



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

CENTRO DE GEOCIENCIAS

**PROCEDENCIA DETRÍTICA DE LA FORMACIÓN CHIVILLAS, CRETÁCICO
TEMPRANO, SUR DE MÉXICO: CONTRIBUCIÓN DE LA GEOQUÍMICA Y
TERMOCRONOLOGÍA EN APATITOS Y GEOCRONOLOGÍA EN CIRCONES**

TESIS

QUE PARA OPTAR AL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA

RICARDO ENRIQUE MILIÁN DE LA CRUZ

TUTOR

DR. LUIGI SOLARI

CENTRO DE GEOCIENCIAS, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ SINODAL

DR. LUCA FERRARI, CENTRO DE GEOCIENCIAS, UNAM

DR. JOSÉ RAFAEL BARBOZA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

DR. THIERRY CALMUS, INSTITUTO DE GEOLOGÍA, ERNO, UNAM

DRA. MÉLANIE NOURY, INSTITUTO DE GEOLOGÍA, ERNO, UNAM

QUERÉTARO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DECLARATORIA DE ÉTICA ACADÉMICA

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ricardo Milján de la Cruz', written in a cursive style.

Ricardo Enrique Milján de la Cruz

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a México y a la Universidad Nacional Autónoma de México por abrir sus puertas a estudiantes extranjeros y brindar la oportunidad de formarnos en un posgrado de alta calidad.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial al proyecto PAPIIT-DGAPA IN103417 -*Sedimentary provenance reloaded*: técnicas micro-analíticas aplicadas a la procedencia de sedimentos siliciclásticos mesozoicos en el Sur de México- por el financiamiento económico para la realización de este proyecto de investigación.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos económicos que recibí durante mis estudios de maestría.

A mi asesor Dr. Luigi Solari por la confianza, el apoyo, consejos durante cada una de las etapas de este proyecto y sobre todo por su amistad.

Agradezco a Uwe Martens, por creer en mí incluso antes de empezar este proyecto y porque sin el esto no hubiese ocurrido.

A los miembros de mi comité tutor: Dr. Fanis Abdullin por el apoyo decisivo en la realización de este trabajo y al Dr. Uwe Martens por su apoyo y disposición constante a lo largo de este proceso.

A María Isabel Sierra Rojas y Rodrigo León por su amistad, apoyo y motivación en todo momento.

Agradezco a Ana Suárez por su amistad y por el apoyo incondicional en todo momento.

A mis muy buenos amigos Anita, Leidy, Carlos y David por hacerme sentir en casa.

A mis amigos y compañeros del Centro de Geociencias, por tantos momentos agradables. Especialmente a Pepe, Mariana, Gio, Andrea, Gustavo, Brighith, Janet, Lluvia, Paulina, Paola, Ángeles, Alexis y Carlos.

Al Dr. Carlos Ortega Obregón, por su amistad y ayuda en la realización de los fechamientos isotópicos en el Laboratorio de Estudios Isotópicos. A Juan Tomás Vázquez y Manuel Albarrán por la ayuda en la elaboración de láminas delgadas y preparación de muestras para datación. A la Dra. Marina Vega por su ayuda durante los análisis EDS de los minerales densos en el Laboratorio de fluidos corticales.

Un agradecimiento especial al personal administrativo del Posgrado en Ciencias de la Tierra y del Centro de Geociencias.

A mi familia y amigos en Guatemala, también es gracias a ustedes.

Tabla de contenido	Pág.
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1. GENERALIDADES	9
1.1 Introducción	9
1.2 Planteamiento del problema	10
1.3 Objetivos	10
1.3.1 General.....	10
1.3.2 Específicos	11
1.4 Hipótesis	11
1.5 Localización del área de estudio.....	11
1.6 Uso del apatito como trazador en análisis de procedencia detrítica	12
1.6.1 Química de apatitos: elementos traza y tierras raras (REE).....	13
1.6.2 Edades isotópicas en apatito: Sistema U-Pb.....	15
1.6.3 Termocronología de baja temperatura en apatito: Trazas de fisión.....	17
2. MARCO GEOLÓGICO	20
2.1 Contexto geodinámico	20
2.2 Contexto geológico	21
2.2.1 Terrenos tectonoestratigráficos del sur de México	22
2.2.2 Arco continental del este de México	24
2.2.3 Formación Chivillas	24
2.2.4 Sistema de Falla Oaxaca y el Valle de Tehuacán	27
2.2.5 Orogenia Laramide.....	28
3. METODOLOGÍA.....	30
3.1 Recolección de muestras	30
3.2 Petrografía	30
3.3 Técnicas microanalíticas.....	31
3.3.1 Geocronología U-Pb en circón	32
3.3.2 Geocronología U-Pb y geoquímica en apatito.....	33
3.3.3 Trazas de fisión en apatitos.....	34

3.3.4	Minerales densos	36
4.	RESULTADOS	37
4.1	Petrografía	37
4.2	Geocronología U-Pb en circón detrítico	40
4.3	Geocronología U-Pb en apatito detrítico	42
4.4	Geoquímica de apatitos detríticos.....	44
4.5	Trazas de fisión en apatitos (TFA)	47
4.6	Minerales densos (MD).....	48
5.	DISCUSIÓN.....	51
5.1	Petrografía, minerales densos y procedencia	51
5.2	Geocronología U-Pb en circón detrítico	52
5.3	Geocronología y geoquímica de apatitos.....	57
5.3.1	U-Pb en apatito detrítico.....	57
5.3.2	Geoquímica en apatitos.....	60
5.4	Trazas de fisión en apatitos	64
5.5	Procedencia detrítica de la Formación Chivillas	67
5.5.1	Implicaciones paleogeográficas y tectónicas de la Formación Chivillas	68
6.	CONCLUSIONES	71
	REFERENCIAS	73
Anexo 1.	Descripción petrográfica de muestras	87
Anexo 2.	Análisis U-Pb en circones mediante LA-ICPMS.....	105
Anexo 3.	Imágenes de catodoluminiscencia de circones	118
Anexo 4.	Análisis U-Pb en apatitos mediante LA-ICPMS.....	122
Anexo 5.	Análisis geoquímico de apatitos mediante LA-ICPMS.....	130
Anexo 6.	Datos de las trazas de fisión de granos individuales de apatito.	137
Anexo 7.	Mediciones de las longitudes de trazas de fisión en apatito.....	142
Anexo 8.	Datos de las muestras para el análisis de escalamiento multidimensional ..	146
Anexo 9.	Descripción de las muestras que se utilizaron para el análisis geoquímico de componentes principales (PCA).	148

Lista de Figuras

Pág.

1. Mapa generalizado de México con las principales estructuras tectónicas, faja volcánica Transmexicana, los terrenos tectonoestratigráficos del sur y la localización de las cuencas sedimentarias desarrolladas durante el Cretácico Inferior en el sur de México	12
2. Ejemplo de fechamientos isotópicos U-Pb en apatitos	17
3. Mapa generalizado del sur de México, de la localización de la Formación Chivillas y de las muestras analizadas en este estudio	21
4. Columna esquemática generalizada de las unidades que afloran en los terrenos Mixteco, Zapoteco y Cuicateco.....	27
5. Columna estratigráfica del Valle de Tehuacán con los diferentes pulsos asociados al desarrollo del Sistema Norte de la Falla Oaxaca.....	29
6. Microfotografías de las láminas delgadas de las rocas de la Formación Chivillas	39
7. Diagramas de concordia Tera-Wasserburg y KDE de los circones detríticos de la Formación Chivillas	42
8. Diagramas de concordia TW de los apatitos de la Formación Chivillas	44
9. Diagramas de comportamiento químico de los apatitos de la Formación Chivillas ...	46
10. Diagramas radial de edades de TFA, de densidades de TFA contra ^{238}U (ppm) y edad de grano por TFA contra contenido de Cloro (wt.%)	48
11. Microfotografías en luz polarizada plana de los minerales densos (HM) identificados en las muestras de la Formación Chivillas	50
12. Curvas de estimación de densidad de Kernel de las edades detríticas de los circones de la Formación Chivillas	54
13. Diagrama MDS de las muestras de la Formación Chivillas y 69 muestras sedimentarias y metasedimentarias del centro y sur de México.....	55
14. Localización aproximada de las unidades utilizadas para el análisis de escalamiento multidimensional (MDS).....	57
15. Diagramas de comparación entre las edades de cristalización de los cuerpos ígneos emplazados en los Complejos Oaxaqueño y Acatlán y las isócronas de edad paleozoica obtenidas en los apatitos de la Formación Chivillas	59
16. Diagrama de componentes principales (PCA) de los apatitos de la Formación Chivillas y campos que representan al Complejo Oaxaqueño, al arco magmático del Paleozoico y a la Formación Matzitzí.	63

17. Modelos termales t-T basados en longitudes y edades de trazas de fisión de las muestras V-1 y RN-3 de la Formación Chivillas.	66
18. Esquema paleogeográfico del Cretácico Inferior durante el relleno de la cuenca Cuicateca.....	69
19. Secciones esquemáticas que representan los eventos tectónicos experimentados en la cuenca Cuicateca entre el Cretácico Superior y el Eoceno medio	70

Listado de Tablas

Pág.

1. Sustituciones complejas de elementos en la estructura cristalina del apatito.....	13
2. Localización de las muestras colectadas de la Formación Chivillas.....	30
3. Técnicas microanalíticas aplicadas a las muestras de la Formación Chivillas.	31
4. Clasificación de areniscas con base en el contenido de Qt-F-L según las clasificaciones de Garzanti (2016) y Folk (1980).....	38
5. Cotejo entre los componentes químicos de las poblaciones de edades U-Pb en apatitos.....	45
6. Mineralos densos identificados en las muestras de la Formación Chivillas.....	49
7. Vecinas más próximas y más similares a las muestras de la Formación Chivillas en el MDS.	56
8. Isócronas de edad U-Pb en apatito de las muestras de la Formación Chivillas.	58
9. Prueba de Chi-cuadrado y edades de trazas de fisión en apatitos.....	64

RESUMEN

La Cuenca Cuicateca es una cuenca desarrollada en el sureste de la parte continental de México durante el Jurásico Medio y Cretácico Inferior. El relleno sedimentario de la cuenca está representado por la Formación Chivillas, la cual está constituida por turbiditas siliciclásticas, depósitos volcanoclásticos y rocas volcánicas. La edad máxima de depósito se ha restringido al Cretácico Inferior, con base en el registro paleontológico y la geocronología de circones detríticos. Con el objetivo de elucidar las fuentes de procedencia sedimentaria de la Formación Chivillas, se desarrolló un estudio multidisciplinario integrando la petrografía convencional con la geocronología U-Pb de circones y apatitos detríticos, la geoquímica en granos de apatito y el análisis de trazas de fisión.

A través de los nuevos fechamientos isotópicos en circones y apatitos se identificaron tres principales poblaciones de edades, siendo estas: Meso-Neoproterozoico, Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano. Dichas edades han sido reportadas en el sur de México en rocas asociadas a la orogenia *Grenville* y a arcos magmáticos desarrollados durante el Paleozoico tardío y el Cretácico temprano. La concentración de elementos traza en los apatitos del Meso-Neoproterozoico revela una relación casi proporcional entre la anomalía de Eu y el contenido de Sr, mientras que en los granos del Carbonífero-Pérmico la relación entre la anomalía de Eu y el contenido de Y en términos generales es inversa. Adicionalmente, el contenido total de Tierras Raras en el grupo Meso-Neoproterozoico oscila entre ~0.1 y 3.5% en peso mientras que en el grupo del Carbonífero-Pérmico oscila entre ~0.02 y 1.5%. Éste comportamiento químico es similar al de los análisis *in situ* de apatitos metamórficos de alto grado y de rocas ígneas de composición félsica a intermedia-máfica reportados en la literatura.

Al integrar la geocronología U-Pb y la geoquímica de apatitos y considerar que las propiedades mecánicas de esta fase mineral limitan la procedencia a fuentes relativamente cercanas, se demostró que las fuentes de procedencia detrítica principales de la Formación Chivillas corresponden a las rocas metamórficas de alto grado del Complejo Oaxaqueño y a rocas ígneas de composición félsica a intermedia-máfica que representan los arcos magmáticos del Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano en el occidente de Pangea y a lo largo del margen Pacífico de México. Esto sugiere además, que el bloque Acatlán-Oaxaca actuó como un alto de basamento y que los apatitos detríticos registran su exposición y denudación durante el Cretácico Inferior. Adicionalmente, el análisis de trazas de fisión en apatito y el modelado termal indican que la Formación Chivillas fue exhumada rápidamente (~330 – 320 m/m.a.) a partir del Eoceno medio y que dicho proceso duró ~ 9 m.a. Estas edades restringen el evento contráctil de la orogenia Laramide hasta antes de este tiempo y probablemente están asociadas con las primeras etapas de actividad extensional del Sistema Norte de la Falla Oaxaca durante el Cenozoico.

ABSTRACT

The Cuicateco basin is an extensional basin developed in the southeastern of mainland continental Mexico during Middle Jurassic and Early Cretaceous time. The Cuicateco basin deposition is represented by the Chivillas Formation, made up of siliciclastic turbidites, volcanoclastic deposits, and volcanic rocks. Both paleontological record and detrital zircon geochronology constrain the maximum age of deposition to the Early Cretaceous. To elucidate the sedimentary source provenance of the Chivillas Formation, a multi-technique study was applied. In this work, the conventional petrography analyses were integrated with U-Pb geochronology of detrital zircon and apatite grains, multiple trace-element geochemical analysis of detrital apatite, and apatite fission track.

The new detrital zircon and apatite U-Pb geochronology data of the Chivillas Formation identifies three main source areas: Meso-Neoproterozoic, Carboniferous-Permian, and a third Early Cretaceous source. These ages have been reported in southern Mexico in rocks associated with the Grenville orogeny and, in magmatic arcs of Late Paleozoic and Early Cretaceous time.

The geochemical relationship in the detrital apatite reveals that the Grenvillian grains have a Sr content directly related to the negative Eu anomaly, while the Carboniferous-Permian apatites have a Y content related to the Eu anomaly. Additionally, the REE-content pattern in the Grenvillian grains is higher (~0.1 y 3.5%) than the Late Paleozoic grains (~0.02 y 1.5%). This geochemistry behavior is similar to in-situ high-grade metamorphic and felsic to intermediate-mafic apatite analyses from the literature.

By integrating the geochronology and geochemistry data and considering that the apatite mechanical properties restrict the sedimentary provenance to nearby sources, this study demonstrates that the provenance sources most important of Chivillas Formation belong to Grenvillian Oaxacan Complex metamorphic rocks, the igneous rocks belonging to the Carboniferous-Permian magmatic arc, and those belonging to Early Cretaceous magmatic arc, the last one developed along the Pacific margin of Mexico. Besides, this suggests that the Acatlán-Oaxacan block was a basement high during the Early Cretaceous, and the detrital apatites register its exposition and denudation.

Apatite fission-track analyses indicate that the Chivillas Formation exhumed quickly (~330 – 320 m/m.y.) during the middle Eocene, with thermal modeling indicative of an approximately 9 m.y. time span. This exhumation post-dates the shortening Laramide event and probably is associated with the extensional activity phase of the Northern System of the Oaxaca Fault during the Cenozoic.

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

La formación de cuencas sedimentarias y acumulación de sus detritos es un proceso importante que guarda el registro del entorno paleogeográfico y de la evolución tectónica de las áreas fuente. En el centro y sur de México el desarrollo de cuencas sedimentarias estuvo asociado a los procesos relacionados a la fragmentación de Pangea, subducción de la placa paleo-Pacífica y las etapas finales de la apertura de Golfo de México durante el Jurásico Medio y Cretácico Inferior (e.g. Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018). En el sur de México, la acumulación de sedimentos en un ambiente extensional sincrónico con actividad magmática, durante este tiempo, ha sido reportada en las cuencas sedimentarias Tentzo, Zapotitlán y Cuicateca (Figura 1; Mendoza-Rosales, 2010; Sierra-Rojas *et al.*, 2016). Los mecanismos de extensión se atribuyen al desarrollo de cuencas de tras-arco asociadas, ya sea, al arco del Terreno Guerrero (Martini *et al.*, 2014; Ortega-Flores *et al.*, 2016) o al arco volcánico continental Zicapa (Sierra-Rojas y Molina-Garza, 2014).

La cuenca Cuicateca es de las más orientales del sur de México y su historia sedimentaria está representada por las rocas de la Formación Chivillas del Cretácico temprano (Carrasco, 1978; Alzaga y Pano, 1989; Mendoza-Rosales, 2010). Estudios de procedencia detrítica en areniscas de esta formación han permitido identificar una procedencia de sedimentos de fuentes mixtas, que incluyen: rocas de basamento, arcos volcánicos y sucesiones detríticas más antiguas (Mendoza-Rosales, 2010; Mendoza-Rosales *et al.*, 2013; Sierra-Rojas *et al.*, 2016). Sin embargo, los estudios de procedencia que integran la petrografía y geocronología de circones detríticos no siempre proporcionan una buena restricción de la fuente, ya que la mayoría de sucesiones clásticas representan una mezcla derivada de varios tipos de rocas y además, porque el circón es una fase mineral muy resistente que puede representar más de un ciclo sedimentario.

Alternativamente, el apatito ha sido utilizado como trazador de procedencia detrítica de primer ciclo (Belousova *et al.*, 2002; Morton y Yaxley, 2007; Abdullin *et al.*, 2016; Gillespie *et al.*, 2018; O'Sullivan *et al.*, 2018) ya que es una fase mineral accesoria ampliamente distribuida en los diferentes tipos de rocas y porque su preservación en los sedimentos es dependiente del grado de transporte (Morton y Hallsworth, 1999; Belousova *et al.*, 2002). Además, el comportamiento de los elementos traza y Tierras Raras muestra que los apatitos preservan las condiciones existentes durante su génesis (Jennings *et al.*, 2011; Jafarzadeh *et al.*, 2014; Henrichs *et al.*, 2018). El análisis geocronológico de los sistemas U-Pb y trazas de fisión en apatito ha sido utilizado también para descifrar la historia termal de las regiones fuente y las de acumulación al registrar la evolución de las cuencas sedimentarias (Chew y Donelick, 2012).

Para identificar la paleogeografía de los bloques de basamento del sur de México durante la acumulación de la Formación Chivillas y elucidar las fuentes de procedencia sedimentaria, se realizó un análisis multidisciplinario integrando petrografía convencional y geocronología U-Pb de circones detríticos con el fechamiento isotópico U-Pb y caracterización geoquímica de apatitos detríticos. Se realizó también el análisis de trazas de fisión en apatitos con el fin de establecer la historia termal de la Cuenca Cuicateca.

Adicionalmente, el uso de los métodos estadísticos de escalamiento multidimensional (MDS, *Multidimensional Scaling*; Vermeesch, 2013) y de análisis de componentes principales (PCA, *Principal Analysis Components*; Vermeesch, 2013) para las edades detríticas en circones y la geoquímica de apatitos, respectivamente, ha permitido establecer la variación temporal de la procedencia, además de evaluar y comprobar las fuentes principales propuestas individualmente a través de la geocronología y química de los apatitos de las rocas de la Formación Chivillas.

1.2 Planteamiento del problema

La Formación Chivillas aflora en una zona que limita a los terrenos tectonoestratigráficos Cuicateco y Zapoteco, los cuales ya se encontraban yuxtapuestos durante la acumulación de los sedimentos en la cuenca Cuicateca durante el Cretácico Inferior. Aunque varios trabajos se han desarrollado teniendo como objeto de estudio a la Formación Chivillas, la procedencia detrítica ha sido restringida únicamente a la localidad tipo de la formación (noreste de Tehuacán en Puebla) y en donde las rocas prácticamente se encuentran sin deformar. Sin embargo, la mayor parte de los afloramientos en donde están expuestas las rocas de la Formación Chivillas presentan evidencias de deformación. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio multitécnica que integra la petrografía de areniscas, la geocronología U-Pb en circones y técnicas microanalíticas aplicadas en apatitos de areniscas de la Formación Chivillas, que se colectaron en diferentes localidades donde aflora la formación, para constreñir cuantitativamente las principales fuentes de procedencia detrítica y establecer la evolución tectónica de la Cuenca Cuicateca.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Elucidar la procedencia de sedimentos de la Formación Chivillas integrando la petrografía de areniscas con técnicas microanalíticas aplicadas en apatitos y circones detríticos

1.3.2 Específicos

- Identificar y cuantificar los componentes principales del armazón de las areniscas de la Formación Chivillas
- Identificar las poblaciones de edades U-Pb en circones y apatitos detríticos de la Formación Chivillas a través de LA-ICP-MS
- Caracterizar el comportamiento geoquímico de los apatitos detríticos de la Formación Chivillas, cuantificado por medio de LA-ICP-MS, y contrastar los resultados con el comportamiento geoquímico de apatitos reportado en la literatura
- Establecer la historia termal de la Cuenca Cuicateca a través del análisis de trazas de fisión en apatitos

1.4 Hipótesis

Los patrones de procedencia detrítica en los sedimentos de la Formación Chivillas indican sedimentos derivados del Complejo Oaxaqueño, de otros macizos pre-Cámbricos del sur de México, de cinturones metamórficos de alta presión como los complejos Acatlán y Chuacús y del reciclaje de sucesiones detríticas pre-cretácicas del centro y sur de México.

1.5 Localización del área de estudio

El área de estudio se localiza en la convergencia de varios terrenos tectonoestratigráficos del sur de México: Mixteco, Zapoteco, Cuicateco y Maya y al sur de la Faja Volcánica Transmexicana. La Formación Chivillas es una sucesión siliciclástica que corresponde al relleno sedimentario de la cuenca Cuicateca, durante el Cretácico temprano, y que aflora en la zona que limita los terrenos Cuicateco y Zapoteco (Figura 1).

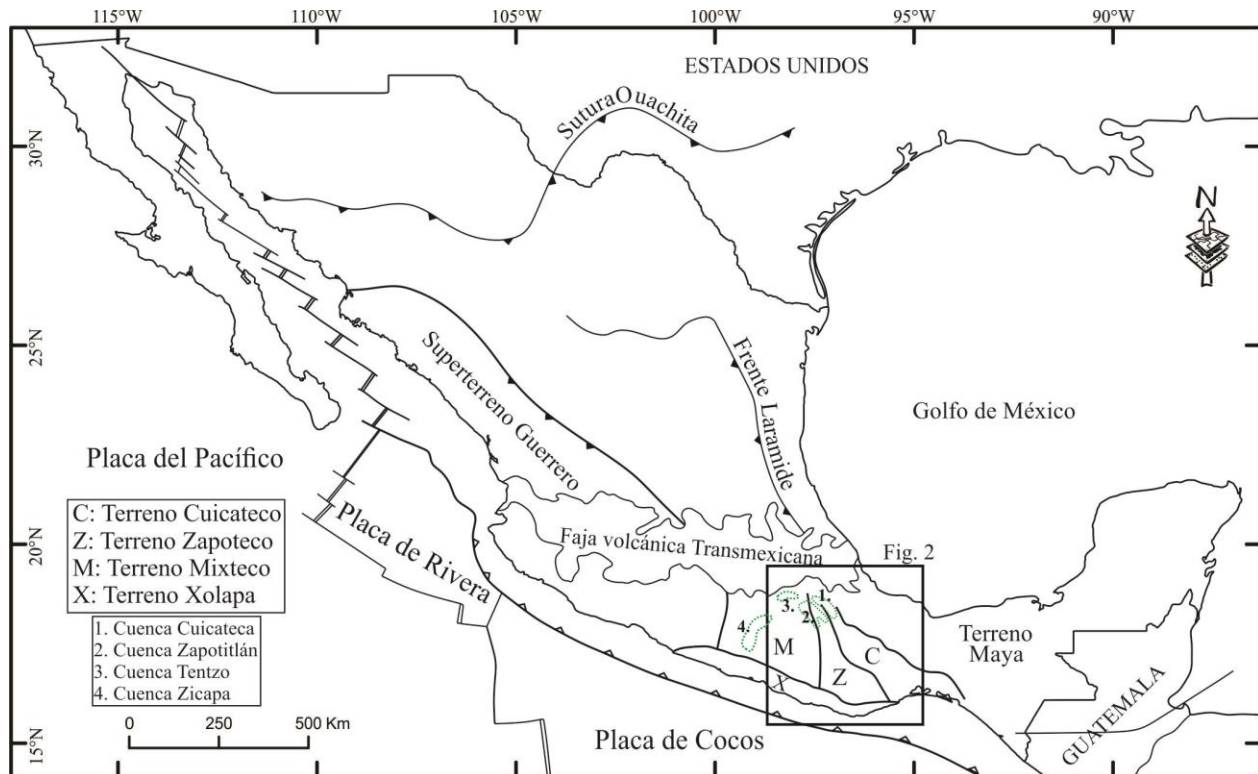


Figura 1. Mapa generalizado de México con las principales estructuras tectónicas, faja volcánica Transmexicana, los terrenos tectonoestratigráficos del sur y la localización de las cuencas sedimentarias desarrolladas durante el Cretácico Inferior en el sur de México. Modificado de Elías-Herrera *et al.*, 2005; Mendoza-Rosales, 2010; Sierra-Rojas *et al.*, 2016; Ortega-Flores, 2017.

1.6 Uso del apatito como trazador en análisis de procedencia detrítica

El apatito es el mineral fosfatado más común en la corteza terrestre (Deer *et al.*, 2013), representa una serie isomórfica cuyos miembros finales son: el fluorapatito $[Ca_5(PO_4)_3F]$, el cloroapatito $[Ca_5(PO_4)Cl]$ y el hidroxapatito $[Ca_5(PO_4)_3OH]$ y de los cuales, el primero es el más abundante en la naturaleza (Deer *et al.*, 2013).

El apatito posee varias características que lo hacen un excelente trazador en análisis de procedencia sedimentaria, siendo estas: su ocurrencia natural en muchas rocas de la corteza (sean ígneas, metamórficas o sedimentarias; Morton y Hallsworth, 1999; Piccoli y Candela, 2002; Spear y Pyle, 2002), la capacidad de sustitución de sus iones por diferentes elementos traza y tierras raras durante su génesis (Roeder *et al.*, 1987; Piccoli y Candela, 2002; Chew y Donelick, 2012) y su inestabilidad a la meteorización en la fuente, en contacto con aguas ácidas y durante el transporte sedimentario (e.g., Morton y Hallsworth, 1999, y trabajos referencia allí). Aunque el apatito está presente ubicuamente en las rocas sedimentarias clásticas su ausencia en cualquier sedimento puede ser atribuida, además de la fertilidad o disolución en la fuente, a la temperatura, la lluvia y el pH de los suelos (O'Sullivan *et al.*, 2018).

Los estudios de procedencia detrítica que involucran las propiedades físico-químicas del apatito para obtener información de la roca fuente, incluyen: 1) química de elementos traza y tierras raras (REE), 2) edades isotópicas U-Pb y 3) trazas de fisión. Estas técnicas permiten determinar la evolución del área fuente, su exhumación y el transporte de los materiales erosionados y su rastreo a través del tiempo cuando se aplican a estratos sedimentarios continuos (e.g., Carrapa *et al.*, 2009; Mark *et al.*, 2016).

1.6.1 Química de apatitos: elementos traza y tierras raras (REE)

La mayoría de las rocas sedimentarias clásticas frecuentemente representan una mezcla derivada de varios tipos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias más antiguas (Abdullin *et al.*, 2016), es por ello que los estudios de procedencia que emplean los métodos convencionales como el conteo de puntos en arenisca y la geocronología de circones detríticos algunas veces son problemáticos. En este sentido, el comportamiento geoquímico de los apatitos detríticos ha sido utilizado para establecer una mejor restricción de las rocas fuente, ya que su composición química puede ser específica de cierta paragénesis (e.g. Jafarzadeh *et al.*, 2014; Morton y Yaxley, 2007; Philander y Rozendaal, 2015).

El apatito puede incorporar una amplia variedad de elementos traza y Tierras Raras (*rare Earth elements*; REE) en su estructura cristalina, y en un rango muy variado de concentraciones, al sustituir ambos sitios de cationes y aniones (Chew y Donelick, 2012). Elementos divalentes como el Sr^{+2} , Pb^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+2} y Eu^{+2} pueden sustituir directamente al Ca^{+2} (Piccoli y Candela, 2002), mientras que los elementos monovalentes (Na^+ , K^+ y Li^+), trivalentes (REE^{+3} e Y^{+3}) y tetravalentes (Th^{+4} y U^{+4}) entran a la red cristalina del apatito a través de sustituciones complejas, algunos ejemplos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Sustituciones complejas de elementos en la estructura cristalina del apatito.

Sustitución de elementos		Referencia
$\text{REE}^{+3} (\text{Y}^{+3}) + \text{Na}^+ = 2\text{Ca}^{+2}$		Sha y Chappell (1999)
$\text{REE}^{+3} + \text{Si}^{+4} = \text{Ca}^{+2} + \text{P}^{+5}$		Ronsbo (1989)
$2\text{REE}^{+3} (\text{Y}^{+3}) + [\text{V}] = 3\text{Ca}^{+2}$		Pan y Fleet (2002)
$\text{Na}^+ + \text{S}^{+6} = \text{Ca}^{+2} + \text{P}^{+5}$		Sha y Chappell (1999)
$2\text{Na}^+ = \text{Ca}^{+2} + [\text{V}]$		Ronsbo (1989)
$\text{Th}^{+4}(\text{U}^{+4}) = 2\text{Ca}^{+2}$ $\text{Th}^{+4}(\text{U}^{+4}) + \text{Si}^{+4} = \text{REE}^{+3} + \text{P}^{+5}$	$\text{Th}^{+4}(\text{U}^{+4}) + \text{Ca}^{+2} = 2\text{REE}^{+3}$	Casillas <i>et al.</i> (1995)
$\text{S}^{+6} + \text{Si}^{+4} = 2\text{P}^{+5}$		Sha y Chappell (1999)
$\text{REE}^{+3} + \text{Si}^{+4} = \text{Ca}^{+2} + \text{P}^{+5}$		Pan y Fleet (2002); Ronsbo (1989)
$\text{Zr}^{+4} + \text{Si}^{+4} = \text{REE}^{+3} + \text{P}^{+5}$	$\text{Zr}^{+4} + \text{Ca}^{+2} = 2\text{REE}^{+3}$	Casillas <i>et al.</i> (1995)

[V] Representa vacancia.

La concentración de elementos traza en apatitos ígneos se encuentra relacionada a su concentración en el fundido, al grado de fraccionamiento, a la fugacidad del oxígeno y al coeficiente de partición entre el apatito y el fundido (Piccoli y Candela, 2002; Morton y Yaxley, 2007; Pan *et al.*, 2016). Un cambio en la composición y concentración de los elementos traza en el apatito puede reflejar la variación composicional del magma, esto como resultado de la cristalización de otras fases minerales. Por ejemplo, la cristalización de feldespatos favorece la disminución del Sr en el fundido residual, ya que son los principales receptores de este elemento en magmas félsicos (Pan *et al.*, 2016).

Durante el fraccionamiento magmático los elementos como el Y, Mn, las tierras raras pesadas (*heavy rare Earth elements*; HREE), el F y el U son relativamente enriquecidos en el fundido (Nash, 1984; Belousova *et al.*, 2002; Morton y Yaxley, 2007). Este comportamiento químico se ve reflejado en una mayor concentración de dichos elementos en apatitos asociados a magmas más evolucionados. Además, se ha reportado una menor relación de Eu/Eu* (anomalía de Eu negativa) en apatitos de granitos tipo S y granitos félsicos tipo I (Sha y Chappell, 1999). Por el contrario, los apatitos asociados a rocas ígneas básicas poseen una mayor concentración de Cl, Th, tierras raras ligeras (*light rare Earth elements*; LREE) y Sr (Sha y Chappell, 1999; Belousova *et al.*, 2002; Morton y Yaxley, 2007). La anomalía de Eu tiende a ser moderada o inexistente en apatitos máficos y es dependiente de si la cristalización de dicha fase mineral es antes o después del feldespato (Tang *et al.*, 2012).

La concentración de REE en apatitos ígneos es correlacionable con el índice de saturación de Al (ASI) en granitos (Belousova *et al.*, 2001), mientras que el contenido de Sr puede ser correlacionado con el grado de fraccionamiento del magma y el contenido de Mn a la fugacidad del oxígeno (Sha y Chappell, 1999; Hsieh *et al.*, 2008).

El comportamiento químico de apatitos asociados a rocas metamórficas es extremadamente heterogéneo y se puede distinguir fácilmente de los apatitos ígneos. Los apatitos metamórficos en general poseen un bajo contenido de REE, frecuentemente altos niveles de Sr y anomalía de Eu positiva a levemente negativa (El Korh *et al.*, 2009; Henrichs *et al.*, 2018). Por otro lado, una anomalía de Eu negativa puede ser explicada por el crecimiento cogenético del apatito con epidota (Henrichs *et al.*, 2018).

Apatitos metamórficos de metapelitas de bajo a medio grado y metabasitas pueden ser fácilmente distinguibles de apatitos graníticos por su significativo empobrecimiento en Th, REE e Y, el cual es atribuido al crecimiento cogenético de la epidota (Henrichs *et al.*, 2018). Bingen *et al.* (1996) demostraron que el contenido de tierras raras intermedias (*middle rare Earth elements*; MREE, excepto el Eu) incrementa con el aumento del grado metamórfico, como resultado de la descomposición de la

hornblenda, biotita y titanita; mientras que el contenido de LREE y Th lo hace con la isógrada de ortopiroxeno cuando la monacita es progresivamente consumida. Por otro lado, el contenido de las REE y Th en el apatito es totalmente reseteado durante el metamorfismo en facies de anfibolita y granulita (ya que el apatito actúa como un sistema abierto) y la liberación de F a partir de la biotita posiblemente explique el incremento de la estabilidad del apatito relativo a la monacita bajo condiciones de metamorfismo en facies de granulita (Bingen *et al.*, 1996).

En la actualidad no se han encontrado cocientes o abundancias de elementos que relacionen sistemáticamente los apatitos de rocas metamórficas con la composición de su protolito, esto debido probablemente a la paragénesis similar del apatito en metabasitas y metapelitas y al crecimiento simultáneo de dicha fase mineral con epidota rica en actínidos y REE (Henrichs *et al.*, 2018).

1.6.2 Edades isotópicas en apatito: Sistema U-Pb

La termocronología detrítica es una de las herramientas de procedencia sedimentaria que descifra la historia termotectónica de las áreas fuente (Bernet y Spiegel, 2004). El sistema U-Pb en apatito es un termocronómetro de mediana temperatura, ya que el apatito experimenta pérdida total de Pb a temperaturas >550 °C y lo retiene cuantitativamente a temperaturas <375 °C (zona de retención parcial del Pb; Chamberlain y Bowring, 2001; Cochrane *et al.*, 2014). El sistema U-Pb en apatito proporcionar edades de enfriamiento en rocas ígneas (Chew y Donelick, 2012), restricciones de tiempo-temperatura en procesos retrógrados, prógrados de baja temperatura (Kirkland *et al.*, 2018) y eventos metamórficos regionales de mediano grado (O'Sullivan *et al.*, 2018).

El método U-Pb en apatitos posee ciertas limitaciones al ser aplicado en estudios de termocronología: 1) cuando las concentraciones de U y Pb radiogénico (Pb_r) en el apatito son generalmente muy bajas, 2) cuando la proporción de Pb común (Pb_c) contra Pb_r es significativamente elevada, 3) para cuantificar el contenido de Pb_r cuando los granos de apatito son muy jóvenes (e.g., edades <20 Ma) y 4) cuando los granos de apatito experimentan pérdida de Pb (e.g., cuando los granos son muy pequeños). Esto hace que raramente se obtenga la misma precisión lograda con los circones utilizando el mismo sistema (Chew y Donelick, 2012; Kirkland *et al.*, 2018).

El apatito generalmente incorpora cantidades sustanciales de Pb inicial (no radiogénico o común; Pb_c) cuando cristaliza, en comparación con el contenido de U, esto hace que sus edades sean discordantes. Es por esta razón que los cocientes isotópicos U-Pb obtenidos pueden ser juzgadas utilizando los siguientes casos: 1) a través de una concordia o isócrona en un conjunto de granos cogenéticos con una propagación/dispersión en la relación Pb_c contra Pb_r y 2) una corrección de los

cocientes isotópicos basada en una elección apropiada de la composición inicial de Pb (Chew y Donelick, 2012).

Para el caso uno, se deben analizar varios granos con una propagación/dispersión de la razón Pb_c/Pb_r suficiente para definir un arreglo lineal en un diagrama de concordia o isócrona (Chew y Donelick, 2012). Para esto se proyecta una intercepta a través de los datos no corregidos en un diagrama de concordia tipo Tera-Wasserburg (TW; Tera y Wasserburg, 1972) para determinar la componente de Pb_c en el eje $^{207}Pb/^{206}Pb$ (intercepta en Y). La edad $^{238}U/^{206}Pb$ puede entonces ser calculada como la intercepta inferior en el eje $^{238}U/^{206}Pb$ (Simonetti *et al.*, 2006; Chew y Donelick, 2012). Los datos de U-Pb en apatito son más fáciles de representar en el diagrama TW, ya que las relaciones isotópicas $^{238}U/^{206}Pb$ y $^{207}Pb/^{206}Pb$ son menos correlacionables que los dos cocientes isotópicos de U-Pb, además de que es más sencillo visualizar la relación inicial de $^{207}Pb/^{206}Pb$ en la intercepta de discordia (Mark *et al.*, 2016). El arreglo lineal en el diagrama TW es típico de granos cogenéticos de una sola fuente ígnea o metamórfica, a diferencia de granos detríticos que pueden producir una distribución más aleatoria y surtida (Mark *et al.*, 2016).

Para el caso dos, se requiere corregir individualmente los análisis por Pb inicial utilizando uno de los siguientes métodos: corrección por ^{204}Pb , por ^{207}Pb o por ^{208}Pb (Williams, 1998). Las estimaciones de la composición isotópica de Pb inicial son derivadas de los modelos de evolución del Pb terrestre (según el modelo de Stacey y Kramers, 1975). El método de corrección por ^{204}Pb es el más adecuado de los tres, ya que es el único que no asume concordancia de U-Pb_r (Chew *et al.*, 2011; Chew y Donelick, 2012). Suponer una concordancia U-Pb_r solo es razonable en el caso de estándares y granos de apatito magmáticos, pero no puede ser aplicado en el caso de granos detríticos que han experimentado pérdida parcial o total de Pb, como resultado, se debe utilizar argumentos geológicos para discriminar entre reseteo detrítico parcial o total de la edad U-Pb (Mark *et al.*, 2016).

En la figura 2 se presentan ejemplos de fechamientos U-Pb en apatito en diagramas TW (sin corrección por Pb_c) y promedio ponderado de la edad (utilizando una corrección por Pb_c) (Chew y Donelick, 2012). Para el primero (figura 2C y D) la intercepta inferior de la línea de discordia representa la edad del grupo cogenético de apatitos, mientras que en el segundo, se ha aplicado la corrección por ^{207}Pb al grupo de cocientes isotópicos (figura 2A y B).

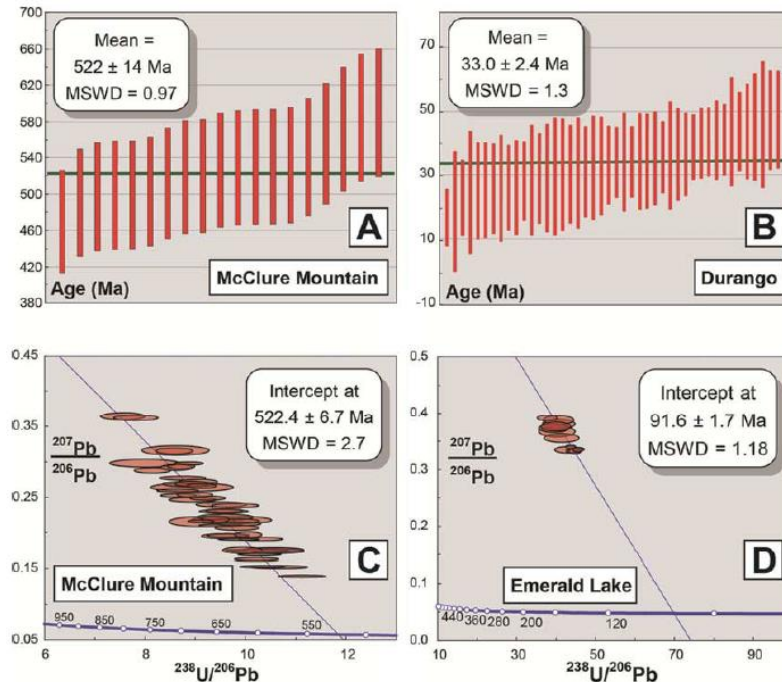


Figura 2. Ejemplo de fechamientos isotópicos U-Pb en apatitos. Los datos de A y B fueron obtenidos usando un ICP-MS cuadrupolar Agilent 7700X acoplado a un sistema de ablación láser de excímero ArF Resonetics con una longitud de onda de 193 nm. Los datos de C y D fueron obtenidos con un Neptune MC-ICP-MS acoplado a un sistema de ablación láser de excímero New Wave de 193 nm. Tomado de Chew y Donelick (2012).

1.6.3 Termocronología de baja temperatura en apatito: Trazas de fisión

La técnica de trazas de fisión en apatito ha sido aplicada para constreñir la historia térmica de baja temperatura de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias en un amplio rango de ambientes geológicos, tales como cinturones orogénicos, márgenes de rift, zonas de falla, cuencas sedimentarias, cratones, depósitos minerales, etc. (Donelick *et al.*, 2005; Malusà y Fitzgerald, 2019). Los problemas geológicos que pueden ser abordados a partir de trazas de fisión incluyen: tiempo y tasas de eventos tectónicos (exhumación-denudación), evolución de cuencas sedimentarias, formación, exhumación y preservación de depósitos minerales, edad absoluta de depósitos volcánicos, etc. (Donelick *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2010; Chew y Donelick, 2012).

El análisis de trazas de fisión puede ser empleado para fechar granos detríticos de rocas sedimentarias y trazar la procedencia de sedimentos a cuencas (Bernet y Spiegel, 2004). Los apatitos colectados en regiones más superficiales de la corteza, las cuales no han experimentado una historia termal post-deposicional suficiente para provocar el borrado térmico de las trazas, pueden conservar el registro de la historia térmica original de procedencia (Yan *et al.*, 2003). En relación a otros sistemas isotópicos de alta temperatura, la cantidad de tiempo entre el cierre del sistema de trazas de fisión en las rocas fuente (~120 °C) y el depósito de los sedimentos derivados

de estas rocas, en una cuenca sedimentaria, debería ser relativamente corto (Yan *et al.*, 2003).

El fechamiento por trazas de fisión se basa en el decaimiento por la fisión nuclear espontánea del isótopo de ^{238}U , que produce dos nuevos núcleos que son expulsados en sentido contrario. La vida media de la fisión espontánea del ^{238}U es de $(8.2 \pm 0.1) \times 10^{15}$ años (Holden y Hoffman, 2000; Yoshioka *et al.*, 2005). Eso quiere decir que para aproximadamente dos millones de núcleos de éste isotopo que experimentan decaimiento tipo alfa (α) sólo un núcleo de ^{238}U experimentaría la fisión espontánea (Donelick *et al.*, 2005). Las trazas de fisión están constituidas por zonas dañadas en la red cristalina, con longitudes típicas de $<20 \mu\text{m}$ y entre 3 y 14 nm de ancho (Paul y Fitzgerald, 1992). El aumento de temperatura hace que dichos defectos sean borrados cuando los átomos desplazados dentro de la red cristalina regresan a su posición original. Este proceso de acortamiento de trazas se llama borrado térmico (*annealing*) (Wagner, 1968; Wagner y Reimer, 1972; Wagner y Van den Haute, 1992). El borrado térmico parcial de las trazas de fisión en los fluorapatitos poseen un rango de temperatura entre 60-120 °C, dicho rango de temperatura se conoce como zona de borrado parcial PAZ (*partial annealing zone*; Green *et al.*, 1986). El borrado parcial reduce entonces las edades aparentes y acorta las longitudes de las trazas de fisión, mientras que el borrado total reinicia las edades de las trazas de fisión hasta 0 Ma (e.g., Gleadow *et al.*, 1986). Para los apatitos con un alto contenido de Cl ($\geq 3\%$ wt.) la PAZ ronda entre 90-160 °C (Donelick *et al.*, 2005), lo que significa que las trazas de fisión en apatitos con mayor contenido de Cl resisten mejor el borrado térmico al experimentar borrado total a temperaturas $>160^\circ\text{C}$ (Ketcham *et al.*, 1999). Lo anterior significa que los granos de apatito menos resistentes al borrado térmico entran a la zona de borrado total cuando los granos más resistentes apenas están entrando al PAZ.

Las trazas de fisión que no han experimentado borrado térmico tienen longitudes de $16 \pm 1 \mu\text{m}$ (Gleadow *et al.*, 1986). En el mismo cristal de apatito las trazas de fisión más jóvenes experimentan sólo una parte de la historia integrada de tiempo-temperatura (t-T) mientras que las trazas más antiguas han experimentado un mayor grado de borrado parcial. Para un grano de apatito con longitudes de trazas entre 14.5 y 15.5 μm , puede interpretarse que experimentó un enfriamiento relativamente rápido, de $\geq 110^\circ\text{C}$ a $\leq 60^\circ\text{C}$, en el tiempo indicado por la edad de trazas de fisión (Chew y Donelick, 2012). Para un prolongado período de enfriamiento lento, una distribución de longitudes relativamente corta es esperada (Donelick *et al.*, 2005). Longitudes muy cortas de trazas de fisión, con una amplia desviación estándar, es indicativa de que la muestra estuvo en la PAZ por un periodo de tiempo significativo desde la formación de las trazas más antiguas (Gleadow *et al.*, 1986). La distribución de longitudes y edad de las trazas pueden ser combinadas para construir trayectorias de tiempo-temperatura a través del

modelado inverso y/o directo de las edades y longitudes de trazas (Gallagher, 1995; Ketcham, 2005).

Aplicando un proceso de ataque químico (*etching*) los defectos lineales (trazas de fisión) en los cristales pueden ser observados bajo un microscopio óptico, ya que las zonas dañadas se encuentran en un estado de mayor energía libre que el resto del cristal, por lo que son químicamente más reactivas (Fleischer *et al.*, 1975).

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 Contexto geodinámico

La evolución tectónica de México desde el Jurásico hasta el final del Cretácico Inferior fue dominada por deformación extensional influenciada por dos procesos geodinámicos principales: la subducción de la placa Farallón debajo del margen continental pacífico de Norteamérica y el rompimiento de Pangea y apertura del Océano Atlántico (Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018).

Durante el Jurásico temprano a medio el magmatismo que se extiende del noroeste a sureste de México, hasta Chiapas, ha sido atribuido al arco magmático continental Nazas desarrollado en el margen pacífico de México (Dickinson y Lawton, 2001; Godínez-Urban *et al.*, 2011; Lawton y Molina-Garza, 2014) o bien al adelgazamiento de la litosfera producto de la ruptura inicial de Pangea occidental (Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018). Durante el Jurásico medio a tardío, extensión cortical ha sido atribuida ya sea a: la apertura del Golfo de México y a procesos relacionados a la ruptura de Pangea (Pindell y Kennan, 2009; Stern y Dickinson, 2010; Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018) o al retroceso de la placa oceánica subducida al oeste de México (Dickinson y Lawton, 2001).

Durante el Jurásico tardío y Cretácico temprano extensión en la cuenca trasarco Arperos produjo una efectiva desconexión sedimentológica entre el Terreno Guerrero y la parte mexicana de Norteamérica (Martini *et al.*, 2011; Martini *et al.*, 2014). Durante este intervalo un intenso magmatismo de arco en el margen pacífico produjo flujos volcánicos intermedios a máficos e intrusivos graníticos y granodioríticos (e.g. Solari *et al.*, 2007; Martini *et al.*, 2009; Martini *et al.*, 2014).

En el margen sureste de México durante el Cretácico temprano la extensión cortical es una característica importante. Este proceso es evidenciado por el desarrollo de las cuencas sedimentarias Cuicateca, Zapotitlán y Tentzo (Mendoza-Rosales *et al.*, 2010; Sierra-Rojas *et al.*, 2016) mientras que al oeste el registro de la extensión se encuentra en la cuenca Zicapa (Sierra-Rojas y Molina-Garza, 2014). La cuenca Cuicateca (Cretácico temprano) se desarrolló en un régimen extensional para el cual se han propuesto varios mecanismos tectónicos que incluyen: una cuenca tras arco asociada al retroceso de la Placa Farallón subducida (Delgado-Argote *et al.*, 1992), mecanismo de *pull-apart* asociado a un régimen transtensional (Angeles-Moreno, 2006), cuenca de rift desarrollada en una intersección falla transformante-dorsal asociada a la apertura del Golfo de México (Mendoza-Rosales, 2010) o una cuenca extensional de tras arco asociado al retroceso del *slab* de Arperos (Sierra-Rojas *et al.*, 2016). Acortamiento durante el Cretácico Superior-Paleógeno asociado a la Orogenia Laramide, provocó la inversión de la cuenca Cuicateca a través de cabalgaduras de escala regional (Angeles-Moreno, 2006; Fitz-Díaz *et al.*, 2018).

2.2 Contexto geológico

El sur de México está constituido por los terrenos tectonoestratigráficos Cuicateco, Zapoteco, Mixteco, Maya y Chatino (Sedlock *et al.*, 1993). Dado que la Formación Chivillas se localiza en la convergencia de varios de estos terrenos del sur de México (Figura 3), muy cerca de cuerpos ígneos que se han considerado como parte de un arco continental activo durante el Paleozoico tardío, en el bloque piso de la Falla Oaxaca y al este del Valle de Tehuacán, éstos se describen brevemente a continuación.

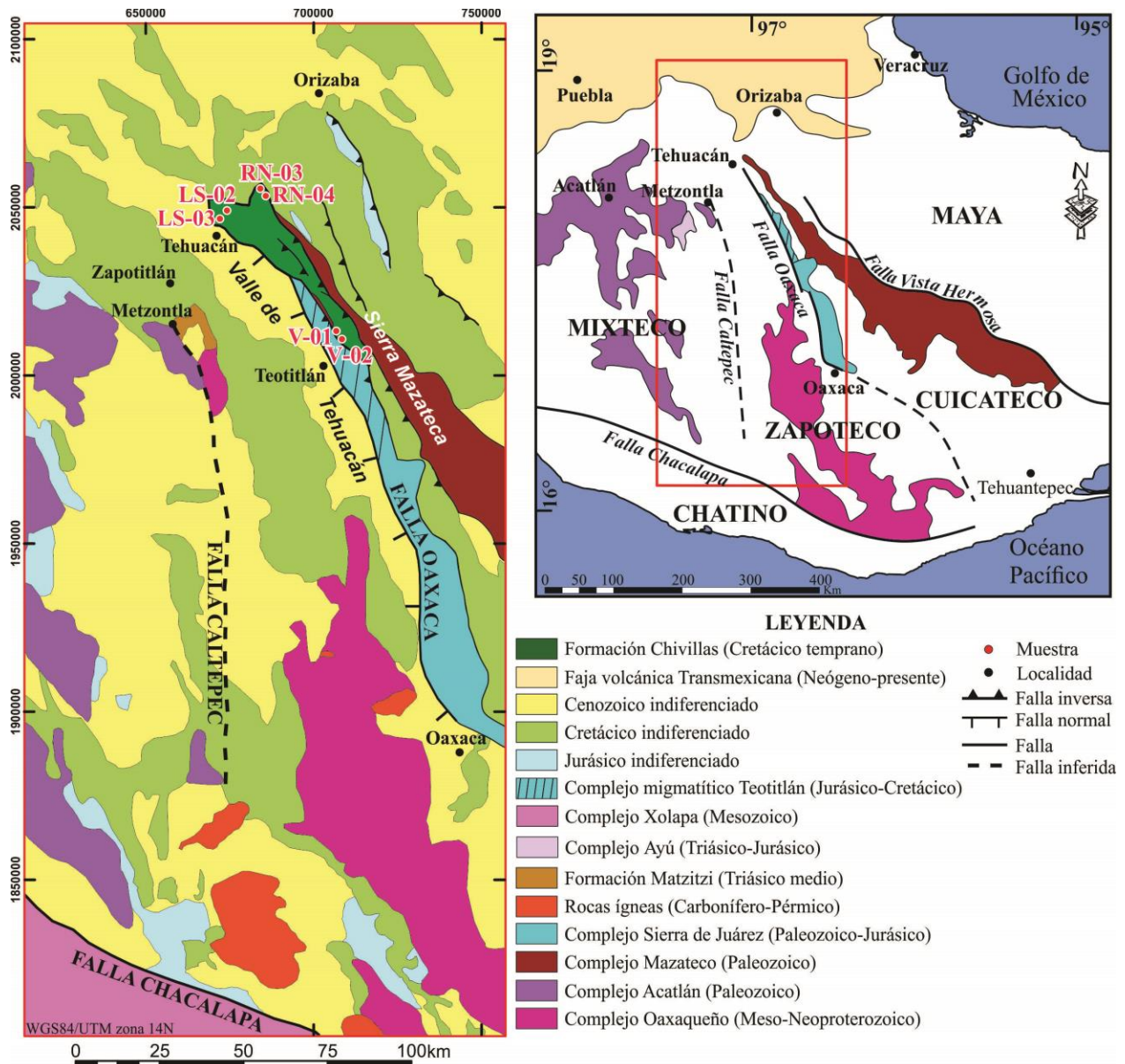


Figura 3. Mapa generalizado del sur de México, de la localización de la Formación Chivillas y de las muestras analizadas en este estudio. Las coordenadas de las muestras se presentan en la tabla 2. Modificado de Elías-Herrera *et al.*, 2005; Ángeles-Moreno, 2006; Mendoza-Rosales, 2010; Ángeles-Moreno *et al.*, 2012).

2.2.1 Terrenos tectonoestratigráficos del sur de México

- **Terreno Zapoteco**

El Complejo Oaxaqueño es el basamento cristalino del terreno Zapoteco (Figura 3 y 4). El Complejo Oaxaqueño es el más viejo de varios complejos cristalinos que afloran en el sur de México y constituye la mayor exposición de rocas en facies de granulita del territorio mexicano (Weber y Kohler, 1999). El Complejo Oaxaqueño se caracteriza por poseer registro de magmatismo entre ~1,210 y 1,179 Ma (Weber y Schulze, 2014), un evento de migmatización a ~1,100 Ma y metamorfismo en facies de granulita entre ~1,000 y 990 Ma (Solari *et al.*, 2003). Litológicamente el Complejo Oaxaqueño está conformado por ortogneises y paragneises con protolitos de anortositas, granitos, tonalitas, sienitas, gabros, charnoquitas, anfibolitas, pegmatitas y rocas calcisilicatadas (Ortega-Gutiérrez, 1977; Solari *et al.*, 2003; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). El Complejo Oaxaqueño subyace discordantemente a rocas sedimentarias marinas y continentales con edades que van del Paleozoico (formaciones Tiñu, Ixtaltepec, Santiago, Matzitzi) al Cenozoico (Angeles-Moreno, 2006; Figura 4).

- **Terreno Mixteco**

El Complejo Acatlán es el basamento del terreno Mixteco (Figura 3 y 4) y constituye la exposición más grande de rocas paleozoicas de México (e.g., Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999). El Complejo Acatlán está constituido por rocas metasedimentarias y metaígneas (*Suite* Piaxtla, formaciones Cosoltepec, Patlanoaya y Tecomate y Plutón Totoltepec; Keppie *et al.*, 2008) con edades entre el Cámbrico-Ordovícico y el Paleozoico tardío. Las rocas del Complejo Acatlán exhiben grados metamórficos entre las facies de esquisto verde, esquisto azul y eclogita y son el producto de la deformación y polimetamorfismo en condiciones tectónicas relacionadas a la apertura, cierre y/o subducción de los océanos Iapetus, Rheico y Paleo-Pacífico (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Ortega-Obregon *et al.*, 2009; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018).

Sobreyaciendo discordantemente al Complejo Acatlán se encuentra la sucesión constituida por areniscas, lutitas y lentes de conglomerado de la Formación Matzitzi (Centeno-García *et al.*, 2009; Figura 4) y cubriendo a la Formación Matzitzi se encuentra la unidad denominada “Lechos rojos” de edad Triásico-Jurásico (Moran-Zenteno *et al.*, 1993). Depósitos continentales y fluviales del Jurásico medio-tardío (formaciones Piedra Hueca, Otlaltepec, Tecomazúchil y Chimeco) cubren discordantemente al Complejo Acatlán y éstos depósitos a su vez son sobreyacidos por carbonatos de la plataforma del Cretácico (Figura 4).

Las rocas del Complejo Ayú fueron previamente asignadas al Complejo Acatlán, sin embargo, Helbig *et al.* (2012) a partir de nuevos datos U-Pb en circones establecen que se formó en el Mesozoico (Figura 3 y 4). El complejo Ayú está constituido por rocas

metasedimentarias polideformadas (Litodema Chazumba) intercaladas con ortoanfibolitas que poseen una geoquímica transicional entre arco magmático y MORB. La parte sur del Complejo Ayú fue afectada por una fusión parcial hace ~171 Ma formando la migmatita Magdalena (Helbig *et al.*, 2012). Esta migmatización fue acompañada por intrusiones de diques graníticos, dioríticos y granodioríticos que constituyen los intrusivos San Miguel (~171-168 Ma; Figura 4).

- **Terreno Cuicateco**

El terreno Cuicateco posee una orientación NW-SE en forma de cuña que se adelgaza en dirección de la Faja Volcánica Transmexicana (Figura 1 y 3). El basamento del terreno Cuicateco no se conoce pero se ha considerado que puede corresponder a rocas gabroicas y ultrabásica del Complejo Milonítico Sierra de Juárez (Delgado-Argote, 1988; Alaniz-Alvarez *et al.*, 1994), a esquistos del Paleozoico que están en contacto tectónico con los gneises del Complejo Guichicovi (Murillo-Muñeton, 1996) o a bloques paleozoicos como el Complejo Mazateco (Ángeles-Moreno, 2006).

Angeles-Moreno (2006) describe dos complejos metamórficos que afloran entre el norte-noreste de Teotitlán y San Juan Coyula en el estado de Oaxaca: el complejo metamórfico Mazateco (Figura 3 y 4) que está constituido por los esquistos La Nopalera y Mazatlán de las Flores de edad pre-Titoniense, que representa los niveles estructurales más profundos del terreno Cuicateco, y el complejo migmatítico Teotitlán (Figura 3 y 4). El complejo Mazateco experimentó migmatización y metasomatismo parcial contemporáneamente al desarrollo del complejo migmatítico Teotitlán durante el Titoniense-Barremiense.

El Complejo Milonítico Sierra de Juárez (Alaniz-Alvarez *et al.*, 1994) es parte de la zona de falla de larga vida Oaxaca, que se ha interpretado como el contacto tectónico entre los terrenos Cuicateco y Zapoteco (Figura 3). El complejo milonítico está constituido por gneises, anortositas, mármoles, granitos leucocráticos, gabros y hornblenditas, rocas basálticas volcánicas y rocas sedimentarias de diversos orígenes (Alaniz-Alvarez *et al.*, 1994).

La sucesión vulcano-sedimentaria del Jurásico tardío-Cretácico temprano que aflora en la parte septentrional del terreno Cuicateco corresponde a los depósitos de la Formación Chivillas, los cuales son sobreyacidos por rocas de la Formación Tamaulipas Inferior que subyace a la Formación Tamaulipas Superior (Figura 4).

- **Terreno Maya**

Este terreno incluye la Península de Yucatán y el sureste de México desde el istmo de Tehuantepec hasta Guatemala (Figura 1). El basamento del suroeste del Terreno Maya está constituido por el Complejo Macizo de Chiapas, el cual cubre un área de ~20,000

km² paralelo a la costa del Pacífico de México (Schaaf *et al.*, 2002). El Macizo de Chiapas está constituido por gneises fuertemente deformados, anatexitas y anfibolitas intruidas por granitoides no tan deformados, rocas metasedimentarias y rocas ígneas (unidades Sepultura, Custepec y Jocote; Schaaf *et al.*, 2002; Weber *et al.*, 2008). La estratigrafía pre-mesozoica del Terreno Maya está constituida por la Formación Santa Rosa que está cubierta discordantemente por la Formación Gruperá y ésta a su vez concordantemente sobreyacida por la Formación Paso Hondo. Las rocas del Triásico hasta el Cretácico están dominadas por lechos rojos y calizas (e.g. formaciones Todos Santos y Sierra Madre).

