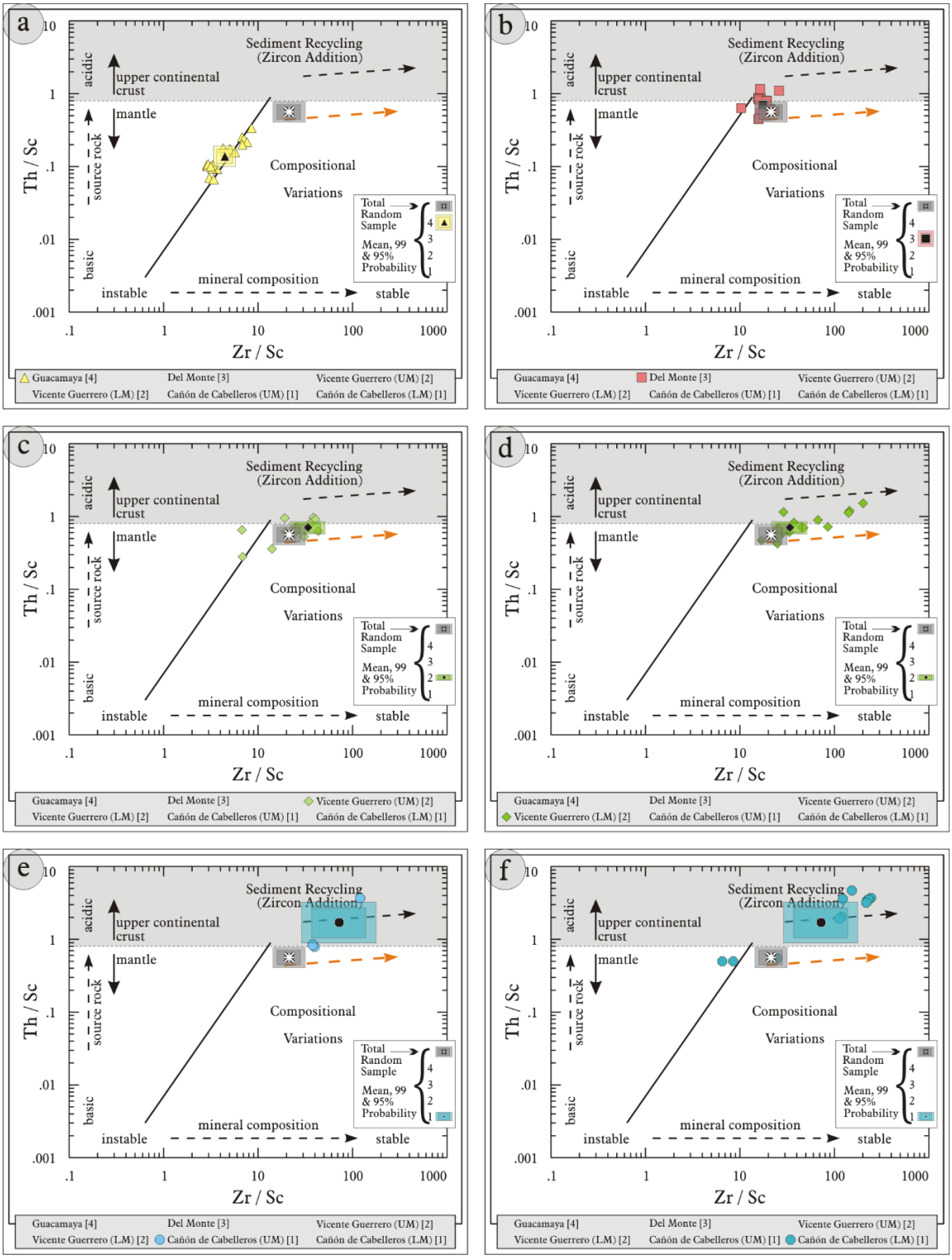


Fig. 9. 28. Transporte, reciclamiento y composición del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Zr/Sc – Th/Sc (McLennan et al., 1993). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

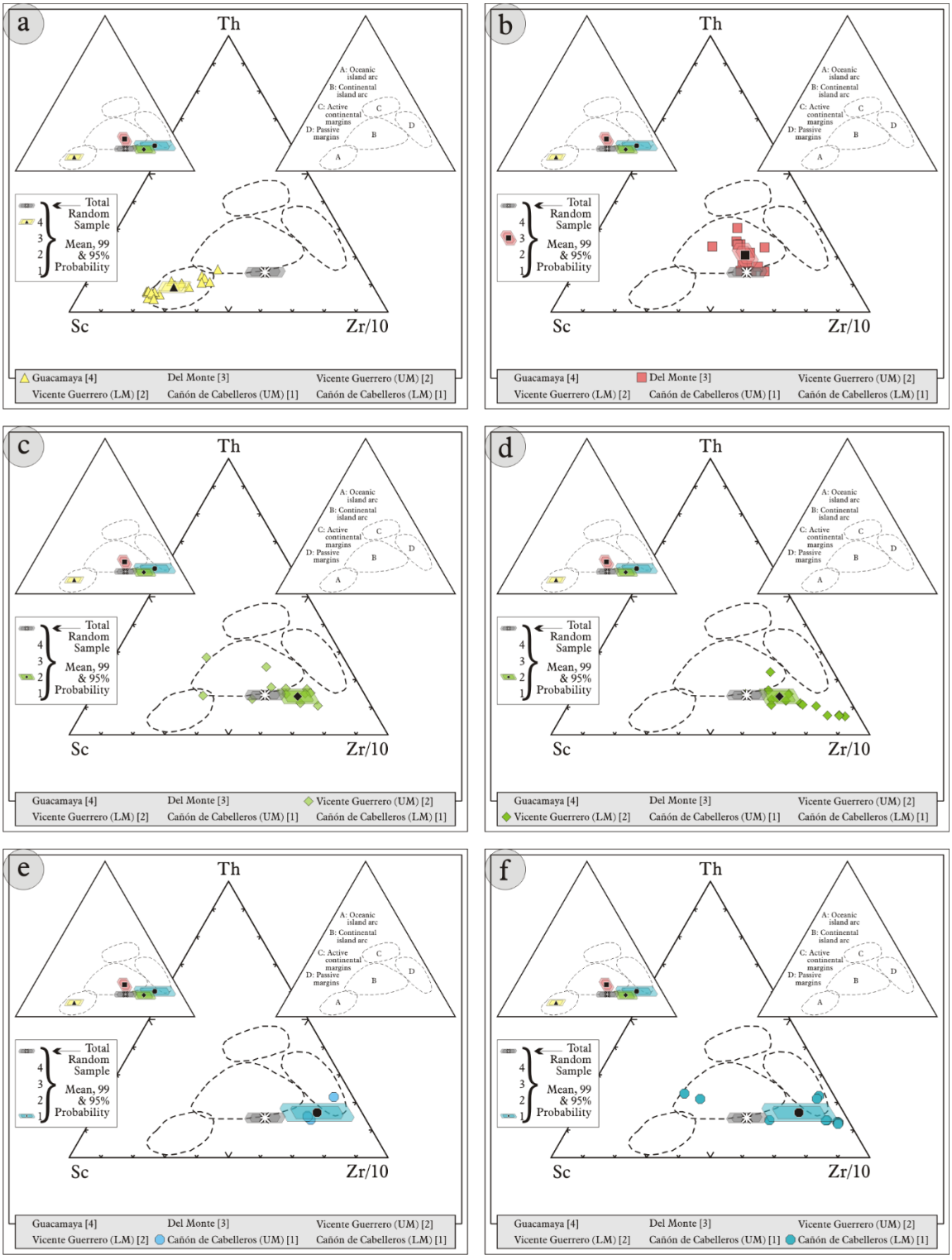


Fig. 9. 29. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama ternario Th – Sc – Zr/10 (Bhatia & Crook, 1986). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

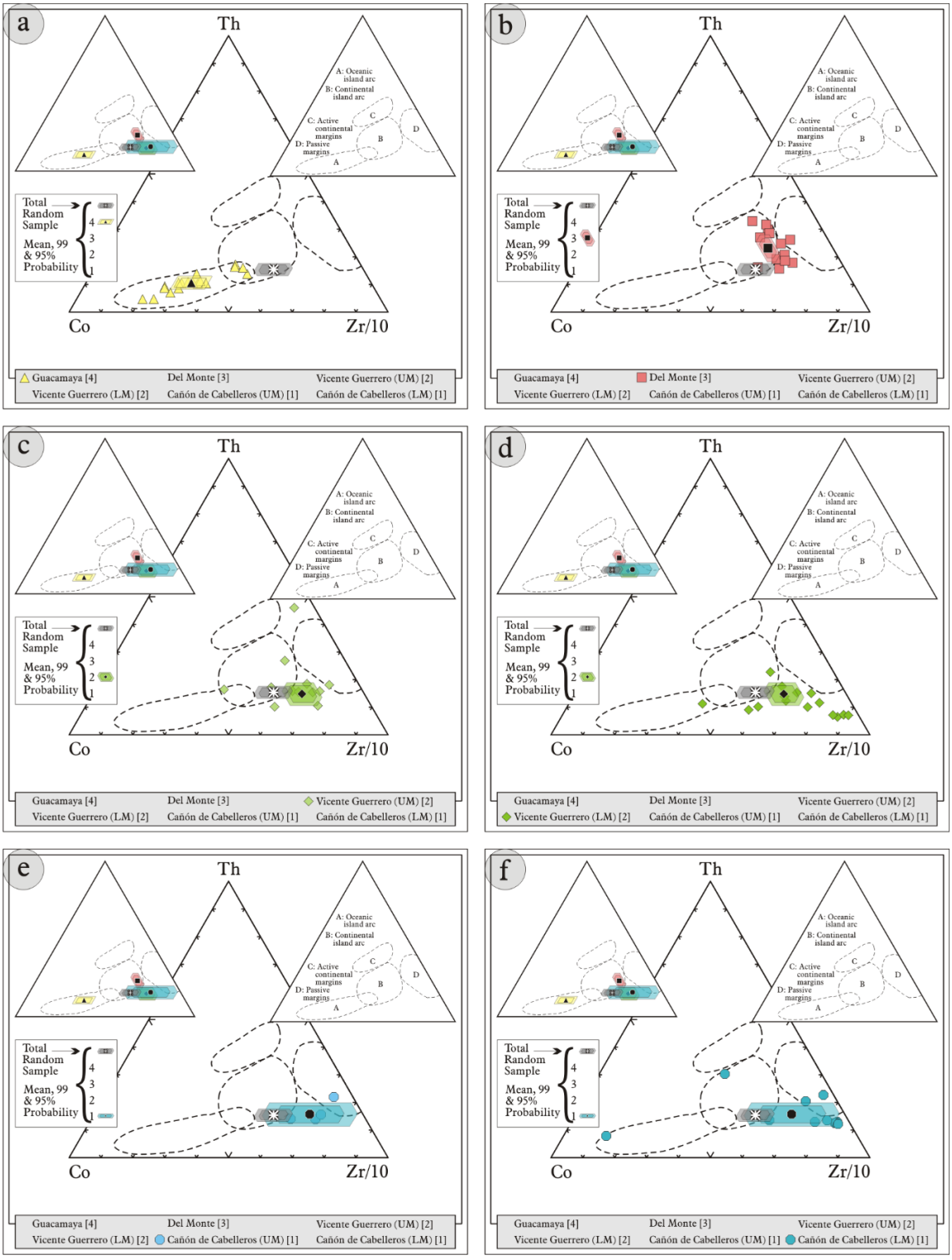


Fig. 9. 30. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama ternario Th – Co – Zr/10 (Bhatia & Crook, 1986). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

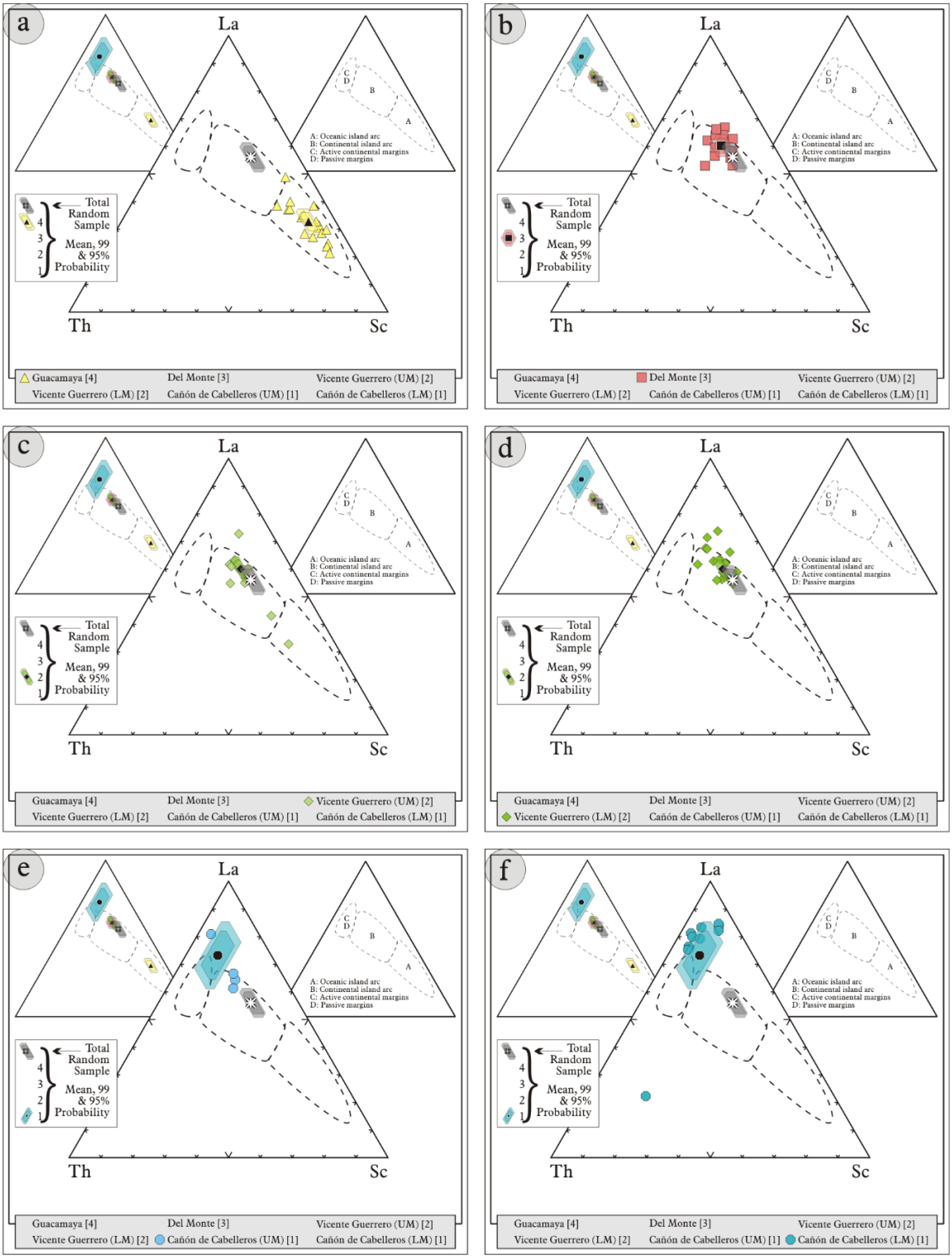


Fig. 9. 31. Asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama ternario La – Th – Sc (Bhatia & Crook, 1986). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

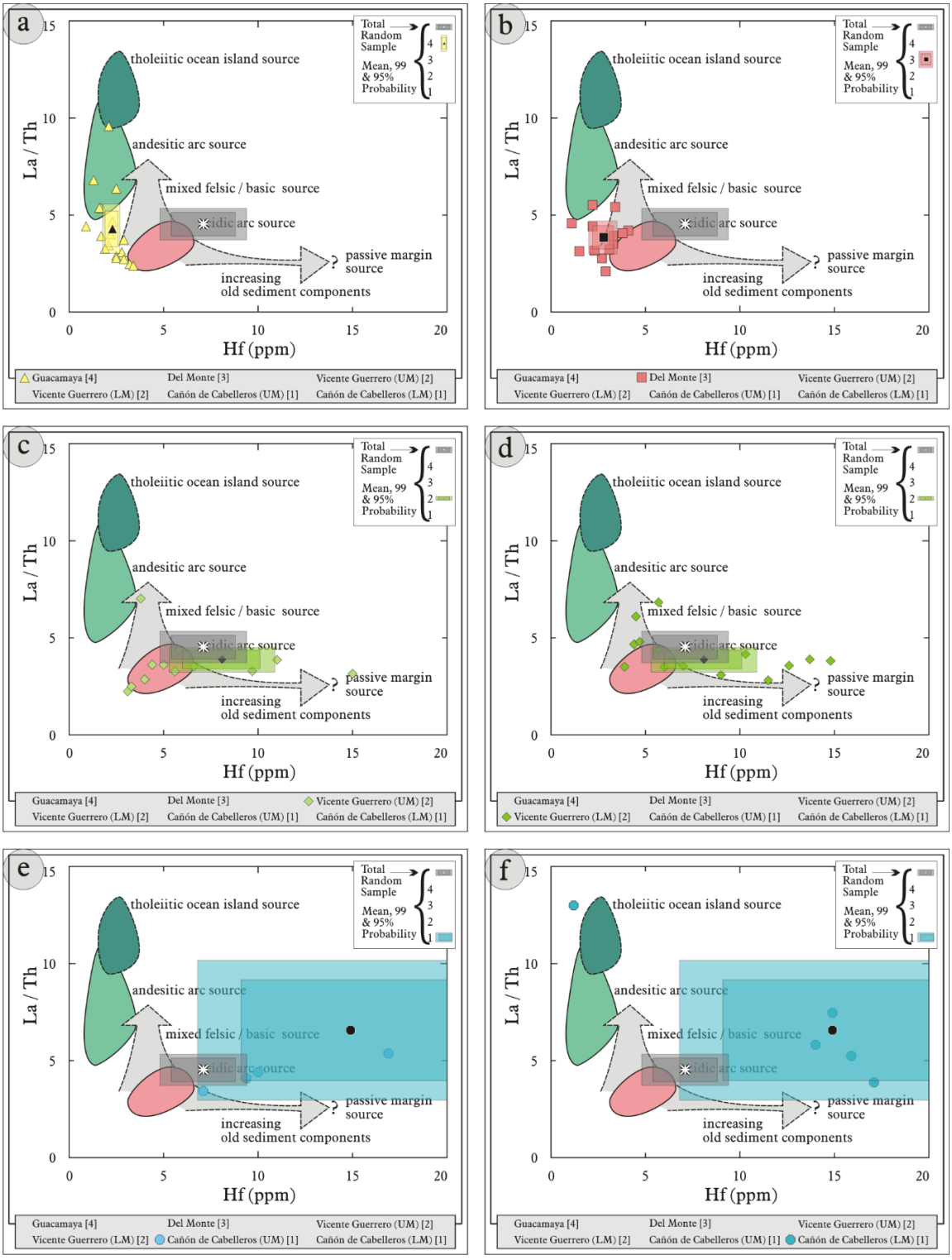


Fig. 9. 32. Composición del área fuente y asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Hf – La/Th (Floyd & Leveridge, 1987). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

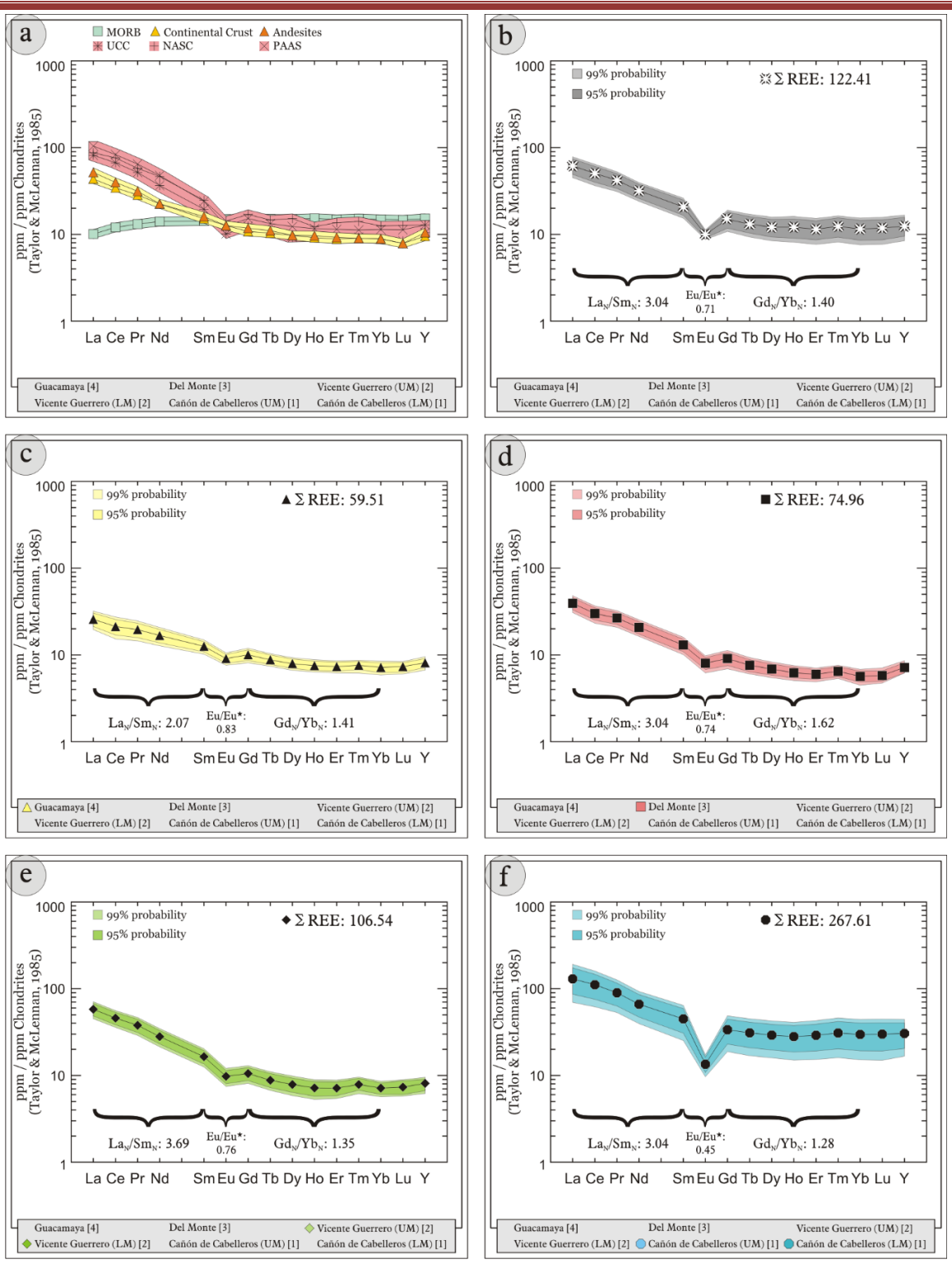


Fig. 9. 33. Composición del área fuente del Grupo Tamatán: patrones de tierras raras (REE) (Taylor & McLennan, 1985). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

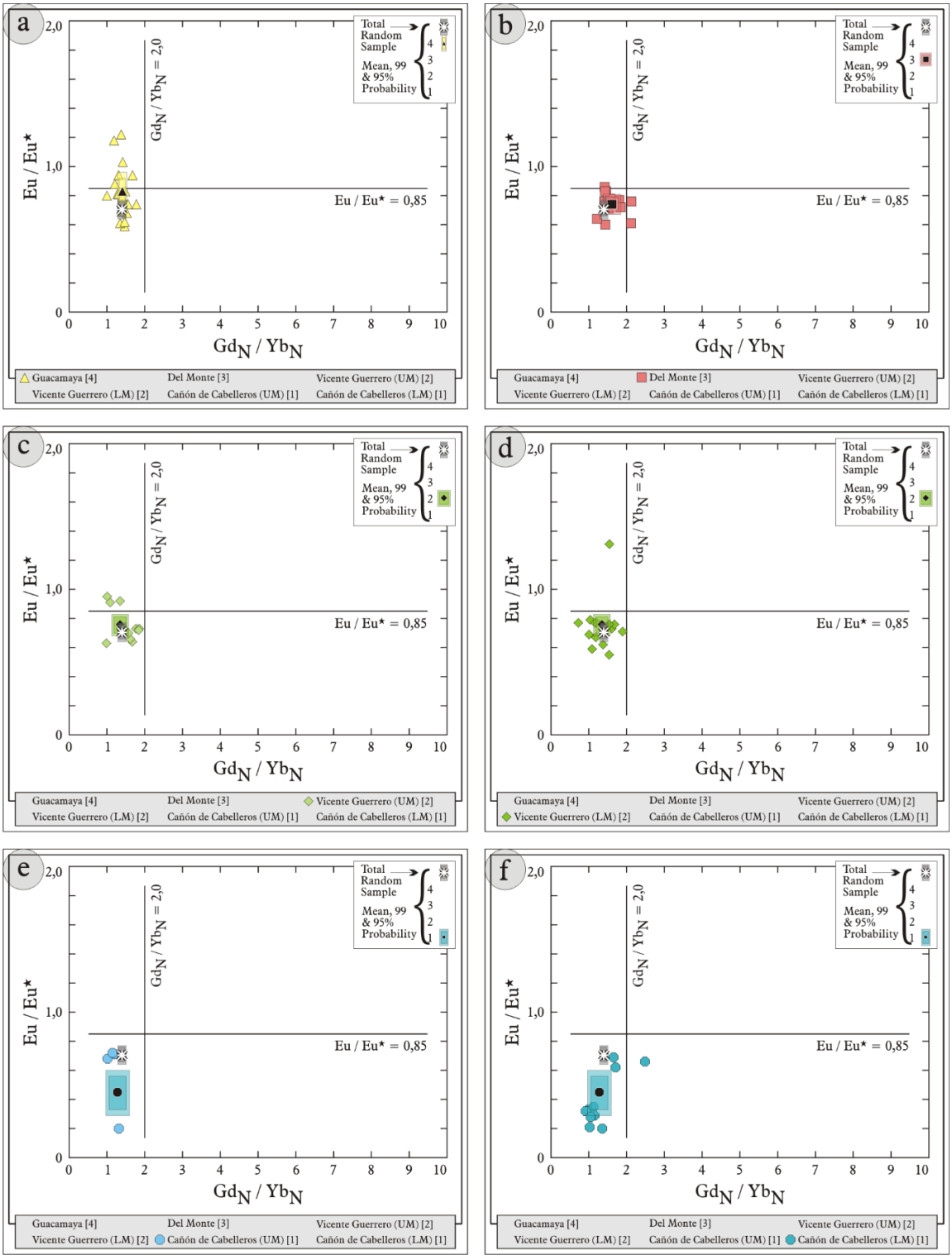


Fig. 9. 34. Relación de las tierras raras pesadas (HREE) y anomalía de Eu del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Gd_N/Yb_N – Eu/Eu* (McLennan, 1990). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior)**: (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

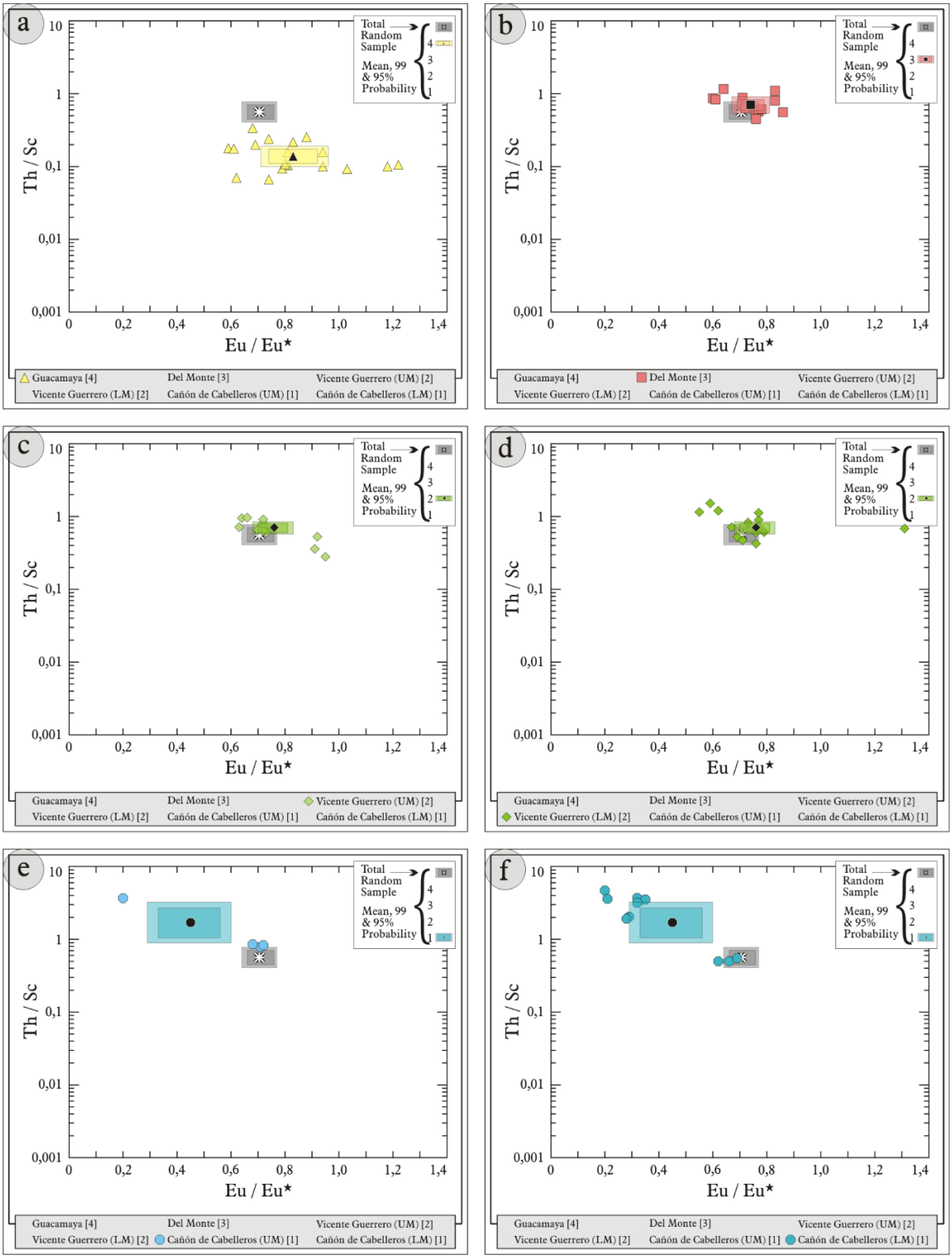


Fig. 9. 35. Relación de la anomalía de Eu y relación Th/Sc del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Eu/Eu* –T h/Sc (McLennan, 1990). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

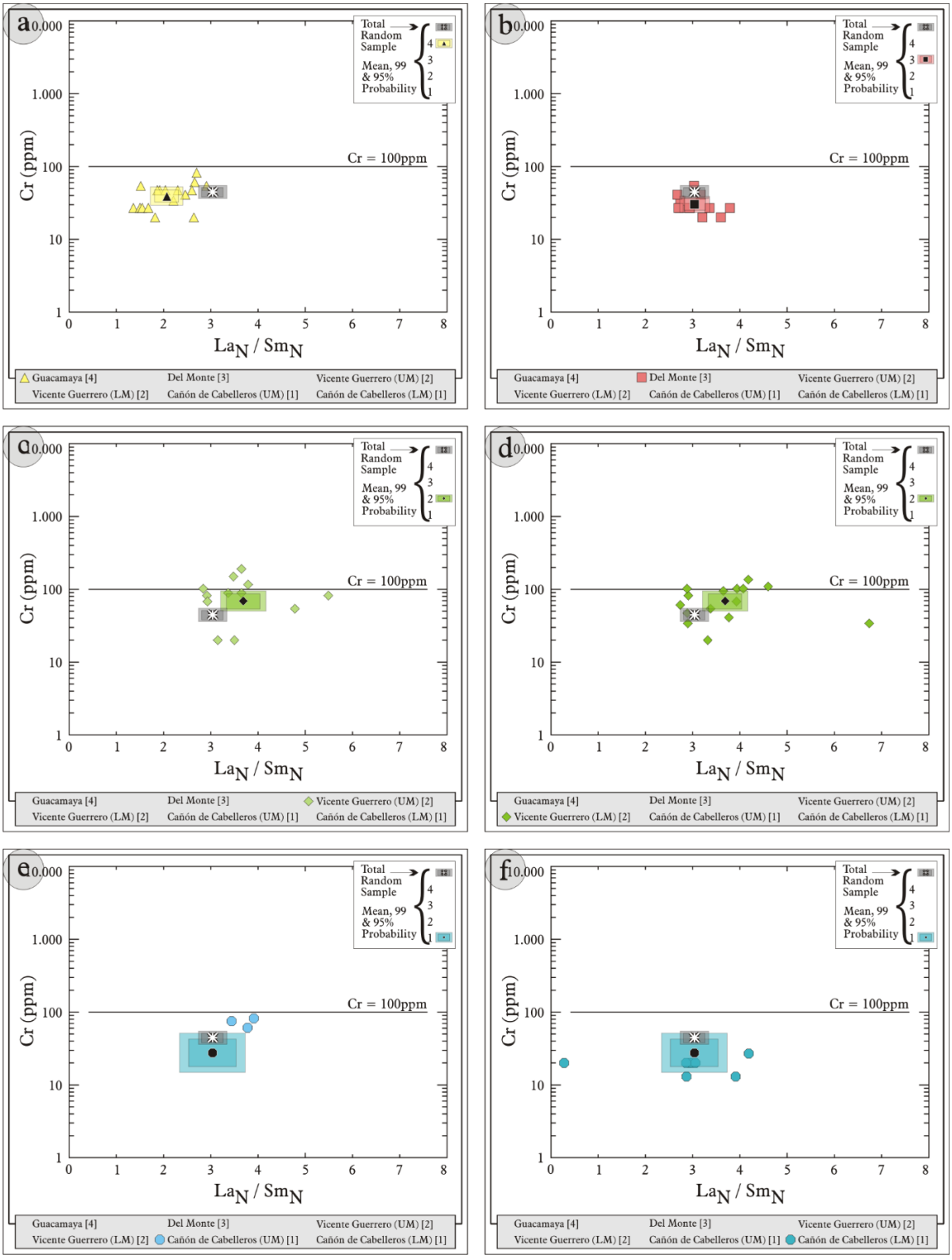


Fig. 9. 36. Relación de las tierras raras ligeras (LREE) y concentración de Cr del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama bivariado La_N/Sm_N – Cr* (McLennan, 1990). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior)**: (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

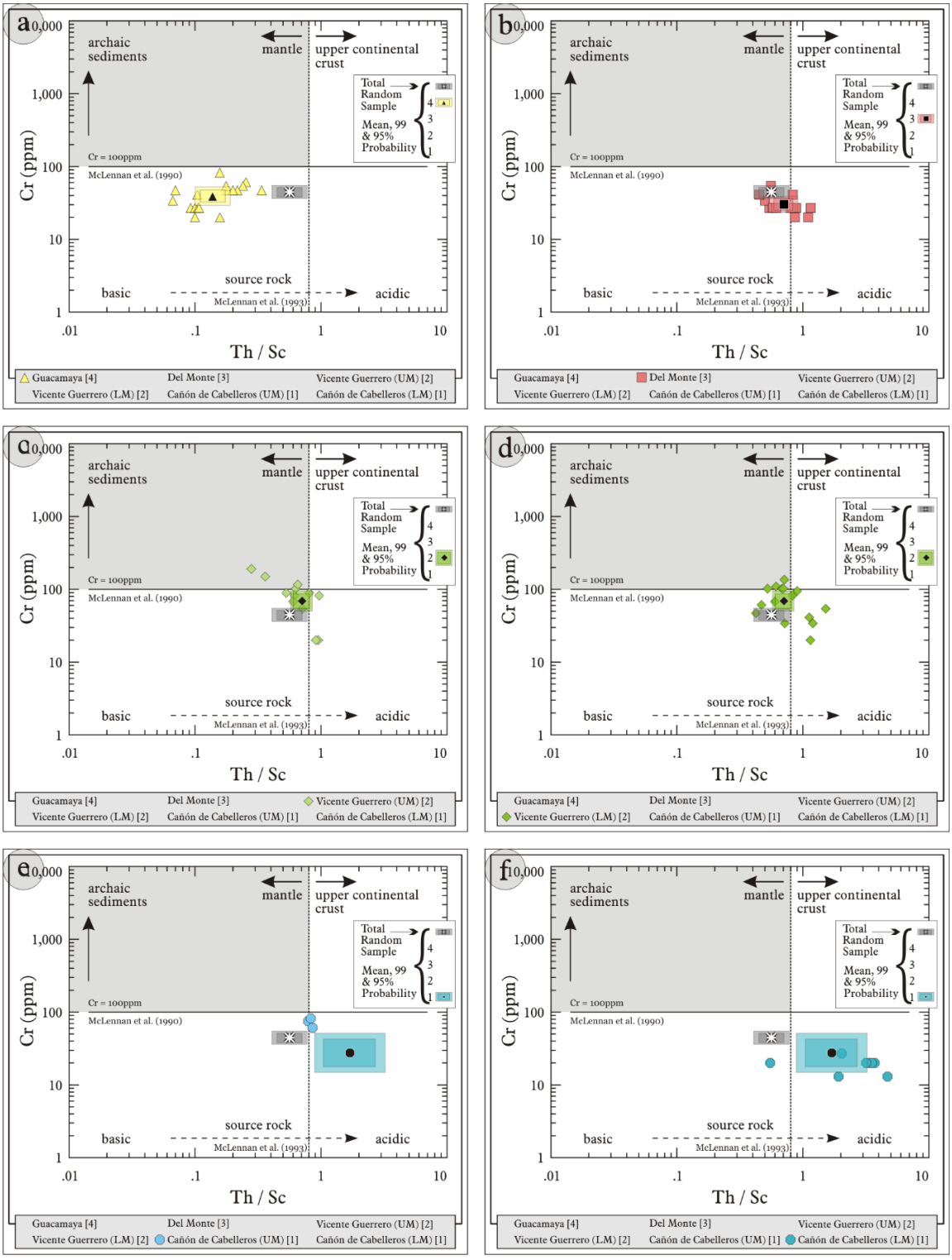


Fig. 9. 37. Composición del área fuente y asociación del ambiente tectónico del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Th/Sc – Cr (Jenchen, 2018a). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

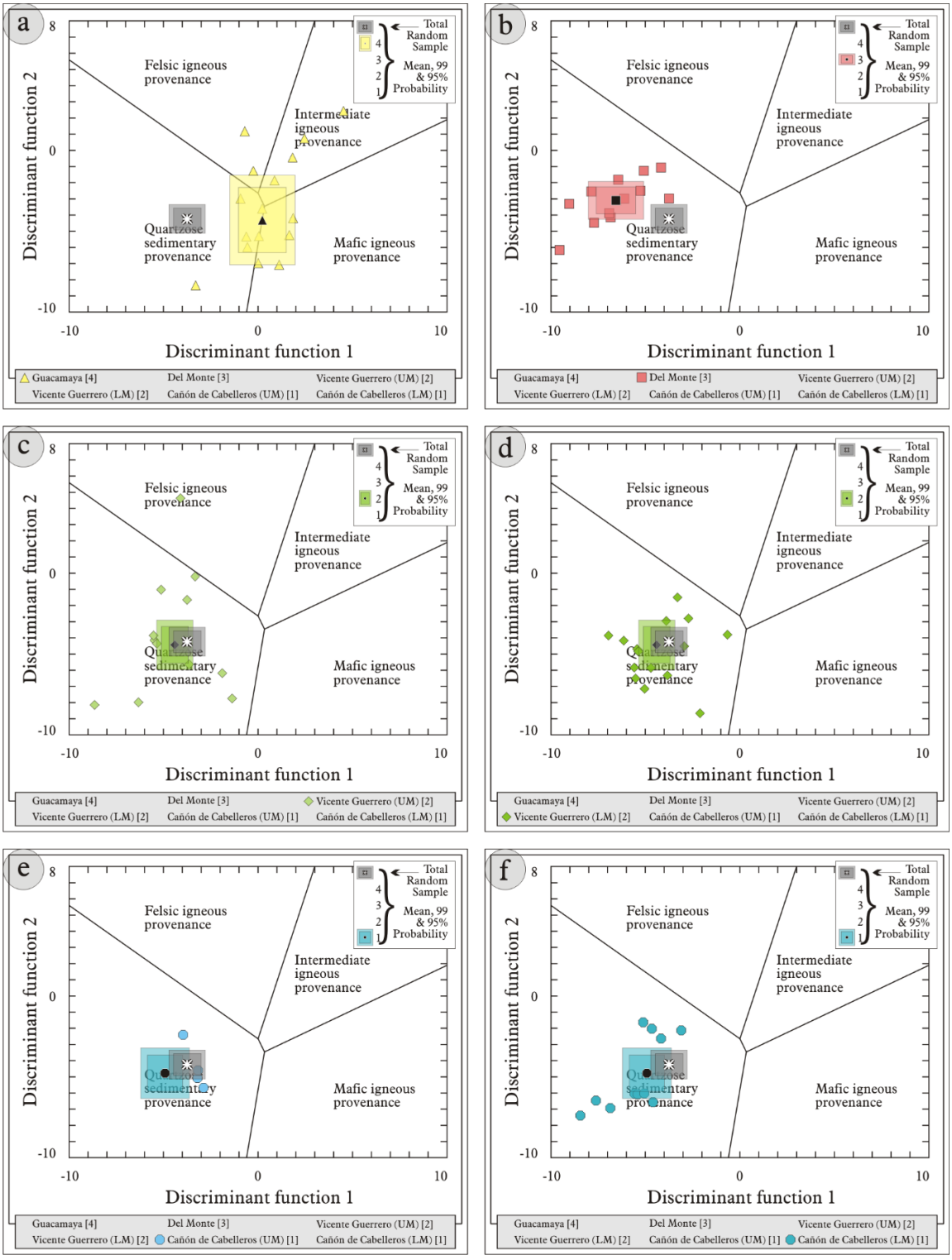


Fig. 9. 38. Composición del área fuente del Grupo Tamatán: diagrama de funciones discriminativas (Roser & Korsch, 1988). (**a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior**): (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

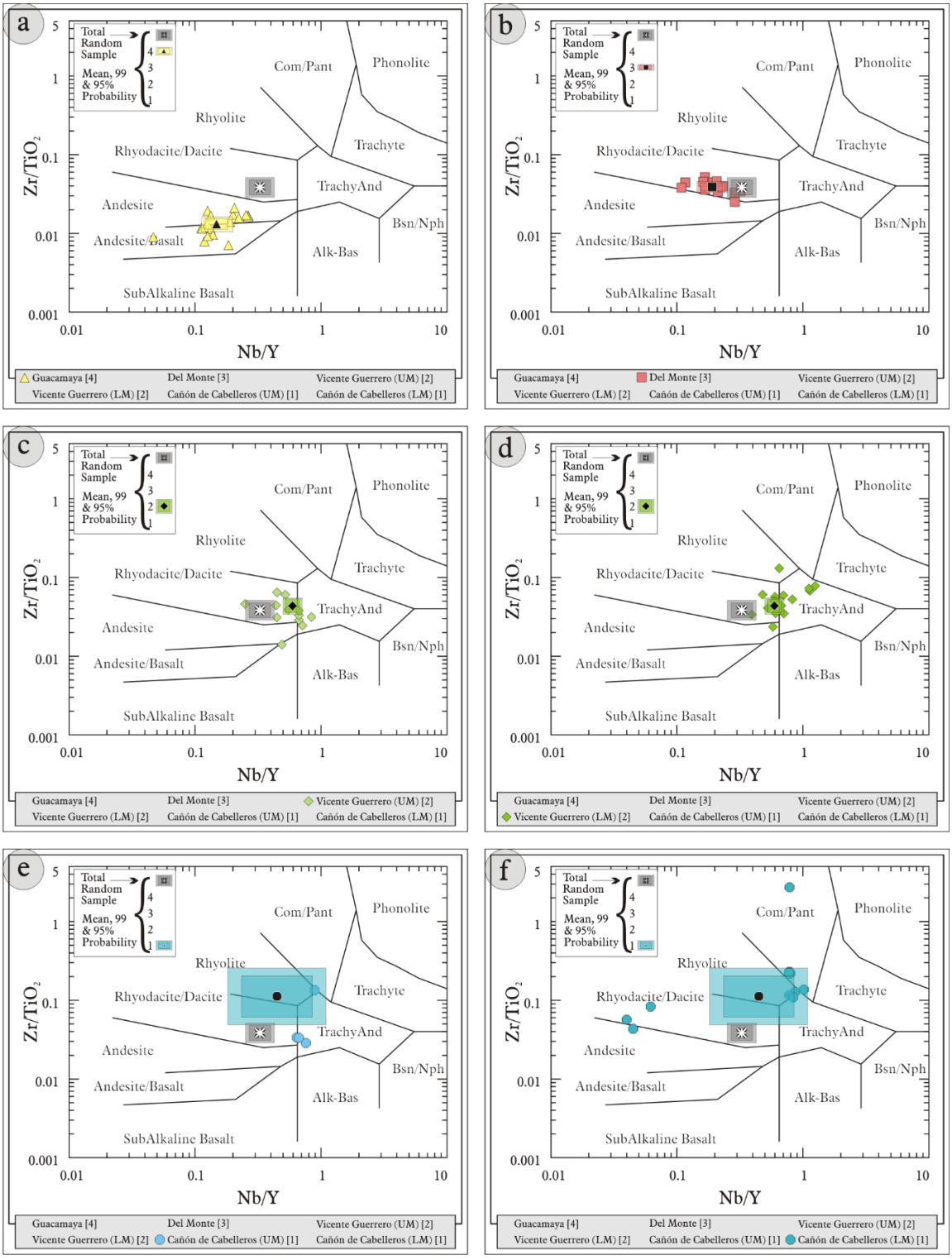


Fig. 9. 39. Posible composición de las rocas del área fuente para los sedimentos del Grupo Tamatán: diagrama bivariado Nb/Y – Zr/TiO_2 (Winchester & Floyd, 1977). **(a)** Formación Guacamaya (Pérmico), **(b)** Formación Del Monte (Pensilvánico), Formación Vicente Guerrero (Misisípico): **(c)** miembro superior, **(d)** miembro inferior y la Formación Cañón de Caballeros (Silúrico Superior- Devónico inferior)**: (e)** miembro superior**, (f)** miembro inferior.