2.2.2 Arco continental del este de México

En el este y sur de México afloran una serie de rocas plutónicas y volcánicas (Carbonífero-Pérmico y que se extiende hasta el Triásico) que han sido consideradas parte de un arco magmático continental producto de la subducción hacia el este de la placa del Pacífico debajo del margen oeste de Gondwana. Este arco se extendió desde el sureste de Estados Unidos hasta Centroamérica (Torres *et al.*, 1999; Dickinson y Lawton, 2001; Solari *et al.*, 2001; Kirsch *et al.*, 2012; Ortega-Obregón *et al.*, 2014).

Entre las rocas ígneas que constituyen parte de este arco magmático se mencionan: el Granito Etlá (~255 Ma), *stock* Carbonera (~272 Ma), Granito Cozahuico (~276 Ma), batolito Zanitza (~287 Ma), batolito Honduras (~290 Ma), plutón Cuanana (~311 Ma), *stock* Totoltepec (289-306 Ma) y las lavas félsicas de la Riolita Sosola (~270 Ma) que intruyen o cubren las rocas metamórficas de los complejos Oaxaqueño y Acatlán (Elías-Herrera *et al.*, 2007; Kirsch *et al.*, 2012; Ortega-Obregón *et al.*, 2014; Figura 3 y 4).

2.2.3 Formación Chivillas

La Formación Chivillas fue descrita por primera vez como una sucesión de lutitas, areniscas y filitas interestratificadas con conglomerados (Pano, 1973) que afloran en la base del cerro Chivillas al norte de San Antonio Cañada en Puebla. Carrasco (1978) describió una sección estratigráfica parcial de lutitas calcáreas, areniscas, micritas y rocas carbonáticas con intercalaciones de andesitas con estructura almohadillada. Toriz (1984) subdivide la formación en dos miembros: Chivillas Inferior, que corresponde a la secuencia descrita por Carrasco (1978) y que se caracteriza por la intercalación de rocas volcánicas, y Chivillas Superior que corresponde a la sucesión descrita por Pano (1973), la cual que está caracterizada por la ausencia de rocas ígneas. Mendoza-Rosales *et al.* (2013) definen formalmente que la Formación Chivillas consiste de flujos de lava basálticos, frecuentemente con estructura en almohadilla, intercalados con depósitos siliciclásticos de grauvaca, lutita, caliza arcillosa y conglomerado.

La Formación Chivillas está limitada, al oeste, por la Falla Oaxaca (Figura 3). En áreas en donde existen rampas de relevo, entre los segmentos principales de la falla, la

formación está cubierta discordantemente por depósitos cenozoicos (e.g., Lechos rojos Tilapa, Formación Tehuacán y Conglomerado San Isidro). Aunque la base de la Formación Chivillas no está expuesta se infiere un basamento conformado por rocas metamórficas del Proterozoico-Paleozoico, ya que a 30 km hacia el sureste Ortega-Gutierrez *et al.* (1995) reportaron rocas metamórficas de edad *Grenville*. La localidad tipo de la formación se ubica en la barranca Las Salinas, noreste de Tehuacán, en donde las rocas se encuentran no deformadas, sin embargo, al noreste y sur de la barranca la complejidad estructural aumenta y las rocas se encuentran fuertemente deformadas y localmente presentan metamorfismo de bajo grado (Mendoza-Rosales, 2010). La edad máxima de depósito (U-Pb en circón detrítico) de la Formación Chivillas es ~126 Ma (Mendoza-Rosales, 2010; Mendoza-Rosales *et al.*, 2013), compatible con el rango de edad Valanginiense tardío-Barremiense propuesto con base en amonites de los géneros *Olcostephanus* sp. y *Spitidiscus* sp. (Alzaga y Pano, 1989).

Mendoza-Rosales *et al.*, 2013 estableció que el ambiente de depósito de la Formación Chivillas corresponde a abanicos submarinos coalescentes y progradantes formados en una cuenca subsidente, esto con base en la presencia de fallas de crecimiento y cambios de facies finas a gruesas hacia el techo de la formación. La localidad tipo de la Formación Chivillas se encuentra en la barranca Las Salinas, al noreste de Tehuacán, en donde las rocas están prácticamente sin deformación. Es en esta localidad que Mendoza-Rosales *et al.* (2013) identificaron dieciséis facies divididas en cinco clases: conglomerática, arenosa, fina, calcárea e ígnea. Estas cinco clases fueron agrupadas en ocho asociaciones de facies: A) turbiditas de grano medio, B) turbiditas de grano grueso, C) turbiditas de grano fino, D) areniscas sin estructura interna, E) debritas soportadas por clastos, F) debritas soportadas por matriz, G) pliegues disarmónicos sinsedimentarios y H) derrames de lava almohadillados.

Mendoza-Rosales (2010) caracterizó químicamente las rocas volcánicas de la Formación Chivillas obteniendo una composición máfica a intermedia alcalina con afinidad MORB y OIB. Los valores isotópicos de plomo común son similares a los valores de manto enriquecido y la firma isotópica Pb/Pb de los derrames de lava sugieren que las rocas volcánicas están constreñidas principalmente a la corteza inferior (Mendoza-Rosales *et al.*, 2013).

La procedencia detrítica de la Formación Chivillas, con muestras colectadas en la barranca Las Salinas al noreste de Tehuacán, fue determinada por Mendoza-Rosales (2010) y Mendoza-Rosales *et al.* (2013) empleando el conteo de puntos en areniscas y la composición de clastos en conglomerados. Las areniscas de la Formación Chivillas en la barranca Las Salinas están constituidas por cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino milonítico, cuarzo policristalino en mosaico, microclina perfitica y líticos de limolita, caliza, volcánicos máficos y esquisto (Mendoza-Rosales, 2010; Mendoza-Rosales *et al.*, 2013). Ésta composición indica una fuente detrítica de los complejos

Sierra de Juárez, Oaxaqueño y su cubierta sedimentaria, además de rocas metamórficas de bajo a medio grado (Mendoza-Rosales, 2010; Mendoza-Rosales *et al.*, 2013).

Mendoza-Rosales (2010) indica que las edades U-Pb en circones detríticos en el rango de edad entre 170 y 130 Ma corresponde con las edades reportadas en el Complejo Milonítico Sierra de Juárez (Alaniz-Alvarez *et al.*, 1996; Angeles-Moreno, 2006). Las edades entre 188 y 174 Ma pueden correlacionarse con edades reportadas en el Complejo Ayú (Helbig *et al.*, 2012) y el rango entre 288 y 209 Ma puede corresponder al cinturón de granitoides del Carbonífero-Pérmico que fueron emplazados en el Complejo Oaxaqueño (Torres *et al.*, 1999; Ortega-Obregón *et al.*, 2014). Para los circones con edades U-Pb del Paleozoico temprano, Panafricano-Brasiliano y *Grenville*, edades similares se han reportado en el Complejo Oaxaqueño y su cubierta paleozoica (Keppie *et al.*, 2001; Solari *et al.*, 2003; Gillis *et al.*, 2005), el Complejo Acatlán (Elías-Herrera *et al.*, 2005; Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Keppie *et al.*, 2006; Vega-Granillo *et al.*, 2007; Ortega-Obregon *et al.*, 2009) y en la Formación Todos Santos (Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2009).

El estudio de procedencia en areniscas de la Formación Chivillas indica fuentes de procedencia mixta en su localidad tipo y en donde las rocas se encuentran prácticamente sin deformar. El hecho de que hacia el sur de esta localidad, noreste de Teotitlán, existan afloramientos con fallas de cabalgamiento regionales que incluso ponen en contacto rocas de diferentes niveles estructurales, brinda la oportunidad de analizar la procedencia detrítica de forma más detallada. Considerando que estructuralmente la zona es compleja, que no existe una cartografía a detalle y que la continuidad de muchas unidades es aún poco conocida, el muestreo de rocas dentro de las escamas tectónicas probablemente representen diferentes niveles estratigráficos durante la deposición de los sedimentos en la cuenca y con ello un estudio multitécnica de procedencia considerando muestras de varias localidades puede proporcionar un mejor control de las fuentes detríticas de la Formación Chivillas.

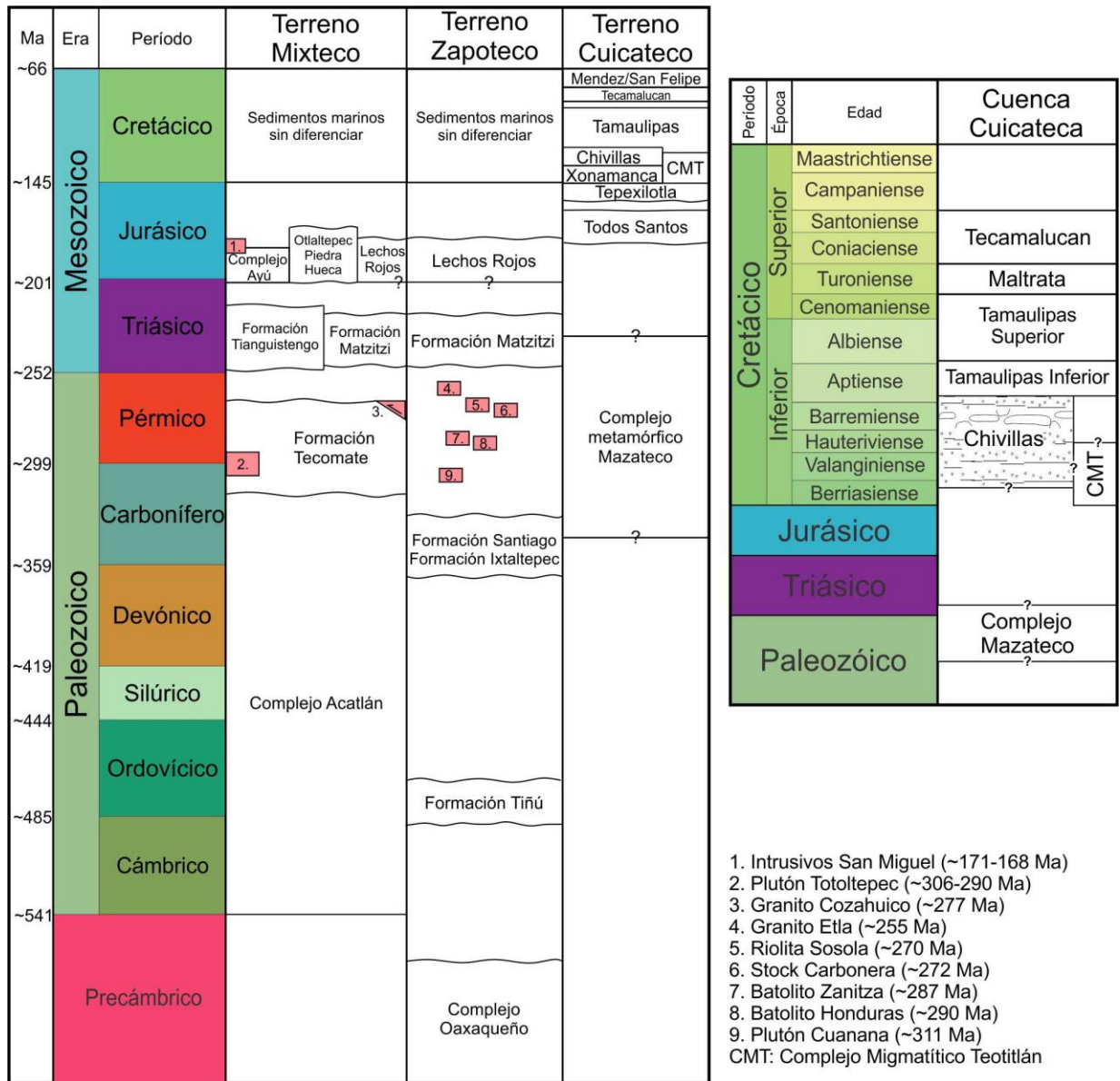


Figura 4. Columna esquemática generalizada de las unidades que afloran en los terrenos Mixteco, Zapoteco y Cuicateco. Elaborada con base en Ángeles-Moreno (2006); Mendoza-Rosales (2010); Ángeles-Moreno *et al.* (2012); Kirsch (2012); Ortega-Obregón *et al.* (2014); Sierra-Rojas *et al.* (2016); Bedoya-Mejía (2018); Ortega-Gutiérrez *et al.* (2018); Sierra-Rojas (2018).

2.2.4 Sistema de Falla Oaxaca y el Valle de Tehuacán

La Falla Oaxaca es un sistema de falla que se ha propuesto como el límite de los terrenos tectonoestratigráficos Cuicateco y Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993; Figura 3). Este sistema está constituido por la zona de cizalla de Oaxaca, la falla de Oaxaca y la falla Donají (Nieto-Samaniego *et al.*, 1995). La primera evidencia de deformación en dicho sistema está representada por la zona de cizalla Oaxaca, la que se formó como una cabalgadura producida por la yuxtaposición de los terrenos Cuicateco y Zapoteco

entre el Pérmico y Jurásico Medio (Alaniz-Alvarez, Nieto-Samaniego y Ortega-Gutiérrez, 1994). La zona de cizalla se reactivó con cinemática lateral derecha durante la migración del bloque Yucatán (Jurásico Medio) y experimentó una cinemática normal entre el Jurásico Medio y el Cretácico temprano que exhumó al Cinturón Milonítico Sierra de Juárez. Durante el Cenozoico un evento extensional reactiva la zona de cizalla y además origina las fallas de Oaxaca y Donají (Nieto-Samaniego *et al.*, 1995).

El Valle de Tehuacán es una depresión tectónica asociada a la extensión, durante el Cenozoico, del Sistema de Falla Oaxaca con el progresivo levantamiento de la Sierra Mazateca y el hundimiento de la cuenca del Valle de Tehuacán (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007; Figura 3). Los depósitos sedimentarios dentro del valle registran una fase de deformación progresiva de cuatro pulsos (Dávalos-Álvarez *et al.* 2007). El pulso 1 (p1) es el inicio de la extensión y está indicada por el depósito de los lechos rojos Tilapa y continuando durante el depósito de la Formación Mequitongo entre el Eoceno temprano a medio (Figura 5). El pulso p2 se asocia a la progresión de la deformación y formación de rampas de relevo (evidenciados por el conglomerado El Campanario; Figura 5) entre el Eoceno medio-Oligoceno temprano. El p3 está relacionado al fuerte basculamiento de unidades (lechos rojos Tilapa, Formación Mequitongo y conglomerado El Campanario) y a un cambio en el nivel de base regional, que está indicado por un *hiatus*, durante el Eoceno tardío y Oligoceno tardío (Figura 5). El p4 se asocia a la formación del relevo Tehuacán como parte del crecimiento del Sistema Norte de la Falla Oaxaca y que está indicado por el cambio de facies lacustres en la Formación Tehuacán al depósito potente del conglomerado San Isidro entre el Mioceno temprano y el Pleistoceno (Figura 5).

2.2.5 Orogenia Laramide

Previo a la extensión cenozoica en el Sistema de Falla Oaxaca, deformación por acortamiento asociada a la Orogenia Laramide tomo lugar en el centro y sur de México. La Orogenia Laramide se caracterizó por el desarrollo de estructuras compresivas y por la migración de la deformación de oeste a este entre el Cretácico Superior y Cenozoico temprano (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006; Cuéllar-Cárdenas *et al.*, 2012). En el sur de México la deformación tomó lugar entre el Santoniense-Campaniense y el Eoceno medio (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006). Durante la migración del evento compresivo, el denominado bloque Acatlán-Oaxaca (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006) colisionó contra el ensamble Cuicateco (Cinturón Milonítico Sierra de Juárez, Formación Chivillas y serpentinitas; Fitz-Díaz *et al.*, 2018) y originó el desarrollo de fallas inversas paralelas a la Falla Oaxaca (Ángeles-Moreno, 2006). Este acortamiento está asociado al desarrollo de fallas de cabalgadura a escala regional, formación de escamas tectónicas y probablemente al levantamiento e inversión de la cuenca de Cuicateca en la parte norte del Terreno Cuicateco (Angeles-Moreno, 2006; Fitz-Díaz *et al.*, 2018).

Las condiciones de deformación de la Orogenia Laramide en el borde oriental del centro de México son compatibles con el dominio frágil de la corteza, por debajo de la facies metamórfica de Esquistos Verdes (Cuéllar-Cárdenas *et al.*, 2012); mientras que en el borde noroccidental del terreno Cuicateco ésta deformación generó cabalgaduras y pliegues en un régimen frágil-dúctil (Angeles-Moreno, 2006). En el Valle de Tehuacán la orogenia está representada por una discordancia entre unidades del Cretácico (e.g. Formaciones Chivillas y Tamaulipas Superior) y los lechos rojos Tilapa del Eoceno temprano-medio (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007; Figura 5).

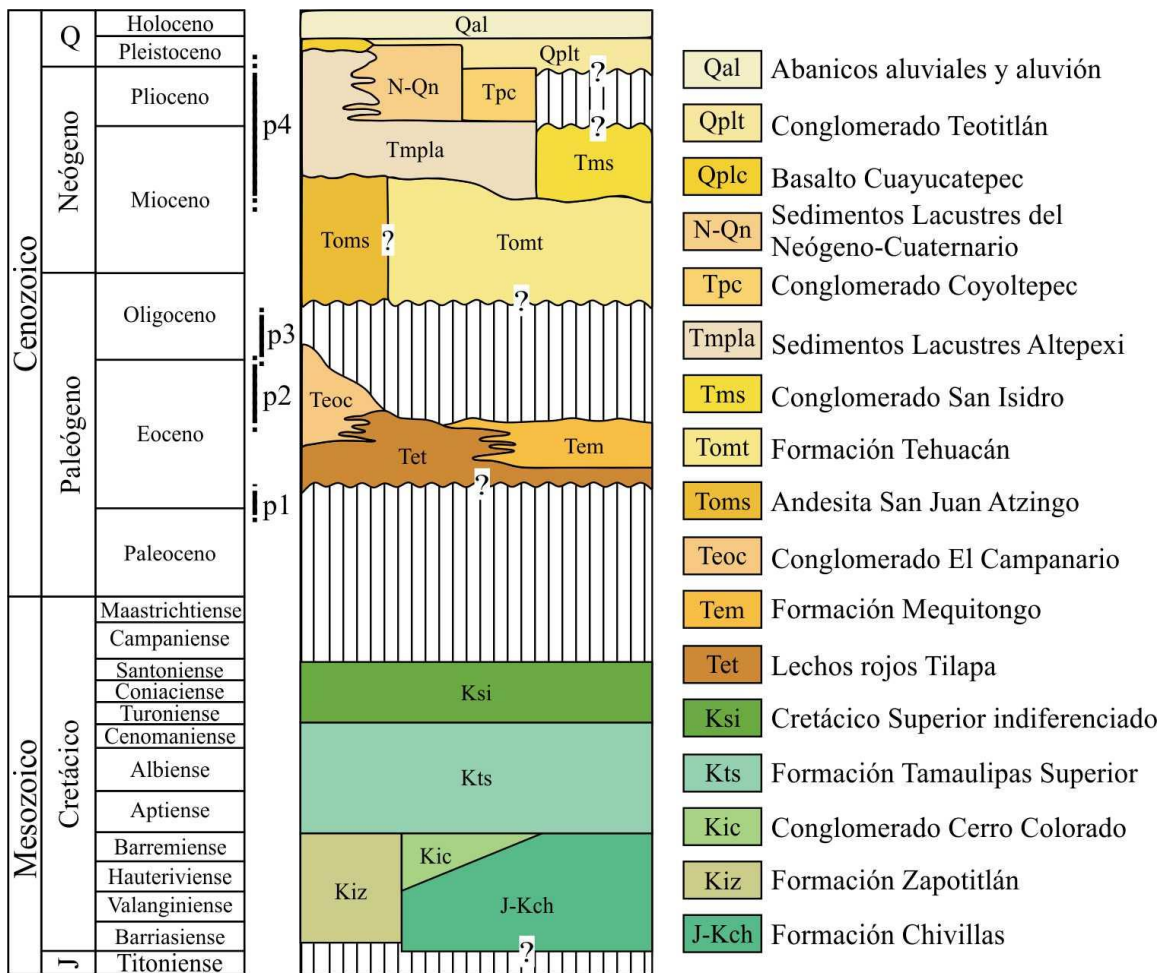


Figura 5. Columna estratigráfica del Valle de Tehuacán, p1, p2, p3 y p4 indican los diferentes pulsos asociados al desarrollo del Sistema Norte de la Falla Oaxaca. Modificado de Dávalos-Álvarez *et al.* (2007).

3. METODOLOGÍA

3.1 Recolección de muestras

Se recolectaron 6 muestra en tres localidades de la Formación Chivillas, dos en las cercanías de la barranca Las Salinas (noreste de Tehuacán), dos en los alrededores de Rancho Nuevo (noreste de Tehuacán) y dos cerca del poblado Vigastepec (noreste de Teotitlán; Tabla 2).

Tabla 2. Localización de las muestras colectadas de la Formación Chivillas.

Localidad	Código muestra	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	Roca
Barranca Las Salinas	LS-2 (250618-2)	674237	2048906	1,764	Arenisca
Barranca Las Salinas	LS-3 (250618-3)	672670	2046422	1,640	Arenisca
Vigastepec	V-1 (260618-1)	706814	2011815	1,932	Arenisca
Vigastepec	V-2 (260618-2)	707754	2010207	2,087	Arenisca
Rancho Nuevo	RN-3 (260618-3)	684103	2055933	2,588	Arenisca
Rancho Nuevo	RN-4 (260618-4)	685615	2054213	2,722	Conglomerado

Sistema de coordenadas: WGS 84 / UTM zona 14N

Dado que Mendoza-Rosales (2010) reporta la petrografía y la geocronología U-Pb en circón de dos muestras colectadas en la barranca La Salinas, se muestreo dicha localidad para tener un punto de control. Además, se colectaron muestras considerando la exposición de los afloramientos con horizontes arenosos de la Formación Chivillas y la orientación de las estructuras regionales NNW-SSE para tratar de que fueran representativas de las variaciones temporales de la formación (Figura 3).

3.2 Petrografía

Se realizaron seis láminas delgadas para análisis petrográfico. La descripción de cada lámina se realizó en el Centro de Geociencias (CGEO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) utilizando un microscopio Olympus BX51.

El análisis petrográfico de areniscas consistió en la identificación de los componentes y análisis modal a través del conteo de por lo menos 400 puntos siguiendo la metodología de Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984) y una estimación visual para las rocas con evidencia de alta diagénesis. Cristales que conforman un fragmento lítico que superan los 0.0625 mm fueron contados como granos minerales independientemente (Dickinson, 1985). El resultado del conteo de puntos y estimación visual de las arenisca se clasificó en los diagramas ternarios de clasificación de areniscas F-Qm-L de Dickinson (1985) y Garzanti (2016). En el caso del conglomerado se identificaron los componentes principales y se hizo una estimación visual de los mismos, los resultados se graficaron en el diagrama F-Qm-L.

3.3 Técnicas microanalíticas

De cada localidad se seleccionó una muestra para aplicar las técnicas microanalíticas U-Pb en apatitos, geoquímica de apatitos y trazas de fisión en apatitos. La técnica de U-Pb en circón se aplicó a dos muestras de la localidad de Vigastepec, a dos de la localidad Rancho Nuevo y a una de la localidad barranca Las Salinas (Tabla 3).

Tabla 3. Técnicas microanalíticas aplicadas a las muestras de la Formación Chivillas.

Localidad	Muestra	Técnica
Barranca Las Salinas	LS-2	U-Pb y química en apatitos U-Pb en circón
Vigastepec	V-1	U-Pb en circón y apatito, química y trazas de fisión en apatitos
	V-2	U-Pb en circón
Rancho Nuevo	RN-3	U-Pb en circón y apatito, química y trazas de fisión en apatitos
	RN-4	U-Pb en circón

La preparación de las muestras consistió en triturar y moler, en una prensa hidráulica aproximadamente 2 kg de roca que fueron tamizados en tres tamaños de malla: 4 mm, 180 μm y 125 μm . Este procedimiento se realizó en el taller de molienda del CGEO de la UNAM. La fracción con tamaño menor a 180 μm se usó para separar minerales densos. Para esto se utilizó Bromoformo (CHBr_3) con densidad $>2.8 \text{ g/cm}^3$ y $<3.0 \text{ g/cm}^3$. Este procedimiento se realizó en el taller de separación mineral del CGEO. Del concentrado de minerales densos ($>2.8 \text{ g/cm}^3$) se realizó la separación magnética utilizando un separador tipo Frantz®. En el concentrado no magnético final se encuentran circones y apatitos, además de otros minerales como pirita. Este procedimiento se realizó en el taller de molienda del CGEO.

Del concentrado no magnético se seleccionaron manualmente circones y apatitos que luego se montaron en una cinta doble pegamento. De cada muestra se montaron entre 120 a 180 cristales de circón y entre 500 a 600 cristales de apatito (tamaño $>60 \mu\text{m}$ y libres de inclusiones y fracturas). De las fracciones magnéticas (a 0.05, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.50 y 2.0 amperios) se montaron grupos de entre 5 a 30 cristales con características físicas similares (tamaño, forma y color), de aquí en adelante éstos serán denominados minerales densos (MD).

Para las muestras que fueron analizadas únicamente por la técnica U-Pb en circón, después de ser trituradas y tamizadas, los minerales se concentraron utilizando una batea plástica en el taller de molienda del CGEO. Posteriormente se seleccionaron y montaron manualmente 120-180 cristales de circón. A continuación se hicieron probetas con resina epoxica de los separados de apatitos, circones y MD que fueron pulidas con lijas de diferentes tamaño de grano (400-3,000) para exponer la superficie

de los minerales. De las probetas de circones se obtuvieron imágenes de catodoluminiscencia (CL), en el laboratorio de fluidos corticales del CGEO, sobre las cuales se seleccionaron puntos (zona de núcleo y/o borde) de cada cristal que posteriormente se analizaron por ablación laser. De las probetas de apatitos se obtuvieron imágenes en luz reflejada que fueron utilizadas como mapas para la ablación laser y trazas de fisión (TF).

3.3.1 Geocronología U-Pb en circón

Los fechamientos U-Pb se realizaron en el laboratorio de estudios isotópicos (LEI) del CGEO utilizando el sistema conformado por un equipo *Resolution Laser System* (*Resolution M50* de marca *Resonetics*) compuesto por un láser ultravioleta LPXpro 220 tipo excímero de 193 nm de longitud de onda que emplea una mezcla de argón y flúor para generar el pulso. El láser está acoplado a un espectrómetro de masas (ICP-MS) cuadrupolar Thermo ICapQc.

Los protocolos de análisis se realizaron siguiendo la metodología descrita en Solari *et al.* (2010). Se utilizó un diámetro de ablación de 23 μm y una frecuencia de repetición de 5 Hz. El fraccionamiento entre los elementos Pb, U y Th fue controlado a partir de fragmentos del circón estándar 91500 ($1,062.6 \pm 2.42$ Ma) y del circón *Plešovice* (337.13 ± 0.37 Ma) utilizado como segundo estándar. La concentración de elementos traza fue calculada a partir del análisis del vidrio NIST 610 de composición conocida. Durante la corrida analítica se midieron las señales de los isótopos ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U , ^{31}P , ^{21}Sc , ^{49}Ti , ^{89}Y , ^{41}Nb , ^{177}Hf y REE. Para la reducción de los datos, el cálculo de las edades y las concentraciones elementales de los circones se utilizó el *software* *lolyte* y los esquemas de reducción de datos analíticos, cálculo de edades, errores y su correspondiente propagación (Paton *et al.*, 2010; Petrus y Kamber, 2012). El error sistemático (calibración del estándar, edad del estándar, composición del plomo común y la constante de decaimiento del U) se reportan al nivel de dos sigma (2σ).

Para circones con edades $<1,200$ Ma la edad más precisa corresponde a la del cociente isotópico $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y para los circones con edades $>1,200$ Ma la edad más precisa corresponde al cociente $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Gehrels, 2012). Las edades que excedían un error analítico del 10%, un error $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} >4\%$, una discordancia $>20-25\%$ para edades fanerozoicas, $>29\%$ para edades Precámbricas y más del -5% de discordancia fueron descartadas.

Los resultados fueron graficados en diagramas de concordia Tera-Wasserburg (TW) y KDE (*Kernel Density Estimator*) utilizando *IsoplotR* (Vermeesch, 2018) y *Density Plotter* v. 8.4 (Vermeesch, 2012) respectivamente. Las edades de circones detríticos se analizaron también por la técnica estadística multivariable de escalamiento multidimensional (MDS, *Multidimensional Scaling*). En esta se modela en un espacio de pocas dimensiones la similitud/disimilitud entre un conjunto de datos

independientemente del número relativo de análisis (edades en granos individuales) de cada muestra. El MDS es un método cuantitativo que permite hacer comparaciones de manera sencilla y objetiva entre las componentes de edad que se obtienen de la geocronología detrítica. Las muestras más similares se agrupan muy juntas y las disimilares se ubican muy separadas (Vermeesch, 2013). Además, en el MDS se introdujeron muestras sintéticas de unidades que representan posibles fuentes de procedencia y que están asociadas a eventos orogénicos y magmáticos más relevantes. Las muestras sintéticas proporcionan un vector que puede ser relacionado al incremento en la contribución de una componente de edad determinada, facilitando la visualización de los cambios en patrones detríticos a través del tiempo (Spencer y Kirkland, 2016). Las muestras sintéticas deben poseer como característica principal una distribución normal/unimodal del espectro de edad considerado (Spencer y Kirkland, 2016).

Las muestras sintéticas utilizadas en el MDS corresponden a los siguientes intervalos: magmatismo del Jurásico tardío-Cretácico temprano (Martini *et al.*, 2011; Sierra-Rojas y Molina-Garza, 2014), magmatismo del Jurásico (Lawton y Molina-Garza, 2014), el arco magmático del Carbonífero-Pérmico (Kirsch *et al.*, 2012), Orógeno Panafricano-Brasiliano (Cordani y Teixeira, 2007), Complejo Oaxaqueño (Solari *et al.*, 2003) y Orógenos Grenville/Sunsas (Cawood *et al.*, 2007).

3.3.2 Geocronología U-Pb y geoquímica en apatito

El análisis U-Pb y geoquímico en apatitos detríticos se realizó en el LEI del CGEO utilizando un sistema de ablación láser de excímero ArF *Resonetics* LPX Pro 193 nm acoplado a un espectrómetro de masas cuadrupolar *Thermo* iCap Qc con fuente de plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) siguiendo la metodología descrita en Abdullin *et al.* (2018) y Ortega-Obregón *et al.* (2019).

Se empleó un diámetro de ablación de 60 μm y una tasa de repetición de 4 Hz (Abdullin *et al.*, 2018). Para controlar el fraccionamiento de los elementos se utilizó como material de referencia primario el apatito *First Mine Discovery* de Madagascar (~485 Ma; Thomson *et al.*, 2012) y como estándar secundario el apatito Durango (31.4 ± 0.5 Ma; McDowell *et al.*, 2005). El vidrio NIST RMS 612 de composición conocida fue utilizado como referencia para el cálculo de las concentraciones de los elementos traza. Durante la sesión analítica se midieron las señales de los isótopos ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th y ^{238}U además del Ca, Mg, Mn, Sr, P, Cl, Sr, Y y Tierras Raras (REE). La reducción de datos, la propagación de los errores, la corrección por Pb común frente a materiales de referencia y el cálculos de las edades se realizaron utilizando el *software* *lolyte* y los esquemas de reducción *VizualAge* y *VizualAge_UcomPbine* (Chew *et al.*, 2014; Paton *et al.*, 2010; Petrus y Kamber 2012). Los errores se reportan a escala de 2σ .

Los resultados fueron graficados en diagramas de concordia Tera-Wasserburg (TW) utilizando IsoplotR (Vermeesch, 2018). Se agruparon poblaciones que cualitativamente mostraran una tendencia lineal coherente y se ajustaran a una línea de discordia, cuya intercepta inferior fue interpretada como la edad de los granos cogenéticos (Chew y Donelick, 2012). El ajuste de la línea de discordia a través de los datos se hizo utilizando el algoritmo de máxima probabilidad de Ludwig (1998), el cual supone que la dispersión de los datos se debe únicamente a las incertidumbres analíticas. La edad de los granos cogenéticos y el error se reportaron como $t \pm z$ o $t \pm y$ cuando $MSDW > 1$ y $MSDW < 1$ respectivamente (Ludwig, 1998). En ambos casos t representa la estimación de probabilidad máxima de la edad; y representa el intervalo de confianza para t usando el número apropiado de grados de libertad y z representa el intervalo de confianza aproximado para t con sobredispersión, calculado como $z = y\sqrt{MSDW}$ ($MSDW = Mean Square Weighted Deviation$; Ludwig, 1998).

Para graficar los resultados de la química de apatitos se utilizaron los siguientes diagramas bivariantes: contenido de Sr (ppm) contra anomalía de Eu (Eu/Eu^*), contenido de Y (ppm) contra anomalía de Eu (Eu/Eu^*) y contenido total de REE (ΣREE) contra anomalía de Eu (Eu/Eu^*). Estas variables fueron seleccionadas ya que son las que mejor representan el disímil comportamiento químico entre los grupos de apatitos identificados en las rocas de la Formación Chivillas. La anomalía de Eu (Eu/Eu^*) se calculó dividiendo el contenido normalizado a condrito (McDonough y Sun, 1995) de Eu dentro de Eu^* , este último se obtuvo al sumar el contenido normalizado a condrito de Sm y Gd y dividir el resultado dentro de dos.

El diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA; *Principal Analysis Components*; Vermeesch, 2013) se utilizó para establecer correlaciones entre seis variables químicas (Eu/Eu^* , Ce/Yb, La, Sm, Lu, ΣREE) por grano de apatito y además comparar dicho comportamiento con apatitos de rocas del Complejo Oaxaqueño, del magmatismo Carbonífero-Pérmico y de la Formación Matzitzi.

3.3.3 Trazas de fisión en apatitos

Los análisis por trazas de fisión en apatito se realizaron por el método alternativo de medición del contenido de U, en el cual la concentración del ^{238}U en los cristales es medida *in situ* a partir de la ablación laser asociada a un espectrómetro de masas con fuente de plasma inductivamente acoplado (LA-ICP-MS; Donelick *et al.*, 2005; Hasebe *et al.*, 2004). El protocolo de LA-ICP-MS aplicado se describe en Abdullin *et al.* (2018) y fue usado en la misma sesión analítica utilizada para el cálculo de las edades U-Pb.

Las probetas fueron pulidas para exponer las partes internas de los apatitos. Posteriormente se realizó el ataque químico (*etching*) para revelar las trazas de fisión espontánea. El *etching* se hizo con la inmersión en ácido nítrico (HNO_3) a 5.5 M a temperatura de 21 °C por 20 segundos. De las probetas se seleccionaron entre 40 a 90

cristales para el conteo de trazas, las cuales debían cumplir los siguientes requisitos: a) granos con un tamaño $>60 \mu\text{m}$, b) que no presentaran zoneamiento de U (distribución heterogénea de las trazas en el cristal), c) que los granos fueran relativamente limpios (sin muchas inclusiones y microfracturas) y d) que los granos no presentaran altos contenido de U (elevado número de trazas de fisión imposible de cuantificar).

Se realizó un mapa de localización de cristales, a partir de fotografías, con el objetivo de facilitar el conteo de trazas y la ubicación de puntos de ablación, ya que esta debe coincidir con el área del conteo de trazas espontáneas. Para el conteo de trazas de fisión se utilizó un microscopio Zeiss AxioScope-A1. Para la ablación laser se empleó un diámetro de $60 \mu\text{m}$ y una tasa de repetición de 4 Hz. Como materiales de referencia primarios se utilizaron el apatito Durango y el vidrio NIST 612 de composición conocida para el cálculo del ^{238}U . Los resultados obtenidos fueron normalizados al estándar interno de ^{43}Ca tomando un promedio de la concentración de CaO de todos los apatitos analizados, siendo este de $55 \pm 3\%$ (Lesnov, 2012). Las edades de trazas de fisión en apatitos se calcularon en IsoplotR (Vermeesch, 2018) y aplicando la corrección zeta, utilizando los resultados obtenidos en el apatito Durango.

Las edades de las trazas de fisión fueron graficadas utilizando RadialPlotter v. 9.4 (Vermeesch, 2009) y la prueba chi-cuadrado (χ^2) se utilizó para evaluar si las edades de granos individuales pertenecen a una sola población de edades. El conjunto de datos con valores de $\chi^2 > 5\%$ indican una edad concordante (Galbraith, 1981) y representan una “edad central” que es en esencia un promedio ponderado de las edades (Galbraith, 1981; Galbraith y Green, 1990; Galbraith y Laslett, 1993; Vermeesch, 2009). Por el contrario, una probabilidad $< 5\%$ es evidencia de una propagación asimétrica de las edades de granos individuales y por lo tanto una mezcla de distintas poblaciones de edades.

Los modelos de enfriamiento (t-T) se construyeron combinando las edades individuales en los granos con las longitudes de las trazas de fisión por medio del *software* HeFTy v.1.9.3 (Ketcham, 2005), que se basa en el modelo de *annealing* de Ketcham *et al.* (2007), y el cual produce pasos de enfriamiento utilizando el sistema de algoritmo de Monte Carlo. En el modelado de inversión se utilizó el contenido de Cl (wt. %) como parámetro cinético. Se realizaron al menos 700 historias de tiempo y temperatura elegidas al azar hasta obtener 200 buenos pasos (*good fit*) por muestra. Se consideraron tres restricciones en cada modelo de inversión, siendo estas: 1) una temperatura mayor a la PAZ; 2) la edad aparente de las trazas de fisión y 3) la temperatura media actual de la superficie terrestre ($20 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$).

3.3.4 Minerales densos

Se obtuvieron imágenes en luz reflejada de las probetas de MD que se utilizaron como mapas en los análisis EDS (*Energy dispersive X-ray spectroscopy*) con el objetivo de identificar los minerales con base en su composición elemental. Esto se realizó en el microscopio electrónico de barrido (MEB) del laboratorio de fluidos corticales del CGEO.

Después de realizados los análisis EDS, las probetas de MD fueron laminadas con el objetivo de contrastar las propiedades ópticas de los minerales con el contenido elemental obtenido y con esto hacer una identificación más certera de cada mineral. Se identificaron los MD de tres muestras (LS-2, V-1 y RN-3) de la Formación Chivillas utilizando la técnica SEM-EDS (contenido elemental) y petrografía convencional.

4. RESULTADOS

4.1 Petrografía

Petrográficamente se describieron seis muestras de la Formación Chivillas, cinco areniscas y un conglomerado de grano fino (gránulos) (Tabla 2).

Las areniscas poseen granos angulares a subredondeados de tamaño entre muy fino y muy grueso (~0.1 a ~2.0 mm) y un grado de selección muy pobre a pobre. Los contactos entre granos varían entre largos, cóncavo-convexos y suturados (Figura 6). En las muestras LS-3, V-2 y RN-3 las características texturales primarias han sido borradas por la deformación y alteración que poseen, siendo evidente en la disolución, deformación y fragmentación de granos, deformación de cristales de calcita (cemento), un clivaje poco desarrollado y mica blanca de neoformación (Anexo 1).

La pseudomatriz de las areniscas está constituida por arcillas y sericita, producto de la alteración de granos de feldespato, plagioclasa, fragmentos líticos y moscovita. El cemento es de calcita en arreglo poiquilotópico y mosaico poligonal. El reemplazamiento y la alteración de los componentes del armazón por calcita, sericita o hematita son frecuentes. La precipitación de horizontes irregulares y discontinuos de hematita y arcillas (parecidos a picos estilolíticos) se puede observar en algunas muestras.

El armazón de las areniscas está constituido por cuarzo monocristalino con extinción recta u ondulante (22-60% del armazón; Figura 6E), cuarzo policristalino foliado y no foliado (10-30%; Figura 6C); líticos de pedernal (0-6%), plagioclasas con macla polisintética (5-29%; Figura 6B), feldespato potásico (3-12%; Figura 6A), líticos metamórficos de cuarzo-mica (0-20%; Figura 6B), líticos volcánicos felsíticos (4-11%; Figura 6D), líticos volcánicos *lathwork* (0-5%; Figura 6B), líticos volcánicos traquíuticos (0-11%; Figura 6C), líticos volcánicos vítreos (0-1%; Figura 6A) y líticos sedimentarios de arenisca (0-7%). Los minerales accesorios (<1%) corresponden a circón, apatito, moscovita, titanita, rutilo, turmalina, clorita, granate, hematita y minerales opacos. Además, la muestra LS-3 posee intraclastos con límites difusos constituidos por material recristalizado, arcillas y micas. Esta muestra posee también un clasto con aspecto de serpentina que ha sido deformado por compactación (Anexo 1).

Los granos de cuarzo en las muestra de arenisca se caracterizan por poseer evidencias de disolución (entrantes), poligonización y fracturamiento que puede estar relleno o no de calcita/sericita. Los feldespatos y plagioclasas frecuentemente exhiben fragmentación de tipo rompecabezas y fracturamiento. Granos con textura de intercrecimiento mirmequítico se identificaron en la mayoría de muestra. Los cristales de moscovita presentan deformación por compactación y en algunas de las muestras es posible observar cristales de mica blanca de neoformación (Anexo 1).

Los líticos metamórficos fueron clasificados con base en su composición y grado (Garzanti y Vezzoli, 2003) en: cuarzo-sericita con clivaje fuerte (Lmf2) y cuarzo-mica con esquistosidad (Lmf3).

Según el contenido de cuarzo total (Qt), feldespatos totales (F) y líticos (L), además de considerar el grado de alteración-deformación, las areniscas se clasifican como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de areniscas con base en el contenido de Qt-F-L según las clasificaciones de Garzanti (2016) y Folk (1980).

Muestras	Garzanti (2016)	Folk (1980)
LS-2	Areniscas litofeldespato-cuarzosa	Arcosa lítica
LS-3	Meta-arenisca entre lito-cuarzosa y feldespatolítico-cuarzosa	Meta-arenisca entre litoarenita y litoarenita feldespática
V-1	Arenisca litofeldespato-cuarzosa	Arcosa lítica
V-2	Meta-arenisca entre litofeldespatico-cuarzosa y feldespatolítico-cuarzosa	Meta-arenisca entre arcosa lítica y litoarenita feldespática
RN-3	Meta-arenisca feldespato-cuarzosa	Meta-arenisca arcosa

La muestra de conglomerado de gránulos (RN-4) se caracteriza por clastos angulares a subredondeados de tamaño entre ~4.25 y ~1.5 mm, contactos suturados y grado de selección pobre (Figura 6F). Está constituido por cuarzo monocristalino con extinción oblicua asociado a plagioclasas y/o feldespato potásico (~29%), cuarzo policristalino no foliado y foliado (~29%), plagioclasas con macla polisintética (~11%), moscovita asociada a cuarzo y plagioclasa (~8%), moscovita asociada a plagioclasa y feldespato potásico (~6%), moscovita asociada a cuarzo (~2.6%), líticos metamórficos (~5%), líticos sedimentarios de arenisca (~3.7%) y líticos volcánicos felsíticos (~6%).

Los granos de cuarzo presentan evidencias de disolución (entrantes), extinción ondulatoria, poligonización y fracturamiento que puede estar o no relleno de sericita. El fracturamiento, la fragmentación y la textura pertítica y antipertítica son característicos de feldespatos potásicos y plagioclasas. La textura mirmequítica es frecuente en los agregados de cuarzo-plagioclasas-feldespatos potásicos. Los granos de moscovita por lo general exhiben deformación y es posible distinguir mica blanca de neoformación asociada a un clivaje incipiente (Anexo 1).

Los líticos metamórficos están constituidos por cuarzo-moscovita y han sido clasificados como líticos de cuarzo-mica con esquistosidad (Lmf3) según la clasificación de Garzanti y Vezzoli (2003). Con base en la composición, estimación de los componentes y el grado de alteración y deformación la muestra RN-4, se clasifica como un metaconglomerado de gránulos de composición cuarzo-feldespática o feldespato-cuarzosa en la clasificación de Garzanti (2016) y de composición tipo arcosa en la clasificación de Folk (1980).

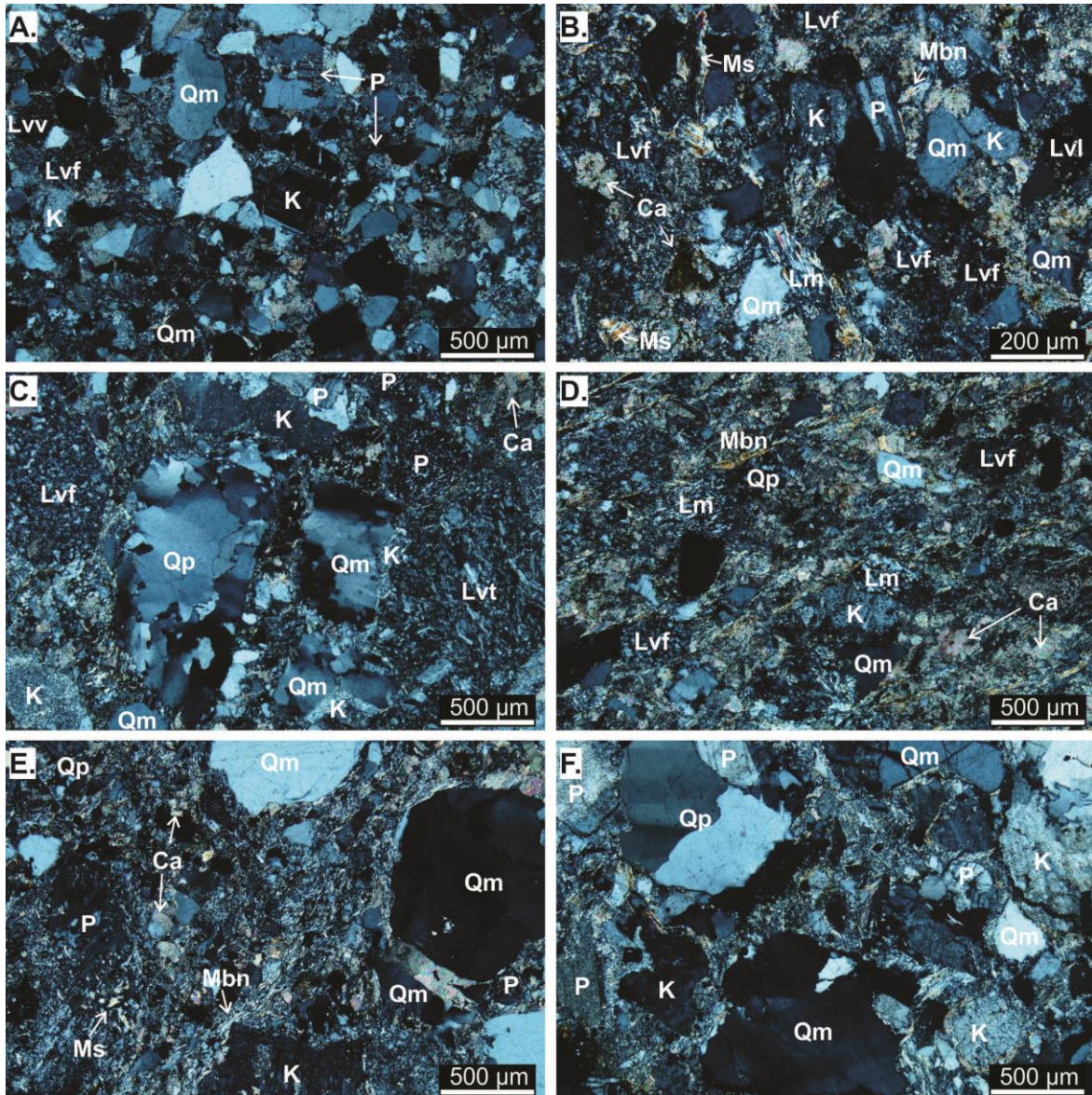


Figura 6. Microfotografías de las láminas delgadas de las rocas de la Formación Chivillas. Microfotografías con los objetivos 4x (A., C., D., E., F.) y 10x (B.) de areniscas (A-E) y conglomerado de gránulos (F) de la Formación Chivillas. **A.** Luz polarizada cruzada, muestra LS-2 compuesta de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, líticos volcánicos felsíticos y vítreos. **B.** Luz polarizada cruzada, muestra LS-3 constituida por cuarzo, moscovita, plagioclasas, feldespato potásico, líticos volcánicos felsíticos, *lathwork*, líticos metamórficos y mica blanca de neoformación. **C.** Luz polarizada cruzada, muestra V-1 constituida por cuarzo mono y policristalino, feldespato potásico, plagioclasas, y líticos volcánicos felsíticos. **D.** Luz polarizada cruzada, muestra V-2 que esa constituida por cuarzo, líticos volcánicos felsíticos, líticos metamórficos y mica blanca de neoformación. **E.** Luz polarizada cruzada, muestra RN-3 constituida por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, moscovita y mica blanca de neoformación. **F.** Luz polarizada cruzada, muestra RN-4 con cuarzo mono y policristalino, plagioclasas y feldespato potásico. Símbolos: Qm, cuarzo monocristalino; Qp, cuarzo policristalino; P, plagioclase; K, feldespato potásico; Lm, lítico metamórfico; Lvf, lítico volcánico felsítico; Lvv, lítico volcánico vítreo; Lvl, lítico volcánico *lathwork*, Lvt, lítico volcánico traquítico; Ms, moscovita; Mbn, mica blanca de neoformación; Ca, calcita.

4.2 Geocronología U-Pb en circón detrítico

Se realizaron fechamientos isotópicos U-Pb en circón para cinco muestras de la Formación Chivillas (Tabla 3), los cuales se describen a continuación.

- **Muestra LS-2:** Arenisca recolectada en la barranca Las Salinas. Los cristales de circón se caracterizan por ser subhedrales (traslucidos) a anhedrales (tonalidades rosa) y cristales euhedrales subordinados (traslucidos a levemente amarillentos; Anexo 3). El eje mayor de los circones separados varía entre 300 μm y 60 μm .

En imágenes de CL los circones euhedrales-subhedrales presentan patrones de zonación concéntrica, característico de circones ígneos (Corfu *et al.*, 2003). Los circones anhedrales y algunos subhedrales muestran zonación irregular y estructuras de sobrecrecimiento característico de circones metamórficos (Corfu *et al.*, 2003). Algunos cristales presentan dominios de borde y núcleo (anexo 3). La muestra posee los siguientes rangos de edades: Meso-Neoproterozoico de $\sim 1,367$ a 628 Ma ($n=86$), Pérmico-Triásico (~ 281 a 215 Ma, $n=31$) y Jurásico (~ 199 a 158 Ma, $n=10$). Además, se obtuvo un grano con edad de $\sim 1,687$ Ma (Paleoproterozoico) y dos granos del Cretácico temprano con edad de ~ 139 y ~ 140 Ma (Figura 7A).

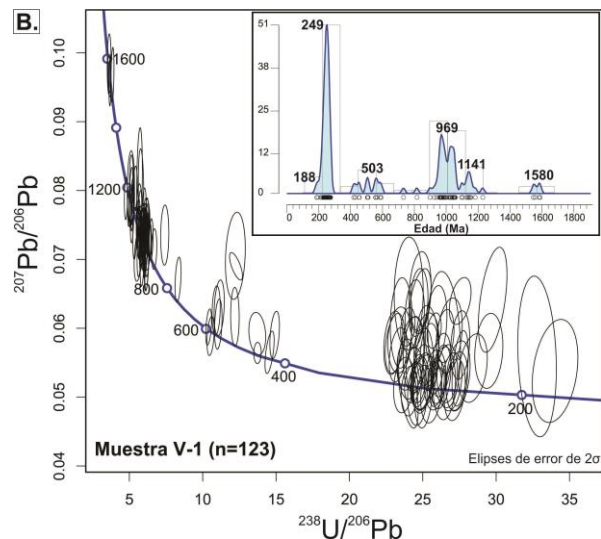
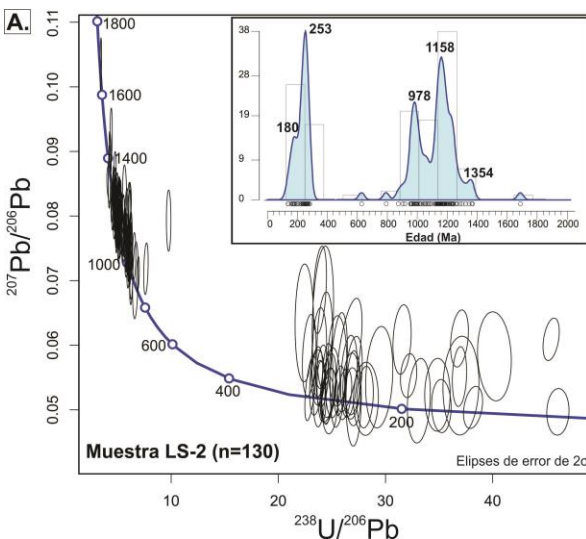
- **Muestra V-1:** Arenisca colectada en las cercanías de Vigastepec. Los circones tienen forma entre subhedral (traslucidos a tonalidades rosa) a anhedral (tonalidades rosa) con una pequeña fracción de cristales euhedrales (traslucidos). El eje mayor de los cristales seleccionados oscila entre 336 μm y 60 μm .

En imágenes de CL los cristales euhedrales y subhedrales presentan zonación concéntrica o ausente. Los cristales anhedrales presentan zonación irregular, bordes de crecimiento y en ocasiones son poco brillantes (Anexo 3). Algunos circones se caracterizan por presentar núcleos heredados. Esta muestra posee los siguientes rangos de edades: Meso-Neoproterozoico entre $\sim 1,587$ y 555 Ma ($n=60$), Cámbrico (~ 508 a 505 Ma, $n=3$), Ordovícico-Silúrico (~ 453 a 419 Ma, $n=4$) y Pérmico-Triásico (~ 274 a 213 Ma, $n=54$). Dos granos con las edades más jóvenes (187 y 194 Ma) corresponden al Jurásico temprano (Figura 7B).

- **Muestra V-2:** Arenisca que se colectó cerca de Vigastepec. Los cristales son generalmente euhedrales y translucidos. El tamaño del eje mayor de los cristales separados oscila entre 240 μm y 60 μm . La relación ancho-largo de los cristales varía entre 1:3 y 1:2. En CL se observan cristales con y sin zonación concéntrica. Algunos cristales poseen núcleos heredados que puede corresponder a un xenocristal o antecristal (Anexo 3). La muestra posee varios rangos de edades: Meso-Neoproterozoico ($\sim 1,119$ a 586 Ma, $n=7$), Cámbrico (~ 535 a 500 Ma, $n=3$), Ordovícico-Silúrico (~ 481 a 409, $n=5$), Pérmico-Triásico (~ 284 a 214 Ma, $n=6$),

Jurásico (~178 a 146 Ma, n=5) y Cretácico temprano (144 a 118 Ma, n=37). Edades subordinadas del Paleoproterozoico, Carbonífero y Misisípico están representadas por dos o un grano (Figura 7C).

- Muestra RN-3:** Arenisca que se recolectó en las cercanías del poblado Rancho Nuevo. La forma y color de los cristales oscila entre euhedrales a anhedrales y de traslucidos a tonalidades rosas respectivamente. El eje mayor de los cristales separados varía entre 372 μm y 60 μm , la relación ancho-largo de los granos es ~1:3. En imágenes de CL los cristales euhedrales-subhedrales son uniformes o exhiben zonación concéntrica. Algunos cristales subhedrales y los anhedrales presentan zonación irregular con sobrecrecimiento y dominios muy marcados de borde y núcleo. Algunos son poco luminiscentes (Anexo 3). La muestra tiene tres rangos de edades principales: Meso-Neoproterozoico entre ~1,348 y 576 Ma (n=47), Cámbrico (~520 a 507 Ma, n=2) y Pérmico-Triásico (~297 a 244 Ma, n=91). El Ordovícico está representado por un solo grano (Figura 7D).
- Muestra RN-4:** Es un metaconglomerado de gránulos que se colectó cerca del poblado de Rancho Nuevo. Los cristales separados son generalmente euhedrales y traslucidos. El tamaño del eje mayor de los cristales seleccionados oscila entre 156 μm y 48 μm . La relación ancho-largo de los cristales varía entre 1:3 y 1:2. En imágenes de CL los cristales son uniformes o con zonación concéntrica, algunos presentan núcleos heredados. Muy pocos cristales exhiben zonación irregular (Anexo 3). Ésta muestra tiene tres rangos de edades principales: Meso-Neoproterozoico entre ~1,243 y 566 Ma (n=8) y Pérmico-Triásico (~297 a 232 Ma, n=70). El Cámbrico y Devónico están representados por una edad y el Carbonífero por dos edades (Figura 7E).



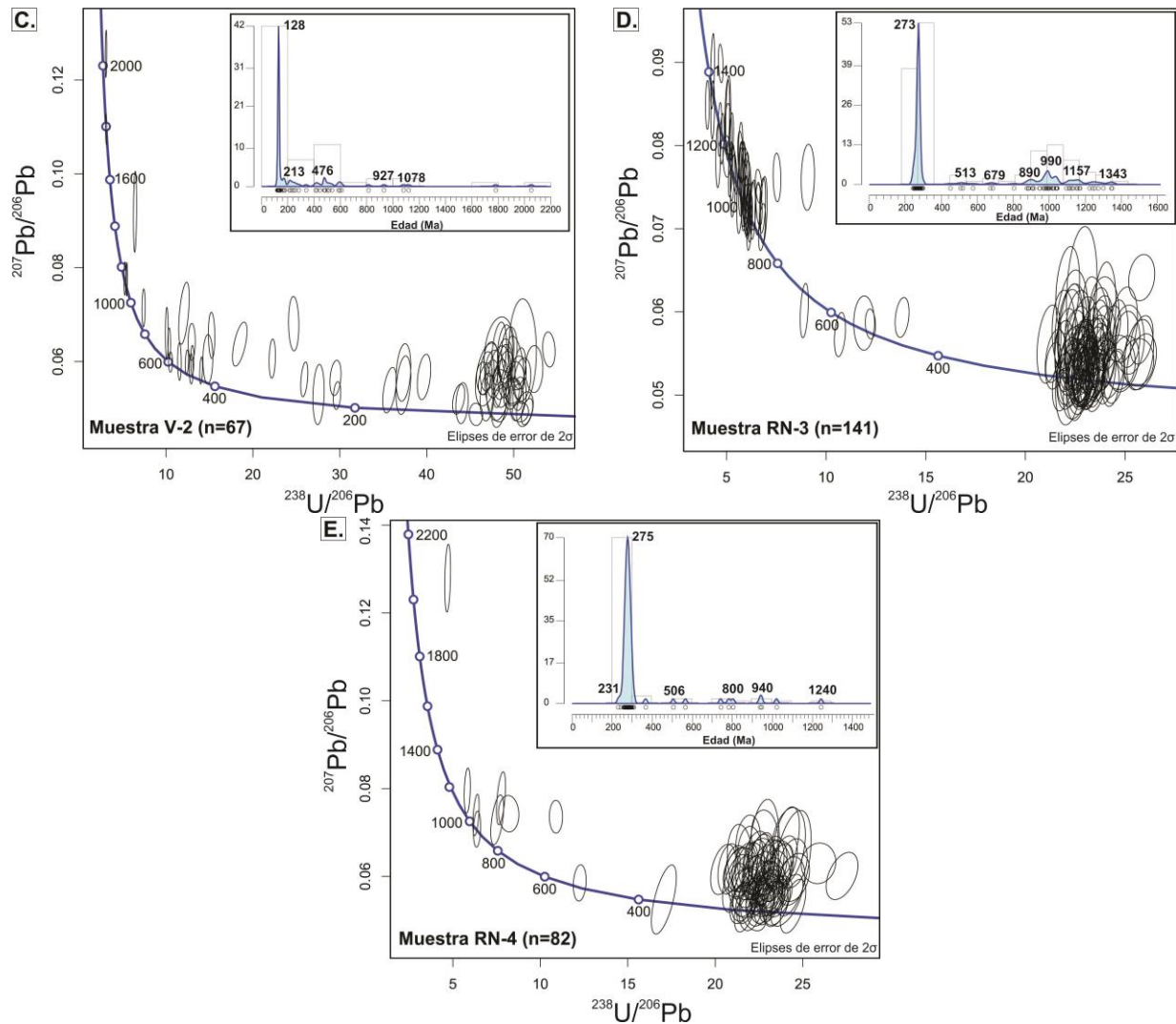


Figura 7. Diagramas de concordia Tera-Wasserburg y KDE (*Kernel density estimation*) de los circones detríticos de la Formación Chivillas. Los números al lado de los picos en el KDE indican la edad del mismo. A. Muestra LS-2. B. Muestra V-1. C. Muestra V-2. D. Muestra RN-3. E. Muestra RN-4.

4.3 Geocronología U-Pb en apatito detrítico

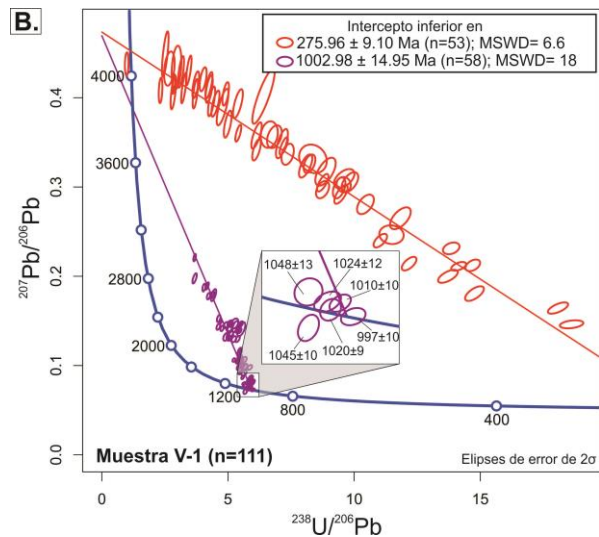
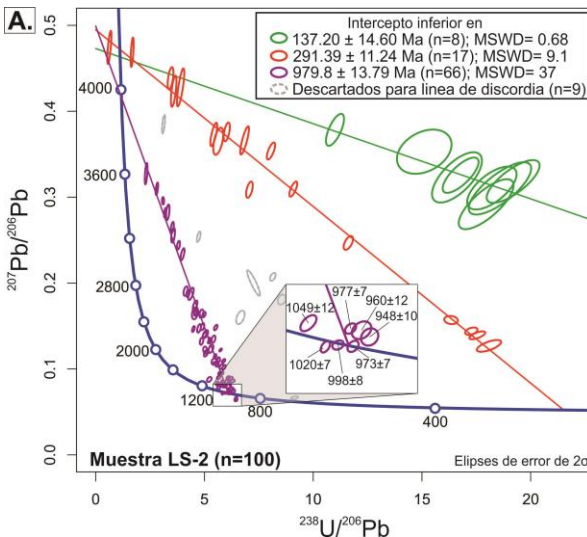
Se realizaron fechamientos isotópicos U-Pb en apatito para tres muestras de la Formación Chivillas (Tabla 3). Los cristales fechados se caracterizan por su forma subredondeada y por el color blanco-gris poco traslucido.

Los cocientes isotópicos se presentan en diagramas de concordia TW (Figura 8), en donde la mayoría de edades forman arreglos lineales coherentes y que se ajustan a líneas de discordias. Esta geometría permitió identificar tres poblaciones principales: Meso-Neoproterozoico, Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano cuyas edades se determinaron a partir del intercepto inferior entre las líneas de concordia y discordia de cada gráfico. Los resultados se describen a continuación:

- **Muestra LS-2:** Se analizaron 109 cristales de los cuales 100 fueron utilizados para el cálculo de las edades, se descartaron los cristales que no presentaron señal de U, Th, Pb o de elementos traza durante la corrida analítica.

Se identificaron tres poblaciones de edades que se ajustan a igual número de líneas de discordia (Figura 8A). Un grupo con intercepto en 979.8 ± 13.79 Ma (66% de los granos; Neoproterozoico temprano), un grupo con intercepto en 291.39 ± 11.24 Ma (17%; Pérmico) y un grupo con intercepto en 137.20 ± 14.60 Ma (8%; Cretácico temprano). Las elipses que no formaban un arreglo lineal fueron descartadas para el cálculo de isócrona ($n=9$; 9%).

- **Muestra V-1:** Se analizaron 121 cristales de los cuales 111 fueron utilizados en el cálculo de las edades (Figura 8B). Se descartaron los cristales que no presentaron señal de U, Th, Pb o de elementos traza durante la corrida analítica. Se identificaron dos poblaciones de edades cuyos interceptos corresponden a $1,002.98 \pm 14.95$ Ma (52% de los granos; Meso-Neoproterozoico) y 275.96 ± 9.10 Ma (48%; Pérmico).
- **Muestra RN-3:** Se analizaron 128 granos de los cuales 101 fueron utilizados en los cálculos de las edades (Figura 8C). Se descartaron los cristales que no presentaron señal de U, Th, Pb o de elementos traza durante la corrida analítica. Se identificaron dos arreglos lineares con interceptos en 995.65 ± 13.60 Ma (10% de los granos; Meso-Neoproterozoico) y 302.97 ± 4.94 Ma (91%; Carbonífero-Pérmico).



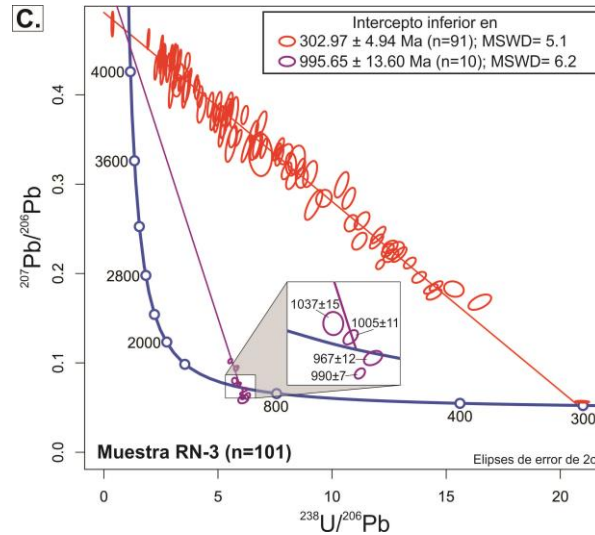


Figura 8. Diagramas de concordia Tera-Wasserburg de los apatitos de la Formación Chivillas. A. Muestra LS-2, B. Muestra V-1 y C. Muestra RN-3.

4.4 Geoquímica de apatitos detríticos

La química de apatitos detríticos se determinó para tres muestras de la Formación Chivillas (Tabla 3). La concentración de elementos se obtuvo durante la misma corrida analítica utilizada en la geocronología U-Pb, por lo que se utilizaron los mismos granos. La química se diferenció esencialmente a partir del comportamiento de los siguientes componentes: Estroncio (Sr), Itrio (Y), contenido total de Tierras Raras (ΣREE) y anomalía de Europio (Eu/Eu^*) y tomando en consideración las poblaciones de edades U-Pb en apatito (Meso-Neoproterozoico, Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano).

El contenido de Sr en el grupo de apatitos con edad Meso-Neoproterozoico varía entre 48 y 9,496 ppm. En el grupo de edad Carbonífero-Pérmico el contenido oscila entre 103 y 5,388 ppm. Por último, el grupo del Cretácico temprano posee un contenido de Sr entre 242 y 824 ppm (Tabla 5). El contenido de Y en los apatitos del Meso-Neoproterozoico oscila entre 136 y 7,851 ppm, en los de edad Carbonífero-Pérmico el Y varía entre 52 y 3,797 ppm y para los de edad Cretácico temprano entre 281 y 1,224 ppm (Tabla 5).

La anomalía de Eu (Eu/Eu^*) en el grupo del Meso-Neoproterozoico oscila entre muy negativa a ausente (0.04-0.97). En el caso de los apatitos del Carbonífero-Pérmico varía entre muy negativa a muy positiva (0.09-1.88) y para los del Cretácico temprano entre muy negativa a levemente negativa (0.08-0.73; Tabla 5). El ΣREE en los apatitos del Meso-Neoproterozoico se encuentra entre 0.12 y 3.50% en peso. Los del Carbonífero-Pérmico poseen un ΣREE entre 0.02 y 1.49% en peso. Por último, los apatitos de edad Cretácico temprano poseen un ΣREE que varía entre 0.21 y 0.55% en peso (Tabla 5).

Tabla 5. Cotejo entre los componentes químicos de las poblaciones de edades U-Pb en apatitos.

Grupo de edad	Sr (ppm)	Y (ppm)	Σ REE (%wt.)	Eu/Eu*
Meso-Neoproterozoico	48-9,496 (422)	136-7,851 (1,709)	0.12-3.50 (1.08)	0.04-0.97 (0.30)
Carbonífero-Pérmico	103-5,388 (557)	52-3,797 (423)	0.02-1.49 (0.26)	0.09-1.88 (0.66)
Cretácico temprano	242-824 (697)	281-1,224 (517)	0.21-0.55 (0.37)	0.08-0.73 (0.60)

Los paréntesis de cada componente indican el promedio del intervalo.

Los resultados geoquímicos se graficaron con base en los componentes Sr, Y, Σ REE y Eu/Eu* y tomando en consideración los grupos de edades U-Pb en apatito, como se describe a continuación.

- **Diagrama de contenido de Sr (ppm) contra anomalía de Eu (Eu/Eu*)**

En este diagrama se observa como los apatitos del Meso-Neoproterozoico tienen una relación directa entre la anomalía de Eu y el contenido Sr. El comportamiento químico se caracteriza por un menor contenido de Sr conforme la anomalía de Eu es cada vez más negativa y un mayor contenido de Sr cuando la anomalía de Eu es menos negativa (Figura 9A).

Los apatitos del Carbonífero-Pérmico poseen un contenido de Sr más o menos definido en la mayoría de los granos (~200 a 900 ppm). Una población pequeña posee un comportamiento similar al de los apatitos del Meso-Neoproterozoico, es decir, cuando la anomalía de Eu esta entre 0.0 y ~0.6 hay una correlación directa entre ambas variables. El comportamiento de los apatitos del Cretácico temprano es similar al de la mayoría de los granos del Carbonífero-Pérmico (Figura 9A).

- **Diagrama de contenido de Y (ppm) contra anomalía de Eu (Eu/Eu*)**

El comportamiento químico del Y y la anomalía de Eu en los apatitos del Meso-Neoproterozoico no parecen estar asociados. En el caso de los apatitos de edad Carbonífero-Pérmico existe una relación inversa entre ambas variables, ya que los granos con mayor contenido de Y poseen una anomalía de Eu más negativa y viceversa. Los apatitos del Cretácico temprano se ajustan mejor a un comportamiento inverso entre el Y y la anomalía de Eu, como lo hacen los granos del Carbonífero-Pérmico (Figura 9B).

- **Diagrama de contenido total de REE (Σ REE) contra anomalía de Eu (Eu/Eu*)**

En este diagrama se observa una clara diferenciación entre los apatitos del Meso-Neoproterozoico y los del Carbonífero-Pérmico. Los primeros se caracterizan por un contenido de REE en un intervalo más amplio y disperso y, en general, una anomalía de Eu más negativa (Figura 9C). Para el segundo grupo, el contenido de REE

frecuentemente es <1% y una variación en la anomalía de Eu entre muy negativa hasta positiva. El grupo del Cretácico temprano tiene una firma muy semejante al de los apatitos del Carbonífero-Pérmico (Figura 9C).

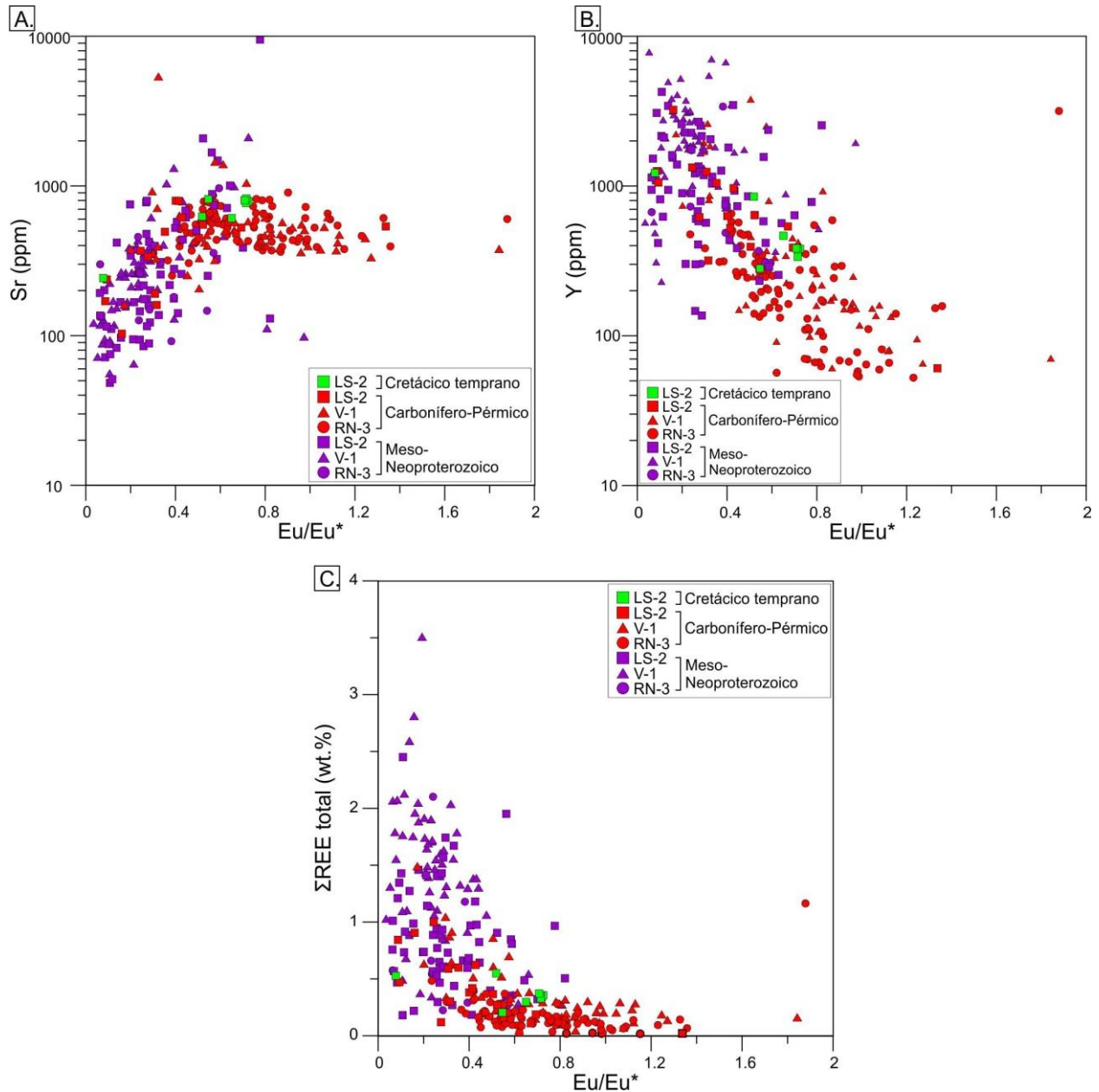


Figura 9. Diagramas de comportamiento químico de los apatitos de la Formación Chivillas. A. Anomalía de Eu contra Sr (ppm); B. Anomalía de Eu contra Σ REE (% wt.); C. Contenido de Sr contra Σ REE (% wt.) y D. Contenido de Y contra Σ REE (% wt.)

4.5 Trazas de fisión en apatitos (TFA)

Se realizó el análisis de TFA para tres muestras de la Formación Chivillas (LS-2, V-1 y RN-3), cuantificando el contenido de U a través de LA-ICP-MS (método alternativo de medición del contenido de U: Hasebe *et al.*, 2004). Los granos analizados corresponden a flúorapatitos típicos con cantidades variables de Cl. Existe una buena correlación entre el contenido de ^{238}U (ppm) y la densidad de trazas medidas, lo que se asocia con una edad más confiable. Los resultados se describen a continuación.

- **Muestra LS-2:** Se contaron entre 5 y 115 trazas de fisión espontánea por grano de apatito. El contenido de ^{238}U varía entre 1.98 y 147.43 ppm y el de cloro entre 0.22 y 1.48% en peso. La edad en granos individuales varía de 42.2 ± 15.5 (1σ) Ma a 10.4 ± 3.8 (1σ) Ma con dispersión del 5.9% y edad central de 20.8 ± 0.9 Ma. La prueba χ^2 es de 13%, por lo que se asume que las edades individuales son consistentes con una sola población de granos (Galbraith, 1981; Figura 10A).
- **Muestra V-1:** Se contaron entre 6 y 263 trazas de fisión espontánea por grano de apatito. El contenido de ^{238}U oscila entre 1.95 y 176.75 ppm y el de cloro entre 0.40 y 1.57% en peso. Las edades varían entre 146.6 ± 23.4 (1σ) Ma y 27.0 ± 7.4 (1σ) Ma con dispersión del 19%. La prueba χ^2 es de 0.0%, por lo que se asume que las edades individuales no pertenecen a una sola población de granos. Para esta muestra se consideró un modelo de mezcla de edad mínima ($\chi^2=0.0\%$; Galbraith y Laslett, 1993) ya que la mayoría de granos se traslapan dentro del error en la componente más joven de edad. La edad mínima para el grupo de apatitos es de 41.9 ± 1 Ma (Figura 10B).
- **Muestra RN-3:** Se contaron entre 5 y 80 trazas de fisión espontánea por grano de apatito. El contenido de ^{238}U varía entre 1.41 y 82.28 ppm y el de cloro entre 0.14 y 1.70% en peso. Las edades de TFA varían de 69.7 ± 17.2 (1σ) Ma a 22.4 ± 9 (1σ) Ma con dispersión del 14% y una edad central de 40.4 ± 1.3 Ma. La prueba χ^2 es de 13% por lo que se asume que las edades individuales son consistentes con una sola población de granos (Galbraith, 1981; Figura 10C).

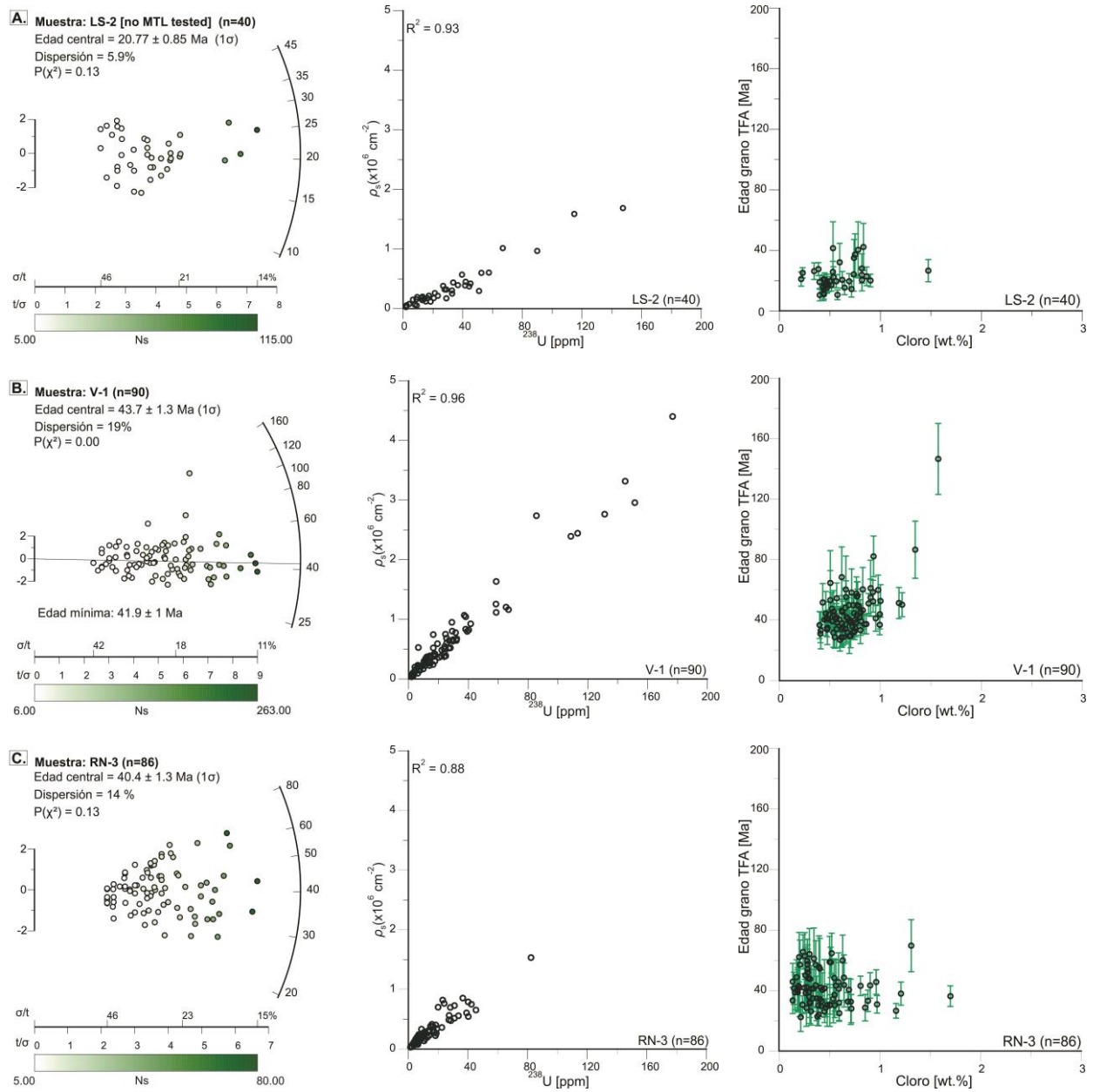


Figura 10. Diagramas radial de edades de TFA, de densidades de TFA contra ^{238}U (ppm) y edad de grano por TFA contra Cloro (wt.%). A. Muestra LS-2. B. Muestra V-1. C. Muestra RN-3.

4.6 Minerales densos (MD)

Con base en el contenido elemental (Tabla 6) y las características petrográficas (Figura 11) se identificaron los MD para tres muestras de la Formación Chivillas. La cantidad de MD no se cuantificó estadísticamente, sin embargo se observó que los piroxenos y anfíboles están presentes solo en la muestra LS-2. El granate es más abundante en la V-1 con respecto al resto de muestras. La turmalina está presente en gran proporción

en todas las muestras, siendo mayor en RN-3. El apatito, circón y rutilo son muy abundantes mientras que la titanita es escasa o ausente en las muestras.

La presencia de ankerita/dolomita puede estar asociada al tipo de cemento en las muestras. La hematita/magnetita son minerales muy abundantes mientras que la ilmenita y pirita están presentes en dos y una muestra respectivamente.

Solo se identificaron dos granos de cromita, una en cada muestra como se indica en la tabla 9. Cristales de allanita están presentes en las tres muestras en proporciones relativamente bajas, siendo más frecuente en la muestra LS-2.

Tabla 6. Minerales densos identificados en las muestras de la Formación Chivillas.

SEM-EDS	Petrografía	Muestra		
Contenido elemental	Mineral	LS-2	V-1	RN-3
Zr, Si	Circón	X>>	X>>	X>>
P, Ca, Si, Ti, Fe	Apatito	X>>	X>>	X>>
Ti	Rutilo	X>>	X>>	X>>
Mg, Al, Si, Ca, Fe, Ti, K	Piroxeno	X		
Mg, Al, Si, Ca, Fe, Ti	Anfíbol	X		X
S, Fe	Opaco (Pirita)	X		
Al, Mg, Si, Ca, Fe, Ti, Na, K	Turmalina	X>	X>	X>>
Fe, Ti	Opaco (ilmenita)	X		X
Fe	Opaco (hematita/magnetita)	X>>	X>>	X>>
Ca, Mg, Fe	Ankerita/Dolomita	X		
Fe, Ca, Ti, Si	Titanita		X	
Mg, Al, Si, Ca, Fe	Granate	X	X>>	X
Fe, Cr	Opaco (Cromita)	X	X	
Mg, Al, Si, Cl, Ca, Fe	Clorita		X	
Mg, Si, Ca, Fe, Ti	Allanita	X	X	X

Las equis (X) y el signo mayor que (>) indican la presencia de los minerales en la muestra y la abundancia relativa de éstos respectivamente.

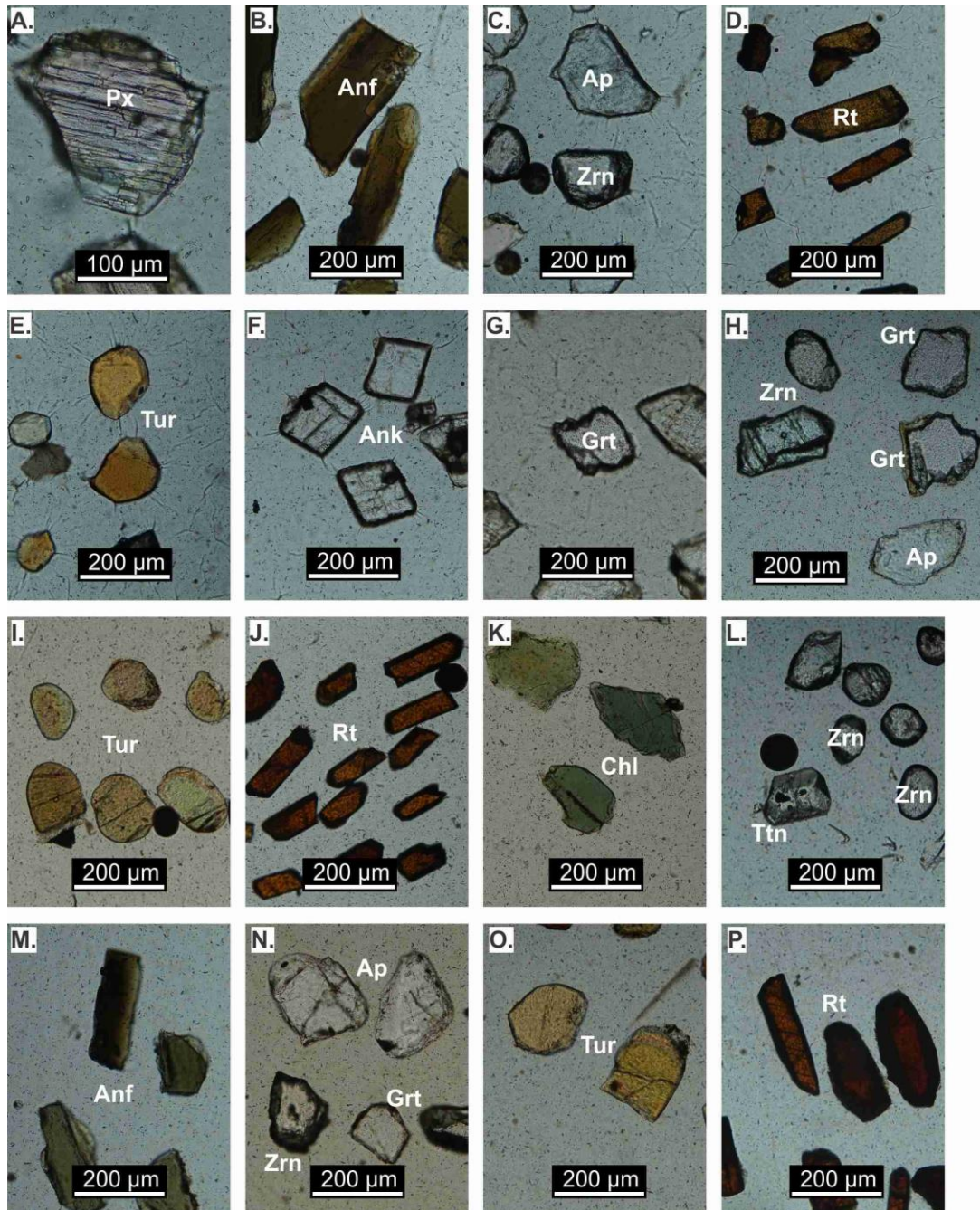


Figura 11. Microfotografías en luz polarizada plana de los minerales densos (HM) identificados en las muestras de la Formación Chivillas. Se utilizó el objetivo 20x para A y 20x para B - P. **A-G**. Minerales de la muestra LS-2. **H-L**. Minerales de la muestra V-1. **M-P**. Minerales de la muestra RN-3. Simbología: Px, piroxeno; Anf, anfíbol; Ap, apatito; Zrn, circón; Rt, rutilo; Tur, turmalina; Ank, ankerita; Grt, granate; Chl, clorita; Ttn, titanita.

5. DISCUSIÓN

5.1 Petrografía, minerales densos y procedencia

El análisis petrográfico de las rocas de la Formación Chivillas indica una procedencia principal de fuentes cuarzo-feldespáticas. Además, el contenido de plagioclasa sugiere una rápida acumulación próxima a la fuente, ya que este mineral es menos estable que el feldespato potásico (Dickinson, 1985). Los líticos metamórficos identificados en las rocas de la Formación Chivillas (Lmf2 y Lmf3) pueden ser derivados de las rocas metasedimentarias de los complejos Acatlán y Ayú (Ortega-Gutiérrez, 1978; Helbig *et al.*, 2012), ambos localizados en el Terreno Mixteco. Los líticos mirmequíticos proceden de rocas metamórficas de alto grado como las del Complejo Oaxaqueño (Solari *et al.*, 2003) y de rocas graníticas como las que intruyen a éste y al Complejo Acatlán (Ortega-Obregón *et al.*, 2014).

Los líticos volcánicos de composición félsica a intermedia-máfica pueden proceder de las tobas riolíticas de la Formación Matzitzi (Centeno-García *et al.*, 2009), de la riolita Sosola emplazada sobre las rocas del Complejo Oaxaqueño (Ortega-Obregón *et al.*, 2014), de las rocas volcánicas asociados al arco Nazas (Formación Nazas y equivalentes Barboza-Gudiño *et al.*, 2008; Lawton y Molina-Garza, 2014), de las rocas volcánicas de la Formación Tecomazuchil (Campos-Madrigal *et al.*, 2013) y de las rocas volcánicas del arco magmático del Cretácico temprano (Sierra-Rojas y Molina-Garza, 2014; Sierra-Rojas *et al.*, 2016). Recientemente se han identificado clastos volcánicos con esta composición en las facies conglomeráticas de la Formación Matzitzi (Juárez-Zúñiga, 2019) por lo que no se descartan como posible fuente.

Los líticos sedimentarios clásticos son poco abundantes en las muestras de la Formación Chivillas y pueden tener una gran variedad de posibles fuentes. Entre estas se pueden mencionar a la cubierta sedimentaria del Complejo Acatlán, la cubierta paleozoica del Complejo Oaxaqueño, rocas de la Formación Matzitzi, rocas de la Formación Todos Santos.

En resumen, los componentes del armazón en las rocas de la Formación Chivillas indican una procedencia principalmente de los complejos Oaxaqueño, Acatlán y Ayú y de rocas graníticas y volcánicas emplazadas especialmente en los terrenos Mixteco y Zapoteco. Adicionalmente, el contenido de minerales densos como granate, turmalina, anfíboles, allanita que se asocian a fuentes graníticas y metamórficas (Deer *et al.*, 2013), rutilo (mineral característico de las rocas metamórficas de alto grado; Mange y Maurer, 1992) y piroxenos (que se derivan principalmente de rocas ígneas básicas y metamórficas de medio-alto grado) confirma la procedencia de fuentes plutónicas y metamórficas establecida con base en los componentes del armazón en las areniscas de la Formación Chivillas.

5.2 Geocronología U-Pb en circón detrítico

Dado que el magmatismo y metamorfismo no son procesos continuos en el tiempo y que intervalos de erosión y acumulación de detritos pueden afectar a las rocas recién formadas y unidades preexistentes, muchas unidades sedimentarias pueden contener granos de circón que no necesariamente representen el primer ciclo detrítico y por ende las edades U-Pb pueden asociarse a una amplia variedad de rocas fuente. Dentro de los rangos de edad U-Pb en circón presentes en las muestras de la Formación Chivillas hay poblaciones que pueden correlacionarse con edades reportadas en bloques de basamento y arcos magmáticos distribuidos en el centro y sur de México (Figura 12).

La población de circones con edad entre ~1,300 y 931Ma (31% del total de granos analizados; Figura 12) se puede correlacionar con rocas que representan el evento orogénico *Grenville* durante el ensamble de Rodinia (Tohver *et al.*, 2004; Rino *et al.*, 2008). En sur de México estas edades se han reportado principalmente en las rocas metamórficas del Complejo Oaxaqueño (Ortega-Gutierrez *et al.*, 1995). En el Complejo Acatlán (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Kirsch *et al.*, 2012) y en la cubierta sedimentaria paleozoica de este y del Complejo Oaxaqueño (Gillis *et al.*, 2005) los circones de edad *Grenville* son un grupo representativo, por lo que dichas rocas no se descartan como potenciales fuentes.

La población de circones detríticos con edad entre ~815 y 500 Ma (6% del total analizados) es reducido, pero está presente en todas las muestras (Figura 12). Estos granos representan los eventos relacionados con la orogenia Panafricana-Brasiliana durante el ensamble de Gondwana (da Silva *et al.*, 2005; Cordani y Teixeira, 2007). En rocas del terreno Maya (Weber *et al.*, 2007, 2008), el Complejo Acatlán (formaciones Cosoltepec, Magdalena, Chazumba y Tecomate; Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Kirsch *et al.*, 2012) y en unidades sedimentarias derivadas de éstas, se han reportado circones de este intervalo, indicando que dichas rocas son una potencial fuente de sedimentos de la Formación Chivillas.

La población de circones detríticos con edad entre ~482 y 410 Ma es muy reducido (2% del total analizados) y está presente en tres de las muestras (Figura 12). Estas edades pueden correlacionarse con las edades de rocas magmáticas que han sido reportadas en el Complejo Acatlán (~480-440 Ma; Keppie *et al.*, 2008), en el Macizo de Chiapas (~490-400 Ma; Estrada-Carmona *et al.*, 2012) y en Guatemala (Ortega-Obregón *et al.*, 2008; Martens *et al.*, 2010; Solari *et al.*, 2010), por lo que pueden ser la fuente de procedencia detrítica de dichos circones.

La población de circones detríticos con edad entre ~308 y 230 Ma (45% del total analizados; Figura 12) es compatible con la edad de las rocas plutónicas y volcánicas asociadas al arco magmático continental que se desarrolló en el oeste de Pangea durante el Carbonífero-Pérmico y que pudo haberse extendido hasta el Triásico (Torres

et al., 1999; Dickinson y Lawton, 2001; Kirsch *et al.*, 2012). Cuerpos ígneos en los terrenos Mixteco y Zapoteco como el Plutón Cuanana (311 ± 2 Ma; Ortega-Obregón *et al.*, 2014), los batolitos Honduras y Zanitza (290 ± 2 Ma y 287 ± 2 Ma; Ortega-Obregón *et al.*, 2014), el Stock Carbonera (272 ± 1 Ma; Ortega-Obregón *et al.*, 2014), la riolita Sosola (270 ± 3 Ma; Ortega-Obregón *et al.*, 2014) y el granito Etlá (255 ± 1 Ma; Ortega-Obregón *et al.*, 2014) que se emplazaron en y sobre las rocas del Complejo Oaxaqueño, además del Plutón Totoltepec en su fase máfica y félsica (306-289 Ma; Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 2002; Kirsch *et al.*, 2012) y el granito Cozahuico (270 ± 2.6 Ma; Elías-herrera *et al.*, 2005) en el Complejo Acatlán, probablemente sean las fuentes primarias de los circones detríticos con dicho rango edad de la Formación Chivillas. Además, rocas intrusivas con este rango de edad también han sido identificadas en el sur del Terreno Maya por lo que no se descartan como potenciales fuentes.

La población de circones con edad entre ~ 201 y 159 Ma es poco abundante (3% del total analizados; Figura 12) y está presente solo en tres de las muestras. Estas edades pueden correlacionarse con la edad de las rocas volcánicas asociadas al arco Nazas, representadas por la Formación Nazas y equivalentes (Barboza-Gudiño *et al.*, 2008; Lawton y Molina-Garza, 2014), por lo que pueden constituir una viable fuente para éstos circones detríticos. Otra fuente potencial es el Complejo Ayú que posee edades que representan la fusión parcial de rocas metasedimentarias entre ~ 171 y 160 Ma (migmatización, emplazamiento de diques e intrusión de cuerpos de pegmatitas; Helbig *et al.*, 2012).

La población de circones con edad entre ~ 146 y 118 Ma (7% del total analizados) está presente en solo dos muestras (LS-2 y V-2; Figura 12). Estos circones detríticos poseen edades que son compatibles con la edad de rocas plutónicas, volcánicas y vulcanosedimentarias asociadas al arco magmático continental que se extendió en el margen occidental de México durante el Cretácico temprano (Sierra-Rojas *et al.*, 2016) y con la edad de rocas asociadas al Terreno Guerrero (sucesiones vulcanogénicas con afinidad de arco intraoceánico y vulcanosedimentarias asociadas a cuencas extensionales del Jurásico tardío-Cretácico temprano; Ortega-Flores, 2017), por lo que estos circones detríticos pueden tener como fuentes de procedencia al conjunto de rocas mencionadas anteriormente.

Una población de circones con edad entre ~ 225 y 213 Ma (1.6% del total; Figura 12), una con edad entre ~ 925 y 850 Ma (2% del total; Figura 12) y una con edad $> 1,320$ Ma (2.4% del total; Figura 12) están presentes en las muestras de la Formación Chivillas. Estos rangos de edades, en conjunto con alguno de los indicados anteriormente, son compatibles con los intervalos reportados en rocas asociadas al Abanico Potosino (~ 300 -210 Ma, $\sim 1,250$ -900 Ma y $\sim 1,650$ -1,300 Ma; Barboza-Gudiño *et al.*, 2010; Ortega-Flores *et al.*, 2014), por lo que no se descartan como posibles fuentes detríticas.

El grupo de circones más joven de todas las muestras analizadas se encuentra en la muestra V-2, por lo que se utilizó para calcular la edad máxima de depósito considerando las primeras ocho edades con traslape en el error. La edad calculada es 124.5 ± 1.3 Ma ($MSWD=1.1$) que corresponde al Barremiense-Aptiense y que es coherente con lo reportado en trabajos previos (Alzaga y Pano, 1989; Mendoza-Rosales, 2010; Sierra-Rojas *et al.*, 2016).

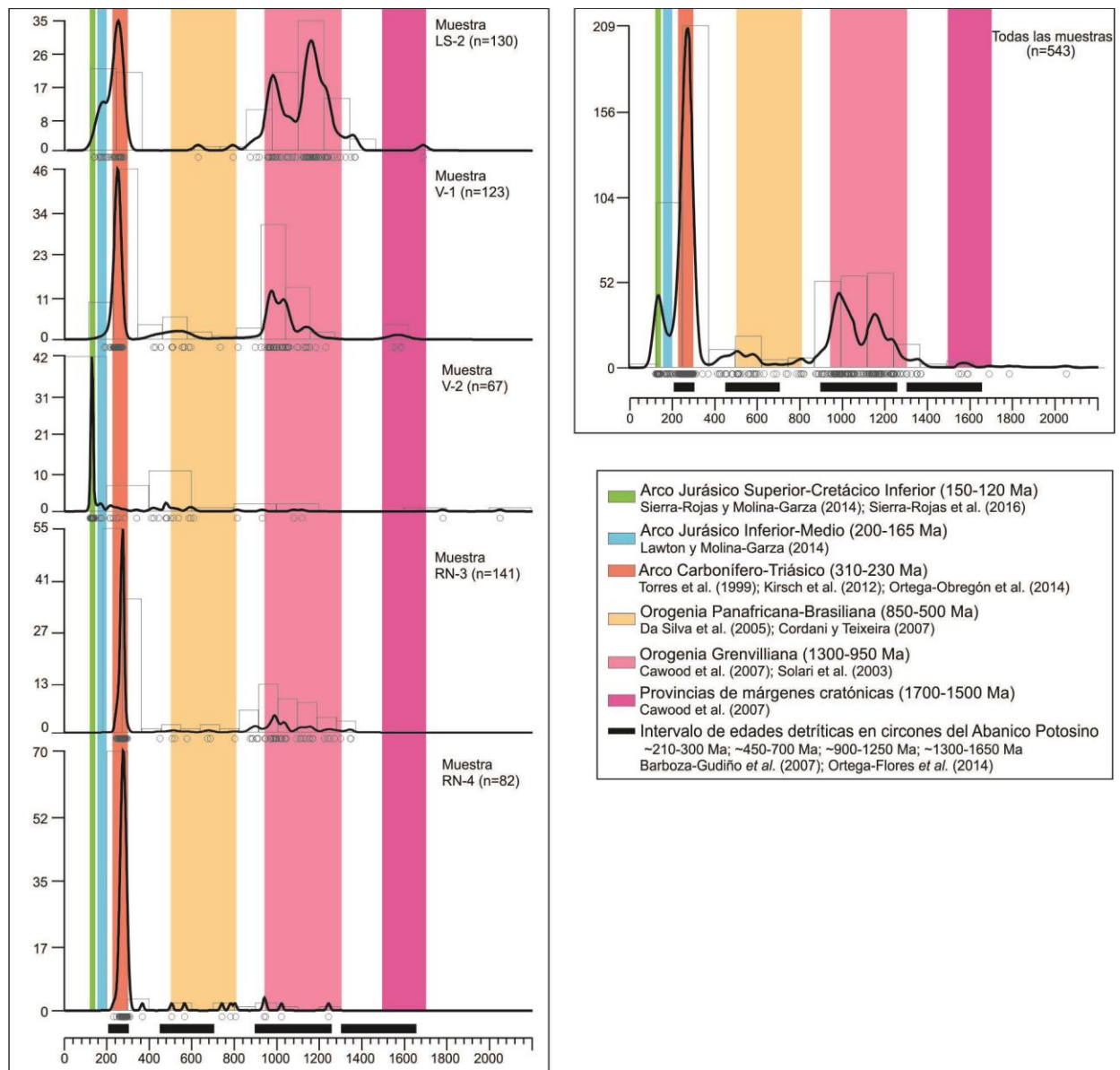


Figura 12. Curvas de estimación de densidad de Kernel (KDE) de las edades detríticas de los circones de la Formación Chivillas. Las franjas de color representan las edades de basamento y magmatismo encontradas en rocas de México y las barras de color negro representan los intervalos de edades detríticas del Abanico Potosino.

El diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) de la figura 13 modela la similitud/disimilitud entre los patrones de edad de las muestras de la Formación Chivillas y las contrasta con 69 muestras sedimentarias y metasedimentarias de distintas formaciones del centro y sur de México y con 6 muestras sintéticas que representan los principales eventos orogénicos y magmáticos desarrollados entre el Precámbrico y el Cretácico Inferior (Anexo 8). La ubicación aproximada de las unidades utilizadas para el MDS se presenta en la Figura 14.

El mapa MDS (Figura 13) se caracteriza por mostrar un arreglo más o menos agrupado en las muestras más antiguas y uno más disperso en las unidades más jóvenes, esto es consistente con una proveniencia más variada a través del tiempo. Las muestras de edad pre-Jurásico, además de algunas más jóvenes, se ubican preferencialmente entre las muestras sintéticas del Orógeno *Grenville/Sunsas*, el Complejo Oaxaqueño y el Orógeno Panafricano-Brasiliano e indica una mayor afinidad genética hacia estas componentes de edad. En términos generales las muestras de la Formación Chivillas (LS-2, V-1, RN-3, RN-4 y V-2) son disimilares entre sí y la mayoría se ubican entre las muestras sintéticas del Complejo Oaxaqueño (*Grenville*) y el arco magmático del Paleozoico tardío (Carbonífero-Pérmico), lo que podría sugerir un cambio local en las fuentes de sedimentos, hasta un predominio total de la componente del Cretácico Inferior.

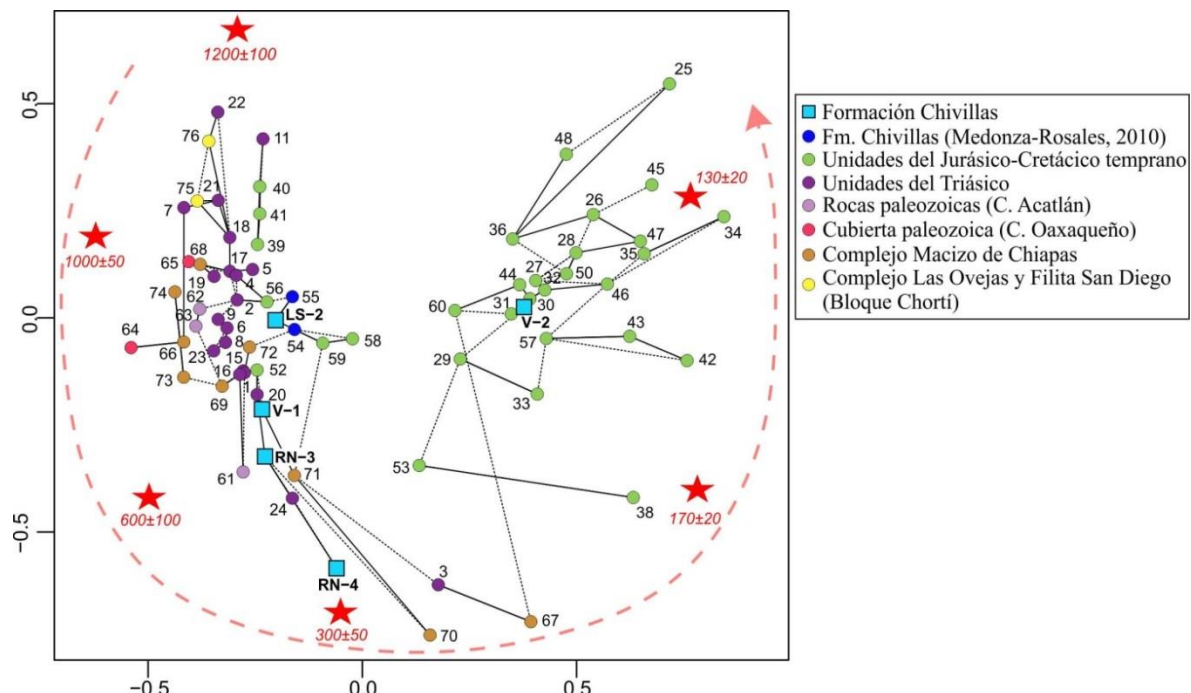


Figura 13. Diagrama MDS de las muestras de la Formación Chivillas y 69 muestras sedimentarias y metasedimentarias del centro y sur de México. Las muestras sintéticas representan las fuentes potenciales de sedimento del: Orógeno *Grenville/Sunsas* (1,200±100 Ma), Complejo Oaxaqueño (1,000±50 Ma), Orógeno Panafricano-Brasiliano (600±100 Ma), arco Carbonífero-Pérmico (300±50 Ma), arco Jurásico (170±20 Ma), magmatismo del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (130±20 Ma).

En el MDS, la muestra LS-2 tiene como vecinas más próximas a las analizadas por Mendoza-Rosales (2010) de la Formación Chivillas. Esto es coherente, ya que las tres muestras fueron colectadas en la barranca Las Salinas al noreste de Tehuacán (Figura 3) y por lo tanto comparten características genéticas comunes. Además, el agrupamiento y cercanía de dichas muestras con las de las formaciones Zicapa y Atzompa (56 y 59) es coherente con lo establecido por Sierra-Rojas *et al.* (2016) y que se refiere al depósito de las formaciones Chivillas, Zicapa y Atzompa en un sistema geodinámico similar y sincrónico con actividad volcánica.

Tanto la muestra LS-2 como la V1 se localizan adyacentes a las que representan a los sistemas de abanicos Potosino y Tolimán (muestras: 4 y 5: El Alamar; 6, 8, 9: El Chilar, 16: Zacatecas y 15 y 20: Complejo Arteaga) y al Complejo Macizo de Chiapas (69 y 71: La Sepultura y 72: Custepec), mientras que las muestras RN-3 y RN-4 se encuentran en la vecindad de las que representan a las formaciones La Sepultura (71), Tianguistengo (24) y Tecomate (61; Figura 13 y tabla 7). La posición de las muestras de la Formación Chivillas con respecto a las sintéticas que representan al Complejo Oaxaqueño, el Orógeno Panafricano-Brasiliano y el Arco Carbonífero-Pérmico y la similitud con unidades sedimentarias de los terrenos Guerrero, Mixteco y Maya y de las rocas asociadas a los abanicos Potosino y Tolimán, sugieren firmas detríticas similares, principalmente en las componentes de edad *Grenville*, Neoproterozoico-Ordovícico y Paleozoico tardío. Lo anterior indica que las unidades sedimentarias poseen una procedencia común o que las unidades más jóvenes son el resultado del reciclaje de las más antiguas.

Tabla 7. Vecinas más próximas y más similares a las muestras de la Formación Chivillas en el MDS.

Muestras	LS-2	V-1	RN-3	RN-4
Vecinas más próximas	54 y 55 (Chivillas)	20 (C. Arteaga) 71 (La Sepultura)	20 (C. Arteaga) 24 (Tianguistengo)	24 (Tianguistengo)
Más similares	2 (Abanico Potosino) 4 y 5 (El Alamar) 6, 8, 9 (El Chilar) 56 (Zicapa) 59 (Atzompa) 72 (Custepec)	1 (Abanico Potosino) 15 (C. Arteaga) 16 (Zacatecas) 69 (La Sepultura)	61 (Tecomate) 71 (La Sepultura)	

La muestra V-2 posee edades del Barremiense-Aptiense que la hacen la más disimilar con respecto al resto de muestras. Esta muestra en el MDS posee como vecinas más próximas a las muestras de la Formación Arperos (30, 31 y 32) y se localiza muy cercana a la 57 (Zicapa), 44 (Taxco-Taxco Viejo) y 27 (Ojo de Agua) que representan depósitos vulcanosedimentarios y metasedimentarios (Figura 13). Las firmas detríticas entre estas unidades se caracterizan por la alta proporción de edades del Jurásico tardío-Cretácico temprano sobre las del Triásico o más antiguas.

Las edades del Cretácico temprano en sucesiones sedimentarias del centro y sur de México se asocian a actividad magmática coetánea con la deposición, como ha sido reportado entre otras, en las formaciones Taraises (Dávalos-Elizondo, 2011), San Juan de la Rosa (Dávila Alcocer *et al.*, 2009; Ortega-Flores *et al.*, 2014), Zicapa (Sierra-Rojas y Molina-Garza, 2014) y Atzompa (Sierra-Rojas *et al.*, 2016).

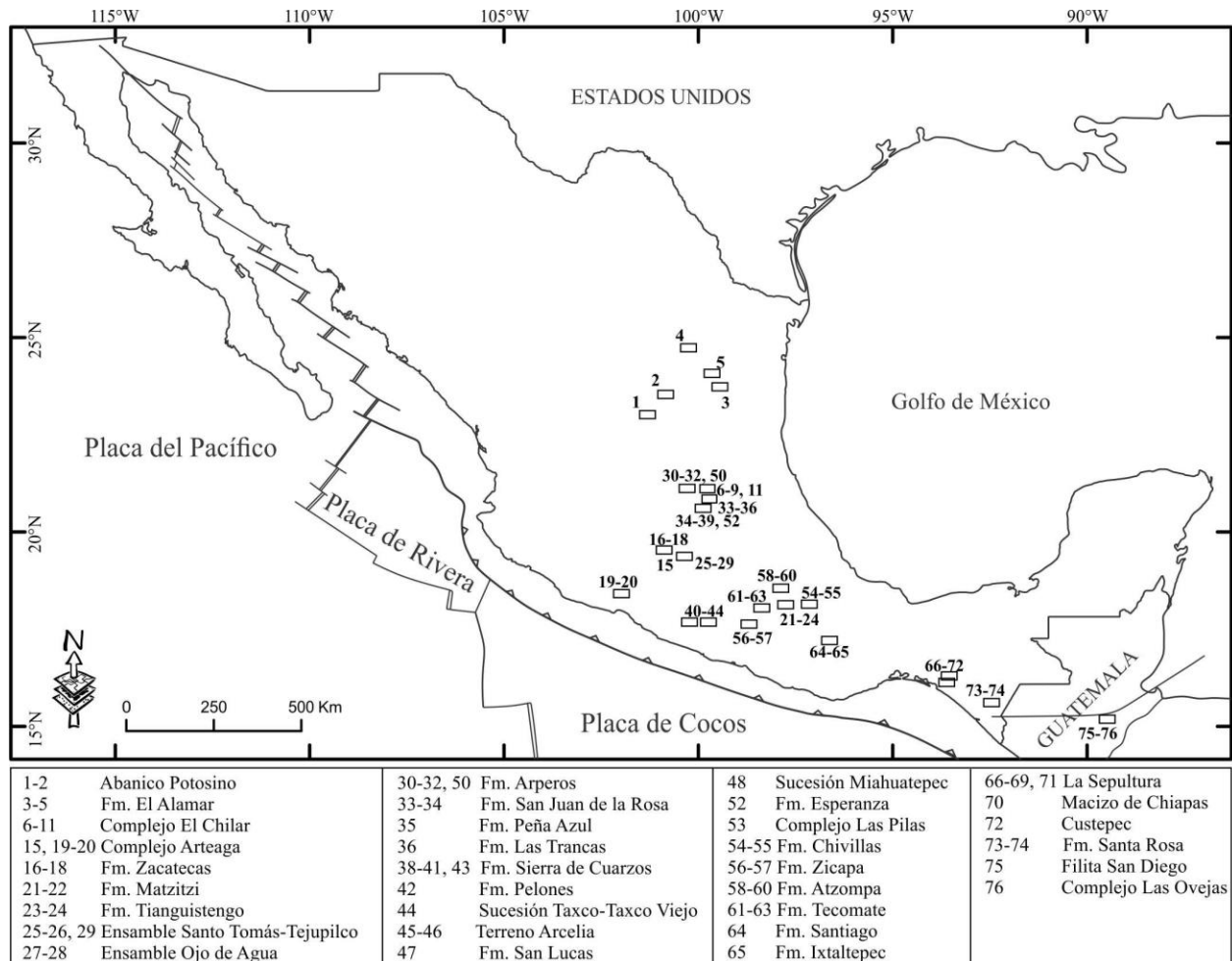


Figura 14. Localización aproximada de las unidades utilizadas para el análisis de escalamiento multidimensional (MDS). Más información de la muestras se presenta en el anexo 8.

5.3 Geocronología y geoquímica de apatitos

5.3.1 U-Pb en apatito detrítico

En los apatitos de las muestras de la Formación Chivillas se identificaron 2 poblaciones de edades que se corresponden dentro del rango de error: Meso-Neoproterozoico y Carbonífero-Pérmico. Una tercera población con edad del Cretácico temprano se identificó solo en la muestra LS-2 (Tabla 8).

Tabla 8. Isócronas de edad U-Pb en apatito de las muestras de la Formación Chivillas.

Muestra	Meso-Neoproterozoico	Carbonífero-Pérmico	Cretácico temprano
LS-2	979.8±14 Ma (66%)	292.8±12 Ma (16%)	131.5±12 Ma (9%)
V-1	1003±15 Ma (52%)	276±9 Ma (48%)	
RN-3	995.6±14 Ma (10%)	303±5 Ma (90%)	

Los paréntesis indican el porcentaje de granos de cada componente de edad del total analizado por muestra.

Las isócronas de edad U-Pb en apatitos con edades del Meso-Neoproterozoico pueden ser correlacionadas con el rango de edad *Grenville* de los cuerpos de basamentos metamórfico del sur de México. A partir de las consideraciones en cuanto a la inestabilidad a la meteorización y limitada resistencia mecánica del apatito en los sistemas de transporte sedimentario (Morton y Hallsworth, 1999) y de la ubicación de la cuenca Cuicateca adyacente al Complejo Oaxaqueño, durante el depósito de la Formación Chivillas, es más factible que estos apatitos representen la denudación y los detritos de primer ciclo procedentes del conjunto de rocas metamórficas en facies de granulita del Complejo Oaxaqueño. Esta asunción es coherente con lo establecido a través del contenido de plagioclasas, en el análisis petrográfico, en cuanto a una acumulación de detritos muy próxima a la fuente.

La temperatura de cierre (T_c) del sistema U-Pb en apatito oscila entre el rango de ~350-550 °C (Chamberlain y Bowring, 2001) por lo que las isócronas de edad Meso-Neoproterozoico obtenidas en los apatitos de la Formación Chivillas (Tabla 8) corresponden a edades de enfriamiento de la fuente. Esto es consistente con la edad de enfriamiento de 977 ± 12 Ma reportada por Solari *et al.* (2003) y que fue calculada por el método de Ar-Ar en hornblenda (T_c del sistema Ar-Ar en hornblenda: ~480-570°C; Harrison, 1982) y que corresponde al enfriamiento experimentado por las rocas en la parte norte del Complejo Oaxaqueño.

Un grupo de apatitos concordantes en las tres muestras analizadas ($n=7$ en total) poseen edades que van desde ~1,024 a 967 Ma (Figura 6) y que se traslapan dentro del error con las etapas de intrusión de la *suite* AMCG (anortosita, mangerita, charnoquita y granito; $\sim 1,012 \pm 12$ Ma; Keppie *et al.*, 2004), metamorfismo granulítico (~1,004 a 979 Ma; Solari *et al.*, 2003) y enfriamiento de la zona norte del Complejo Oaxaqueño (979 a 945 Ma; Solari *et al.*, 2003; Keppie *et al.*, 2004). Las edades concordantes en apatito comparadas con las de cristalización de los circones del Complejo Oaxaqueño indican que las rocas pasaron de altas temperaturas (T_c del circón) a temperaturas intermedias (T_c del apatito) muy rápidamente y, además, sugiere que los apatitos concordantes más antiguos registran el enfriamiento de los protolitos de la *suite* AMCG.

Las isócronas de edad Carbonífero-Pérmico, de los apatitos analizados de las muestras de la Formación Chivillas (Tabla 8), se pueden correlacionar con la edad de las rocas

ígneas plutónicas y volcánicas que representan el arco magmático desarrollado en el oeste de Gondwana durante el Paleozoico tardío (como se estableció a partir de las edades U-Pb en circón) y que en la actualidad afloran de Norteamérica hasta Centroamérica. Dado que los apatitos más antiguos de la Formación Chivillas se asociaron a la denudación de las rocas de Complejo Oaxaqueño y que muchos de los cuerpos ígneos que representan el arco magmático del Paleozoico tardío están emplazados dentro de las rocas de los complejos Oaxaqueño y Acatlán, es factible que los apatitos con edades Carbonífero-Pérmico representen detritos de primer ciclo procedentes de los granitos Etlá y Cozahuico, de la Riolita Sosola, del *Stock Carbonera*, de los batolitos Zanitza y Honduras y de los plutones Cuanana y Totoltepec en su fase máfica y félsica.

En la figura 15 se comparan las isócronas de edad U-Pb en apatito con la edad de cristalización (U-Pb en circón) de los cuerpos intrusivos y extrusivos de edad Carbonífero-Pérmico emplazados en y sobre las rocas de los complejos Oaxaqueño y Acatlán. En ésta figura se observa como los apatitos de la muestra RN-3 y LS-2 pueden tener como fuente principal a las rocas de los plutones Cuanana y Totoltepec en su fase máfica, aunque la isócrona de edad de LS-2 es relativamente más joven que la de RN-3. Considerando la isócrona de edad de la muestra V-1, ésta puede tener como fuente principal de los apatitos a los batolitos Honduras y Zanitza y al Plutón Totoltepec en su fase félsica. Además, no se puede descartar que el conjunto de apatitos que constituyen las tres isócronas procedan también de las rocas volcánicas asociadas a dicho arco magmático y de rocas plutónicas equivalente a las mencionadas anteriormente, aunque en la actualidad no se preserve el registro de las mismas.