11.5 Datos U-Th-Pb de los circones detríticos

11.5.1 Formación Cañón de Caballeros

Tabla 20. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Cañón de Caballeros por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CC64-04, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 470240 E; 2631770 N.

Muestra: CC64-04 punto (1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
001	A_140	64	11	15	11888	0.23	4.37	1.804	0.068	0.17639	0.00442	0.66	0.07418	0.00210	1047	40	1047	26	**1046**	**57**	100
002	A_141	10	2	3	21	0.30	3.37	1.648	0.231	0.15682	0.00738	0.34	0.07621	0.01006	989	139	939	44	**1101**	**253**	85
003	A_142	279	53	70	8364	0.25	4.01	2.024	0.067	0.19140	0.00468	0.74	0.07671	0.00170	1124	37	1129	28	**1114**	**44**	101
004	A_143	123	22	37	-2237	0.30	3.29	1.934	0.088	0.18125	0.00474	0.58	0.07740	0.00286	1093	49	1074	28	**1132**	**73**	95
005	A_144	507	34	326	230826	0.64	1.56	0.518	0.018	0.06765	0.00166	0.71	0.05558	0.00134	424	15	**422**	**10**	436	53	97
006	A_145	511	34	408	17590	0.80	1.25	0.502	0.017	0.06654	0.00162	0.71	0.05473	0.00132	413	14	**415**	**10**	401	53	104
007	A_146	498	33	316	2362	0.64	1.57	0.509	0.018	0.06684	0.00164	0.71	0.05525	0.00134	418	14	**417**	**10**	422	53	99
008	A_147	54	4	35	11967	0.65	1.54	0.504	0.033	0.06600	0.00186	0.43	0.05534	0.00324	414	27	**412**	**12**	426	127	97
009	A_148	337	23	205	155067	0.61	1.65	0.523	0.019	0.06838	0.00168	0.68	0.05550	0.00146	427	15	**426**	**10**	432	57	99
010	A_149	155	26	49	3156	0.31	3.18	1.700	0.059	0.16989	0.00418	0.70	0.07258	0.00180	1009	35	1012	25	**1002**	**50**	101
011	A_150	113	20	39	133078	0.34	2.93	1.787	0.064	0.17471	0.00432	0.69	0.07419	0.00192	1041	37	1038	26	**1047**	**52**	99
012	A_151	98	6	47	197	0.48	2.08	0.509	0.027	0.06578	0.00174	0.51	0.05610	0.00252	418	22	**411**	**11**	456	98	90
013	A_152	648	43	473	292312	0.73	1.37	0.515	0.017	0.06703	0.00164	0.72	0.05568	0.00130	422	14	**418**	**10**	439	51	95
015	A_154	203	39	95	265471	0.47	2.15	2.105	0.071	0.19425	0.00476	0.73	0.07858	0.00180	1150	39	1144	28	**1162**	**45**	99
016	A_162	132	23	33	156882	0.25	4.03	1.813	0.063	0.17673	0.00436	0.71	0.07439	0.00182	1050	36	1049	26	**1052**	**49**	100
017	A_163	147	31	53	207508	0.36	2.78	2.342	0.079	0.21000	0.00516	0.73	0.08088	0.00188	1225	41	1229	30	**1219**	**45**	101
018	A_164	190	33	70	218908	0.37	2.71	1.744	0.059	0.17159	0.00422	0.73	0.07370	0.00172	1025	35	1021	25	**1033**	**46**	99
019	A_165	166	11	187	71473	1.13	0.89	0.484	0.020	0.06412	0.00162	0.61	0.05471	0.00178	401	17	**401**	**10**	400	71	100
020	A_166	103	32	59	211702	0.57	1.75	4.416	0.148	0.30540	0.00752	0.74	0.10487	0.00238	1715	57	1718	42	**1712**	**42**	100
021	A_167	116	9	76	57251	0.66	1.52	0.569	0.046	0.07355	0.00226	0.38	0.05611	0.00422	457	37	**458**	**14**	456	162	100
022	A_168	95	19	37	699	0.39	2.57	2.234	0.080	0.20273	0.00504	0.69	0.07992	0.00208	1192	43	1190	30	**1195**	**51**	100
023	A_169	89	16	45	108635	0.50	1.99	1.910	0.070	0.18258	0.00454	0.68	0.07589	0.00204	1085	40	1081	27	**1092**	**53**	99
024	A_170	635	44	526	294120	0.83	1.21	0.527	0.019	0.06897	0.00170	0.69	0.05546	0.00142	430	15	**430**	**11**	431	56	100
025	A_171	245	17	171	937	0.70	1.43	0.520	0.019	0.06784	0.00168	0.67	0.05559	0.00152	425	16	**423**	**10**	436	60	97
026	A_174	56	4	52	27829	0.92	1.08	0.564	0.058	0.07345	0.00254	0.34	0.05566	0.00540	454	47	**457**	**16**	439	210	104
027	A_175	684	47	391	1064	0.57	1.75	0.524	0.018	0.06829	0.00168	0.73	0.05565	0.00130	428	15	**426**	**10**	438	50	97
028	A_176	108	22	25	148695	0.23	4.35	2.262	0.079	0.20509	0.00506	0.71	0.07998	0.00196	1201	42	1203	30	**1197**	**48**	101
029	A_177	120	21	34	141356	0.28	3.55	1.811	0.064	0.17554	0.00434	0.70	0.07484	0.00190	1050	37	1043	26	**1064**	**51**	98
030	A_178	67	18	37	121660	0.55	1.83	3.335	0.173	0.26927	0.00750	0.54	0.08982	0.00392	1489	77	1537	43	**1422**	**82**	108
031	A_179	181	32	94	212503	0.52	1.91	1.774	0.061	0.17513	0.00430	0.72	0.07346	0.00174	1036	35	1040	26	**1027**	**48**	101
032	A_180	186	13	101	87198	0.54	1.85	0.534	0.025	0.06984	0.00180	0.54	0.05542	0.00222	434	21	**435**	**11**	429	87	101
033	A_181	81	14	18	340	0.23	4.42	1.733	0.078	0.16620	0.00434	0.58	0.07561	0.00278	1021	46	991	26	**1085**	**73**	91
034	A_182	178	12	128	83029	0.72	1.39	0.522	0.020	0.06935	0.00174	0.65	0.05462	0.00162	427	17	**432**	**11**	397	65	109
035	A_183	137	25	83	166039	0.61	1.65	1.865	0.065	0.18104	0.00448	0.71	0.07473	0.00184	1069	37	1073	27	1061	49	101
036	A_184	53	4	27	24594	0.50	1.99	0.532	0.038	0.06869	0.00200	0.40	0.05619	0.00370	433	31	**428**	**12**	459	143	93
037	A_185	272	59	95	393700	0.35	2.85	2.474	0.082	0.21595	0.00530	0.74	0.08310	0.00186	1265	42	1260	31	**1272**	**43**	99
038	A_186	273	48	93	321097	0.34	2.94	1.814	0.061	0.17545	0.00430	0.73	0.07497	0.00174	1050	35	1042	26	**1068**	**46**	98
039	A_187	59	4	38	346	0.64	1.55	0.505	0.026	0.06620	0.00174	0.52	0.05538	0.00240	415	21	**413**	**11**	427	95	97
040	A_188	101	7	84	49522	0.83	1.20	0.765	0.031	0.07295	0.00186	0.63	0.07606	0.00240	577	23	**454**	**12**	1097	62	41
041	A_191	38	3	24	18465	0.64	1.56	0.734	0.087	0.07211	0.00290	0.34	0.07378	0.00818	559	66	**449**	**18**	1035	216	43
042	A_192	203	14	138	534	0.68	1.48	0.520	0.021	0.06775	0.00170	0.64	0.05570	0.00170	425	17	**423**	**11**	440	66	96
043	A_193	46	3	28	104	0.61	1.64	0.507	0.029	0.06653	0.00180	0.48	0.05530	0.00274	417	24	**415**	**11**	424	107	98
044	A_194	314	62	51	417533	0.16	6.14	2.158	0.074	0.19827	0.00488	0.72	0.07894	0.00186	1168	40	1166	29	**1171**	**46**	100
045	A_195	28	5	5	1383	0.16	6.13	1.676	0.085	0.16670	0.00450	0.53	0.07292	0.00312	1000	51	994	27	**1012**	**85**	98
046	A_196	146	10	105	2290	0.72	1.40	0.529	0.028	0.06919	0.00184	0.50	0.05546	0.00256	431	23	**431**	**11**	431	100	100
047	A_197	352	62	59	4844	0.17	5.97	1.800	0.059	0.17658	0.00432	0.74	0.07395	0.00164	1046	35	1048	26	**1040**	**45**	101
048	A_198	98	20	22	1554	0.23	4.40	2.205	0.078	0.20040	0.00498	0.70	0.07980	0.00200	1183	42	1177	29	**1192**	**49**	99
049	A_199	232	47	69	5533	0.30	3.37	2.316	0.089	0.20437	0.00516	0.66	0.08218	0.00236	1217	47	1199	30	**1250**	**55**	96
050	A_200	330	22	249	148483	0.76	1.32	0.513	0.019	0.06717	0.00166	0.68	0.05541	0.00146	421	15	**419**	**10**	428	58	98
051	A_201	125	28	32	1939	0.26	3.91	2.646	0.109	0.22402	0.00576	0.63	0.08568	0.00274	1314	54	1303	34	**1331**	**62**	98
052	A_202	220	43	155	1901	0.71	1.42	2.149	0.072	0.19706	0.00484	0.73	0.07909	0.00180	1165	39	1160	28	**1174**	**45**	99
053	A_203	113	19	34	127499	0.30	3.36	1.716	0.062	0.16889	0.00420	0.69	0.07368	0.00194	1014	37	1006	25	**1033**	**52**	97
054	A_204	75	5	46	34141	0.61	1.64	0.514	0.026	0.06752	0.00178	0.51	0.05522	0.00244	421	22	**421**	**11**	421	96	100
055	A_205	184	13	88	438	0.48	2.10	0.546	0.023	0.07100	0.00180	0.60	0.05574	0.00186	442	19	**442**	**11**	442	73	100
056	A_208	221	15	177	291	0.80	1.25	0.537	0.021	0.06971	0.00174	0.65	0.05592	0.00164	437	17	**434**	**11**	449	64	97
057	A_209	43	8	10	270	0.23	4.30	1.786	0.075	0.17367	0.00446	0.61	0.07459	0.00246	1040	43	1032	27	**1057**	**67**	98
058	A_210	237	16	170	107737	0.72	1.39	0.519	0.019	0.06794	0.00168	0.66	0.05541	0.00154	425	16	**424**	**10**	429	61	99
059	A_211	155	11	68	191	0.44	2.27	0.525	0.021	0.06884	0.00172	0.63	0.05528	0.00170	428	17	**429**	**11**	423	68	101
060	A_212	175	11	93	74394	0.53	1.88	0.482	0.025	0.06352	0.00168	0.51	0.05508	0.00246	400	21	**397**	**11**	416	97	96
061	A_213	56	4	31	3452	0.55	1.83	0.491	0.026	0.06427	0.00170	0.51	0.05540	0.00250	406	21	**402**	**11**	428	98	94
062	A_214	108	19	28	8917	0.26	3.83	1.751	0.063	0.17265	0.00430	0.69	0.07354	0.00190	1027	37	1027	26	**1029**	**51**	100
063	A_215	59	4	32	1314	0.54	1.85	0.504	0.026	0.06616	0.00174	0.52	0.05522	0.00240	414	21	**413**	**11**	421	95	98
064	A_216	170	26	73	173787	0.43	2.33	1.518	0.059	0.15251	0.00384	0.65	0.07217	0.00214	938	36	915	23	**991**	**60**	92
065	A_217	525	38	500	3560	0.95	1.05	0.563	0.023	0.07293	0.00184	0.63	0.05595	0.00174	453	18	**454**	**11**	450	67	101
066	A_218	46	9	39	62991	0.84	1.19	2.242	0.087	0.20372	0.00516	0.65	0.07983	0.00234	1194	46	1195	30	**1193**	**57**	100
067	A_219	248	42	55	281149	0.22	4.52	1.693	0.057	0.16901	0.00416	0.73	0.07264	0.00168	1006	34	1007	25	**1004**	**47**	100
068	A_220	74	5	61	320	0.83	1.21	0.536	0.053	0.06876	0.00234	0.34	0.05658	0.00524	436	43	**429**	**15**	474	200	90

Muestra: CC64-04 punto (1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
069	A_221	32	5	9	35728	0.28	3.53	1.686	0.085	0.16823	0.00454	0.53	0.07268	0.00312	1003	51	1002	27	**1005**	**86**	100
070	A_222	67	12	24	78914	0.36	2.76	1.785	0.067	0.17682	0.00444	0.67	0.07320	0.00204	1040	39	1050	26	**1020**	**56**	103
071	A_225	150	26	55	172980	0.37	2.72	1.780	0.096	0.17278	0.00476	0.51	0.07472	0.00344	1038	56	1027	28	**1061**	**91**	97
072	A_226	82	16	44	21965	0.54	1.87	2.201	0.079	0.20023	0.00500	0.69	0.07973	0.00208	1181	43	1177	29	**1190**	**51**	99
073	A_227	174	12	110	78368	0.64	1.57	0.511	0.020	0.06732	0.00168	0.64	0.05503	0.00166	419	16	**420**	**10**	413	66	102
074	A_228	94	18	28	123270	0.30	3.38	2.115	0.079	0.19655	0.00494	0.67	0.07805	0.00216	1154	43	1157	29	**1148**	**55**	101
075	A_229	112	8	101	54013	0.90	1.12	0.554	0.025	0.07189	0.00184	0.57	0.05589	0.00208	448	20	**448**	**11**	448	81	100
076	A_230	53	3	35	409	0.67	1.50	0.503	0.029	0.06590	0.00180	0.47	0.05532	0.00282	414	24	**411**	**11**	425	111	97
077	A_231	137	10	68	65047	0.50	2.01	0.544	0.027	0.07076	0.00184	0.53	0.05572	0.00230	441	22	**441**	**11**	441	90	100
078	A_232	164	11	202	208	1.24	0.81	0.522	0.022	0.06776	0.00172	0.60	0.05586	0.00190	426	18	**423**	**11**	446	74	95
079	A_233	105	7	54	49581	0.51	1.95	0.539	0.031	0.07049	0.00192	0.47	0.05541	0.00284	437	25	**439**	**12**	428	112	102
080	A_234	112	18	99	30689	0.89	1.12	1.690	0.078	0.16114	0.00424	0.57	0.07608	0.00286	1005	46	963	25	**1097**	**74**	88
081	A_235	256	20	85	133531	0.33	2.99	0.600	0.044	0.07809	0.00230	0.41	0.05572	0.00370	477	35	**485**	**14**	441	144	110
082	A_236	299	56	53	2678	0.18	5.62	1.981	0.066	0.18634	0.00458	0.73	0.07710	0.00176	1109	37	1102	27	**1124**	**45**	98
083	A_237	127	25	44	5320	0.34	2.91	2.196	0.077	0.19980	0.00496	0.71	0.07970	0.00196	1180	41	1174	29	**1190**	**48**	99
084	A_238	281	56	54	377705	0.19	5.17	2.199	0.074	0.20121	0.00496	0.74	0.07925	0.00180	1181	40	1182	29	**1178**	**45**	100
085	A_239	123	8	60	56134	0.49	2.05	0.526	0.022	0.06847	0.00174	0.61	0.05575	0.00186	429	18	**427**	**11**	442	73	97
086	A_247	45	3	27	107	0.59	1.70	0.516	0.093	0.06827	0.00346	0.28	0.05485	0.00948	423	76	**426**	**22**	406	366	105
087	A_248	405	69	110	4229	0.27	3.69	1.741	0.059	0.17042	0.00420	0.73	0.07408	0.00170	1024	34	1014	25	**1044**	**46**	97
088	A_249	399	28	188	184928	0.47	2.12	0.531	0.021	0.06933	0.00174	0.62	0.05556	0.00176	433	17	**432**	**11**	434	69	99
089	A_250	35	7	17	48998	0.48	2.09	2.338	0.095	0.20834	0.00534	0.63	0.08138	0.00256	1224	50	1220	31	**1231**	**61**	99
090	A_251	50	8	6	55216	0.12	8.36	1.636	0.071	0.16410	0.00426	0.59	0.07232	0.00254	984	43	980	25	**995**	**71**	98
091	A_252	102	7	70	118	0.69	1.44	0.507	0.022	0.06714	0.00172	0.58	0.05472	0.00198	416	18	**419**	**11**	400	81	105
092	A_253	302	20	187	1978	0.62	1.62	0.505	0.021	0.06594	0.00168	0.61	0.05556	0.00186	415	17	**412**	**10**	435	73	95
093	A_254	84	18	62	119121	0.74	1.34	2.397	0.086	0.21290	0.00532	0.69	0.08166	0.00212	1242	45	1244	31	**1237**	**51**	101
094	A_255	169	11	88	454	0.52	1.93	0.496	0.020	0.06532	0.00164	0.62	0.05508	0.00174	409	17	**408**	**10**	415	69	98
095	A_256	212	47	48	315749	0.23	4.43	2.594	0.102	0.22284	0.00568	0.65	0.08442	0.00252	1299	51	1297	33	**1302**	**57**	100
096	A_259	74	5	55	33501	0.74	1.35	0.516	0.029	0.06747	0.00182	0.49	0.05548	0.00268	423	23	**421**	**11**	431	105	98
097	A_260	301	21	255	138446	0.85	1.18	0.534	0.020	0.06878	0.00172	0.67	0.05628	0.00156	434	16	**429**	**11**	463	61	93
098	A_261	74	5	63	31	0.86	1.16	0.542	0.055	0.07031	0.00242	0.34	0.05593	0.00536	440	45	**438**	**15**	449	207	98
099	A_262	93	5	91	72	0.98	1.02	0.522	0.036	0.05320	0.00158	0.44	0.07122	0.00436	427	29	**334**	**10**	964	122	35
100	A_263	307	21	135	138725	0.44	2.28	0.514	0.019	0.06761	0.00168	0.68	0.05511	0.00148	421	15	**422**	**10**	417	59	101
101	A_264	538	37	680	245519	1.26	0.79	0.523	0.018	0.06833	0.00168	0.70	0.05547	0.00138	427	15	**426**	**10**	431	55	99
102	A_265	661	85	141	4463	0.21	4.69	1.292	0.043	0.12864	0.00316	0.74	0.07285	0.00164	842	28	780	19	**1010**	**45**	77
103	A_266	45	9	22	479	0.49	2.06	2.149	0.085	0.19756	0.00504	0.65	0.07889	0.00238	1165	46	1162	30	**1169**	**59**	99
104	A_267	276	51	93	2249	0.34	2.96	1.938	0.066	0.18467	0.00456	0.73	0.07611	0.00178	1094	37	1093	27	**1098**	**46**	99
105	A_268	114	22	44	4029	0.38	2.60	2.092	0.075	0.19501	0.00486	0.70	0.07781	0.00198	1146	41	1148	29	**1142**	**50**	101
106	A_269	145	29	29	193789	0.20	5.04	2.205	0.077	0.20065	0.00498	0.71	0.07971	0.00194	1183	41	1179	29	**1190**	**48**	99
107	A_270	47	9	18	58664	0.39	2.56	1.978	0.082	0.18731	0.00482	0.62	0.07657	0.00250	1108	46	1107	28	**1110**	**64**	100
108	A_271	160	31	34	207881	0.22	4.64	2.091	0.073	0.19506	0.00484	0.71	0.07776	0.00190	1146	40	1149	29	**1141**	**48**	101
109	A_272	69	13	50	537	0.72	1.40	2.138	0.093	0.19269	0.00502	0.60	0.08047	0.00280	1161	50	1136	30	**1209**	**68**	94
110	A_273	77	6	62	41011	0.80	1.24	0.627	0.044	0.08009	0.00234	0.42	0.05679	0.00362	494	35	**497**	**15**	483	139	103

Abreviaciones: **(a)** La concentración de U y Pb y las relaciones Th / U se calculan con respecto al circón de referencia GJ-1; **(b)** = La correción para el fraccionamiento Pb / U de fondo y dentro de la ejecución, son normalizadas con el circón de referencia GJ-1 (valores ID-TIMS / valor medido); El ^{207}Pb / ^{235}U es calculado utilizando ($^{207}Pb/^{206}Pb$)/($^{238}U/^{206}Pb$*1/137.88); **(c)** = *Rho* es la correlación de los errores, definido como el cociente de los errores propagados en la relación $^{206}Pb/^{238}U$ y $^{207}Pb/^{235}U$; **(d)** = exhibe la suma cuadrática de los errores intraserie (2SD) y la reproducibilidad díaria de GJ-1 (2SD); **(e)** = exhibe la correción para el sesgo de masa que es normalizando con el circón de referencia GJ-1 (~ 0,6 por unidad de masa atómica) y el Pb común es usando del modelo de composición de Pb de Stacey & Kramers (1975). **(1)** es el identificador de la muestra y número de punto [*números faltantes*: puntos que fueron omitidos por su alto error analítico], **(2)** exhibe las relaciones de isótopica corregida para Pb común usando ^{204}Pb medidos para la corrección. Los errores individuales se expresan como desviación estándar de 2- sigma y **(3)** exhibe las edades aparentes más confiables y están en negrita. **Nota:** Si el promedio de las edades aparentes es del Proterozoico medio o más antiguo (> 900 Ma), entonces las edades de $^{207}Pb/^{206}Pb$ se consideran como edades aparentes más confiables; Mientras que, para los valores más jóvenes se utilizan las edades de $^{206}Pb/^{238}U$.

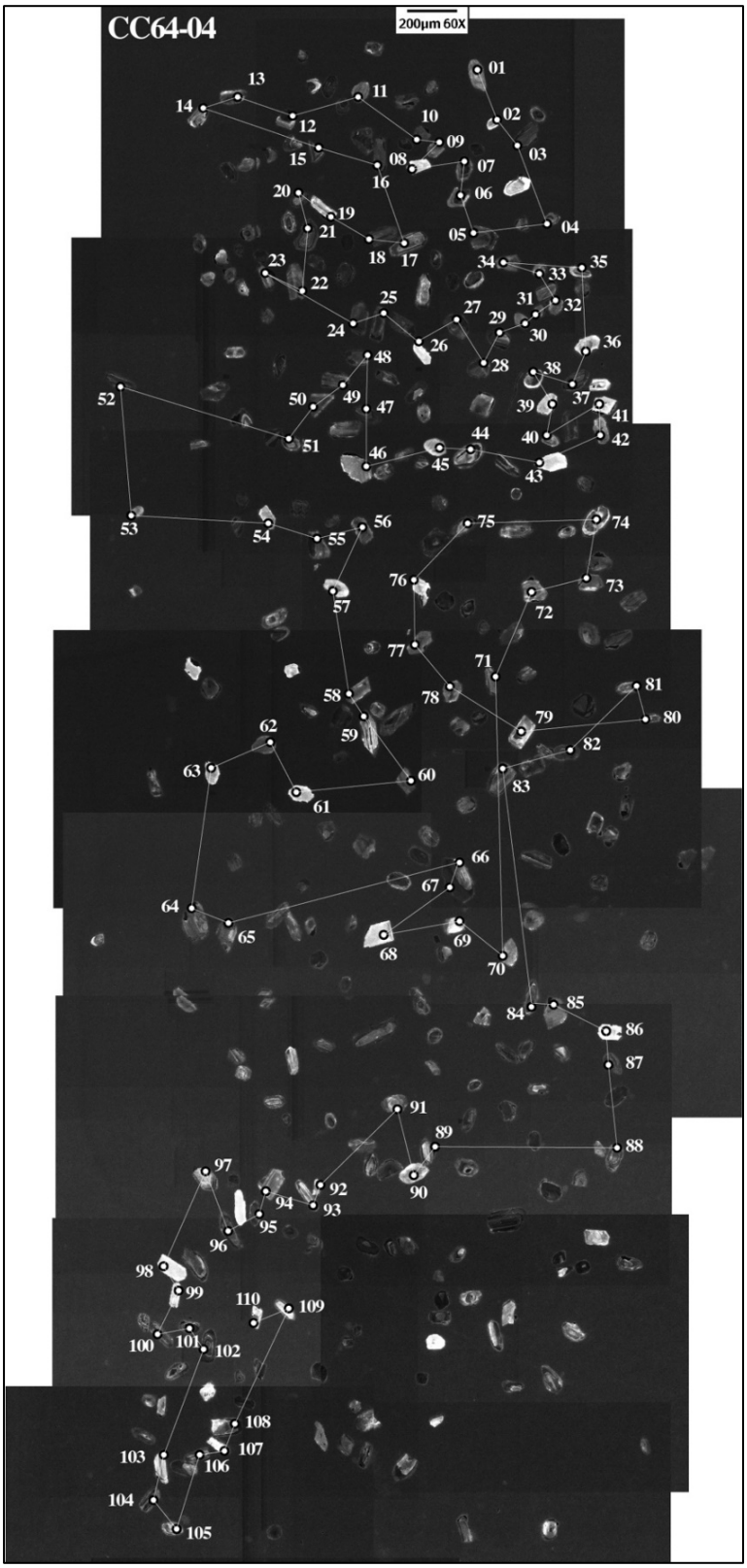


Fig. 9. 40. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CC64-04 de la Formación Cañón de Caballeros. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots).

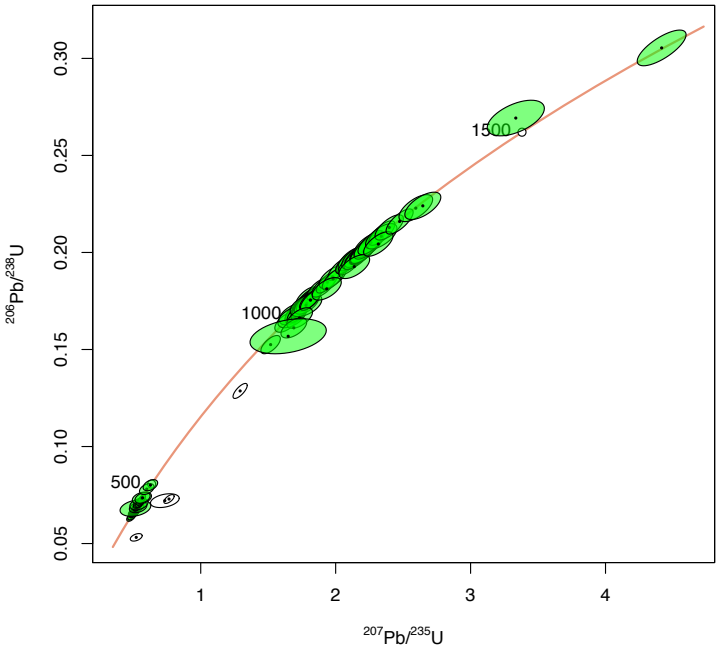


Fig. 9. 41. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CC64-04 de la Formación Cañóon de Caballeros. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma.

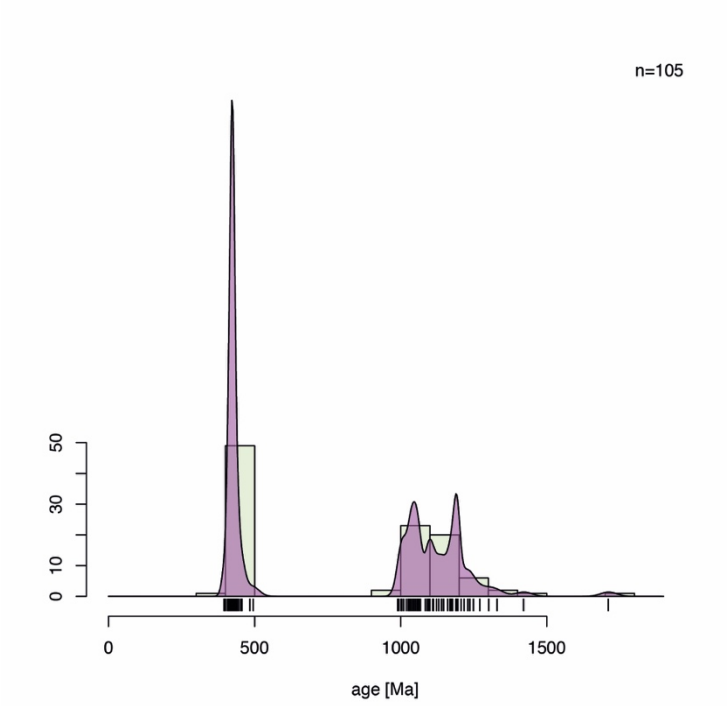


Fig. 9. 42. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC64-04 de la Formación Cañóon de Caballeros con respecto a la media de las edades.