Era	Periodo	Época	Unidad magmática y edades U-Pb en circón (Ma)	Edad isócrona U-Pb en apatitos			
				LS-2	V-1	RN-3	
Paleozoico	Pérmico	Lopingiense	Granito Etlá (255±1)				
		Guadalupiense	G. Cozahuico / R. Sosola (270±3) <i>Stock Carbonera</i> (272±1)		276±9 Ma		
		Cisuraliense	Batolito Zanitza (287±2) Plutón Totoltepec (F) (289±2) Batolito Honduras (290±2)	292.8±12 Ma			
	Carbonífero	Pensilvánico	Superior	Plutón Totoltepec (M) (306±2)			303±5 Ma
			Medio	Plutón Cuanana (311±2)			
		Inferior					

Figura 15. Diagramas de comparación entre las edades de cristalización de los cuerpos ígneos emplazados en los Complejos Oaxaqueño y Acatlán y las isócronas de edad paleozoica obtenidas en los apatitos de la Formación Chivillas. M=máfico, F=félsico y G=granito.

La edad del Cretácico temprano se identificó solo en los apatitos de la muestra LS-2, por lo que es una componente subordinada en las rocas de la Formación Chivillas. Sin embargo, es muy importante ya que restringe la edad máxima de depósito de la formación entre el Berriasiense y Aptiense, lo que además es coherente con la edad establecida a partir de la geocronología U-Pb de circones detríticos (Barremiense-Aptiense).

La configuración tectónica del centro y sur de México durante el Cretácico Inferior estaba influenciada por procesos de extensión (e.g., desarrollo de cuencas como la Cuicateca) y magmatismo que dio como resultado el emplazamiento de rocas ígneas coetáneas con la sedimentación. Esta geodinámica hace factible que los apatitos del Cretácico temprano presentes en la Formación Chivillas procedan de las rocas magmáticas (volcánicas y volcanosedimentarias) que se relacionan al arco volcánico que se desarrolló en el margen Pacífico de México y cuyas evidencias se observan, por ejemplo, en las formaciones Taraises (Dávalos-Elizondo, 2011), Zicapa (Sierra-Rojas y Molina-Garza, 2014) y Atzompa (Sierra-Rojas *et al.*, 2016) del Cretácico temprano como ya fue mencionado anteriormente.

5.3.2 Química de apatitos

El comportamiento químico de los apatitos, en especial el contenido total de Tierras Raras (Σ REE), de Sr, Y y anomalía de Eu, demuestra que existen al menos tres fuentes de procedencia principales para los sedimentos de la Formación Chivillas y que, además, están estrechamente relacionadas con las edades U-Pb en apatito.

El comportamiento químico de los elementos traza en apatitos de rocas metamórficas es muy heterogéneo y está influenciado por el crecimiento cogenético de otras fases minerales (e.g., monacita, epidota, granate) y por el grado metamórfico experimentado por las rocas (Henrichs *et al.*, 2018).

Los apatitos asociados a rocas de bajo a medio grado metamórfico se caracterizan por su bajo contenido en REE e Y (Henrichs *et al.*, 2018). Considerando que el contenido de Y en los apatitos del Meso-Neoproterozoico de la Formación Chivillas oscila entre 136 y 7,851 ppm y que solo 23% de los granos posee un contenido <700 ppm, se interpreta que los apatitos Meso-Neoproterozoico pudieron proceder principalmente de rocas con alto grado metamórfico. El comportamiento químico de apatitos de rocas de alto grado (e.g., paragneises en facies de anfibolita superior y granulita) indica que estos poseen típicamente alto contenido de REE y anomalía de Eu muy negativa a leve (Henrichs *et al.*, 2018). Este comportamiento es muy semejante al de los apatitos del Meso-Neoproterozoico de la Formación Chivillas (Σ REE entre 0.12-3.50% en peso y Eu/Eu* entre 0.04-0.97; Figura 9) y es coherente con la interpretación de una procedencia asociada a rocas metamórficas de alto grado.

Dado que la cuenca Cuicateca se localizaba adyacente al Complejo Oaxaqueño durante el Cretácico Inferior, que la edad de los apatitos más antiguos identificados en las areniscas de la Formación Chivillas es coherente con la edad del metamorfismo en facies de granulita registrado en las rocas de dicho complejo y que el comportamiento químico de los apatitos del Meso-Neoproterozoico indican que su génesis está asociada a condiciones metamórficas de alto grado, se interpreta que el grupo de apatitos de la Formación Chivillas con edad Meso-Neoproterozoico proceden del conjunto de rocas del Complejo Oaxaqueño.

El grupo de apatitos del Carbonífero-Pérmico, identificado en las rocas de la Formación Chivillas, posee un contenido de Sr que tiende a mantenerse dentro de un rango más o menos bien definido cuando la anomalía de Eu oscila entre positiva a levemente negativa ($\text{Eu}/\text{Eu}^* \geq 0.7$). Sin embargo, cuando la anomalía de Eu es más negativa ($\text{Eu}/\text{Eu}^* \leq 0.6$) el contenido de Sr disminuye. Por el contrario la concentración de Y tiende a aumentar cuando la anomalía de Eu se hace más negativa. Dado que el contenido de Sr es empobrecido y el de Y aumenta relativamente durante el fraccionamiento magmático y que la anomalía de Eu tiende a ser cada vez más negativa en apatitos asociados a magmas félsicos (Morton y Yaxley, 2007; Tang *et al.*, 2012), se interpreta, que los apatitos del Carbonífero-Pérmico reflejan un aumento en el grado de fraccionamiento del magma y por lo tanto el paso de una composición máfica-intermedia a una félsica. En apatitos ígneos la concentración de REE está controlada principalmente por su contenido dentro del magma y el coeficiente de partición entre el apatito y el fundido (Pan *et al.*, 2016). No parece existir una relación directa entre ΣREE y el grado de fraccionamiento del magma, aunque se han reportado concentraciones promedio de $\sim 0.4\%$ y $\sim 1.5\%$ (wt.) en apatitos de pegmatitas y rocas ultramáficas-máficas respectivamente (Belousova *et al.*, 2002). Con base en lo anterior y en el contenido de ΣREE en el grupo de apatitos de edad Carbonífero-Pérmico ($< 1.0\%$ wt.) se infiere, también, que estos proceden de rocas ígneas de composición máfica-intermedia a félsica.

Ya que la cuenca Cuicateca se desarrolló muy próxima a varios cuerpos ígneos (emplazados en los complejos Oaxaqueño y Acatlán) y que el comportamiento químico de los apatitos de edad Carbonífero-Pérmico en las rocas de la Formación Chivillas sugiere que estos cristalizaron en condiciones magmáticas que reflejan una evolución desde magmas máficos-intermedios hasta félsicos; se interpreta que, este grupo de apatitos poseen como fuente de procedencia detrítica a las rocas ígneas asociadas al arco magmático desarrollado al occidente de Gondwana durante el Paleozoico tardío

El grupo de apatitos con edad del Cretácico temprano es muy reducido, sin embargo, el comportamiento químico parece ajustarse mejor al de los apatitos asociados a rocas ígneas. Los granos poseen una concentración de Sr entre 242 y 830 ppm, anomalía negativa de Eu entre moderada a muy marcada, contenido de REE $< 0.6\%$ (wt.) y una

concentración de Y que aumenta cuando la anomalía de Eu se hace más negativa, lo anterior indica una génesis asociada a magmas de composición intermedia a félsica. Dado que el comportamiento químico de los apatitos más jóvenes de las rocas de la Formación Chivillas indican que cristalizaron en condiciones magmáticas y que la edad del Cretácico temprano es coherente con la edad de máxima de depósito establecida para dicha formación, se interpreta que este grupo de apatitos posee como fuente de procedencia detrítica a las rocas plutónicas, volcánicas y volcanosedimentarias asociadas al arco magmático continental desarrollado en el margen Pacífico de México durante el Cretácico Inferior, el cual está representado por rocas ígneas de composición félsica a intermedia, muchas de las cuales fueron emplazadas coetáneamente con la sedimentación de varias sucesiones detríticas del centro y sur de México.

Para evaluar las fuentes de procedencia de los granos de apatito, se construyó el diagrama de componentes principales (PCA; Figura 16) utilizando como variables la anomalía de Eu (Eu/Eu^*), contenido total de ΣREE , la pendiente del patrón de REE (Ce/Yb ; ambos normalizados al condrito; McDonough y Sun, 1995) y el contenido normalizado al condrito de La, Sm y Lu. Además, al PCA se le agregaron los campos que representan el comportamiento químico de algunos apatitos del Complejo Oaxaqueño y de rocas que representan el arco magmático del Paleozoico tardío. Estos valores fueron tomados de la base de datos interna que posee el laboratorio de estudios isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias de la UNAM. El LEI no cuenta con datos de apatitos de rocas del Cretácico por lo que dicha fuente no pudo ser evaluada.

De las variables elegidas las que mejor se ajustan al comportamiento químico de los apatitos corresponde a la anomalía de Eu (Eu/Eu^*) y el contenido total de REE (ΣREE), ya que ambos vectores son aproximadamente opuestos entre sí y la mayoría de datos están dispersos a lo largo del eje que se forma entre ambos. En el PCA los apatitos del Carbonífero-Pérmico son “empujados” hacia el vector Eu/Eu^* y “repelidos” de los vectores ΣREE , La, y Sm. Este comportamiento indica que los apatitos poseen una anomalía de Eu entre levemente negativa hasta positiva y un contenido bajo de REE. En contraste, los apatitos del Meso-Neoproterozoico son “atraídos” hacia los vectores ΣREE , La y Sm y “repelidos” del vector Eu/Eu^* . Este comportamiento indica que poseen un alto contenido de REE y una anomalía negativa más marcada de Eu.

La edad y el comportamiento químico de los apatitos del Meso-Neoproterozoico de la Formación Chivillas corresponden en su mayoría al campo que representa al Complejo Oaxaqueño, mientras que los apatitos del Carbonífero-Pérmico en su mayoría caen dentro del campo que representan el magmatismo Pérmico asociado al arco magmático del Paleozoico tardío. Lo anterior corrobora las fuentes de procedencia detrítica de estas dos poblaciones de apatitos de la Formación Chivillas (Figura 16).

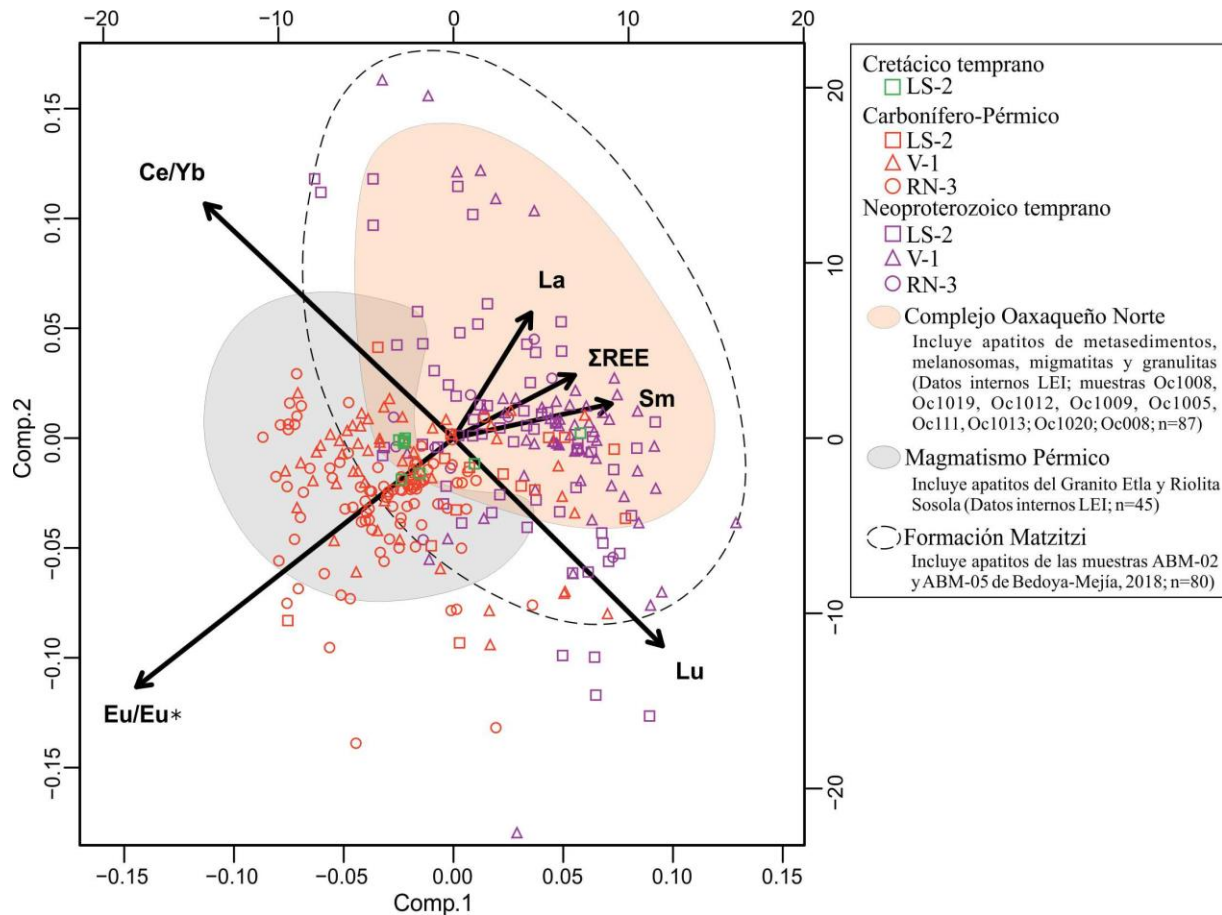


Figura 16. Diagrama de componentes principales (PCA) de los apatitos de la Formación Chivillas y campos que representan al Complejo Oaxaqueño, al arco magmático del Paleozoico tardío y a la Formación Matzitzi.

Alternativamente y para comprobar la efectividad del uso del PCA en este estudio, se añadió al diagrama el dominio que representa el comportamiento químico de apatitos de areniscas de la Formación Matzitzi (Bedoya-Mejía, 2018; muestras ABM2 y ABM-5, n=80; Figura 16) y a los cuales se les interpretó una fuente principal asociada a rocas metamórficas de edad *Grenville*, como las incluidas dentro del Complejo Oaxaqueño, y en menor proporción a fuentes plutónicas de edad Carbonífero-Pérmico. Ya que en los estudios de procedencia sedimentaria, el apatito es más probable que represente detritos de primer ciclo (Morton y Hallsworth, 1999; Chew *et al.*, 2011) se margina, pero no se descarta, a la Formación Matzitzi como posible fuente de procedencia de los apatitos detríticos de la Formación Chivillas. En el PCA el dominio de la Formación Matzitzi (Figura 16) cubre totalmente al campo del Complejo Oaxaqueño, además de poseer una geometría muy similar, e intersecta una parte del campo de las rocas del arco magmático. Esto es coherente con las interpretaciones de Bedoya-Mejía (2018) en cuanto a la procedencia de los apatitos. Este comportamiento es muy similar al discutido anteriormente para los distintos grupos de apatitos de la Formación Chivillas

y, como consecuencia, reafirma las fuentes de procedencia detrítica principales a las rocas metamórficas del Complejo Oaxaqueño y a las rocas del arco magmático del Carbonífero-Pérmico.

5.4 Trazas de fisión en apatitos

Las edades por trazas de fisión en las muestras de la Formación Chivillas poseen un rango entre ~42 y 21 Ma (Figura 10 y tabla 9). Estas edades indican que el sistema de trazas de fisión fue reseteado por algún evento tectónico, ígneo o metamórfico postdeposicional, ya que dichas edades son mucho más jóvenes que la edad máxima de depósito de la Formación Chivillas (~125 Ma).

Las edades concordantes de ~42 y 40 Ma (Eoceno medio: Luteciense-Bartoniense) de las trazas de fisión en las muestras V-1 y RN-3 coinciden dentro del error (Tabla 9) mientras que la distribución de longitudes de trazas se caracteriza por un solo valor pico. Lo anterior indica que la historia termal de ambas muestras es similar y representan un solo evento de enfriamiento (Figura 17).

Tabla 9. Prueba de Chi-cuadrado y edades de trazas de fisión en apatitos.

Muestra	$P(\chi^2)$	Edad central	Edad mínima	Longitud media de trazas
LS-2	13%	20.77 ± 0.85 Ma		----
V-1	0%		41.9 ± 1 Ma	13.08 ± 1.27 μm
RN-3	13%	40.4 ± 1.3 Ma		13.30 ± 1.35 μm

Los modelos de historia termal de las muestras V-1 y RN-3, basados en el ajuste de las trayectorias de tiempo-Temperatura (t-T; Ketcham, 2005), indican que las muestras experimentaron una fase de enfriamiento rápido entre ~46 y 37 Ma que llevo a las rocas desde ~120 °C hasta una temperatura ~60°C a razón de 9.66 °C Ma^{-1} y 9.83 °C Ma^{-1} respectivamente (Figura 17). Es importante mencionar que estos modelos en particular son válidos únicamente para la zona de borrado parcial (PAZ).

Con las edades obtenidas por trazas de fisión y los modelos de t-T de las muestras V-1 y RN-3 se interpreta, que el reinicio del sistema de trazas de fisión en los apatitos de la Formación Chivillas se produjo como consecuencia de la deformación asociada a la Orogenia Laramide (desarrollo de fallas de cabalgadura a escala regional y formación de escamas tectónicas) que afectó el sur de México. El evento tectónico de acortamiento propició el aumento de temperatura necesario para resetear el sistema de trazas de fisión en los apatitos ($T > 120$ °C), probablemente por el cabalgamiento de un bloque con espesor aproximado entre 3 y 4 km (considerando un gradiente geotérmico normal y en equilibrio antes de la deformación) sobre las rocas de la Formación Chivillas, mientras que los primeros pulsos de extensión del Sistema Norte de la Falla Oaxaca favorecieron la rápida exhumación de las rocas entre 46 y 37 Ma (Figura 17) a

razón de ~330 y 320 m/m.a. En consecuencia, las edades concordantes entre ~42 y 40 Ma del sistema de trazas de fisión restringen la actividad del acortamiento Laramide a un lapso anterior al Eoceno medio (Luteciense-Bartoniense) en la cuenca Cuicateca, siendo además compatible con la posición estratigráfica de los lechos rojos Tilapa en el Valle de Tehuacán (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007).

La muestra LS-2 posee una edad por trazas de fisión de ~21 Ma (Figura 10A y tabla 9) que es aún más joven que la edad de máxima depósito y que el límite mínimo de actividad de la Orogenia Laramide. Debido a la baja densidad de trazas y por ende la escasa cantidad de trazas confinadas disponibles para la medición de longitudes no se construyó un modelo termal t-T. La edad de ~21 Ma (Mioceno temprano: Aquitaniense) parece representar un evento termal no tan extendido. El evento extensional del Sistema Norte de la Falla Oaxaca se desarrolló desde el Eoceno temprano-medio hasta el Pleistoceno y el pulso 4 (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007) representa la formación del relevo Tehuacán (indicado por un cambio de facies en la Formación Tehuacán) que estuvo activo del Mioceno temprano hasta el Pleistoceno. La edad Aquitaniense obtenida de las trazas de fisión se ajusta bien a dicho pulso, sin embargo, no hay evidencias suficientes que indiquen una correlación directa entre la actividad tectónica y esta edad de enfriamiento.

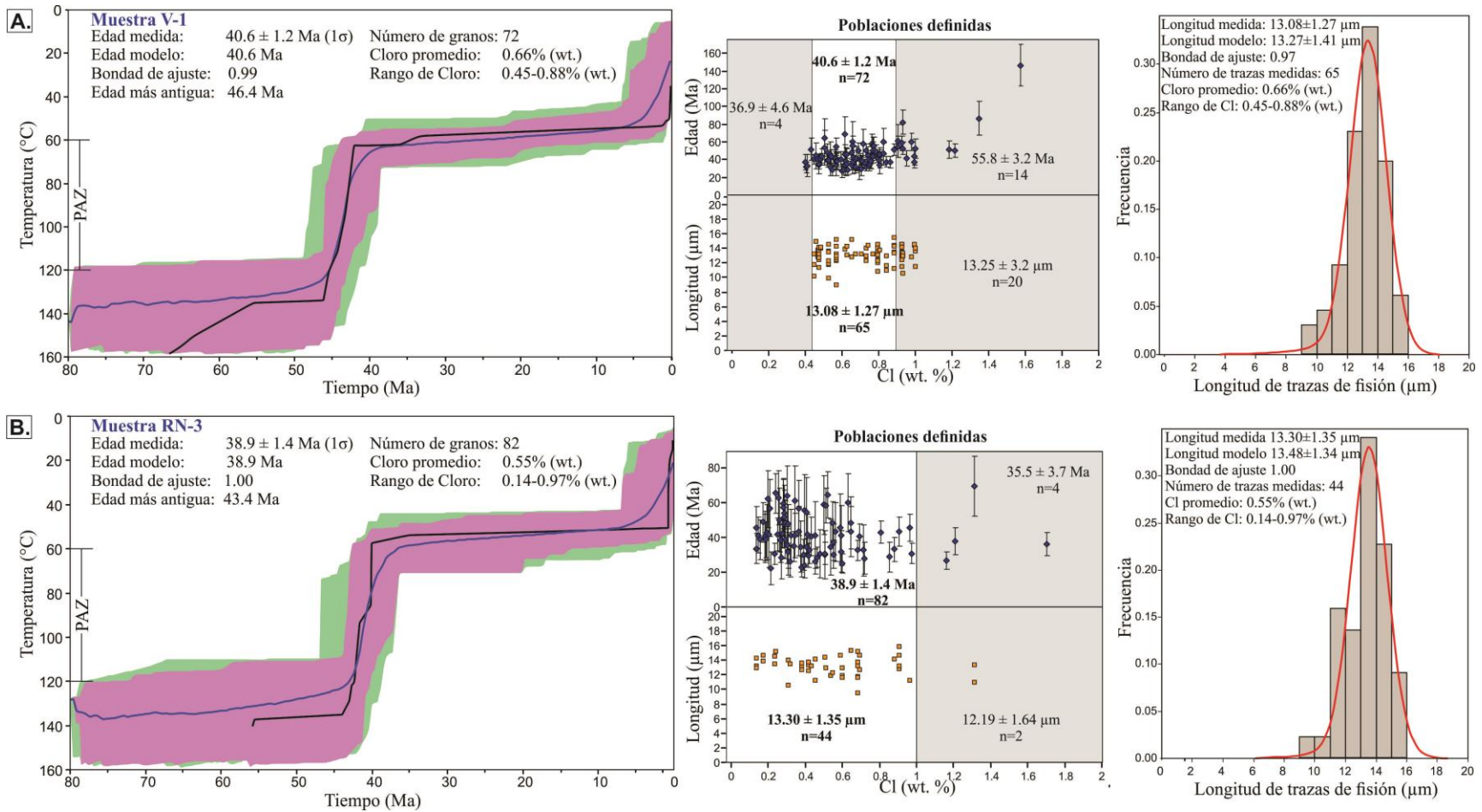


Figura 17. Modelos termales t-T basados en longitudes y edades de trazas de fisión de las muestras V-1 (A) y RN-3 (B) de la Formación Chivillas. La región de color morado corresponde a un ajuste bueno (a *good fit*, bondad de ajuste >0.5) de los pasos y la de color verde a un ajuste aceptable (*an acceptable fit*, bondad de ajuste >0.05). La línea de color azul indica el valor promedio de todos los pasos y la negra el ajuste estadístico más adecuado. Las poblaciones de edades y longitudes utilizadas en el modelo t-T se definieron con base en el contenido de Cl (wt.%), siendo de 0.45 a 0.88 (wt.%) para la muestra V-1 y de 0.0 a 1.0 (wt.%) para la muestra RN-3.

5.5 Procedencia detrítica de la Formación Chivillas

La Formación Chivillas está constituida por turbiditas siliciclásticas, depósitos volcanoclásticos y por rocas volcánicas que representan la acumulación de la cuenca Cuicateca durante el Cretácico Inferior (Mendoza-Rosales *et al.*, 2013). El análisis petrográfico y el contenido de minerales densos indican una procedencia de los complejos Oaxaqueño, Acatlán y Ayú y de rocas graníticas y volcánicas emplazadas en los terrenos Mixteco y Zapoteco.

Con base en la geocronología U-Pb en circones detríticos se identificaron seis componentes de edad, que van del Meso-Neoproterozoico hasta el Cretácico temprano. Estas componentes corresponden a edades que han sido reportadas en bloques de basamento, arcos magmáticos y sucesiones detríticas pre-cretácicas en el centro y sur de México. En el diagrama de escalamiento multidimensional (MDS; Figura 13) las muestras de la Formación Chivillas tienen como vecinas más cercanas a unidades del Jurásico-Cretácico temprano, unidades sedimentarias del Triásico y a las muestras de los complejos Acatlán y Macizo de Chiapas. Además, las muestras de la Formación Chivillas se localizan más cerca de las muestras sintéticas que representan al Complejo Oaxaqueño, al arco magmático del Carbonífero-Pérmico, al Orógeno Panafricano-Brasiliano y al arco magmático del Cretácico temprano, indicando que la Formación Chivillas posee como precursores a rocas con tales edades. Adicionalmente, los patrones de edad U-Pb en circón en las muestras de la Formación Chivillas son muy parecidos a los identificados en sucesiones detríticas triásicas de la parte mexicana de Norteamérica (Complejo El Chilar, Sierra de Catorce; e.g., Ortega-Flores *et al.*, 2014) y del Terreno Guerrero (Complejo Arteaga, Formación Zacatecas; Ortega-Flores, 2017 y trabajos referenciados allí) que se han asociado a los depósitos de los abanicos Potosino y Tolimán. Lo anterior sugiere que la Formación Chivillas puede estar constituida por dos sucesiones clásticas que representan contextos tectónicos de diferentes tiempos: una sucesión que podría correlacionarse con los depósitos del abanico Potosino de edad Triásica y la otra con una edad máxima de depósito del Barremiense-Aptiense.

La geocronología U-Pb en apatito y el comportamiento químico del Sr, Y, Σ REE y la anomalía de Eu (Eu/Eu^*) indican que los granos de apatito proceden de rocas metamórficas de alto grado de edad Meso-Neoproterozoico y de rocas ígneas de composición félsica a intermedia-máfica con edades Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano. Dado que en los estudios de procedencia sedimentaria, los apatitos se asocian a detritos del primer ciclo debido a su inestabilidad en aguas subterráneas ácidas y en sistemas de transporte sedimentario (Morton y Hallsworth, 1999; Chew, Sylvester y Tubrett, 2011) se considera que la fuente principal de procedencia de los apatitos detríticos del Meso-Neoproterozoico corresponden a las rocas metamórficas en facies de granulita del Complejo Oaxaqueño (y quizá subordinadamente a la Formación

Matzitzi) mientras que los apatitos de edad Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano procedan de las rocas ígneas que representan los arcos magmáticos desarrollados al occidente de Gondwana y en el margen pacífico de México respectivamente. El diagrama de componentes principales (PDA; figura 16) permitió evaluar las fuentes principales de procedencia al comparar el comportamiento químico de los apatitos de la Formación Chivillas con los de rocas del Complejo Oaxaqueño, de la riolita Sosola, del granito Etlá y de la Formación Matzitzi (esta última con rocas del Complejo Oaxaqueño como fuente de procedencia principal; Bedoya Mejía, 2018).

Las edades del Eoceno medio obtenidas por trazas de fisión en apatitos de la Formación Chivillas (muestras V-1 y RN-3) representan un evento tectónico postdeposicional, las cuales restringen al evento de deformación por acortamiento de la Orogenia Laramide e inversión de la cuenca Cuicateca a antes de ~42-40 Ma y probablemente representan las primeras etapas de extensión del Sistema Norte de la Falla Oaxaca.

5.5.1 Implicaciones paleogeográficas y tectónicas de la Formación Chivillas

La configuración tectónica del sur de México durante el Jurásico Medio y el Cretácico Inferior estuvo influenciada por los procesos asociados a las últimas etapas de la apertura del Golfo de México y por la subducción a lo largo del margen paleo-Pacífico de México (e.g. Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018). En este contexto se formaron cuencas sedimentarias en un régimen extensional. En el sur de México se desarrollaron las cuencas Zicapa, Tentzo, Zapotitlán y Cuicateca las cuales guardan el registro del entorno paleogeográfico del Cretácico Inferior (Mendoza-Rosales, 2010; Sierra-Rojas y Molina-Garza, 2014; Sierra-Rojas *et al.*, 2016). Estos eventos extensionales fueron seguidos por la acreción del Terreno Guerrero y el desarrollo de plataformas carbonatadas durante el Aptiense y Albiense (Sierra-Rojas *et al.*, 2016; Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018).

En la cuenca Cuicateca, la sedimentación de la Formación Chivillas estuvo acompañada por el emplazamiento de rocas volcánicas de composición máfica durante el Cretácico Inferior (Mendoza-Rosales, 2010; Sierra-Rojas *et al.*, 2016). El análisis de procedencia sedimentaria (petrografía y geocronología U-Pb en circón) indica que las fuentes de detritos corresponden a bloques de basamento, arcos volcánicos y sucesiones detríticas más antiguas (complejos Oaxaqueño, Acatlán, Ayú y Macizo de Chiapas, unidades sedimentarias paleozoicas y triásicas y cuerpos ígneos de edad Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano). Sin embargo, la geocronología U-Pb y el análisis geoquímico de apatitos detríticos, fase mineral que se considera representa detritos de primer ciclo, permitió restringir las principales fuentes detríticas a: el Complejo Oaxaqueño, las rocas ígneas que representan el arco volcánico del

Carbonífero-Pérmico y a las rocas ígneas asociadas a un arco magmático como Guerrero o Zicapa del Cretácico Inferior (Sierra-Rojas *et al.*, 2016; Ortega-Flores, 2017).

Muchos cuerpos ígneos de edad Carbonífero-Pérmico se encuentran emplazados dentro del Complejo Oaxaqueño, por lo que es probable que estas rocas en conjunto hayan actuado como un alto de basamento que experimentó denudación hacia la cuenca Cuicateca durante el Cretácico Inferior y que las rocas volcánicas del Cretácico temprano hayan sido rápidamente erosionadas y acumuladas simultáneamente con el relleno de la cuenca. (Figura 18).

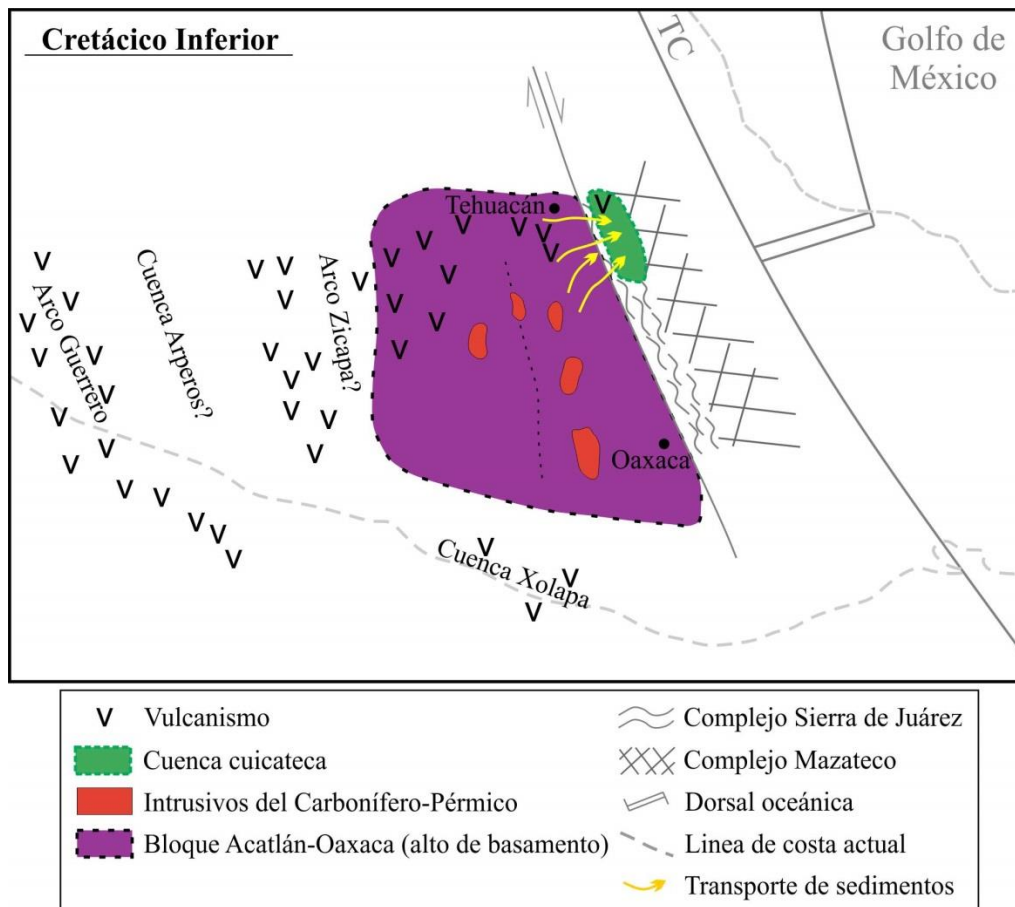


Figura 18. Esquema paleogeográfico del Cretácico Inferior durante el relleno de la cuenca Cuicateca. Con base en Pindell y Kennan, 2009; Talavera-Mendoza *et al.*, 2013; Ortega-Flores *et al.*, 2016; Sierra-Rojas *et al.*, 2016; Ortega-Flores, 2017; Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018. TC= Tamaulipas-Chiapas.

Para finales del Mesozoico la mayor parte de México experimentó un evento de deformación por acortamiento que se asocia a la Orogenia Laramide, el cual migró de oeste a este del continente (Cuéllar-Cárdenas *et al.*, 2012). En el sur de México el evento tomó lugar durante el Cretácico Superior en la Plataforma Guerrero-Morelos, antes del Bartonense en el bloque Acatlán-Oaxaca y finalizó en la cuenca de Veracruz en el Eoceno medio (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006). En la cuenca Cuicateca la Orogenia Laramide causó el desarrollo de cabalgaduras a escala regional en un

régimen frágil-dúctil y el levantamiento y yuxtaposición de las rocas de los complejos Mazateco y Sierra de Juárez/Teotitlán sobre la Formación Chivillas (que representan niveles estructurales diferentes; Figura 19A). En este contexto las edades de ~42 y 40 Ma obtenidas en las trazas de fisión en apatitos de las rocas de la Formación Chivillas limitan temporalmente la deformación compresiva hasta un intervalo anterior al Eoceno Medio en la cuenca Cuicateca.

Para el inicio del Cenozoico la invertida cuenca Cuicateca experimento un cambio en el régimen de deformación. A nivel regional el régimen de acortamiento fue sucedido por un movimiento de desplazamiento lateral con alargamiento al NW (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006) y es en este contexto que se desarrollaron las primeras etapas de extensión del Sistema Norte de la Falla Oaxaca con cinemática normal. La edad mínima de este evento extensional y por ende la formación del Valle de Tehuacán está marcada por la sedimentación de los lechos rojos Tilapa del Eoceno temprano-medio (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007; Figura 19). El progresivo hundimiento de la cuenca del Valle de Tehuacán y levantamiento de la Sierra Mazateca por la acción del Sistema Norte de la Falla Oaxaca (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007) es la responsable del enfriamiento a razón de 9.66 y 9.83 °C/m.a. y exhumación relativamente rápida (~330-320 m/m.a.) experimentado por las rocas de la Formación Chivillas entre ~46 y 37 Ma, pasando de una temperatura de ~120 a 60 °C en aproximadamente 9 m.a.

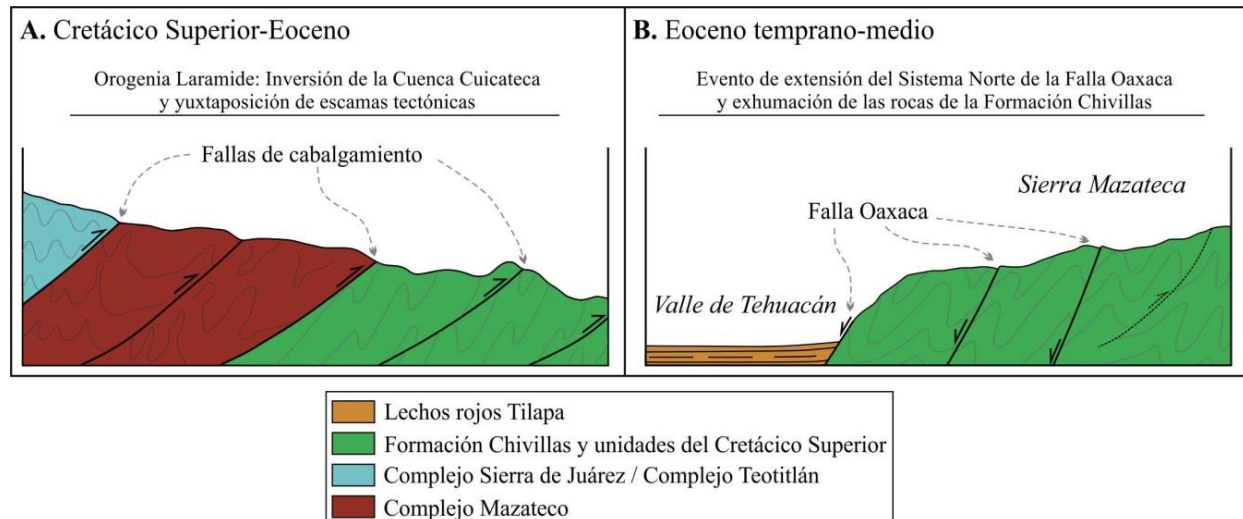


Figura 19. Secciones esquemáticas que representan los eventos tectónicos experimentados en la cuenca Cuicateca entre el Cretácico Superior y Eoceno medio. A. Acortamiento asociado a la Orogenia Laramide con la yuxtaposición de escamas tectónicas e inversión de la cueca. B. Extensión asociada al desarrollo del Sistema Norte de la Falla Oaxaca, hundimiento del Valle de Tehuacán, levantamiento de la Sierra Mazateca y exhumación de las rocas de la Formación Chivillas. Los cortes son aproximadamente perpendiculares a las estructuras regionales orientadas NNW-SSE. Con base en Angeles-Moreno, 2006; Dávalos Álvarez, 2006; Nieto-Samaniego *et al.*, 2006; Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007; Ángeles-Moreno *et al.*, 2012.

6. CONCLUSIONES

1. El análisis petrográfico de las rocas de la Formación Chivillas indica que estas experimentaron condiciones de alta diagénesis, llegando incluso a facies metamórficas de muy bajo grado. La procedencia de sedimentos y el contenido de minerales densos sugiere como fuentes probables a rocas metamórficas de alto y medio-bajo grado y rocas graníticas y volcánicas de composición félsica a intermedia-máfica.
2. La geocronología U-Pb en circones detríticos permitió identificar seis componentes de edad, entre el Meso-Neoproterozoico y el Cretácico Inferior, que han sido identificadas en bloques de basamento, arcos volcánicos y secuencias detríticas del centro y sur de México (complejos Oaxaqueño y Acatlán y su cubierta sedimentaria, rocas ígneas del Carbonífero-Pérmico que representan un arco magmático y rocas ígneas y volcanosedimentarias del Jurásico y Cretácico Inferior).
3. El escalamiento multidimensional de las edades detríticas en circón indica una mayor afinidad hacia las muestras sintéticas del Complejo Oaxaqueño, el Orógeno Panafricano-Brasiliano y del arco magmático Carbonífero-Pérmico y cierta disimilitud entre las propias muestras de la Formación Chivillas. Además, la similitud entre éstas y las que se asocian al sistema de depósito de los abanicos Potosino y Tolimán sugiere que comparten características genéticas o que las unidades más jóvenes son el resultado del reciclaje de las más antiguas.
4. La geocronología U-Pb y geoquímica en apatitos detríticos permitió identificar como las fuentes de procedencia principales, de las rocas de la Formación Chivillas, a las rocas metamórficas de alto grado del Complejo Oaxaqueño y a las rocas ígneas de composición félsica a intermedia-máfica que representan los arcos magmáticos desarrollados en el oeste de Gondwana y en el margen Pacífico de México durante el Carbonífero-Pérmico y Cretácico Inferior respectivamente. Esto con base en las edades del Meso-Neoproterozoico, Carbonífero-Pérmico y Cretácico temprano y del comportamiento geoquímico del Sr, Y, anomalía de Eu y contenido total de Tierras Raras de los apatitos analizados.
5. El análisis de componentes principales permitió comprobar y evaluar las fuentes principales de procedencia de los apatitos de la Formación Chivillas, al contrastar su comportamiento químico con los de los apatitos de las rocas del Complejo Oaxaqueño Norte, del granito ETLA y la Riolita Sosola. El comportamiento químico asociado a los apatitos de alto grado metamórfico se caracteriza por un alto contenido de Tierras Raras y anomalía negativa de Eu entre muy marcada a leve, mientras que el comportamiento de los granos asociados a rocas ígneas félsicas a

intermedias-máficas se identifica por un menor contenido de Tierras Raras y una anomalía de Eu entre positiva a negativa.

6. Las edades entre ~42 y 40 Ma obtenidas de trazas de fisión en apatitos restringen la actividad de deformación compresiva de la Orogenia Laramide hasta antes de ese tiempo en la Cuenca Cuicateca. El desarrollo de cabalgaduras a escala regional y la yuxtaposición de escamas tectónicas, que pusieron en contacto rocas de diferentes niveles estructurales, aportó la temperatura necesaria para resetear el sistema de trazas de fisión en los apatitos de las rocas de la Formación Chivillas. Los modelos de historia termal t-T indican que las rocas fueron exhumadas durante las primeras etapas de extensión del Sistema Norte de la Falla Oaxaca a razón de ~330 y 320 m/m.a., lo que llevo a los apatitos de una temperatura de ~120 °C a ~60 °C en aproximadamente 9 m.a.

REFERENCIAS

- Abdullin, F., Solé, J., Solari, L., Shchepetilnikova, V., Meneses-Rocha, N.P., Rodríguez-Trejo, A., 2016, Single-grain apatite geochemistry of Permian-Triassic granitoids and Mesozoic and Eocene sandstones from Chiapas, southeast Mexico: Implications for sediment provenance: *International Geology Review*, 58(9), 1132–1157 *et al.* (2016).
- Abdullin, F. Solari, L., Ortega-Obregón, C., Solé, J., 2018, New fission-track results from the northern Chiapas Massif area, SE Mexico: trying to reconstruct its complex thermo-tectonic history: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(1), 79–92.
- Alaniz-Alvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Ortega-Gutiérrez, F., 1994, Structural evolution of the Sierra de Juarez Mylonitic complex, State of Oaxaca, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(2), 147–156.
- Alaniz-Alvarez, S.A., van der Heyden, P., Nieto-Samaniego, A.F., Ortega-Gutierrez, F., 1996, Radiometric and kinematic evidence for Middle Jurassic strike-slip faulting in southern Mexico related to the opening of the Gulf of Mexico: *Geology*, 24(5), 443-446.
- Alzaga H., Pano A., 1989, Origen de la Formación Chivillas y presencia del Jurásico tardío en la región de Tehuacán. Puebla, México: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 21(1), 5–15.
- Ángeles-Moreno, E., 2006, Petrografía, geología estructural y geocronología del borde noroccidental del terreno Cuicateco, Sierra Mazateca, estado de Oaxaca, México: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 216 pp.
- Ángeles-Moreno, E., Elías-Herrera, M., Macías-Romo, C., Sánchez-Zavala, J.L., Ortega-Gutiérrez, F., 2012, Geological Map of the Western Border of Cuicateco Terrane, Southern Mexico: Geological Society of America, Map & Chart Series, MCH102.
- Barboza-Gudiño, J.R., Orozco-Esquivel, M., Gómez-Anguiano, M., Zavala-Monsiváis, A., 2008, The Early Mesozoic volcanic arc of western North America in northeastern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 25(1), 49–63.
- Barboza-Gudiño, J.R., Zavala-Monsiváis, A., Venegas-Rodríguez, G., Barajas-Nigoche, L.D., 2010, Late Triassic stratigraphy and facies from northeastern Mexico: Tectonic setting and provenance: *Geosphere* 6(5), 621–640.
- Bedoya Mejía, A., 2018, Análisis de procedencia y termocronología detrítica de las formaciones Matzitzi y Tianguistengo: implicaciones tectónicas en la evolución paleozoica-mesozoica del sur de México: Querétaro, México., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 221 pp.
- Belousova, E.A., Walters, S., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., 2001, Trace-element signatures of apatites in granitoids from the Mt Isa Inlier, northwestern Queensland: *Australian Journal of Earth Sciences*, 48(4), 603–619.
- Belousova, E.A., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., Fisher, N.I., 2002, Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: trace-element compositions and their relationship to host rock type: *Journal of Geochemical Exploration*, 76(1), 45–69.

Bernet, M., y Spiegel, C., (eds.), 2004, Detrital thermochronology-Provenance analysis, exhumation, and landscape evolution of mountain belts: Boulder, Colorado, Geological Society of America Today, 378, 129 pp.

Bingen, B., Demaiffe, D., Hertogen, J., 1996, Redistribution of rare earth elements, thorium, and uranium over accessory minerals in the course of amphibolite to granulite facies metamorphism: The role of apatite and monazite in orthogneisses from southwestern Norway: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(8), 1341–1354.

Campos-Madrugal, E., Centeno-García, E., Mendoza-Rosales, C.C, Silva-Romo, G., 2013, Sedimentología, reconstrucción paleoambiental y significado tectónico de las sucesiones clásticas del Jurásico Medio en el área de Texcalapa, Puebla - Huajuapán de León, Oaxaca: Revisión de las formaciones Ayuquila y Tecmazúchil: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(1), 24–50.

Carrapa, B., DeCelles, P.G., Reiners, P.W., Gehrels, G.E., Sudo, M., 2009, Apatite triple dating and white mica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of syntectonic detritus in the Central Andes: A multiphase tectonothermal history: *Geology*, 37(5), 407–410.

Carrasco, V., 1978, Estratigrafía de unas lavas almohadilladas y rocas sedimentarias del Cretácico Inferior en Tehuacán, Pue.: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 10(3), 78–82.

Casillas, R., Nagy, G., Pantó, G., Brändle, J., Fórizs, I., 1995, Occurrence of Th, U, Y, Zr, and REE-bearing accessory minerals in late-Variscan granitic rocks from the Sierra de Guadarrama (Spain): *European Journal of Mineralogy*, 7(4), 989–1006.

Cawood, P.A., Nemchin, A.A., Strachan, R., Prave, T., Krabbendam, M., 2007, Sedimentary basin and detrital zircon record along East Laurentia and Baltica during assembly and breakup of Rodinia: *Journal of the Geological Society*, 164(2), 257–275.

Centeno-García, E., Mendoza-Rosales, 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 Atlotitlán, Estado de Puebla: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(1), 18–36.

Chamberlain, K.R. y Bowring, S.A., 2001, Apatite–feldspar U–Pb thermochronometer: a reliable, mid-range (~450°C), diffusion-controlled system: *Chemical Geology*, 172(1–2), 173–200.

Chew, Sylvester, P.J., Tubrett, M.N., 2011, U–Pb and Th–Pb dating of apatite by LA-ICPMS: *Chemical Geology*, 280(1–2), 200–216.

Chew, D.M., Donelick, R.A., 2012, Combined apatite fission track and U–Pb dating by LA-ICP-MS and its application in apatite provenance analysis: St. John's NL, Mineralogical Association of Canada, Short Course 42 (May), 219–247.

Chew, D.M., Petrus, J.A., Kamber, B.S., 2014, U–Pb LA–ICPMS dating using accessory mineral standards with variable common Pb: *Chemical Geology*, 363, 185–199.

Cochrane, R., Spikings, R.A, Chew, D., Wotzlaw, J., Chiaradia, M., Tyrrell, S., Schaltegger, U., Van der Lelij, R., 2014, High temperature (>350 °C) thermochronology and mechanisms of Pb loss in apatite: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 127, 39–56.

Cordani, U.G., Teixeira, W., 2007, Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton, in Hatcher, T.D., Jr., Carlson, M.P., McBride, J.H., Martínez-Catalán, J.R. (eds.), *4-D Framework of Continental Crust: Geological Society of America Memoir* 200. 297–320.

Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O., Kinny, P., 2003, Atlas of Zircon Textures: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1), 469–500.

Cuéllar-Cárdenas, M.A., Nieto-Samaniego, A.F., Levresse, G., Alaniz-Álvarez, S.A., Solari, L., Ortega-Obregón, C., López-Martínez, M., 2012, Límites temporales de la deformación por acortamiento Laramide en el centro de México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), 179–203.

Dávalos Álvarez, O.G., 2006, Evolución tectónica cenozoica en la porción Norte de la Falla De Oaxaca: Querétaro, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de maestría, 133 pp.

Dávalos-Álvarez, O.G., Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Martínez-Hernández, E., Ramírez-Arriaga, E., 2007, Estratigrafía cenozoica de la región de Tehuacán y su relación con el sector norte de la falla de Oaxaca: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24(2), 197–215.

Dávalos-Elizondo, E., 2011, Análisis estructural del complejo vulcano-tectónico de Pinos, Zacatecas, México: Linares, Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 162 pp.

Dávila Alcocer, V.M., Centeno-García, E., Valencia, V., Fitz, E., 2009, Una nueva interpretación de la estratigrafía de la Región de Toluca, Estado de Querétaro: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(3), 491–497.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 2013, *An introduction to the rock-forming minerals: United Kingdom, London, The Mineralogical Society*, Third edit, 498 pp.

Delgado-Argote, L.A., 1988, Geología preliminar de la secuencia volcanosedimentaria y serpentinitas asociadas del Jurásico (?) del área de Cuicatlán-Concepción Pápalo, Oaxaca: *Revista del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 7(2), 125–127.

Delgado-Argote, L.A., López-Martínez, M., York, D., Hall, C.M., 1992, Geologic framework and geochronology of ultramafic complexes of southern Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(7), 1590–1604.

Dickinson, W. R., 1985, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones, in Zuffa, G.G. (ed.), *Provenance of Arenites: Dordrecht, Netherlands Springer*, 333–361.

Dickinson, W.R., Lawton, T.F., 2001, Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico: *Bulletin of the Geological Society of America*. 113(9), 1142-1160.

Donelick, R.A., O'Sullivan, P.B., Ketcham, R.A., 2005, Apatite Fission-Track Analysis: Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 58(1), 49–94.

El Korh, A., Schmidt, S.T., Ulianov, A., Potel, S., 2009, Trace Element Partitioning in HP–LT Metamorphic Assemblages during Subduction-related Metamorphism, Ile de Groix, France: a Detailed LA-ICPMS Study: *Journal of Petrology*, 50(6), 1107–1148.

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.

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, Conmemorativo del Centenario* (1), 83–109.

Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J.L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Iriondo, A., 2007, The Caltepec fault zone: Exposed roots of a long-lived tectonic boundary between two continental terranes of southern México, in Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F. (eds.), *Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México: Geological Society of America Special Paper 442*, 317–342.

Estrada-Carmona, J., Weber, Bodo., 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.

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.

Fleischer, R.L., Price, P.B., Walker, R.M., 1975, *Nuclear tracks in solids: principles and applications*: Berkeley, California, University of California Press, 626 pp.

Folk, R. L., 1980, *Petrology of sedimentary rocks*: Austin, Texas, Hemphill Publishing Company, 190 pp.

Galbraith, R. F., 1981, On statistical models for fission track counts: *Mathematical Geology*, 13(6), 471–478.

Galbraith, R.F., Green, P.F., 1990, Estimating the component ages in a finite mixture: *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 17(3), 197–206.

Galbraith, R.F., y Laslett, G.M., 1993, Statistical models for mixed fission track ages: *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 21(4), 459–470.

Gallagher, K., 1995, Evolving temperature histories from apatite fission-track data: *Earth and Planetary Science Letters*, 136, 421–435.

Garzanti, E., Vezzoli, G., 2003, A Classification of Metamorphic Grains in Sands Based on their Composition and Grade: *Journal of Sedimentary Research*, 73(5), 830–837.

Garzanti, E., 2016, From static to dynamic provenance analysis—Sedimentary petrology upgraded: *Sedimentary Geology*, 336, 3–13.

Gehrels, G., 2012, Detrital Zircon U-Pb Geochronology: Current Methods and New Opportunities, in Busby, C., Azor, A. (eds.), *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*: Chichester, UK, Blackwell Publishing Ltd, 45–62.

Gillespie, J., Glorie, S., Khudoley, A., Collins, A.S., 2018, Detrital apatite U-Pb and trace element analysis as a provenance tool: Insights from the Yenisey Ridge (Siberia): *Lithos.* 314–315, 140–155.

Gillis, R.J., Gehrels, G.E., Ruiz, J., Flores de Dios González, L.A., 2005, Detrital zircon provenance of Cambrian–Ordovician and Carboniferous strata of the Oaxaca terrane, southern Mexico: *Sedimentary Geology*, 182, 87–100.

Gleadow, A.J.W., Duddy, I.R., Green, P.F., Hegarty, K.A., 1986, Fission track lengths in the apatite annealing zone and the interpretation of mixed ages: *Earth and Planetary Science Letters*, 78, 245–254.

Gleadow, A.J.W., Duddy, I.R., Green, P.F., Lovering, J.F., 1986, Confined fission track lengths in apatite: a diagnostic tool for thermal history analysis: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 94(4), 405–415.

Godinez-Urban, A., Lawton, T.F., Molina-Garza, R.S., Iriondo, A., Weber, B., López-Martínez, M., 2011, Jurassic volcanic and sedimentary rocks of the La Silla and Todos Santos Formations, Chiapas: Record of Nazas arc magmatism and rift-basin formation prior to opening of the Gulf of Mexico: *Geosphere*, 7(1), 121–144.

Green, P.F., Duddy, I.R., Gleadow, A.J.W., Tingate, P.R., Laslett, G.M., 1986, Thermal annealing of fission tracks in apatite 1. A qualitative description: *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, 59, 237–253.

Harrison, M.T., 1982, Diffusion of ^{40}Ar in hornblende: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 78(3), 324–331.

Hasebe, N., Barbarand, J., Jarvis, K., Carter, A., Hurford, A.J., 2004, Apatite fission-track chronometry using laser ablation ICP-MS: *Chemical Geology*, 207, 135–145.

Helbig, M., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Solari, L.A., 2012, U-Pb geochronological constraints on the Triassic-Jurassic Ayú Complex, southern Mexico: Derivation from the western margin of Pangea-A: *Gondwana Research*, 22, 910–927.

Henrichs, I.A., O’Sullivan, G., Chew, D.M., Mark, C., Babechuk, M.G., McKenna, C., Emo, R., 2018, The trace element and U-Pb systematics of metamorphic apatite: *Chemical Geology*, 483, 218–238.

Holden, N.E., Hoffman, D.C., 2000, Spontaneous fission half-lives for ground-state nuclide (Technical report): *Pure and Applied Chemistry*, 72(8), 1525–1562.

Hsieh, P.-S., Chen, C.-H., Yang, H.-J., Lee, C.-Y., 2008, Petrogenesis of the Nanling Mountains granites from South China: Constraints from systematic apatite geochemistry and whole-rock geochemical and Sr–Nd isotope compositions: *Journal of Asian Earth Sciences*, 33, 428–451.

Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J., Sares, S.W., 1984, The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method: *Journal of Sedimentary Research*, 54(1), 103–116.

Jafarzadeh, M., Harami, R.H., Friis, H., Amini, A., Mahboubi, A., Lenaz, D., 2014, Provenance of the Oligocene–Miocene Zivah Formation, NW Iran, assessed using heavy mineral assemblage and detrital clinopyroxene and detrital apatite analyses: *Journal of African Earth Sciences*, 89, 56–71.

Jennings, E.S., Marschall, H.R., Hawkesworth, C.J., Storey, C.D., 2011: Characterization of magma from inclusions in zircon: Apatite and biotite work well, feldspar less so: *Geology*, 39(9), 863–866.

Juárez Zúñiga, S., 2019, Análisis de los conglomerados de la Formación Matzitzi, sur de México implicaciones para la evolución del Paleozoico: Querétaro, México, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 119 pp.

Keppie, J. D., Dostal, J., Ortega-Gutiérrez, F., López, R., 2001, A Grenvillian arc on the margin of Amazonia: Evidence from the southern Oaxacan Complex, southern Mexico: *Precambrian Research*, 112, 165–181.

Keppie, J.D., Solari, L.A., Ortega-Gutiérrez, F., Ortega-Rivera, A., Lee, J.K.W., López, R., Hames, W.E., 2004, U-Pb and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ constraints on the cooling history of the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: Tectonic implications, in Tollo, R.P., Corriveau, L., McLelland, J., Bartholomew, M.J., (eds.), *Proterozoic Tectonic Evolution of the Grenville Orogen in North America: Boulder, Colorado*, Geological Society of America, 771–781.

Keppie, J.D., Nance, R.D., Fernández-Suárez, J.F., 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.

Keppie, J.D., Dostal, J., Murphy, J.B., Nance, R.D., 2008, 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.

Ketcham, R.A., Donelick, R.A., Carlson, W.D., 1999, Variability of apatite fission-track annealing kinetics; III, Extrapolation to geological time scales: *American Mineralogist*, 84(9), 1235–1255.

Ketcham, R.A., 2005, Forward and Inverse Modeling of Low-Temperature Thermochronometry Data: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 58(1), 275–314.

Ketcham, R.A., Carter, A., Donelick, R.A., Barbarand, J., Hurford, A., 2007, Improved modeling of fission-track annealing in apatite: *American Mineralogist*, 92, 799–810.

Kirkland, C.L., Yakymchuk, C., Szilas, K., Evans, N., Hollis, J., McDonald, B., Gardiner, N.J., 2018, Apatite: a U-Pb thermochronometer or geochronometer?: *Lithos*, 318–319, 143–157.

Kirsch, M., 2012, Estudio de la geoquímica, la estructura y el metamorfismo en el este del Complejo Acatlán: implicaciones tectónicas y paleogeográficas: Querétaro, México, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 164 pp.

Kirsch, M., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Solari, L.A., 2012, Permian-Carboniferous arc magmatism and basin evolution along the western margin of Pangea: Geochemical and geochronological evidence from the eastern Acatlan Complex, southern Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 124(9–10), 1607–1628.

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

Lesnov, F.P., 2012, Rare Earth Elements in Ultramafic and Mafic Rocks and their Minerals, Minor and accessory minerals: London, UK, Taylor and Francis Group, 314 pp.

Liu, Z., Wang, J., Zheng, D., Liu, J., Fu., C., 2010, Exploration prospect and post-ore denudation in the northwestern Jiaodong Gold Province, China: Evidence from apatite fission track themochronology: *Acta Petrologica Sinica*, 26(12), 3597–3611.

Ludwig, K.R., 1998, On the Treatment of Concordant Uranium-Lead Ages: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(4), 665–676.

Malusà, M.G., Fitzgerald, P.G., 2019, Application of Thermochronology to Geologic Problems: Bedrock and Detrital Approaches, in Malusà, M.G., Fitzgerald, P.G., (eds.), *Fission-Track Thermochronology and its Application to Geology*: Springer International Publishing, 191-209.

Mange, M.A., Maurer, H.F.W., 1992, *Heavy Minerals in Colour*: Springer Dordrecht, 151 pp.

Mark, C., Cogné, N., Chew, D., 2016, Tracking exhumation and drainage divide migration of the Western Alps: A test of the apatite U-Pb thermochronometer as a detrital provenance tool: *Geological Society of America Bulletin*, 128(9–10), 1439–1460.

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: *Geological Society of America Bulletin*, 122(5–6), 815–829.

Martini, M., Ferrari, L., López-Martínez, M., Cerca-Martínez, M., Valencia, V.A., Serrano-Durán, L., 2009, Cretaceous-Eocene magmatism and Laramide deformation in southwestern Mexico: No role for terrane accretion, in Kay, S.M., Ramos, V.A., Dickinson, W.R. (eds.), *Backbone of Americas: Shallow, Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and errane Collision*: *Geological Society of America Memoirs* 204, 151–182.

Martini, M., Mori, L., Solari., L., Centeno-García, E., 2011, Sandstone Provenance of the Arperos Basin (Sierra de Guanajuato, Central Mexico): Late Jurassic-Early Cretaceous Back-Arc Spreading as the Foundation of the Guerrero Terrane: *The Journal of Geology*, 119, 597–617.