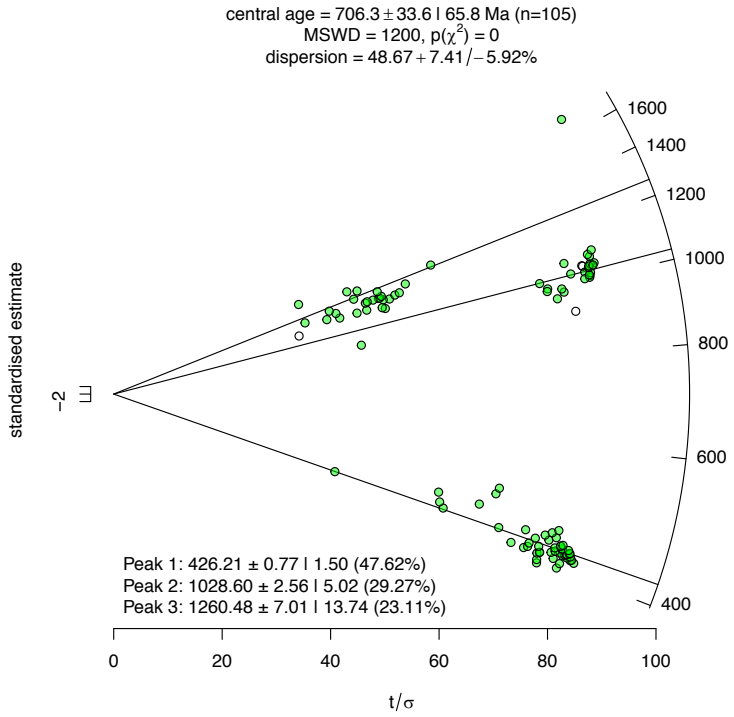
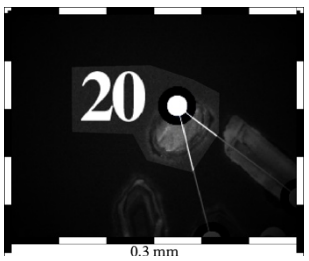
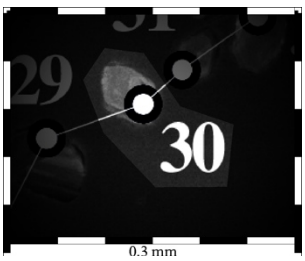
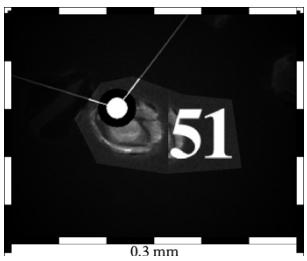
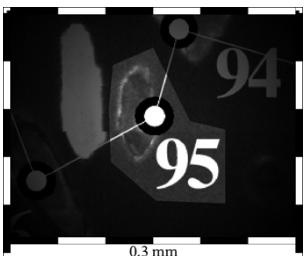
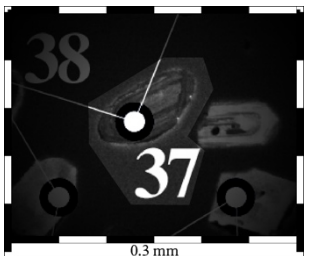
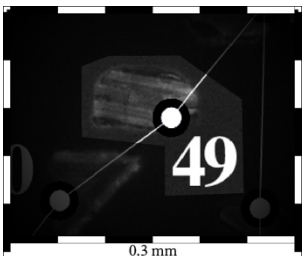
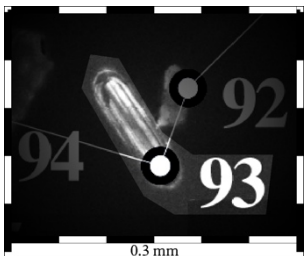
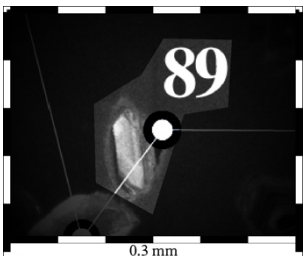
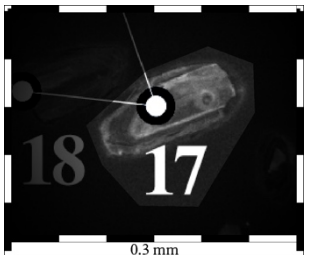
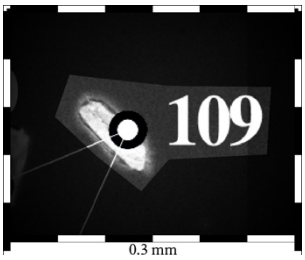
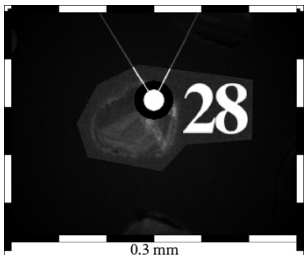
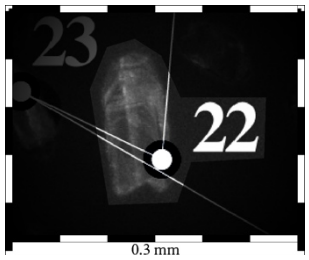
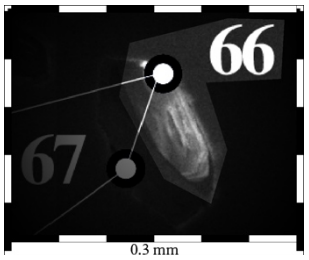
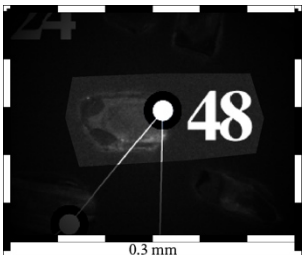
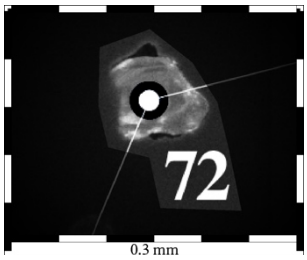
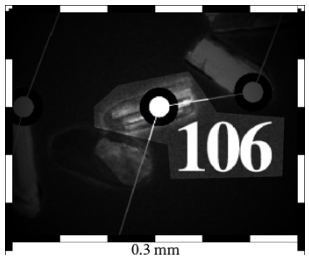
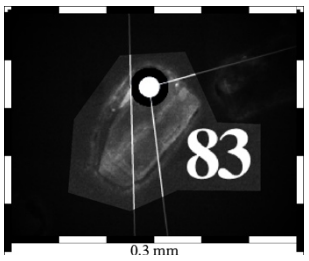
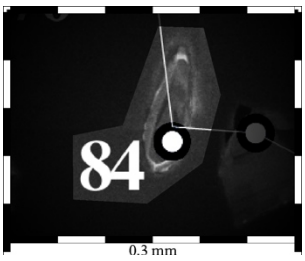
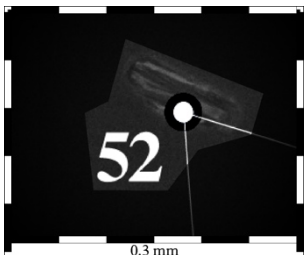
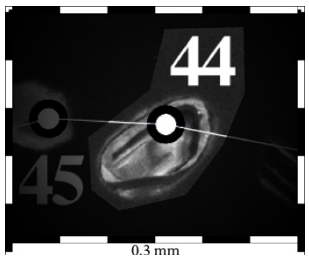
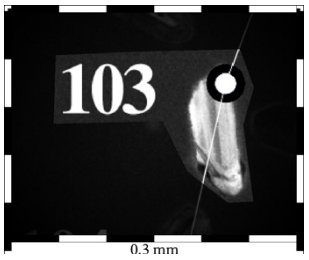
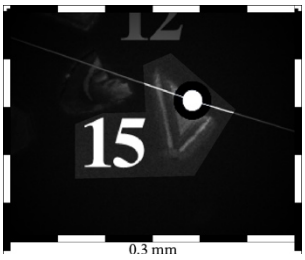
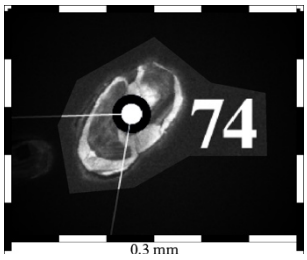
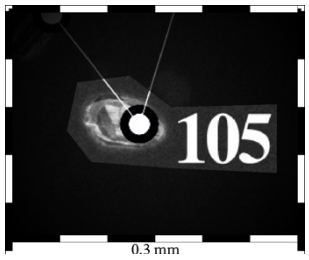
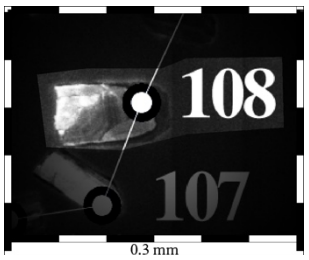
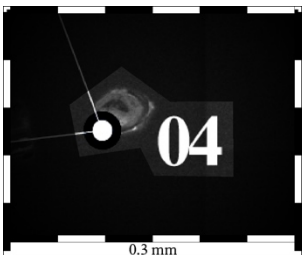
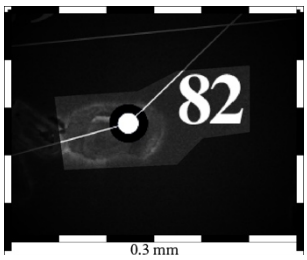
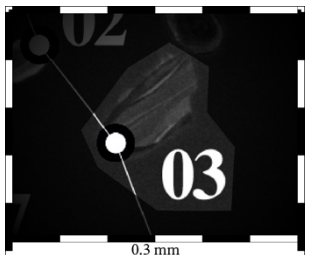
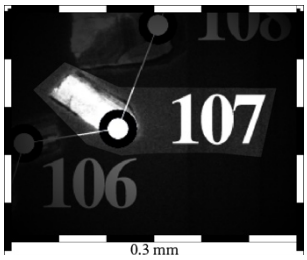
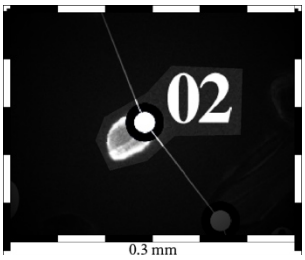
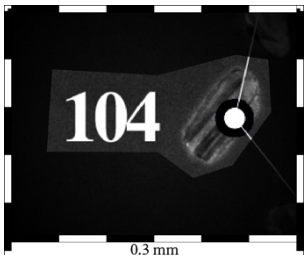
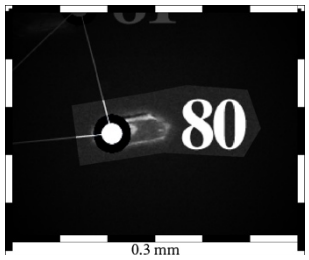
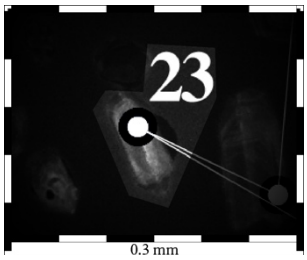
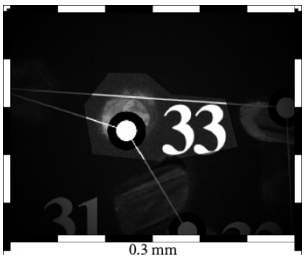
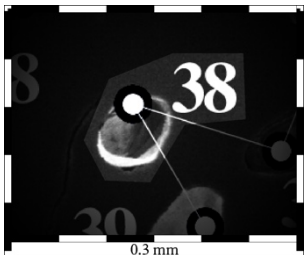
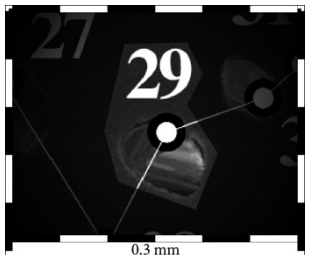
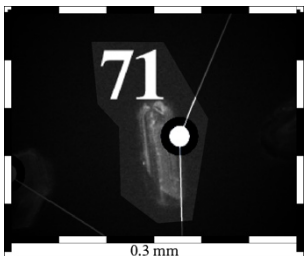
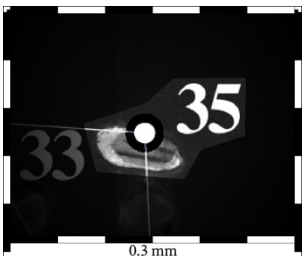
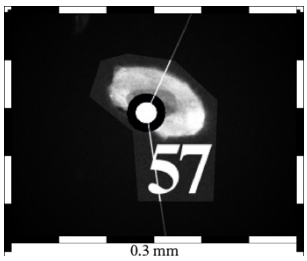
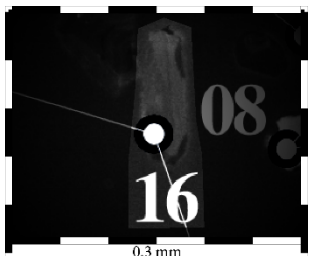
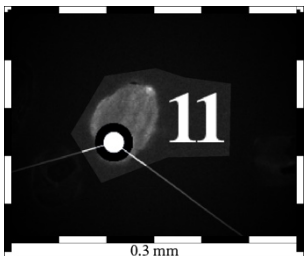
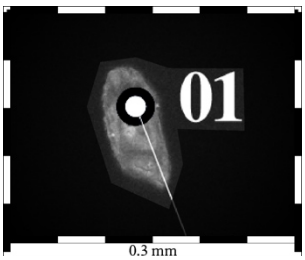
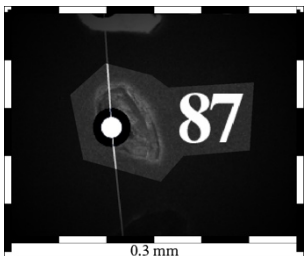
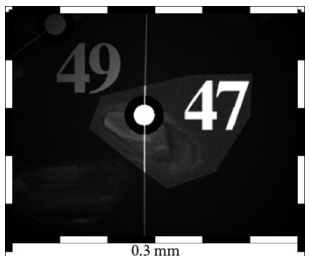
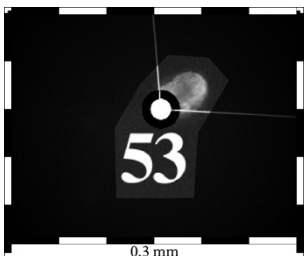
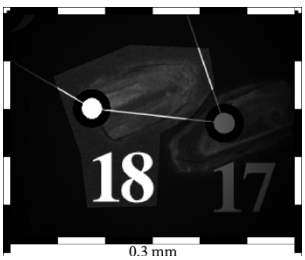
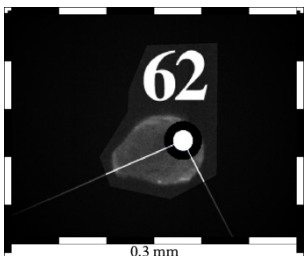
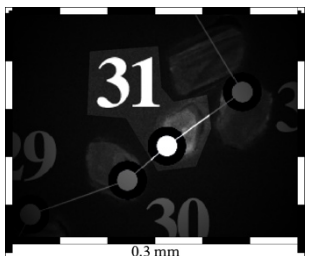


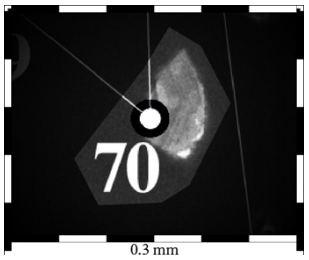
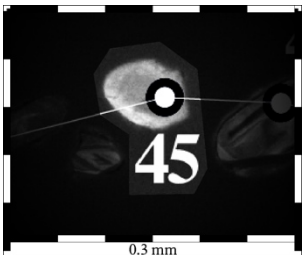
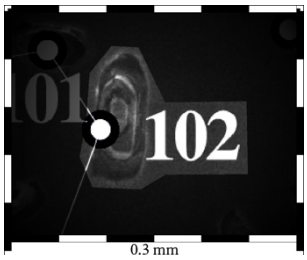
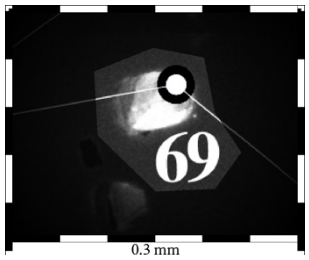
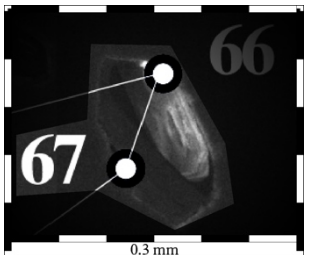
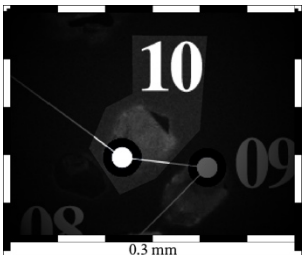
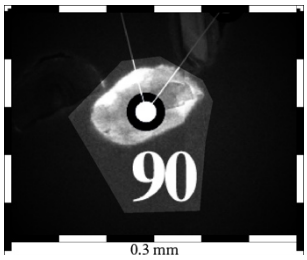
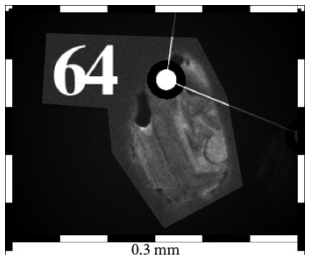
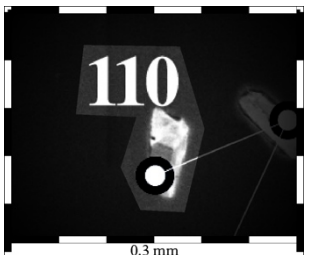
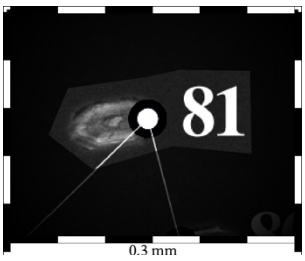
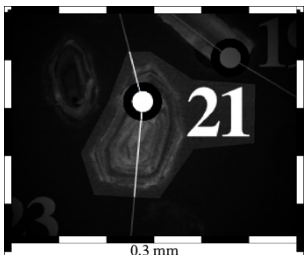
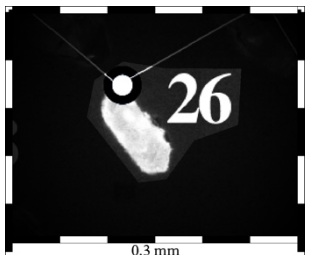
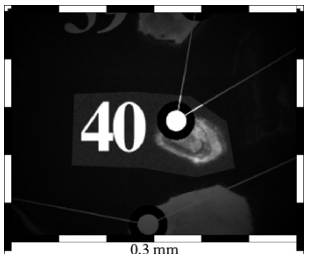
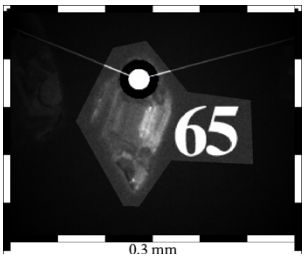
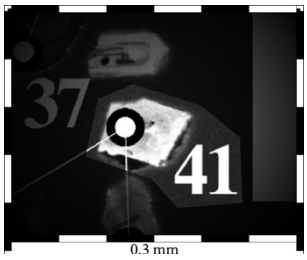
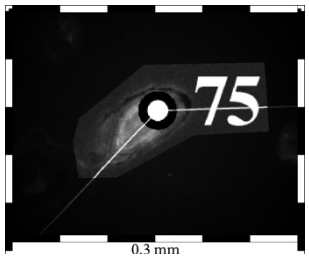
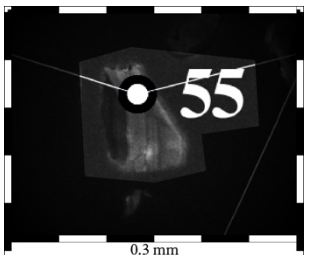
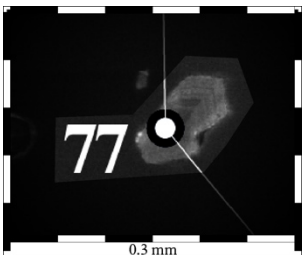
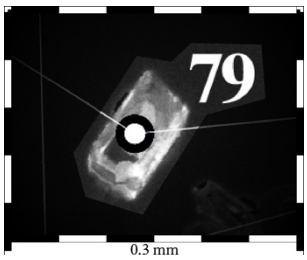
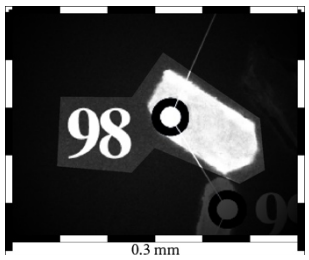
Fig. 9. 43. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Cañón de Caballeros, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018).

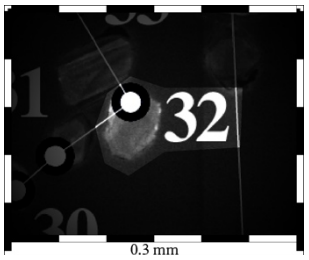
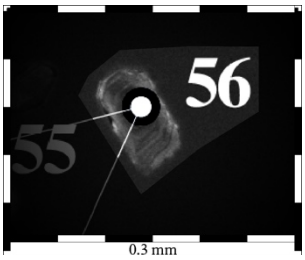
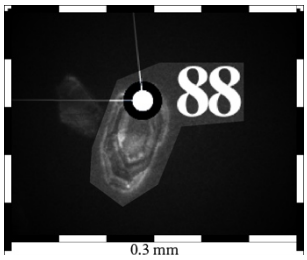
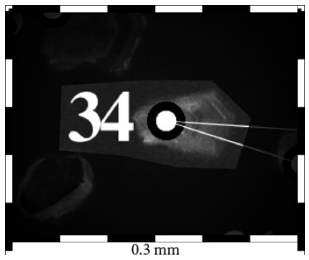
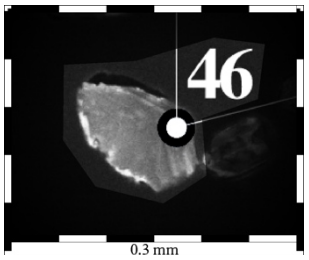
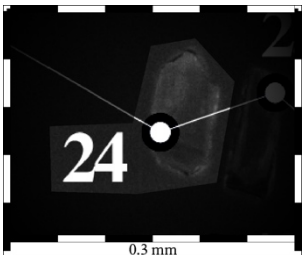
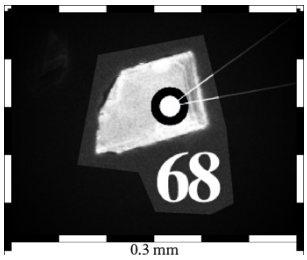
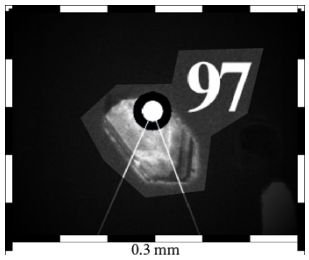
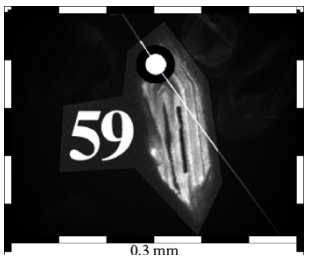
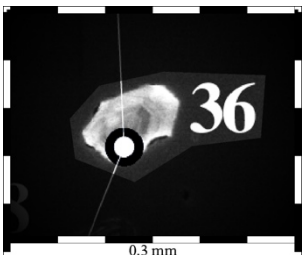
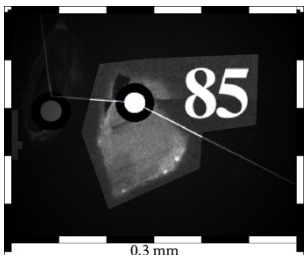
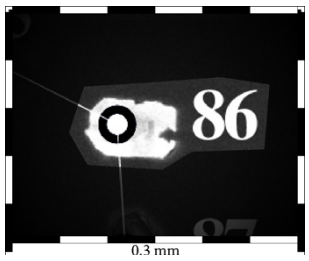
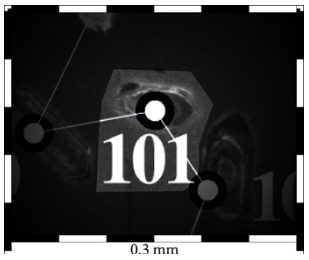
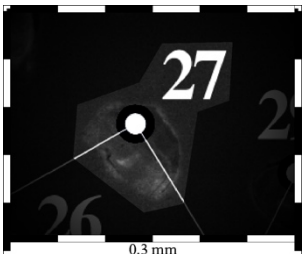
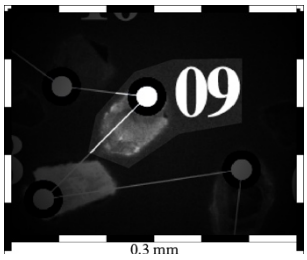
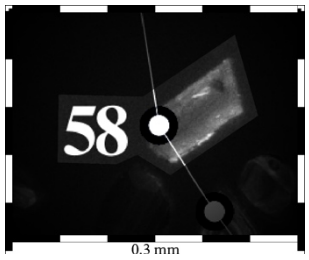
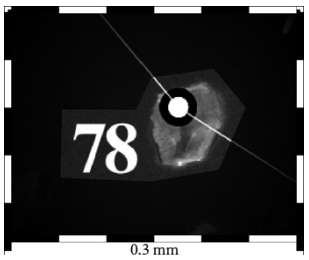
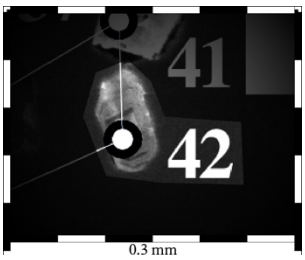
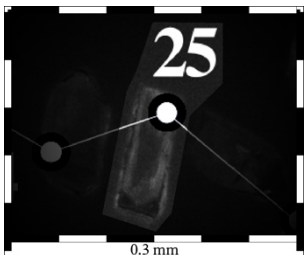
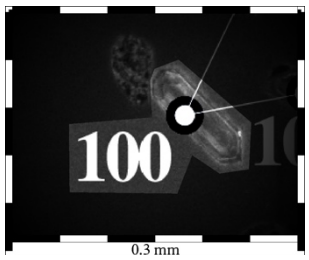
Tabla 21. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013).

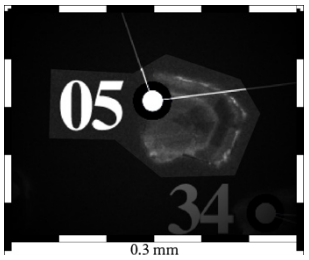
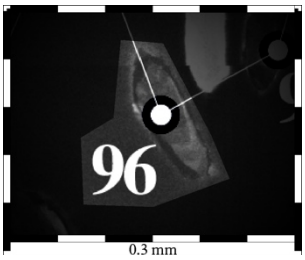
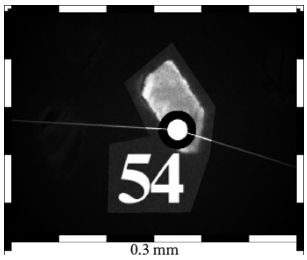
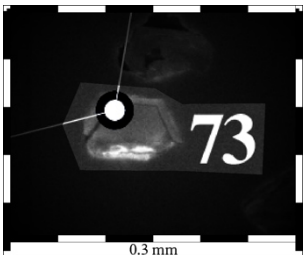
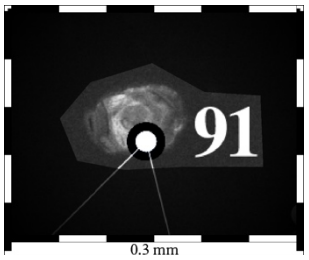
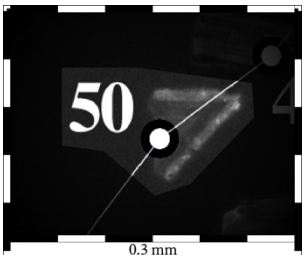
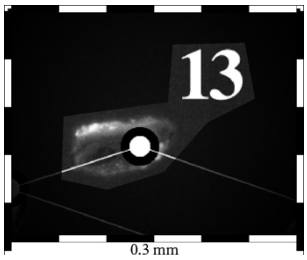
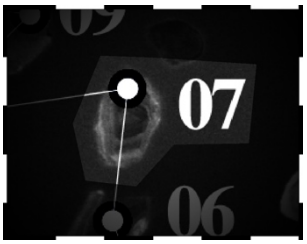
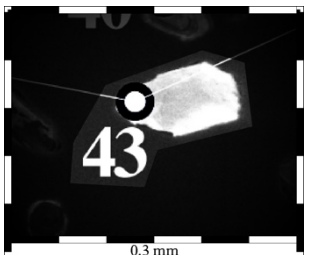
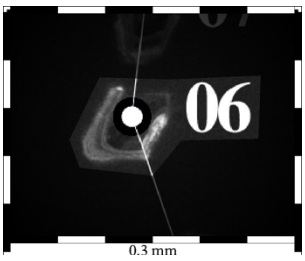
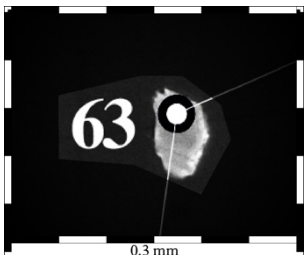
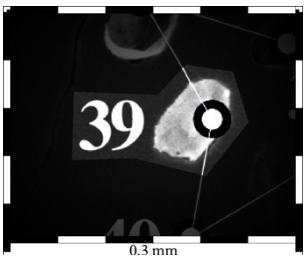
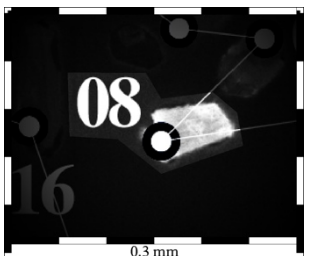
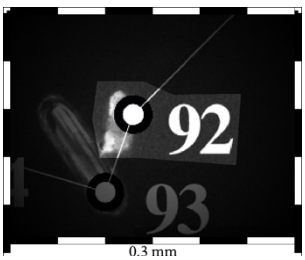
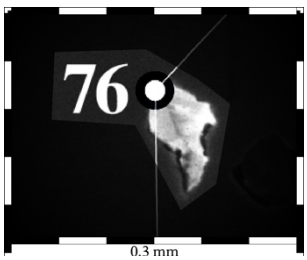
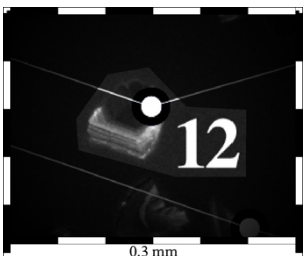
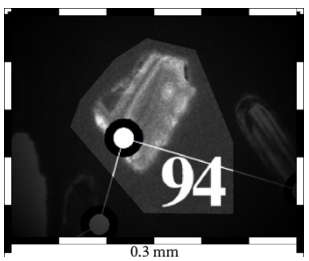
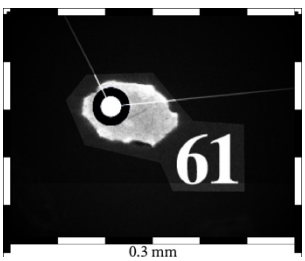
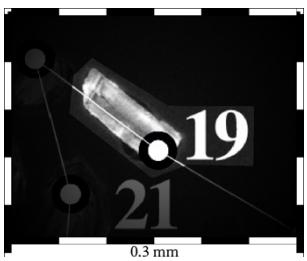
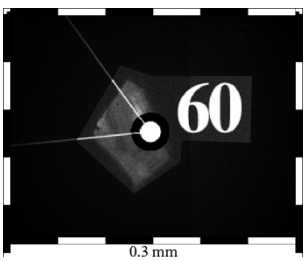
Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior)			
			
CC64-04–020 → 1712±42 Ma	CC64-04–030 → 1422±82 Ma	CC64-04–051 → 1331±62 Ma	CC64-04–095 → 1302±57 Ma
			
CC64-04–037 → 1272±43 Ma	CC64-04–049 → 1250±55 Ma	CC64-04–093 → 1237±51 Ma	CC64-04–089 → 1231±61 Ma

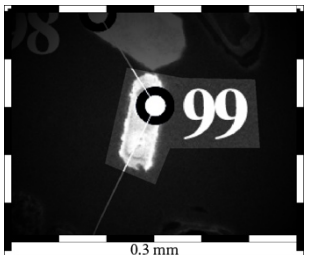
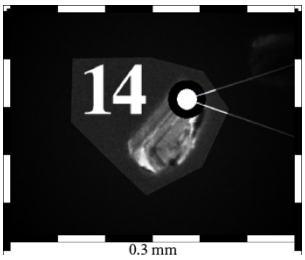
Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior)			
			
CC64-04–017 → 1219±45 Ma	CC64-04–109 → 1209±68 Ma	CC64-04–028 → 1197±48 Ma	CC64-04–022 → 1195±51 Ma
			
CC64-04–066 → 1193±57 Ma	CC64-04–048 → 1192±49 Ma	CC64-04–072 → 1190±51 Ma	CC64-04–106 → 1190±48 Ma
			
CC64-04–083 → 1190±48 Ma	CC64-04–084 → 1178±45 Ma	CC64-04–052 → 1174±45 Ma	CC64-04–044 → 1171±46 Ma
			
CC64-04–103 → 1169±59 Ma	CC64-04–015 → 1162±45 Ma	CC64-04–074 → 1148±55 Ma	CC64-04–105 → 1142±50 Ma
			
CC64-04–108 → 1141±48 Ma	CC64-04–004 → 1132±73 Ma	CC64-04–082 → 1124±45 Ma	CC64-04–003 → 1114±44 Ma

Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior)			
			
CC64-04–107 → 1110±64 Ma	CC64-04–002 → 1101±53 Ma	CC64-04–104 → 1098±46 Ma	CC64-04–080 → 1097±74 Ma
			
CC64-04–023 → 1092±53 Ma	CC64-04–033 → 1085±73 Ma	CC64-04–038 → 1068±46 Ma	CC64-04–029 → 1064±51 Ma
			
CC64-04–071 → 1061±91 Ma	CC64-04–035 → 1061±49yy Ma	CC64-04–057 → 1057±67 Ma	CC64-04–016 → 1052±49 Ma
			
CC64-04–011 → 1047±52 Ma	CC64-04–001 → 1046±57 Ma	CC64-04–087 → 1044±46 Ma	CC64-04–047 → 1040±45 Ma
			
CC64-04–053 → 1033±52 Ma	CC64-04–018 → 1033±46 Ma	CC64-04–062 → 1029±51 Ma	CC64-04–031 → 1027±48 Ma

Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior)			
			
CC64-04–070 → 1020±56 Ma	CC64-04–045 → 1012±85 Ma	CC64-04–102 → 1010±45 Ma	CC64-04–069 → 1005±86 Ma
			
CC64-04–067 → 1004±57 Ma	CC64-04–010 → 1002±50 Ma	CC64-04–090 → 995±71 Ma	CC64-04–064 → 991±60 Ma
			
CC64-04–110 → 497±15 Ma	CC64-04–081 → 485±14 Ma	CC64-04–021 → 458±14 Ma	CC64-04–026 → 457±16 Ma
			
CC64-04–040 → 454±12 Ma	CC64-04–065 → 454±11 Ma	CC64-04–041 → 0449±18 Ma	CC64-04–075 → 448±11 Ma
			
CC64-04–055 → 442±11 Ma	CC64-04–077 → 441±11 Ma	CC64-04–079 → 439±12 Ma	CC64-04–098 → 438±15 Ma

Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior)			
			
CC64-04–032 → 435±11 Ma	CC64-04–056 → 434±11 Ma	CC64-04–088 → 432±11 Ma	CC64-04–034 → 432±11 Ma
			
CC64-04–046 → 431±11 Ma	CC64-04–024 → 430±11 Ma	CC64-04–068 → 429±15 Ma	CC64-04–097 → 429±11 Ma
			
CC64-04–059 → 429±11 Ma	CC64-04–036 → 428±12 Ma	CC64-04–085 → 427±11 Ma	CC64-04–086 → 426±22 Ma
			
CC64-04–101 → 426±10 Ma	CC64-04–027 → 426±10 Ma	CC64-04–009 → 426±10 Ma	CC64-04–058 → 424±10 Ma
			
CC64-04–078 → 423±11 Ma	CC64-04–042 → 423±11 Ma	CC64-04–025 → 423±10 Ma	CC64-04–100 → 422±10 Ma

Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior)			
			
CC64-04–005 → 422±10 Ma	CC64-04–096 → 421±11 Ma	CC64-04–054 → 421±11 Ma	CC64-04–073 → 420±10 Ma
			
CC64-04–091 → 419±11 Ma	CC64-04–050 → 419±10 Ma	CC64-04–013 → 418±10 Ma	CC64-04–007 → 417±10 Ma
			
CC64-04–043 → 415±11 Ma	CC64-04–006 → 415±10 Ma	CC64-04–063 → 413±11 Ma	CC64-04–039 → 413±11 Ma
			
CC64-04–008 → 412±12 Ma	CC64-04–092 → 412±10 Ma	CC64-04–076 → 411±11 Ma	CC64-04–012 → 411±11 Ma
			
CC64-04–094 → 408±10 Ma	CC64-04–061 → 402±11 Ma	CC64-04–019 → 401±10 Ma	CC64-04–060 → 397±11 Ma

Formación Cañón de Caballeros (Silúrico superior – Devónico inferior)			
			
CC64-04–099 → 334±10 Ma	CC64-04–014 → xxxx±yy Ma		

11.5.2 Formación Vicente Guerrero

Tabla 22. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Vicente Guerrero por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CC54-14, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 469772 E, 2632328 N.

Muestra: CC5414 Punto(1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
001	14-001	86	17	29	115992	0.34	2.92	2.06	0.08	0.193	0.005	0.71	0.077	0.002	1136	42	1139	30	**1130**	**52**	101
002	14-002	77	21	18	148094	0.24	4.18	3.71	0.13	0.276	0.007	0.73	0.097	0.002	1573	56	1572	41	**1573**	**45**	100
003	14-003	149	29	58	14332	0.39	2.56	2.07	0.08	0.192	0.005	0.68	0.078	0.002	1139	44	1134	30	**1149**	**56**	99
004	14-004	25	5	12	126	0.48	2.06	1.97	0.09	0.186	0.005	0.61	0.077	0.003	1104	49	1098	30	**1115**	**70**	98
005	14-005	106	21	61	146871	0.58	1.73	2.16	0.08	0.198	0.005	0.70	0.079	0.002	1167	44	1165	30	**1171**	**53**	99
006	14-006	99	17	39	640	0.39	2.55	1.77	0.07	0.174	0.005	0.69	0.074	0.002	1036	39	1037	27	**1035**	**55**	100
007	14-007	240	42	16	295630	0.07	14.66	1.80	0.06	0.176	0.005	0.72	0.074	0.002	1047	38	1045	27	**1051**	**50**	99
008	14-008	56	11	13	195	0.23	4.44	2.01	0.11	0.190	0.005	0.52	0.077	0.004	1119	62	1119	32	**1118**	**95**	100
009	14-009	125	23	61	7626	0.49	2.05	2.03	0.07	0.183	0.005	0.74	0.080	0.002	1125	39	1082	28	**1209**	**46**	90
010	14-010	109	21	55	149256	0.51	1.98	2.13	0.08	0.196	0.005	0.71	0.079	0.002	1159	43	1154	30	**1169**	**52**	99
011	14-011	216	46	64	324012	0.29	3.41	2.45	0.10	0.214	0.006	0.65	0.083	0.003	1259	51	1250	33	**1274**	**60**	98
012	14-012	387	96	14	673682	0.04	27.45	3.12	0.10	0.249	0.006	0.77	0.091	0.002	1437	48	1433	37	**1443**	**40**	99
013	14-013	165	39	74	270768	0.45	2.24	3.23	0.12	0.234	0.006	0.70	0.100	0.003	1464	55	1357	36	**1622**	**50**	84
014	14-014	44	8	12	263	0.27	3.65	1.85	0.10	0.177	0.005	0.52	0.076	0.004	1062	58	1048	30	**1091**	**94**	96
015	14-015	52	12	24	81931	0.46	2.15	2.64	0.13	0.226	0.006	0.57	0.085	0.003	1312	64	1314	37	**1309**	**77**	100
016	14-016	80	17	17	115959	0.21	4.68	2.34	0.09	0.208	0.005	0.70	0.082	0.002	1223	46	1216	32	**1235**	**52**	99
017	14-017	92	18	38	872	0.41	2.43	2.18	0.08	0.198	0.005	0.73	0.080	0.002	1174	42	1166	30	**1189**	**48**	98
018	14-018	32	9	9	63741	0.27	3.68	3.92	0.14	0.286	0.008	0.71	0.099	0.003	1617	60	1623	43	**1610**	**48**	101
019	14-019	45	13	16	89283	0.34	2.90	3.88	0.17	0.283	0.008	0.62	0.100	0.004	1610	72	1604	44	**1617**	**66**	99
020	14-020	46	9	14	338	0.30	3.31	2.27	0.09	0.205	0.005	0.68	0.081	0.002	1204	46	1201	32	**1210**	**55**	99
021	14-021	55	9	20	911	0.36	2.78	1.75	0.07	0.171	0.005	0.67	0.074	0.002	1026	40	1019	27	**1040**	**59**	98
022	14-022	117	23	28	161402	0.24	4.24	2.15	0.08	0.198	0.005	0.72	0.079	0.002	1165	42	1162	30	**1170**	**49**	99
023	14-023	262	50	190	1172	0.72	1.38	2.05	0.07	0.191	0.005	0.76	0.078	0.002	1132	38	1126	29	**1142**	**44**	99
024	14-024	122	24	29	1974	0.24	4.21	2.10	0.08	0.196	0.005	0.71	0.078	0.002	1150	42	1155	30	**1143**	**51**	101
025	14-025	57	11	12	78268	0.21	4.73	2.13	0.09	0.196	0.005	0.61	0.079	0.003	1160	51	1155	31	**1169**	**69**	99
026	14-026	69	13	33	92351	0.47	2.12	2.06	0.08	0.192	0.005	0.70	0.078	0.002	1136	43	1130	29	**1147**	**53**	99
027	14-027	35	6	16	520	0.45	2.21	1.63	0.09	0.165	0.005	0.52	0.072	0.003	982	53	983	28	**981**	**94**	100
028	14-028	210	33	50	232806	0.24	4.22	1.54	0.05	0.158	0.004	0.73	0.071	0.002	948	34	947	24	**950**	**50**	100
029	14-029	137	27	34	191773	0.25	4.06	2.19	0.08	0.200	0.005	0.73	0.080	0.002	1179	42	1174	30	**1189**	**48**	99
030	14-030	180	12	68	520	0.38	2.65	0.59	0.02	0.069	0.002	0.62	0.062	0.002	468	20	**428**	**11**	669	71	64
031	14-031	75	11	15	182	0.20	4.94	1.46	0.06	0.153	0.004	0.62	0.069	0.002	913	39	920	25	**895**	**70**	103
032	14-032	129	23	49	2113	0.38	2.63	1.81	0.07	0.177	0.005	0.72	0.074	0.002	1050	38	1053	27	**1044**	**51**	101
033	14-033	125	21	19	4707	0.15	6.64	1.86	0.06	0.171	0.004	0.74	0.079	0.002	1068	37	1016	26	**1178**	**46**	86
034	14-034	59	12	23	81109	0.39	2.54	2.14	0.08	0.196	0.005	0.69	0.079	0.002	1163	44	1154	30	**1178**	**55**	98
035	14-035	195	37	131	260911	0.67	1.49	2.05	0.07	0.191	0.005	0.73	0.078	0.002	1133	40	1129	29	**1140**	**49**	99
036	14-036	75	22	19	150870	0.25	3.96	3.97	0.17	0.288	0.008	0.64	0.100	0.003	1627	69	1629	44	**1624**	**61**	100
037	14-037	38	7	17	49771	0.43	2.31	1.95	0.08	0.185	0.005	0.64	0.076	0.002	1097	45	1094	29	**1103**	**63**	99
038	14-038	20	4	5	25531	0.26	3.92	1.89	0.12	0.185	0.006	0.47	0.074	0.004	1078	70	1092	33	**1051**	**116**	104
039	14-039	62	13	12	890	0.20	4.93	2.41	0.09	0.212	0.006	0.68	0.083	0.002	1246	48	1240	33	**1258**	**56**	99
040	14-040	123	26	18	180750	0.15	6.73	2.37	0.08	0.210	0.005	0.73	0.082	0.002	1232	44	1231	32	**1234**	**48**	100
041	14-041	87	13	41	91261	0.48	2.09	1.51	0.06	0.150	0.004	0.65	0.073	0.002	933	38	904	24	**1003**	**62**	90
042	14-042	95	22	18	155568	0.19	5.40	2.82	0.11	0.233	0.006	0.69	0.088	0.002	1360	52	1351	35	**1375**	**53**	98
043	14-043	250	38	42	1553	0.17	5.96	1.46	0.05	0.153	0.004	0.73	0.070	0.002	916	33	915	24	**917**	**50**	100
044	14-044	84	17	19	116942	0.22	4.48	2.18	0.08	0.199	0.005	0.70	0.079	0.002	1175	44	1172	31	**1180**	**53**	99
045	14-045	244	48	49	334402	0.20	5.01	2.14	0.07	0.196	0.005	0.74	0.079	0.002	1161	40	1152	30	**1176**	**45**	98
046	14-046	134	24	16	170831	0.12	8.40	1.90	0.07	0.182	0.005	0.72	0.076	0.002	1081	39	1077	28	**1089**	**50**	99
047	14-047	93	18	16	123327	0.18	5.69	2.03	0.08	0.190	0.005	0.69	0.078	0.002	1127	43	1121	29	**1139**	**54**	98
048	14-048	162	35	34	243828	0.21	4.77	2.42	0.08	0.215	0.006	0.74	0.082	0.002	1249	43	1253	32	**1241**	**46**	101
049	14-049	93	14	12	1828	0.13	7.61	1.48	0.06	0.154	0.004	0.65	0.070	0.002	921	37	923	24	**916**	**63**	101
050	14-050	160	30	31	207237	0.19	5.15	1.94	0.07	0.185	0.005	0.72	0.076	0.002	1096	39	1092	28	**1105**	**49**	99
051	14-051	143	25	19	2288	0.13	7.44	1.84	0.07	0.177	0.005	0.66	0.075	0.002	1059	42	1051	28	**1075**	**60**	98
052	14-052	141	23	126	1288	0.90	1.12	1.67	0.06	0.167	0.004	0.74	0.073	0.002	996	35	994	26	**1001**	**48**	99
053	14-053	225	46	91	2254	0.41	2.46	2.28	0.08	0.205	0.005	0.74	0.081	0.002	1206	42	1204	31	**1210**	**46**	99
054	14-054	183	38	42	263462	0.23	4.34	2.24	0.08	0.205	0.005	0.75	0.079	0.002	1192	40	1201	31	**1176**	**44**	102
055	14-055	110	22	23	157431	0.21	4.79	2.30	0.08	0.204	0.005	0.70	0.082	0.002	1213	45	1198	31	**1239**	**51**	97
056	14-056	484	76	46	534588	0.09	10.64	1.55	0.05	0.157	0.004	0.76	0.071	0.002	949	32	942	24	**964**	**45**	98
057	14-057	186	37	50	256408	0.27	3.72	2.13	0.07	0.197	0.005	0.74	0.079	0.002	1160	40	1157	30	**1165**	**46**	99
058	14-058	326	63	112	6520	0.34	2.90	2.11	0.07	0.194	0.005	0.75	0.079	0.002	1151	39	1145	29	**1163**	**44**	98
059	14-059	147	40	45	3040	0.31	3.23	3.58	0.12	0.271	0.007	0.76	0.096	0.002	1545	52	1547	40	**1542**	**41**	100
060	14-060	205	37	137	260364	0.67	1.50	1.87	0.06	0.181	0.005	0.75	0.075	0.002	1072	36	1070	27	**1076**	**45**	99
061	14-061	242	43	220	10774	0.91	1.10	1.83	0.06	0.178	0.005	0.74	0.075	0.002	1056	36	1056	27	**1057**	**46**	100
062	14-062	165	32	38	3658	0.23	4.32	2.12	0.07	0.196	0.005	0.75	0.078	0.002	1154	40	1155	30	**1153**	**45**	100
063	14-063	71	14	67	98995	0.94	1.06	2.17	0.08	0.199	0.005	0.71	0.079	0.002	1172	42	1172	30	**1172**	**50**	100
064	14-064	48	9	18	653	0.38	2.60	2.18	0.09	0.200	0.005	0.67	0.079	0.002	1176	46	1173	31	**1181**	**58**	99
065	14-065	144	29	29	1971	0.20	4.94	2.20	0.08	0.200	0.005	0.73	0.080	0.002	1180	41	1177	30	**1186**	**47**	99
066	14-066	32	6	16	39507	0.50	2.01	1.78	0.07	0.174	0.005	0.64	0.074	0.002	1037	43	1035	27	**1041**	**65**	99
067	14-067	56	10	36	67601	0.65	1.53	1.78	0.07	0.173	0.005	0.69	0.075	0.002	1038	39	1026	27	**1064**	**55**	96

Muestra: CC5414 Punto(1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
068	14-068	135	27	40	7687	0.30	3.38	2.18	0.08	0.199	0.005	0.74	0.080	0.002	1175	41	1168	30	**1189**	**46**	98
069	14-069	46	7	18	50638	0.40	2.52	1.57	0.06	0.158	0.004	0.65	0.072	0.002	957	39	943	25	**990**	**63**	95
070	14-070	37	6	18	40887	0.49	2.04	1.51	0.07	0.158	0.004	0.57	0.069	0.003	935	45	946	26	**911**	**81**	104
071	14-071	55	3	15	18532	0.28	3.59	0.40	0.02	0.048	0.001	0.49	0.059	0.003	338	19	**305**	**8**	575	107	53
072	14-072	123	21	56	146340	0.46	2.19	1.88	0.07	0.170	0.004	0.72	0.081	0.002	1075	39	1010	26	**1210**	**49**	84
073	14-073	170	35	68	1573	0.40	2.50	2.37	0.08	0.209	0.005	0.75	0.082	0.002	1234	42	1224	31	**1251**	**44**	98
074	14-074	132	37	51	1993	0.38	2.61	3.77	0.13	0.281	0.007	0.73	0.097	0.002	1587	56	1595	41	**1576**	**45**	101
075	14-075	114	22	42	157580	0.37	2.73	2.13	0.07	0.196	0.005	0.74	0.079	0.002	1158	40	1155	30	**1163**	**47**	99
076	14-076	272	61	30	3130	0.11	9.12	2.82	0.09	0.224	0.006	0.76	0.091	0.002	1362	46	1304	33	**1454**	**41**	90
077	14-077	75	15	24	105662	0.32	3.13	2.16	0.08	0.200	0.005	0.70	0.079	0.002	1170	43	1174	30	**1161**	**52**	101
078	14-078	456	72	13	3153	0.03	36.22	1.53	0.05	0.157	0.004	0.75	0.071	0.002	943	32	941	24	**945**	**46**	100
079	14-079	524	86	79	604495	0.15	6.60	1.63	0.05	0.164	0.004	0.76	0.072	0.002	981	33	980	25	**981**	**44**	100
080	14-080	165	31	36	25151	0.22	4.64	1.92	0.07	0.185	0.005	0.73	0.076	0.002	1090	38	1093	28	**1083**	**48**	101
081	14-081	62	13	27	664	0.43	2.33	2.20	0.08	0.202	0.005	0.70	0.079	0.002	1182	43	1188	31	**1173**	**52**	101
082	14-082	110	33	52	826	0.48	2.10	4.20	0.14	0.296	0.008	0.75	0.103	0.002	1674	57	1670	43	**1680**	**42**	99
083	14-083	28	4	22	477	0.78	1.29	1.63	0.07	0.158	0.004	0.61	0.075	0.003	981	43	947	25	**1058**	**70**	89
084	14-084	82	21	35	148382	0.42	2.36	3.32	0.12	0.257	0.007	0.72	0.094	0.002	1486	53	1474	38	**1502**	**46**	98
085	14-085	64	13	26	92829	0.41	2.47	2.29	0.08	0.207	0.005	0.71	0.080	0.002	1208	44	1213	31	**1200**	**51**	101
086	14-086	125	24	32	970	0.26	3.89	2.04	0.07	0.190	0.005	0.72	0.078	0.002	1128	41	1121	29	**1140**	**50**	98
087	14-087	161	33	40	8656	0.25	4.07	2.24	0.08	0.204	0.005	0.73	0.080	0.002	1195	42	1199	31	**1188**	**47**	101
088	14-088	64	13	15	93739	0.23	4.37	2.34	0.09	0.208	0.005	0.68	0.081	0.002	1223	47	1220	32	**1229**	**55**	99
089	14-089	48	7	16	52662	0.34	2.92	1.53	0.06	0.157	0.004	0.65	0.071	0.002	942	38	939	25	**947**	**63**	99
090	14-090	61	12	34	86517	0.55	1.82	2.13	0.08	0.201	0.005	0.70	0.077	0.002	1157	43	1182	31	**1112**	**53**	106
091	14-091	259	13	58	88995	0.23	4.43	0.36	0.01	0.049	0.001	0.66	0.053	0.002	309	12	**308**	**8**	317	66	97
092	14-092	101	18	37	123393	0.37	2.72	1.77	0.07	0.174	0.005	0.70	0.074	0.002	1035	38	1032	27	**1042**	**53**	99
093	14-093	135	25	34	2730	0.25	3.98	1.98	0.07	0.187	0.005	0.73	0.077	0.002	1110	39	1108	28	**1115**	**47**	99
094	14-094	95	19	40	11260	0.42	2.36	2.16	0.08	0.198	0.005	0.70	0.079	0.002	1169	43	1165	30	**1176**	**51**	99
095	14-095	118	23	46	160584	0.39	2.55	2.06	0.07	0.193	0.005	0.72	0.078	0.002	1136	40	1137	29	**1135**	**49**	100
096	14-096	34	5	10	281	0.29	3.46	1.54	0.07	0.157	0.004	0.62	0.071	0.002	948	41	940	25	**968**	**69**	97
097	14-097	152	31	30	214681	0.20	5.05	2.21	0.08	0.201	0.005	0.74	0.080	0.002	1185	41	1183	30	**1190**	**46**	99
098	14-098	116	20	22	17430	0.19	5.22	1.74	0.06	0.171	0.004	0.71	0.074	0.002	1024	37	1018	26	**1036**	**51**	98
099	14-099	274	52	125	10593	0.46	2.20	2.17	0.07	0.188	0.005	0.75	0.084	0.002	1172	40	1112	28	**1283**	**43**	87
100	14-100	109	17	39	120635	0.35	2.84	1.52	0.05	0.157	0.004	0.71	0.070	0.002	939	34	939	24	**937**	**52**	100
101	14-102	296	49	160	347011	0.54	1.85	1.66	0.06	0.167	0.004	0.74	0.072	0.002	995	34	994	25	**998**	**47**	100
102	14-103	128	26	39	182697	0.31	3.25	2.24	0.08	0.203	0.005	0.71	0.080	0.002	1195	44	1189	31	**1204**	**51**	99
103	14-104	39	6	29	493	0.74	1.36	1.52	0.06	0.157	0.004	0.63	0.070	0.002	938	39	938	25	**938**	**67**	100
105	14-105	71	13	32	2190	0.45	2.21	1.96	0.08	0.186	0.005	0.68	0.076	0.002	1103	42	1101	29	**1106**	**57**	100
106	14-106	93	18	38	4215	0.41	2.44	2.12	0.08	0.196	0.005	0.71	0.078	0.002	1154	42	1154	30	**1156**	**50**	100
107	14-107	90	18	31	652	0.35	2.87	2.24	0.08	0.203	0.005	0.71	0.080	0.002	1193	43	1189	31	**1200**	**50**	99
108	14-108	50	9	8	219	0.16	6.22	2.09	0.08	0.186	0.005	0.68	0.081	0.002	1144	44	1098	29	**1232**	**54**	89
109	14-109	109	19	36	130379	0.33	3.00	1.72	0.06	0.171	0.004	0.71	0.073	0.002	1016	37	1016	26	**1017**	**52**	100
110	14-110	191	29	73	206567	0.38	2.61	1.56	0.05	0.154	0.004	0.73	0.074	0.002	954	33	921	24	**1031**	**48**	89
111	14-111	118	35	49	3392	0.42	2.40	4.25	0.15	0.298	0.008	0.74	0.103	0.002	1684	58	1680	43	**1687**	**42**	100
113	14-113	128	26	31	183585	0.24	4.15	2.24	0.08	0.203	0.005	0.71	0.080	0.002	1194	44	1193	31	**1196**	**51**	100
114	14-114	666	115	63	6240	0.09	10.63	1.85	0.06	0.173	0.004	0.76	0.077	0.002	1064	36	1031	26	**1133**	**43**	91
115	14-115	366	72	80	14338	0.22	4.56	2.16	0.07	0.198	0.005	0.75	0.079	0.002	1167	40	1163	30	**1174**	**45**	99

Abreviaciones: **(a)** La concentración de U y Pb y las relaciones Th / U se calculan con respecto al circón de referencia GJ-1; **(b)** = La correción para el fraccionamiento Pb / U de fondo y dentro de la ejecución, son normalizadas con el circón de referencia GJ-1 (valores ID-TIMS / valor medido); El ^{207}Pb / ^{235}U es calculado utilizando ($^{207}Pb/^{206}Pb$)/($^{238}U/^{206}Pb$*1/137.88); **(c)** = *Rho* es la correlación de los errores, definido como el cociente de los errores propagados en la relación $^{206}Pb/^{238}U$ y $^{207}Pb/^{235}U$; **(d)** = exhibe la suma cuadrática de los errores intraserie (2SD) y la reproducibilidad díaria de GJ-1 (2SD); **(e)** = exhibe la correción para el sesgo de masa que es normalizando con el circón de referencia GJ-1 (~ 0,6 por unidad de masa atómica) y el Pb común es usando del modelo de composición de Pb de Stacey & Kramers (1975). **(1)** es el identificador de la muestra y número de punto [*números faltantes*: puntos que fueron omitidos por su alto error analítico], **(2)** exhibe las relaciones de isótopica corregida para Pb común usando ^{204}Pb medidos para la corrección. Los errores individuales se expresan como desviación estándar de 2- sigma y **(3)** exhibe las edades aparentes más confiables y están en negrita. **Nota:** Si el promedio de las edades aparentes es del Proterozoico medio o más antiguo (> 900 Ma), entonces las edades de $^{207}Pb/^{206}Pb$ se consideran como edades aparentes más confiables; Mientras que, para los valores más jóvenes se utilizan las edades de $^{206}Pb/^{238}U$.

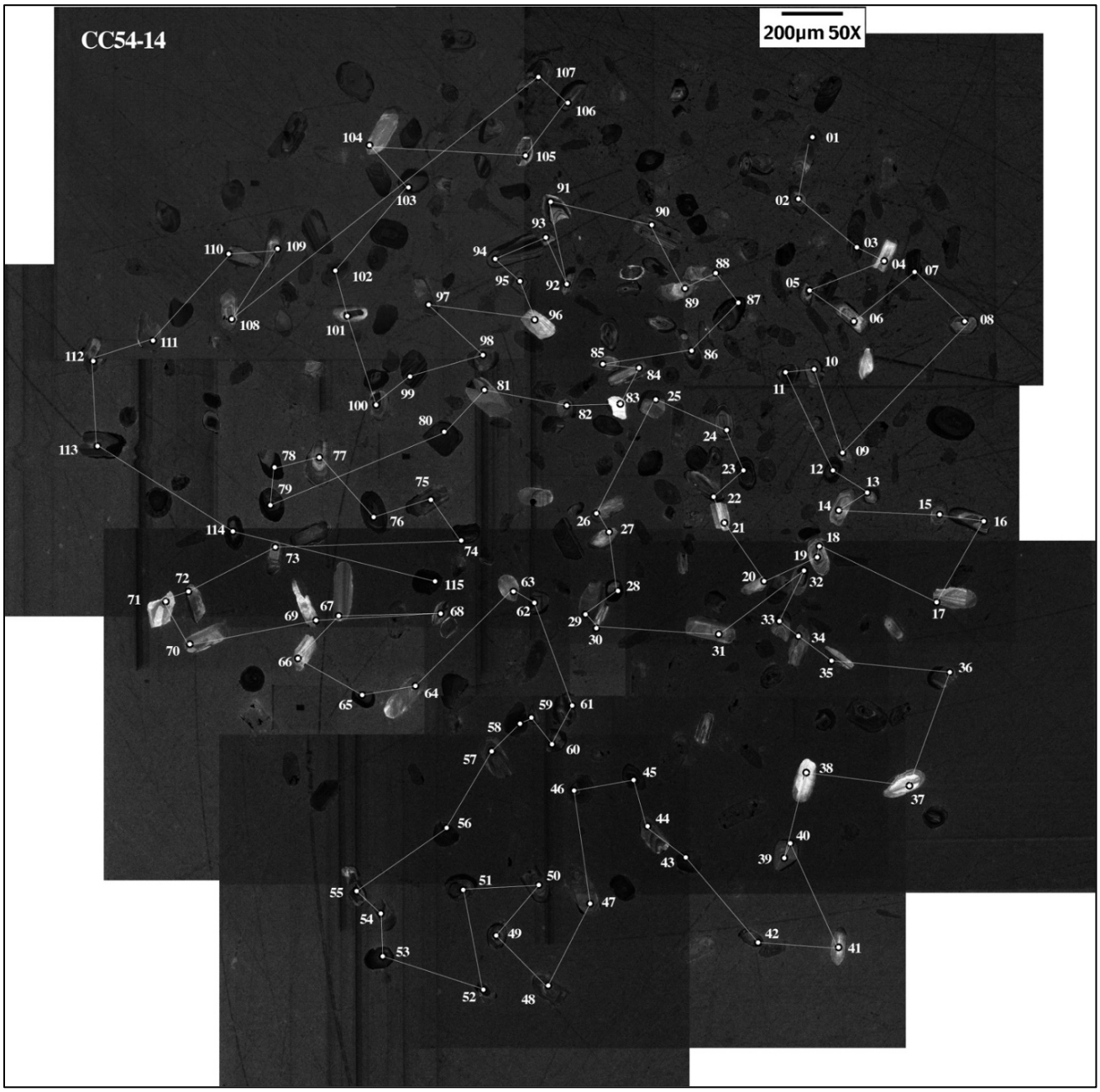


Fig. 9. 44. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots).

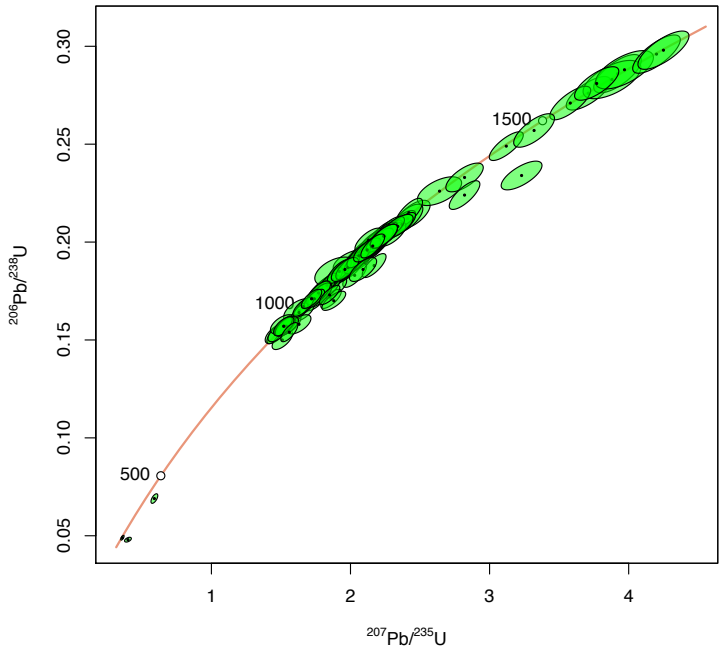


Fig. 9. 45. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero. **Elipses verdes**: exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma.

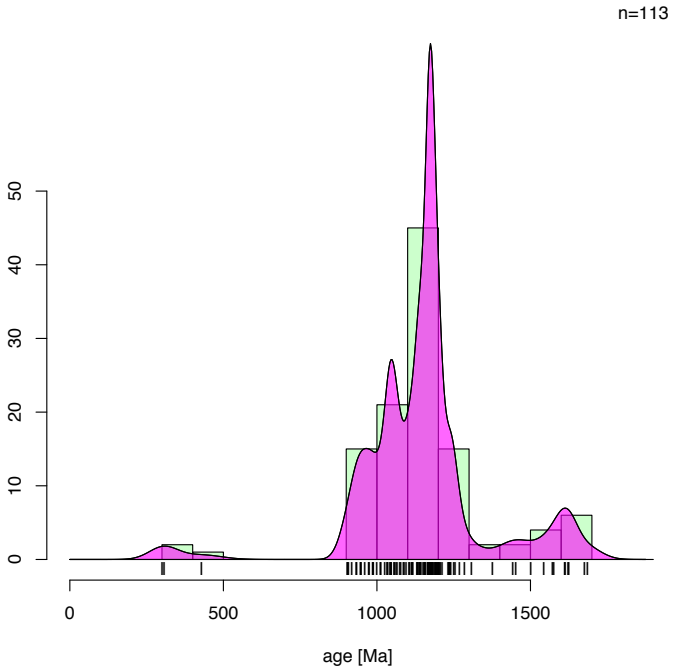


Fig. 9. 46. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CC54-14 de la Formación Vicente Guerrero con respecto a la media de las edades.

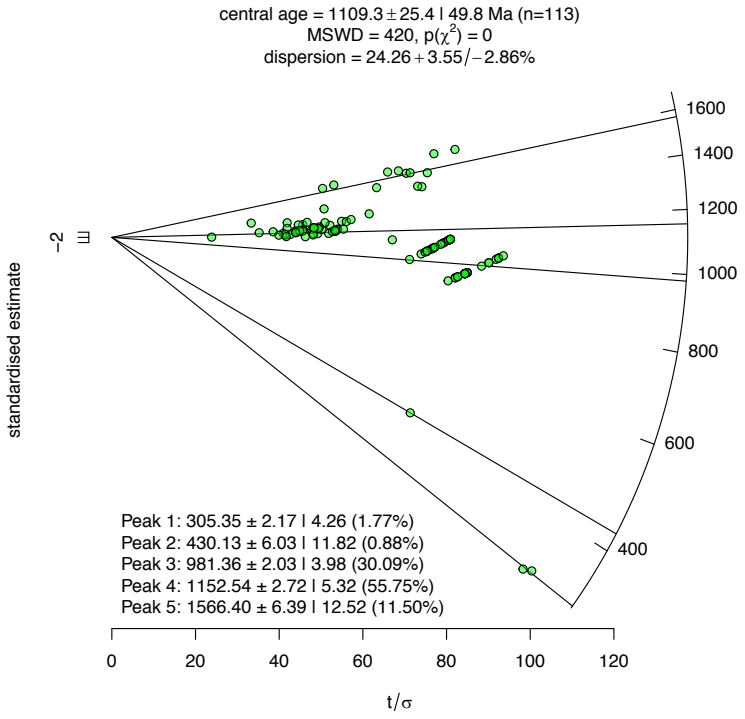
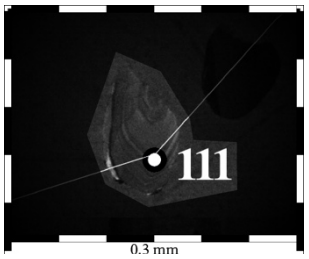
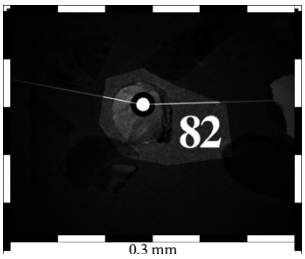
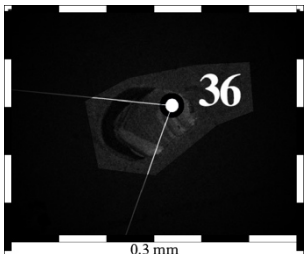
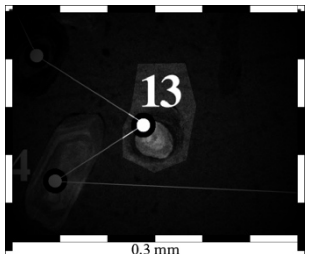
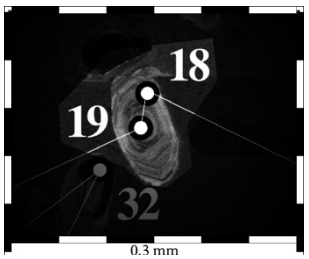
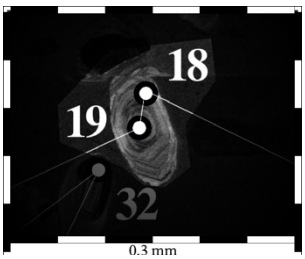
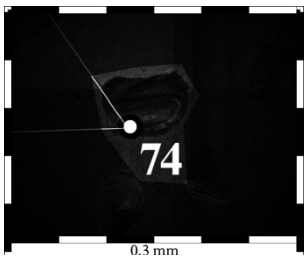
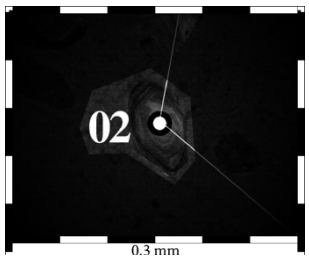
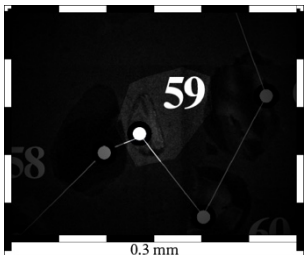
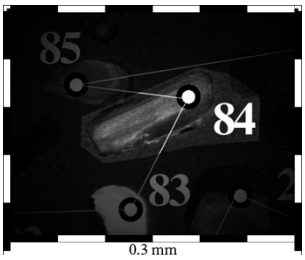
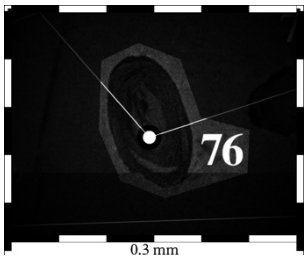
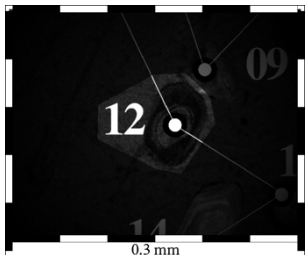
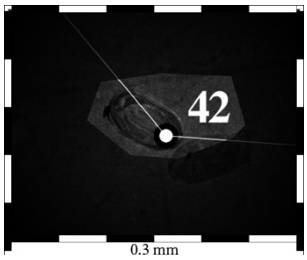
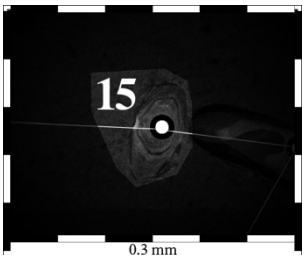
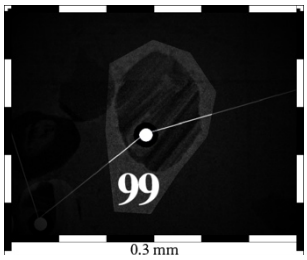
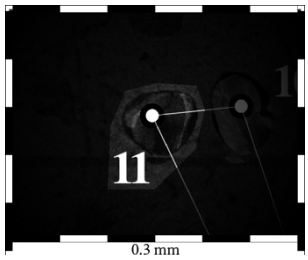
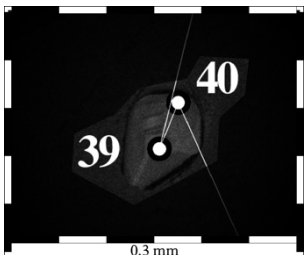
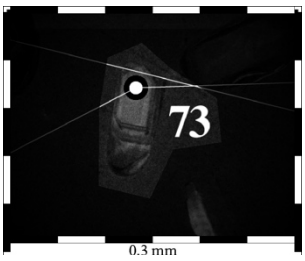
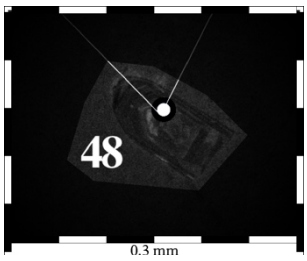
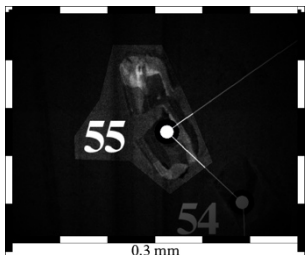
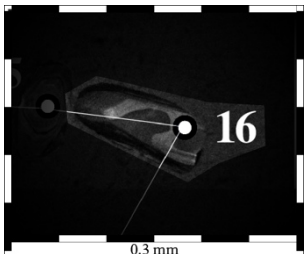
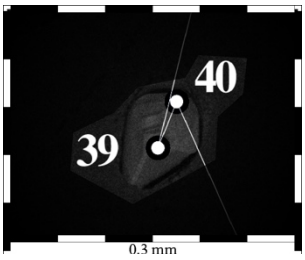
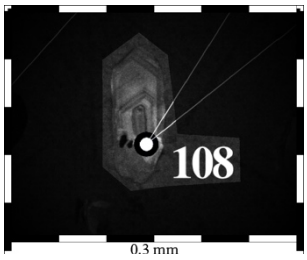
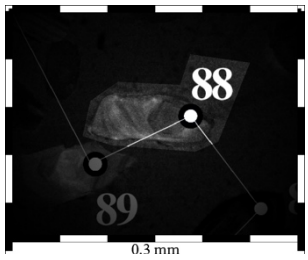
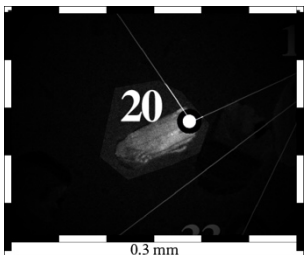
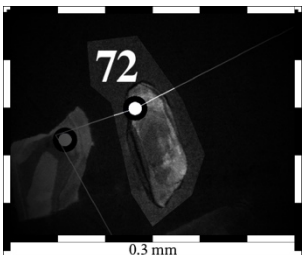
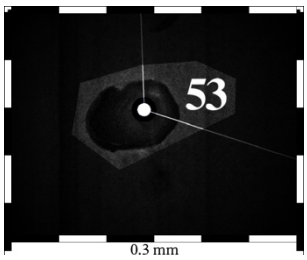
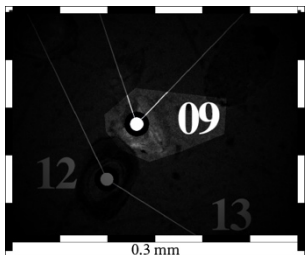
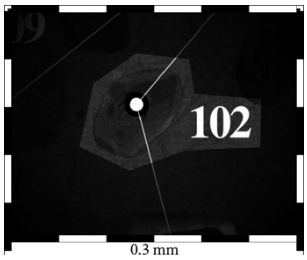
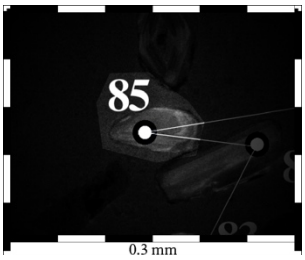
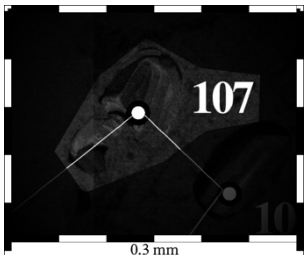
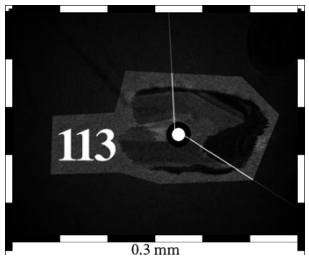
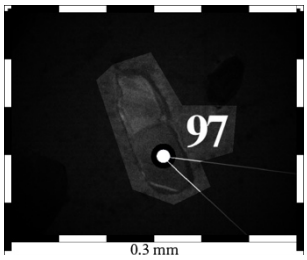
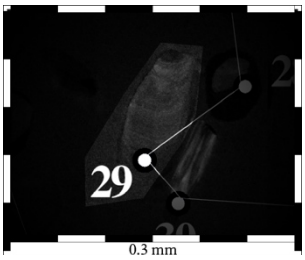
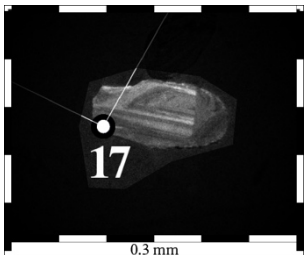
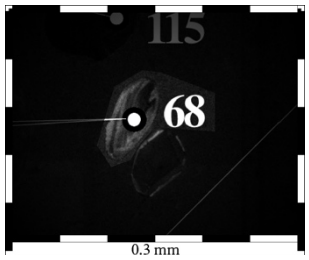
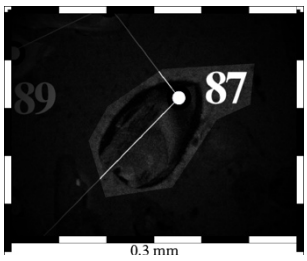
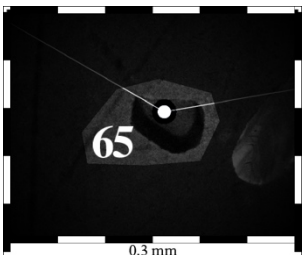
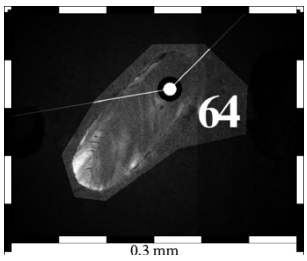
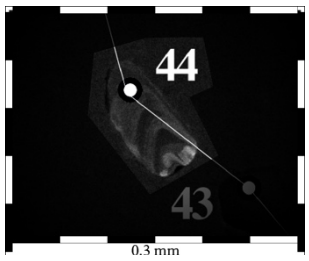
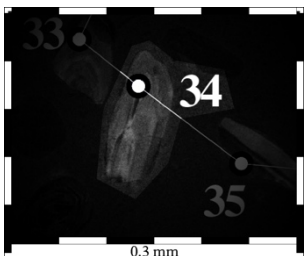
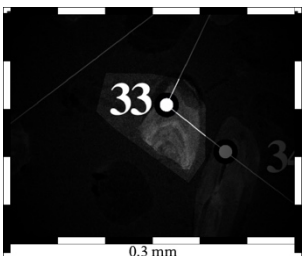
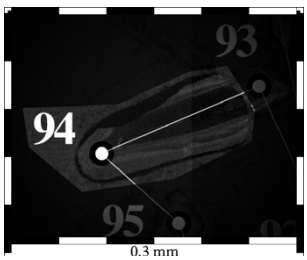
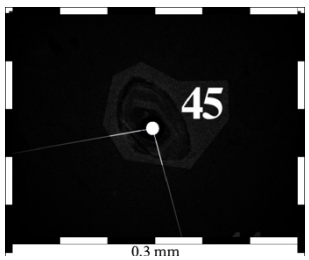
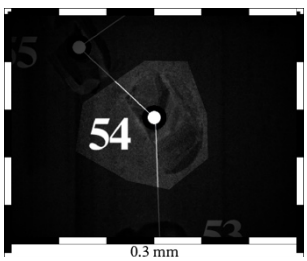
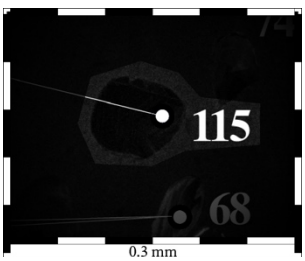
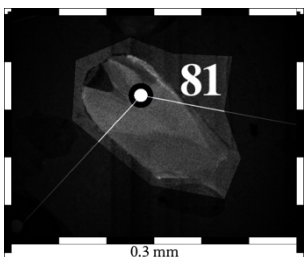
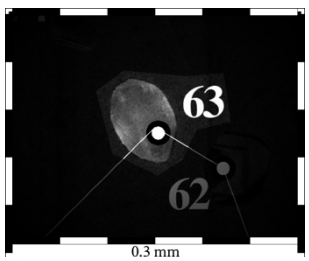


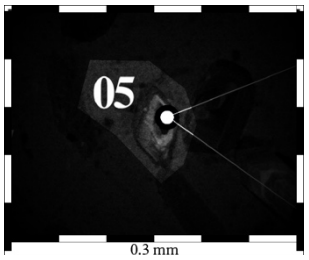
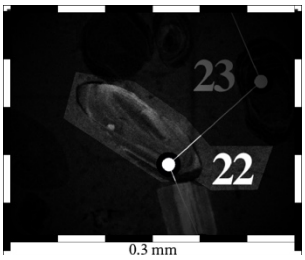
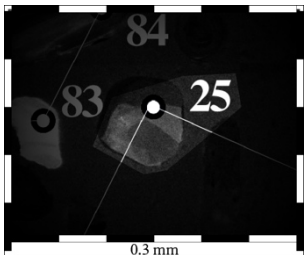
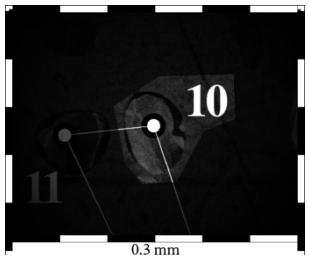
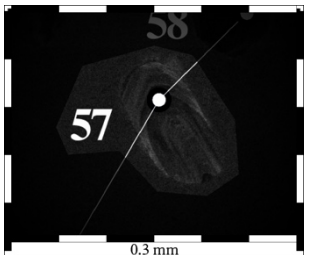
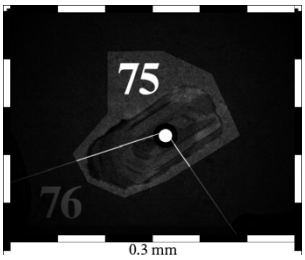
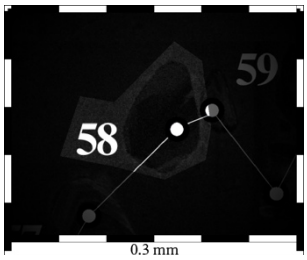
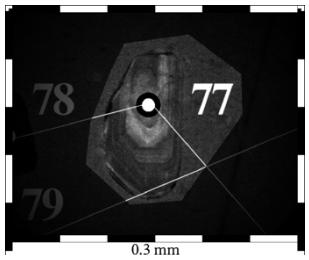
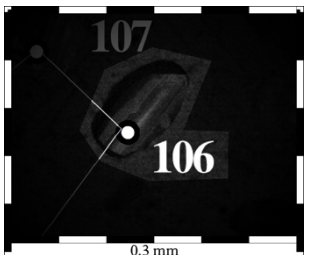
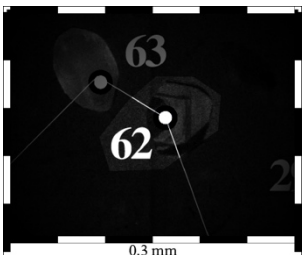
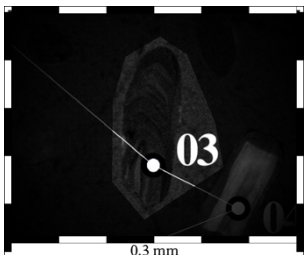
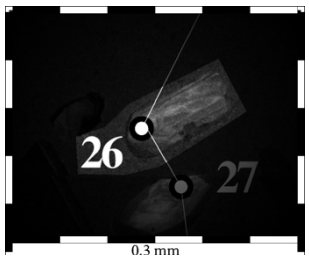
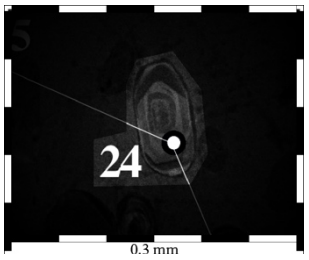
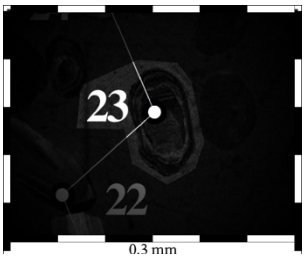
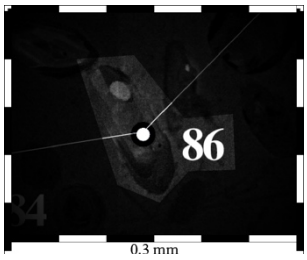
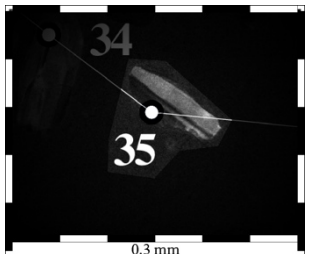
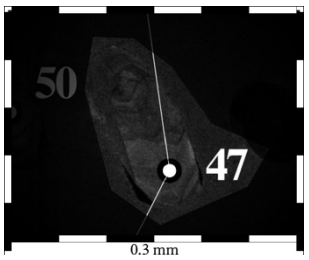
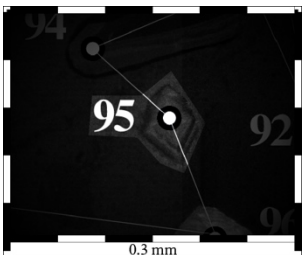
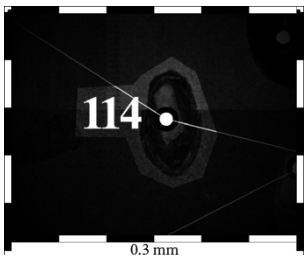
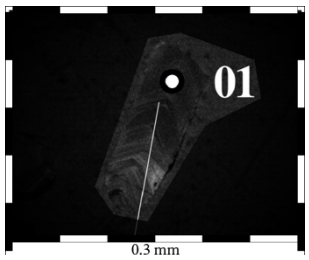
Fig. 9. 47. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Vicente Guerrero, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018).