Martini, M. y Ortega-Gutiérrez, F., 2018, Tectono-stratigraphic evolution of eastern Mexico during the break-up of Pangea: A review: *Earth-Science Reviews*, 183, 38–55.

Martini, M., Solari, L., López-Martínez, M., 2014, Correlating the arperos basin from Guanajuato, central Mexico, to Santo Tomás, southern Mexico: Implications for the paleogeography and origin of the Guerrero terrane: *Geosphere*, 10(6), 1385–1401.

McDonough, W.F., y Sun, S.S., 1995, Composition of the Earth: *Chemical Geology*, 120(3-4), 223-253.

McDowell, F.W., McIntosh, W.C., Farley, K.A., 2005, A precise ^{40}Ar – ^{39}Ar reference age for the Durango apatite (U–Th)/He and fission-track dating standard: *Chemical Geology*, 214, 249–263.

Mendoza-Rosales, C.C., 2010, Estratigrafía y facies de las cuencas cretácicas de sur de Puebla y su significado tectónico: Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 208 pp.

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

Mendoza-Rosales, C.C., Silva-Romo, G., Centeno-García, E., Campos-Madrigal, E., Rodríguez-Otero, M., 2013, La Formación Chivillas en Tehuacán, Puebla, México: Definición, análisis de facies y procedencia: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3), 457–480.

Moran-Zenteno, D.J., Caballero-Miranda, C.I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., Golzález-Torres, E., 1993, Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern México: *Geofísica Internacional*, 32(3), 453–473.

Morton, A., y Hallsworth, C., 1999, Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones: *Sedimentary Geology* 124, 3–29.

Morton, A., y Yaxley, G., 2007, Detrital apatite geochemistry and its application in provenance studies, in Arribas, J., Critelli, S., Johnsson, M.J. (eds.), *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry: Geological Society of America Special Paper 420*, 319–344.

Murillo-Muñeton, G., 1996, Petrologic and geochronologic study of Grenville-age granulites and post-granulite plutons from the La Mixtequita area, state of Oaxaca in southern Mexico, and their tectonic significance: California, Faculty of the Graduate School University of Southern California, tesis doctoral, 186 pp.

Nash, W.P., 1984, Phosphate Minerals in Terrestrial Igneous and Metamorphic Rocks, in Nriagu, J.O., Moore, P.B., *Phosphate Minerals: Berlin, Heidelberg, Springer*, 215–241.

Nieto-Samaniego, Á.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Silva-Romo, G., Eguiza-Castro, M.H., Mendoza-Rosales, C.C., 2006, Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, Mexico, inferred from the geometry and age of major structures: *Bulletin of the Geological Society of America*, 118(1–2), 238–252.

Nieto-Samaniego, Á.F., Alaniz-Álvarez, S. A., Ortega-Gutiérrez, F., 1995, Estructura interna de la Falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad Cenozoica: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 12(1), 1-8.

O'Sullivan, G.J., Chew, D.M., Morton, A.C., Mark, C., Henrichs, I.A., 2018, An Integrated Apatite Geochronology and Geochemistry Tool for Sedimentary Provenance Analysis: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19, 1–18.

Ortega-Flores, B., Solari, L., Lawton, T.F., Ortega-Obregón, C., 2014, Detrital-zircon record of major Middle Triassic-Early Cretaceous provenance shift, central Mexico: demise of Gondwanan continental fluvial systems and onset of back-arc volcanism and sedimentation: *International Geology Review*, 56(2), 237–261.

Ortega-Flores, B., Soalri, L., Escalona-Alcázar, F., 2016, The Mesozoic successions of western Sierra de Zacatecas, Central Mexico: provenance and tectonic implications: *Geological Magazine*, 153(4), 696–717.

Ortega-Flores, B., 2017, Caracterización del límite este del Terreno Guerrero mediante isotopía de Hf y geocronología U-Pb en circones detríticos: Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 255 pp.

Ortega-Gutiérrez, F., 1977, Los marmoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño: *Revista del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México* 1(1), 28–32.

Ortega-Gutiérrez, F., 1978, Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, estados de Puebla y Oaxaca: *Revista del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 2, 112–131.

Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno-García, E., 1995, Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic: *Geology*, 23(12), 1127-1130.

Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macías-Romo, C., López, R., 1999, Late Ordovician–Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections: *Geology*, 27(8), 719-722.

Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Morán-Zenteno, D.J., Solari, L., Weber, B., Luna-González, L., 2018, The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution: *Earth-Science Reviews*, 183, 2–37.

Ortega-Obregon, C., Solari, L.A., Keppie, J.D., Ortega-Gutiérrez, F., Solé, J., Morán-Ical, S., 2008, Middle-Late Ordovician magmatism and Late Cretaceous collision in the southern Maya block, Rabinal-Salama area, central Guatemala: Implications for North America-Caribbean plate tectonics: *Geological Society of America Bulletin*, 120(5–6), 556–570.

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 reconstructions: *Geological Society of America Bulletin*, 121(11–12), 1678–1694.

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*, 103(5), 1287–1300.

Ortega-Obregón, C., Abdullin, F., Solari, L., Schaaf, P., Solís-Pichardo, G., 2019, Apatite U–Pb dating at UNAM laboratories: analytical protocols and examples of its application: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(1), 27–37.

Pan, L.-C., Hu, R.-Z., Wang, X.-S., Bi, X.-W., Zhu, J.-J., Li, C., 2016, Apatite trace element and halogen compositions as petrogenetic-metallogenic indicators: Examples from four granite plutons in the Sanjiang region, SW China, *Lithos*, 254–255, 118–130.

Pan, Y., y Fleet, M.E., 2002, Compositions of the Apatite-Group Minerals: Substitution Mechanisms and Controlling Factors: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48(1), 13–49.

Pano, A., 1973, Estudio geológico de detalle estratigráfico de las áreas Sierra de Chivillas, Sierra de Miahuatpec, Los Reyes Metzontla, Pue. y San Sebastián Frontera, Oax. del Prospecto Tehuacán: IGPR 107 Petróleos Mexicanos (inédito).

Paton, C., Woodhead, J.D., Hellstrom, J.C., Hergt, J.M., Greig, A., Maas, R., 2010, Improved laser ablation U–Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3), 1–36.

Paul, T., y Fitzgerald, P., 1992, Transmission electron microscopic investigation of fission tracks in fluorapatite: *American Mineralogist*, 77, 336–344.

Pérez-Gutiérrez, R., Solari, L.A., Gómez-Tuena, A., Valencia, V.A., 2009, El terreno Cuicateco: ¿cuenca oceánica con influencia de subducción del Cretácico Superior en el sur de México? Nuevos datos estructurales, geoquímicos: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(1), 222–242.

Petrus, J.A., Kamber, B.S., 2012, VizualAge: A Novel Approach to Laser Ablation ICP-MS U–Pb Geochronology Data Reduction: *Geostandards and Geoanalytical Research*, 36(3), pp. 247–270.

Philander, C., Rozendaal, A., 2015, Detrital zircon geochemistry and U–Pb geochronology as an indicator of provenance of the Namakwa Sands heavy mineral deposit, west coast of South Africa: *Sedimentary Geology*, 328, 1–16.

Piccoli, P.M., Candela, P.A., 2002, Apatite in Igneous Systems: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48(1), 255–292.

Pindell, J.L., y Kennan, L., 2009, Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update, in James, K.H., Lorente, M.A., Pindell, J.L. (eds.), *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate*: London, Geological Society, London, Special Publications, 1–55.

Rino, S., Kon, Y., Sato, W., Maruyama, S., Santosh, M., Zhao, D., 2008, The Grenvillian and Pan-African orogens: World's largest orogenies through geologic time, and their implications on the origin of superplume: *Gondwana Research*, 14, 51–72.

Roeder, P.L., MacArthur, D., Ma, X.-P., Palmer, G.R., 1987, Cathodoluminescence and microprobe study of rare-earth elements in apatite: *American Mineralogist*, 72, 801-811.

Ronsbo, J.G., 1989, Coupled substitutions involving REEs and Na and Si in apatites in alkaline rocks from the Ilimaussaq intrusion, South Greenland, and the petrological implications: *American Mineralogist*, 74, 896–901.

Schaaf, P., Weber, B., Weis, P., Groß, A., Ortega-Gutiérrez, F., Köhler, H., 2002, The Chiapas Massif (Mexico) revised: New geologic and isotopic data and basement characteristics: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung*, 225(1), 1–23.

Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R.C., 1993, Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 278, 153 pp.

Sha, L.-K., Chappell, B.W., 1999, Apatite chemical composition, determined by electron microprobe and laser-ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, as a probe into granite petrogenesis: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(22), 3861–3881.

Sierra-Rojas, M.I., 2018, Ambiente tectónico del margen occidental del Oaxaquia en el Cretácico inferior y su relación con la geodinámica regional: Querétado, México, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 125 pp.

Sierra-Rojas, M.I., Molina-Garza, R.S., 2014, La formación Zicapa del sur de México: Revisión estratigráfica, sedimentología y ambientes sedimentarios: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 31(2), 174–189.

Sierra-Rojas, M.I., Molina-Garza, R.S., Lawton, T.F., 2016, The Lower Cretaceous Atzompa Formation in South-Central Mexico: Record of Evolution From Extensional Backarc Basin Margin To Carbonate Platform: *Journal of Sedimentary Research*, 86, 712–733.

da Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R., 2005, The neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens: *Precambrian Research*. 36, 203–240.

Simonetti, A., Heaman, L.M., Chacko, T., Banerjee, N.R., 2006, In situ petrographic thin section U–Pb dating of zircon, monazite, and titanite using laser ablation–MC–ICP–MS: *International Journal of Mass Spectrometry* 253, 87–97.

Solari, L.A., Dostal, J., Ortega-Gutiérrez, F., Keppie, D., 2001, The 275 Ma arc-related La Carbonera stock in the northern Oaxacan Complex of southern Mexico: U–Pb geochronology and geochemistry: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18(2), 149–161.

Solari, L.A., Keppie, J.D., Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K.L., López, 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, 257–282.

Solari, L.A., Torres de León, R., Hernández Pineda, G., Solé, J., Solís-Pichardo, G., Hernández-Treviño, T., 2007, Tectonic significance of Cretaceous-Tertiary magmatic and structural evolution of the northern margin of the Xolapa Complex, Tierra Colorada area, southern Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 119 (9–10), 1265–1279.

Solari, L.A., Gómez-Tuena, A., Bernal, J.P., Pérez-Arvizu, O., Tanner, M., 2010, U-Pb Zircon Geochronology with an Integrated LA-ICP-MS Microanalytical Workstation: Achievements in Precision and Accuracy: *Geostandards and Geoanalytical Research*, 34(1), 5–18.

Solari, L.A., Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Gómez-Tuena, A., Schaaf, P., 2010, Refining the age of magmatism in the Altos Cuchumatanes, western Guatemala, by LA-ICPMS, and tectonic implications: *International Geology Review*, 52(9), 977–998.

Spear, F.S., Pyle, J.M., 2002, Apatite, Monazite, and Xenotime in Metamorphic Rocks: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48(1), 293–335.

Spencer, C.J., Kirkland, C.L., 2016, Visualizing the sedimentary response through the orogenic cycle: A multidimensional scaling approach: *Lithosphere*, 8(1), 29–37.

Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model: *Earth and Planetary Science Letters*, 26(2), 207–221.

Stern, R.J., Dickinson, W.R., 2010, The Gulf of Mexico is a Jurassic backarc basin: *Geosphere*, 6(6), 739–754.

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: 235, 682–699.

Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Corono-Chavez, P., Gehrels, G.E., Sarmiento-Villagrana, A., García-Cíaz, J.L., Salgado-Souto, S.A., 2013, Origin and provenance of basement metasedimentary rocks from the Xolapa Complex: New constraints on the Chortis–southern Mexico connection: *Earth and Planetary Science Letters*, 369–370, 188–199.

Tang, M., Wang, X.-L., Xu, X.-S., Zhu, C., Cheng, T., Yu, Y., 2012, Neoproterozoic subducted materials in the generation of Mesozoic Luzong volcanic rocks: Evidence from apatite geochemistry and Hf–Nd isotopic decoupling: *Gondwana Research* 21(1), 266–280.

Tera, F., Wasserburg, G.J., 1972, U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks: *Earth and Planetary Science Letters*, 14(3), 281–304.

Thomson, S.N., Gehrels, G.E., Ruiz, J., 2012, Routine low-damage apatite U-Pb dating using laser ablation-multicollector-ICPMS: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(1), 1–23.

Tohver, E., Bettencourt, J.S., Tosdal, R., Mezger, K., Leite, W.B., Poyolla, B.L., 2004, Terrane transfer during the Grenville orogeny: tracing the Amazonian ancestry of southern Appalachian basement through Pb and Nd isotopes: *Earth and Planetary Science Letters*, 228, 161–176.

Toriz, G.J., 1984, Informe geológico de actualización geológica del Prospecto Chapulco-Atzompa: México: IGPR 237, Petróleos Mexicanos, inédito.

Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P.J., Grajales, J.M., 1999, Permo-Triassic continental arc in eastern Mexico: Tectonic implications for reconstructions of southern North America, in Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (eds.), Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America en Special Paper 340, 191–196.

Vega-Granillo, R., Talavera-Mendoza, O., Meza-Figueroa, D., Ruiz, J., Gehresl, G.E., López-Martínez, M., de la Cruz-Vargas, L.C., 2007, Pressure-temperature-time evolution of Paleozoic high-pressure rocks of the Acatlan Complex (southern Mexico): Implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: Geological Society of America Bulletin, 119(9–10), 1249–1264.

Vermeesch, P., 2009, RadialPlotter: A Java application for fission track, luminescence and other radial plots: Radiation Measurements, 44(4), 409–410.

Vermeesch, P., 2012, On the visualisation of detrital age distributions: Chemical Geology, 312–313, 190–194.

Vermeesch, P., 2013, Multi-sample comparison of detrital age distributions: Chemical Geology, 341, 140–146.

Vermeesch, P., 2018, IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology: Geoscience Frontiers, 9(5), 1479–1493.

Wagner, G.A., 1968, Fission track dating of apatites: Earth and Planetary Science Letters, 4(5), 411–415.

Wagner, G.A., y Reimer, G.M., 1972, Fission track tectonics: The tectonic interpretation of fission track apatite ages: Earth and Planetary Science Letters, 14(2), 263–268.

Wagner, G.A., y Van den Haute, P., 1992, Fission-Track Dating: Dordrecht, Springer Netherlands, 299 pp.

Weber, B., y Kohler, H., 1999, Sm–Nd, Rb–Sr and U–Pb geochronology of a Grenville Terrane in Southern Mexico: origin and geologic history of the Guichicovi Complex: Precambrian Research, 96, 245–262.

Weber, B., Iriondo, A., Premo, W.R., Hecht, L., Schaaf, P., 2007, New insights into the history and origin of the southern Maya block, SE Mexico: U–Pb–SHRIMP zircon geochronology from metamorphic rocks of the Chiapas massif: International Journal of Earth Sciences, 96(2), 253–269.

Weber, B., Valencia, V.A., Schaaf, P., Pompa-Mera, V., Ruiz, 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-Gondwanan Realm: The Journal of Geology, 116(6), 619–639.

Weber, B., y 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.

Williams, I.S., 1998, U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe, in McKibben, M.A., Shanks III, W.C, Ridley, W.I. (eds.), *Aplications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes: Reviews in Economic Geology*, 1-35.

Yan, Y., Lin, G., Wang, Y.-J., Guo, F., Li, Z.-A., Li, X.-M., Zhao, C., 2003, Apatite fission track age of Mesozoic sandstones from Beipiao basin, eastern China: Implications for basin provenance and tectonic evolution: *Geochemical Journal*, 37(3), 377–389.

Yoshioka, T., Tsuruta, T., Iwano, H., Danhara, T., 2005, Spontaneous fission decay constant of ^{238}U determined by SSNTD method using CR-39 and DAP plates: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 555(1–2), 386–395.

Anexo 1. Descripción petrográfica de muestras

MUESTRA LS-2

I. PARÁMETROS TEXTURALES

1. Forma de los granos: Angulares a subangulares	2. Tamaño de los granos: Entre ~1.5 mm y ~0.2 mm
3. Grado de selección: Pobrementemente seleccionada	4. Contacto entre granos: Suturados y cóncavo-convexos

II. COMPOSICIÓN

1. Matriz/Pseudomatriz: <ul style="list-style-type: none"> • Pseudomatriz constituida por granos de feldespato completamente alterados a arcillas y sericita, plagioclasas fracturadas y moscovitas con diferentes grados de alteración. Muchos granos se encuentran totalmente cubiertos por sericita. En algunos sectores hay cristales microlíticos de sericita bien desarrollados y sin deformación. 	
2. Cemento: <ul style="list-style-type: none"> • Cemento primario de illita que bordea a muchos granos del armazón. • Cemento secundario de calcita rellenando espacios y reemplazando a algunos componentes del armazón (feldespatos y cuarzo). En algunos sectores la textura de este cemento es poiquilotópico. 	
3. Componentes del armazón: <ul style="list-style-type: none"> • Cuarzo monocristalino, se encuentra con extinción recta y ondulatorio. Algunos granos presentan crecimiento sintaxial. • Cuarzo policristalino foliado y no foliado en mosaico poligonal, ambos con extinción ondulante. • Plagioclasas con macla polisintética y diferentes grados de alteración (sericita) y sustitución (calcita). • Feldespatos (microclina) casi totalmente alterados a agregados de sericita-arcillas y reemplazados por calcita. • Líticos volcánicos felsíticos microcristalinos, algunos con microfenocristales de cuarzo. • Líticos volcánicos lathwork. • Líticos volcánicos vítreos parcialmente alterado a minerales opacos. • Líticos de arenisca constituidos por granos de cuarzo y cemento de hematita- sericita. • Líticos mirmequíticos. • Líticos metamórficos de cuarzo-moscovita (líticos metamórficos Lmf3 de la clasificación de (Garzanti y Vezzoli, 2003)). 	
4. Minerales accesorios (<1%)	
<ul style="list-style-type: none"> • Circón • Apatitos • Titanita • Opacos 	<ul style="list-style-type: none"> • Turmalina • Moscovita • Granate • Hematita

Porcentaje de componentes del armazón y valores normalizados de Qt-F-L para clasificación de la roca (conteo de 476 puntos)

Qm	Qp	P	K	Lvf	Lvl	Lvv	Lsa	Lm	Qt	F	L
60.2	12.6	9.6	6.9	4.8	1.5	1	1.5	1.7	72.8	16.5	10.5

III. ALTERACIÓN-FRAGMENTACIÓN-DEFORMACIÓN

Los contactos suturados y cóncavo-convexos entre granos, la deformación de moscovitas y plagioclasas, la presencia de pseudomatriz, la precipitación de cemento sintaxial de cuarzo y de calcita que rellena poros, además del desarrollo de cristales de sericita no deformados indican que el grado de diagénesis experimentado por la roca es muy alto.

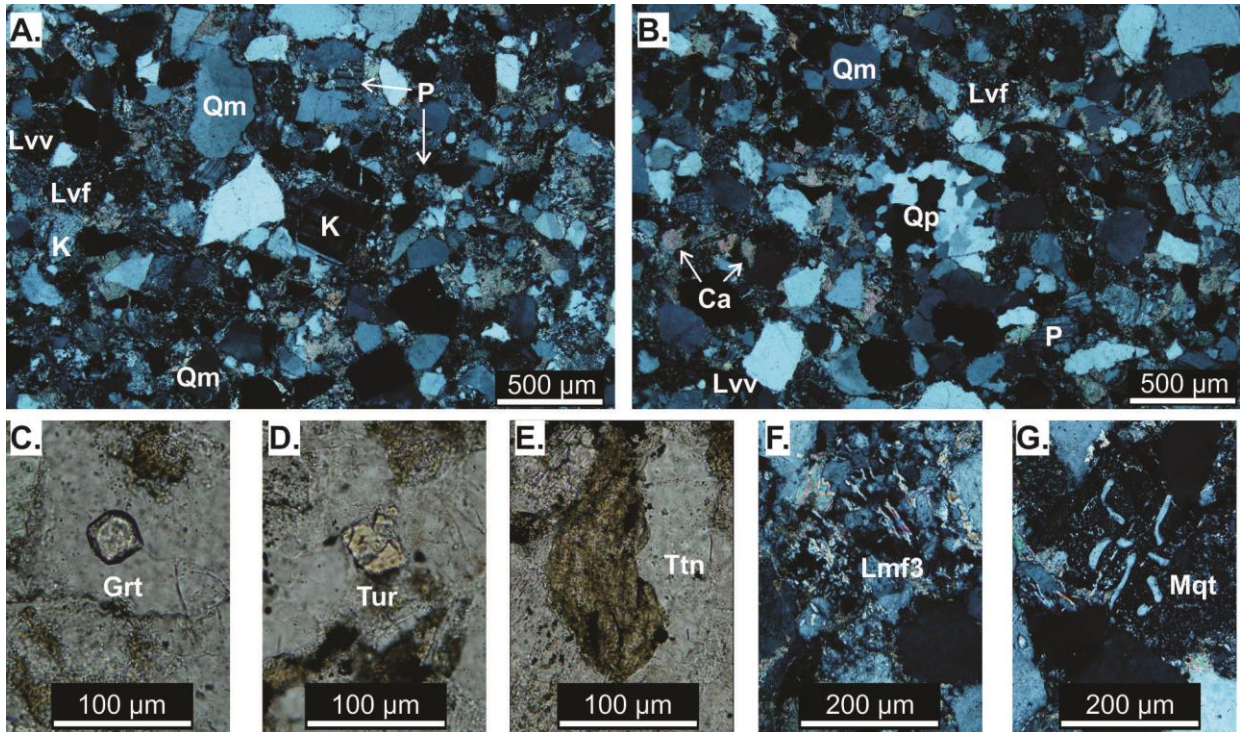
IV. PROVENIENCIA

Descripción	Probable fuente de sedimentos
Cuarzo policristalino no foliado	Rocas metamórficas y plutónicas
Cuarzo policristalino foliado	Rocas metamórficas de alto grado
Líticos volcánicos <i>lathwork</i>	Rocas intermedias a basálticas
Líticos volcánicos vítreos	Rocas félsicas
Líticos volcánicos felsíticos	Rocas félsicas
Líticos mirmequíticos	Rocas metamórficas de alto grado y granitos
Líticos metamórficos (Lmf3)	Rocas metamórficas de medio grado

V. NOMBRE DE LA ROCA

- Arenisca litofeldespató-cuarzosa (Garzanti, 2016)
- Arenisca arcosa lítica (Folk, 1980)

VI. MICROFOTOGRAFÍAS



Microfotografías con los objetivos 4x (A., B.), 20x (C., D., E.) y 10x (F., G.) de la muestra 250618-2. Arenisca pobremente seleccionada con tamaño de grano entre fino a muy grueso. **A.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino con contactos suturados, plagioclasas y feldespatos potásicos con alteración a sericita, líticos volcánicos felsíticos y vítreos. Los componentes del armazón están cementados por calcita. **B.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino y policristalino, plagioclasa con macla polisintética con alteración a sericita, líticos volcánicos felsíticos y vítreos. Los componentes del armazón están cementados por calcita. **C.** Luz polarizada plana, cristal de granate subhedral. **D.** Luz polarizada plana, cristal de turmalina fracturado. **E.** Luz polarizada, cristal de titanita subhedral. **F.** Luz polarizada plana, lítico metamórfico de cuarzo-moscovita con esquistosidad (Lmf3). **G.** Luz polarizada cruzada, lítico mirmequítico. Símbolos: Qm, cuarzo monocristalino; Qp, cuarzo policristalino; P, plagioclasas; K, feldespatos alcalinos; Ca, calcita; Lvf, lítico volcánico felsítico; Lvv, lítico volcánico vítreo; Grt, granate; Tur, turmalina; Ttn, titanita; Mqt, mirmequita.

MUESTRA LS-3

I. PARÁMETROS TEXTURALES

1. Forma de los granos Subangular a subredondeado	2. Tamaño de los granos Entre ~0.33 mm y ~0.1 mm
3. Grado de selección Pobremente seleccionada	4. Contacto entre granos Largos, cóncavo-convexos y suturados

II. COMPOSICIÓN

1. Matriz/Pseudomatriz: <ul style="list-style-type: none"> • Pseudomatriz constituida de sericita y arcillas a partir de la alteración y de feldespatos y plagioclasas. • Moscovitas alteradas, deformadas y presionadas contra los bordes de granos más resistentes son frecuentes. 		
2. Cemento: <ul style="list-style-type: none"> • Cemento de calcita que rellenó espacios y reemplazó parcial o totalmente a otros granos (plagioclasas y cuarzo). La calcita por lo general es amorfa y sucia en arreglo poiquilotópico y en mosaico de cristales. 		
3. Componentes del armazón: <ul style="list-style-type: none"> • Cuarzo monocristalino con extinción recta, en menor proporción con extinción ondulatoria poco desarrollada. Muchos granos presentan evidencia de disolución (entrantes o golfos) • Cuarzo policristalino foliado y no foliado en mosaico poligonal. Algunos granos son perfectamente circulares por lo que podría corresponder a radiolarios silicificados totalmente. • Plagioclasas con macla polisintética. • Feldespatos alterados a arcillas y con inclusiones de sericita. • Moscovita deformada por compactación, algunas están asociadas a cuarzo policristalino foliado (foliación planar y <i>kink band</i>) • Líticos volcánicos felsíticos con microfenocristales de cuarzo y feldespato. • Lítico volcánico <i>lathwork</i> parcialmente sustituido por calcita y minerales opacos. • Líticos metamórficos constituidos por cuarzo foliado y moscovita (líticos metamórficos Lmf2 y Lmf3 de la clasificación de (Garzanti y Vezzoli, 2003)). • Intraclastos, de límites difusos, constituidos por lodo recristalizado a arcillas-micas, cuarzo y minerales opacos. • Clasto con aspecto de serpentina deformado por compactación • Mica blanca de neoformación 		
4. Minerales accesorios (MA) (<1%)		
<ul style="list-style-type: none"> • Opacos • Circón • Hematita 	<ul style="list-style-type: none"> • Rutilo • Turmalina • Granate 	<ul style="list-style-type: none"> • Apatitos • Clorita

Porcentaje de componentes del armazón y valores normalizados de Qt-F-L para clasificación de la roca (Estimación visual)

Qm	Qp	P	K	Lvf	Lvl	Lm	Qt	F	L
46-50	12-15	5-6	3-4	6-7	4-5	16-20	58-65	8-10	26-32

III. ALTERACIÓN-FRAGMENTACIÓN-DEFORMACIÓN

Los tipos de contactos entre granos, el desarrollo de pseudomatriz, la precipitación de cemento, la sustitución de granos por calcita, corrosión de bodes en los granos de cuarzo y la presencia de mica blanca de neoformación indican que el grado de diagénesis experimentado por la roca es alto llegando incluso al campo de las rocas metamórficas de muy bajo grado.

Hay precipitación de horizontes irregulares y discontinuos de hematita, parecidos a picos estilolíticos, que pueden ser diagnósticos de diagénesis alta o metamorfismo de bajo grado.

IV. PROVENIENCIA

El intraclasto descrito anteriormente puede corresponder a un parche de lodo intracuena no compactado o litificado arrastrado por la corriente.

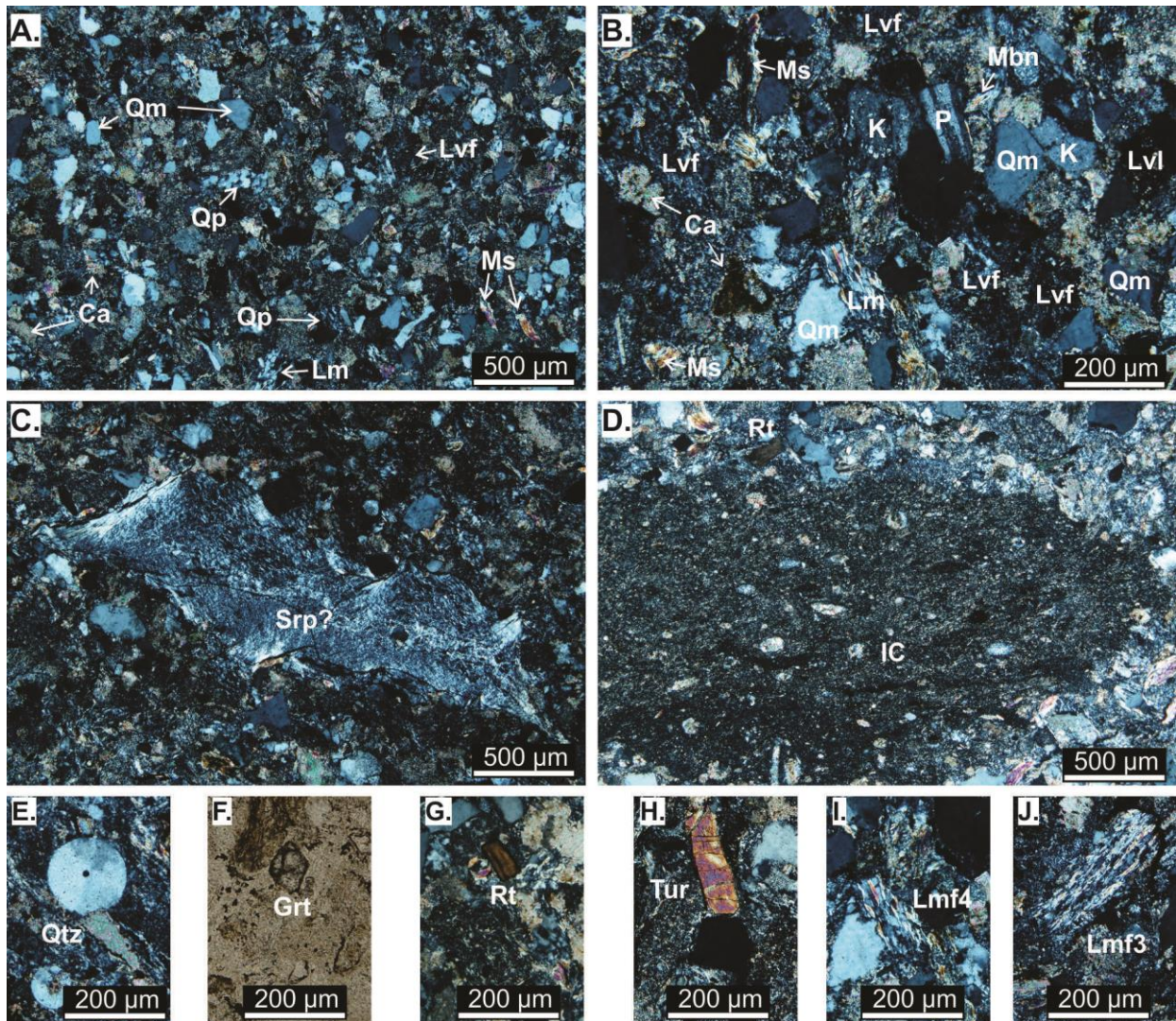
Descripción	Probable fuente de sedimentos
Clasto de serpentina?	Rocas ultramáficas
Líticos volcánicos felsíticos	Rocas félsicas
Líticos volcánicos <i>lathwork</i>	Rocas intermedias a basálticas
Cuarzo policristalino no foliado	Rocas metamórficas y plutónicas
Cuarzo policristalino foliado	Rocas metamórficas de alto grado
Líticos metamórficas (Lmf2 y Lmf3)	Rocas metamórficas de bajo y medio grado

V. NOMBRE DE LA ROCA

Con base en la descripción de la textura y componentes del armazón, la roca puede ser considerada como metasedimentaria de muy bajo grado.

- Meta-arenisca entre lito-cuarzosa y feldespatolítico-cuarzosa (Garzanti, 2016)
- Meta-arenisca entre litoarenita y litoarenita feldespática (Folk, 1980)

VI. MICROFOTOGRAFÍAS



Microfotografías con los objetivos 4x (A., C., D.) y 10x (B., E., F., G., H., I., J.) de la muestra 250618-3. Meta-arenisca pobremente seleccionada con tamaño de gano entre muy fino a fino. La roca presenta evidencia de haber experimentado metamorfismo de muy bajo grado. **A.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino con extinción plana, cuarzo policristalino foliado, líticos metamórficos, líticos volcánicos felsíticos y moscovita deformada. Los componentes del armazón están cementados por calcita. **B.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino con entrantes, feldspatos y plagioclasas con alteración a sericita, líticos metamórficos de cuarzo-moscovita, líticos volcánicos felsíticos y *lathwork*, moscovita deformada y mica blanca de neoformación. El cuarzo monocristalino presenta evidencias de disolución (entrantes). **C.** Luz polarizada cruzada, clasto deformado de serpentina?. **D.** Luz polarizada cruzada, intraclasto con límites difusos y recristalización de sus componentes. **E.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo circulares, posiblemente sean radiolarios recristalizados. **F.** Luz polarizada plana, cristal de granate. **G.** Luz polarizada cruzada, cristal de rutilo. **H.** Luz polarizada cruzada, cristal de turmalina. **I.** Luz polarizada cruzada, lítico de cuarzo-moscovita posiblemente de gneis. **J.** Luz polarizada cruzada, lítico de cuarzo-moscovita con esquistosidad. Símbolos: Qm, cuarzo monocristalino; Qp, cuarzo policristalino; Ms, moscovita; Ca, calcita; K, feldspato potásico; P, plagioclase; Lm, lítico metamórfico; Lvf, lítico volcánico felsítico; Mbn, mica blanca de neoformación; Srp?, serpentina?; IC, intraclasto; Qtz, cuarzo; Grt, granate; Rt, rutilo; Tur, turmalina.

MUESTRA V-1

I. PARÁMETROS TEXTURALES

1. Forma de los granos: Angulares a subangulares	2. Tamaño de los granos: Rango entre ~1.8 mm y ~0.15 mm
3. Grado de selección: Muy pobremente seleccionado	4. Contacto entre granos: Suturados y cóncavo-convexos

II. COMPOSICIÓN

1. Matriz/Pseudomatriz: <ul style="list-style-type: none"> • Pseudomatriz constituida por granos de feldespato completamente alterados a sericita y reemplazados por calcita. Algunos líticos sedimentarios y volcánicos han sido deformados a lo largo de fracturas en granos de cuarzo. 	
2. Cemento: <ul style="list-style-type: none"> • Cemento de calcita que rellenó espacios y sustituyó a algunos componentes del armazón. El arreglo es poiquilotópico y en mosaico. • Algunos granos poseen un borde muy delgado de minerales opacos y hematita 	
3. Componentes del armazón: <ul style="list-style-type: none"> • Cuarzo monocristalino con extinción recta y ondulatoria. A partir de la extinción ondulante se distinguen granos limpios y poco ondulantes y granos muy ondulantes y poligonizados. Algunos granos poseen evidencia de disolución (entrantes). Granos poligonizados por deformación y fracturados son comunes. • Cuarzo policristalino no foliado en mosaico poligonal inequigragular. El cuarzo policristalino foliado es escaso y algunos están asociados con plagioclasas. • Plagioclasas con macla polisintética y diferentes grados de alteración (sericita) y sustitución (calcita). Granos fracturados, fragmentados y deformados (evidente en las maclas). • Feldespatos con diferentes grados alteración a sericita. Granos fracturados y fragmentados. • Líticos volcánicos felsíticos con microfenocristales de cuarzo. • Líticos volcánicos <i>lathwork</i>. • Líticos volcánicos traquíticos. • Líticos sedimentarios de arenisca moderadamente seleccionada constituidos de granos de cuarzo. • Líticos mirmequíticos. • Mica blanca. 	
4. Minerales accesorios MA (<1%)	
<ul style="list-style-type: none"> • Circón • Rutilo • Clorita • Hematita 	<ul style="list-style-type: none"> • Apatito • Opacos • Turmalina • Granate

Porcentaje de componentes del armazón y valores normalizados de Qt-F-L para clasificación de la roca (Estimación visual)

Qm	Qp	P	K	Lvf	Lvl	Lvt	Ls	Qt	F	L
22-25	27-30	19-21	7-9	4-6	2-3	9-11	3-5	49-55	26-30	18-25

III. ALTERACIÓN-FRAGMENTACIÓN-DEFORMACIÓN

La formación de pseudomatriz, el tipo de contacto entre granos, la alteración de feldespatos, disolución de granos, la precipitación de cemento y sustitución de algunos componentes por calcita indican que el grado de diagénesis experimentado por la roca es alto.

El desarrollo de fracturas y fragmentación de granos (tipo rompecabezas) de cuarzo y feldespato, la deformación de algunos cristales de calcita (cemento) y la precipitación de horizontes irregulares y discontinuos de hematita y arcillas indican que la roca ha experimentado deformación de tipo cataclástica.

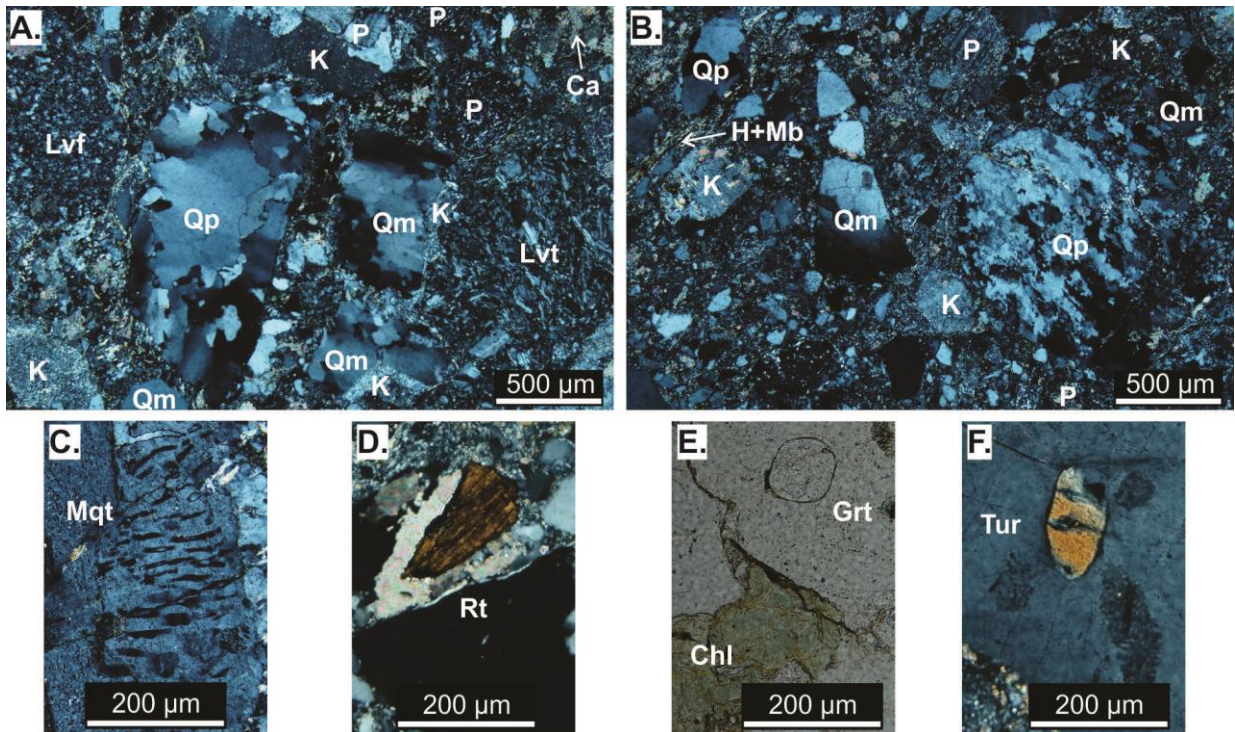
IV. PROCEDENCIA

Descripción	Fuente probable del sedimento
Cuarzo monocristalino poco ondulante	Rocas ígnea
Cuarzo monocristalino ondulante y poligonizado	Rocas metamórfica
Cuarzo policristalino no foliado	Rocas metamórficas y plutónicas
Cuarzo policristalino foliado	Rocas metamórficas de alto grado
Líticos volcánicos felsíticos	Rocas félsicas
Líticos volcánicos <i>lathwork</i>	Rocas intermedias a basálticas
Líticos volcánicos traquíticos	Rocas intermedias
Líticos mirmequíticos	Rocas metamórficas de alto grado y granitos

V. NOMBRE DE LA ROCA

- Arenisca litofeldespato-cuarzosa (Garzanti, 2016)
- Arenisca arcosa-lítica (Folk, 1980)

VI. MICROFOTOGRAFÍAS



Microfotografías con el objetivo 4x (A., B.) y 10x (C., D., E., F.) de la muestra 250618-3. Arenisca muy pobremente seleccionada con tamaño de grano entre fino y muy grueso. Deformación cataclástica y alteración sericita-calcita es evidente. **A.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino y policristalino con extinción ondulante, plagioclasas y feldespatos potásicos con alteración a sericita, líticos volcánicos traquíticos y líticos volcánicos felsíticos con microfenocristales de cuarzo. **B.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino fragmentados con extinción ondulante, cuarzo policristalino poligonizado, plagioclasas y feldespato potásico con alteración a sericita. Se observan horizontes irregulares y discontinuos de mica blanca y hematita. **C.** Luz polarizada cruzada, lítico mirmequítico. **D.** Luz polarizada cruzada, cristal de rutilo. **E.** Luz polarizada plana, cristal de granate y clorita. **F.** Luz polarizada cruzada, cristal de turmalina. Símbolos: Qm, cuarzo monocristalino; Qp, cuarzo policristalino; P, plagioclasa; K, feldespato potásico; Ca, calcita; Lv, lítico volcánico felsítico; Lt, lítico volcánico traquítico; H, hematita; Mb, mica blanca; Mqt, mirmequita; Rt, rutilo; Grt, granate; Chl, clorita; Tur, turmalina.

MUESTRA V-2

I. PARÁMETROS TEXTURALES

<p>1. Forma de los granos: Angulares a subangulares</p>	<p>2. Tamaño de los granos: Entre ~0.6 mm y ~0.1 mm</p>
<p>3. Grado de selección: No conserva las características texturales primarias como consecuencia de la alteración y deformación</p>	<p>4. Contacto entre granos: Suturados, cóncavo-convexos y largos.</p>

II. COMPOSICIÓN

<p>1. Matriz/Pseudomatriz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pseudomatriz desarrollada por alteración de feldespatos, plagioclasas y algunos fragmentos líticos. • Clivaje discontinuo constituido por sericita, arcillas y mica blanca de neoformación. 	
<p>2. Cemento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cemento de calcita muy deformado. 	
<p>3. Componentes del armazón:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuarzo monocristalino con extinción recta y ondulatoria. Algunos granos poseen crecimiento sintaxial. Fracturas poligonales en ocasiones rellenas de calcita/sericita y fragmentación de granos son frecuentes. Disolución de granos es evidente por la formación de entrantes. • Cuarzo policristalino foliado y no foliado. Algunos granos han sido poligonizados. • Plagioclasas con macla polisintética y diferentes grados de alteración a sericita y calcita. • Feldespatos con diferentes grados de alteración a sericita y calcita. • Líticos volcánicos felsíticos con microfenocristales de cuarzo. • Líticos volcánicos traquíticos. • Líticos volcánicos <i>lathwork</i>. • Líticos metamórficos constituidos de cuarzo y moscovita (líticos metamórficos Lmf2 y Lmf3 de la clasificación de (Garzanti y Vezzoli, 2003)). • Líticos de arenisca constituidos principalmente de cuarzo. • Mica blanca de neoformación. 	
<p>4. Minerales accesorios (<1%)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Moscovita • Apatito • Clorita 	<ul style="list-style-type: none"> • Minerales opacos • Circón • Hematita

Porcentaje de componentes del armazón y valores normalizados de Qt-F-L para clasificación de la roca (Estimación visual)

Qm	Qp	P	K	Lvf	Lvl	Lvt	Ls	Lm	Qt	F	L
25-30	10-15	15-18	8-10	9-11	4-6	4-6	5-7	3-5	35-45	23-28	25-35

III. ALTERACIÓN-FRAGMENTACIÓN-DEFORMACIÓN

El desarrollo de un clivaje discontinuo con el crecimiento de mica blanca de neoformación sugiere que la roca experimentó una intensa deformación y condiciones metamórficas de muy bajo grado, modificando las características texturales primarias.

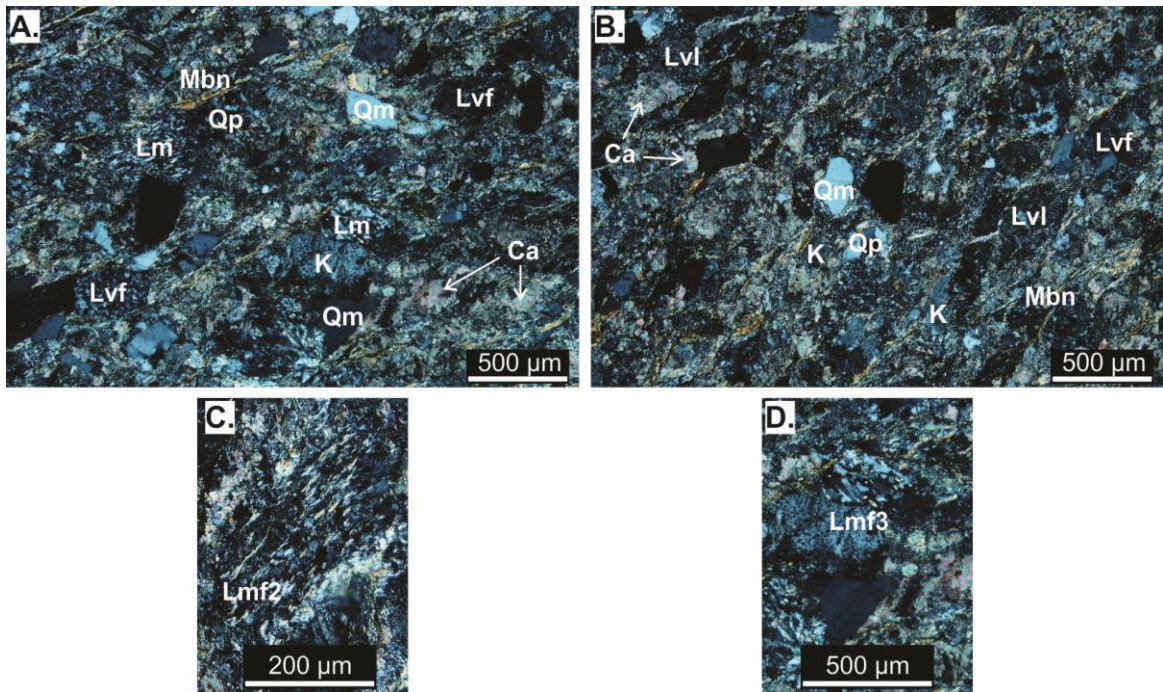
IV. PROCEDENCIA

Descripción	Fuente probable del sedimento
Cuarzo policristalino no foliado	Rocas metamórficas y plutónicas
Cuarzo policristalino foliado	Rocas metamórficas de alto grado
Líticos volcánicos felsíticos	Rocas félsicas
Líticos volcánicos traquíticos	Rocas intermedias
Líticos volcánicos <i>lathwork</i>	Rocas intermedias y basálticas
Líticos metamórficos (Lmf2 y Lmf3)	Rocas metamórficas de bajo y medio grado

V. NOMBRE DE LA ROCA

- Meta-arenisca entre litofeldespatico-cuarzosa y feldespatolítico-cuarzosa (Garzanti, 2016)
- Meta-arenisca entre arcosa lítica y litoarenita feldespática (Folk, 1980)

VI. MICROFOTOGRAFÍAS



Microfotografías con el objetivo 4x (A., B., C.) y 10x (D.) de la muestra 260618-2. Meta-arenisca con clivaje discontinuo marcado por el desarrollo de sericita, arcillas y mica blanca de neoformación. El tamaño de los granos oscila entre arena gruesa y muy fina. Los rasgos primarios se han borrado casi totalmente sugiriendo deformación y metamorfismo de bajo grado.

A. Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino y policristalino con extinción ondulante, feldespato potásico alterado a sericita, lítico metamórfico constituido de cuarzo-moscovita, líticos volcánicos felsíticos con microfenocristales de cuarzo y mica blanca de neoformación. **B.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino y policristalino con extinción ondulante, feldespatos potásicos alterados a sericita, líticos volcánicos felsíticos y *lathwork* y mica blanca de neoformación paralela al clivaje discontinuo. **C.** Luz polarizada cruzada, lítico metamórfico de cuarzo-sericita con clivaje fuerte (Lmf2). **D.** Luz polarizada cruzada, lítico metamórfico de cuarzo-moscovita con esquistosidad. Símbolos: Qm, cuarzo monocristalino; Qp, cuarzo policristalino; K, feldespato potásico; Ca, calcita; Lm, lítico metamórfico; Lvf, lítico volcánico felsítico; Lvl, lítico volcánico *lathwork*, Mbn, mica blanca de neoformación.

MUESTRA RN-3

I. PARÁMETROS TEXTURALES

<p>1. Forma de los granos: Angulares a subangulares</p>	<p>2. Tamaño de los granos: Entre ~2 mm y ~0.2 mm</p>
<p>3. Grado de selección: La roca no conserva las características texturales primarias</p>	<p>4. Contacto entre granos: Suturados y cóncavo-convexos</p>

II. COMPOSICIÓN

<p>1. Matriz/Pseudomatriz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pseudomatriz de sericita y arcillas. Se distinguen algunos pseudomorfos con esta composición. 	
<p>2. Cemento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cemento de calcita con arreglo poiquilotópico y en mosaico poligonal. • Algunos componentes están siendo alterados y sustituidos por calcita. 	
<p>3. Componentes del armazón:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuarzo monocristalino con extinción ondulante y fracturas poligonales. Hay evidencia de reabsorción y disolución de los bordes de granos (entrantes). Algunos granos parecen desarrollar sombra de presión de calcita y sericita • Cuarzo policristalino no foliado en mosaico poligonal. En menor medida cuarzo policristalino foliado. Ambos con extinción ondulante de los componentes. Poligonización y fracturamiento es común. • Plagioclasas con macla polisintética alterada y sustituida por sericita y calcita. Los granos exhiben fracturamiento y fragmentación de tipo rompecabezas. Algunos granos están asociados con cuarzo. Deformación es evidente por acuñaamiento de las maclas. • Feldespatos alterados y sustituidos por sericita y calcita. • Líticos volcánicos felsíticos con microfenocristales de cuarzo. • Líticos metamórficos de cuarzo y moscovita (líticos metamórficos Lmf3 de la clasificación de (Garzanti y Vezzoli, 2003)). • Líticos de pedernal. • Líticos mirmequíticos. • Alteración de hematita de granos minerales y líticos. • Mica blanca de neoformación. 	
<p>4. Minerales accesorios (<1%)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Circón • Titanita • Moscovita • Hematita 	<ul style="list-style-type: none"> • Apatito • Minerales opacos • Turmalina

Porcentaje de componentes del armazón y valores normalizados de Qt-F-L para clasificación de la roca

Qm	Qp	Qc	P	K	Lvf	Lm	Qt	F	L
35-40	13-18	4-6	25-29	8-12	5-7	1-3	52-64	33-41	6-10

III. ALTERACIÓN-FRAGMENTACIÓN-DEFORMACIÓN

El desarrollo de pseudomatriz, la alteración a sericita-calcita-hematita de los componentes que en ocasiones los hace no identificables, la deformación y fragmentación de granos de cuarzo y feldespatos, el desarrollo de aparentes sombras de presión en una orientación preferencial, horizontes irregulares y discontinuos de hematita, clivaje poco desarrollo, neoformación de mica blanca indican que la roca se encuentra en el campo de las rocas metamórficas de muy bajo grado.

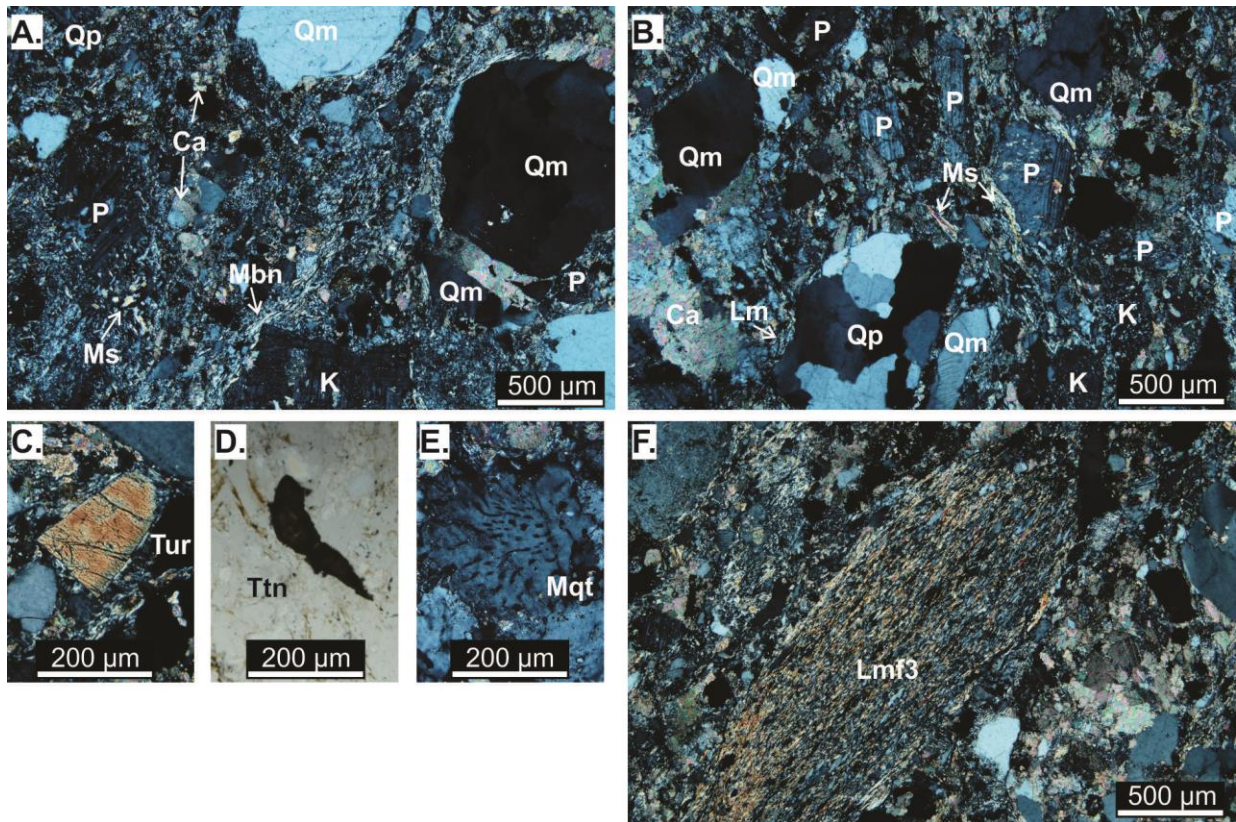
IV. PROCEDENCIA

Descripción	Fuente probable del sedimento
Cuarzo policristalino no foliado	Rocas metamórficas y plutónicas
Cuarzo policristalino foliado	Rocas metamórficas de alto grado
Líticos volcánicos felsíticos	Rocas félsicas
Líticos metamórficos (Lmf3)	Rocas metamórficas de medio grado
Líticos mirmequíticos	Rocas metamórficas de alto grano y granitos

V. NOMBRE DE LA ROCA

- Meta-arenisca feldespato-cuarzosa (Garzanti, 2016)
- Meta-arenisca arcosa (Folk, 1980)

VI. MICROFOTOGRAFÍAS



Microfotografías con el objetivo 4x (A., B., F.) y 10x (C., D., E.) de la muestra 260618-3. Meta-arenisca con clivaje poco desarrollado marcado por sericita, hematita y mica blanca de neoformación. El tamaño de los granos oscila entre arena muy gruesa y fina. Las características primarias de la roca se han borrado casi en su totalidad sugiriendo deformación y metamorfismo de muy bajo grado. **A.** Luz polarizada cruzada, granos de cuarzo monocristalino con entrantes y evidencias de reabsorción, feldespatos potásicos y plagioclasas alteradas a sericita, moscovita como inclusiones de feldespatos, cemento de calcita y mica blanca de neoformación. **B.** Luz polarizada cruzada, cuarzo monocristalino con extinción ondulante, cuarzo policristalino, feldespatos potásicos y plagioclasas con alteración a sericita, alteración de componentes a calcita, moscovitas deformadas y lítico metamórfico constituido de cuarzo-moscovita. **C.** Luz polarizada cruzada, cristal de turmalina. **D.** Luz polarizada plana, cristal de titanita. **E.** Luz polarizada cruzada, lítico mirmequítico. **F.** Luz polarizada cruzada, lítico metamórfico de cuarzo-moscovita con esquistosidad. Símbolos: Qm, cuarzo monocristalino; Qp, cuarzo policristalino; P, plagioclase; K, feldespato potásico; Ms, moscovita; Ca, calcita; Mbn, mica blanca de neoformación; Lm, lítico metamórfico; Tur, turmalina; Ttn, titanita; Mqt, mirmequita.

MUESTRA RN-4

I. PARÁMETROS TEXTURALES

1. Forma de los granos: Angulares a subangulares	2. Tamaño de los granos: Entre ~4.25 mm y ~1.5 mm
3. Grado de selección: Pobremente seleccionada	4. Contacto entre granos: Suturados

II. COMPOSICIÓN

1. Matriz/Pseudomatriz: <ul style="list-style-type: none"> • Pseudomatriz de sericita y arcillas 	
2. Cemento: <ul style="list-style-type: none"> • Ausente 	
3. Componentes del armazón: <ul style="list-style-type: none"> • Cuarzo monocristalino con extinción oblicua y evidencia de disolución en los bordes. Fracturas y poligonización de los cristales son frecuentes. • Cuarzo policristalino no foliado en mosaico poligonal y cuarzo policristalino foliado menos frecuente. La extinción ondulatoria es característico de ambos tipos de cuarzo. • Plagioclasa con macla polisintética y diferentes grados de alteración a sericita. La mayoría de granos posee textura de antipertita. Deformación de granos es común. Muchas plagioclasas se encuentran asociadas a cuarzo y feldespatos en agregados glomeroporfídicos. • Feldespatos potásicos con diferentes grados de alteración a sericita. Algunos granos poseen textura de pertita. Deformación de los granos es común. Muchos se encuentran asociados a cuarzo y plagioclasa en agregados glomeroporfídicos. • Líticos metamórficos de cuarzo moscovita y minerales opacos (líticos metamórficos Lmf3 de la clasificación de (Garzanti y Vezzoli, 2003)). • Líticos sedimentarios de arenisca constituidos principalmente de cuarzo. • Líticos volcánicos felsíticos con microfenocristales de cuarzo. • Moscovita deformada asociada a cuarzo o plagioclasas. • Líticos mirmequíticos. • Mica blanca de neoformación 	
4. Minerales accesorios (<1%)	
<ul style="list-style-type: none"> • Circón • Apatitos 	<ul style="list-style-type: none"> • Minerales opacos • Hematita

Porcentaje de componentes de los clastos (Estimación visual)

FIs+Q	Qp	Pl	Q+P+Ms	FIs+Ms	Lvf	Q+Ms	Lsa	Lm
29.3	28.7	10.7	8.0	6.0	6.0	2.6	3.7	5.0

FIs: plagioclasa+feldespatos; Q: cuarzo; Qp: cuarzo policristalino; P: plagioclasa; Ms: moscovita; Lsa: lítico sedimentario de arenisca; Lm: lítico metamórfico; Lvf: lítico volcánico felsítico.

III. ALTERACIÓN-FRAGMENTACIÓN-DEFORMACIÓN

El desarrollo de pseudomatriz con cristales de mica blanca bien desarrollados, granos de feldespato potásico y plagioclasa muy fracturados y alterados a sericita, cuarzo con evidencia de disolución en los bordes y poligonización de su estructura, fragmentación de granos de cuarzo y plagioclasas y fracturas rellenas de sericita indican que la roca ha experimentado una intensa deformación y alteración sugiriendo que la misma se encuentra en el campo de las rocas metamórficas de muy bajo grado.

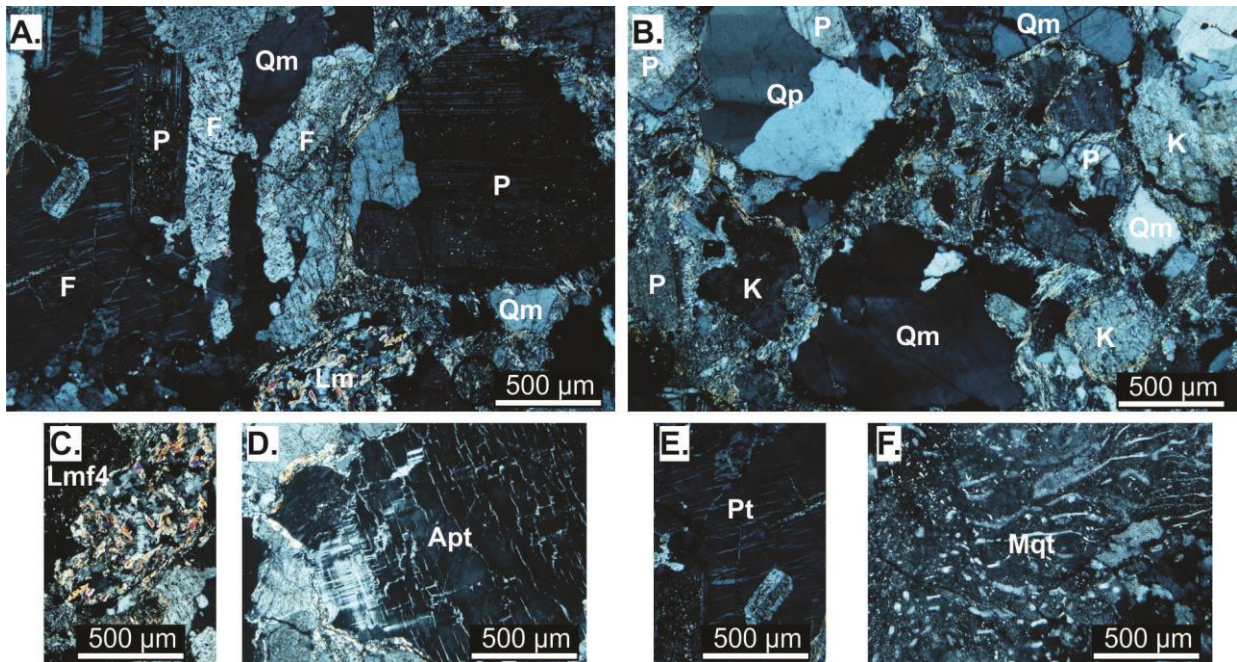
IV. PROCEDENCIA

Descripción	Fuente probable del sedimento
Cuarzo policristalino no foliado	Rocas metamórficas y plutónicas
Cuarzo policristalino foliado	Rocas metamórficas de alto grado
Líticos volcánicos felsíticos	Rocas félsicas
Líticos metamórficos (Lmf3)	Rocas metamórficas de medio grado
Granos mirmequíticos	Rocas metamórficas de alto grano y granitos
Agregados glomeroporfídicos de plagioclasa-cuarzo-feldespato-moscovita	Rocas plutónicas

V. NOMBRE DE LA ROCA

- Metaconglomerado de gránulos, composición cuarzo-feldespático/feldespato cuarzoso (Garzanti, 2016).
- Metaconglomerado de gránulos, composición tipo arcosa (Folk, 1980).

VI. MICROFOTOGRAFÍAS



Microfotografías con el objetivo 4x (A., B., C., D., E., F.) de la muestra 260618-4. Metaconglomerado de gránulos con pseudomatriz de sericita. El tamaño de los granos varía entre gránulos y arena muy gruesa. **A.** Luz polarizada cruzada, feldespato potásico con textura mirmequítica, pertitas y antipertitas en feldespatos, lítico metamórfico crenulado constituido de cuarzo-moscovita. La mayoría de granos poseen fracturas rellenas de sericita-arcillas. **B.** Luz polarizada cruzada, cuarzo policristalino con extinción ondulante, plagioclasas y feldespatos potásicos alterados a sericita, cuarzo monocristalino con extinción ondulante. Muchos de los granos presentan evidencia de disolución en sus bordes. **C.** Luz polarizada cruzada, lítico metamórfico de cuarzo-moscovita con *kink band* (Lmf4). **D.** Luz polarizada cruzada, plagioclasa con exsolución de microclina (antipertita). **E.** Luz polarizada cruzada, feldespato potásico con exsolución de plagioclasas (pertita). **F.** Luz polarizada cruzada, lítico mirmequítico. Símbolos: F, feldespato potásico; P, plagioclasa; Qm, cuarzo monocristalino; Lm, lítico metamórfico; Qp, cuarzo policristalino; Apt, antipertita; Pt, pertita; Mqt, mirmequita.

Anexo 2. Análisis U-Pb en circones mediante LA-ICPMS

Sample	CORRECTED RATIOS ²												CORRECTED AGES (Ma)								
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	Best age (Ma)	±2σ	Disc %
LS-2																					
Zircon_1B	289	88	0.30	0.0926	0.0035	2.9050	0.1100	0.2274	0.0045	0.0690	0.0024	0.39	1321	24	1382	31	1478	77	1321	24	4.4
Zircon_2B	213	296	1.39	0.0605	0.0047	0.2660	0.0190	0.0317	0.0007	0.0102	0.0005	0.12	201	4	239	14	590	130	201	4	15.8
Zircon_4B	169	117	0.69	0.0529	0.0039	0.3200	0.0220	0.0435	0.0008	0.0139	0.0007	-0.38	274	5	281	17	320	160	274	5	2.5
Zircon_5B	98	22	0.22	0.0543	0.0049	0.2980	0.0250	0.0399	0.0009	0.0143	0.0011	0.23	253	6	263	19	420	180	253	6	4.0
Zircon_6B	148	105	0.71	0.0537	0.0055	0.2640	0.0310	0.0370	0.0008	0.0117	0.0008	0.13	234	5	237	23	310	190	234	5	1.2
Zircon_7B	89	30	0.34	0.0583	0.0055	0.3410	0.0320	0.0420	0.0010	0.0144	0.0010	0.04	265	6	295	24	440	210	265	6	10.0
Zircon_9B	108	50	0.46	0.0549	0.0046	0.3190	0.0240	0.0425	0.0009	0.0142	0.0010	-0.07	268	5	282	20	380	180	268	5	4.8
Zircon_10B	65	43	0.66	0.0795	0.0047	1.7700	0.1000	0.1638	0.0026	0.0541	0.0025	0.01	978	14	1030	37	1178	110	978	14	5.0
Zircon_12B	209	69	0.33	0.0760	0.0032	1.9270	0.0730	0.1831	0.0022	0.0519	0.0020	0.14	1084	12	1089	25	1102	83	1084	12	0.5
Zircon_13B	105	32	0.30	0.0560	0.0039	0.3200	0.0210	0.0422	0.0009	0.0136	0.0009	0.27	267	5	283	16	390	160	267	5	5.8
Zircon_15B	85	51	0.60	0.0561	0.0049	0.2860	0.0260	0.0376	0.0009	0.0136	0.0009	0.00	238	6	262	20	430	180	238	6	9.1
Zircon_16B	105	36	0.35	0.0536	0.0043	0.2760	0.0220	0.0373	0.0009	0.0143	0.0012	0.22	236	6	250	18	340	170	236	6	5.6
Zircon_18B	111	43	0.39	0.0532	0.0045	0.3040	0.0240	0.0420	0.0008	0.0142	0.0009	0.05	265	5	267	19	290	180	265	5	0.7
Zircon_19B	404	102	0.25	0.0498	0.0029	0.1486	0.0091	0.0217	0.0004	0.0073	0.0005	0.25	139	2	142	8	183	120	139	2	2.0
Zircon_20B	301	219	0.73	0.0523	0.0030	0.2840	0.0160	0.0389	0.0006	0.0129	0.0006	-0.04	246	4	253	12	270	130	246	4	2.7
Zircon_21B	217	101	0.47	0.0531	0.0037	0.2660	0.0200	0.0371	0.0008	0.0130	0.0007	0.35	235	5	241	15	360	140	235	5	2.6
Zircon_22B	271	396	1.46	0.0564	0.0038	0.2060	0.0140	0.0271	0.0004	0.0082	0.0004	0.06	173	3	189	12	450	150	173	3	8.7
Zircon_23B	676	395	0.58	0.0618	0.0031	0.1847	0.0076	0.0220	0.0003	0.0085	0.0004	-0.06	141	2	172	7	657	100	141	2	18.3
Zircon_24B	116	34	0.30	0.0545	0.0042	0.3160	0.0220	0.0415	0.0008	0.0132	0.0010	0.08	262	5	278	16	420	150	262	5	5.8
Zircon_26B	108	67	0.62	0.0508	0.0040	0.2850	0.0230	0.0403	0.0010	0.0133	0.0007	0.17	255	6	253	18	230	170	255	6	-0.6
Zircon_27B	76	69	0.91	0.0769	0.0038	1.6920	0.0770	0.1602	0.0025	0.0532	0.0019	0.28	958	14	1017	28	1120	95	958	14	5.8
Zircon_29B	306	279	0.91	0.0725	0.0029	1.6710	0.0550	0.1661	0.0015	0.0494	0.0014	-0.10	991	8	997	21	996	78	991	8	0.6
Zircon_30B	966	790	0.82	0.0612	0.0033	0.2280	0.0130	0.0271	0.0005	0.0090	0.0007	0.04	172	3	209	10	630	100	172	3	17.4
Zircon_32B	86	50	0.58	0.0570	0.0076	0.3030	0.0320	0.0376	0.0014	0.0132	0.0010	-0.33	238	9	265	25	500	240	238	9	10.2
Zircon_33B	50	42	0.83	0.0808	0.0046	1.7900	0.1000	0.1629	0.0022	0.0524	0.0018	0.10	973	12	1039	33	1240	100	973	12	6.4
Zircon_35B	256	275	1.07	0.0512	0.0035	0.1980	0.0140	0.0284	0.0006	0.0089	0.0004	0.34	181	4	183	12	220	130	181	4	1.3
Zircon_36B	70	22	0.31	0.0588	0.0049	0.3520	0.0300	0.0437	0.0010	0.0161	0.0013	0.00	276	6	304	23	470	170	276	6	9.3
Zircon_37B	585	262	0.45	0.0804	0.0029	2.3060	0.0710	0.2070	0.0018	0.0605	0.0018	0.26	1213	10	1214	21	1205	74	1213	10	0.1
Zircon_38B	106	42	0.39	0.0558	0.0051	0.2820	0.0240	0.0370	0.0009	0.0132	0.0009	-0.06	234	6	250	19	390	180	234	6	6.4
Zircon_39B	587	149	0.25	0.0552	0.0030	0.2370	0.0120	0.0311	0.0006	0.0172	0.0008	0.21	197	4	216	9	420	120	197	4	8.7
Zircon_41B	121	63	0.52	0.0697	0.0046	1.4500	0.0990	0.1502	0.0048	0.0531	0.0042	0.20	902	27	903	45	870	140	902	27	0.1
Zircon_42B	167	116	0.69	0.0516	0.0040	0.3030	0.0230	0.0416	0.0006	0.0134	0.0006	0.35	263	4	271	17	300	160	263	4	3.1
Zircon_43B	122	48	0.40	0.0547	0.0044	0.2990	0.0220	0.0406	0.0010	0.0140	0.0012	-0.15	257	6	264	17	360	180	257	6	2.8
Zircon_44B	58	32	0.54	0.0570	0.0075	0.3020	0.0370	0.0390	0.0010	0.0138	0.0013	-0.16	246	6	263	28	320	260	246	6	6.3
Zircon_45B	106	39	0.37	0.0669	0.0056	0.3960	0.0300	0.0419	0.0009	0.0185	0.0012	-0.09	265	6	341	20	910	160	265	6	22.4
Zircon_52B	118	50	0.42	0.0556	0.0052	0.3030	0.0280	0.0407	0.0007	0.0135	0.0008	-0.06	257	5	274	21	490	190	257	5	6.2
Zircon_1	110	55	0.51	0.0530	0.0048	0.2070	0.0190	0.0287	0.0008	0.0097	0.0009	0.28	182	5	190	16	270	180	182	5	4.1
Zircon_2	260	83	0.32	0.0805	0.0029	2.2550	0.0730	0.2037	0.0033	0.0599	0.0042	0.49	1195	17	1197	23	1204	72	1195	17	0.2
Zircon_4	72	28	0.39	0.0769	0.0040	1.7620	0.0780	0.1715	0.0039	0.0519	0.0041	0.27	1020	22	1033	30	1103	100	1020	22	1.3

Zircon_5	103	43	0.42	0.0703	0.0034	1.5500	0.0730	0.1597	0.0031	0.0494	0.0035	0.15	955	17	947	29	928	95	955	17	-0.8
Zircon_6	95	40	0.42	0.0819	0.0039	2.1600	0.0920	0.1930	0.0034	0.0588	0.0043	0.18	1137	19	1165	29	1246	87	1137	19	2.4
Zircon_7	58	27	0.46	0.0738	0.0037	1.6680	0.0690	0.1660	0.0036	0.0512	0.0040	0.06	990	20	994	26	1039	100	990	20	0.4
Zircon_8	190	79	0.42	0.0832	0.0031	2.4380	0.0800	0.2111	0.0035	0.0652	0.0044	0.05	1236	19	1253	24	1275	75	1236	19	1.4
Zircon_9	307	119	0.39	0.0820	0.0029	2.3840	0.0750	0.2089	0.0034	0.0638	0.0042	0.35	1223	18	1239	22	1246	68	1223	18	1.3
Zircon_10	229	110	0.48	0.0832	0.0030	2.3330	0.0720	0.2015	0.0037	0.0645	0.0043	0.54	1183	20	1222	22	1273	72	1183	20	3.2
Zircon_11	193	45	0.23	0.0800	0.0033	2.3460	0.0860	0.2101	0.0045	0.0643	0.0045	0.40	1229	24	1230	25	1215	81	1229	24	0.1
Zircon_12	298	43	0.14	0.0799	0.0030	2.3440	0.0870	0.2107	0.0052	0.0659	0.0047	-0.07	1232	27	1225	25	1189	69	1232	27	-0.6
Zircon_13	139	54	0.39	0.0820	0.0032	2.3360	0.0800	0.2056	0.0036	0.0628	0.0043	0.16	1206	19	1222	25	1252	72	1206	19	1.4
Zircon_14	160	77	0.48	0.0785	0.0032	2.1480	0.0730	0.1979	0.0034	0.0601	0.0040	-0.03	1164	18	1163	24	1156	80	1164	18	-0.1
Zircon_15	637	288	0.45	0.0870	0.0030	2.5200	0.0770	0.2096	0.0035	0.0629	0.0040	0.54	1227	18	1277	22	1360	69	1227	18	3.9
Zircon_16	202	37	0.18	0.0806	0.0030	2.2250	0.0750	0.2009	0.0035	0.0622	0.0042	0.35	1181	18	1190	24	1216	71	1181	18	0.7
Zircon_17	198	72	0.36	0.0813	0.0032	2.3550	0.0830	0.2094	0.0038	0.0643	0.0044	0.24	1226	20	1228	25	1226	77	1226	20	0.2
Zircon_18	102	61	0.59	0.0819	0.0034	2.2340	0.0780	0.1977	0.0034	0.0586	0.0040	0.02	1163	18	1193	25	1239	84	1163	18	2.5
Zircon_19	930	143	0.15	0.0822	0.0028	2.2670	0.0850	0.1994	0.0047	0.0608	0.0039	0.80	1172	25	1202	27	1249	71	1172	25	2.5
Zircon_20	482	22	0.05	0.0784	0.0029	1.8840	0.0600	0.1747	0.0029	0.0622	0.0046	0.35	1038	16	1075	21	1153	67	1038	16	3.5
Zircon_21	20	5	0.27	0.0794	0.0059	1.8300	0.1300	0.1705	0.0045	0.0653	0.0087	0.34	1015	25	1057	48	1150	140	1015	25	4.0
Zircon_22	161	56	0.35	0.0820	0.0034	2.4180	0.0930	0.2123	0.0038	0.0645	0.0048	0.47	1241	20	1245	24	1243	80	1241	20	0.3
Zircon_23	143	23	0.16	0.0779	0.0032	2.1750	0.0760	0.2012	0.0037	0.0622	0.0049	0.20	1181	20	1174	25	1140	84	1181	20	-0.6
Zircon_24	107	236	2.21	0.0737	0.0033	1.5550	0.0650	0.1528	0.0029	0.0462	0.0030	0.33	916	16	949	25	1013	93	916	16	3.5
Zircon_25	170	92	0.54	0.0893	0.0036	2.8720	0.1200	0.2320	0.0046	0.0683	0.0046	0.76	1345	24	1371	32	1408	74	1345	24	1.9
Zircon_26	145	50	0.35	0.0769	0.0035	1.8860	0.0800	0.1767	0.0032	0.0543	0.0038	0.29	1049	18	1073	28	1103	89	1049	18	2.2
Zircon_27	413	65	0.16	0.0787	0.0028	1.9880	0.0840	0.1802	0.0048	0.0641	0.0048	0.69	1068	27	1110	30	1161	73	1068	27	3.8
Zircon_28	298	107	0.36	0.0529	0.0042	0.2530	0.0240	0.0355	0.0012	0.0091	0.0011	0.33	225	7	228	18	300	150	225	7	1.4
Zircon_29	172	117	0.68	0.0792	0.0037	2.2580	0.1100	0.2052	0.0042	0.0649	0.0046	0.25	1203	22	1197	31	1167	86	1203	22	-0.5
Zircon_30	52	31	0.60	0.0863	0.0039	2.8000	0.1300	0.2362	0.0048	0.0696	0.0050	0.26	1367	25	1351	34	1338	93	1367	25	-1.2
Zircon_31	157	57	0.37	0.0816	0.0031	2.5260	0.0850	0.2233	0.0043	0.0674	0.0047	0.41	1299	22	1278	25	1236	70	1299	22	-1.6
Zircon_32	799	59	0.07	0.0754	0.0026	1.7470	0.0590	0.1674	0.0028	0.0388	0.0047	0.79	998	16	1027	22	1075	71	998	16	2.9
Zircon_33	83	95	1.15	0.0560	0.0072	0.2000	0.0240	0.0270	0.0010	0.0083	0.0007	-0.25	172	6	189	19	370	230	172	6	9.0
Zircon_34	181	100	0.55	0.0533	0.0034	0.2940	0.0170	0.0405	0.0009	0.0138	0.0011	-0.11	256	6	265	13	300	140	256	6	3.5
Zircon_35	80	28	0.35	0.0780	0.0037	2.0450	0.0890	0.1902	0.0039	0.0596	0.0044	0.20	1122	21	1131	29	1136	93	1122	21	0.8
Zircon_36	81	40	0.49	0.0783	0.0041	1.9610	0.0960	0.1812	0.0036	0.0563	0.0042	0.16	1074	20	1097	34	1136	110	1074	20	2.1
Zircon_37	185	35	0.19	0.0755	0.0032	1.6700	0.0650	0.1610	0.0028	0.0524	0.0039	0.13	963	15	998	24	1069	88	963	15	3.6
Zircon_38	250	16	0.06	0.0531	0.0032	0.2890	0.0160	0.0407	0.0008	0.0168	0.0021	-0.06	257	5	259	12	320	130	257	5	0.7
Zircon_39	471	291	0.62	0.0795	0.0028	2.1280	0.0650	0.1938	0.0033	0.0607	0.0040	0.27	1143	18	1161	20	1185	69	1143	18	1.5
Zircon_40	436	271	0.62	0.0527	0.0037	0.2760	0.0160	0.0382	0.0008	0.0119	0.0009	0.01	242	5	248	12	300	120	242	5	2.4
Zircon_41	113	41	0.36	0.0821	0.0036	2.1490	0.0830	0.1912	0.0033	0.0622	0.0044	-0.11	1128	18	1166	27	1232	88	1128	18	3.3
Zircon_42	139	63	0.45	0.0787	0.0032	2.1190	0.0750	0.1958	0.0036	0.0581	0.0039	0.25	1152	19	1156	25	1156	82	1152	19	0.3
Zircon_43	31	9	0.28	0.0590	0.0079	0.3670	0.0500	0.0414	0.0014	0.0186	0.0027	-0.01	262	9	310	37	550	290	262	9	15.5
Zircon_44	235	90	0.38	0.0784	0.0029	2.0980	0.0700	0.1943	0.0032	0.0595	0.0040	0.28	1145	17	1151	23	1158	78	1145	17	0.6
Zircon_45	80	38	0.48	0.0815	0.0037	2.1850	0.0950	0.1947	0.0037	0.0587	0.0046	0.23	1147	20	1184	29	1237	96	1147	20	3.1
Zircon_46	76	45	0.59	0.0771	0.0037	2.0710	0.0920	0.1955	0.0037	0.0573	0.0039	0.21	1151	20	1143	31	1117	91	1151	20	-0.7
Zircon_47	179	69	0.39	0.0789	0.0031	2.2070	0.0770	0.2017	0.0035	0.0601	0.0041	0.34	1185	19	1182	25	1168	80	1185	19	-0.2
Zircon_48	31	13	0.42	0.0797	0.0041	2.1900	0.1300	0.1986	0.0047	0.0623	0.0050	0.45	1167	25	1183	40	1207	120	1167	25	1.4
Zircon_49	1026	292	0.28	0.0707	0.0025	1.4190	0.0420	0.1450	0.0023	0.0447	0.0029	0.17	873	13	897	17	946	71	873	13	2.6
Zircon_50	179	60	0.34	0.0784	0.0029	1.9620	0.0660	0.1850	0.0034	0.0577	0.0040	0.41	1094	19	1101	23	1151	75	1094	19	0.6
Zircon_51	111	44	0.40	0.0796	0.0035	2.2010	0.0830	0.1994	0.0038	0.0640	0.0045	-0.08	1172	20	1179	26	1210	92	1172	20	0.6
Zircon_52	289	164	0.57	0.1034	0.0037	4.1530	0.1300	0.2911	0.0049	0.0844	0.0055	0.23	1647	25	1664	25	1687	67	1687	67	1.0

Zircon_53	160	61	0.38	0.0796	0.0034	2.1970	0.0920	0.2028	0.0045	0.0659	0.0051	0.58	1190	24	1181	28	1191	84	1190	24	-0.8
Zircon_54	123	25	0.20	0.0587	0.0065	0.2580	0.0300	0.0340	0.0012	0.0119	0.0019	0.14	216	8	236	23	440	220	216	8	8.6
Zircon_55	77	23	0.30	0.0712	0.0040	1.5740	0.0840	0.1596	0.0033	0.0494	0.0044	0.33	955	18	960	32	958	120	955	18	0.5
Zircon_56	153	66	0.43	0.0829	0.0033	1.8570	0.0680	0.1638	0.0039	0.0381	0.0028	0.60	978	21	1067	25	1257	78	978	21	8.3
Zircon_57	318	112	0.35	0.0797	0.0027	2.1320	0.0630	0.1937	0.0032	0.0572	0.0038	0.34	1141	17	1159	20	1190	65	1141	17	1.5
Zircon_58	527	93	0.18	0.0721	0.0025	1.6120	0.0490	0.1602	0.0025	0.0489	0.0032	0.09	958	14	974	19	985	72	958	14	1.7
Zircon_59	133	94	0.71	0.0630	0.0064	0.2000	0.0210	0.0249	0.0008	0.0081	0.0007	-0.40	159	5	191	17	630	190	159	5	16.9
Zircon_60	75	34	0.45	0.0575	0.0061	0.3110	0.0320	0.0392	0.0011	0.0134	0.0012	-0.25	248	7	271	24	370	210	248	7	8.5
Zircon_61	162	136	0.84	0.0534	0.0043	0.2550	0.0190	0.0356	0.0008	0.0120	0.0009	-0.13	225	5	233	15	320	170	225	5	3.3
Zircon_64	92	70	0.76	0.0795	0.0036	2.1270	0.0850	0.1933	0.0037	0.0571	0.0038	0.18	1139	20	1159	26	1181	84	1139	20	1.7
Zircon_65	106	63	0.59	0.0711	0.0036	1.2950	0.0570	0.1308	0.0029	0.0332	0.0023	0.19	792	17	841	25	973	99	792	17	5.8
Zircon_68	255	66	0.26	0.0724	0.0028	1.6610	0.0550	0.1646	0.0028	0.0528	0.0036	0.13	983	16	993	21	1003	84	983	16	1.1
Zircon_69	563	206	0.37	0.0794	0.0028	2.1570	0.0640	0.1964	0.0033	0.0592	0.0039	0.23	1156	18	1167	21	1178	69	1156	18	0.9
Zircon_70	74	38	0.52	0.0799	0.0036	2.1890	0.0940	0.1999	0.0043	0.0647	0.0050	0.28	1174	23	1174	30	1190	93	1174	23	0.0
Zircon_71	122	62	0.50	0.0785	0.0033	2.1820	0.0770	0.2031	0.0037	0.0594	0.0040	-0.08	1192	20	1174	25	1146	84	1192	20	-1.5
Zircon_72	84	40	0.48	0.0793	0.0036	2.1980	0.0920	0.1997	0.0036	0.0589	0.0043	0.20	1176	20	1181	28	1175	86	1176	20	0.4
Zircon_73	195	110	0.56	0.0826	0.0038	2.0310	0.1100	0.1772	0.0048	0.0524	0.0036	0.51	1051	26	1120	36	1242	88	1051	26	6.2
Zircon_74	87	33	0.38	0.0537	0.0056	0.2140	0.0220	0.0302	0.0008	0.0116	0.0013	0.08	192	5	200	18	290	200	192	5	4.2
Zircon_75	220	132	0.60	0.0774	0.0037	0.8810	0.0980	0.0805	0.0071	0.0142	0.0012	0.96	504	43	624	55	1112	97	504	43	19.2
Zircon_76	102	22	0.22	0.0748	0.0043	1.6810	0.0890	0.1612	0.0035	0.0503	0.0080	0.15	963	19	998	34	1071	97	963	19	3.5
Zircon_77	112	46	0.41	0.0746	0.0034	1.7130	0.0710	0.1664	0.0036	0.0511	0.0037	0.27	992	20	1014	28	1073	83	992	20	2.2
Zircon_78	235	30	0.13	0.0755	0.0030	1.7210	0.0590	0.1665	0.0029	0.0512	0.0038	0.05	993	16	1017	22	1071	80	993	16	2.4
Zircon_79	201	67	0.33	0.0786	0.0041	1.1190	0.0580	0.1024	0.0018	0.0352	0.0035	0.34	629	10	759	27	1149	100	629	10	17.2
Zircon_80	85	27	0.31	0.0775	0.0035	2.0880	0.0850	0.1961	0.0037	0.0612	0.0046	0.21	1156	20	1146	29	1137	91	1156	20	-0.9
Zircon_81	94	29	0.30	0.0791	0.0035	2.1140	0.0790	0.1923	0.0036	0.0607	0.0044	0.18	1134	19	1152	26	1188	88	1134	19	1.6
Zircon_82	276	51	0.18	0.0807	0.0030	2.4580	0.0770	0.2203	0.0038	0.0655	0.0045	0.26	1284	20	1259	23	1208	73	1284	20	-1.9
Zircon_83	109	32	0.29	0.0804	0.0036	2.1550	0.0920	0.1920	0.0035	0.0647	0.0047	0.27	1132	19	1170	29	1208	88	1132	19	3.2
Zircon_84	73	36	0.50	0.0760	0.0038	1.7960	0.0830	0.1718	0.0032	0.0535	0.0039	0.07	1022	18	1040	30	1085	98	1022	18	1.7
Zircon_85	229	68	0.30	0.0763	0.0029	1.9010	0.0640	0.1781	0.0032	0.0535	0.0036	0.37	1056	17	1083	23	1110	81	1056	17	2.5
Zircon_86	564	67	0.12	0.0824	0.0029	2.3960	0.0720	0.2118	0.0035	0.0653	0.0044	0.27	1238	18	1241	21	1251	68	1238	18	0.2
Zircon_87	79	501	6.31	0.0746	0.0036	1.7340	0.0760	0.1675	0.0035	0.0495	0.0032	0.10	998	19	1018	28	1088	90	998	19	2.0
Zircon_88	102	85	0.83	0.0814	0.0033	2.2210	0.0800	0.1988	0.0037	0.0581	0.0039	0.20	1169	20	1189	26	1236	85	1169	20	1.7
Zircon_89	188	470	2.50	0.0858	0.0035	2.7600	0.1700	0.2360	0.0110	0.0687	0.0050	0.90	1364	56	1335	47	1333	77	1364	56	-2.2
Zircon_90	128	52	0.41	0.0791	0.0032	2.0740	0.0760	0.1881	0.0035	0.0583	0.0041	0.22	1111	19	1141	25	1181	82	1111	19	2.6
Zircon_91	251	100	0.40	0.0830	0.0030	2.4170	0.0760	0.2113	0.0035	0.0639	0.0043	0.20	1236	19	1247	22	1274	74	1236	19	0.9
Zircon_92	35	18	0.51	0.0616	0.0073	0.3900	0.0470	0.0446	0.0014	0.0155	0.0018	0.22	281	9	328	34	660	240	281	9	14.2
Zircon_93	90	79	0.88	0.0734	0.0040	1.6550	0.0840	0.1625	0.0030	0.0483	0.0034	0.00	972	17	991	32	1032	110	972	17	1.9
Zircon_94	214	88	0.41	0.0833	0.0032	2.4850	0.0810	0.2151	0.0037	0.0628	0.0042	-0.31	1256	20	1267	24	1282	76	1256	20	0.9
Zircon_96	256	84	0.33	0.0838	0.0031	2.5180	0.0830	0.2171	0.0035	0.0633	0.0042	0.16	1266	19	1276	24	1301	76	1266	19	0.8
Zircon_97	52	12	0.23	0.0820	0.0040	2.2030	0.1000	0.1960	0.0054	0.0668	0.0063	0.30	1153	29	1193	34	1252	96	1153	29	3.4
Zircon_98	70	37	0.53	0.0783	0.0042	2.0540	0.0950	0.1907	0.0042	0.0599	0.0045	-0.12	1125	23	1134	31	1149	110	1125	23	0.8
Zircon_99	469	265	0.57	0.0501	0.0026	0.1819	0.0092	0.0262	0.0005	0.0088	0.0006	0.06	167	3	170	8	180	120	167	3	1.6
Zircon_100	948	145	0.15	0.0743	0.0026	1.7290	0.0510	0.1686	0.0029	0.0482	0.0033	0.56	1004	16	1019	19	1049	68	1004	16	1.4
Zircon_101	86	32	0.38	0.0591	0.0056	0.3440	0.0340	0.0411	0.0010	0.0153	0.0014	-0.03	260	6	296	25	560	220	260	6	12.2

Sample	CORRECTED RATIOS ²												CORRECTED AGES (Ma)								
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	Best age (Ma)	±2σ	Disc %
V-2																					
Zircon 1	224	194	0.87	0.0603	0.0036	0.3760	0.0210	0.0450	0.0006	0.0156	0.0007	0.09	284	4	324	14	592	120	284	4	12.3
Zircon 4	232	89	0.38	0.0620	0.0076	0.1680	0.0250	0.0196	0.0005	0.0092	0.0009	0.16	125	3	157	20	640	190	125	3	20.4
Zircon 5	133	57	0.43	0.0579	0.0062	0.1570	0.0190	0.0208	0.0005	0.0084	0.0009	0.38	133	3	151	16	420	190	133	3	12.1
Zircon 7	509	345	0.68	0.0564	0.0037	0.1517	0.0100	0.0196	0.0003	0.0068	0.0003	0.03	125	2	143	9	430	130	125	2	12.7
Zircon 8	503	340	0.68	0.0557	0.0037	0.1530	0.0100	0.0200	0.0004	0.0074	0.0005	0.14	128	2	144	9	400	130	128	2	11.3
Zircon 14	124	67	0.54	0.0776	0.0033	1.9480	0.0730	0.1823	0.0018	0.0595	0.0019	0.13	1079	10	1096	25	1127	82	1079	10	1.6
Zircon 16	425	130	0.31	0.0567	0.0038	0.1970	0.0130	0.0252	0.0004	0.0101	0.0006	-0.12	160	2	183	11	490	140	160	2	12.2
Zircon 18	344	111	0.32	0.0575	0.0047	0.2130	0.0180	0.0268	0.0005	0.0108	0.0006	-0.02	171	3	195	14	510	160	171	3	12.6
Zircon 19	1370	1270	0.93	0.0530	0.0028	0.1474	0.0067	0.0200	0.0003	0.0065	0.0003	0.25	128	2	140	6	339	120	128	2	8.3
Zircon 20	1088	1700	1.56	0.0535	0.0023	0.2450	0.0110	0.0337	0.0004	0.0093	0.0004	0.04	214	3	224	9	340	95	214	3	4.8
Zircon 21	458	223	0.49	0.0596	0.0041	0.1690	0.0110	0.0204	0.0003	0.0078	0.0004	0.16	131	2	158	9	570	130	131	2	17.4
Zircon 22	454	308	0.68	0.0561	0.0036	0.1630	0.0099	0.0210	0.0003	0.0069	0.0003	0.26	134	2	153	9	410	140	134	2	12.6
Zircon 25	2590	4010	1.55	0.0615	0.0040	0.1595	0.0082	0.0185	0.0002	0.0060	0.0002	0.34	118	1	150	7	662	110	118	1	21.4
Zircon 26	389	226	0.58	0.0516	0.0037	0.1420	0.0100	0.0198	0.0003	0.0069	0.0003	-0.09	127	2	134	9	240	140	127	2	5.5
Zircon 27	654	407	0.62	0.0521	0.0030	0.1640	0.0077	0.0229	0.0003	0.0071	0.0003	-0.13	146	2	154	7	270	120	146	2	5.3
Zircon 28	174	87	0.50	0.0671	0.0051	0.3800	0.0280	0.0405	0.0008	0.0149	0.0010	0.33	256	5	326	20	790	140	256	5	21.5
Zircon 29	239	271	1.13	0.0637	0.0032	0.6830	0.0380	0.0772	0.0020	0.0315	0.0010	0.44	479	12	528	22	716	98	479	12	9.3
Zircon 32	334	159	0.48	0.1261	0.0046	5.5900	0.2000	0.3230	0.0077	0.0952	0.0026	0.45	1804	38	1914	34	2050	65	2050	65	5.7
Zircon 33	497	233	0.47	0.0514	0.0042	0.1600	0.0110	0.0227	0.0003	0.0083	0.0003	0.02	145	2	150	10	260	160	145	2	3.5
Zircon 36	382	231	0.60	0.0579	0.0048	0.1630	0.0130	0.0204	0.0003	0.0076	0.0003	0.07	130	2	155	11	530	150	130	2	16.1
Zircon 39	802	349	0.44	0.0556	0.0028	0.1661	0.0074	0.0214	0.0003	0.0078	0.0004	-0.17	137	2	157	6	448	110	137	2	12.8
Zircon 45	450	380	0.84	0.0537	0.0038	0.2080	0.0140	0.0280	0.0005	0.0094	0.0004	-0.24	178	3	192	11	390	150	178	3	7.2
Zircon 46	389	16	0.04	0.0564	0.0031	0.2990	0.0150	0.0386	0.0005	0.0249	0.0022	-0.16	244	3	265	11	490	120	244	3	8.0
Zircon 48	449	254	0.57	0.0609	0.0032	0.1760	0.0089	0.0211	0.0003	0.0076	0.0003	0.20	134	2	164	8	630	110	134	2	18.1
Zircon 49	259	90	0.35	0.0697	0.0033	0.8030	0.0530	0.0829	0.0034	0.0355	0.0015	0.02	513	20	602	28	900	99	513	20	14.7
Zircon 50	34	37	1.10	0.0929	0.0073	1.9700	0.1500	0.1555	0.0036	0.0562	0.0035	0.13	931	20	1101	48	1440	150	931	20	15.4
Zircon 51	317	141	0.45	0.0625	0.0055	0.1760	0.0150	0.0207	0.0003	0.0076	0.0005	-0.18	132	2	166	13	580	180	132	2	20.4
Zircon 52	407	221	0.54	0.0557	0.0038	0.1540	0.0096	0.0206	0.0003	0.0077	0.0003	0.22	131	2	146	9	420	150	131	2	9.8
Zircon 54	1772	1397	0.79	0.0522	0.0025	0.1429	0.0063	0.0198	0.0002	0.0065	0.0002	0.15	126	2	136	6	278	110	126	2	6.9
Zircon 55	1990	575	0.29	0.0502	0.0022	0.1338	0.0051	0.0197	0.0003	0.0071	0.0002	0.36	125	2	128	5	193	97	125	2	2.2
Zircon 56	103	20	0.19	0.0659	0.0044	0.9010	0.0630	0.0991	0.0013	0.0381	0.0047	0.16	609	8	665	31	840	120	609	8	8.4
Zircon 57	1130	665	0.59	0.0595	0.0031	0.1604	0.0084	0.0197	0.0002	0.0070	0.0003	0.00	126	2	152	7	563	110	126	2	17.3
Zircon 58	918	108	0.12	0.0606	0.0024	0.7850	0.0270	0.0951	0.0017	0.0376	0.0013	0.52	586	10	588	15	627	82	586	10	0.4
Zircon 59	802	489	0.61	0.0636	0.0028	0.4750	0.0230	0.0541	0.0020	0.0257	0.0008	0.02	339	12	394	16	759	98	339	12	13.9
Zircon 60	215	102	0.48	0.0590	0.0055	0.1680	0.0150	0.0213	0.0005	0.0076	0.0006	-0.15	136	3	157	13	530	180	136	3	13.6
Zircon 61	834	215	0.26	0.0603	0.0046	0.1640	0.0140	0.0199	0.0003	0.0086	0.0007	0.57	127	2	156	11	590	140	127	2	18.4
Zircon 62	524	293	0.56	0.0579	0.0036	0.1700	0.0100	0.0213	0.0003	0.0077	0.0003	0.08	136	2	159	9	480	130	136	2	14.3
Zircon 63	268	339	1.27	0.0635	0.0029	0.8500	0.0370	0.0965	0.0012	0.0313	0.0009	0.30	594	7	626	20	724	95	594	7	5.2
Zircon 65	722	610	0.84	0.0590	0.0035	0.1630	0.0093	0.0203	0.0003	0.0067	0.0002	0.22	129	2	153	8	580	120	129	2	15.5
Zircon 66	850	700	0.82	0.0586	0.0036	0.1537	0.0110	0.0191	0.0003	0.0062	0.0005	0.20	122	2	145	9	520	130	122	2	15.9
Zircon 67	312	102	0.33	0.0608	0.0035	0.5630	0.0430	0.0675	0.0021	0.0294	0.0010	0.38	421	12	453	26	620	110	421	12	7.1
Zircon 68	675	451	0.67	0.0548	0.0037	0.1560	0.0100	0.0208	0.0002	0.0070	0.0003	0.12	133	1	147	9	400	130	133	1	9.7

Zircon 70	693	410	0.59	0.0558	0.0037	0.1594	0.0096	0.0206	0.0003	0.0072	0.0004	0.04	132	2	150	8	420	130	132	2	11.9
Zircon 71	238	67	0.28	0.0662	0.0040	0.5930	0.0390	0.0656	0.0013	0.0230	0.0018	0.37	410	8	476	24	815	120	410	8	13.9
Zircon 72	212	110	0.52	0.0717	0.0037	1.3260	0.0650	0.1347	0.0027	0.0442	0.0021	0.34	814	16	867	28	1005	91	814	16	6.1
Zircon 76	525	411	0.78	0.0616	0.0039	0.1745	0.0130	0.0204	0.0003	0.0071	0.0004	0.00	130	2	163	11	663	120	130	2	20.1
Zircon 77	517	238	0.46	0.0580	0.0033	0.1571	0.0081	0.0198	0.0003	0.0068	0.0003	0.16	126	2	148	7	510	120	126	2	14.7
Zircon 78	273	107	0.39	0.1088	0.0040	4.8500	0.1800	0.3213	0.0068	0.0976	0.0034	0.79	1795	33	1791	32	1781	71	1781	71	-0.2
Zircon 79	689	415	0.60	0.0549	0.0029	0.1474	0.0075	0.0201	0.0003	0.0064	0.0003	0.07	128	2	141	7	400	130	128	2	9.0
Zircon 80	462	179	0.39	0.0616	0.0039	0.1740	0.0110	0.0202	0.0003	0.0077	0.0005	0.07	129	2	162	10	660	130	129	2	20.3
Zircon 84	563	26	0.05	0.0606	0.0032	0.6380	0.0280	0.0768	0.0009	0.0337	0.0026	0.21	477	5	500	17	611	100	477	5	4.7
Zircon 85	934	41	0.04	0.0601	0.0023	0.6650	0.0230	0.0806	0.0010	0.0302	0.0030	0.11	500	6	517	14	602	87	500	6	3.4
Zircon 86	334	138	0.41	0.0539	0.0047	0.2650	0.0260	0.0363	0.0007	0.0126	0.0015	0.04	230	4	239	19	350	150	230	4	3.8
Zircon 87	1210	420	0.35	0.0489	0.0025	0.1471	0.0063	0.0219	0.0003	0.0071	0.0003	0.36	139	2	139	6	131	110	139	2	-0.1
Zircon 88	193	158	0.82	0.0597	0.0030	0.6250	0.0300	0.0776	0.0011	0.0254	0.0009	0.34	482	6	495	19	565	110	482	6	2.7
Zircon 90	1477	1695	1.15	0.0491	0.0023	0.1319	0.0056	0.0194	0.0002	0.0061	0.0002	-0.29	124	1	126	5	144	110	124	1	1.4
Zircon 91	231	85	0.37	0.0551	0.0047	0.2030	0.0180	0.0268	0.0005	0.0103	0.0006	-0.12	171	3	192	15	400	180	171	3	11.2
Zircon 92	630	156	0.25	0.0581	0.0026	0.5700	0.0220	0.0712	0.0007	0.0236	0.0009	-0.09	443	4	458	15	519	98	443	4	3.2
Zircon 94	158	81	0.51	0.0782	0.0034	2.0310	0.0800	0.1897	0.0033	0.0603	0.0022	0.34	1119	18	1125	25	1144	83	1119	18	0.5
Zircon 95	419	19	0.05	0.0573	0.0032	0.2640	0.0140	0.0339	0.0006	0.0429	0.0024	0.09	215	4	238	11	470	130	215	4	9.6
Zircon 99	482	303	0.63	0.0531	0.0042	0.1539	0.0120	0.0213	0.0003	0.0072	0.0004	-0.02	136	2	145	10	300	150	136	2	6.5
Zircon 100	107	39	0.36	0.0641	0.0067	0.1760	0.0180	0.0207	0.0006	0.0099	0.0009	0.09	132	4	164	16	700	200	132	4	19.6
Zircon 102	141	79	0.56	0.0623	0.0035	0.7160	0.0410	0.0866	0.0013	0.0287	0.0012	0.32	536	8	553	24	650	110	536	8	3.1
Zircon 108	585	312	0.53	0.0570	0.0033	0.1671	0.0088	0.0215	0.0003	0.0075	0.0004	0.29	137	2	157	8	540	120	137	2	12.5
Zircon 109	1078	1202	1.12	0.0516	0.0028	0.1340	0.0078	0.0195	0.0003	0.0059	0.0002	-0.05	124	2	128	7	240	120	124	2	2.5
Zircon 110	415	181	0.44	0.0512	0.0039	0.1440	0.0100	0.0207	0.0003	0.0074	0.0004	-0.16	132	2	136	9	210	150	132	2	2.7
Zircon 111	159	56	0.35	0.0558	0.0059	0.1580	0.0180	0.0207	0.0005	0.0087	0.0008	-0.05	132	3	148	16	410	200	132	3	10.7

CORRECTED RATIOS²

CORRECTED AGES (Ma)

Sample	CORRECTED RATIOS ²												CORRECTED AGES (Ma)								Best age (Ma)	Disc %
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ				
RN-3																						
Zircon_1B	271	163	0.60	0.0543	0.0027	0.3290	0.0130	0.0443	0.0008	0.0140	0.0007	-0.01	279	5	291	10	360	120	279	5	4.0	
Zircon_3B	141	86	0.61	0.0587	0.0034	0.3230	0.0200	0.0401	0.0009	0.0151	0.0008	0.11	253	6	284	15	520	110	253	6	10.8	
Zircon_4B	182	125	0.68	0.0530	0.0030	0.3060	0.0150	0.0424	0.0008	0.0135	0.0007	0.19	268	5	272	11	320	120	268	5	1.7	
Zircon_5B	288	199	0.69	0.0527	0.0025	0.2970	0.0120	0.0410	0.0008	0.0128	0.0006	-0.06	259	5	266	9	320	110	259	5	2.6	
Zircon_7B	359	315	0.88	0.0532	0.0036	0.3010	0.0170	0.0405	0.0011	0.0137	0.0007	0.48	256	7	266	13	310	130	256	7	3.7	
Zircon_8B	169	122	0.72	0.0561	0.0028	0.3520	0.0150	0.0456	0.0008	0.0148	0.0007	0.18	287	5	308	11	420	110	287	5	6.8	
Zircon_9B	335	127	0.38	0.0586	0.0026	0.3430	0.0120	0.0419	0.0007	0.0143	0.0007	0.23	265	4	304	9	552	100	265	4	12.9	
Zircon_10B	192	117	0.61	0.0527	0.0036	0.3180	0.0190	0.0436	0.0010	0.0137	0.0007	-0.04	275	7	282	14	310	150	275	7	2.6	
Zircon_11B	197	210	1.06	0.0600	0.0045	0.3470	0.0260	0.0417	0.0008	0.0124	0.0007	0.07	263	5	302	19	590	140	263	5	12.9	
Zircon_12B	389	338	0.87	0.0510	0.0026	0.3070	0.0120	0.0425	0.0007	0.0132	0.0006	0.05	268	4	272	9	248	120	268	4	1.1	
Zircon_14B	276	228	0.83	0.0512	0.0030	0.3040	0.0150	0.0426	0.0007	0.0138	0.0006	0.05	269	4	269	12	240	120	269	4	0.0	
Zircon_15B	252	199	0.79	0.0531	0.0029	0.2880	0.0140	0.0387	0.0009	0.0131	0.0006	0.14	245	5	260	11	300	120	245	5	5.9	
Zircon_16B	280	155	0.55	0.0559	0.0028	0.3020	0.0120	0.0387	0.0007	0.0129	0.0006	0.09	245	5	267	9	460	110	245	5	8.4	
Zircon_17B	376	243	0.65	0.0530	0.0027	0.3150	0.0130	0.0425	0.0007	0.0133	0.0006	0.01	268	4	277	10	316	120	268	4	3.2	
Zircon_18B	195	146	0.75	0.0540	0.0034	0.3310	0.0190	0.0434	0.0007	0.0147	0.0008	0.23	274	5	289	14	330	140	274	5	5.3	

Zircon_19B	355	303	0.85	0.0556	0.0031	0.3230	0.0170	0.0406	0.0007	0.0133	0.0006	0.17	257	5	283	13	460	130	257	5	9.4
Zircon_20B	264	198	0.75	0.0540	0.0025	0.3250	0.0130	0.0422	0.0007	0.0121	0.0007	0.18	267	4	285	10	370	110	267	4	6.5
Zircon_21B	300	272	0.91	0.0541	0.0027	0.3290	0.0120	0.0436	0.0008	0.0144	0.0006	-0.10	276	5	288	9	370	110	276	5	4.0
Zircon_22B	396	368	0.93	0.0570	0.0026	0.3290	0.0120	0.0412	0.0007	0.0132	0.0006	0.05	260	4	288	9	486	98	260	4	9.7
Zircon_23B	496	434	0.88	0.0508	0.0028	0.2920	0.0130	0.0412	0.0006	0.0134	0.0005	0.16	261	4	262	10	240	120	261	4	0.6
Zircon_24B	234	189	0.81	0.0564	0.0030	0.3370	0.0170	0.0425	0.0009	0.0139	0.0007	-0.02	269	6	294	13	500	120	269	6	8.7
Zircon_25B	244	188	0.77	0.0547	0.0031	0.3330	0.0170	0.0435	0.0009	0.0144	0.0008	0.33	275	6	291	13	370	120	275	6	5.7
Zircon_26B	203	114	0.56	0.0521	0.0032	0.3100	0.0170	0.0428	0.0009	0.0146	0.0008	-0.15	270	5	273	13	260	130	270	5	1.0
Zircon_27B	185	139	0.75	0.0630	0.0030	0.3420	0.0130	0.0387	0.0008	0.0133	0.0006	0.39	245	5	298	10	680	100	245	5	18.0
Zircon_28B	172	116	0.68	0.0540	0.0033	0.3170	0.0160	0.0422	0.0008	0.0149	0.0007	-0.24	266	5	282	11	360	120	266	5	5.5
Zircon_29B	188	157	0.84	0.0527	0.0040	0.3140	0.0220	0.0442	0.0009	0.0132	0.0007	-0.02	279	6	279	17	290	160	279	6	0.1
Zircon_30B	262	135	0.51	0.0520	0.0030	0.2940	0.0140	0.0409	0.0007	0.0134	0.0007	0.07	258	5	261	11	320	130	258	5	1.0
Zircon_31B	211	137	0.65	0.0527	0.0032	0.3190	0.0180	0.0439	0.0007	0.0143	0.0008	0.15	277	5	280	14	300	140	277	5	1.0
Zircon_32B	433	446	1.03	0.0562	0.0029	0.3270	0.0160	0.0419	0.0007	0.0132	0.0007	0.49	265	4	287	12	440	100	265	4	7.8
Zircon_33B	327	257	0.79	0.0532	0.0026	0.3140	0.0120	0.0432	0.0007	0.0134	0.0006	0.33	273	4	277	10	320	110	273	4	1.6
Zircon_34B	199	147	0.74	0.0523	0.0033	0.3170	0.0160	0.0440	0.0009	0.0140	0.0007	0.08	278	5	278	12	300	130	278	5	0.1
Zircon_35B	351	322	0.92	0.0540	0.0029	0.3100	0.0150	0.0419	0.0009	0.0134	0.0007	0.20	264	5	274	12	390	120	264	5	3.5
Zircon_36B	402	29	0.07	0.0542	0.0024	0.3470	0.0120	0.0467	0.0007	0.0184	0.0011	0.07	294	5	303	9	382	97	294	5	3.0
Zircon_37B	398	299	0.75	0.0546	0.0023	0.3193	0.0092	0.0433	0.0007	0.0136	0.0006	-0.04	273	5	281	7	378	96	273	5	2.8
Zircon_39B	390	358	0.92	0.0536	0.0026	0.3070	0.0130	0.0426	0.0007	0.0131	0.0006	0.29	269	5	271	10	347	110	269	5	0.8
Zircon_40B	416	266	0.64	0.0534	0.0030	0.2970	0.0150	0.0401	0.0010	0.0125	0.0006	0.21	254	6	263	11	310	120	254	6	3.5
Zircon_41B	270	145	0.54	0.0613	0.0028	0.5920	0.0200	0.0724	0.0015	0.0272	0.0011	0.34	451	9	471	13	640	100	451	9	4.3
Zircon_42B	496	470	0.95	0.0513	0.0024	0.2960	0.0110	0.0425	0.0007	0.0129	0.0005	-0.01	268	4	263	8	234	100	268	4	-2.0
Zircon_43B	103	92	0.90	0.0587	0.0051	0.3550	0.0290	0.0449	0.0010	0.0147	0.0008	-0.05	283	6	312	21	560	180	283	6	9.4
Zircon_44B	137	74	0.54	0.0582	0.0036	0.3560	0.0200	0.0442	0.0010	0.0143	0.0007	0.10	279	6	311	15	530	140	279	6	10.4
Zircon_45B	297	117	0.39	0.0551	0.0043	0.3290	0.0220	0.0436	0.0007	0.0138	0.0007	-0.03	275	5	288	16	370	150	275	5	4.5
Zircon_47B	232	182	0.78	0.0530	0.0036	0.3060	0.0200	0.0417	0.0008	0.0124	0.0007	0.09	264	5	270	16	280	150	264	5	2.4
Zircon_48B	237	157	0.66	0.0525	0.0029	0.3100	0.0160	0.0427	0.0008	0.0133	0.0007	0.23	269	5	273	12	330	120	269	5	1.3
Zircon_49B	485	237	0.49	0.0548	0.0020	0.3140	0.0090	0.0416	0.0007	0.0125	0.0006	0.39	263	5	277	7	396	80	263	5	5.2
Zircon_51B	227	200	0.88	0.0525	0.0032	0.3120	0.0170	0.0434	0.0009	0.0128	0.0007	0.10	274	5	275	13	280	130	274	5	0.4
Zircon_52B	740	464	0.63	0.0526	0.0019	0.3070	0.0060	0.0423	0.0006	0.0126	0.0005	0.22	267	4	272	5	303	84	267	4	1.7
Zircon_1	212	142	0.67	0.0525	0.0032	0.3260	0.0190	0.0445	0.0009	0.0150	0.0011	0.26	280	5	286	14	280	130	280	5	2.0
Zircon_2	462	32	0.07	0.0731	0.0028	1.6910	0.0550	0.1674	0.0027	0.0530	0.0042	0.15	998	15	1006	21	1010	79	998	15	0.8
Zircon_3	85	75	0.88	0.0566	0.0046	0.3460	0.0250	0.0453	0.0010	0.0153	0.0012	0.09	285	6	303	20	420	180	285	6	5.8
Zircon_4	225	112	0.50	0.0602	0.0027	0.9310	0.0390	0.1123	0.0021	0.0333	0.0023	0.08	686	12	669	20	628	95	686	12	-2.5
Zircon_5	99	58	0.59	0.0596	0.0031	0.6790	0.0390	0.0840	0.0030	0.0271	0.0025	0.61	520	18	524	23	560	120	520	18	0.8
Zircon_6	91	32	0.35	0.0739	0.0037	1.7320	0.0770	0.1695	0.0034	0.0532	0.0039	-0.02	1009	19	1021	27	1039	98	1009	19	1.2
Zircon_7	164	21	0.13	0.0714	0.0032	1.5720	0.0600	0.1578	0.0028	0.0481	0.0041	0.10	945	16	960	24	974	83	945	16	1.6
Zircon_8	188	59	0.31	0.0736	0.0044	1.7110	0.1300	0.1671	0.0053	0.0543	0.0068	0.65	996	29	1011	43	1024	99	996	29	1.5
Zircon_9	817	168	0.21	0.0704	0.0025	1.4260	0.0440	0.1474	0.0031	0.0461	0.0028	0.24	887	17	899	19	934	64	887	17	1.4
Zircon_10	167	88	0.52	0.0523	0.0034	0.3270	0.0210	0.0451	0.0010	0.0137	0.0011	0.02	285	6	286	16	280	150	285	6	0.5
Zircon_11	78	24	0.31	0.0742	0.0030	1.9420	0.0740	0.1875	0.0038	0.0556	0.0041	0.13	1108	21	1094	28	1036	89	1108	21	-1.3
Zircon_12	67	42	0.63	0.0571	0.0060	0.3550	0.0370	0.0448	0.0014	0.0153	0.0015	0.05	283	8	312	29	400	220	283	8	9.4
Zircon_13	67	31	0.47	0.0763	0.0038	1.8290	0.0900	0.1747	0.0034	0.0533	0.0039	0.26	1038	19	1056	32	1106	94	1038	19	1.7
Zircon_14	171	62	0.36	0.0770	0.0030	1.9950	0.0700	0.1887	0.0032	0.0560	0.0039	0.17	1114	17	1115	23	1121	75	1114	17	0.1
Zircon_15	142	100	0.70	0.0560	0.0035	0.3420	0.0220	0.0443	0.0010	0.0143	0.0011	0.32	279	6	298	17	450	120	279	6	6.2
Zircon_16	293	45	0.15	0.0725	0.0030	1.4740	0.0530	0.1469	0.0027	0.0378	0.0030	-0.19	883	15	921	22	999	85	883	15	4.1
Zircon_17	294	63	0.21	0.0771	0.0029	2.0440	0.0640	0.1922	0.0033	0.0615	0.0043	0.02	1133	18	1129	21	1118	75	1133	18	-0.4