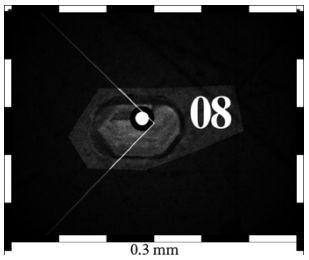
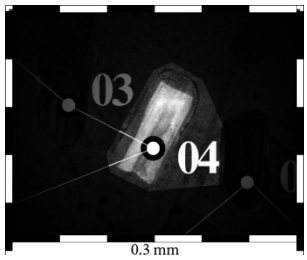
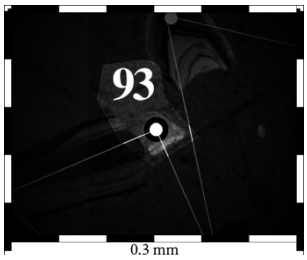
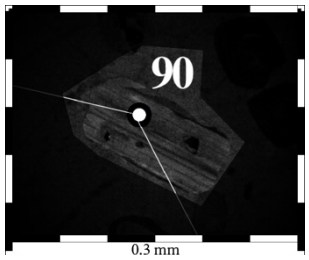
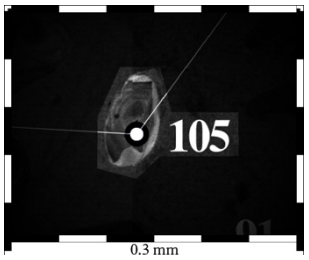
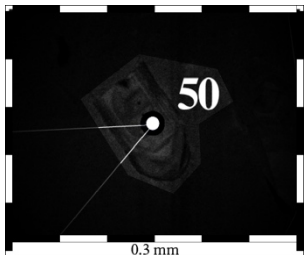
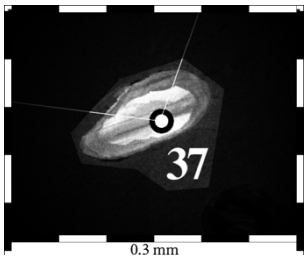
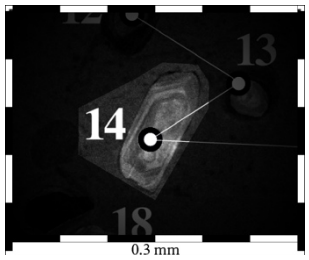
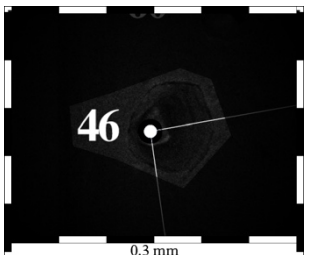
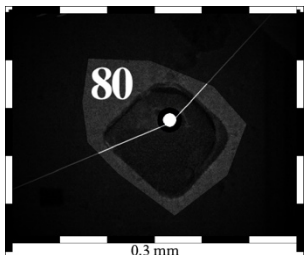
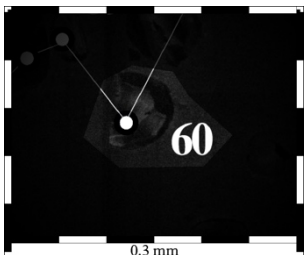
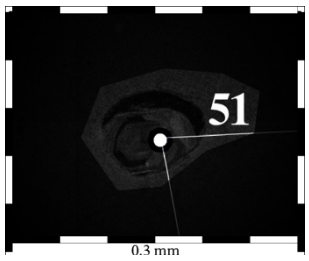
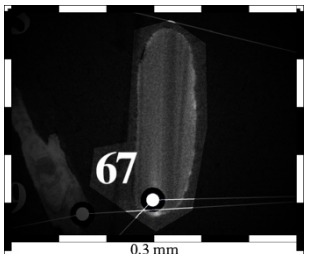
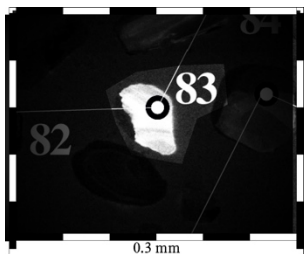
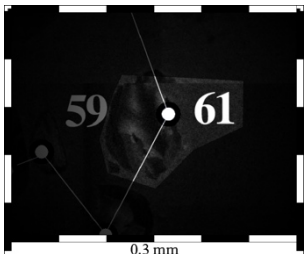
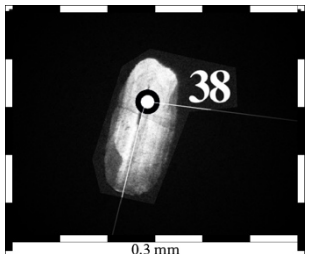
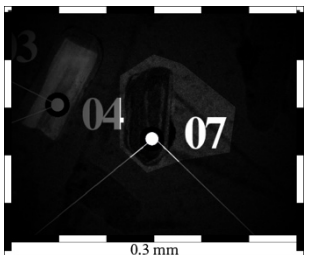
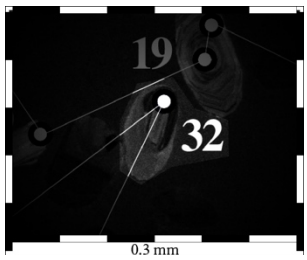
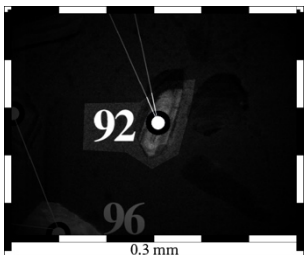
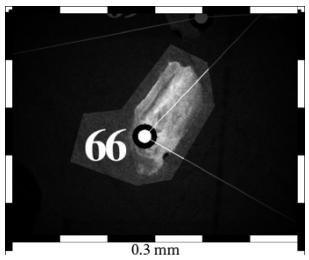
Tabla 23. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013).

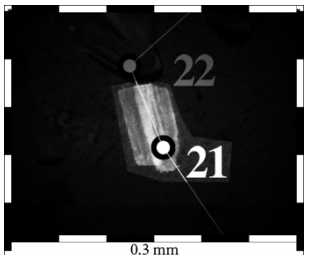
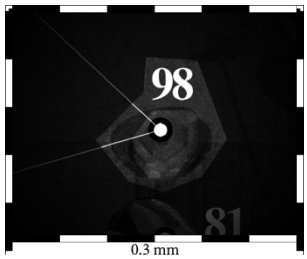
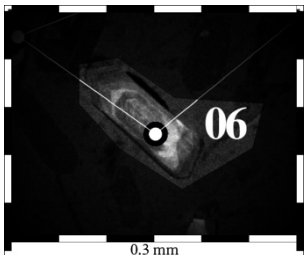
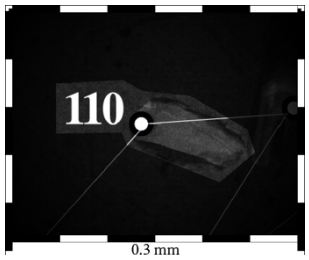
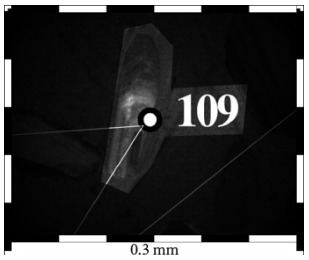
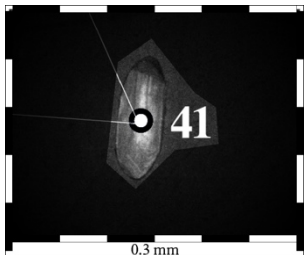
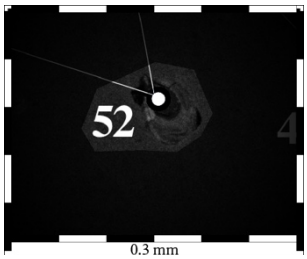
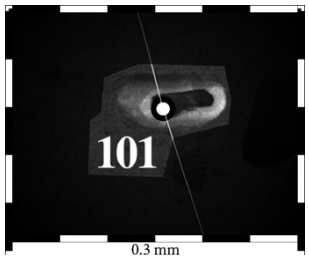
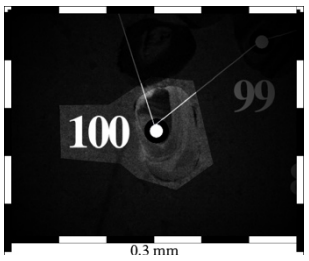
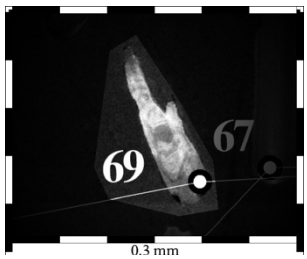
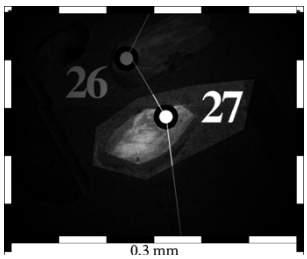
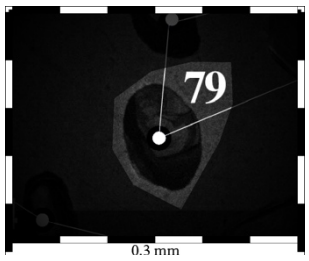
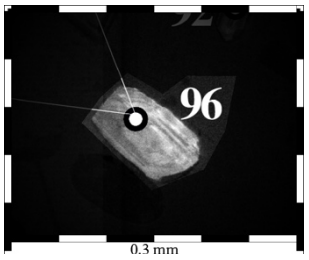
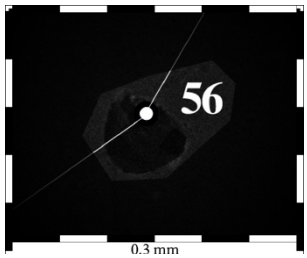
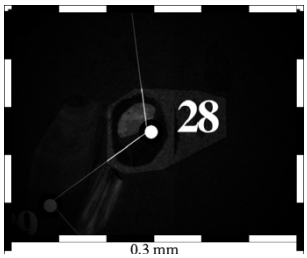
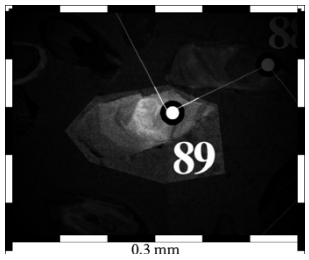
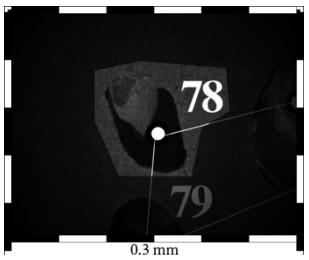
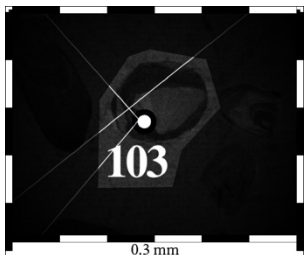
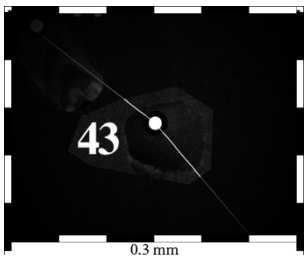
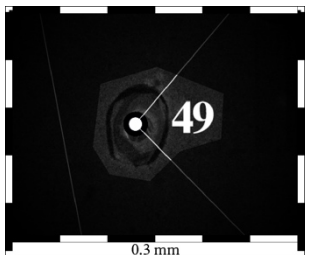
Formación Vicente Guerrero (Misisípico)			
			
CC54-14–111 → 1687±42 Ma	CC54-14–082 → 1680±42 Ma	CC54-14–036 → 1624±61 Ma	CC54-14–013 → 1622±50 Ma
			
CC54-14–019 → 1617±66 Ma	CC54-14–018 → 1610±48 Ma	CC54-14–074 → 1576±45 Ma	CC54-14–002 → 1573±45 Ma

Formación Vicente Guerrero (Misisípico)			
			
CC54-14–059 → 1542±41 Ma	CC54-14–084 → 1502±46 Ma	CC54-14–076 → 1454±41 Ma	CC54-14–012 → 1443±40 Ma
			
CC54-14–042 → 1375±53 Ma	CC54-14–015 → 1309±77 Ma	CC54-14–099 → 1283±43 Ma	CC54-14–011 → 1274±60 Ma
			
CC54-14–039 → 1258±56 Ma	CC54-14–073 → 1251±44 Ma	CC54-14–048 → 1241±46 Ma	CC54-14–055 → 1239±51 Ma
			
CC54-14–016 → 1235±52 Ma	CC54-14–040 → 1234±48 Ma	CC54-14–108 → 1232±54 Ma	CC54-14–088 → 1229±55 Ma
			
CC54-14–020 → 1210±55 Ma	CC54-14–072 → 1210±49 Ma	CC54-14–053 → 1210±46 Ma	CC54-14–009 → 1209±46 Ma

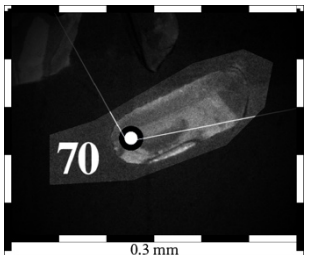
Formación Vicente Guerrero (Misisípico)			
			
CC54-14–102 → 1204±51 Ma	CC54-14–085 → 1200±51 Ma	CC54-14–107 → 1200±50 Ma	CC54-14–113 → 1196±51 Ma
			
CC54-14–097 → 1190±46 Ma	CC54-14–029 → 1189±48 Ma	CC54-14–017 → 1189±48 Ma	CC54-14–068 → 1189±46 Ma
			
CC54-14–087 → 1188±47 Ma	CC54-14–065 → 1186±47 Ma	CC54-14–064 → 1181±58 Ma	CC54-14–044 → 1180±53 Ma
			
CC54-14–034 → 1178±55 Ma	CC54-14–033 → 1178±55 Ma	CC54-14–094 → 1176±51 Ma	CC54-14–045 → 1176±45 Ma
			
CC54-14–054 → 1176±44 Ma	CC54-14–115 → 1174±45 Ma	CC54-14–081 → 1173±52 Ma	CC54-14–063 → 1172±50 Ma

Formación Vicente Guerrero (Misisípico)			
			
CC54-14–005 → 1171±53 Ma	CC54-14–022 → 1170±49 Ma	CC54-14–025 → 1169±69 Ma	CC54-14–010 → 1169±52 Ma
			
CC54-14–057 → 1165±46 Ma	CC54-14–075 → 1163±47 Ma	CC54-14–058 → 1163±44 Ma	CC54-14–077 → 1161±52 Ma
			
CC54-14–106 → 1156±50 Ma	CC54-14–062 → 1153±45 Ma	CC54-14–003 → 1149±56 Ma	CC54-14–026 → 1147±53 Ma
			
CC54-14–024 → 1143±51 Ma	CC54-14–023 → 1142±44 Ma	CC54-14–086 → 1140±50 Ma	CC54-14–035 → 1140±49 Ma
			
CC54-14–047 → 1139±54 Ma	CC54-14–095 → 1135±49 Ma	CC54-14–114 → 1133±43 Ma	CC54-14–001 → 1130±52 Ma

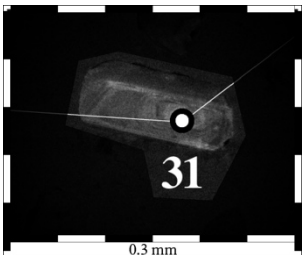
Formación Vicente Guerrero (Misisípico)			
			
CC54-14–008 → 1118±95 Ma	CC54-14–004 → 1115±70 Ma	CC54-14–093 → 1115±47 Ma	CC54-14–090 → 1112±53 Ma
			
CC54-14–105 → 1106±57 Ma	CC54-14–050 → 1105±49 Ma	CC54-14–037 → 1103±63 Ma	CC54-14–014 → 1091±94 Ma
			
CC54-14–046 → 1089±50 Ma	CC54-14–080 → 1083±48 Ma	CC54-14–060 → 1076±45 Ma	CC54-14–051 → 1075±60 Ma
			
CC54-14–067 → 1064±55 Ma	CC54-14–083 → 1058±70 Ma	CC54-14–061 → 1057±46 Ma	CC54-14–038 → 1051±116 Ma
			
CC54-14–007 → 1051±50 Ma	CC54-14–032 → 1044±51 Ma	CC54-14–092 → 1042±53 Ma	CC54-14–066 → 1041±65 Ma

Formación Vicente Guerrero (Misisípico)			
			
CC54-14–021 → 1040±59 Ma	CC54-14–098 → 1036±51 Ma	CC54-14–006 → 1035±55 Ma	CC54-14–110 → 1031±48 Ma
			
CC54-14–109 → 1017±52 Ma	CC54-14–041 → 1003±62 Ma	CC54-14–052 → 1001±48 Ma	CC54-14–101 → 998±47 Ma
			
CC54-14–100 → 998±47 Ma	CC54-14–069 → 990±83 Ma	CC54-14–027 → 981±94 Ma	CC54-14–079 → 981±44 Ma
			
CC54-14–096 → 968±69 Ma	CC54-14–056 → 964±45 Ma	CC54-14–028 → 950±50 Ma	CC54-14–089 → 947±63 Ma
			
CC54-14–078 → 945±46 Ma	CC54-14–103 → 938±67 Ma	CC54-14–043 → 917±50 Ma	CC54-14–049 → 916±63 Ma

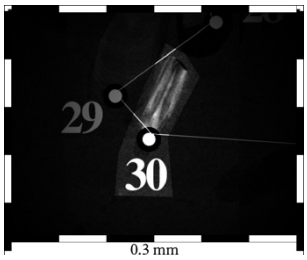
Formación Vicente Guerrero (Misisípico)



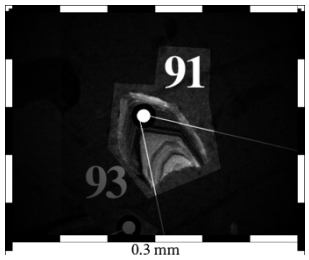
CC54-14–070 → 911±81 Ma



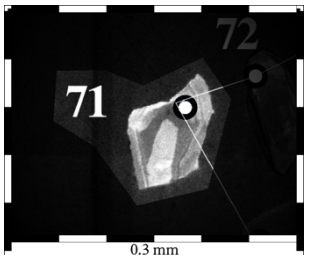
CC54-14–031 → 895±70 Ma



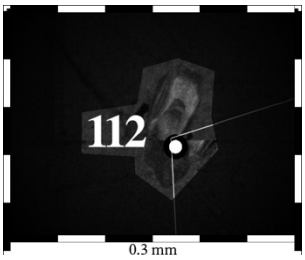
CC54-14–030 → 428±11 Ma



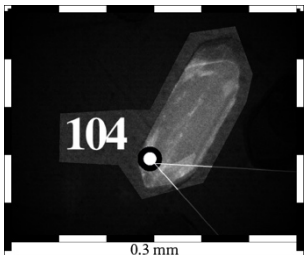
CC54-14–091 → 419±08 Ma



CC54-14–071 → 305±08 Ma



CC54-14–112 → xxxx±yy Ma



CC54-14–104 → xxx±yy Ma

11.5.3 Formación Del Monte

Tabla 24. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Del Monte por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CP207-07, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 473181 E, 2629063 N.

Muestra: CP207-07 Punto (1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
001	A_004	793	110	94	22927	0.12	8.48	1.457	0.048	0.13894	0.00348	0.77	0.07608	0.00160	913	30	**839**	**21**	1097	42	76
002	A_005	288	61	73	7336	0.25	3.98	2.403	0.081	0.21064	0.00528	0.75	0.08275	0.00184	1244	42	1232	31	**1263**	**43**	98
003	A_006	271	53	107	364201	0.39	2.54	2.127	0.071	0.19639	0.00492	0.75	0.07856	0.00176	1158	39	1156	29	**1161**	**44**	100
004	A_007	1330	124	292	13253	0.22	4.55	1.030	0.034	0.09353	0.00234	0.77	0.07988	0.00168	719	23	**576**	**14**	1194	41	48
005	A_008	342	79	67	541663	0.20	5.08	2.753	0.090	0.23159	0.00578	0.76	0.08622	0.00184	1343	44	1343	34	**1343**	**41**	100
006	A_009	115	27	51	183662	0.44	2.28	2.772	0.095	0.23290	0.00586	0.73	0.08633	0.00202	1348	46	1350	34	**1346**	**45**	100
007	A_010	171	16	135	111619	0.79	1.27	0.779	0.029	0.09515	0.00242	0.69	0.05936	0.00160	585	22	**586**	**15**	580	58	101
008	A_011	323	74	27	503452	0.08	12.15	2.676	0.088	0.22768	0.00568	0.76	0.08523	0.00182	1322	43	1322	33	**1321**	**41**	100
009	A_012	475	91	194	3527	0.41	2.44	2.057	0.068	0.19240	0.00480	0.76	0.07755	0.00166	1135	37	1134	28	**1135**	**42**	100
010	A_013	109	18	16	364	0.14	6.91	1.671	0.060	0.16690	0.00422	0.71	0.07260	0.00184	997	36	995	25	**1003**	**51**	99
011	A_014	393	81	61	557683	0.16	6.40	2.327	0.077	0.20745	0.00518	0.76	0.08136	0.00174	1221	40	1215	30	**1230**	**42**	99
012	A_015	128	57	28	392291	0.22	4.57	9.549	0.314	0.44903	0.01124	0.76	0.15424	0.00328	2392	79	2391	60	**2394**	**36**	100
013	A_016	327	75	166	3133	0.51	1.97	2.721	0.090	0.22983	0.00574	0.76	0.08588	0.00184	1334	44	1334	33	**1335**	**41**	100
014	A_017	152	36	38	249101	0.25	3.97	2.883	0.097	0.23955	0.00600	0.74	0.08729	0.00198	1377	47	1384	35	**1367**	**43**	101
015	A_018	57	13	18	388	0.32	3.17	2.623	0.097	0.22386	0.00572	0.69	0.08497	0.00226	1307	48	1302	33	**1315**	**51**	99
016	A_026	287	56	34	1843	0.12	8.51	2.085	0.070	0.19379	0.00484	0.75	0.07803	0.00174	1144	38	1142	29	**1148**	**44**	100
017	A_027	112	23	42	156468	0.37	2.68	2.231	0.078	0.20258	0.00510	0.72	0.07988	0.00194	1191	42	1189	30	**1194**	**47**	100
018	A_028	327	74	87	10783	0.27	3.74	2.621	0.087	0.22561	0.00564	0.75	0.08426	0.00186	1307	44	1312	33	**1298**	**43**	101
019	A_029	868	119	184	815878	0.21	4.72	1.497	0.049	0.13688	0.00340	0.76	0.07933	0.00168	929	30	827	21	**1180**	**41**	70
020	A_030	199	38	84	57738	0.43	2.35	2.011	0.069	0.19009	0.00476	0.73	0.07672	0.00178	1119	38	1122	28	**1114**	**46**	101
021	A_031	292	66	153	456212	0.52	1.91	2.672	0.088	0.22745	0.00566	0.76	0.08521	0.00184	1321	44	1321	33	**1320**	**42**	100
022	A_032	249	57	76	389209	0.31	3.26	2.682	0.089	0.22767	0.00568	0.75	0.08544	0.00188	1324	44	1322	33	**1326**	**43**	100
023	A_033	211	42	154	289086	0.73	1.37	2.166	0.073	0.19902	0.00496	0.74	0.07895	0.00178	1170	39	1170	29	**1171**	**44**	100
024	A_034	420	73	73	2690	0.17	5.79	1.757	0.058	0.17328	0.00432	0.75	0.07354	0.00162	1030	34	1030	26	**1029**	**44**	100
025	A_035	148	32	53	220198	0.36	2.78	2.472	0.086	0.21620	0.00544	0.72	0.08292	0.00200	1264	44	1262	32	**1267**	**47**	100
026	A_038	351	69	128	476179	0.36	2.75	2.143	0.071	0.19696	0.00490	0.75	0.07891	0.00172	1163	38	1159	29	**1170**	**43**	99
027	A_039	780	135	181	6668	0.23	4.30	2.020	0.066	0.17350	0.00430	0.76	0.08446	0.00178	1122	37	1031	26	**1303**	**41**	79
028	A_040	256	56	67	191717	0.26	3.80	2.496	0.083	0.21749	0.00542	0.75	0.08324	0.00184	1271	42	1269	32	**1275**	**43**	100
029	A_041	172	34	24	1243	0.14	7.20	2.155	0.074	0.19562	0.00488	0.73	0.07991	0.00186	1167	40	1152	29	**1195**	**46**	96
030	A_042	495	100	82	2212	0.17	6.02	2.220	0.074	0.20300	0.00504	0.75	0.07930	0.00174	1187	39	1191	30	**1180**	**43**	101
031	A_043	94	19	30	999	0.32	3.10	2.197	0.077	0.20085	0.00504	0.71	0.07932	0.00196	1180	42	1180	30	**1180**	**49**	100
032	A_044	383	78	76	8092	0.20	5.02	2.229	0.073	0.20308	0.00504	0.75	0.07960	0.00172	1190	39	1192	30	**1187**	**42**	100
033	A_045	195	45	77	818	0.39	2.55	2.744	0.092	0.23088	0.00574	0.74	0.08621	0.00192	1341	45	1339	33	**1343**	**43**	100
034	A_046	207	41	66	282935	0.32	3.11	2.146	0.074	0.19854	0.00496	0.73	0.07839	0.00184	1164	40	1168	29	**1157**	**46**	101
035	A_047	380	84	88	3012	0.23	4.30	2.556	0.084	0.22044	0.00546	0.76	0.08410	0.00180	1288	42	1284	32	**1295**	**41**	99
036	A_048	225	41	60	1731	0.27	3.76	1.919	0.065	0.18260	0.00454	0.74	0.07622	0.00174	1088	37	1081	27	**1101**	**45**	98

Muestra: CP207-07 Punto (1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
037	A_049	119	30	31	206067	0.26	3.82	3.129	0.111	0.25014	0.00630	0.71	0.09071	0.00226	1440	51	1439	36	**1440**	**47**	100
038	A_050	136	32	47	1801	0.34	2.92	2.774	0.095	0.23282	0.00582	0.73	0.08641	0.00202	1349	46	1349	34	**1347**	**44**	100
039	A_051	59	11	10	76297	0.17	5.89	2.004	0.076	0.18800	0.00478	0.67	0.07732	0.00216	1117	42	1111	28	**1130**	**55**	98
040	A_052	148	34	53	2099	0.36	2.79	2.726	0.099	0.22999	0.00582	0.69	0.08595	0.00226	1335	49	1335	34	**1337**	**50**	100
041	A_055	229	41	62	4803	0.27	3.68	1.850	0.062	0.17933	0.00446	0.74	0.07484	0.00170	1064	36	1063	26	**1064**	**46**	100
042	A_056	341	67	55	4441	0.16	6.22	2.108	0.071	0.19523	0.00486	0.73	0.07830	0.00180	1151	39	1150	29	**1155**	**45**	100
043	A_057	558	103	224	4363	0.40	2.49	2.003	0.065	0.18414	0.00456	0.76	0.07888	0.00168	1116	36	1090	27	**1169**	**42**	93
044	A_058	287	58	13	400199	0.04	22.38	2.220	0.074	0.20181	0.00500	0.75	0.07980	0.00176	1188	39	1185	29	**1192**	**43**	99
045	A_059	52	9	10	64913	0.20	4.94	1.992	0.077	0.18184	0.00464	0.66	0.07946	0.00230	1113	43	1077	27	**1184**	**57**	91
046	A_060	212	49	103	340904	0.48	2.07	2.751	0.092	0.23193	0.00576	0.74	0.08604	0.00192	1343	45	1345	33	**1339**	**43**	100
047	A_061	117	25	46	2833	0.39	2.55	2.377	0.082	0.21122	0.00528	0.72	0.08161	0.00196	1236	43	1235	31	**1236**	**47**	100
048	A_062	206	48	55	3749	0.27	3.75	2.743	0.092	0.23095	0.00574	0.74	0.08613	0.00196	1340	45	1340	33	**1341**	**44**	100
049	A_063	91	8	45	146	0.49	2.03	1.134	0.044	0.09322	0.00238	0.66	0.08819	0.00256	769	30	**575**	**15**	1387	55	41
050	A_064	123	20	31	140632	0.25	4.02	1.648	0.060	0.16459	0.00414	0.69	0.07261	0.00192	989	36	982	25	**1003**	**53**	98
051	A_065	474	92	206	634818	0.43	2.30	2.098	0.070	0.19336	0.00478	0.75	0.07868	0.00174	1148	38	1140	28	**1164**	**43**	98
052	A_066	233	52	25	3234	0.11	9.20	2.602	0.087	0.22465	0.00558	0.74	0.08401	0.00190	1301	44	1306	32	**1293**	**44**	101
053	A_067	1091	209	30	1447505	0.03	36.56	2.045	0.066	0.19153	0.00472	0.76	0.07745	0.00164	1131	37	1130	28	**1133**	**42**	100
054	A_068	215	43	95	298144	0.44	2.27	2.194	0.074	0.20038	0.00496	0.73	0.07940	0.00182	1179	40	1177	29	**1182**	**45**	100
055	A_069	281	56	45	385078	0.16	6.24	2.144	0.072	0.19789	0.00490	0.74	0.07857	0.00176	1163	39	1164	29	**1161**	**44**	100
056	A_072	326	63	116	2327	0.36	2.81	2.081	0.069	0.19404	0.00480	0.75	0.07778	0.00172	1143	38	1143	28	**1141**	**44**	100
057	A_073	99	20	61	12445	0.62	1.62	2.151	0.079	0.19909	0.00500	0.69	0.07835	0.00208	1165	43	1170	29	**1156**	**52**	101
058	A_074	333	65	156	1326	0.47	2.13	2.126	0.070	0.19636	0.00484	0.75	0.07854	0.00172	1157	38	1156	28	**1161**	**43**	100
059	A_075	191	43	69	298090	0.36	2.77	2.630	0.093	0.22527	0.00564	0.71	0.08468	0.00212	1309	46	1310	33	**1308**	**48**	100
060	A_076	183	40	48	275008	0.26	3.83	2.529	0.094	0.21703	0.00548	0.68	0.08453	0.00230	1281	48	1266	32	**1305**	**52**	97
061	A_077	278	62	93	1844	0.34	2.97	2.617	0.088	0.22465	0.00556	0.74	0.08449	0.00190	1305	44	1306	32	**1304**	**43**	100
062	A_078	127	25	62	1429	0.49	2.04	2.143	0.076	0.19863	0.00496	0.70	0.07824	0.00198	1163	41	1168	29	**1153**	**50**	101
063	A_079	59	14	13	93953	0.22	4.48	2.690	0.101	0.22884	0.00580	0.67	0.08526	0.00238	1326	50	1328	34	**1321**	**54**	101
064	A_080	398	74	142	2959	0.36	2.81	1.976	0.066	0.18597	0.00458	0.74	0.07706	0.00172	1107	37	1100	27	**1123**	**44**	98
065	A_081	507	71	202	7293	0.40	2.51	1.514	0.050	0.13969	0.00344	0.75	0.07859	0.00172	936	31	**843**	**21**	1162	43	73
066	A_082	446	88	134	2707	0.30	3.33	2.294	0.075	0.19678	0.00484	0.75	0.08456	0.00184	1211	40	1158	28	**1305**	**42**	89
067	A_083	236	40	107	808	0.45	2.21	1.909	0.064	0.16834	0.00416	0.73	0.08225	0.00188	1084	36	1003	25	**1252**	**44**	80
068	A_084	126	21	47	1326	0.37	2.71	1.680	0.060	0.16754	0.00418	0.70	0.07272	0.00186	1001	36	999	25	**1006**	**52**	99
069	A_085	410	94	128	171793	0.31	3.20	2.723	0.089	0.23004	0.00566	0.75	0.08584	0.00186	1335	44	1335	33	**1335**	**42**	100
070	A_086	438	86	26	598050	0.06	16.69	2.129	0.070	0.19616	0.00482	0.75	0.07871	0.00172	1158	38	1155	28	**1165**	**43**	99
071	A_094	447	90	207	2204	0.46	2.16	2.343	0.077	0.20114	0.00494	0.75	0.08448	0.00184	1225	40	1181	29	**1304**	**42**	91
072	A_095	348	74	112	1675	0.32	3.10	2.565	0.085	0.21357	0.00524	0.74	0.08711	0.00192	1291	43	1248	31	**1363**	**42**	92
073	A_096	185	42	76	291179	0.41	2.43	2.631	0.091	0.22554	0.00560	0.72	0.08461	0.00204	1309	45	1311	33	**1307**	**47**	100
074	A_097	653	102	41	709185	0.06	15.80	1.683	0.055	0.15588	0.00382	0.75	0.07831	0.00170	1002	33	934	23	**1155**	**43**	81
075	A_098	386	79	150	1933	0.39	2.58	2.244	0.074	0.20379	0.00500	0.74	0.07986	0.00176	1195	39	1196	29	**1194**	**43**	100
076	A_099	164	35	98	2811	0.60	1.68	2.383	0.082	0.21157	0.00522	0.72	0.08170	0.00194	1238	42	1237	31	**1238**	**46**	100
077	A_100	76	14	23	264	0.30	3.33	1.876	0.082	0.18118	0.00470	0.60	0.07509	0.00262	1073	47	1073	28	**1071**	**69**	100
078	A_101	415	59	215	413387	0.52	1.93	1.514	0.050	0.14262	0.00350	0.74	0.07701	0.00172	936	31	**860**	**21**	1121	44	77
079	A_102	94	22	36	153031	0.38	2.62	2.793	0.098	0.23297	0.00578	0.71	0.08696	0.00214	1354	47	1350	33	**1360**	**47**	99
080	A_103	2131	142	326	1859	0.15	6.54	0.688	0.025	0.06679	0.00166	0.69	0.07470	0.00194	532	19	**417**	**10**	1060	52	39
081	A_106	273	62	74	430339	0.27	3.66	2.651	0.092	0.22594	0.00560	0.72	0.08509	0.00206	1315	46	1313	33	**1317**	**47**	100
082	A_107	158	36	87	1249	0.55	1.80	2.753	0.093	0.22998	0.00566	0.73	0.08682	0.00202	1343	45	1334	33	**1357**	**44**	98
083	A_108	164	31	80	216122	0.49	2.05	1.998	0.069	0.18857	0.00466	0.72	0.07683	0.00184	1115	38	1114	28	**1117**	**47**	100
084	A_109	397	85	134	1301	0.34	2.96	2.542	0.087	0.21348	0.00526	0.72	0.08636	0.00204	1284	44	1247	31	**1346**	**45**	93
085	A_110	209	40	85	279815	0.41	2.45	2.046	0.070	0.19139	0.00472	0.72	0.07753	0.00186	1131	39	1129	28	**1135**	**48**	99
086	A_111	369	61	107	2072	0.29	3.43	1.645	0.055	0.16569	0.00406	0.74	0.07202	0.00162	988	33	988	24	**987**	**46**	100
087	A_112	529	91	101	635183	0.19	5.22	1.764	0.058	0.17175	0.00420	0.74	0.07448	0.00166	1032	34	1022	25	**1054**	**45**	97
088	A_113	193	45	22	6400	0.11	8.99	2.751	0.093	0.23179	0.00570	0.73	0.08607	0.00200	1342	45	1344	33	**1340**	**45**	100
089	A_114	851	156	38	1090477	0.05	22.14	1.925	0.063	0.18318	0.00448	0.75	0.07621	0.00166	1090	36	1084	27	**1101**	**43**	99
090	A_115	428	83	163	583465	0.38	2.63	2.110	0.070	0.19492	0.00476	0.74	0.07850	0.00174	1152	38	1148	28	**1160**	**44**	99
091	A_116	316	73	42	7744	0.13	7.47	2.748	0.092	0.23184	0.00568	0.74	0.08598	0.00194	1342	45	1344	33	**1338**	**43**	100
092	A_117	189	43	80	845	0.42	2.37	2.657	0.104	0.22521	0.00570	0.65	0.08557	0.00254	1317	51	1309	33	**1328**	**57**	99
093	A_118	257	54	25	375211	0.10	10.17	2.357	0.079	0.20865	0.00512	0.73	0.08194	0.00188	1230	41	1222	30	**1244**	**44**	98
094	A_119	205	40	69	282129	0.34	2.97	2.324	0.078	0.19692	0.00484	0.73	0.08561	0.00198	1220	41	1159	28	**1329**	**45**	87
095	A_120	347	69	43	486915	0.13	7.99	2.182	0.073	0.20005	0.00490	0.73	0.07910	0.00180	1175	39	1176	29	**1175**	**45**	100
096	A_123	70	16	21	109904	0.30	3.35	2.639	0.106	0.22373	0.00570	0.64	0.08554	0.00264	1312	52	1302	33	**1328**	**59**	98
097	A_124	181	42	58	1195	0.32	3.14	2.706	0.091	0.22913	0.00562	0.73	0.08565	0.00198	1330	45	1330	33	**1330**	**44**	100
098	A_125	240	48	45	333965	0.19	5.31	2.139	0.072	0.19813	0.00486	0.73	0.07830	0.00180	1162	39	1165	29	**1154**	**45**	101
099	A_126	222	52	107	361555	0.48	2.07	2.762	0.093	0.23208	0.00568	0.73	0.08630	0.00198	1345	45	1345	33	**1345**	**44**	100
100	A_127	899	96	219	10114	0.24	4.10	1.145	0.038	0.10716	0.00262	0.74	0.07751	0.00172	775	26	**656**	**16**	1134	44	58
101	A_128	284	57	90	3451	0.32	3.17	2.370	0.079	0.19885	0.00486	0.73	0.08644	0.00198	1234	41	1169	29	**1348**	**44**	87
102	A_129	236	45	67	803	0.28	3.53	2.176	0.073	0.18899	0.00462	0.72	0.08349	0.00194	1173	40	1116	27	**1280**	**45**	87
103	A_130	250	58	133	1247	0.53	1.88	2.745	0.092	0.23038	0.00564	0.73	0.08641	0.00198	1341	45	1337	33	**1347**	**44**	99
104	A_131	174	36	49	252727	0.28	3.57	2.304	0.079	0.20634	0.00506	0.72	0.08098	0.00192	1213	41	1209	30	**1221**	**46**	99
105	A_132	161	38	71	263683	0.44	2.27	2.782	0.094	0.23261	0.00570	0.72	0.08673	0.00204	1351	46	1348	33	**1355**	**45**	100
106	A_133	252	51	124	355853	0.49	2.04	2.192	0.073	0.20076	0.00490	0.73	0.07920	0.00182	1179	40	1179	29	**1177**	**45**	100
107	A_134	126	25	80	172276	0.63	1.58	2.265	0.079	0.19403	0.00478	0.71	0.08466	0.00208	1202	42	1143	28	**1308**	**48**	87
108	A_135	160	37	92	257623	0.58	1.74	2.697	0.092	0.22872	0.00562	0.72	0.08552	0.00204	1328	45	1328	33	**1327**	**46**	100
109	A_136	172	38	78	265913	0.46	2.20	2.542	0.086	0.21986	0.00538	0.72	0.08384	0.00198	1284	44	1281	31	**1289**	**46**	99

Muestra: CP207-07 Punto (1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
110	A_137	72	19	45	1557	0.63	1.60	3.306	0.117	0.25847	0.00640	0.70	0.09277	0.00234	1483	52	1482	37	**1483**	**48**	100

Abreviaciones: **(a)** La concentración de U y Pb y las relaciones Th / U se calculan con respecto al circón de referencia GJ-1; **(b)** = La correción para el fraccionamiento Pb / U de fondo y dentro de la ejecución, son normalizadas con el circón de referencia GJ-1 (valores ID-TIMS / valor medido); El ^{207}Pb / ^{235}U es calculado utilizando ($^{207}Pb/^{206}Pb$)/($^{238}U/^{206}Pb$*1/137.88); **(c)** = *Rho* es la correlación de los errores, definido como el cociente de los errores propagados en la relación $^{206}Pb/^{238}U$ y $^{207}Pb/^{235}U$; **(d)** = exhibe la suma cuadrática de los errores intraserie (2SD) y la reproducibilidad díaria de GJ-1 (2SD); **(e)** = exhibe la correción para el sesgo de masa que es normalizando con el circón de referencia GJ-1 (~ 0,6 por unidad de masa atómica) y el Pb común es usando del modelo de composición de Pb de Stacey & Kramers (1975). **(1)** es el identificador de la muestra y número de punto [*números faltantes*: puntos que fueron omitidos por su alto error analítico], **(2)** exhibe las relaciones de isótopica corregida para Pb común usando ^{204}Pb medidos para la corrección. Los errores individuales se expresan como desviación estándar de 2- sigma y **(3)** exhibe las edades aparentes más confiables y están en negrita. **Nota:** Si el promedio de las edades aparentes es del Proterozoico medio o más antiguo (> 900 Ma), entonces las edades de $^{207}Pb/^{206}Pb$ se consideran como edades aparentes más confiables; Mientras que, para los valores más jóvenes se utilizan las edades de $^{206}Pb/^{238}U$.

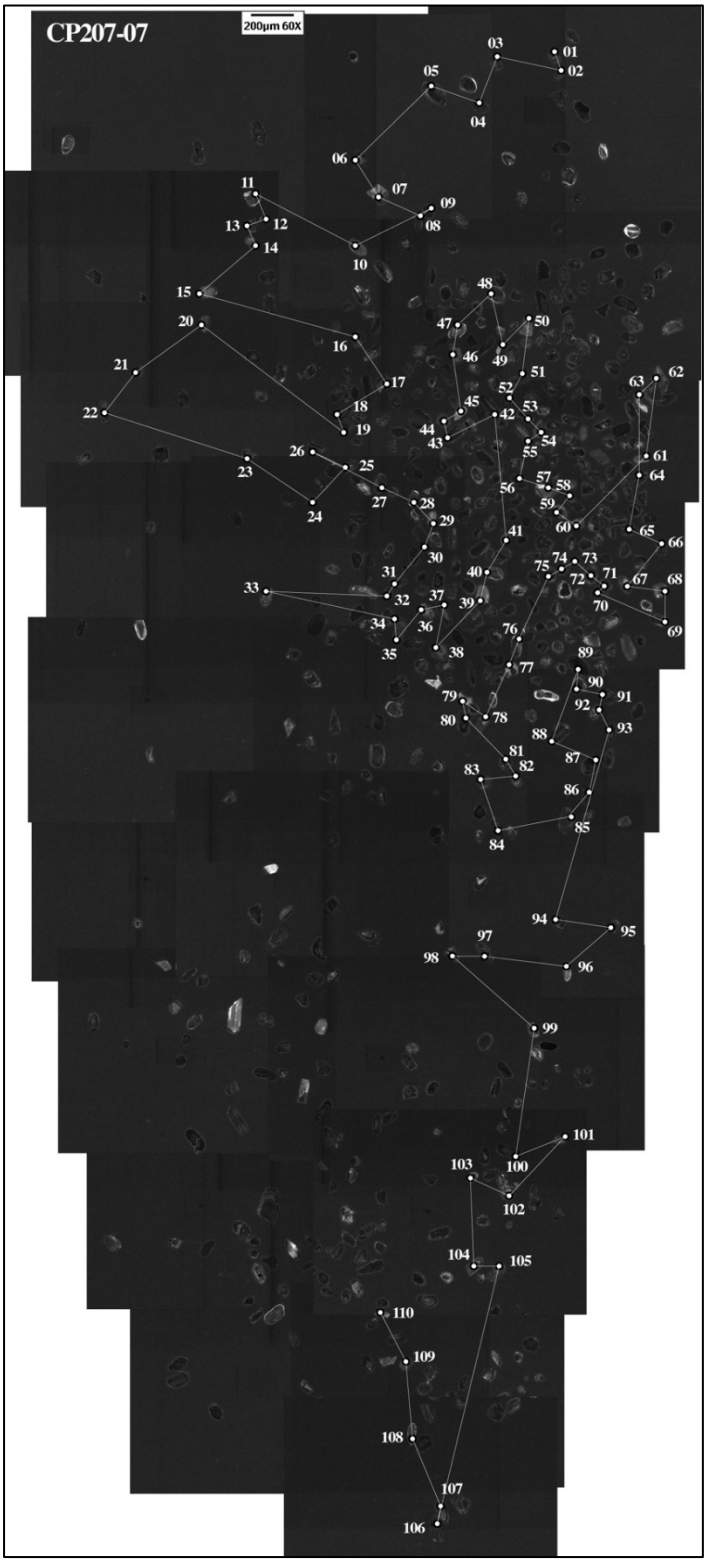


Fig. 9. 48. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CP207-07 de la Formación Del Monte. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots).

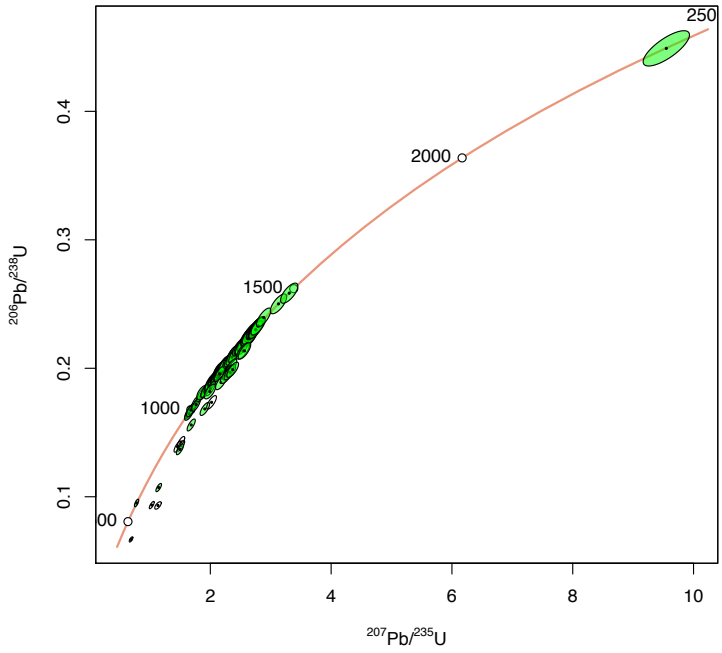


Fig. 9. 49. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CP207-07 de la Formación Del Monte. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma.

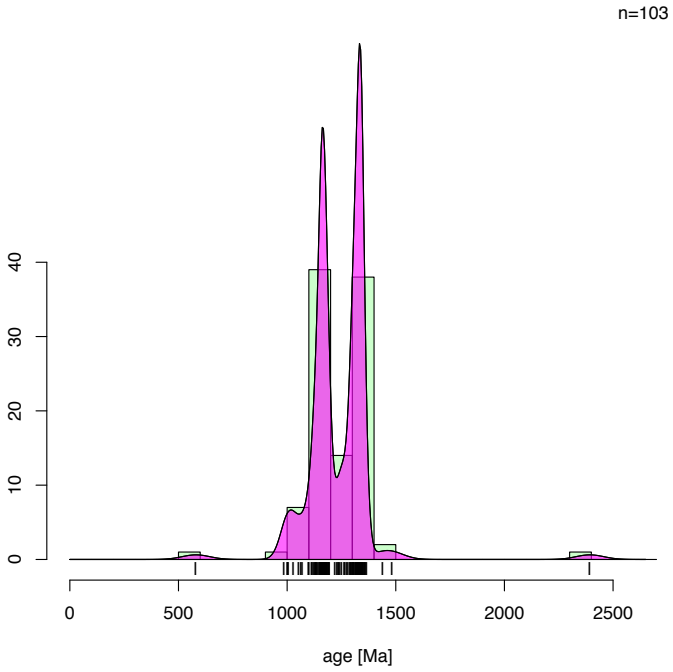


Fig. 9. 50. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP207-07 de la Formación Del Monte con respecto a la media de las edades.

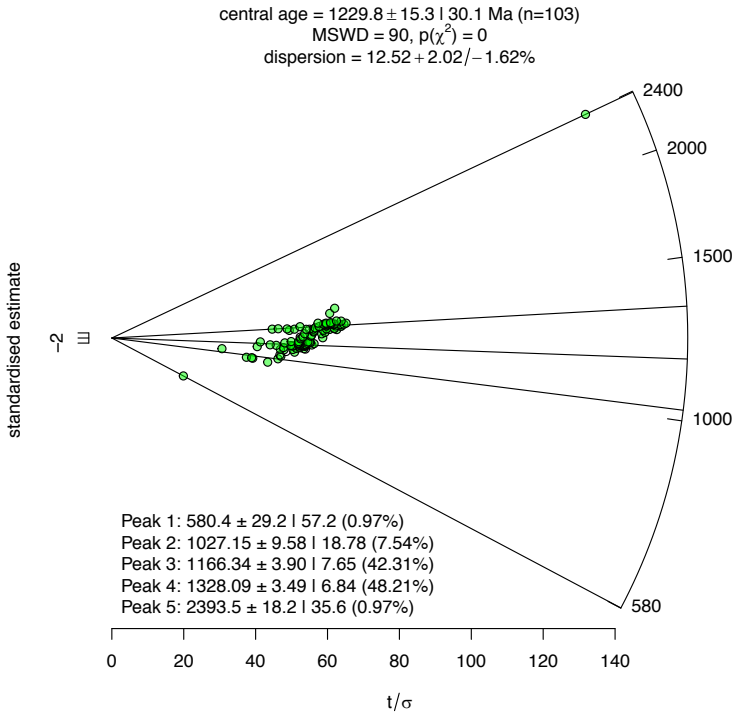
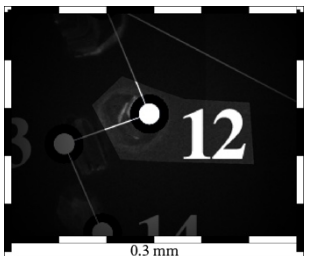
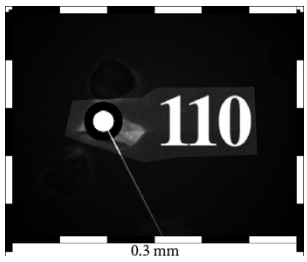
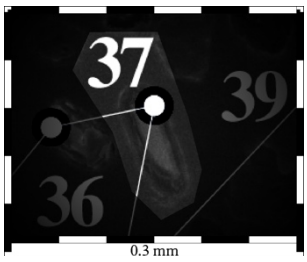
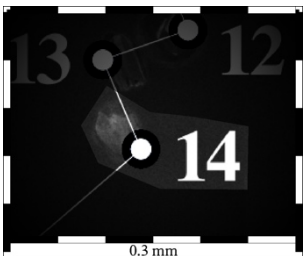
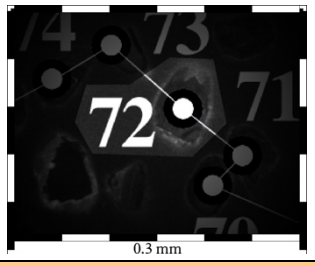
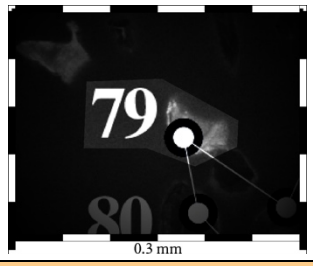
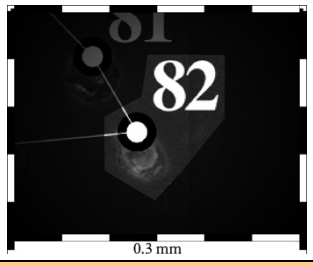
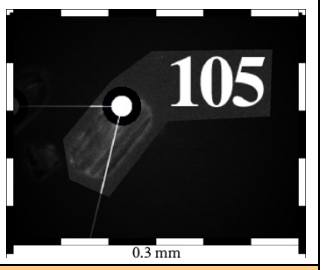
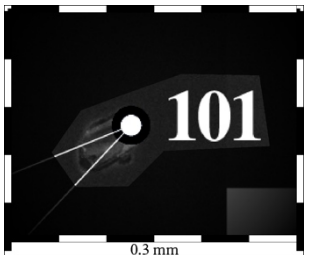
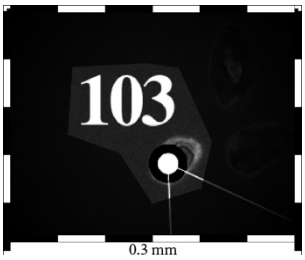
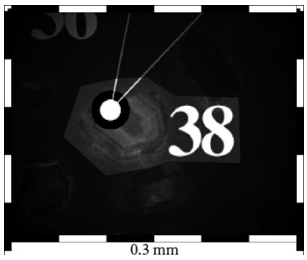
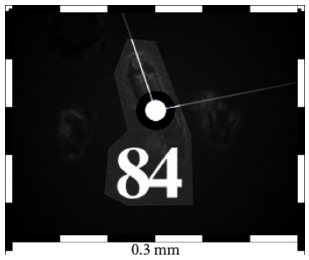
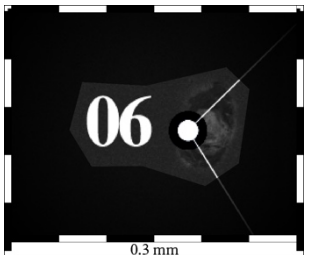
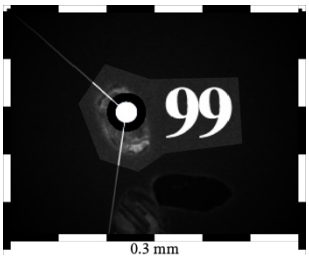
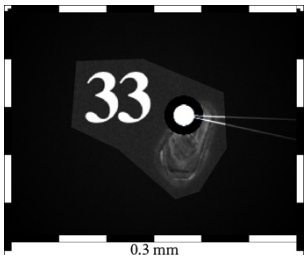
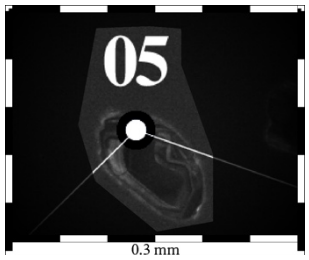
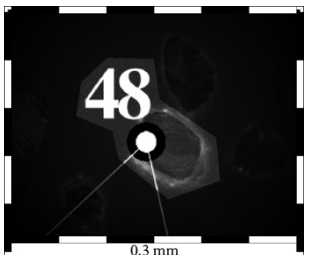
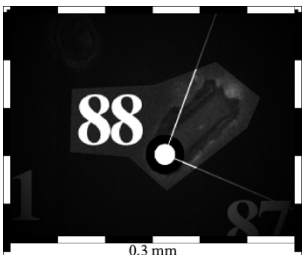
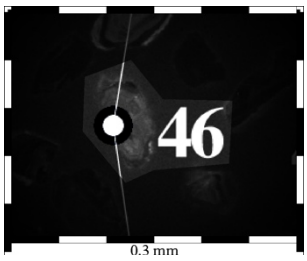
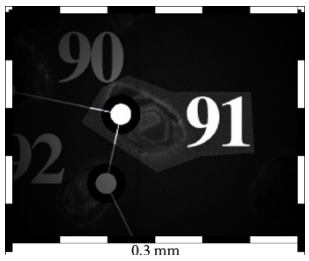
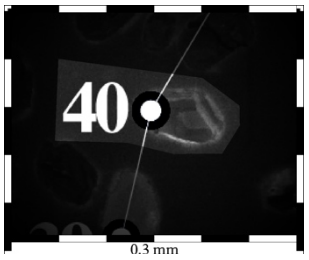
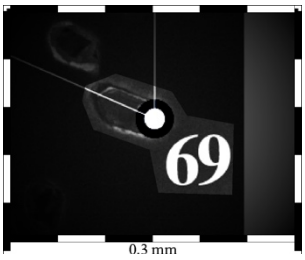
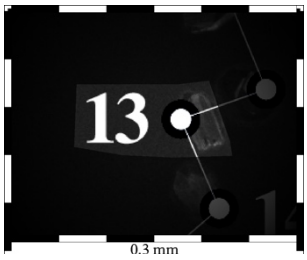
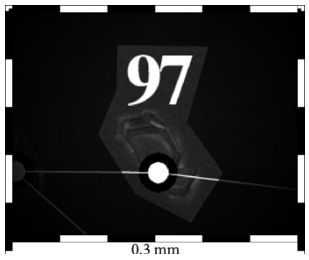
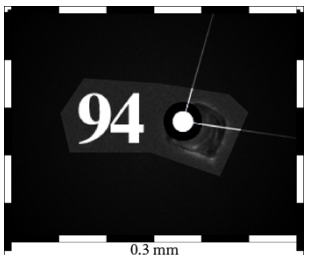
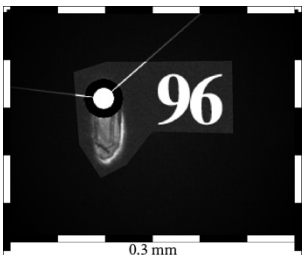
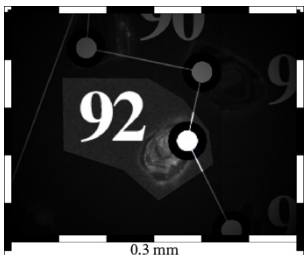
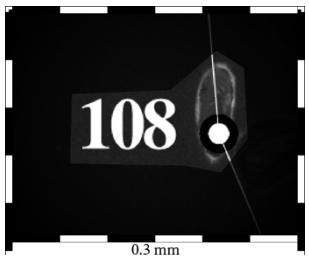
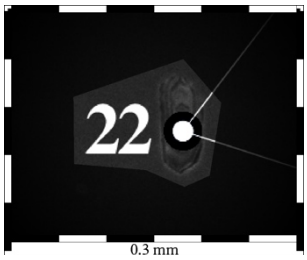
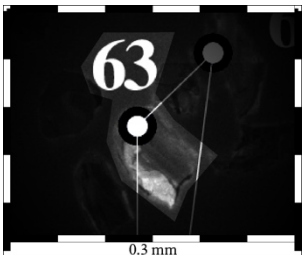
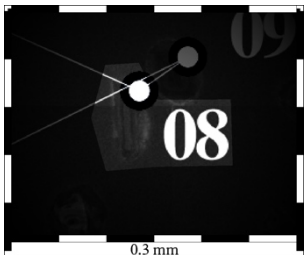
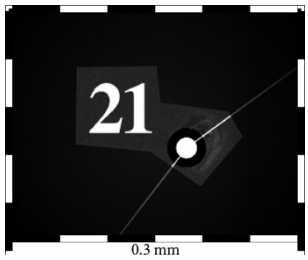
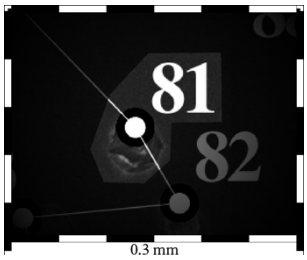
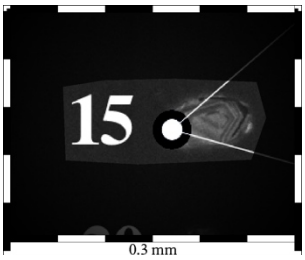
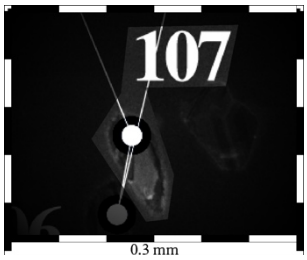
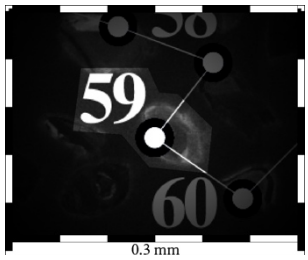
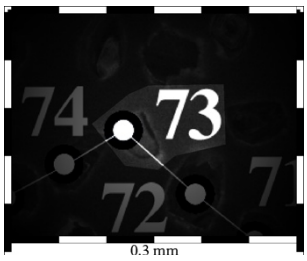
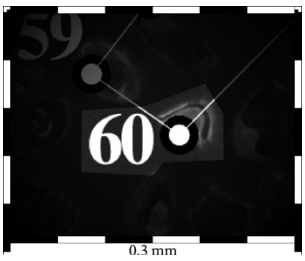
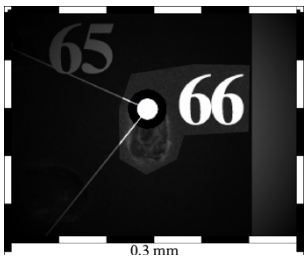
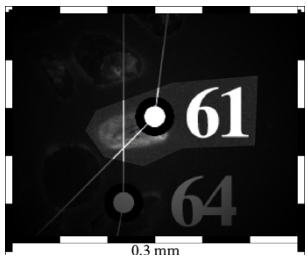
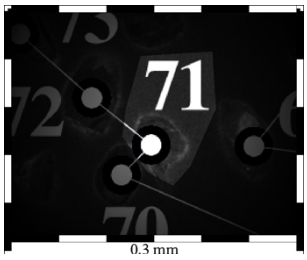
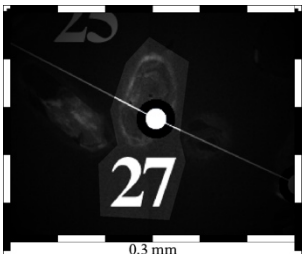
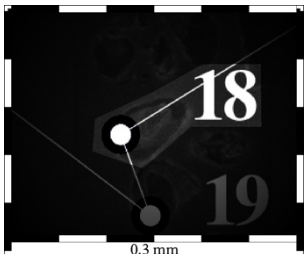
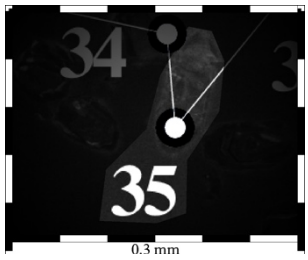
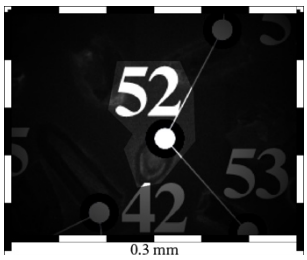
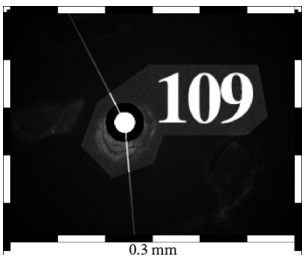
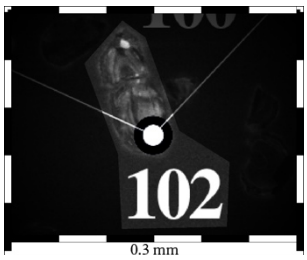
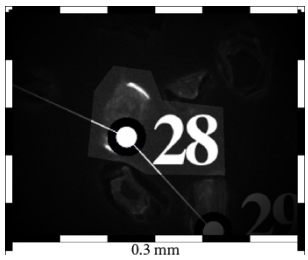


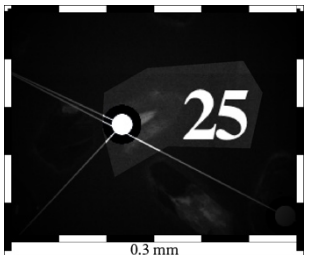
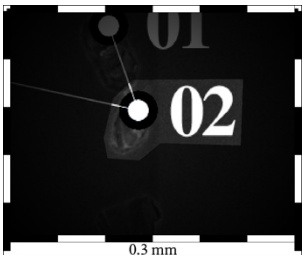
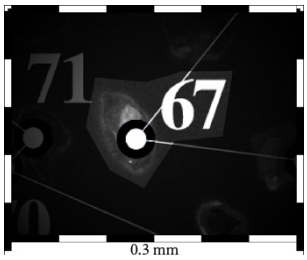
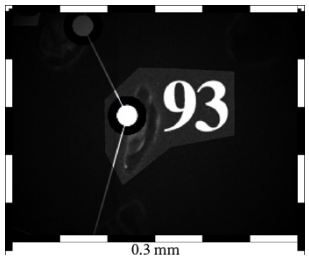
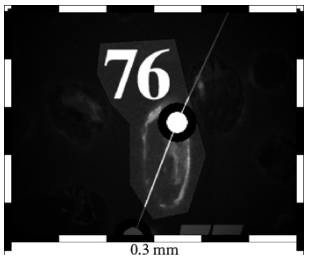
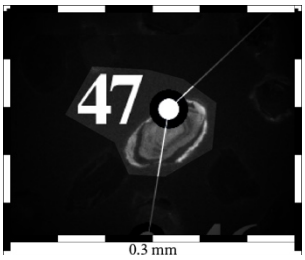
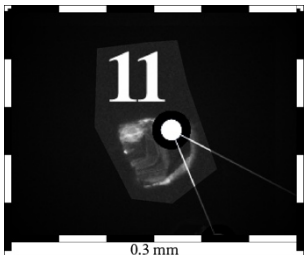
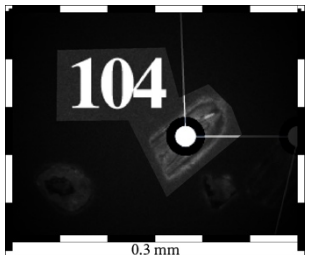
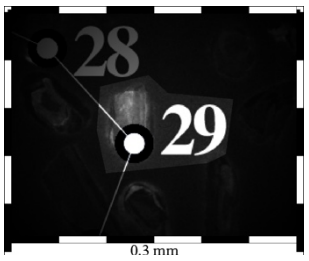
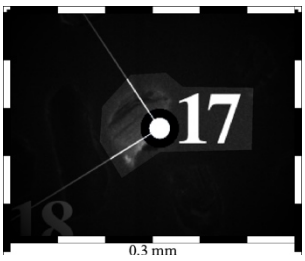
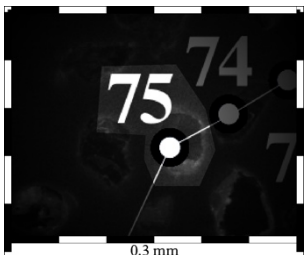
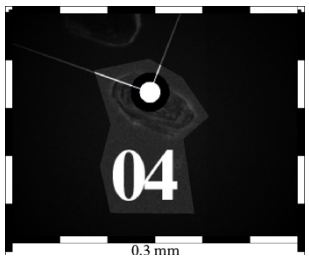
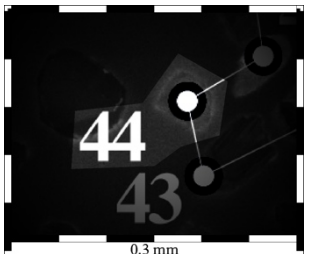
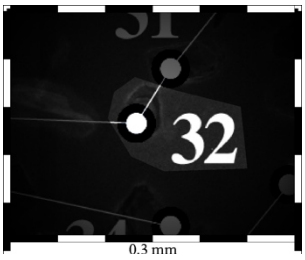
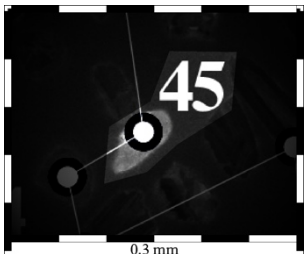
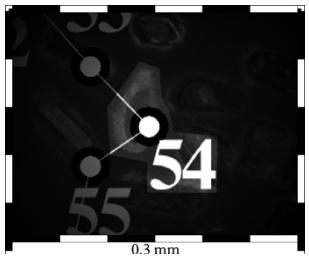
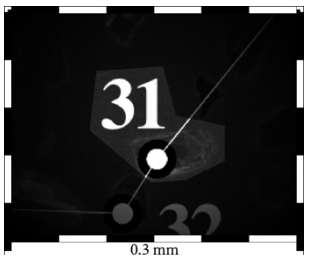
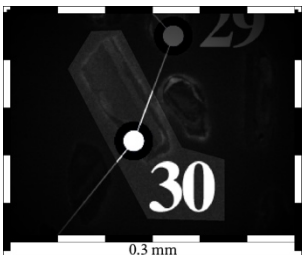
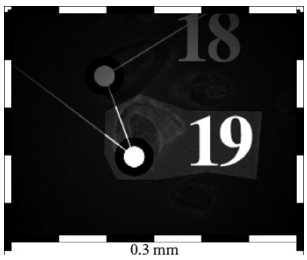
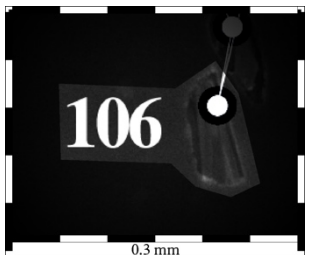
Fig. 9. 51. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Del Monte, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018).

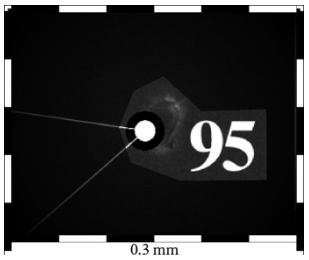
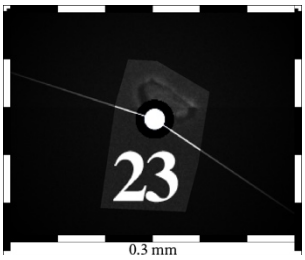
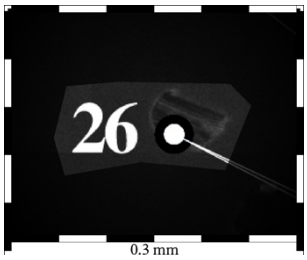
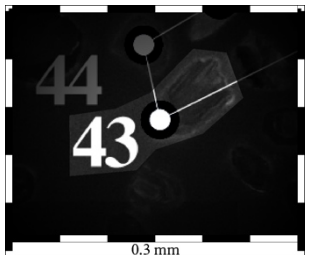
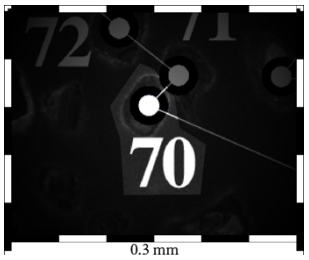
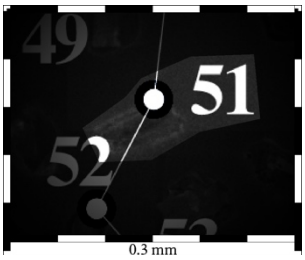
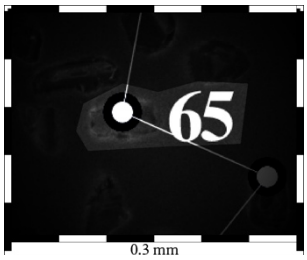
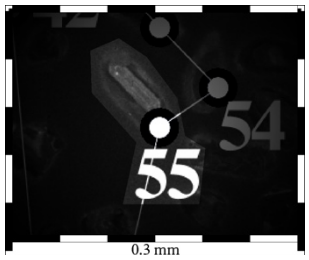
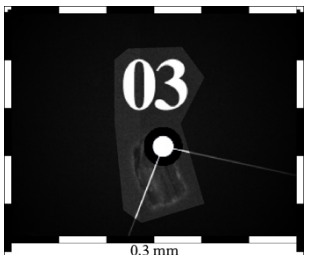
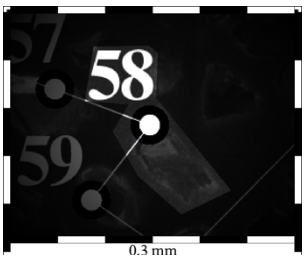
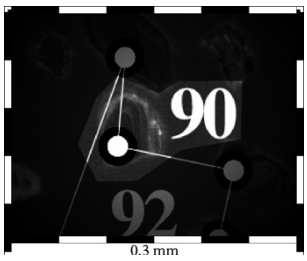
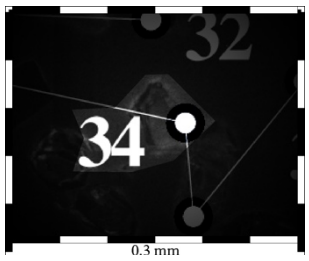
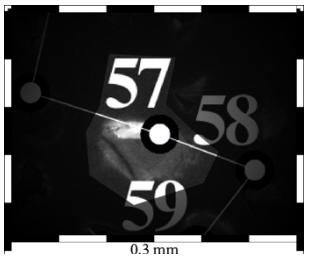
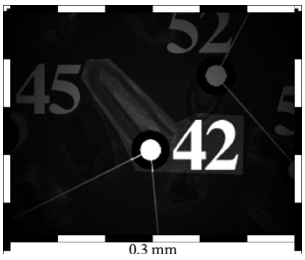
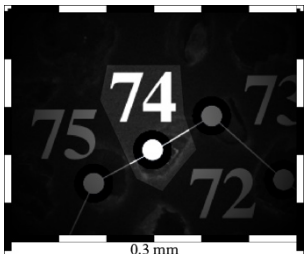
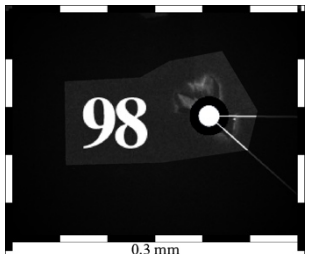
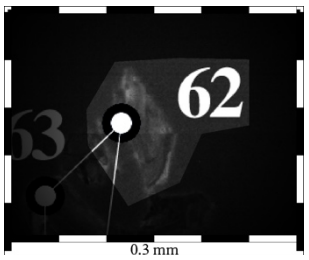
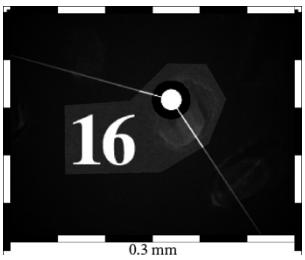
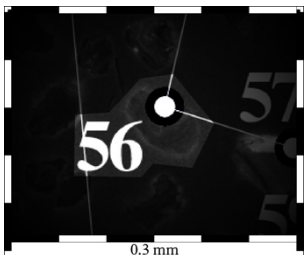
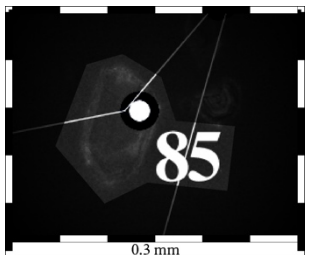
Tabla 25. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013).

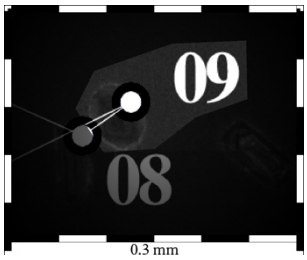
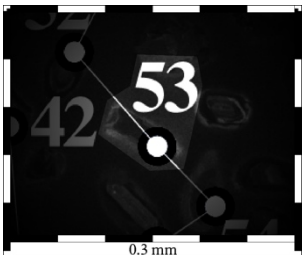
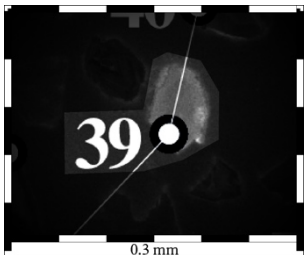
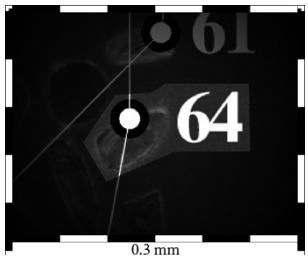
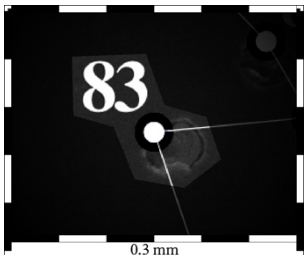
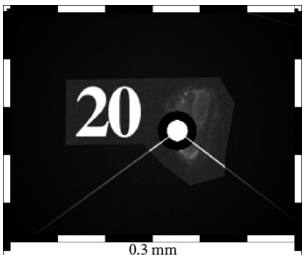
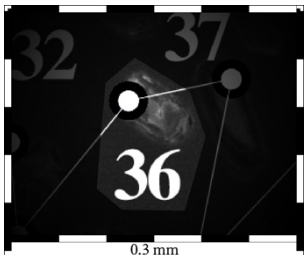
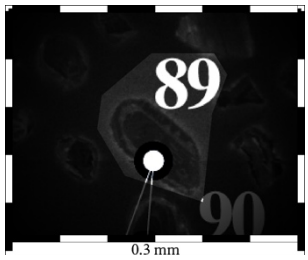
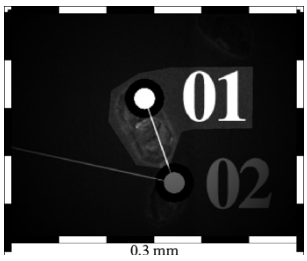
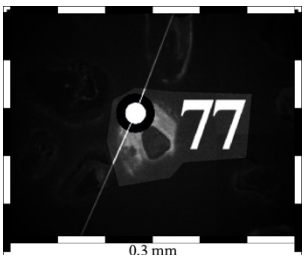
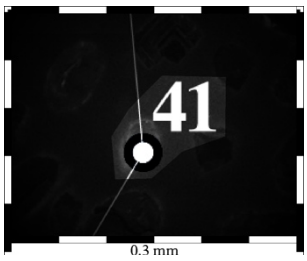
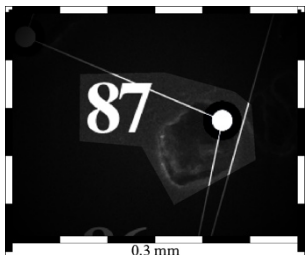
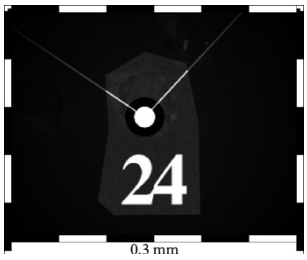
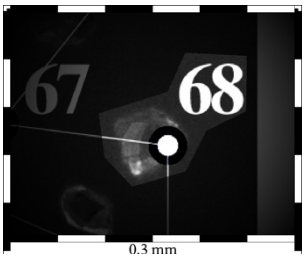
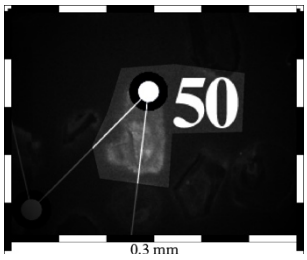
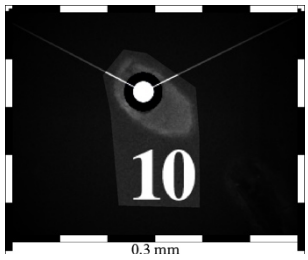
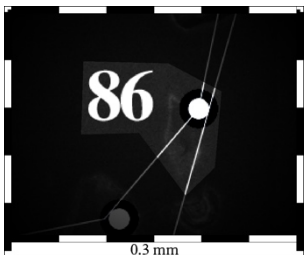
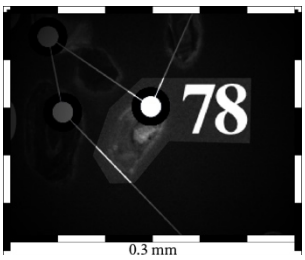
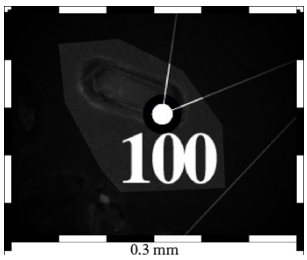
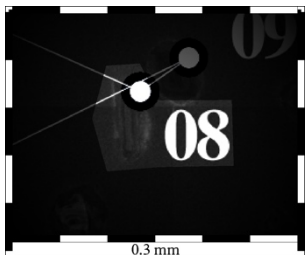
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
			
CP207-07–012 → 2394±36 Ma	CP207-07–110 → 1483±48 Ma	CP207-07–037 → 1440±47 Ma	CP207-07–014 → 1367±43 Ma
			
CP207-07–072 → 1363±42 Ma	CP207-07–079 → 1360±47 Ma	CP207-07–082 → 1357±44 Ma	CP207-07–105 → 1355±45 Ma

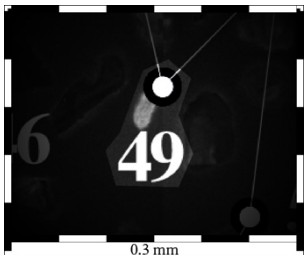
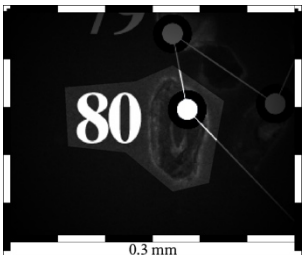
Formación Del Monte (Pensilvánico)			
			
CP207-07–101 → 1348±yy Ma	CP207-07–103 → 1347±44 Ma	CP207-07–038 → 1347±44 Ma	CP207-07–084 → 1346±45 Ma
			
CP207-07–006 → 1346±45 Ma	CP207-07–099 → 1345±44 Ma	CP207-07–033 → 1343±43 Ma	CP207-07–005 → 1343±41 Ma
			
CP207-07–048 → 1341±44 Ma	CP207-07–088 → 1340±45 Ma	CP207-07–046 → 1339±43 Ma	CP207-07–091 → 1338±43 Ma
			
CP207-07–040 → 1337±50 Ma	CP207-07–069 → 1335±42 Ma	CP207-07–013 → 1335±41 Ma	CP207-07–097 → 1330±44 Ma
			
CP207-07–094 → 1329±45 Ma	CP207-07–096 → 1328±59 Ma	CP207-07–092 → 1328±57 Ma	CP207-07–108 → 1327±46 Ma

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
			
CP207-07–022 → 1326±43 Ma	CP207-07–063 → 1321±54 Ma	CP207-07–008 → 1321±41 Ma	CP207-07–021 → 1320±42 Ma
			
CP207-07–081 → 1317±47 Ma	CP207-07–015 → 1315±51 Ma	CP207-07–107 → 1308±48 Ma	CP207-07–059 → 1308±48 Ma
			
CP207-07–073 → 1307±47 Ma	CP207-07–060 → 1305±52 Ma	CP207-07–066 → 1305±42 Ma	CP207-07–061 → 1304±43 Ma
			
CP207-07–071 → 1304±42 Ma	CP207-07–027 → 133±41 Ma	CP207-07–018 → 1298±43 Ma	CP207-07–035 → 1295±41 Ma
			
CP207-07–052 → 1293±44 Ma	CP207-07–109 → 1289±46 Ma	CP207-07–102 → 1280±45 Ma	CP207-07–028 → 1275±43 Ma

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
			
CP207-07–025 → 1267±47 Ma	CP207-07–002 → 1263±43 Ma	CP207-07–067 → 1252±44 Ma	CP207-07–093 → 1244±44 Ma
			
CP207-07–076 → 1238±46 Ma	CP207-07–047 → 1236±47 Ma	CP207-07–011 → 1230±42 Ma	CP207-07–104 → 1221±46 Ma
			
CP207-07–029 → 1195±46 Ma	CP207-07–017 → 1194±47 Ma	CP207-07–075 → 1194±43 Ma	CP207-07–004 → 1194±41 Ma
			
CP207-07–044 → 1192±43 Ma	CP207-07–032 → 1187±42 Ma	CP207-07–045 → 1184±57 Ma	CP207-07–054 → 1182±45 Ma
			
CP207-07–031 → 1180±49 Ma	CP207-07–030 → 1180±43 Ma	CP207-07–019 → 1180±41 Ma	CP207-07–106 → 1177±45 Ma

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
			
CP207-07–095 → 1175±45 Ma	CP207-07–023 → 1171±44 Ma	CP207-07–026 → 1170±43 Ma	CP207-07–043 → 1169±42 Ma
			
CP207-07–070 → 1165±43 Ma	CP207-0–051 → 1164±43 Ma	CP207-07–065 → 1162±43 Ma	CP207-07–055 → 1161±44 Ma
			
CP207-07–003 → 1161±44 Ma	CP207-07–058 → 1161±43 Ma	CP207-07–090 → 1160±44 Ma	CP207-07–034 → 1157±46 Ma
			
CP207-07–057 → 1156±52 Ma	CP207-07–042 → 1155±45 Ma	CP207-07–074 → 1155±43 Ma	CP207-07–098 → 1154±45 Ma
			
CP207-07–062 → 1153±50 Ma	CP207-07–016 → 1148±44 Ma	CP207-07–056 → 1141±44 Ma	CP207-07–085 → 1135±48 Ma

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
			
CP207-07–009 → 1135±42 Ma	CP207-07–053 → 1133±42 Ma	CP207-07–039 → 1130±55 Ma	CP207-07–064 → 1123±44 Ma
			
CP207-07–083 → 1117±47 Ma	CP207-07–020 → 1114±46 Ma	CP207-07–036 → 1101±45 Ma	CP207-07–089 → 1101±43 Ma
			
CP207-07–001 → 1097±42 Ma	CP207-07–077 → 1071±69 Ma	CP207-07–041 → 1064±46 Ma	CP207-07–087 → 1054±45 Ma
			
CP207-07–024 → 1029±44 Ma	CP207-07–068 → 1006±52 Ma	CP207-07–050 → 1003±53 Ma	CP207-07–010 → 1003±51 Ma
			
CP207-07–086 → 987±46 Ma	CP207-07–078 → 860±21 Ma	CP207-07–100 → 656±16 Ma	CP207-07–007 → 0586±15 Ma

Formación Del Monte (Pensilvánico)			
			
CP207-07–049 → 575±15 Ma	CP207-07–080 → 417±10 Ma		

11.5.4 Formación Guacamaya

Tabla 26. Datos de U-Th-Pb de los circones detríticos de la Formación Guacamaya por medio de la LA-MC-ICP-MS: Muestra CP197-03, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Tamaulipas, México; Coordenada UTM Zona 14N- 474593 E, 2629044 N.