Zircon_18	169	150	0.88	0.0581	0.0045	0.3630	0.0260	0.0456	0.0010	0.0149	0.0010	-0.29	287	6	315	19	470	170	287	6	8.8
Zircon_19	129	151	1.17	0.0590	0.0037	0.3470	0.0190	0.0435	0.0010	0.0136	0.0010	-0.17	274	6	304	14	540	130	274	6	9.7
Zircon_20	178	24	0.13	0.0790	0.0033	1.9130	0.0700	0.1752	0.0029	0.0640	0.0049	0.21	1041	16	1087	25	1161	83	1041	16	4.2
Zircon_21	166	14	0.09	0.0780	0.0032	1.8960	0.0840	0.1750	0.0037	0.0729	0.0062	0.72	1039	20	1076	29	1152	83	1039	20	3.4
Zircon_22	41	11	0.27	0.0732	0.0044	1.8080	0.0920	0.1759	0.0043	0.0589	0.0059	0.00	1044	24	1044	33	1028	110	1044	24	0.0
Zircon_23	49	14	0.29	0.0769	0.0038	1.8130	0.0920	0.1723	0.0037	0.0524	0.0049	0.45	1025	21	1049	33	1108	100	1025	21	2.3
Zircon_24	104	41	0.39	0.0604	0.0040	0.3430	0.0230	0.0418	0.0011	0.0149	0.0015	0.30	264	7	301	18	630	150	264	7	12.3
Zircon_25	109	60	0.55	0.0720	0.0034	1.4490	0.0640	0.1455	0.0029	0.0438	0.0032	0.15	875	17	907	26	1000	98	875	17	3.5
Zircon_26	471	11	0.02	0.0711	0.0027	1.5900	0.0530	0.1617	0.0026	0.0531	0.0051	0.21	966	14	965	21	959	79	966	14	-0.1
Zircon_27	172	26	0.15	0.0732	0.0029	1.5850	0.0590	0.1581	0.0028	0.0498	0.0038	0.49	946	15	963	23	1016	82	946	15	1.7
Zircon_28	460	35	0.08	0.0774	0.0030	1.9610	0.0860	0.1849	0.0037	0.0551	0.0041	0.83	1094	20	1099	30	1136	78	1094	20	0.5
Zircon_29	183	104	0.57	0.0758	0.0029	1.7490	0.0560	0.1669	0.0031	0.0496	0.0033	0.19	995	17	1030	20	1089	74	995	17	3.4
Zircon_30	169	27	0.16	0.0725	0.0030	1.5180	0.0560	0.1521	0.0027	0.0411	0.0035	0.30	913	15	942	23	995	84	913	15	3.1
Zircon_31	211	120	0.57	0.0514	0.0029	0.3250	0.0170	0.0457	0.0009	0.0142	0.0011	0.01	288	6	285	13	250	130	288	6	-1.1
Zircon_32	283	165	0.58	0.0547	0.0031	0.3260	0.0160	0.0424	0.0008	0.0142	0.0010	0.14	268	5	286	12	420	110	268	5	6.5
Zircon_33	118	59	0.50	0.0579	0.0041	0.3100	0.0200	0.0397	0.0010	0.0139	0.0012	0.37	251	6	273	16	490	160	251	6	8.2
Zircon_36	364	289	0.79	0.0512	0.0023	0.3080	0.0120	0.0436	0.0008	0.0129	0.0009	-0.01	275	5	272	9	255	110	275	5	-0.9
Zircon_37	689	598	0.87	0.0518	0.0021	0.3052	0.0110	0.0432	0.0008	0.0133	0.0009	-0.01	273	5	271	8	265	94	273	5	-0.5
Zircon_38	169	124	0.73	0.0563	0.0039	0.3650	0.0240	0.0472	0.0011	0.0158	0.0012	0.06	297	7	315	18	430	150	297	7	5.7
Zircon_39	977	37	0.04	0.0720	0.0025	1.6250	0.0480	0.1645	0.0027	0.0542	0.0041	0.36	982	15	980	19	982	71	982	15	-0.2
Zircon_41	261	144	0.55	0.0535	0.0033	0.2940	0.0180	0.0389	0.0009	0.0125	0.0010	0.10	246	6	260	14	350	130	246	6	5.4
Zircon_42	211	153	0.73	0.0530	0.0035	0.3240	0.0190	0.0449	0.0009	0.0145	0.0010	-0.17	283	6	286	15	310	130	283	6	1.1
Zircon_43	396	89	0.23	0.0732	0.0028	1.5130	0.0580	0.1507	0.0029	0.0467	0.0033	0.71	905	16	934	23	1024	81	905	16	3.1
Zircon_44	121	79	0.65	0.0541	0.0045	0.3210	0.0260	0.0440	0.0011	0.0143	0.0012	-0.13	278	7	280	20	360	190	278	7	0.8
Zircon_45	94	29	0.31	0.0838	0.0042	2.2820	0.0980	0.1985	0.0040	0.0599	0.0049	-0.17	1167	22	1207	30	1277	100	1167	22	3.3
Zircon_46	194	8	0.04	0.0729	0.0028	1.6640	0.0590	0.1670	0.0027	0.0561	0.0054	0.31	995	15	996	22	1012	75	995	15	0.1
Zircon_48	1042	85	0.08	0.0589	0.0021	0.6600	0.0210	0.0818	0.0014	0.0210	0.0018	0.62	507	9	515	13	569	77	507	9	1.5
Zircon_49	304	57	0.19	0.0523	0.0026	0.3230	0.0140	0.0442	0.0009	0.0143	0.0012	0.03	279	5	284	11	293	120	279	5	1.8
Zircon_50	562	160	0.28	0.0524	0.0026	0.3150	0.0150	0.0437	0.0008	0.0134	0.0010	0.18	276	5	278	11	292	110	276	5	0.6
Zircon_51	309	278	0.90	0.0525	0.0029	0.3240	0.0160	0.0450	0.0010	0.0145	0.0010	0.03	284	6	284	12	296	120	284	6	0.2
Zircon_52	136	74	0.54	0.0540	0.0035	0.3250	0.0200	0.0434	0.0009	0.0147	0.0012	0.19	274	5	285	15	330	140	274	5	3.9
Zircon_53	148	68	0.46	0.0532	0.0039	0.3180	0.0220	0.0434	0.0010	0.0138	0.0012	0.03	274	6	278	17	290	160	274	6	1.5
Zircon_55	209	68	0.33	0.0794	0.0029	2.1600	0.0910	0.1992	0.0063	0.0565	0.0045	0.79	1170	34	1169	29	1178	72	1170	34	-0.1
Zircon_56	123	35	0.28	0.0741	0.0034	1.6980	0.0710	0.1650	0.0038	0.0558	0.0041	0.42	984	21	1005	27	1036	94	984	21	2.1
Zircon_57	383	73	0.19	0.0705	0.0025	1.5740	0.0470	0.1627	0.0027	0.0510	0.0035	0.10	972	15	960	18	938	72	972	15	-1.2
Zircon_58	261	265	1.02	0.0577	0.0030	0.3450	0.0170	0.0422	0.0008	0.0135	0.0009	0.18	267	5	300	13	535	110	267	5	11.1
Zircon_59	214	107	0.50	0.0763	0.0031	1.3930	0.0550	0.1327	0.0028	0.0361	0.0026	0.61	803	16	887	24	1101	80	803	16	9.5
Zircon_60	104	11	0.11	0.0731	0.0033	1.6660	0.0700	0.1663	0.0031	0.0560	0.0052	0.35	991	17	993	27	1010	88	991	17	0.2
Zircon_61	127	88	0.69	0.0538	0.0041	0.3230	0.0230	0.0439	0.0010	0.0130	0.0010	0.03	277	6	285	17	330	150	277	6	2.9
Zircon_62	95	42	0.44	0.0583	0.0050	0.3560	0.0280	0.0447	0.0012	0.0165	0.0013	-0.16	282	7	310	20	480	190	282	7	9.0
Zircon_63	277	102	0.37	0.0804	0.0029	2.3290	0.0720	0.2091	0.0037	0.0638	0.0043	0.29	1224	19	1220	22	1203	72	1224	19	-0.3
Zircon_64	124	52	0.42	0.0752	0.0036	1.1560	0.0570	0.1101	0.0033	0.0319	0.0023	0.51	673	19	777	27	1069	91	673	19	13.4
Zircon_65	454	127	0.28	0.0814	0.0028	2.1280	0.0630	0.1905	0.0032	0.0564	0.0038	0.31	1124	17	1158	21	1227	69	1124	17	2.9
Zircon_66	49	22	0.46	0.0830	0.0043	2.2570	0.1100	0.1965	0.0040	0.0595	0.0049	0.15	1156	22	1195	33	1267	100	1156	22	3.3
Zircon_67	97	28	0.29	0.0882	0.0037	2.8500	0.1100	0.2325	0.0044	0.0735	0.0053	0.08	1348	23	1370	27	1375	82	1348	23	1.6
Zircon_68	537	35	0.07	0.0751	0.0027	1.5640	0.0540	0.1511	0.0031	0.0724	0.0064	0.79	907	17	957	20	1070	70	907	17	5.2
Zircon_69	175	167	0.95	0.0546	0.0036	0.3330	0.0190	0.0443	0.0009	0.0146	0.0011	-0.06	279	6	293	15	370	140	279	6	4.7
Zircon_70	279	121	0.43	0.0574	0.0024	0.7380	0.0280	0.0935	0.0020	0.0277	0.0020	0.28	576	11	560	17	490	92	576	11	-2.9

Zircon_71	195	81	0.41	0.0847	0.0033	2.6960	0.0930	0.2321	0.0040	0.0709	0.0047	0.28	1345	21	1328	25	1313	75	1345	21	-1.3
Zircon_73	224	117	0.52	0.0823	0.0031	2.4190	0.0790	0.2142	0.0037	0.0617	0.0041	0.29	1251	19	1247	23	1257	73	1251	19	-0.3
Zircon_74	124	39	0.31	0.0769	0.0035	1.8090	0.0740	0.1717	0.0031	0.0525	0.0040	0.10	1022	17	1050	26	1114	88	1022	17	2.7
Zircon_75	156	74	0.47	0.0828	0.0034	2.2110	0.0980	0.1958	0.0052	0.0588	0.0042	0.72	1152	28	1189	31	1263	78	1152	28	3.1
Zircon_76	213	153	0.72	0.0538	0.0036	0.3200	0.0190	0.0438	0.0008	0.0137	0.0010	0.01	277	5	281	15	320	140	277	5	1.6
Zircon_77	173	75	0.43	0.0540	0.0040	0.3190	0.0240	0.0427	0.0009	0.0146	0.0013	0.09	270	5	284	19	410	160	270	5	5.0
Zircon_78	176	112	0.64	0.0524	0.0034	0.3160	0.0200	0.0425	0.0009	0.0133	0.0010	-0.13	268	6	280	16	330	150	268	6	4.2
Zircon_79	58	35	0.61	0.0618	0.0063	0.3780	0.0370	0.0438	0.0012	0.0154	0.0015	0.07	276	7	321	27	580	210	276	7	13.9
Zircon_80	97	46	0.47	0.0550	0.0044	0.3380	0.0250	0.0441	0.0011	0.0151	0.0013	-0.15	278	7	294	19	410	180	278	7	5.3
Zircon_81	128	66	0.51	0.0576	0.0046	0.3540	0.0280	0.0449	0.0011	0.0157	0.0014	0.18	283	7	306	21	440	170	283	7	7.5
Zircon_82	602	143	0.24	0.0898	0.0030	2.6270	0.0870	0.2121	0.0043	0.0973	0.0065	0.79	1240	23	1307	24	1418	64	1240	23	5.1
Zircon_83	113	37	0.33	0.0794	0.0035	2.3710	0.1000	0.2183	0.0046	0.0591	0.0046	0.34	1272	24	1237	30	1185	85	1272	24	-2.8
Zircon_84	175	137	0.79	0.0635	0.0043	0.3900	0.0260	0.0452	0.0010	0.0158	0.0012	0.08	285	6	335	20	710	140	285	6	15.0
Zircon_85	169	140	0.83	0.0514	0.0032	0.3100	0.0170	0.0444	0.0010	0.0139	0.0010	-0.09	280	6	274	13	220	130	280	6	-2.2
Zircon_86	260	44	0.17	0.0731	0.0028	1.7280	0.0610	0.1713	0.0028	0.0523	0.0039	0.37	1019	15	1020	23	1014	81	1019	15	0.1
Zircon_87	276	227	0.82	0.0527	0.0031	0.3100	0.0180	0.0433	0.0008	0.0133	0.0009	0.22	274	5	274	14	330	130	274	5	0.2
Zircon_88	155	73	0.47	0.0555	0.0042	0.3210	0.0240	0.0419	0.0010	0.0145	0.0013	0.12	265	6	281	19	390	170	265	6	5.9
Zircon_89	170	101	0.59	0.0537	0.0039	0.3130	0.0210	0.0432	0.0009	0.0151	0.0012	-0.14	272	6	278	16	350	150	272	6	2.1
Zircon_90	287	182	0.63	0.0553	0.0027	0.2900	0.0140	0.0390	0.0010	0.0124	0.0009	0.46	246	6	258	11	401	110	246	6	4.6
Zircon_91	290	204	0.70	0.0553	0.0031	0.3360	0.0180	0.0448	0.0010	0.0141	0.0010	-0.02	283	6	295	14	410	130	283	6	4.2
Zircon_92	98	58	0.59	0.0514	0.0044	0.3210	0.0260	0.0451	0.0011	0.0143	0.0013	-0.06	284	7	280	20	220	180	284	7	-1.5
Zircon_93	125	64	0.52	0.0542	0.0045	0.3240	0.0260	0.0438	0.0010	0.0144	0.0013	0.04	276	6	283	20	330	180	276	6	2.4
Zircon_94	321	182	0.57	0.0561	0.0030	0.3110	0.0160	0.0398	0.0008	0.0135	0.0009	0.33	252	5	276	12	456	120	252	5	8.9
Zircon_95	693	209	0.30	0.0728	0.0025	1.6410	0.0480	0.1647	0.0027	0.0486	0.0032	0.29	983	15	987	19	1005	70	983	15	0.5
Zircon_96	622	183	0.29	0.0736	0.0027	1.6450	0.0550	0.1626	0.0028	0.0478	0.0033	0.76	971	16	984	19	1025	72	971	16	1.3
Zircon_97	240	61	0.25	0.0846	0.0031	2.8920	0.0980	0.2472	0.0048	0.0771	0.0052	0.55	1424	25	1378	26	1300	72	1300	72	-3.3
Zircon_98	136	72	0.53	0.0599	0.0048	0.3460	0.0280	0.0424	0.0010	0.0157	0.0020	0.61	268	6	300	21	540	170	268	6	10.8
Zircon_99	202	128	0.64	0.0519	0.0034	0.3140	0.0180	0.0434	0.0010	0.0141	0.0010	-0.20	274	6	276	14	260	150	274	6	0.9
Zircon_100	325	275	0.85	0.0546	0.0032	0.3480	0.0180	0.0465	0.0009	0.0150	0.0010	-0.05	293	6	303	14	380	130	293	6	3.3
Zircon_101	188	108	0.57	0.0573	0.0034	0.3340	0.0190	0.0430	0.0010	0.0142	0.0011	0.10	271	6	292	15	480	130	271	6	7.2

CORRECTED RATIOS²

CORRECTED AGES (Ma)

Sample	CORRECTED RATIOS ²												CORRECTED AGES (Ma)									
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	Best age (Ma)	±2σ	Disc %	
V-1																						
Zircon_1B	168	37	0.22	0.0530	0.0036	0.2870	0.0170	0.0399	0.0011	0.0146	0.0012	0.14	252	7	255	14	280	150	252	7	1.1	
Zircon_6B	94	68	0.73	0.0658	0.0045	0.3540	0.0200	0.0403	0.0010	0.0138	0.0009	-0.06	255	6	307	15	730	150	255	6	17.1	
Zircon_10B	80	80	0.99	0.0623	0.0057	0.2970	0.0260	0.0336	0.0009	0.0115	0.0008	-0.23	213	6	263	20	670	190	213	6	19.0	
Zircon_11B	217	80	0.37	0.0510	0.0036	0.2670	0.0170	0.0371	0.0008	0.0122	0.0008	0.05	235	5	239	13	230	140	235	5	1.9	
Zircon_12B	215	131	0.61	0.0514	0.0031	0.2770	0.0140	0.0385	0.0007	0.0119	0.0005	0.26	243	4	247	11	280	120	243	4	1.5	
Zircon_13B	199	198	1.00	0.0543	0.0046	0.2710	0.0210	0.0363	0.0006	0.0115	0.0005	-0.23	231	4	242	16	350	180	231	4	4.8	
Zircon_14B	147	119	0.80	0.0517	0.0044	0.2590	0.0180	0.0368	0.0008	0.0124	0.0006	0.05	233	5	233	15	210	170	233	5	0.2	
Zircon_16B	150	41	0.27	0.0641	0.0039	0.3570	0.0210	0.0404	0.0008	0.0177	0.0016	0.21	255	5	308	15	730	120	255	5	17.1	
Zircon_17B	520	613	1.18	0.0524	0.0026	0.2830	0.0110	0.0387	0.0006	0.0122	0.0005	0.09	245	4	254	8	295	110	245	4	3.7	
Zircon_18B	173	187	1.08	0.0529	0.0042	0.2800	0.0190	0.0387	0.0009	0.0122	0.0006	0.16	245	5	249	15	330	160	245	5	1.8	
Zircon_20B	366	218	0.60	0.0605	0.0028	0.3200	0.0130	0.0363	0.0008	0.0129	0.0006	0.13	230	5	281	10	690	94	230	5	18.3	

Zircon_21B	76	26	0.34	0.0620	0.0057	0.3560	0.0320	0.0425	0.0011	0.0173	0.0014	0.20	268	7	312	23	700	180	268	7	14.0
Zircon_22B	439	414	0.94	0.0590	0.0026	0.3190	0.0110	0.0388	0.0006	0.0125	0.0005	0.17	245	4	281	8	540	96	245	4	12.7
Zircon_23B	98	57	0.59	0.0535	0.0058	0.2900	0.0320	0.0399	0.0009	0.0119	0.0011	0.02	253	5	263	23	350	210	253	5	4.0
Zircon_24B	102	20	0.19	0.0649	0.0049	0.3620	0.0270	0.0403	0.0010	0.0192	0.0027	0.16	255	6	312	20	710	160	255	6	18.4
Zircon_25B	104	56	0.54	0.0533	0.0043	0.2670	0.0200	0.0365	0.0009	0.0117	0.0008	0.01	231	6	239	15	280	160	231	6	3.4
Zircon_26B	341	194	0.57	0.0580	0.0033	0.3060	0.0160	0.0377	0.0007	0.0142	0.0007	0.11	239	4	270	12	500	120	239	4	11.7
Zircon_27B	252	262	1.04	0.0556	0.0026	0.5350	0.0200	0.0687	0.0012	0.0213	0.0008	-0.22	428	8	434	13	410	100	428	8	1.4
Zircon_28B	138	111	0.80	0.0619	0.0044	0.3500	0.0230	0.0409	0.0009	0.0135	0.0009	0.19	258	6	310	17	630	140	258	6	16.7
Zircon_29B	84	63	0.75	0.0564	0.0050	0.2650	0.0210	0.0339	0.0009	0.0105	0.0008	0.19	215	6	242	17	410	170	215	6	11.3
Zircon_30B	187	186	0.99	0.0569	0.0043	0.2880	0.0200	0.0363	0.0007	0.0110	0.0006	0.07	230	4	256	16	460	160	230	4	10.2
Zircon_31B	72	39	0.54	0.0528	0.0064	0.2180	0.0240	0.0294	0.0011	0.0103	0.0009	0.07	187	7	197	21	270	230	187	7	5.1
Zircon_32B	163	138	0.85	0.0525	0.0041	0.2780	0.0190	0.0381	0.0008	0.0120	0.0006	-0.01	241	5	248	15	280	170	241	5	2.7
Zircon_33B	455	121	0.26	0.0535	0.0030	0.2940	0.0160	0.0405	0.0007	0.0135	0.0008	0.14	256	4	262	12	330	130	256	4	2.4
Zircon_34B	366	225	0.61	0.0512	0.0027	0.2730	0.0110	0.0385	0.0006	0.0125	0.0006	-0.11	244	4	245	9	224	110	244	4	0.4
Zircon_35B	181	117	0.65	0.0505	0.0033	0.2910	0.0170	0.0415	0.0008	0.0139	0.0007	0.18	262	5	261	13	210	140	262	5	-0.5
Zircon_37B	38	16	0.41	0.0543	0.0097	0.2350	0.0420	0.0305	0.0010	0.0119	0.0011	0.33	194	7	213	33	330	320	194	7	9.2
Zircon_38B	313	66	0.21	0.0600	0.0029	0.3460	0.0130	0.0417	0.0007	0.0168	0.0011	0.19	263	4	303	10	580	110	263	4	13.1
Zircon_39B	136	77	0.57	0.0562	0.0036	0.3450	0.0200	0.0433	0.0010	0.0139	0.0008	0.04	273	6	306	15	470	140	273	6	10.8
Zircon_40B	604	850	1.41	0.0565	0.0020	0.5660	0.0150	0.0728	0.0011	0.0226	0.0008	0.54	453	6	455	10	465	79	453	6	0.4
Zircon_1	31	4	0.12	0.0744	0.0056	1.7100	0.1100	0.1669	0.0041	0.0525	0.0085	-0.11	995	23	1003	43	990	160	995	23	0.8
Zircon_2	195	206	1.06	0.0537	0.0035	0.2640	0.0170	0.0366	0.0008	0.0118	0.0009	-0.06	232	5	239	13	310	150	232	5	3.1
Zircon_3	604	80	0.13	0.0747	0.0026	1.8390	0.0560	0.1771	0.0029	0.0503	0.0036	0.50	1051	16	1059	20	1066	70	1051	16	0.7
Zircon_5	380	47	0.12	0.0711	0.0030	1.7360	0.0840	0.1781	0.0075	0.0544	0.0066	0.51	1056	41	1020	30	951	90	1056	41	-3.5
Zircon_6	210	107	0.51	0.0564	0.0033	0.3320	0.0180	0.0429	0.0009	0.0130	0.0010	-0.04	271	6	293	14	430	130	271	6	7.6
Zircon_8	150	104	0.70	0.0526	0.0034	0.2880	0.0180	0.0400	0.0009	0.0126	0.0010	-0.05	253	5	256	14	320	130	253	5	1.3
Zircon_9	185	159	0.86	0.0508	0.0038	0.2730	0.0190	0.0391	0.0009	0.0126	0.0009	-0.09	247	6	244	15	200	160	247	6	-1.2
Zircon_10	107	43	0.40	0.0761	0.0034	2.0320	0.0860	0.1929	0.0037	0.0616	0.0047	0.18	1137	20	1123	29	1110	93	1137	20	-1.2
Zircon_11	218	213	0.98	0.0733	0.0029	1.5500	0.0530	0.1543	0.0026	0.0461	0.0030	0.27	925	15	950	21	1013	78	925	15	2.6
Zircon_12	55	30	0.55	0.0729	0.0037	1.7360	0.0760	0.1720	0.0036	0.0538	0.0041	0.10	1023	20	1023	30	1012	110	1023	20	0.0
Zircon_13	61	32	0.52	0.0713	0.0038	1.6280	0.0800	0.1646	0.0033	0.0514	0.0038	0.08	982	19	977	31	949	110	982	19	-0.5
Zircon_14	1173	152	0.13	0.0688	0.0025	0.7750	0.0380	0.0815	0.0024	0.0341	0.0033	0.94	505	14	581	21	899	75	505	14	13.1
Zircon_15	247	51	0.21	0.0585	0.0031	0.5950	0.0350	0.0729	0.0025	0.0176	0.0016	0.70	453	15	472	22	539	110	453	15	4.0
Zircon_16	126	58	0.46	0.0736	0.0034	1.8940	0.0780	0.1863	0.0038	0.0577	0.0041	0.22	1101	21	1076	28	1014	92	1101	21	-2.3
Zircon_19	249	132	0.53	0.0768	0.0029	1.6980	0.0700	0.1611	0.0041	0.0430	0.0033	0.79	965	22	1005	27	1109	75	965	22	4.0
Zircon_20	195	176	0.90	0.0504	0.0036	0.2820	0.0210	0.0406	0.0009	0.0146	0.0011	0.20	257	6	250	17	170	160	257	6	-2.6
Zircon_21	126	81	0.64	0.0590	0.0044	0.3220	0.0240	0.0386	0.0009	0.0141	0.0012	-0.07	244	6	281	18	530	170	244	6	13.2
Zircon_23	337	250	0.74	0.0525	0.0028	0.2840	0.0140	0.0401	0.0008	0.0127	0.0009	0.09	253	5	255	11	285	120	253	5	0.8
Zircon_24	175	84	0.48	0.0961	0.0036	3.5900	0.1200	0.2717	0.0046	0.0814	0.0054	0.41	1549	23	1546	27	1544	71	1544	23	-0.2
Zircon_25	279	102	0.36	0.0550	0.0034	0.3160	0.0180	0.0419	0.0009	0.0129	0.0010	0.25	265	6	278	14	400	130	265	6	4.9
Zircon_26	341	138	0.40	0.0587	0.0028	0.5460	0.0240	0.0671	0.0012	0.0225	0.0016	0.00	419	7	442	16	567	110	419	7	5.3
Zircon_27	211	97	0.46	0.0732	0.0029	1.6300	0.0600	0.1614	0.0030	0.0493	0.0033	0.26	965	17	980	23	1017	84	965	17	1.5
Zircon_28	133	37	0.28	0.0714	0.0029	1.4730	0.0550	0.1495	0.0033	0.0469	0.0036	0.45	898	19	918	23	957	85	898	19	2.2
Zircon_29	82	59	0.71	0.0553	0.0053	0.3170	0.0270	0.0413	0.0012	0.0139	0.0013	-0.08	262	8	277	21	350	200	262	8	5.5
Zircon_30	135	55	0.41	0.0617	0.0037	0.6970	0.0420	0.0820	0.0016	0.0228	0.0018	0.35	508	10	534	25	640	130	508	10	4.9
Zircon_31	234	69	0.30	0.0745	0.0029	1.8160	0.0660	0.1768	0.0041	0.0534	0.0037	0.54	1049	22	1050	24	1048	77	1049	22	0.1
Zircon_32	38	45	1.16	0.0621	0.0077	0.3730	0.0400	0.0416	0.0014	0.0145	0.0014	-0.28	263	9	317	31	560	260	263	9	17.2
Zircon_33	162	26	0.16	0.0514	0.0032	0.3010	0.0190	0.0422	0.0010	0.0155	0.0017	0.16	266	6	266	15	250	140	266	6	-0.1
Zircon_34	141	18	0.12	0.0507	0.0050	0.2950	0.0320	0.0417	0.0010	0.0171	0.0029	0.71	263	6	260	24	160	190	263	6	-1.3

Zircon_35	279	229	0.82	0.0549	0.0036	0.2870	0.0190	0.0381	0.0008	0.0119	0.0009	0.02	241	5	256	15	370	150	241	5	5.9
Zircon_36	123	75	0.61	0.0584	0.0037	0.3470	0.0220	0.0435	0.0010	0.0155	0.0013	-0.11	275	6	308	17	500	140	275	6	10.9
Zircon_37	498	51	0.10	0.0588	0.0024	0.7700	0.0290	0.0949	0.0018	0.0316	0.0022	0.16	584	11	579	16	572	88	584	11	-0.9
Zircon_38	193	144	0.75	0.0602	0.0031	0.7550	0.0360	0.0904	0.0017	0.0279	0.0019	0.12	558	10	569	21	582	110	558	10	2.0
Zircon_39	203	52	0.26	0.0808	0.0031	2.0490	0.0730	0.1851	0.0039	0.0572	0.0040	0.42	1094	21	1138	24	1209	77	1094	21	3.9
Zircon_40	288	11	0.04	0.0728	0.0028	1.5780	0.0550	0.1572	0.0030	0.0552	0.0049	0.51	941	17	963	21	999	79	941	17	2.3
Zircon_41	67	14	0.22	0.0731	0.0049	0.7950	0.0630	0.0818	0.0037	0.0278	0.0031	0.41	506	22	596	34	950	140	506	22	15.1
Zircon_42	169	87	0.51	0.0967	0.0036	3.6600	0.1600	0.2750	0.0071	0.0825	0.0055	0.86	1565	36	1562	35	1556	70	1556	70	-0.2
Zircon_43	509	167	0.33	0.0708	0.0026	1.5560	0.0480	0.1608	0.0027	0.0481	0.0032	0.21	961	15	952	19	947	74	961	15	-0.9
Zircon_44	106	37	0.35	0.0566	0.0051	0.3110	0.0290	0.0395	0.0010	0.0146	0.0014	0.32	250	6	275	21	420	180	250	6	9.2
Zircon_45	78	33	0.42	0.0563	0.0045	0.3180	0.0250	0.0410	0.0010	0.0153	0.0013	0.13	259	6	279	19	390	170	259	6	7.2
Zircon_47	701	172	0.25	0.0712	0.0028	1.5910	0.0690	0.1600	0.0045	0.0495	0.0049	0.37	957	25	966	26	960	76	957	25	1.0
Zircon_48	144	138	0.95	0.0631	0.0032	0.7900	0.0380	0.0916	0.0019	0.0285	0.0020	0.28	565	11	592	22	693	110	565	11	4.6
Zircon_49	29	20	0.69	0.0837	0.0055	1.9100	0.1300	0.1726	0.0045	0.0618	0.0050	0.52	1026	25	1085	40	1250	130	1026	25	5.4
Zircon_50	124	76	0.62	0.0579	0.0043	0.3030	0.0220	0.0373	0.0010	0.0128	0.0011	0.07	236	6	272	17	560	150	236	6	13.2
Zircon_51	180	42	0.24	0.0752	0.0030	1.8540	0.0660	0.1776	0.0030	0.0593	0.0043	0.39	1054	17	1063	23	1080	75	1054	17	0.9
Zircon_52	187	42	0.22	0.0729	0.0028	1.6630	0.0560	0.1676	0.0029	0.0507	0.0037	0.31	999	16	996	22	1003	78	999	16	-0.3
Zircon_53	503	91	0.18	0.0599	0.0023	0.7970	0.0260	0.0961	0.0015	0.0262	0.0019	-0.03	591	9	595	14	609	86	591	9	0.6
Zircon_54	171	207	1.21	0.0553	0.0036	0.3040	0.0200	0.0393	0.0008	0.0126	0.0009	0.11	248	5	273	15	440	130	248	5	9.0
Zircon_55	99	61	0.61	0.0558	0.0041	0.3110	0.0230	0.0396	0.0011	0.0139	0.0012	0.14	251	7	273	18	410	150	251	7	8.2
Zircon_56	114	97	0.85	0.0514	0.0046	0.2710	0.0230	0.0378	0.0009	0.0123	0.0010	-0.20	239	6	244	19	250	180	239	6	2.0
Zircon_57	98	38	0.39	0.0976	0.0041	3.7400	0.1700	0.2759	0.0083	0.0812	0.0055	0.60	1571	43	1575	40	1582	80	1582	80	0.3
Zircon_58	79	36	0.45	0.0733	0.0039	1.3670	0.0760	0.1349	0.0041	0.0342	0.0034	0.49	815	23	879	34	1023	100	815	23	7.3
Zircon_59	164	175	1.07	0.0544	0.0037	0.2630	0.0190	0.0352	0.0010	0.0114	0.0009	-0.09	223	6	236	15	370	140	223	6	5.6
Zircon_60	416	243	0.58	0.0527	0.0030	0.2910	0.0160	0.0404	0.0008	0.0127	0.0009	0.05	255	5	261	12	320	130	255	5	2.3
Zircon_61	412	238	0.58	0.0541	0.0029	0.3040	0.0160	0.0409	0.0008	0.0131	0.0009	0.36	259	5	271	12	361	110	259	5	4.6
Zircon_62	97	35	0.36	0.0636	0.0037	0.7800	0.0410	0.0899	0.0023	0.0272	0.0025	0.24	555	13	583	23	733	120	555	13	4.8
Zircon_63	550	181	0.33	0.0779	0.0029	2.0510	0.0640	0.1904	0.0030	0.0576	0.0038	0.12	1123	16	1134	21	1149	70	1123	16	1.0
Zircon_64	146	62	0.42	0.0716	0.0031	1.7270	0.0670	0.1766	0.0035	0.0543	0.0036	0.19	1048	19	1020	26	959	90	1048	19	-2.7
Zircon_65	279	139	0.50	0.0727	0.0031	1.6720	0.0720	0.1656	0.0034	0.0507	0.0037	0.18	988	18	997	26	1001	81	988	18	0.9
Zircon_66	91	41	0.45	0.0739	0.0036	1.6590	0.0800	0.1620	0.0031	0.0500	0.0035	0.06	968	17	993	29	1042	91	968	17	2.5
Zircon_67	247	75	0.30	0.0792	0.0030	2.2810	0.0780	0.2099	0.0038	0.0600	0.0041	0.39	1228	20	1205	24	1177	72	1228	20	-1.9
Zircon_68	225	75	0.33	0.0773	0.0029	2.1550	0.0700	0.2011	0.0032	0.0604	0.0040	0.33	1181	17	1166	23	1133	70	1181	17	-1.3
Zircon_69	292	108	0.37	0.0681	0.0029	1.1110	0.0420	0.1202	0.0024	0.0432	0.0031	0.16	732	14	760	19	858	90	732	14	3.7
Zircon_70	274	62	0.23	0.0716	0.0028	1.6990	0.0570	0.1724	0.0028	0.0541	0.0039	0.13	1027	16	1007	22	972	80	1027	16	-1.9
Zircon_71	144	39	0.27	0.0727	0.0034	1.6340	0.0630	0.1627	0.0030	0.0497	0.0037	-0.13	972	16	982	25	996	95	972	16	1.0
Zircon_72	153	44	0.29	0.0745	0.0031	1.6800	0.0630	0.1639	0.0031	0.0475	0.0035	0.33	979	17	1002	23	1051	82	979	17	2.3
Zircon_73	134	87	0.65	0.0774	0.0033	2.0670	0.0750	0.1924	0.0034	0.0577	0.0039	-0.01	1134	19	1136	25	1145	87	1134	19	0.2
Zircon_74	38	10	0.27	0.0799	0.0050	2.1700	0.1400	0.1960	0.0077	0.0727	0.0077	0.52	1153	41	1162	44	1180	120	1153	41	0.8
Zircon_75	140	37	0.27	0.0732	0.0030	1.6800	0.0620	0.1672	0.0030	0.0506	0.0038	-0.10	997	16	1002	22	1010	83	997	16	0.5
Zircon_76	271	59	0.22	0.0740	0.0027	1.6290	0.0500	0.1602	0.0027	0.0499	0.0034	-0.13	958	15	981	19	1042	77	958	15	2.4
Zircon_77	77	19	0.24	0.0699	0.0036	1.5560	0.0710	0.1622	0.0032	0.0536	0.0045	0.03	969	18	954	29	898	100	969	18	-1.6
Zircon_78	179	130	0.73	0.0536	0.0042	0.2910	0.0220	0.0401	0.0009	0.0133	0.0011	0.06	254	6	262	17	320	160	254	6	3.2
Zircon_79	134	51	0.38	0.0740	0.0030	1.7450	0.0620	0.1702	0.0032	0.0507	0.0037	0.34	1013	18	1024	23	1039	79	1013	18	1.1
Zircon_80	315	142	0.45	0.0732	0.0029	1.7640	0.0640	0.1750	0.0030	0.0539	0.0036	0.30	1039	17	1033	24	1016	84	1039	17	-0.6
Zircon_81	30	34	1.14	0.0733	0.0050	1.6900	0.1100	0.1701	0.0038	0.0547	0.0039	0.03	1012	21	1002	44	960	150	1012	21	-1.0
Zircon_82	161	57	0.35	0.0741	0.0030	1.6550	0.0580	0.1608	0.0028	0.0486	0.0034	0.12	961	15	990	22	1033	84	961	15	2.9

Zircon_84	140	48	0.35	0.0803	0.0035	2.1790	0.0950	0.1941	0.0042	0.0592	0.0044	0.52	1143	23	1175	29	1222	82	1143	23	2.7
Zircon_85	43	27	0.63	0.0783	0.0036	2.1310	0.0860	0.1957	0.0042	0.0609	0.0046	-0.03	1152	23	1156	28	1136	94	1152	23	0.3
Zircon_86	150	69	0.46	0.0749	0.0034	1.6980	0.0690	0.1655	0.0029	0.0503	0.0036	0.24	987	16	1009	27	1048	91	987	16	2.2
Zircon_87	225	93	0.41	0.0724	0.0028	1.7090	0.0600	0.1719	0.0029	0.0522	0.0035	0.29	1022	16	1015	23	989	79	1022	16	-0.7
Zircon_88	91	28	0.31	0.0737	0.0032	1.7570	0.0750	0.1727	0.0035	0.0556	0.0044	0.54	1027	19	1027	28	1039	84	1027	19	0.0
Zircon_89	192	67	0.35	0.0739	0.0030	1.6800	0.0610	0.1651	0.0028	0.0505	0.0035	0.05	985	15	999	23	1028	83	985	15	1.4
Zircon_90	138	41	0.30	0.0691	0.0029	1.5370	0.0560	0.1617	0.0029	0.0495	0.0037	0.03	967	17	944	22	890	86	967	17	-2.5
Zircon_91	23	66	2.87	0.0814	0.0063	1.9700	0.1500	0.1756	0.0048	0.0530	0.0037	0.13	1042	26	1115	51	1280	140	1042	26	6.5
Zircon_92	114	126	1.11	0.0718	0.0032	1.6230	0.0660	0.1642	0.0031	0.0507	0.0034	0.29	980	17	980	27	992	90	980	17	0.0
Zircon_93	383	81	0.21	0.0509	0.0027	0.2950	0.0130	0.0411	0.0008	0.0135	0.0011	-0.15	260	5	262	10	232	120	260	5	0.8
Zircon_94	227	78	0.34	0.0532	0.0035	0.2760	0.0180	0.0375	0.0008	0.0121	0.0010	0.20	238	5	249	15	330	140	238	5	4.5
Zircon_95	341	34	0.10	0.0748	0.0030	1.7500	0.1000	0.1719	0.0080	0.0571	0.0042	0.65	1022	43	1026	35	1057	77	1022	43	0.4
Zircon_96	318	52	0.16	0.0770	0.0028	1.8510	0.0600	0.1742	0.0030	0.0520	0.0039	0.36	1035	16	1063	21	1127	70	1035	16	2.6
Zircon_97	535	378	0.71	0.0978	0.0034	3.4660	0.1200	0.2598	0.0057	0.0736	0.0048	0.36	1489	30	1519	29	1587	65	1587	65	2.0
Zircon_98	91	22	0.24	0.0581	0.0040	0.3430	0.0240	0.0427	0.0012	0.0172	0.0018	0.29	269	7	298	18	480	150	269	7	9.7
Zircon_99	26	14	0.53	0.0759	0.0050	1.8400	0.1100	0.1765	0.0050	0.0527	0.0040	0.31	1047	28	1060	41	1060	130	1047	28	1.2
Zircon_101	36	21	0.59	0.0600	0.0085	0.3040	0.0450	0.0378	0.0013	0.0125	0.0017	0.38	239	8	261	35	420	300	239	8	8.5

CORRECTED RATIOS²

CORRECTED AGES (Ma)

Sample	CORRECTED RATIOS ²												CORRECTED AGES (Ma)									
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	Best age (Ma)	±2σ	Disc %	
RN-4																						
Zircon 1	108	57	0.53	0.0639	0.0057	0.3890	0.0350	0.0447	0.0013	0.0174	0.0013	0.07	282	8	332	25	690	200	282	8	15.1	
zircon 2	209	108	0.52	0.1267	0.0063	3.7500	0.1900	0.2127	0.0062	0.0485	0.0027	0.33	1243	33	1581	46	2078	86	1243	33	21.4	
Zircon 4	387	258	0.67	0.0633	0.0044	0.3650	0.0250	0.0418	0.0011	0.0138	0.0011	-0.10	264	7	315	19	680	160	264	7	16.3	
Zircon 5	258	172	0.67	0.0546	0.0037	0.3270	0.0220	0.0441	0.0011	0.0144	0.0008	0.15	278	7	289	17	370	150	278	7	3.8	
Zircon 6	231	270	1.17	0.0600	0.0041	0.3690	0.0250	0.0448	0.0012	0.0142	0.0008	0.10	282	8	318	19	580	140	282	8	11.2	
Zircon 7	529	398	0.75	0.0562	0.0033	0.3440	0.0190	0.0447	0.0010	0.0139	0.0007	-0.14	282	7	300	14	470	130	282	7	6.0	
Zircon 8	269	159	0.59	0.0595	0.0035	0.6580	0.0390	0.0816	0.0020	0.0261	0.0013	0.27	505	12	513	24	570	120	505	12	1.5	
Zircon 9	264	216	0.82	0.0642	0.0042	0.3920	0.0240	0.0448	0.0011	0.0158	0.0009	0.18	283	7	336	18	750	150	283	7	15.9	
Zircon 10	577	142	0.25	0.0730	0.0040	0.9310	0.0470	0.0918	0.0026	0.0235	0.0021	0.57	566	16	667	26	1006	100	566	16	15.1	
Zircon 11	444	286	0.64	0.0592	0.0042	0.3830	0.0230	0.0464	0.0011	0.0160	0.0008	-0.20	292	7	328	17	540	130	292	7	10.9	
Zircon 12	198	202	1.02	0.0639	0.0042	0.3880	0.0260	0.0442	0.0013	0.0143	0.0008	0.33	279	8	332	19	740	140	279	8	16.1	
Zircon 13	328	176	0.54	0.0636	0.0043	0.3940	0.0270	0.0461	0.0013	0.0173	0.0010	0.00	291	8	341	20	690	140	291	8	14.8	
Zircon 14	185	95	0.51	0.0607	0.0040	0.4000	0.0240	0.0471	0.0013	0.0161	0.0009	-0.03	297	8	341	17	640	140	297	8	12.9	
Zircon 15	234	171	0.73	0.0543	0.0039	0.3170	0.0230	0.0427	0.0011	0.0141	0.0009	0.06	270	7	279	17	350	150	270	7	3.3	
Zircon 16	506	477	0.94	0.0604	0.0048	0.3570	0.0260	0.0425	0.0011	0.0141	0.0008	0.41	268	7	313	20	680	160	268	7	14.3	
Zircon 17	227	146	0.64	0.0514	0.0036	0.3190	0.0230	0.0451	0.0012	0.0174	0.0010	0.63	284	7	280	17	240	130	284	7	-1.5	
Zircon 18	165	115	0.69	0.0619	0.0045	0.4150	0.0290	0.0489	0.0014	0.0186	0.0011	-0.02	308	8	357	21	680	160	308	8	13.8	
Zircon 19	97	69	0.71	0.0650	0.0068	0.3980	0.0420	0.0454	0.0013	0.0155	0.0010	0.32	286	8	350	29	740	210	286	8	18.2	
Zircon 20	163	103	0.63	0.0682	0.0050	0.4180	0.0320	0.0438	0.0012	0.0167	0.0010	0.43	276	7	353	23	860	160	276	7	21.8	
Zircon 21	214	185	0.87	0.0630	0.0047	0.3740	0.0280	0.0428	0.0011	0.0151	0.0009	0.21	270	7	321	20	660	160	270	7	15.9	
Zircon 23	317	119	0.38	0.0781	0.0045	1.3830	0.0770	0.1290	0.0035	0.0341	0.0020	-0.06	782	20	881	34	1138	110	782	20	11.2	
Zircon 24	267	195	0.73	0.0552	0.0047	0.3290	0.0260	0.0436	0.0011	0.0147	0.0008	-0.15	275	7	288	21	360	170	275	7	4.4	
Zircon 25	201	116	0.58	0.0617	0.0047	0.3690	0.0270	0.0432	0.0012	0.0148	0.0010	-0.12	273	7	320	19	640	160	273	7	14.8	
Zircon 26	215	173	0.80	0.0554	0.0047	0.3350	0.0290	0.0453	0.0012	0.0143	0.0008	-0.04	286	7	292	21	410	180	286	7	2.2	
Zircon 27	184	133	0.72	0.0616	0.0043	0.4000	0.0290	0.0470	0.0012	0.0169	0.0010	0.28	296	7	344	20	650	140	296	7	14.0	

Zircon 28	87	96	1.11	0.0573	0.0054	0.3630	0.0360	0.0464	0.0014	0.0165	0.0010	0.47	293	9	312	26	490	190	293	9	6.3
Zircon 29	195	165	0.84	0.0650	0.0047	0.3680	0.0310	0.0426	0.0013	0.0146	0.0009	0.48	269	8	322	23	730	170	269	8	16.5
Zircon 30	183	97	0.53	0.0615	0.0051	0.3890	0.0280	0.0455	0.0014	0.0177	0.0011	0.16	287	9	332	20	620	170	287	9	13.7
Zircon 31	210	129	0.62	0.0621	0.0052	0.3840	0.0320	0.0445	0.0014	0.0153	0.0011	-0.24	281	9	328	23	610	160	281	9	14.4
Zircon 32	264	221	0.84	0.0585	0.0040	0.3530	0.0240	0.0435	0.0011	0.0143	0.0008	0.36	275	7	306	18	510	140	275	7	10.3
Zircon 36	671	594	0.89	0.0547	0.0031	0.3387	0.0190	0.0446	0.0011	0.0150	0.0008	-0.24	281	7	296	14	392	140	281	7	5.1
Zircon 37	310	214	0.69	0.0589	0.0041	0.3680	0.0240	0.0442	0.0012	0.0137	0.0010	-0.02	279	7	317	16	610	140	279	7	12.1
Zircon 39	337	11	0.03	0.0701	0.0036	1.5280	0.0780	0.1567	0.0042	0.0632	0.0048	0.39	939	24	941	32	938	110	939	24	0.2
Zircon 40	191	108	0.57	0.0547	0.0048	0.4420	0.0440	0.0586	0.0020	0.0170	0.0009	-0.41	367	12	371	30	440	170	367	12	1.0
Zircon 42	647	854	1.32	0.0580	0.0047	0.3340	0.0250	0.0411	0.0011	0.0128	0.0007	0.12	260	7	292	19	539	160	260	7	11.1
Zircon 43	290	368	1.27	0.0541	0.0046	0.3000	0.0250	0.0409	0.0010	0.0124	0.0007	-0.33	258	6	266	19	340	170	258	6	2.9
Zircon 44	526	253	0.48	0.0584	0.0030	0.3680	0.0210	0.0458	0.0014	0.0151	0.0008	0.46	289	8	318	14	539	120	289	8	9.2
Zircon 45	583	441	0.76	0.0556	0.0032	0.3260	0.0180	0.0430	0.0011	0.0146	0.0008	0.12	271	7	289	14	420	130	271	7	5.9
Zircon 47	331	267	0.81	0.0543	0.0037	0.3240	0.0210	0.0431	0.0010	0.0136	0.0008	-0.27	272	7	285	16	350	150	272	7	4.6
Zircon 49	211	195	0.93	0.0547	0.0039	0.3460	0.0230	0.0465	0.0012	0.0149	0.0008	-0.02	293	7	305	17	360	150	293	7	3.9
Zircon 50	178	145	0.81	0.0596	0.0049	0.3450	0.0280	0.0433	0.0012	0.0146	0.0012	0.21	273	7	300	22	630	170	273	7	8.9
Zircon 51	135	79	0.59	0.0603	0.0050	0.3800	0.0310	0.0472	0.0014	0.0172	0.0010	-0.20	297	8	330	22	540	170	297	8	10.0
Zircon 52	392	119	0.30	0.0555	0.0037	0.3230	0.0200	0.0423	0.0011	0.0142	0.0011	-0.06	267	7	284	16	400	150	267	7	5.9
Zircon 55	121	54	0.44	0.0780	0.0044	1.8820	0.1000	0.1717	0.0042	0.0557	0.0030	0.24	1021	23	1080	36	1174	110	1021	23	5.5
Zircon 56	161	35	0.21	0.0605	0.0049	0.3630	0.0280	0.0423	0.0012	0.0202	0.0013	0.20	267	8	314	21	670	150	267	8	15.0
Zircon 58	1129	32	0.03	0.0737	0.0035	1.6120	0.0750	0.1581	0.0037	0.0592	0.0040	-0.01	946	21	974	30	1032	97	946	21	2.9
Zircon 59	637	81	0.13	0.0722	0.0036	1.3330	0.0740	0.1327	0.0053	0.0226	0.0011	0.14	803	29	860	35	989	110	803	29	6.6
Zircon 63	435	173	0.40	0.0559	0.0035	0.3370	0.0260	0.0431	0.0013	0.0148	0.0009	-0.01	272	8	298	16	420	150	272	8	8.8
Zircon 65	326	134	0.41	0.0547	0.0035	0.3480	0.0200	0.0462	0.0011	0.0150	0.0008	0.21	291	7	302	15	380	130	291	7	3.7
Zircon 67	299	245	0.82	0.0593	0.0038	0.3040	0.0200	0.0367	0.0010	0.0123	0.0008	-0.08	232	6	269	15	550	130	232	6	13.6
Zircon 68	290	201	0.69	0.0568	0.0035	0.3300	0.0210	0.0427	0.0011	0.0147	0.0008	0.28	269	7	289	16	466	120	269	7	6.8
Zircon 69	353	115	0.33	0.0528	0.0032	0.3240	0.0200	0.0444	0.0011	0.0152	0.0008	0.03	280	7	285	15	300	140	280	7	1.8
Zircon 70	289	222	0.77	0.0595	0.0042	0.3360	0.0240	0.0408	0.0012	0.0140	0.0008	0.08	257	7	293	18	610	140	257	7	12.2
Zircon 71	333	307	0.92	0.0649	0.0071	0.3960	0.0580	0.0439	0.0014	0.0155	0.0014	-0.04	277	9	338	37	770	180	277	9	18.0
Zircon 72	427	415	0.97	0.0566	0.0034	0.3400	0.0200	0.0432	0.0011	0.0134	0.0007	0.13	272	7	297	15	471	120	272	7	8.1
Zircon 73	191	104	0.55	0.0602	0.0048	0.3700	0.0280	0.0437	0.0012	0.0164	0.0012	0.14	276	7	319	21	590	160	276	7	13.5
Zircon 75	105	60	0.58	0.0637	0.0059	0.4130	0.0430	0.0467	0.0013	0.0199	0.0013	0.35	294	8	347	30	720	210	294	8	15.2
Zircon 76	323	187	0.58	0.0641	0.0039	0.3350	0.0220	0.0386	0.0012	0.0130	0.0008	0.41	244	8	293	16	710	130	244	8	16.7
Zircon 77	377	403	1.07	0.0581	0.0038	0.3510	0.0210	0.0436	0.0011	0.0142	0.0007	-0.14	275	7	305	16	540	140	275	7	9.8
Zircon 78	245	44	0.18	0.0618	0.0042	0.3620	0.0220	0.0422	0.0011	0.0180	0.0011	-0.08	267	7	313	17	660	150	267	7	14.9
Zircon 79	248	177	0.71	0.0635	0.0048	0.3870	0.0290	0.0440	0.0011	0.0146	0.0010	0.20	278	7	332	21	700	150	278	7	16.3
Zircon 80	164	99	0.60	0.0614	0.0041	0.3920	0.0290	0.0467	0.0017	0.0171	0.0010	0.21	294	10	335	21	660	130	294	10	12.2
Zircon 82	497	362	0.73	0.0543	0.0034	0.3120	0.0230	0.0415	0.0013	0.0130	0.0008	-0.31	262	8	276	17	410	140	262	8	5.0
Zircon 84	106	73	0.69	0.0672	0.0065	0.3820	0.0390	0.0414	0.0014	0.0157	0.0010	0.02	262	9	326	28	810	210	262	9	19.8
Zircon 86	209	82	0.39	0.0645	0.0047	0.3550	0.0250	0.0409	0.0011	0.0150	0.0011	0.11	259	7	312	19	720	150	259	7	17.1
Zircon 88	290	213	0.73	0.0658	0.0051	0.3890	0.0340	0.0416	0.0011	0.0141	0.0009	-0.21	263	7	332	24	790	160	263	7	20.8
Zircon 89	118	70	0.59	0.0621	0.0047	0.4090	0.0300	0.0481	0.0012	0.0175	0.0010	0.07	303	8	347	21	630	140	303	8	12.7
Zircon 90	259	189	0.73	0.0611	0.0043	0.3520	0.0240	0.0431	0.0011	0.0150	0.0008	0.14	272	7	305	18	600	150	272	7	10.8
Zircon 91	219	170	0.77	0.0590	0.0039	0.3710	0.0250	0.0451	0.0011	0.0145	0.0009	0.12	284	7	320	18	560	150	284	7	11.3
Zircon 92	384	165	0.43	0.0567	0.0034	0.3630	0.0240	0.0457	0.0013	0.0155	0.0009	0.20	288	8	314	18	480	130	288	8	8.2
Zircon 95	570	286	0.50	0.0561	0.0036	0.3410	0.0210	0.0438	0.0012	0.0152	0.0009	-0.35	276	7	298	16	440	130	276	7	7.3
Zircon 96	699	47	0.07	0.0733	0.0036	1.2500	0.0950	0.1221	0.0071	0.0407	0.0031	0.80	742	42	822	48	1036	120	742	42	9.7
Zircon 102	375	192	0.51	0.0532	0.0034	0.3390	0.0200	0.0457	0.0011	0.0152	0.0008	-0.28	288	7	296	15	330	140	288	7	2.8

Zircon 104	299	161	0.54	0.0628	0.0071	0.3560	0.0510	0.0410	0.0015	0.0162	0.0022	-0.24	259	10	308	33	700	190	259	10	15.9
Zircon 107	148	111	0.75	0.0582	0.0050	0.3570	0.0260	0.0451	0.0013	0.0162	0.0010	-0.03	284	8	309	19	550	170	284	8	8.0
Zircon 108	433	216	0.50	0.0573	0.0033	0.3490	0.0190	0.0444	0.0010	0.0132	0.0008	-0.02	280	6	307	14	490	120	280	6	8.8
Zircon 109	232	143	0.62	0.0537	0.0038	0.3160	0.0230	0.0425	0.0011	0.0139	0.0009	-0.19	268	7	278	17	340	160	268	7	3.5
Zircon 110	348	87	0.25	0.0572	0.0043	0.3350	0.0250	0.0433	0.0012	0.0149	0.0010	0.42	273	7	296	18	500	160	273	7	7.8
Zircon 111	155	113	0.73	0.0661	0.0048	0.4270	0.0320	0.0457	0.0012	0.0148	0.0011	0.19	288	8	359	23	800	150	288	8	19.9
Zircon 112	529	144	0.27	0.0541	0.0034	0.3320	0.0200	0.0440	0.0011	0.0173	0.0011	0.27	278	7	290	15	350	130	278	7	4.3
Zircon 114	165	101	0.61	0.0541	0.0050	0.3410	0.0300	0.0459	0.0012	0.0163	0.0010	-0.33	289	7	296	21	360	170	289	7	2.3
Zircon 117	430	137	0.32	0.0549	0.0035	0.3450	0.0210	0.0464	0.0011	0.0170	0.0010	0.11	292	7	301	16	420	140	292	7	2.9

1: U and Th concentrations are calculated employing an external standard zircon as in Paton et al., 2010, Geochemistry, Geophysics, Geosystems.

2: 2 sigma uncertainties propagated according to Paton et al., 2010, Geochemistry, Geophysics, Geosystems

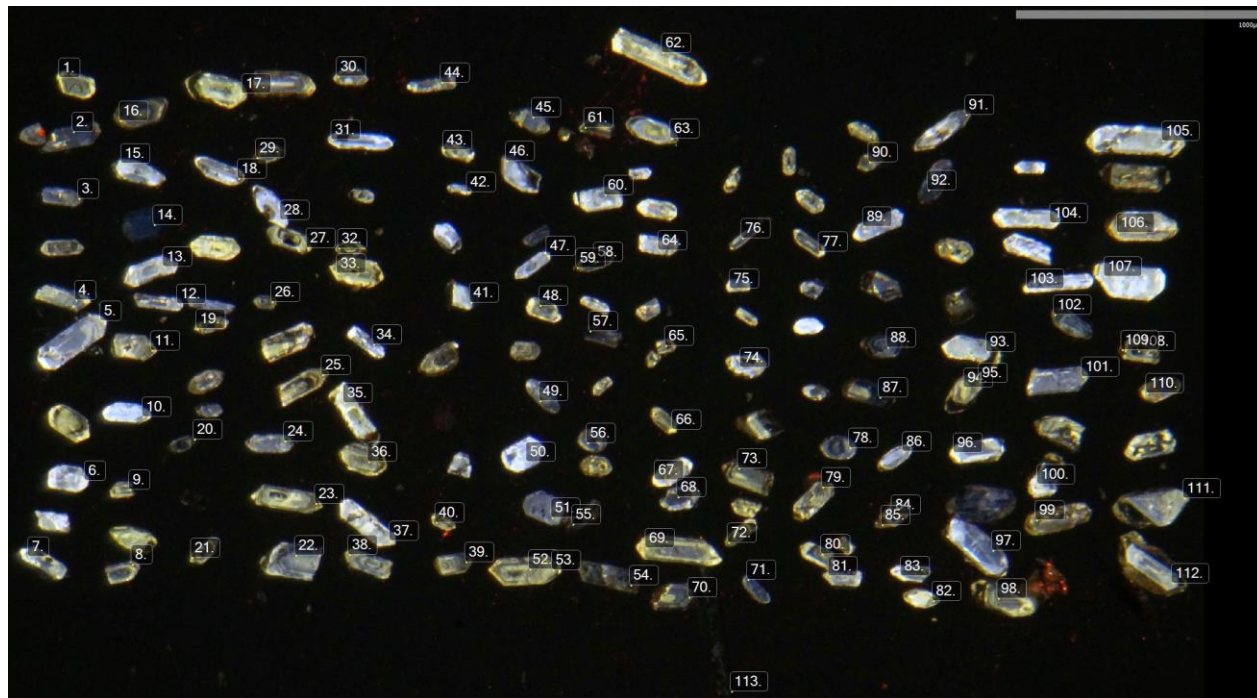
²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb ratios, ages and errors are calculated according to Petrus and Kamber, 2012, Geostandards Geoanalytical Research

Analyzed spots were ___ micrometers, using an analytical protocol modified from Solari et al., 2010, Geostandards Geoanalytical Research.

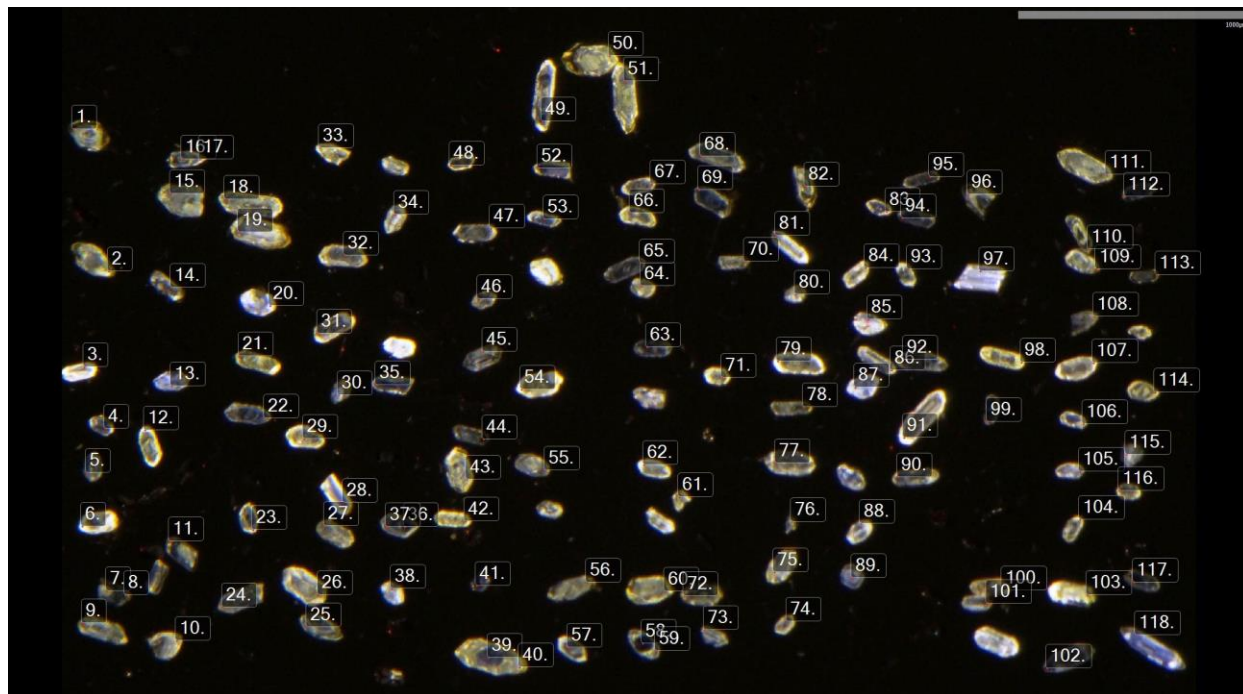
Data measured employing a Thermo iCapQc ICPMS coupled to a Resonetics, Resolution M050 excimer laser workstation.