Muestra: CP197-03 Punto (1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
001	03-001	69	4	17	24031	0.25	4.01	0.376	0.021	0.0517	0.0014	0.50	0.053	0.003	324	18	**325**	**9**	319	109	102
002	03-002	59	3	9	19443	0.16	6.26	0.358	0.023	0.0491	0.0014	0.45	0.053	0.003	310	20	**309**	**9**	322	129	96
003	03-003	74	4	13	24942	0.18	5.67	0.362	0.020	0.0500	0.0014	0.50	0.053	0.003	314	18	**314**	**9**	308	112	102
004	03-004	53	3	11	212	0.21	4.79	0.351	0.020	0.0488	0.0014	0.48	0.052	0.003	306	18	**307**	**9**	297	116	103
005	03-005	37	2	7	58	0.19	5.21	0.351	0.054	0.0477	0.0021	0.29	0.053	0.008	306	47	**301**	**13**	344	333	87
006	03-006	31	1	6	9861	0.20	4.94	0.341	0.025	0.0476	0.0014	0.40	0.052	0.004	298	22	**300**	**9**	284	157	105
007	03-007	76	4	14	104	0.18	5.46	0.339	0.018	0.0470	0.0013	0.52	0.052	0.002	296	16	**296**	**8**	299	103	99
008	03-008	34	2	8	11595	0.24	4.10	0.371	0.043	0.0507	0.0019	0.32	0.053	0.006	321	37	**319**	**12**	333	251	96
009	03-009	28	1	5	8920	0.18	5.44	0.346	0.046	0.0476	0.0019	0.30	0.053	0.007	302	40	**300**	**12**	318	287	94
010	03-010	63	3	12	200	0.19	5.35	0.341	0.019	0.0474	0.0013	0.49	0.052	0.003	298	17	**298**	**8**	296	114	101
011	03-011	41	2	9	62	0.21	4.81	0.370	0.032	0.0494	0.0016	0.37	0.054	0.004	320	28	**311**	**10**	384	180	81
012	03-012	251	29	54	196897	0.21	4.66	1.113	0.039	0.1163	0.0030	0.74	0.069	0.002	760	27	**709**	**18**	912	48	78
013	03-013	138	7	38	46455	0.28	3.58	0.360	0.016	0.0501	0.0013	0.62	0.052	0.002	312	13	**315**	**8**	292	77	108
014	03-014	95	4	25	187	0.27	3.77	0.340	0.022	0.0464	0.0014	0.44	0.053	0.003	297	20	**293**	**9**	331	134	89
015	03-015	83	4	18	945	0.22	4.61	0.341	0.017	0.0474	0.0013	0.54	0.052	0.002	298	15	**298**	**8**	299	95	100
016	03-016	46	2	10	224	0.21	4.85	0.323	0.024	0.0445	0.0013	0.40	0.053	0.004	285	21	**280**	**8**	318	153	88
017	03-017	97	4	38	30038	0.40	2.52	0.318	0.038	0.0461	0.0018	0.32	0.050	0.006	280	34	**291**	**11**	194	266	150
018	03-018	71	3	25	149	0.36	2.80	0.347	0.025	0.0480	0.0014	0.42	0.052	0.003	302	22	**302**	**9**	303	149	100
019	03-019	68	3	19	22263	0.28	3.62	0.353	0.019	0.0489	0.0013	0.52	0.052	0.002	307	16	**308**	**8**	301	103	102
020	03-020	52	3	11	17247	0.21	4.74	0.361	0.024	0.0496	0.0014	0.44	0.053	0.003	313	21	**312**	**9**	320	134	97
021	03-021	78	4	16	312	0.20	5.01	0.367	0.020	0.0504	0.0014	0.51	0.053	0.003	318	17	**317**	**9**	321	108	99
022	03-022	72	3	23	373	0.32	3.14	0.355	0.020	0.0482	0.0013	0.50	0.053	0.003	309	17	**303**	**8**	350	109	87
023	03-023	67	3	13	23041	0.19	5.21	0.367	0.023	0.0506	0.0015	0.46	0.053	0.003	317	20	**318**	**9**	309	126	103
024	03-024	52	3	9	16936	0.17	5.80	0.352	0.020	0.0485	0.0014	0.49	0.053	0.003	306	17	**305**	**9**	314	113	97
025	03-025	37	2	7	12581	0.20	5.10	0.366	0.038	0.0502	0.0018	0.34	0.053	0.005	317	33	**316**	**11**	325	221	97
026	03-026	37	2	6	43	0.17	5.88	0.368	0.036	0.0492	0.0017	0.35	0.054	0.005	318	31	**309**	**11**	384	209	81
027	03-027	85	4	17	27429	0.20	5.00	0.348	0.017	0.0478	0.0013	0.55	0.053	0.002	303	15	**301**	**8**	320	94	94
028	03-028	42	2	8	13698	0.18	5.49	0.402	0.026	0.0478	0.0014	0.46	0.061	0.003	343	22	**301**	**9**	636	122	47
029	03-029	83	4	17	118	0.21	4.86	0.344	0.018	0.0477	0.0013	0.52	0.052	0.002	300	16	**300**	**8**	301	102	100
030	03-030	26	1	5	8250	0.18	5.53	0.346	0.047	0.0477	0.0019	0.30	0.053	0.007	302	41	**300**	**12**	315	294	95
031	03-031	19	1	4	6573	0.21	4.81	0.375	0.074	0.0516	0.0027	0.27	0.053	0.010	323	64	**324**	**17**	314	433	103
032	03-032	27	1	6	8969	0.23	4.29	0.365	0.061	0.0498	0.0023	0.28	0.053	0.008	316	52	**313**	**15**	333	361	94
033	03-033	39	2	11	70	0.27	3.71	0.354	0.036	0.0489	0.0017	0.34	0.052	0.005	308	31	**308**	**11**	306	215	101
034	03-034	61	3	17	264	0.28	3.57	0.337	0.026	0.0449	0.0014	0.39	0.055	0.004	295	23	**283**	**9**	394	161	72
035	03-035	54	3	10	9584	0.18	5.58	0.351	0.020	0.0482	0.0013	0.49	0.053	0.003	305	17	**303**	**8**	321	114	94
036	03-036	74	3	16	481	0.21	4.68	0.322	0.019	0.0449	0.0013	0.48	0.052	0.003	283	16	**283**	**8**	288	116	98
038	03-038	125	6	21	2101	0.17	5.84	0.328	0.015	0.0448	0.0012	0.57	0.053	0.002	288	14	**282**	**8**	333	88	85
039	03-039	50	2	9	15511	0.17	5.78	0.329	0.022	0.0458	0.0013	0.43	0.052	0.003	289	20	**288**	**8**	291	140	99
040	03-040	75	3	15	22887	0.20	5.00	0.333	0.024	0.0452	0.0014	0.42	0.053	0.003	292	21	**285**	**9**	345	147	83
043	03-043	74	3	19	19122	0.26	3.84	0.320	0.017	0.0383	0.0011	0.52	0.061	0.003	282	15	**242**	**7**	628	98	39
044	03-044	32	1	7	150	0.21	4.69	0.373	0.026	0.0467	0.0014	0.43	0.058	0.004	322	22	**294**	**9**	531	137	55
045	03-045	56	3	10	538	0.18	5.51	0.542	0.027	0.0465	0.0013	0.56	0.084	0.004	440	22	**293**	**8**	1303	81	23
046	03-046	64	3	12	169	0.18	5.45	0.348	0.019	0.0467	0.0013	0.50	0.054	0.003	303	17	**294**	**8**	372	108	79
047	03-047	74	3	17	23454	0.23	4.35	0.446	0.022	0.0469	0.0013	0.56	0.069	0.003	374	18	**295**	**8**	897	83	33
048	03-048	36	2	10	11314	0.29	3.48	0.343	0.023	0.0466	0.0014	0.43	0.053	0.003	300	20	**294**	**9**	347	140	85
049	03-049	37	2	6	11684	0.17	5.98	0.397	0.025	0.0469	0.0014	0.45	0.061	0.004	339	22	**296**	**9**	650	123	45
050	03-050	43	2	9	249	0.20	4.96	0.355	0.022	0.0473	0.0013	0.46	0.054	0.003	308	19	**298**	**8**	388	124	77
051	03-051	55	3	11	17492	0.20	5.12	0.342	0.019	0.0465	0.0013	0.49	0.053	0.003	299	17	**293**	**8**	345	112	85
052	03-052	37	2	8	613	0.21	4.85	0.363	0.024	0.0471	0.0014	0.44	0.056	0.003	314	21	**297**	**9**	446	131	67
053	03-053	62	3	17	19553	0.27	3.66	0.360	0.020	0.0464	0.0013	0.51	0.056	0.003	312	17	**292**	**8**	464	104	63
054	03-054	30	1	7	9581	0.22	4.47	0.343	0.025	0.0472	0.0014	0.40	0.053	0.004	299	22	**297**	**9**	312	155	95
055	03-055	56	3	15	17756	0.26	3.82	0.346	0.020	0.0466	0.0013	0.49	0.054	0.003	302	17	**294**	**8**	366	111	80
057	03-057	124	6	40	39053	0.32	3.12	0.344	0.015	0.0465	0.0012	0.59	0.054	0.002	300	13	**293**	**8**	357	82	82
059	03-059	70	3	15	22426	0.21	4.69	0.341	0.019	0.0474	0.0013	0.50	0.052	0.002	298	16	**299**	**8**	293	108	102
060	03-060	29	1	5	55	0.18	5.43	0.362	0.044	0.0496	0.0019	0.31	0.053	0.006	314	38	**312**	**12**	323	262	97
061	03-061	49	2	9	15903	0.19	5.38	0.348	0.025	0.0476	0.0014	0.41	0.053	0.003	303	22	**300**	**9**	329	149	91
062	03-062	38	2	7	4111	0.18	5.60	0.351	0.024	0.0482	0.0014	0.42	0.053	0.003	306	21	**304**	**9**	322	141	94
063	03-063	73	4	14	23866	0.19	5.28	0.354	0.022	0.0481	0.0014	0.45	0.053	0.003	307	19	**303**	**9**	344	127	88
064	03-064	37	2	8	11754	0.21	4.68	0.387	0.025	0.0470	0.0014	0.45	0.060	0.004	332	22	**296**	**9**	591	127	50
065	03-065	37	2	8	12038	0.21	4.84	0.347	0.027	0.0479	0.0015	0.40	0.053	0.004	303	23	**302**	**9**	312	160	97
066	03-066	46	2	9	92	0.20	4.98	0.353	0.032	0.0492	0.0016	0.35	0.052	0.004	307	28	**309**	**10**	291	196	106
067	03-067	35	2	8	46	0.24	4.24	0.349	0.026	0.0483	0.0015	0.40	0.052	0.004	304	23	**304**	**9**	300	159	101
068	03-068	151	29	35	890	0.23	4.35	2.044	0.077	0.1918	0.0050	0.69	0.077	0.002	1130	43	1131	30	**1129**	**55**	100
069	03-069	58	3	11	1186	0.19	5.14	0.369	0.021	0.0507	0.0014	0.49	0.053	0.003	319	18	**319**	**9**	318	112	100
070	03-070	71	3	11	23561	0.16	6.21	0.339	0.018	0.0488	0.0013	0.52	0.050	0.002	296	16	**307**	**8**	214	106	144
071	03-071	56	3	11	18774	0.20	5.01	0.355	0.023	0.0489	0.0014	0.45	0.053	0.003	309	20	**308**	**9**	313	131	98
072	03-072	122	6	59	143	0.48	2.09	0.353	0.024	0.0486	0.0014	0.43	0.053	0.003	307	21	**306**	**9**	317	140	96

Muestra: CP197-03 Punto (1)	Análisis	U [ppm]a	Pb [ppm]a	Th [ppm]a	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Th/U[a]	U/Th	Ratio (2)							Edad Aparente [Ma]						Conc. %
								$^{207}Pb/^{235}U$[b]	2 σ[d]	$^{206}Pb/^{238}U$[b]	2 σ[d]	*rho*[c]	$^{207}Pb/^{206}Pb$[e]	2 σ[d]	$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$ (3)	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ (3)	2 σ	
073	03-073	37	2	7	11386	0.19	5.18	0.331	0.071	0.0455	0.0026	0.26	0.053	0.011	291	62	**287**	**16**	322	470	89
074	03-074	63	3	13	151	0.20	5.00	0.359	0.029	0.0495	0.0015	0.38	0.053	0.004	311	25	**312**	**10**	308	171	101
075	03-075	61	3	11	252	0.18	5.67	0.389	0.023	0.0533	0.0015	0.47	0.053	0.003	334	20	**335**	**9**	325	121	103
076	03-076	217	11	45	77648	0.21	4.78	0.384	0.015	0.0526	0.0014	0.66	0.053	0.002	330	13	**330**	**9**	329	68	100
077	03-077	84	16	36	1050	0.43	2.31	2.044	0.075	0.1908	0.0050	0.71	0.078	0.002	1130	41	1126	29	**1140**	**51**	99
078	03-078	54	3	11	18056	0.20	5.02	0.357	0.045	0.0493	0.0019	0.30	0.053	0.006	310	39	**310**	**12**	309	274	101
079	03-079	65	3	12	22214	0.18	5.46	0.368	0.035	0.0504	0.0017	0.35	0.053	0.005	318	30	**317**	**10**	326	202	97
080	03-080	55	3	11	18681	0.20	5.08	0.357	0.025	0.0496	0.0015	0.42	0.052	0.003	310	22	**312**	**9**	299	145	104
081	03-081	74	4	13	133	0.18	5.52	0.370	0.020	0.0507	0.0014	0.51	0.053	0.002	320	17	**319**	**9**	328	105	97
082	03-082	63	3	13	54	0.20	4.90	0.370	0.028	0.0507	0.0015	0.40	0.053	0.004	320	25	**319**	**10**	326	160	98
083	03-083	54	3	9	17558	0.17	6.00	0.349	0.031	0.0480	0.0016	0.36	0.053	0.004	304	27	**302**	**10**	313	191	97
084	03-084	43	2	7	432	0.17	5.81	0.336	0.051	0.0467	0.0020	0.29	0.052	0.008	294	44	**294**	**13**	296	328	99
085	03-085	58	3	11	20036	0.19	5.21	0.370	0.038	0.0508	0.0018	0.34	0.053	0.005	320	33	**319**	**11**	322	219	99
086	03-086	43	2	8	150	0.18	5.45	0.367	0.023	0.0460	0.0013	0.45	0.058	0.003	318	20	**290**	**8**	525	124	55
087	03-087	51	3	10	1939	0.19	5.20	0.361	0.023	0.0495	0.0014	0.46	0.053	0.003	313	20	**311**	**9**	323	127	96
088	03-088	55	3	11	17482	0.19	5.21	0.343	0.031	0.0464	0.0015	0.36	0.054	0.005	299	27	**292**	**9**	353	191	83
089	03-089	59	3	21	91	0.35	2.83	0.366	0.032	0.0510	0.0016	0.37	0.052	0.004	317	28	**321**	**10**	289	187	111
090	03-090	52	2	11	16922	0.21	4.67	0.351	0.032	0.0478	0.0016	0.36	0.053	0.004	305	27	**301**	**10**	336	190	89
091	03-091	78	4	17	25484	0.22	4.55	0.345	0.017	0.0476	0.0013	0.53	0.053	0.002	301	15	**300**	**8**	309	98	97
093	03-093	37	2	7	330	0.19	5.23	0.358	0.039	0.0496	0.0018	0.33	0.052	0.005	311	34	**312**	**11**	303	233	103
094	03-094	46	2	9	14701	0.20	5.12	0.341	0.021	0.0469	0.0013	0.46	0.053	0.003	298	18	**295**	**8**	318	123	93
095	03-095	95	4	32	12558	0.34	2.94	0.348	0.018	0.0466	0.0013	0.52	0.054	0.002	304	16	**294**	**8**	380	100	77
096	03-096	31	2	7	187	0.21	4.72	0.354	0.037	0.0489	0.0017	0.33	0.053	0.005	308	32	**308**	**11**	308	223	100
097	03-097	56	3	11	149	0.19	5.16	0.362	0.021	0.0498	0.0014	0.47	0.053	0.003	313	19	**313**	**9**	317	119	99
098	03-098	51	2	10	16168	0.20	4.96	0.336	0.024	0.0468	0.0014	0.41	0.052	0.003	294	21	**295**	**9**	292	151	101
099	03-099	35	2	6	11544	0.18	5.50	0.349	0.028	0.0481	0.0015	0.38	0.053	0.004	304	24	**303**	**9**	312	169	97
100	03-100	83	4	30	27503	0.37	2.71	0.353	0.020	0.0487	0.0014	0.49	0.053	0.003	307	17	**307**	**9**	307	113	100
101	03-101	89	4	20	234	0.22	4.55	0.332	0.026	0.0462	0.0014	0.39	0.052	0.004	291	23	**291**	**9**	294	165	99
102	03-102	35	2	8	114	0.22	4.52	0.341	0.029	0.0466	0.0015	0.37	0.053	0.004	298	25	**294**	**9**	333	178	88
103	03-103	50	2	10	16168	0.19	5.15	0.339	0.048	0.0470	0.0020	0.29	0.052	0.007	297	42	**296**	**12**	301	309	98
104	03-104	40	2	8	13643	0.20	5.01	0.356	0.059	0.0495	0.0023	0.28	0.052	0.008	309	51	**311**	**14**	294	361	106
105	03-105	67	3	12	2173	0.18	5.41	0.322	0.039	0.0450	0.0017	0.31	0.052	0.006	284	34	**284**	**11**	282	260	101
106	03-106	53	2	9	16120	0.18	5.60	0.323	0.026	0.0443	0.0014	0.38	0.053	0.004	285	23	**279**	**9**	328	169	85
107	03-107	43	2	8	14486	0.18	5.66	0.359	0.038	0.0492	0.0017	0.33	0.053	0.005	311	33	**310**	**11**	324	224	96
108	03-108	42	2	10	13049	0.23	4.38	0.322	0.044	0.0450	0.0018	0.29	0.052	0.007	284	39	**284**	**11**	282	300	101
109	03-109	49	2	9	77	0.18	5.45	0.329	0.027	0.0449	0.0014	0.38	0.053	0.004	289	24	**283**	**9**	336	171	84
110	03-110	53	3	11	112	0.22	4.60	0.376	0.023	0.0517	0.0015	0.46	0.053	0.003	324	20	**325**	**9**	322	124	101
111	03-111	54	3	10	17198	0.19	5.32	0.337	0.021	0.0467	0.0013	0.46	0.052	0.003	295	18	**294**	**8**	301	125	98
112	03-112	65	3	21	20873	0.33	3.06	0.336	0.018	0.0467	0.0013	0.51	0.052	0.002	294	16	**294**	**8**	293	107	100
113	03-113	44	2	8	60	0.19	5.23	0.332	0.063	0.0460	0.0024	0.27	0.052	0.010	291	56	**290**	**15**	300	419	97
114	03-114	121	6	23	38504	0.19	5.36	0.334	0.025	0.0464	0.0014	0.40	0.052	0.004	292	22	**293**	**9**	291	158	101
115	03-115	77	4	12	181	0.16	6.32	0.343	0.023	0.0476	0.0014	0.43	0.052	0.003	299	20	**300**	**9**	298	138	101

Abreviaciones: **(a)** La concentración de U y Pb y las relaciones Th / U se calculan con respecto al circón de referencia GJ-1; **(b)** = La correción para el fraccionamiento Pb / U de fondo y dentro de la ejecución, son normalizadas con el circón de referencia GJ-1 (valores ID-TIMS / valor medido); El ^{207}Pb / ^{235}U es calculado utilizando ($^{207}Pb/^{206}Pb$)/($^{238}U/^{206}Pb$*1/137.88); **(c)** = *Rho* es la correlación de los errores, definido como el cociente de los errores propagados en la relación $^{206}Pb/^{238}U$ y $^{207}Pb/^{235}U$; **(d)** = exhibe la suma cuadrática de los errores intraserie (2SD) y la reproducibilidad díaria de GJ-1 (2SD); **(e)** = exhibe la correción para el sesgo de masa que es normalizando con el circón de referencia GJ-1 (~ 0,6 por unidad de masa atómica) y el Pb común es usando del modelo de composición de Pb de Stacey & Kramers (1975). **(1)** es el identificador de la muestra y número de punto [*números faltantes*: puntos que fueron omitidos por su alto error analítico], **(2)** exhibe las relaciones de isótopica corregida para Pb común usando ^{204}Pb medidos para la corrección. Los errores individuales se expresan como desviación estándar de 2- sigma y **(3)** exhibe las edades aparentes más confiables y están en negrita. **Nota:** Si el promedio de las edades aparentes es del Proterozoico medio o más antiguo (> 900 Ma), entonces las edades de $^{207}Pb/^{206}Pb$ se consideran como edades aparentes más confiables; Mientras que, para los valores más jóvenes se utilizan las edades de $^{206}Pb/^{238}U$.

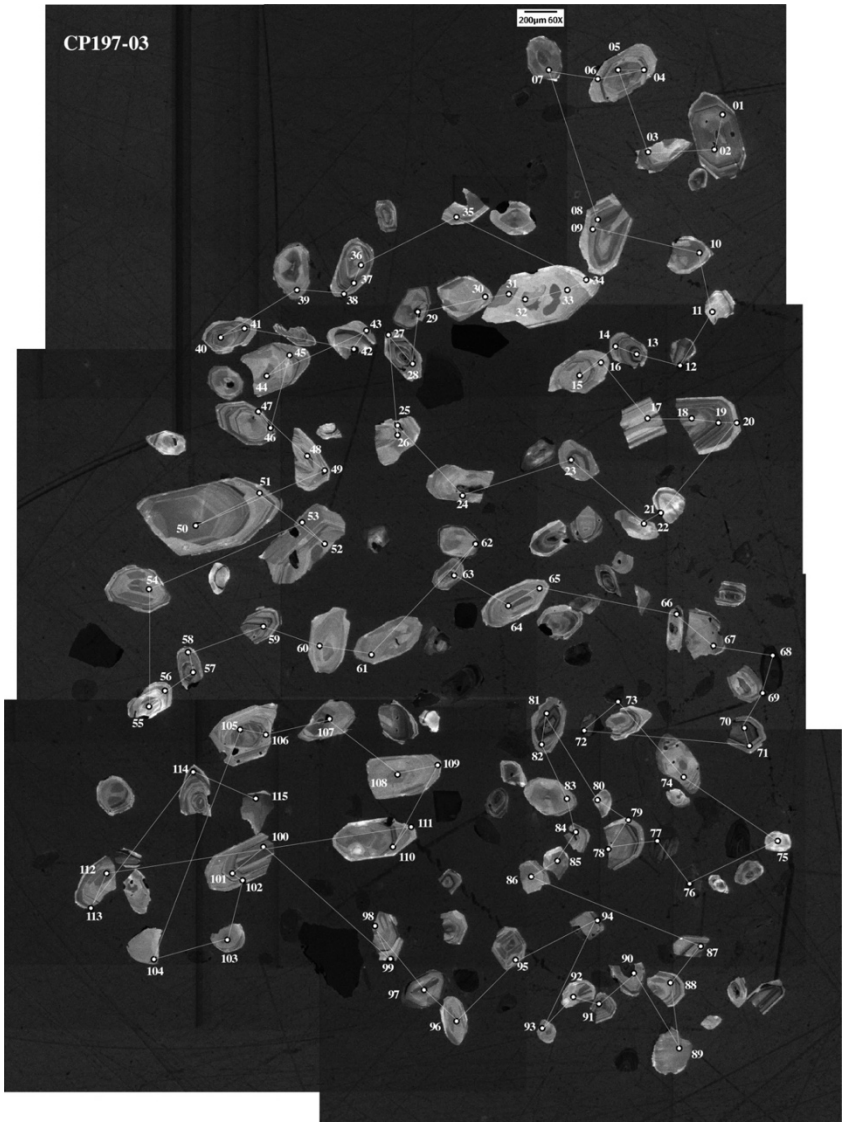


Fig. 9. 52. Imagen CL de circones detríticos de la muestra CP197-03 de la Formación Guacamaya. La línea blanca representa el patrón considerado y los números es la cantidad de puntos de muestra (spots).

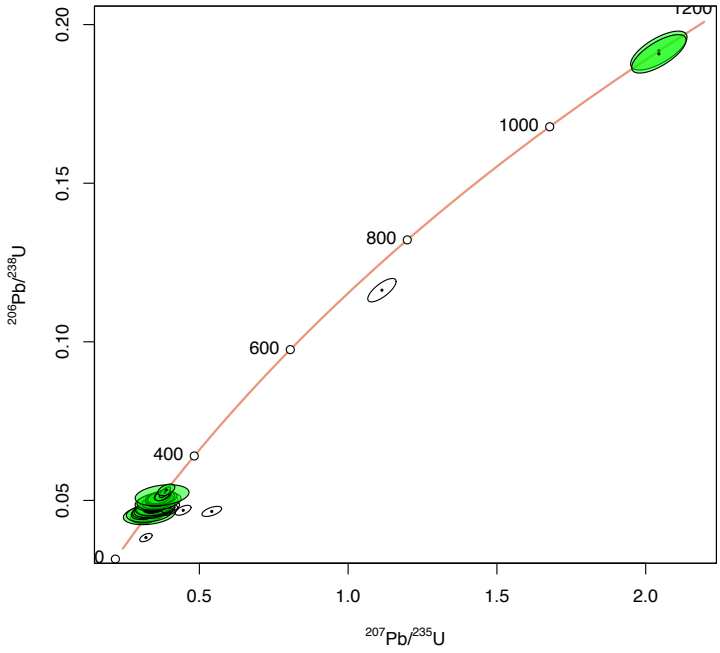


Fig. 9. 53. Diagrama de concordia las poblaciones de edades de la muestra CP197-03 de la Formación Guacamaya. **Elipses verdes:** exhiben error, el cual se encuentran en 2-sigma.

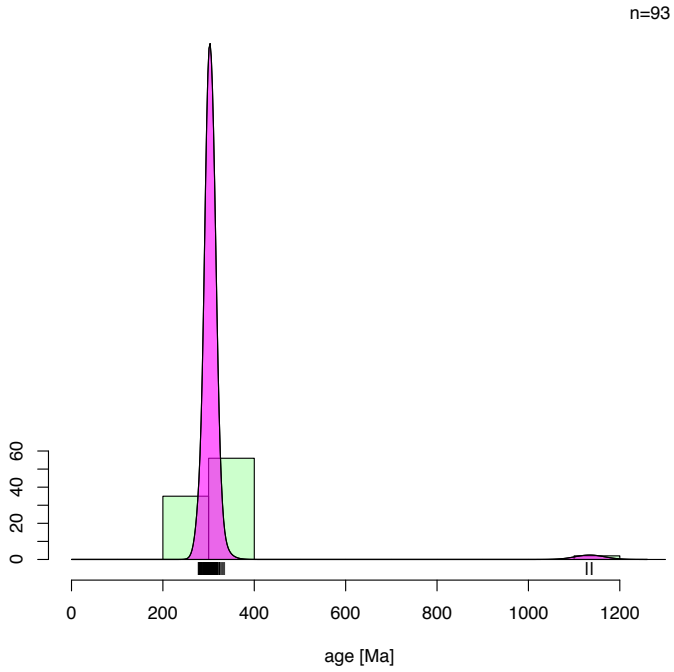


Fig. 9. 54. Histograma de la densidad de edades U-Pb de las muestras CP197-03 de la Formación Guacamaya con respecto a la media de las edades.

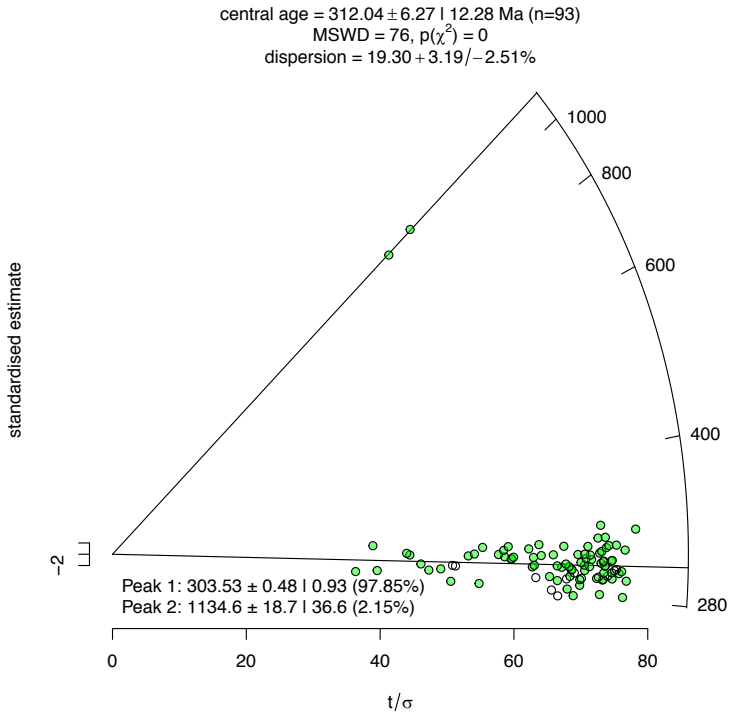


Fig. 9. 55. Diagrama radial bivariado de las edades U-Pb de los granos de la la Formación Guacamaya, con respecto a al error estandarizado. La estimación de los picos de edades muestran un 95 % de confiabilidad, la dispersión de edades estan marcadas con líneas asimétricas (ó límites de confianza; Vermeesch, 2009; 2018).

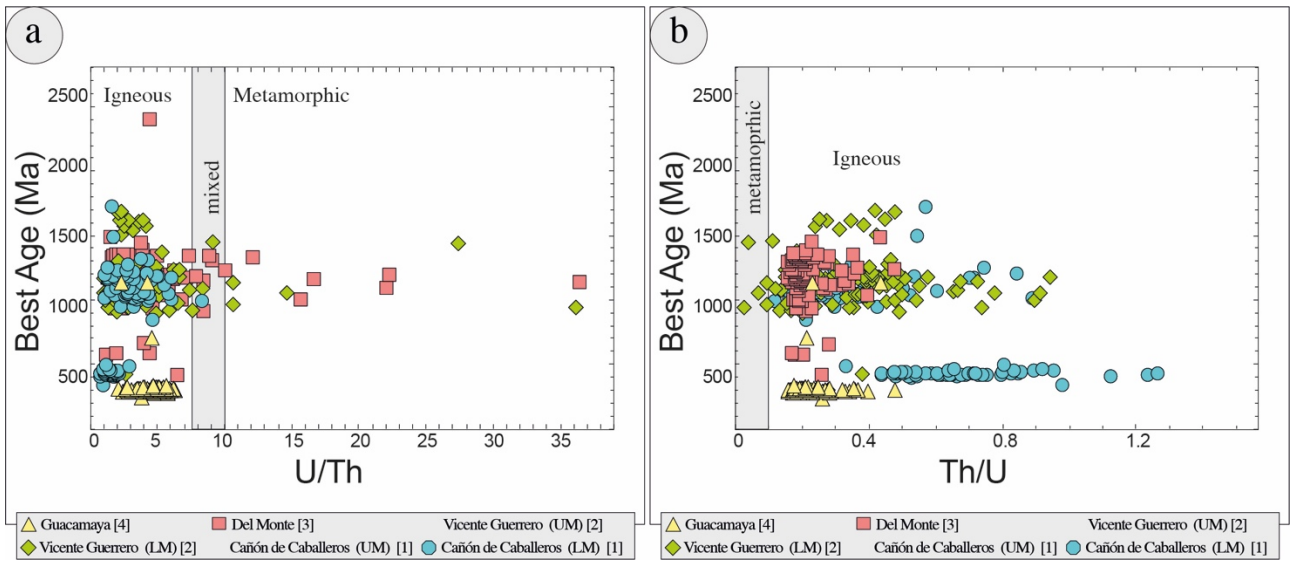
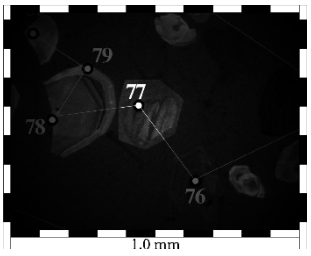
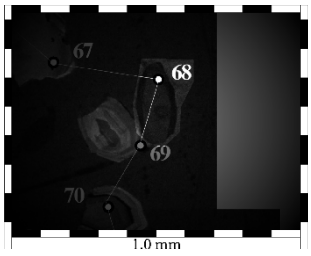
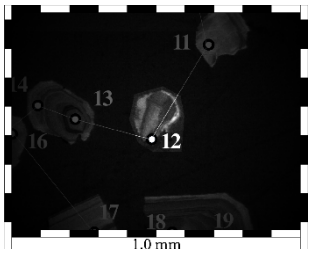
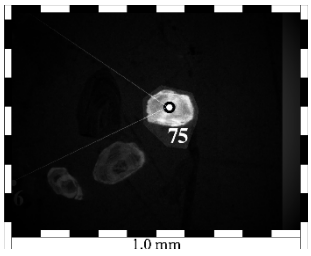
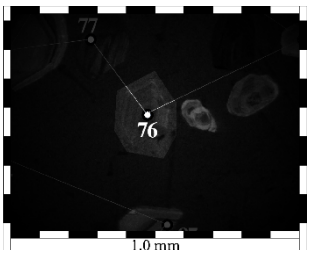
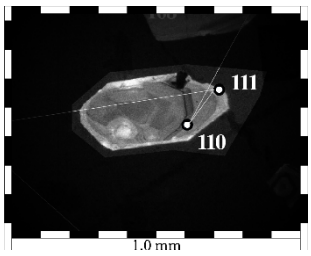
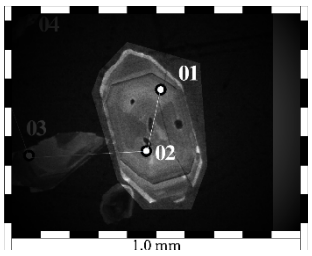
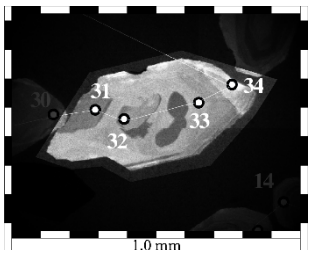
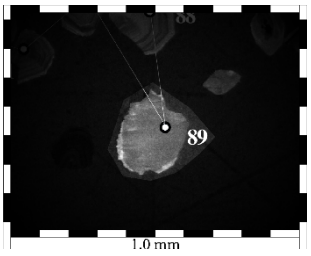
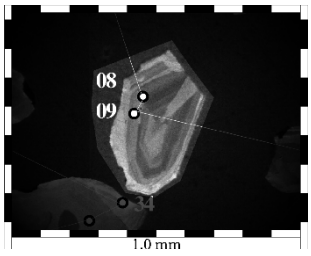
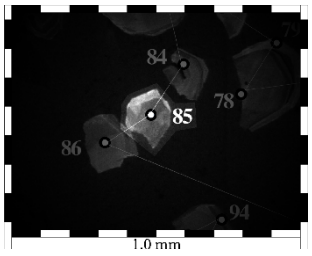
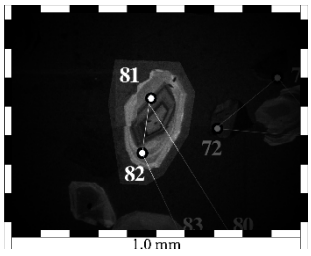
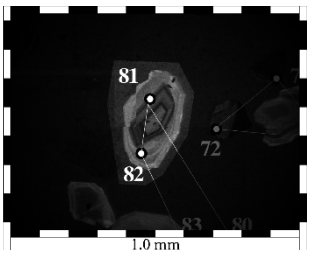
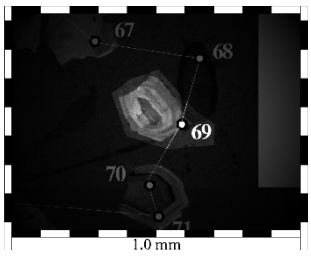
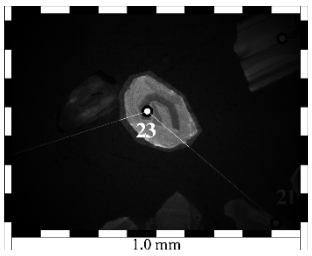
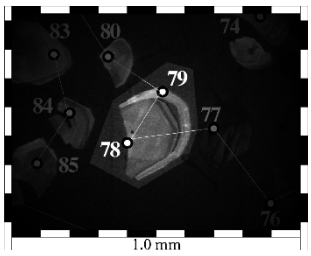
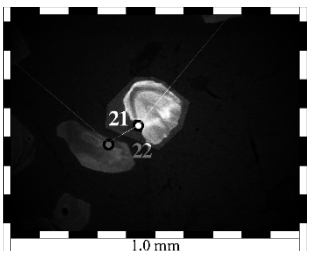
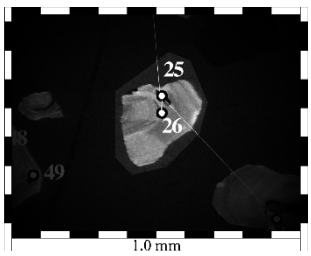
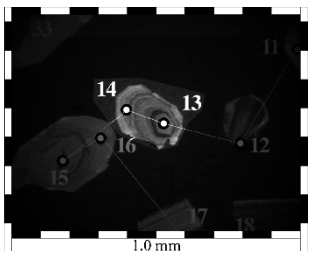
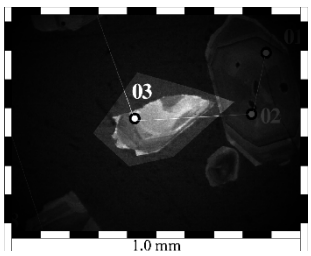
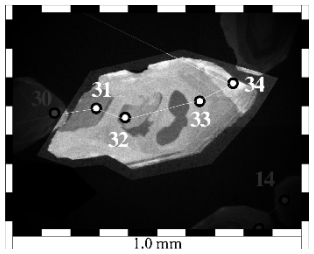
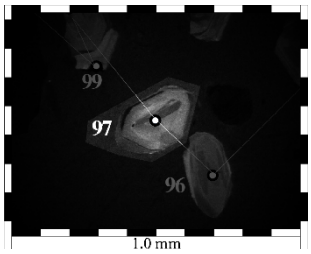
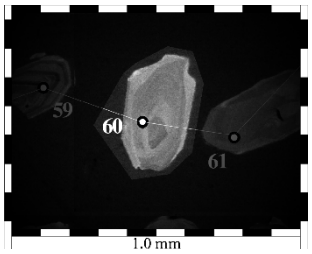
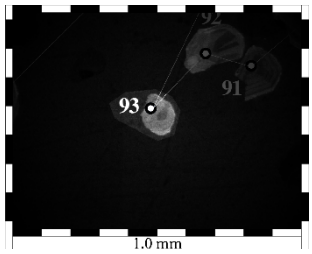
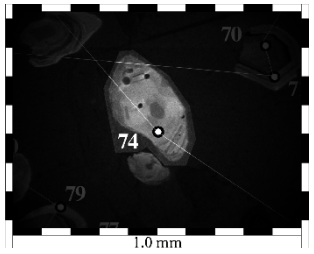
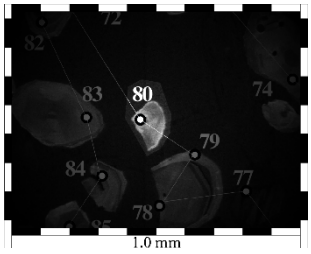
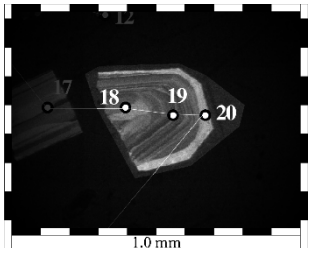
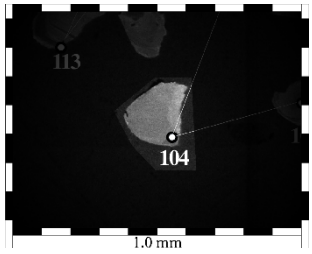
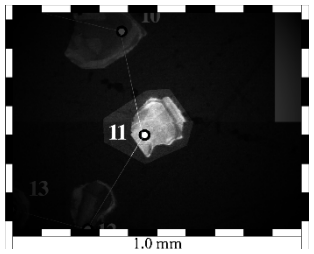
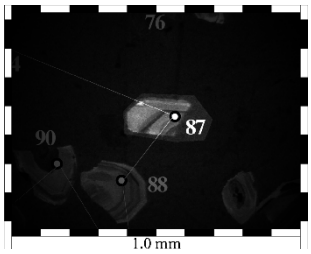
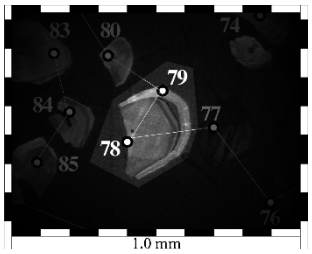
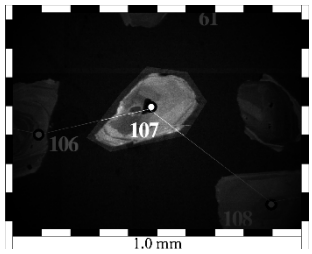
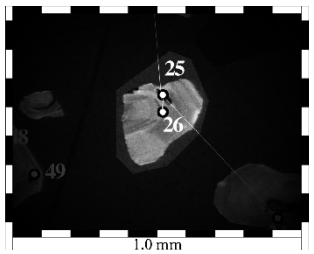
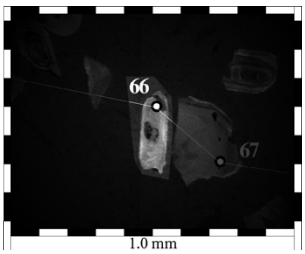
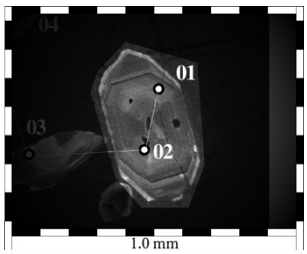
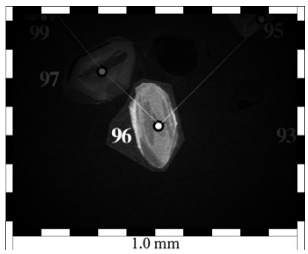
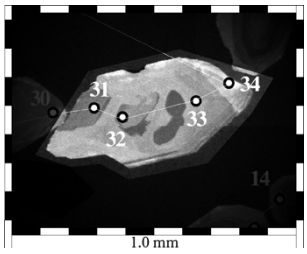
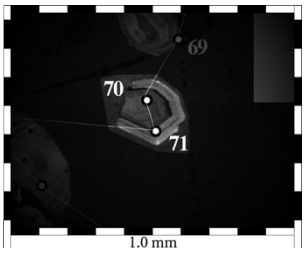
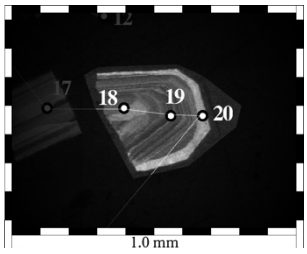
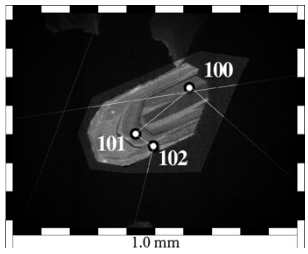
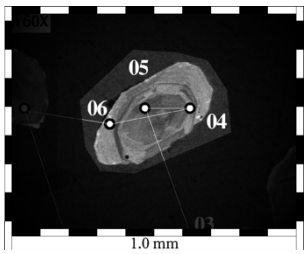
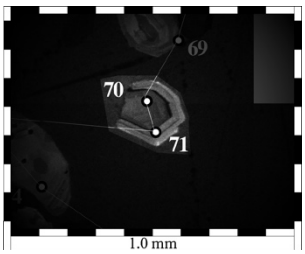
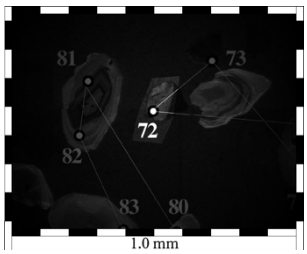
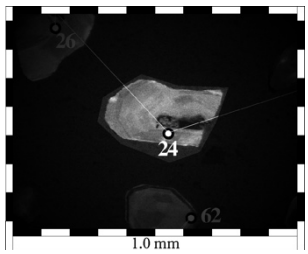
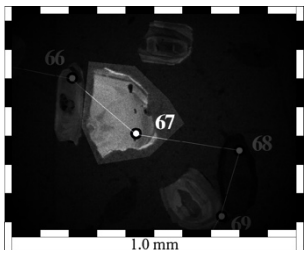
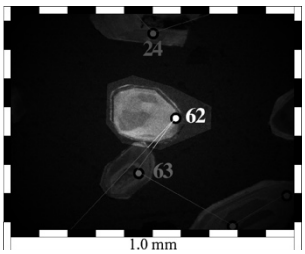
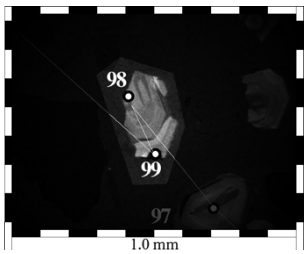
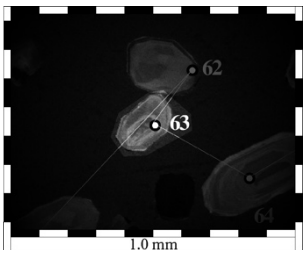
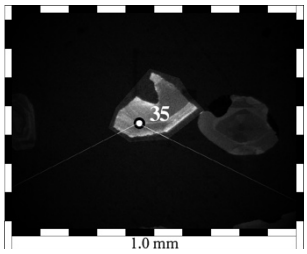
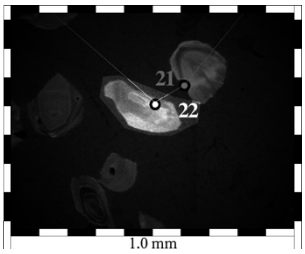
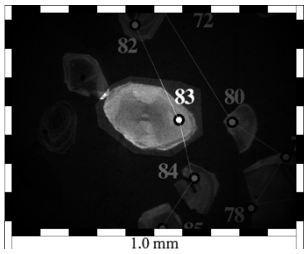
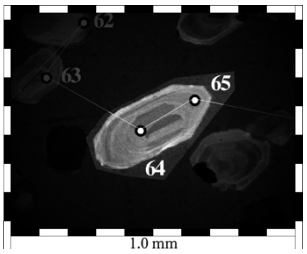
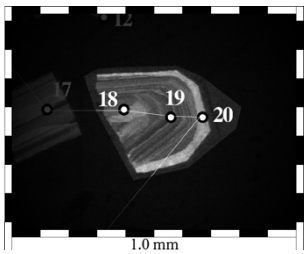
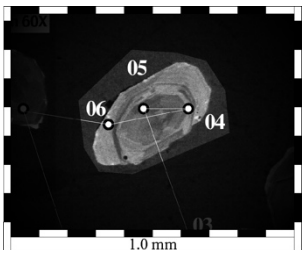
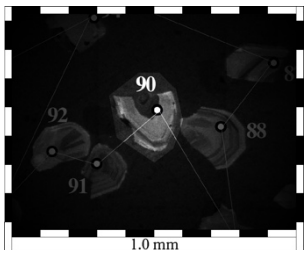
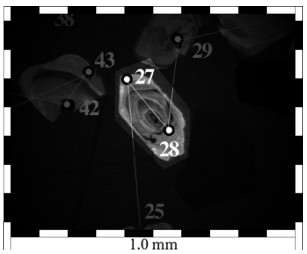
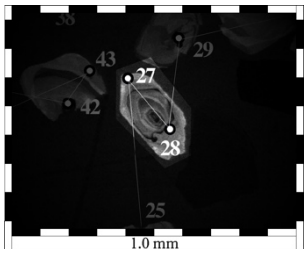
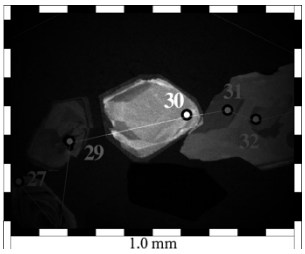
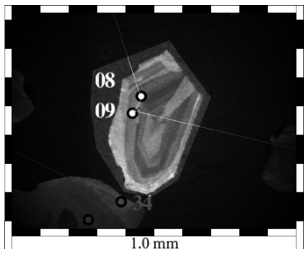
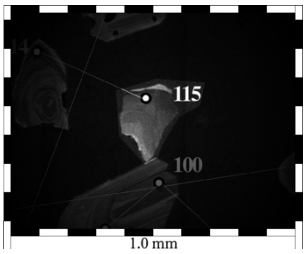
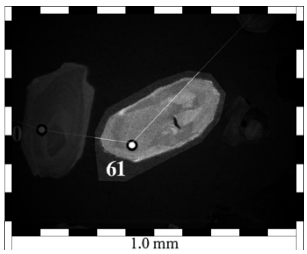
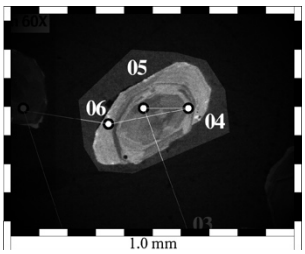
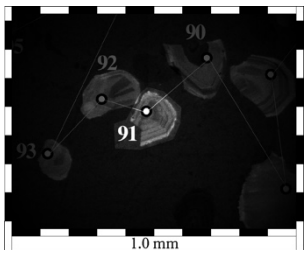
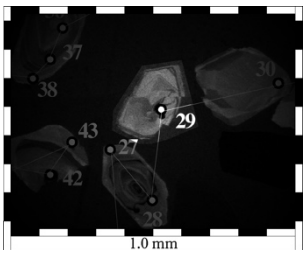


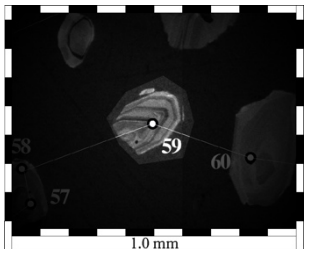
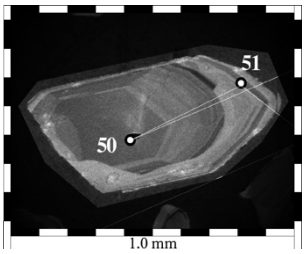
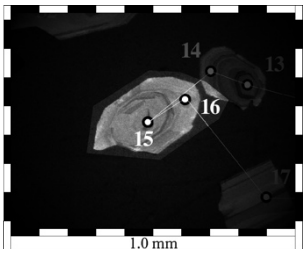
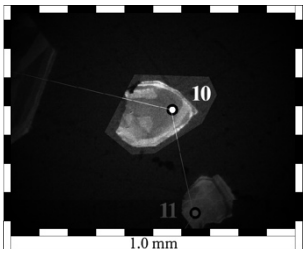
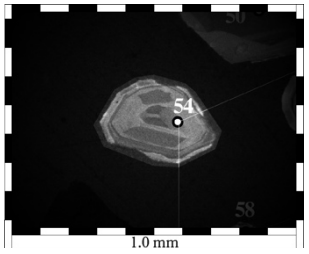
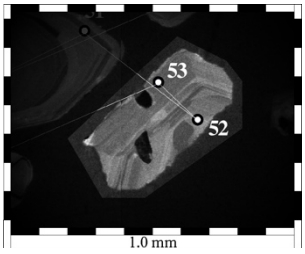
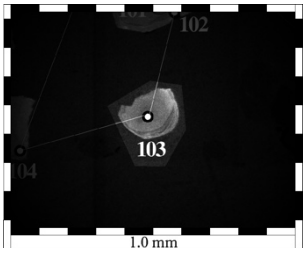
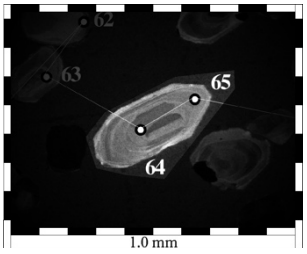
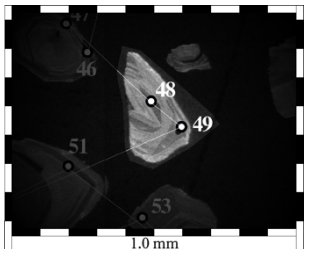
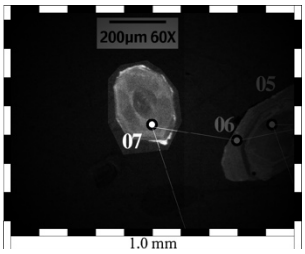
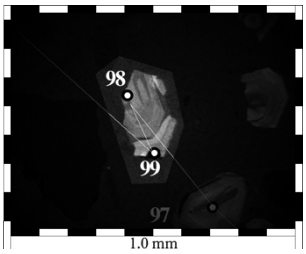
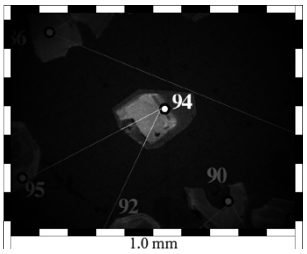
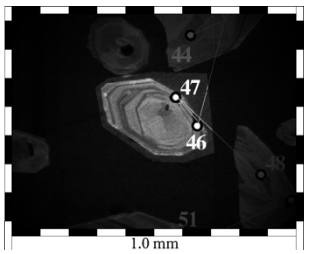
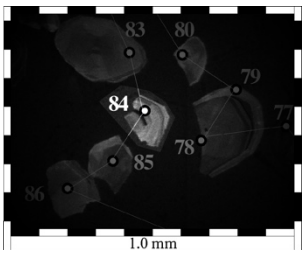
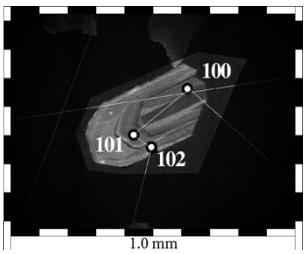
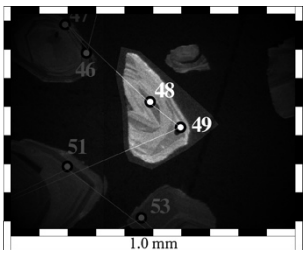
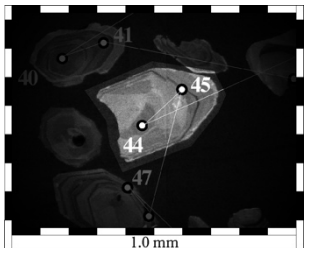
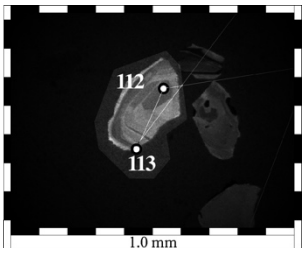
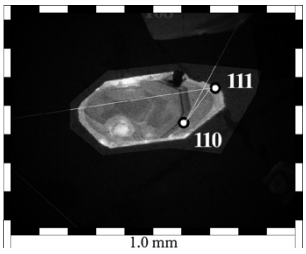
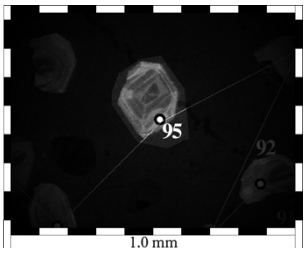
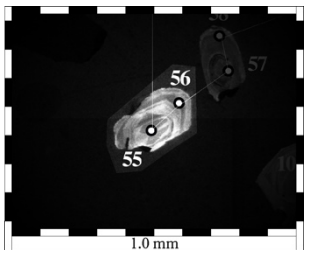
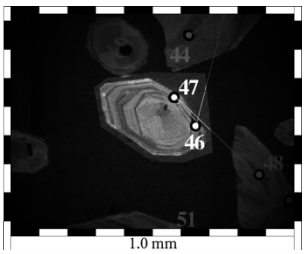
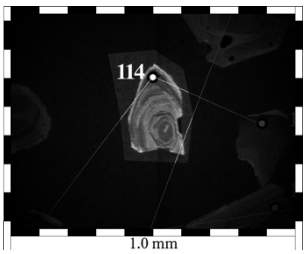
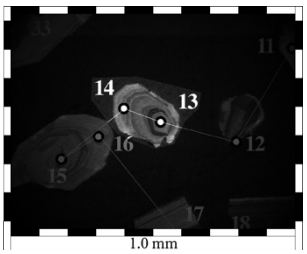
Fig. 9. 56. Diagrama bivariado de la mejor edad aparente con respecto a la relación ***(a)*** U/Th (modificado de Weber et al., 2008) y ***(b)*** Th/U (modificado de Martens et al., 2012) de las Formaciones que conforman el Grupo Tamatán. Notar como que no es muy precisa la relación Th/U puesto que todas la mayoría de las muestras del Grupo Tamatán se relacionaría con un origen ígneo.

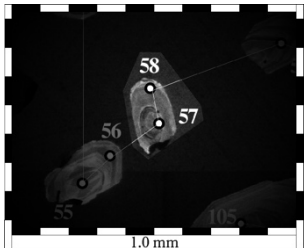
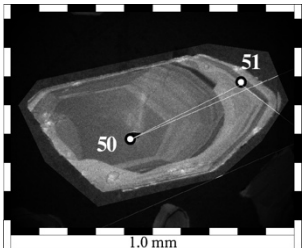
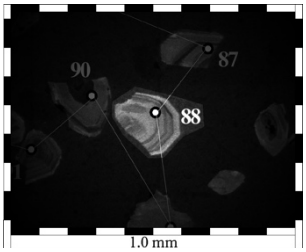
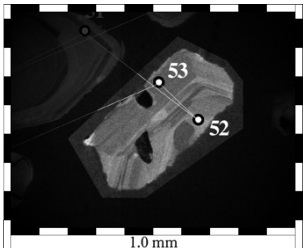
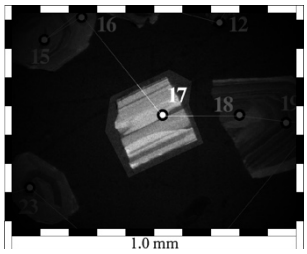
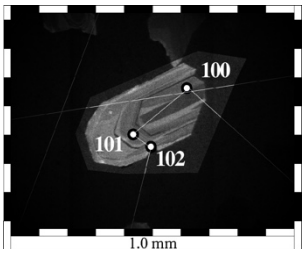
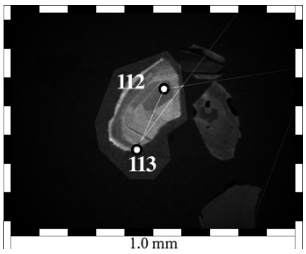
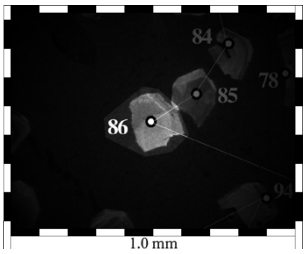
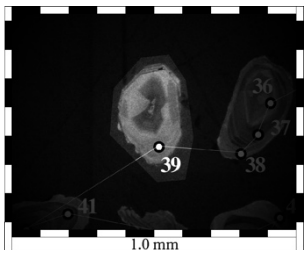
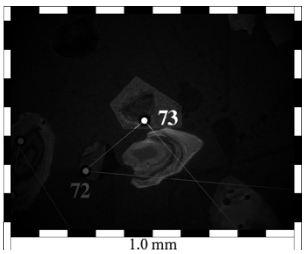
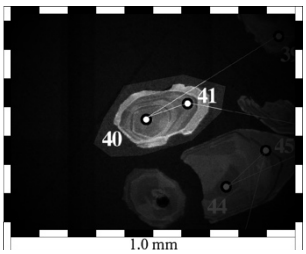
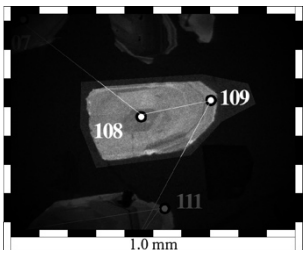
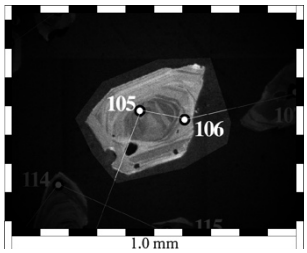
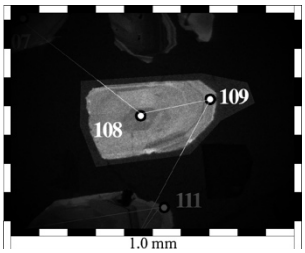
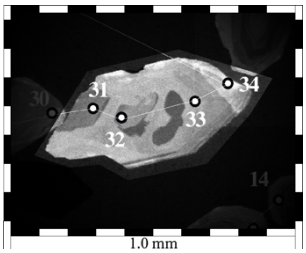
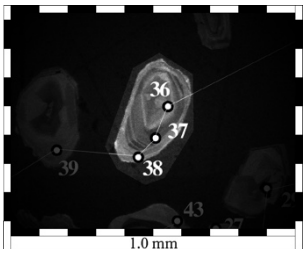
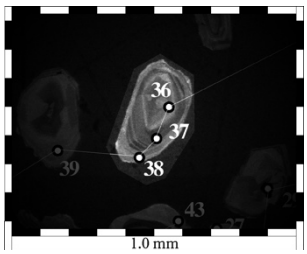
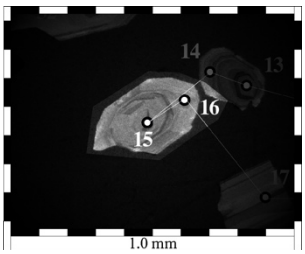
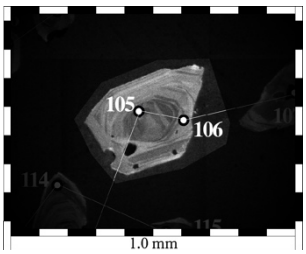
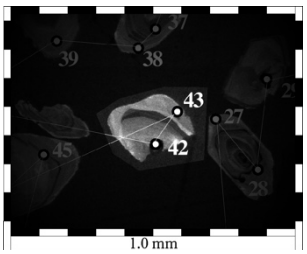
Tabla 27. Imágenes CL de las mejores edades de los circones ordenados del más antiguo a más joven. Colores estratigráficos según Cohen et al. (2013).

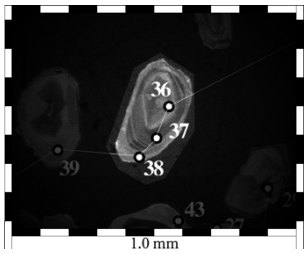
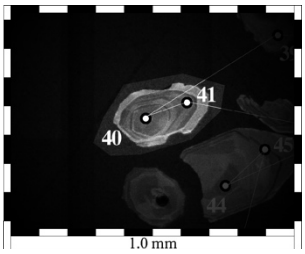
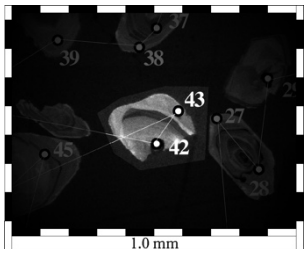
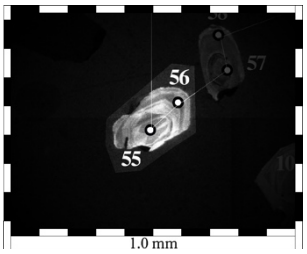
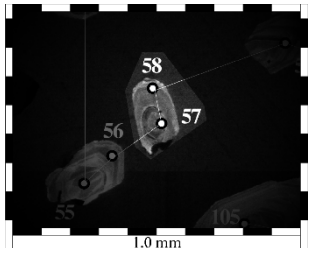
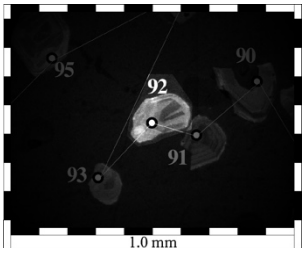
Formación Guacamaya (Pérmico)			
			
CP197-03–077 → 1140±51 Ma	CP197-03–068 → 1129±55 Ma	CP197-03–012 → 709±18 Ma	CP197-03–075 → 335±09 Ma
			
CP197-03–076 → 330±09 Ma	CP197-03–003 → 325±09 Ma	CP197-03–001 → 325±09 Ma	CP197-03–031 → 324±17 Ma
			
CP197-03–089 → 321±10 Ma	CP197-03–008 → 319±12 Ma	CP197-03–085 → 319±11 Ma	CP197-03–082 → 319±10 Ma
			
CP197-03–081 → 319±09 Ma	CP197-03–069 → 319±09 Ma	CP197-03–023 → 318±09 Ma	CP197-03–079 → 317±10 Ma
			
CP197-03–021 → 317±09 Ma	CP197-03–025 → 316±11 Ma	CP197-03–013 → 315±08 Ma	CP197-03–003 → 314±09 Ma

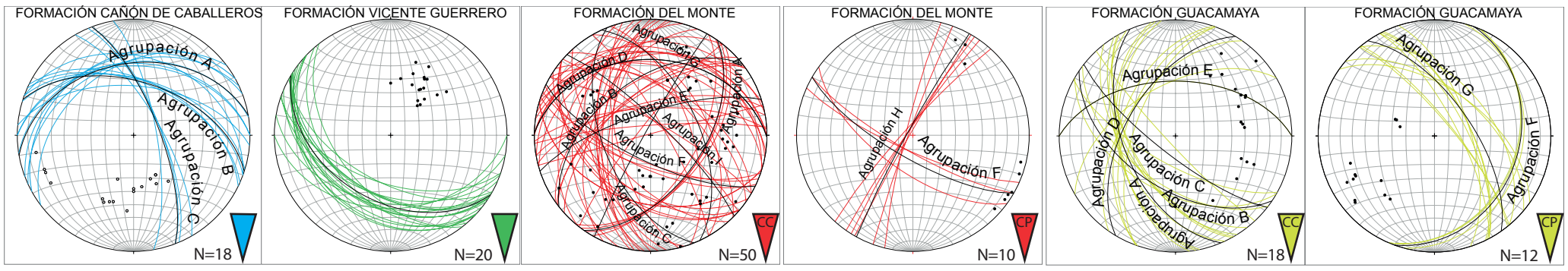
Formación Guacamaya (Pérmico)			
			
CP197-03–032 → 313±15 Ma	CP197-03–097 → 313±09 Ma	CP197-03–060 → 312±12 Ma	CP197-03–093 → 312±11 Ma
			
CP197-03–074 → 312±10 Ma	CP197-03–080 → 312±09 Ma	CP197-03–020 → 312±09 Ma	CP197-03–104 → 311±14 Ma
			
CP197-03–011 → 311±10 Ma	CP197-03–087 → 311±09 Ma	CP197-03–078 → 310±12 Ma	CP197-03–107 → 310±11 Ma
			
CP197-03–026 → 309±11 Ma	CP197-03–066 → 309±10 Ma	CP197-03–002 → 309±09 Ma	CP197-03–096 → 308±11 Ma
			
CP197-03–033 → 308±11 Ma	CP197-03–071 → 308±09 Ma	CP197-03–019 → 308±08 Ma	CP197-03–100 → 307±09 Ma
			

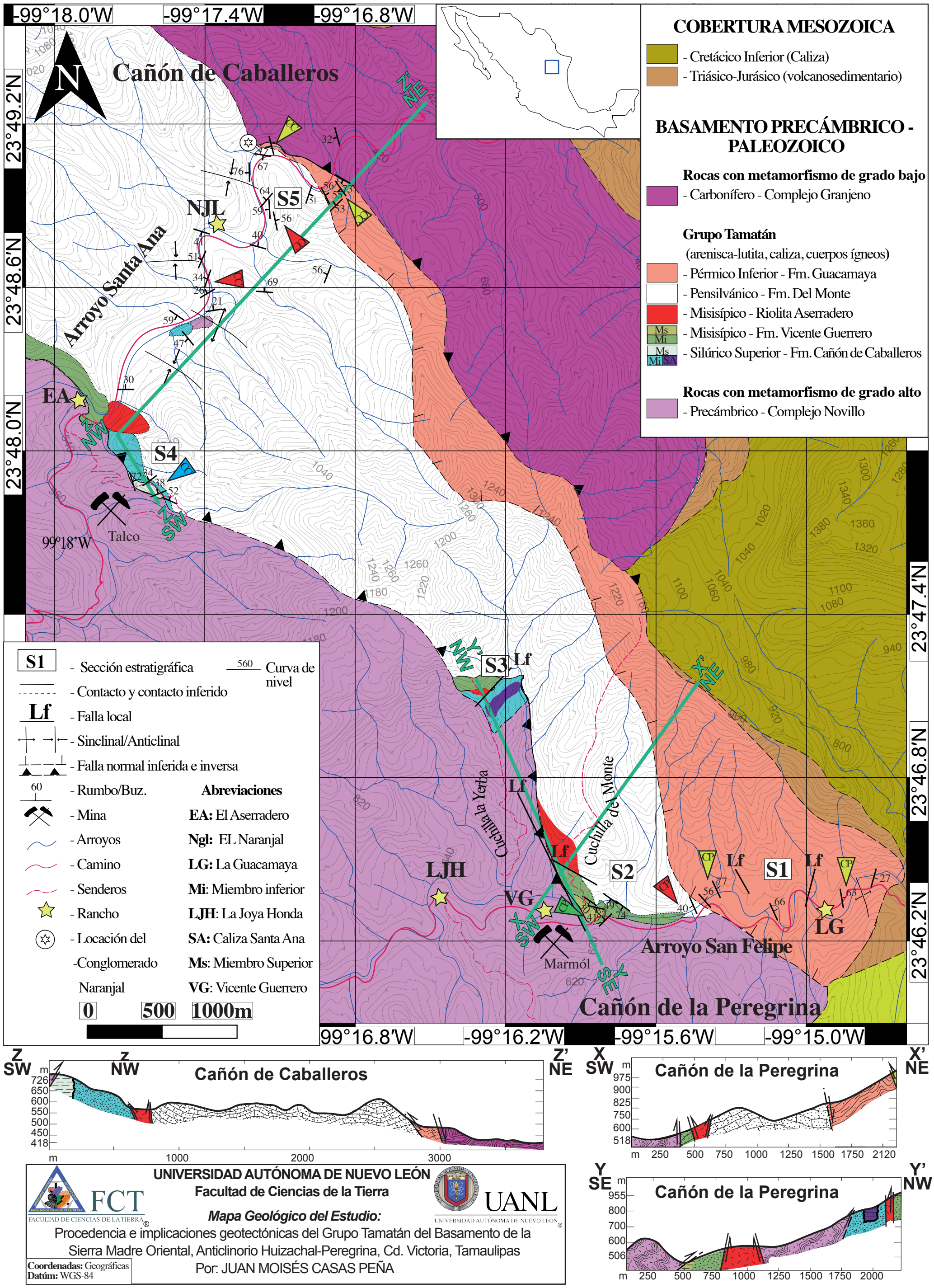
Formación Guacamaya (Pérmico)			
CP197-03–004 → 307±09 Ma	CP197-03–070 → 307±08 Ma	CP197-03–072 → 306±09 Ma	CP197-03–024 → 305±09 Ma
			
CP197-03–067 → 304±09 Ma	CP197-03–062 → 304±09 Ma	CP197-03–099 → 303±09 Ma	CP197-03–063 → 303±09 Ma
			
CP197-03–035 → 303±08 Ma	CP197-03–022 → 303±08 Ma	CP197-03–083 → 302±10 Ma	CP197-03–065 → 302±09 Ma
			
CP197-03–018 → 302±09 Ma	CP197-03–005 → 301±13 Ma	CP197-03–090 → 301±10 Ma	CP197-03–028 → 301±09 Ma
			
CP197-03–027 → 301±08 Ma	CP197-03–030 → 300±12 Ma	CP197-03–009 → 300±12 Ma	CP197-03–115 → 300±09 Ma
			
CP197-03–061 → 300±09 Ma	CP197-03–006 → 300±09 Ma	CP197-03–091 → 300±08 Ma	CP197-03–029 → 300±08 Ma

Formación Guacamaya (Pérmico)			
			
CP197-03–059 → 299±08 Ma	CP197-03–050 → 298±08 Ma	CP197-03–015 → 298±08 Ma	CP197-03–010 → 298±08 Ma
			
CP197-03–054 → 297±09 Ma	CP197-03–052 → 297±09 Ma	CP197-03–103 → 296±12 Ma	CP197-03–064 → 296±09 Ma
			
CP197-03–049 → 296±09 Ma	CP197-03–007 → 296±08 Ma	CP197-03–098 → 295±09 Ma	CP197-03–094 → 295±08 Ma
			
CP197-03–047 → 295±08 Ma	CP197-03–084 → 294±13 Ma	CP197-03–102 → 294±09 Ma	CP197-03–048 → 294±09 Ma
			
CP197-03–044 → 294±09 Ma	CP197-03–112 → 294±08 Ma	CP197-03–111 → 294±08 Ma	CP197-03–095 → 294±08 Ma
			

Formación Guacamaya (Pérmico)			
CP197-03–055 → 294±08 Ma	CP197-03–046 → 294±08 Ma	CP197-03–114 → 293±09 Ma	CP197-03–014 → 293±09 Ma
			
CP197-03–057 → 293±08 Ma	CP197-03–051 → 293±08 Ma	CP197-03–088 → 292±09 Ma	CP197-03–053 → 292±08 Ma
			
CP197-03–017 → 291±11 Ma	CP197-03–101 → 291±09 Ma	CP197-03–113 → 290±15 Ma	CP197-03–086 → 290±08 Ma
			
CP197-03–039 → 288±08 Ma	CP197-03–073 → 287±16 Ma	CP197-03–040 → 285±09 Ma	CP197-03–108 → 284±11 Ma
			
CP197-03–105 → 284±11 Ma	CP197-03–109 → 283±09 Ma	CP197-03–034 → 283±09 Ma	CP197-03–036 → 283±08 Ma
			
CP197-03–038 → 282±08 Ma	CP197-03–016 → 280±08 Ma	CP197-03–106 → 279±09 Ma	CP197-03–043 → 242±07 Ma

Formación Guacamaya (Pérmico)			
			
CP197-03–037 → xxxx±yy Ma	CP197-03–041 → xxxx±yy Ma	CP197-03–042 → xxxx±yy Ma	CP197-03–056 → xxxx±yy Ma
			
CP197-03–058 → xxxx±yy Ma	CP197-03–092 → xxxx±yy Ma		





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ciencias de la Tierra

FCT
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA®

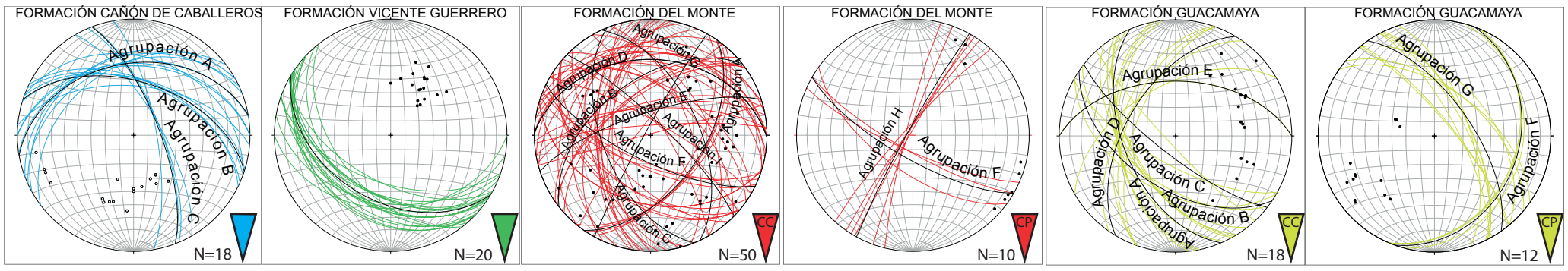
UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

Mapa Geológico del Estudio:

Procedencia e implicaciones geotectónicas del Grupo Tamatán del Basamento de la Sierra Madre Oriental, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas

Coordenadas: Geográficas
Datúm: WGS-84

Por: JUAN MOISÉS CASAS PEÑA



COBERTURA MESOZOICA

- Cretácico Inferior (Caliza)
- Triásico-Jurásico (volcanosedimentario)

BASAMENTO PRECÁMBRICO - PALEOZOICO

Rocas con metamorfismo de grado bajo

- Carbonífero - Complejo Granjeno

Grupo Tamatán

(arenisca-lutita, caliza, cuerpos ígneos)

- Pérmico Inferior - Fm. Guacamaya
- Pensilvánico - Fm. Del Monte
- Misisípico - Riolita Aserradero
- Misisípico - Fm. Vicente Guerrero
- Silúrico Superior - Fm. Cañón de Caballeros

Rocas con metamorfismo de grado alto

- Precámbrico - Complejo Novillo

S1 - Sección estratigráfica

560 Curva de nivel

- Contacto y contacto inferido

Lf - Falla local

- Sinclinal/Anticlinal

- Falla normal inferida e inversa

60 - Rumbo/Buz.

- Mina

- Arroyos

- Camino

- Senderos

- Rancho

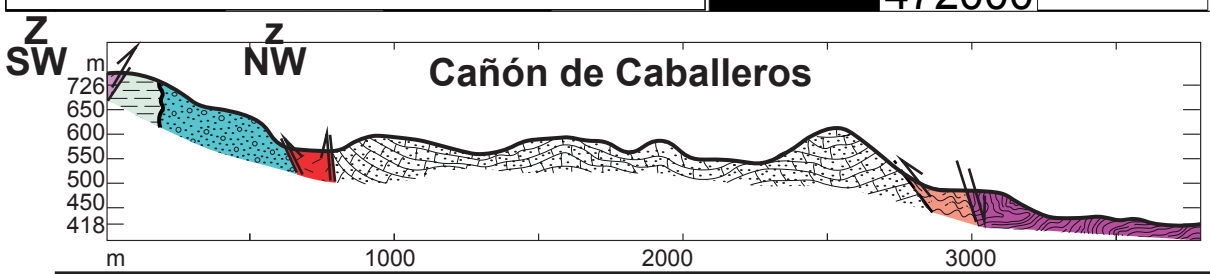
- Locación del

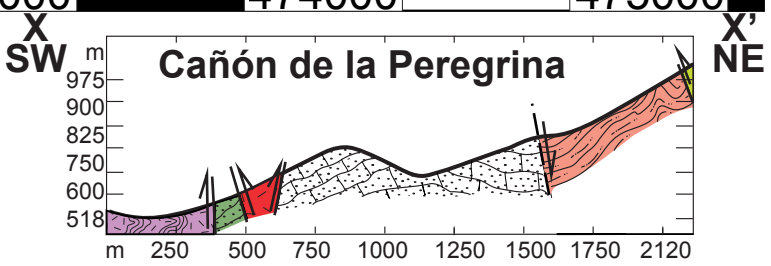
-Conglomerado Naranjal

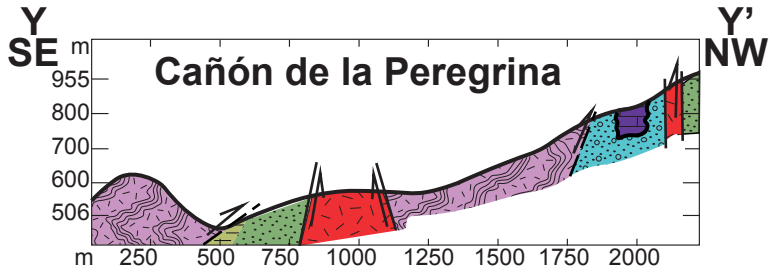
Abreviaciones

EA: El Aserradero
Ngl: EL Naranjal
LG: La Guacamaya
Mi: Miembro inferior
LJH: La Joya Honda
SA: Caliza Santa Ana
Ms: Miembro Superior
VG: Vicente Guerrero

0 500 1000m







UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ciencias de la Tierra

FCT FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA®

UANL UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

Mapa Geológico del Estudio:

Procedencia e implicaciones geotectónicas del Grupo Tamatán del Basamento de la Sierra Madre Oriental, Anticlinorio Huizachal-Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas

Coordenadas: UTM Zona 14N
Datúm: WGS-84

Por: JUAN MOISÉS CASAS PEÑA