Anexo 3. Imágenes de catodoluminiscencia de circones

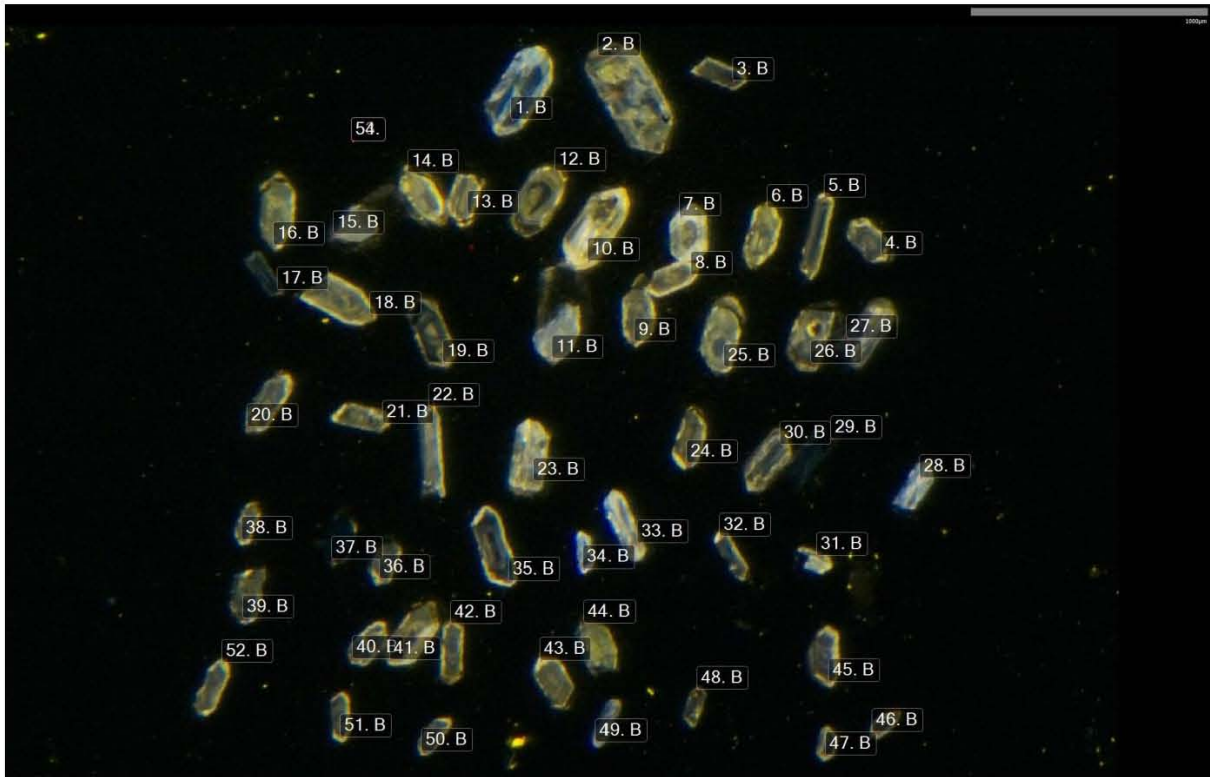
Muestra V-2



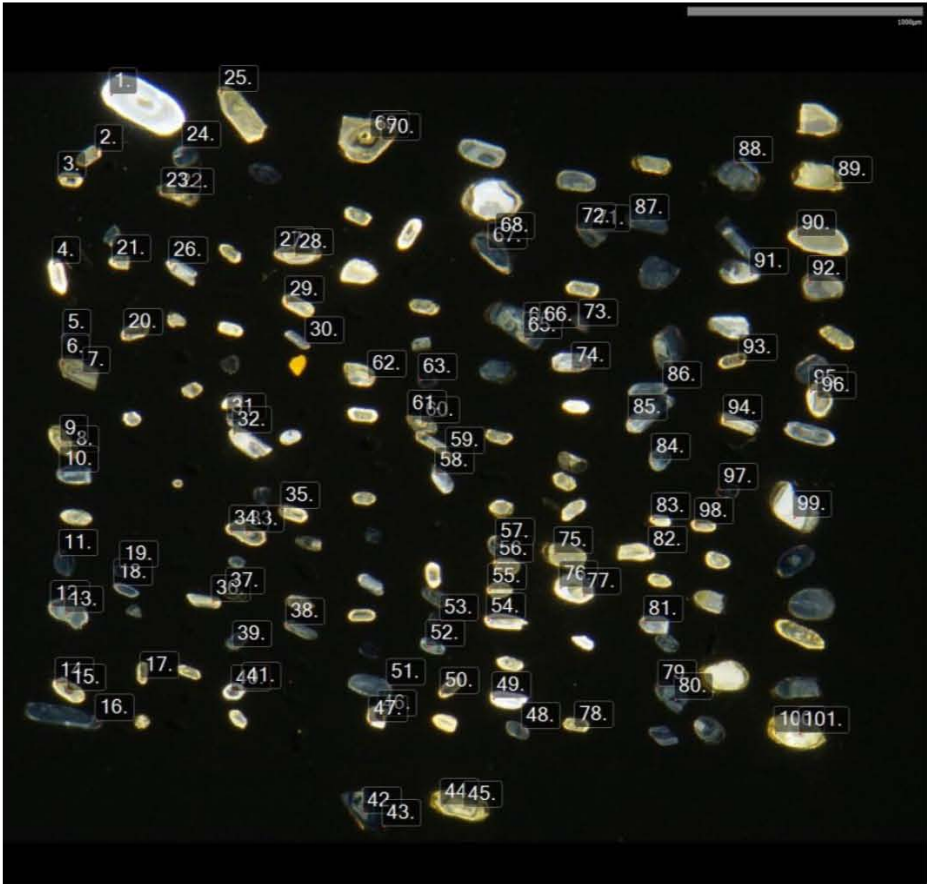
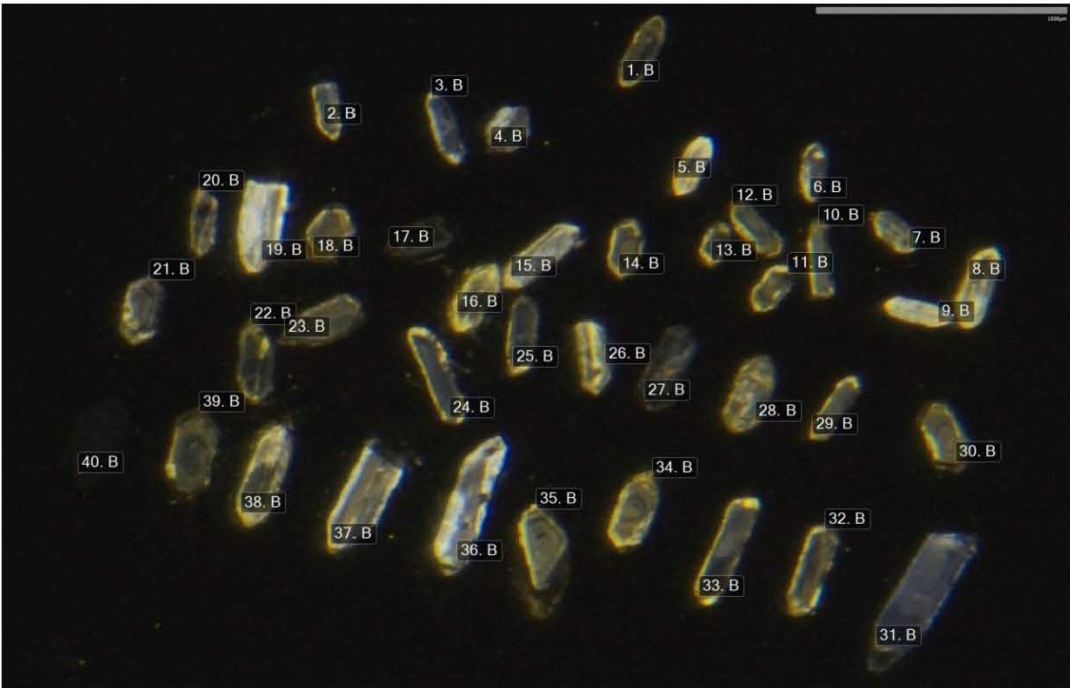
Muestra RN-4



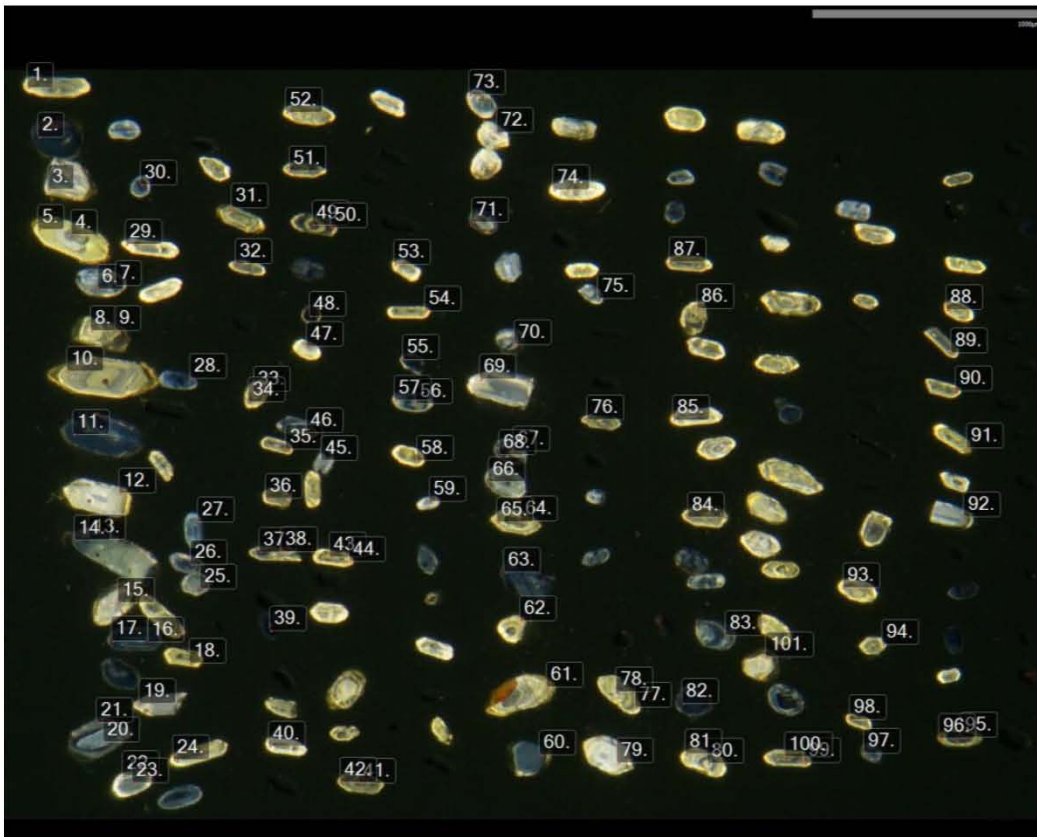
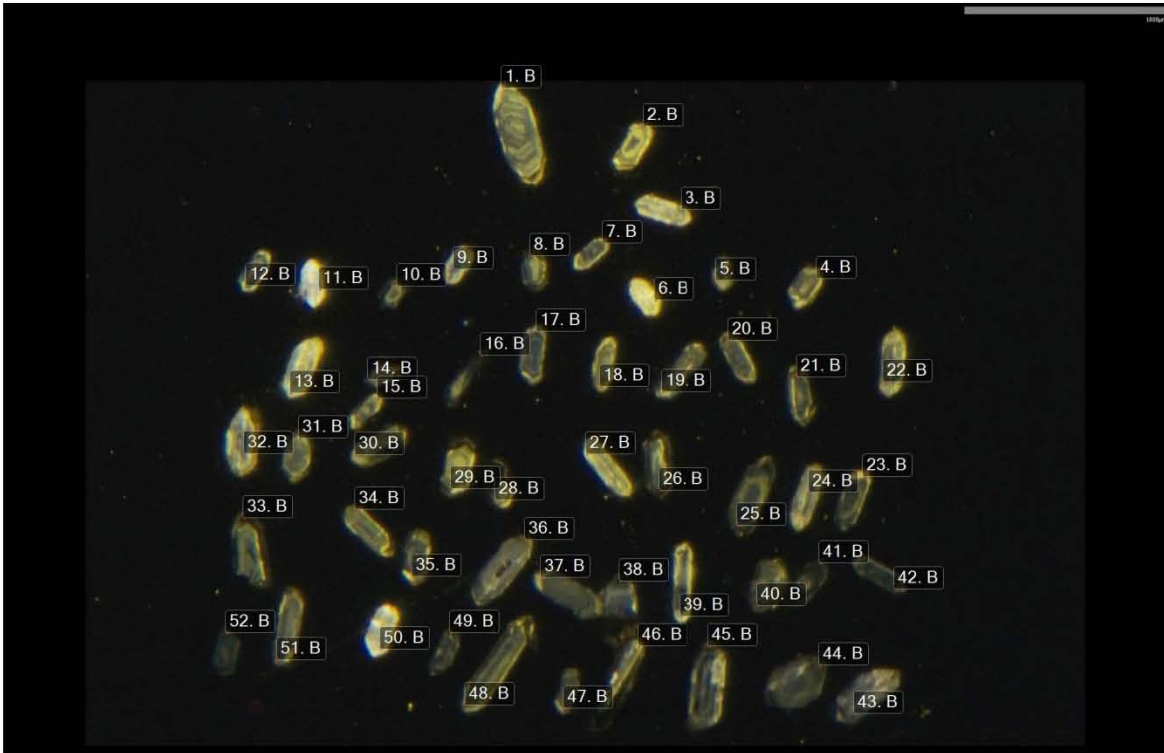
Muestra LS-2



Muestra V-1



Muestra RN-3



Anexo 4. Análisis U-Pb en apatitos mediante LA-ICPMS

Sample	Apatite	CORRECTED RATIOS				Rho	Group
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 2\sigma$ abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 2\sigma$ abs		
LS-2	6	135.40	3.30	2.098	0.0570	0.675040	Ki
LS-2	14	2.24	0.12	0.056	0.0032	-0.076891	Ki
LS-2	15	2.68	0.15	0.060	0.0034	0.131740	Ki
LS-2	19	2.35	0.12	0.055	0.0028	0.170440	Ki
LS-2	20	2.67	0.09	0.060	0.0024	0.050516	Ki
LS-2	48	3.22	0.24	0.066	0.0045	0.652970	Ki
LS-2	72	4.74	0.14	0.091	0.0028	0.108670	Ki
LS-2	73	2.29	0.10	0.052	0.0027	0.088644	Ki
LS-2	80	2.30	0.12	0.054	0.0034	0.039586	Ki
LS-2	26	1.32	0.04	0.061	0.0010	0.612130	C-P
LS-2	28	6.02	0.13	0.142	0.0025	0.206990	C-P
LS-2	34	0.97	0.03	0.055	0.0014	-0.123150	C-P
LS-2	43	17.73	0.50	0.291	0.0091	0.681070	C-P
LS-2	46	26.03	0.64	0.408	0.0130	0.289820	C-P
LS-2	58	8.93	0.30	0.178	0.0059	0.441380	C-P
LS-2	60	1.15	0.03	0.058	0.0008	0.165750	C-P
LS-2	71	6.05	0.10	0.124	0.0024	0.193440	C-P
LS-2	76	16.28	0.46	0.279	0.0081	0.254380	C-P
LS-2	78	7.37	0.16	0.146	0.0035	-0.284810	C-P
LS-2	90	9.47	0.19	0.184	0.0044	0.092395	C-P
LS-2	96	4.69	0.08	0.110	0.0018	-0.030117	C-P
LS-2	101	8.60	0.18	0.166	0.0032	0.309370	C-P
LS-2	102	2.93	0.06	0.086	0.0013	-0.002092	C-P
LS-2	106	1.09	0.02	0.057	0.0010	-0.060630	C-P
LS-2	108	15.19	0.41	0.256	0.0090	0.106740	C-P
LS-2	3	7.40	0.12	0.211	0.0031	0.223460	
LS-2	37	3.81	0.35	0.137	0.0046	0.958190	
LS-2	40	3.52	0.06	0.123	0.0016	0.272490	
LS-2	44	2.92	0.08	0.117	0.0021	0.414920	
LS-2	54	67.20	2.30	0.993	0.0430	0.471230	
LS-2	59	1.01	0.02	0.109	0.0016	0.344100	
LS-2	84	17.00	0.31	0.319	0.0059	0.238460	
LS-2	97	37.00	1.10	0.593	0.0200	0.535010	
LS-2	100	3.33	0.12	0.150	0.0036	0.161120	
LS-2	1	5.25	0.11	0.219	0.0041	0.136740	G
LS-2	2	2.05	0.04	0.179	0.0019	0.051887	G
LS-2	4	2.20	0.04	0.177	0.0021	0.196370	G
LS-2	7	4.49	0.07	0.223	0.0026	0.063468	G
LS-2	8	3.70	0.05	0.181	0.0022	0.106030	G

LS-2	10	1.90	0.04	0.177	0.0022	-0.013265	G
LS-2	11	3.75	0.09	0.206	0.0028	0.188920	G
LS-2	12	2.04	0.02	0.172	0.0012	0.162440	G
LS-2	13	2.93	0.03	0.174	0.0015	0.177090	G
LS-2	16	2.00	0.02	0.178	0.0012	0.424160	G
LS-2	17	2.69	0.04	0.183	0.0017	0.362940	G
LS-2	18	3.22	0.07	0.197	0.0032	0.022007	G
LS-2	21	1.87	0.03	0.169	0.0018	0.310550	G
LS-2	23	4.98	0.08	0.218	0.0022	0.170140	G
LS-2	24	1.92	0.03	0.170	0.0017	0.110030	G
LS-2	25	2.02	0.04	0.164	0.0018	0.233200	G
LS-2	27	2.56	0.03	0.170	0.0017	0.030814	G
LS-2	29	1.69	0.03	0.171	0.0012	-0.089682	G
LS-2	30	1.87	0.08	0.163	0.0015	0.799780	G
LS-2	31	1.73	0.02	0.164	0.0013	0.147380	G
LS-2	32	1.37	0.03	0.155	0.0014	0.161620	G
LS-2	33	1.61	0.03	0.163	0.0013	0.089069	G
LS-2	35	13.17	0.23	0.323	0.0041	0.730100	G
LS-2	36	1.42	0.02	0.155	0.0011	0.107120	G
LS-2	38	8.84	0.15	0.263	0.0039	0.447480	G
LS-2	42	2.30	0.03	0.176	0.0013	0.206340	G
LS-2	45	6.11	0.12	0.236	0.0032	0.391150	G
LS-2	49	1.96	0.04	0.173	0.0015	0.026689	G
LS-2	50	1.62	0.04	0.158	0.0019	0.288230	G
LS-2	51	3.84	0.09	0.198	0.0039	0.189260	G
LS-2	52	1.69	0.04	0.161	0.0022	0.248680	G
LS-2	53	19.46	0.51	0.431	0.0095	0.185670	G
LS-2	55	2.38	0.04	0.170	0.0019	-0.089101	G
LS-2	56	1.39	0.02	0.156	0.0010	0.043445	G
LS-2	57	4.52	0.07	0.201	0.0026	0.367920	G
LS-2	61	2.88	0.05	0.182	0.0016	0.023224	G
LS-2	62	1.97	0.04	0.162	0.0024	0.165590	G
LS-2	63	1.85	0.03	0.168	0.0014	0.125220	G
LS-2	64	2.32	0.06	0.192	0.0031	0.214690	G
LS-2	65	3.85	0.06	0.200	0.0029	0.138230	G
LS-2	67	8.06	0.15	0.251	0.0047	0.121450	G
LS-2	68	3.43	0.08	0.185	0.0025	0.127770	G
LS-2	69	2.75	0.08	0.184	0.0031	0.401330	G
LS-2	70	1.95	0.04	0.167	0.0016	0.247380	G
LS-2	74	10.36	0.19	0.284	0.0049	0.294820	G
LS-2	75	4.98	0.18	0.219	0.0055	0.402370	G
LS-2	77	2.70	0.06	0.177	0.0015	0.387880	G
LS-2	82	6.35	0.15	0.242	0.0047	0.418590	G

LS-2	83	3.34	0.11	0.199	0.0030	0.577530	G
LS-2	85	15.18	0.25	0.356	0.0059	0.342380	G
LS-2	86	1.90	0.02	0.172	0.0014	0.073210	G
LS-2	87	4.19	0.09	0.204	0.0028	0.200520	G
LS-2	88	2.45	0.05	0.173	0.0021	0.021889	G
LS-2	89	1.67	0.02	0.167	0.0014	0.319750	G
LS-2	91	1.89	0.04	0.159	0.0023	0.525180	G
LS-2	92	3.21	0.09	0.189	0.0032	0.087158	G
LS-2	93	3.49	0.04	0.192	0.0019	-0.017452	G
LS-2	94	2.58	0.04	0.179	0.0017	0.279500	G
LS-2	95	3.57	0.03	0.192	0.0012	0.325490	G
LS-2	98	12.17	0.18	0.313	0.0040	0.288300	G
LS-2	99	5.90	0.14	0.228	0.0054	0.145960	G
LS-2	104	11.74	0.29	0.302	0.0058	0.303820	G
LS-2	105	4.66	0.11	0.206	0.0033	0.318610	G
LS-2	106	2.26	0.03	0.173	0.0019	0.203040	G
LS-2	108	9.91	0.26	0.281	0.0056	0.298320	G
LS-2	110x	4.27	0.10	0.210	0.0032	0.034141	G

CORRECTED RATIOS

Sample	Apatite	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 2\sigma$ abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 2\sigma$ abs	Rho	Group
V-1	2606181-3	13.440	0.280	0.2356	0.0064	0.275830	C-P
V-1	2606181-9	11.350	0.250	0.2037	0.0044	0.259450	C-P
V-1	2606181-10	1.082	0.029	0.0537	0.0011	0.459500	C-P
V-1	2606181-11	13.270	0.340	0.2351	0.0064	0.329750	C-P
V-1	2606181-12	61.300	3.800	1.0160	0.0610	0.921790	C-P
V-1	2606181-16	14.440	0.370	0.2491	0.0070	0.529620	C-P
V-1	2606181-18	17.430	0.380	0.3077	0.0083	0.029510	C-P
V-1	2606181-22	5.520	0.140	0.1238	0.0033	0.203680	C-P
V-1	2606181-23	8.040	0.180	0.1631	0.0045	0.109700	C-P
V-1	2606181-27	2.301	0.058	0.0722	0.0014	0.480990	C-P
V-1	2606181-30	2.996	0.062	0.0906	0.0018	0.182350	C-P
V-1	2606181-31	1.989	0.046	0.0680	0.0011	0.231390	C-P
V-1	2606181-32	9.180	0.140	0.1849	0.0033	0.174630	C-P
V-1	2606181-34	11.220	0.330	0.2090	0.0083	0.257780	C-P
V-1	2606181-37	20.080	0.350	0.3509	0.0058	0.201640	C-P
V-1	2606181-38	3.700	0.110	0.0957	0.0025	0.355030	C-P
V-1	2606181-44	24.620	0.820	0.3980	0.0170	0.274660	C-P
V-1	2606181-48	2.057	0.037	0.0707	0.0012	0.417680	C-P
V-1	2606181-49	7.680	0.170	0.1631	0.0037	0.178720	C-P
V-1	2606181-52	2.009	0.047	0.0729	0.0017	0.190960	C-P
V-1	2606181-53	4.242	0.089	0.1055	0.0024	0.090658	C-P
V-1	2606181-56	2.423	0.055	0.0821	0.0016	0.053413	C-P

V-1	2606181-63	4.380	0.130	0.1063	0.0023	0.252890	C-P
V-1	2606181-68	15.050	0.380	0.2700	0.0062	0.048432	C-P
V-1	2606181-70	4.797	0.088	0.1142	0.0024	0.115760	C-P
V-1	2606181-75	12.040	0.270	0.2221	0.0065	0.335810	C-P
V-1	2606181-79	4.440	0.140	0.1041	0.0036	0.644440	C-P
V-1	2606181-80	6.612	0.099	0.1387	0.0026	0.061054	C-P
V-1	2606181-84	18.850	0.490	0.3189	0.0099	0.312940	C-P
V-1	2606181-85	7.180	0.260	0.1462	0.0051	0.661480	C-P
V-1	2606181-86	10.230	0.260	0.2004	0.0051	0.136660	C-P
V-1	2606181-87	15.350	0.380	0.2687	0.0079	0.412130	C-P
V-1	2606181-90	17.230	0.370	0.2903	0.0075	0.129270	C-P
V-1	2606181-93	1.253	0.030	0.0553	0.0010	-0.095372	C-P
V-1	2606181-97xx	5.460	0.390	0.1195	0.0064	0.837880	C-P
V-1	2606181-98	4.350	0.150	0.1043	0.0025	0.741050	C-P
V-1	2606181-99	19.750	0.590	0.3530	0.0110	0.217280	C-P
V-1	2606181-100	4.680	0.130	0.1143	0.0028	0.484100	C-P
V-1	2606181-103	8.640	0.280	0.1561	0.0088	0.081211	C-P
V-1	2606181-104	22.300	1.400	0.3740	0.0240	0.837190	C-P
V-1	2606181-105	1.685	0.048	0.0677	0.0014	-0.111740	C-P
V-1	2606181-110	24.190	0.770	0.4300	0.0110	0.528250	C-P
V-1	2606181-112	12.550	0.310	0.2300	0.0061	0.100190	C-P
V-1	2606181-114	20.200	1.200	0.3380	0.0180	0.664390	C-P
V-1	2606181-115	3.086	0.096	0.0845	0.0024	0.198000	C-P
V-1	2606181-116	6.300	0.200	0.1358	0.0037	0.534670	C-P
V-1	2606181-117	7.450	0.370	0.1507	0.0063	0.739010	C-P
V-1	2606181-119	10.050	0.250	0.1854	0.0055	0.246940	C-P
V-1	2606181-120	4.930	0.170	0.1128	0.0042	0.365330	C-P
V-1	2606181-121	4.280	0.120	0.1017	0.0028	0.421710	C-P
V-1	2606181-122	5.460	0.140	0.1215	0.0028	0.440510	C-P
V-1	2606181-123	6.730	0.190	0.1401	0.0038	0.035084	C-P
V-1	2606181-127	2.960	0.150	0.0871	0.0030	0.729800	C-P
V-1	2606181-1	4.361	0.046	0.2119	0.0010	0.121990	G
V-1	2606181-2	2.507	0.055	0.1847	0.0019	-0.298460	G
V-1	2606181-4	2.464	0.047	0.1791	0.0020	-0.017346	G
V-1	2606181-5	3.627	0.072	0.1959	0.0031	-0.083399	G
V-1	2606181-6	3.510	0.130	0.1810	0.0043	-0.086106	G
V-1	2606181-13	3.322	0.060	0.1858	0.0025	0.031641	G
V-1	2606181-15	3.999	0.075	0.1982	0.0022	0.271720	G
V-1	2606181-17	1.714	0.047	0.1761	0.0018	0.016401	G
V-1	2606181-19	2.143	0.035	0.1792	0.0014	-0.106470	G
V-1	2606181-20	1.872	0.060	0.1687	0.0032	-0.158330	G
V-1	2606181-21	1.879	0.023	0.1709	0.0017	-0.067844	G
V-1	2606181-24	4.074	0.075	0.2034	0.0029	0.330700	G

V-1	2606181-25	2.453	0.028	0.1808	0.0017	0.193580	G
V-1	2606181-26	2.734	0.092	0.1830	0.0026	0.182470	G
V-1	2606181-28	8.280	0.110	0.2720	0.0031	0.234550	G
V-1	2606181-29	3.620	0.110	0.1971	0.0043	0.225580	G
V-1	2606181-33	2.411	0.061	0.1824	0.0019	0.020959	G
V-1	2606181-36	4.283	0.075	0.2167	0.0028	0.233140	G
V-1	2606181-39	1.934	0.046	0.1694	0.0024	0.116030	G
V-1	2606181-40	3.740	0.110	0.1889	0.0035	-0.018888	G
V-1	2606181-41	3.984	0.077	0.1964	0.0031	0.390040	G
V-1	2606181-42	1.832	0.055	0.1761	0.0024	0.356840	G
V-1	2606181-43	2.678	0.074	0.1832	0.0027	0.195080	G
V-1	2606181-45	1.947	0.032	0.1771	0.0021	0.319390	G
V-1	2606181-46	7.410	0.130	0.2720	0.0052	0.176040	G
V-1	2606181-47	6.380	0.110	0.2471	0.0031	0.211160	G
V-1	2606181-50	3.545	0.059	0.1968	0.0019	0.254960	G
V-1	2606181-51	2.449	0.026	0.1782	0.0015	0.206650	G
V-1	2606181-54	2.898	0.059	0.1831	0.0026	-0.008534	G
V-1	2606181-55	2.318	0.036	0.1828	0.0018	0.223190	G
V-1	2606181-57	1.794	0.036	0.1722	0.0022	0.231600	G
V-1	2606181-58	2.671	0.048	0.1850	0.0028	0.293750	G
V-1	2606181-59	3.705	0.091	0.2036	0.0034	0.205930	G
V-1	2606181-60	1.892	0.043	0.1686	0.0027	0.211690	G
V-1	2606181-61	1.762	0.029	0.1697	0.0017	0.164220	G
V-1	2606181-62	5.648	0.083	0.2284	0.0033	0.294510	G
V-1	2606181-65	2.249	0.061	0.1776	0.0027	0.268580	G
V-1	2606181-67	5.795	0.093	0.2366	0.0030	0.335630	G
V-1	2606181-69	1.752	0.040	0.1716	0.0017	0.211580	G
V-1	2606181-73	6.236	0.078	0.2392	0.0028	-0.034936	G
V-1	2606181-74	2.019	0.042	0.1693	0.0020	0.121630	G
V-1	2606181-77	1.677	0.031	0.1672	0.0019	0.308570	G
V-1	2606181-81	2.643	0.053	0.1816	0.0029	0.037103	G
V-1	2606181-83	2.301	0.046	0.1706	0.0022	0.084543	G
V-1	2606181-91	3.850	0.120	0.1901	0.0044	0.341830	G
V-1	2606181-92	4.100	0.069	0.2100	0.0023	0.233900	G
V-1	2606181-94	2.794	0.042	0.1910	0.0017	0.239880	G
V-1	2606181-95	2.952	0.046	0.1827	0.0020	0.026118	G
V-1	2606181-96	3.576	0.052	0.1860	0.0023	0.278120	G
V-1	2606181-102	3.876	0.096	0.1964	0.0036	0.174180	G
V-1	2606181-109	5.570	0.130	0.2259	0.0044	-0.027638	G
V-1	2606181-111	3.511	0.051	0.1833	0.0022	0.186180	G
V-1	2606181-113	2.603	0.060	0.1776	0.0028	0.165030	G
V-1	2606181-118	2.398	0.056	0.1760	0.0022	0.029131	G
V-1	2606181-124	3.663	0.061	0.1830	0.0036	0.131320	G

V-1	2606181-125	4.546	0.086	0.2160	0.0027	0.114750	G
V-1	2606181-129	3.410	0.071	0.1910	0.0028	0.333750	G
V-1	2606181-130xx	1.987	0.044	0.1706	0.0026	-0.007772	G

CORRECTED RATIOS

Sample	Apatite	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 2\sigma$ abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 2\sigma$ abs	Rho	Group
RN-3	2606183-2	1.641	0.079	0.0652	0.0015	0.608770	C-P
RN-3	2606183-3	8.430	0.180	0.1621	0.0032	0.412620	C-P
RN-3	2606183-4	19.890	0.260	0.3227	0.0051	0.248930	C-P
RN-3	2606183-5	4.750	0.160	0.1107	0.0031	0.233950	C-P
RN-3	2606183-7	5.420	0.220	0.1220	0.0028	0.589500	C-P
RN-3	2606183-8	3.650	0.097	0.0932	0.0020	0.010326	C-P
RN-3	2606183-9	1.405	0.049	0.0607	0.0015	0.053048	C-P
RN-3	2606183-10	16.460	0.390	0.2729	0.0064	0.728800	C-P
RN-3	2606183-12	10.690	0.280	0.2010	0.0060	0.134920	C-P
RN-3	2606183-13	2.412	0.060	0.0795	0.0017	0.309590	C-P
RN-3	2606183-14	5.080	0.110	0.1161	0.0023	0.055523	C-P
RN-3	2606183-15	23.550	0.370	0.3818	0.0070	0.481580	C-P
RN-3	2606183-16	20.520	0.320	0.3407	0.0067	0.289800	C-P
RN-3	2606183-17	23.220	0.440	0.3777	0.0068	0.490610	C-P
RN-3	2606183-18	5.340	0.240	0.1184	0.0042	0.531730	C-P
RN-3	2606183-19	6.104	0.078	0.1310	0.0018	0.062787	C-P
RN-3	2606183-20	0.371	0.008	0.0477	0.0006	0.731840	C-P
RN-3	2606183-23	3.960	0.120	0.0960	0.0023	-0.027484	C-P
RN-3	2606183-24	18.230	0.260	0.3022	0.0062	0.083630	C-P
RN-3	2606183-25	32.720	0.530	0.5135	0.0099	0.384870	C-P
RN-3	2606183-28	9.180	0.290	0.1751	0.0044	0.169100	C-P
RN-3	2606183-29	5.770	0.180	0.1255	0.0039	0.601600	C-P
RN-3	2606183-30	24.020	0.390	0.4006	0.0076	0.268040	C-P
RN-3	2606183-31	4.880	0.170	0.1153	0.0029	0.540980	C-P
RN-3	2606183-32	17.690	0.970	0.3140	0.0160	0.919510	C-P
RN-3	2606183-33	2.721	0.052	0.0837	0.0017	0.004391	C-P
RN-3	2606183-36	2.907	0.087	0.0893	0.0021	0.263610	C-P
RN-3	2606183-39	4.150	0.140	0.1088	0.0037	-0.070199	C-P
RN-3	2606183-40	22.460	0.380	0.3773	0.0057	0.191880	C-P
RN-3	2606183-41	18.340	0.260	0.3193	0.0055	0.309110	C-P
RN-3	2606183-42	3.155	0.086	0.0884	0.0021	0.272270	C-P
RN-3	2606183-43	8.230	0.130	0.1697	0.0034	0.338480	C-P
RN-3	2606183-44	2.440	0.080	0.0784	0.0020	0.306890	C-P
RN-3	2606183-45	5.420	0.120	0.1249	0.0028	0.382530	C-P
RN-3	2606183-46	1.758	0.033	0.0698	0.0012	0.122470	C-P
RN-3	2606183-47	12.390	0.420	0.2333	0.0087	0.512850	C-P
RN-3	2606183-51	5.110	0.130	0.1215	0.0030	0.338000	C-P

RN-3	2606183-53	15.700	0.520	0.2804	0.0090	0.174260	C-P
RN-3	2606183-55	8.610	0.230	0.1773	0.0042	0.474320	C-P
RN-3	2606183-56	25.940	0.570	0.4380	0.0110	0.470980	C-P
RN-3	2606183-57	7.100	0.190	0.1506	0.0042	0.135280	C-P
RN-3	2606183-58	2.392	0.043	0.0826	0.0010	0.113700	C-P
RN-3	2606183-59	18.970	0.610	0.3360	0.0120	-0.016593	C-P
RN-3	2606183-60	8.520	0.320	0.1791	0.0067	0.178390	C-P
RN-3	2606183-61	10.350	0.240	0.2022	0.0039	0.048539	C-P
RN-3	2606183-63	2.504	0.059	0.0804	0.0014	0.140240	C-P
RN-3	2606183-67	9.480	0.210	0.1942	0.0039	0.084846	C-P
RN-3	2606183-68	10.770	0.260	0.2083	0.0049	0.071937	C-P
RN-3	2606183-69	7.500	0.150	0.1600	0.0046	-0.147530	C-P
RN-3	2606183-73	1.953	0.045	0.0724	0.0013	0.238420	C-P
RN-3	2606183-74	10.410	0.210	0.1998	0.0042	0.108690	C-P
RN-3	2606183-76	24.910	0.680	0.4110	0.0100	0.798080	C-P
RN-3	2606183-77	3.260	0.100	0.0923	0.0020	0.408310	C-P
RN-3	2606183-78	15.410	0.170	0.2655	0.0044	0.382580	C-P
RN-3	2606183-79	4.060	0.150	0.1037	0.0030	0.674400	C-P
RN-3	2606183-80	6.690	0.120	0.1427	0.0025	-0.119070	C-P
RN-3	2606183-81	24.780	0.360	0.3958	0.0085	0.316520	C-P
RN-3	2606183-82	19.290	0.450	0.3172	0.0079	0.406200	C-P
RN-3	2606183-83	14.080	0.200	0.2480	0.0048	0.352400	C-P
RN-3	2606183-84	7.520	0.160	0.1522	0.0037	0.234780	C-P
RN-3	2606183-85	7.350	0.180	0.1451	0.0041	0.303530	C-P
RN-3	2606183-86	13.730	0.400	0.2450	0.0053	0.607770	C-P
RN-3	2606183-88	2.788	0.056	0.0832	0.0018	-0.124330	C-P
RN-3	2606183-89	22.180	0.440	0.3707	0.0059	0.452150	C-P
RN-3	2606183-91	20.790	0.240	0.3390	0.0061	0.127600	C-P
RN-3	2606183-92	1.761	0.032	0.0687	0.0011	0.028319	C-P
RN-3	2606183-93	19.800	0.340	0.3282	0.0057	0.504780	C-P
RN-3	2606183-95	2.524	0.065	0.0797	0.0017	0.436730	C-P
RN-3	2606183-97	9.770	0.220	0.1821	0.0043	0.260690	C-P
RN-3	2606183-98	9.840	0.190	0.1860	0.0049	0.434470	C-P
RN-3	2606183-100	13.020	0.330	0.2375	0.0054	0.473470	C-P
RN-3	2606183-102	17.090	0.240	0.3004	0.0045	0.317270	C-P
RN-3	2606183-103	25.220	0.400	0.4153	0.0065	0.436390	C-P
RN-3	2606183-105	2.177	0.044	0.0746	0.0012	0.158800	C-P
RN-3	2606183-106	175.000	17.000	2.6500	0.2600	0.970610	C-P
RN-3	2606183-107	9.520	0.230	0.1818	0.0048	0.106760	C-P
RN-3	2606183-108	6.690	0.580	0.1457	0.0088	0.731660	C-P
RN-3	2606183-111	15.460	0.470	0.2751	0.0096	0.503050	C-P
RN-3	2606183-112	9.610	0.260	0.1903	0.0048	0.272940	C-P
RN-3	2606183-113	22.930	0.570	0.3890	0.0110	0.322110	C-P

RN-3	2606183-115	11.470	0.270	0.2141	0.0049	0.208740	C-P
RN-3	2606183-117	2.357	0.050	0.0773	0.0016	-0.064287	C-P
RN-3	2606183-118	18.460	0.450	0.3179	0.0069	0.776480	C-P
RN-3	2606183-119	1.682	0.037	0.0691	0.0013	0.107330	C-P
RN-3	2606183-120	7.030	0.200	0.1485	0.0037	0.126980	C-P
RN-3	2606183-122	9.560	0.210	0.1905	0.0042	0.155710	C-P
RN-3	2606183-123	10.160	0.140	0.1947	0.0032	0.230520	C-P
RN-3	2606183-125	6.100	0.120	0.1306	0.0033	0.089888	C-P
RN-3	2606183-127	17.460	0.680	0.2980	0.0110	0.885670	C-P
RN-3	2606183-128	5.950	0.130	0.1301	0.0025	0.104950	C-P
RN-3	2606183-129	21.050	0.530	0.3549	0.0092	0.282770	C-P
RN-3	2606183-1	1.375	0.027	0.1643	0.0017	0.259460	G
RN-3	2606183-11	2.237	0.046	0.1720	0.0022	0.189510	G
RN-3	2606183-38	2.234	0.060	0.1732	0.0019	0.426070	G
RN-3	2606183-54	1.380	0.056	0.1590	0.0024	-0.046803	G
RN-3	2606183-90	2.542	0.048	0.1807	0.0023	0.218060	G
RN-3	2606183-94	1.499	0.026	0.1659	0.0013	0.072156	G
RN-3	2606183-101	1.562	0.036	0.1619	0.0022	0.215970	G
RN-3	2606183-104	1.338	0.082	0.1636	0.0049	0.179030	G
RN-3	2606183-116	1.924	0.073	0.1746	0.0028	0.438000	G
RN-3	2606183-126	1.768	0.034	0.1688	0.0019	0.020242	G

Anexo 5. Análisis geoquímico de apatitos mediante LA-ICPMS

Sample	Group	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Tm (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
LS-2																					
2506182-6	Ki	67.0	462.8	817.2	281.4	3.0	241.3	810.1	119.7	577.4	99.2	16.6	81.9	9.0	47.5	9.0	23.7	17.8	3.0	0.6	0.5
2506182-14	Ki	1929.0	336.7	797.5	361.3	3.5	649.5	1258.0	185.8	830.7	146.9	32.7	123.9	14.4	76.7	13.3	32.2	18.9	2.4	11.1	2.3
2506182-15	Ki	2060.0	439.0	608.9	465.2	4.8	461.0	1111.0	149.7	726.0	148.6	31.3	140.0	17.2	95.8	17.2	42.3	26.0	3.4	7.1	2.0
2506182-19	Ki	2175.0	303.7	789.2	380.9	3.8	673.2	1318.0	195.6	880.9	155.6	34.9	131.4	15.2	81.7	14.3	34.5	20.6	2.6	12.0	2.4
2506182-20	Ki	1222.0	585.1	624.5	848.9	9.1	985.0	1961.0	294.9	1346.0	262.5	43.5	239.7	30.4	171.4	31.3	78.2	49.7	6.4	13.1	4.0
2506182-48	Ki	5020.0	327.4	770.8	372.8	3.8	663.2	1305.0	193.9	855.0	156.8	34.5	130.6	15.2	80.6	14.0	33.4	20.2	2.6	11.6	2.3
2506182-72	Ki	330.0	436.7	242.2	1224.0	15.2	683.2	1540.0	276.9	1417.0	359.4	9.4	371.4	49.8	295.1	54.8	134.1	78.1	9.7	10.0	4.7
2506182-73	Ki	1983.0	352.6	824.2	337.0	3.4	623.2	1214.0	181.1	810.0	143.4	31.8	121.3	13.8	73.6	12.8	30.3	18.4	2.3	12.0	2.6
2506182-80	Ki	2064.0	348.6	802.3	383.8	3.9	719.9	1385.0	206.6	906.0	159.2	34.9	134.4	15.4	82.5	14.4	33.8	20.7	2.6	12.2	2.5
2506182-26		227.0	165.3	494.3	1047.0	13.7	743.5	2010.0	353.8	1664.0	356.2	39.8	317.5	40.4	230.6	43.0	111.5	78.7	10.7	4.9	33.1
2506182-28		46.0	320.5	368.8	1330.0	17.0	1467.0	3644.0	594.7	2631.0	514.7	39.0	437.1	55.2	307.2	55.9	141.2	95.5	12.6	15.3	7.6
2506182-34		190.0	246.5	103.0	3229.0	42.6	717.0	2260.0	475.0	2566.0	726.0	39.1	746.1	110.5	680.3	131.3	345.1	232.3	29.3	67.7	12.9
2506182-43		71.0	760.4	449.3	393.0	4.8	766.0	1384.0	193.7	845.0	148.8	23.1	124.0	14.0	76.0	14.3	37.5	30.0	4.7	4.4	2.1
2506182-46		76.0	599.9	536.9	60.7	0.8	22.9	61.0	9.4	536.6	13.9	6.5	15.7	1.8	10.7	2.2	6.0	5.3	1.0	3.5	1.4
2506182-58		2142.0	496.8	796.4	630.0	7.2	626.0	1292.0	207.6	975.0	209.3	26.7	188.6	23.4	131.3	24.0	60.7	39.1	5.2	7.8	2.7
2506182-60		64.0	351.3	160.1	318.3	1.8	402.8	1119.0	165.8	808.0	180.7	18.6	174.0	19.5	91.1	12.7	23.0	7.6	0.8	37.7	23.6
2506182-71		221.0	982.3	616.0	967.0	12.1	835.6	2086.0	356.1	1733.0	380.3	50.1	313.8	39.6	221.2	39.8	100.2	66.6	8.2	56.7	9.3
2506182-76		2749.0	533.3	795.5	525.0	5.4	694.5	1469.0	236.2	1116.0	222.8	28.6	188.0	21.4	114.7	20.1	47.6	28.3	3.7	8.6	1.6
2506182-78		41.2	459.7	483.7	536.9	7.0	50.0	198.9	42.3	303.3	113.0	26.4	125.7	16.9	101.3	19.9	53.3	41.7	6.3	2.9	5.1
2506182-90		53.5	483.9	527.4	388.3	5.0	171.1	577.7	98.4	567.3	130.6	28.6	116.0	13.7	76.0	14.5	38.6	30.5	4.6	6.5	3.7
2506182-96		30.0	541.1	169.8	1257.0	20.4	1057.0	2770.0	487.8	2603.0	512.0	13.1	372.8	40.7	231.4	47.9	139.4	136.3	21.6	37.4	14.4
2506182-101		94.0	273.2	237.6	1055.0	12.6	584.1	1488.0	261.4	1286.0	297.2	9.2	292.1	39.1	226.0	42.3	106.4	68.4	9.0	15.9	5.3
2506182-103		74.6	288.9	336.9	618.8	2.8	62.0	230.5	46.9	291.6	131.1	13.7	174.0	27.8	147.5	20.2	34.4	11.4	1.2	0.1	15.6
2506182-107		56.0	142.9	190.5	1245.0	15.5	765.8	1831.0	311.5	1582.0	383.2	39.0	377.6	48.5	277.2	51.7	129.6	87.1	11.4	34.4	20.1
2506182-109		2036.0	877.0	550.5	638.6	7.2	339.3	912.0	132.9	688.0	168.1	29.2	168.4	22.0	129.9	24.6	61.4	39.1	5.1	4.2	1.2
2506182-3	C-P	118.0	99.0	576.0	191.3	0.8	1265.0	3006.0	458.9	2075.0	379.2	29.5	251.7	21.0	68.9	7.1	10.9	3.6	0.4	23.6	9.0
2506182-37	C-P	88.0	1084.0	130.3	1411.0	18.2	309.9	1174.0	240.5	1367.0	482.8	7.9	490.5	65.4	341.4	57.9	142.9	107.2	14.6	0.3	27.0
2506182-40	C-P	68.0	360.0	270.7	1960.0	26.2	2369.0	5848.0	904.0	4199.0	777.6	70.1	648.3	79.1	448.0	82.6	213.1	150.4	20.3	43.5	18.5
2506182-44	C-P	46.0	307.6	1047.7	1648.0	22.1	1091.0	3777.0	720.6	3525.0	720.6	119.1	548.8	67.8	376.0	69.1	178.3	128.7	17.6	6.4	9.2
2506182-54	C-P	174.0	783.6	641.7	289.5	3.1	166.1	506.5	81.7	431.6	106.3	19.1	91.1	11.1	59.7	10.6	26.6	16.6	2.2	13.3	0.4
2506182-59	C-P	194.0	487.5	147.3	664.2	7.9	1009.0	1876.0	253.4	1026.0	190.7	31.8	174.3	21.9	127.3	24.1	63.9	46.4	6.6	91.5	42.6
2506182-84	C-P	83.0	514.3	333.0	1231.0	16.2	1090.0	2510.0	407.0	1887.0	386.9	13.8	360.0	46.8	271.6	51.9	133.5	88.3	11.6	4.4	4.0
2506182-97	C-P	50.0	806.8	635.0	242.2	2.8	287.5	771.0	107.6	524.2	99.4	15.2	84.3	9.2	47.7	8.9	22.6	16.9	2.7	1.5	0.8
2506182-100	C-P	105.0	626.0	444.8	1090.0	13.0	1028.0	2196.0	359.2	1745.0	372.0	58.7	334.8	42.0	234.8	42.9	106.2	73.0	9.8	28.6	5.3
2506182-82	G	52.4	512.3	48.3	2162.0	31.7	29.7	92.0	21.8	199.0	169.7	8.1	305.5	57.2	407.7	85.6	239.9	172.3	22.0	3.1	8.4
2506182-16	G	101.0	561.4	137.0	2052.0	32.2	65.0	291.2	72.3	587.5	272.1	34.2	376.8	59.9	394.7	82.0	236.6	201.4	30.5	2.3	52.9
2506182-83	G	38.6	293.0	96.8	1548.0	21.7	33.9	227.4	66.8	556.0	241.7	14.3	318.9	47.9	301.9	62.0	170.7	128.3	19.9	0.8	12.7
2506182-42	G	26.2	403.0	130.2	2546.0	38.9	282.2	1100.0	210.6	1266.0	410.7	118.6	468.4	72.6	469.6	95.7	276.6	248.6	36.2	7.9	39.8
2506182-75	G	117.0	781.0	266.9	2271.0	29.2	196.3	1137.0	261.9	1678.0	557.2	44.7	565.2	80.2	483.0	91.9	235.6	161.5	20.8	2.6	8.6
2506182-67	G	129.7	446.1	752.6	2584.0	40.3	517.7	1750.0	379.1	2151.0	630.5	40.1	589.4	86.7	542.2	106.3	299.0	240.9	32.0	9.3	5.1
2506182-77	G	37.8	891.2	82.9	3430.0	40.2	559.9	1932.0	423.2	2432.0	902.2	41.7	937.0	132.3	777.1	142.7	350.7	208.0	25.8	116.8	38.0
2506182-2	G	64.0	309.0	423.3	2533.0	38.6	791.2	2242.0	448.3	2460.0	644.2	58.8	608.1	90.0	556.6	107.1	290.9	230.6	30.9	70.7	21.4
2506182-63	G	80.0	336.3	258.4	3474.0	52.3	1054.0	3138.0	615.5	3318.0	896.5	124.2	852.5	125.6	781.7	147.8	397.1	315.2	42.9	98.3	28.9
2506182-24	G	77.0	382.8	325.4	2372.0	35.2	753.8	2214.0	450.2	2413.0	648.0	124.2	633.0	88.6	528.5	100.3	268.7	214.9	30.3	57.6	29.2
2506182-65	G	427.0	736.6	175.3	2682.0	39.8	1024.0	2750.0	466.4	2195.0	555.2	50.3	557.4	81.8	524.8	106.4	301.0	239.0	32.8	28.1	7.7
2506182-	G	73.0	690.1	255.8	1154.0	15.8	340.4	1244.0	239.9	1320.0	335.4	35.7	305.6	41.4	245.1	47.3	127.0	86.2	11.0	7.0	7.1

110x

2506182-32	G	148.0	800.4	51.1	2108.0	30.4	1212.0	3104.0	504.3	2305.0	496.6	19.4	488.8	68.4	427.0	86.0	235.3	179.7	25.0	6.9	33.0
2506182-69	G	73.0	181.6	71.7	3081.0	37.6	1154.0	3510.0	655.9	3454.0	879.2	25.4	896.0	121.9	722.5	134.4	331.1	195.2	23.5	15.4	6.2
2506182-61	G	130.0	283.0	200.9	1090.0	14.3	533.4	1465.0	265.6	1313.0	305.9	8.2	289.8	38.2	225.1	43.6	115.7	80.4	11.0	17.6	19.7
2506182-53	G	75.0	420.5	134.0	1526.0	17.4	546.6	1785.0	317.7	1512.0	411.4	9.4	405.8	57.2	333.0	59.8	149.4	92.6	11.4	13.3	1.9
2506182-11	G	91.0	554.0	574.8	1810.0	25.4	1066.0	3069.0	564.1	2840.0	626.7	79.4	540.2	70.2	397.4	74.9	196.8	154.8	21.7	11.6	6.6
2506182-36	G	51.5	541.8	145.6	1757.0	24.0	1109.0	2915.0	519.9	2481.0	507.5	39.0	460.9	60.4	354.5	68.7	185.6	143.9	20.5	8.5	67.3
2506182-94	G	183.0	296.4	504.1	853.6	10.7	570.0	1322.0	206.0	1014.0	234.7	37.3	219.1	28.5	165.2	30.6	80.1	62.6	8.6	30.7	28.1
2506182-70	G	110.0	369.5	353.2	604.0	8.3	498.0	1184.0	153.8	632.0	122.1	10.3	114.5	15.1	91.6	19.1	57.8	55.5	8.7	25.2	31.8
2506182-64	G	146.0	398.1	141.4	436.1	5.2	327.3	674.9	81.2	383.2	88.0	12.4	95.2	12.6	77.8	15.4	41.2	30.7	4.2	20.0	19.9
2506182-50	G	179.0	782.2	217.5	1266.0	18.0	948.0	2446.0	378.9	1582.0	326.5	39.2	302.0	41.8	248.9	49.1	135.9	109.6	15.1	39.4	14.5
2506182-17	G	53.3	442.8	386.9	638.4	7.7	899.1	1151.0	130.4	546.7	103.3	25.7	120.0	15.5	94.5	19.9	58.0	50.7	8.9	71.4	41.9
2506182-18	G	104.0	671.4	75.2	4252.0	56.5	3886.0	9800.0	1228.0	5405.0	1137.8	39.5	1035.5	142.9	855.5	165.8	445.4	325.2	42.5	30.2	8.0
2506182-29	G	45.0	443.2	94.5	2276.0	31.2	2280.0	5568.0	807.0	3247.0	596.0	40.2	545.4	72.6	432.8	85.6	237.2	184.4	25.4	71.5	45.5
2506182-56	G	164.0	345.1	167.4	1608.0	20.8	1225.0	3787.0	599.5	2557.0	502.1	24.4	436.4	55.2	318.0	61.1	163.8	122.7	16.6	43.7	83.6
2506182-98	G	117.0	532.7	1675.6	582.4	5.9	330.4	1141.0	190.4	1036.0	237.6	41.3	200.2	23.3	120.7	21.0	50.0	32.8	4.2	2.3	6.9
2506182-30	G	153.0	374.8	122.5	2154.0	29.3	3079.0	6263.0	838.0	3289.0	597.4	54.8	549.1	72.6	429.7	84.1	226.1	172.1	24.0	319.5	58.0
2506182-10	G	91.0	279.0	94.0	896.0	10.2	1116.0	2186.0	292.5	1246.0	231.3	17.9	215.0	27.2	157.6	30.6	81.5	59.4	8.6	31.7	16.5
2506182-88	G	135.0	260.2	85.0	1214.0	15.1	1774.0	3700.0	505.6	2150.0	388.5	32.0	358.2	45.5	258.8	49.0	124.4	83.9	11.2	14.5	13.3
2506182-45x	G	160.0	318.5	341.9	896.0	9.5	1025.0	2533.0	436.6	2107.0	466.5	27.8	353.7	40.3	204.5	34.2	80.8	53.0	6.8	11.1	10.2
2506182-89	G	58.0	235.4	115.5	1353.0	19.0	2576.0	5510.0	767.2	3396.0	577.3	48.1	469.5	54.0	296.3	55.7	147.2	112.1	15.6	108.0	40.3
2506182-7	G	61.0	284.3	250.8	232.4	2.5	419.9	713.6	75.3	313.3	56.3	10.2	56.3	6.8	39.9	7.9	20.6	14.4	2.1	19.5	14.2
2506182-1	G	197.0	278.9	616.0	733.1	7.9	1082.0	2318.0	372.1	1726.0	316.2	42.7	251.6	29.0	152.7	27.0	66.6	43.2	5.6	19.8	6.1
2506182-93	G	142.0	229.7	278.9	800.0	8.4	1241.0	2589.0	345.9	1474.0	257.2	32.3	234.1	27.6	151.4	28.1	70.3	47.5	6.7	120.6	25.9
2506182-108	G	323.0	348.5	742.9	417.5	4.1	585.9	1236.0	205.1	968.0	182.0	31.8	147.7	16.6	86.3	15.2	36.3	22.2	3.0	8.1	2.9
2506182-49	G	76.0	358.5	1005.3	565.6	5.9	734.6	1763.0	295.6	1339.0	259.6	49.5	195.5	22.5	118.1	20.7	50.9	31.3	3.8	73.0	25.6
2506182-8	G	111.0	255.6	192.6	944.0	9.6	1089.0	2880.0	453.0	2008.0	384.8	7.6	329.0	39.1	203.2	35.6	86.5	51.0	6.6	8.0	15.3
R2506182-4	G	105.0	402.8	321.9	1318.0	17.5	2654.0	5779.0	792.0	3186.0	532.4	41.6	420.7	51.5	286.2	52.8	138.5	101.8	14.0	76.3	20.7
2506182-74	G	27.1	634.6	159.4	1243.0	17.0	3081.0	6268.0	769.5	2824.0	409.2	35.3	341.4	40.4	232.8	46.5	129.2	103.4	15.2	46.8	4.4
2506182-99	G	295.0	232.2	712.1	254.9	2.6	363.4	871.0	120.7	588.0	110.5	21.4	91.5	10.1	52.5	9.2	21.9	14.4	1.9	5.1	4.6
2506182-55	G	185.0	404.9	438.8	930.7	11.1	1787.0	3910.0	567.7	2339.0	393.1	50.6	297.6	34.6	187.0	34.0	88.9	64.4	8.8	78.8	22.4
2506182-38	G	61.4	175.3	777.8	680.0	7.2	1058.0	2468.0	381.5	1707.0	310.9	25.0	239.6	27.3	143.5	24.9	60.7	40.2	5.1	17.6	9.5
2506182-35	G	163.2	439.9	796.0	582.2	6.5	1095.0	2349.0	345.4	1426.0	247.5	20.2	190.7	21.9	117.9	20.9	53.4	37.0	4.9	45.9	12.3
2506182-52	G	155.0	239.5	524.9	720.7	7.5	1232.0	2685.0	381.9	1654.0	296.0	36.0	240.8	27.2	145.0	25.9	64.7	41.4	5.5	46.2	18.1
2506182-31	G	152.0	426.7	884.2	1563.0	17.4	2442.0	7236.0	1136.0	5759.0	1210.3	191.4	775.2	77.5	368.2	61.5	149.1	99.0	13.0	75.0	33.8
2506182-95	G	127.0	444.7	9496.0	781.3	6.8	891.1	2983.0	639.0	3512.0	700.2	151.4	436.5	41.7	183.2	27.4	60.8	38.0	5.0	38.4	84.1
2506182-87	G	116.0	266.2	478.3	407.6	4.1	857.8	1794.0	271.5	1202.0	196.8	15.9	151.2	16.5	84.4	14.9	35.6	22.0	2.9	7.0	8.8
2506182-91	G	253.0	423.9	418.5	943.0	10.2	1985.0	5250.0	779.0	3351.0	535.5	21.3	372.1	40.8	205.9	34.9	85.7	57.7	7.5	75.2	23.9
2506182-57	G	77.0	136.1	136.3	1140.0	11.6	1493.0	3875.0	595.3	2628.0	522.2	10.5	448.3	53.1	283.9	48.1	110.9	42.3	6.9	45.3	9.7
2506182-25	G	192.0	464.7	351.2	1182.0	13.9	3129.0	7226.0	945.0	4281.0	678.9	59.7	511.5	54.5	278.9	48.7	120.4	78.8	10.8	91.5	17.4
2506182-27	G	37.8	172.3	156.5	1393.0	9.4	1372.0	4359.0	891.0	4921.0	1210.8	65.8	997.0	105.6	454.4	60.4	108.9	42.4	4.8	5.3	28.0
2506182-92	G	52.6	191.7	176.9	749.4	4.9	1078.0	2110.0	318.8	1489.0	312.2	39.9	298.8	35.7	179.0	27.6	53.8	20.4	2.1	10.9	6.0
2506182-12	G	76.1	210.3	2078.0	639.5	5.8	1432.0	3540.0	549.6	2485.0	421.3	63.1	286.1	29.2	137.4	21.4	50.5	34.0	4.4	33.7	51.3
2506182-68	G	81.0	139.1	110.9	624.5	4.1	1119.0	2814.0	437.2	1969.0	386.9	13.5	315.4	33.8	157.3	22.6	44.0	22.3	2.1	105.6	12.7
2506182-33	G	58.4	103.6	88.7	791.5	3.9	854.0	2584.0	556.3	3167.0	948.3	80.0	729.0	67.5	245.8	28.0	45.9	17.8	1.9	13.0	37.0
2506182-85	G	100.0	250.4	684.6	385.5	3.5	1718.0	3315.0	478.2	2007.0	290.0	37.8	210.8	20.2	92.0	14.5	32.4	18.2	2.4	21.5	4.2
2506182-86	G	241.0	73.3	310.1	1038.0	5.7	1179.0	4848.0	977.0	5844.0	1790.1	171.7	1243.8	112.1	403.9	44.1	70.2	25.7	2.6	15.7	48.1
2506182-104	G	94.0	193.1	397.9	569.1	3.1	1126.0	2745.0	431.8	1993.0	393.7	36.7	317.0	34.2	153.4	21.3	38.4	12.8	1.4	20.3	3.5
2506182-13	G	186.0	435.2	1478.1	288.8	2.8	1745.0	3555.0	461.7	1794.0	224.6	36.9	142.3	13.1	59.5	9.9	24.2	15.7	2.1	126.5	44.7
2506182-62	G	144.0	168.8	87.8	814.4	3.7	2479.0	5779.0	833.0	3562.0	687.5	21.1	537.9	55.2	233.6	29.5	50.1	14.8	1.4	83.4	15.7
2506182-106	G	104.0	201.9	115.0	416.8	1.8	1942.0	4989.0	818.0	3977.0	880.8	23.2	580.5	45.9	148.8	15.6	25.1	9.0	1.0	3.1	22.1
2506182-105	G	82.1	77.8	175.3	300.1	1.0	1090.0	2736.0	461.3	2293.0	524.4	40.6	398.7	34.3	111.2	10.7	15.0	4.8	0.5	6.2	8.2
2506182-51	G	85.9	135.2	216.7	146.4	0.5	907.0	2013.0	316.9	1427.0	303.7	22.7	214.3	17.4	54.8	5.2	7.6	2.3	0.2	11.6	5.2

2506182-21	G	58.0	90.9	167.2	301.8	1.2	2030.0	4674.0	687.8	2946.0	528.9	32.8	364.7	30.0	102.4	10.9	16.9	4.7	0.5	101.4	23.4
2506182-23	G	150.0	118.7	201.0	136.4	0.3	621.0	1782.0	376.3	2169.0	592.5	48.9	403.3	27.6	65.4	4.6	5.4	1.7	0.1	2.4	13.1

Sample	Group	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Tm (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
V-1																					
2606181-46	G	62.1	1033.0	98.8	1950.0	20.2	6.6	35.5	10.6	103.3	86.0	41.9	188.8	41.5	321.1	65.6	170.7	105.4	13.0	0.1	6.9
2606181-125	G	61.4	1824.0	72.3	7851.0	111.9	1117.0	3385.0	517.4	2702.0	884.6	17.1	1095.5	191.2	1325.6	276.0	810.8	693.7	94.4	7.2	15.7
2606181-47	G	72.0	682.6	130.1	6740.0	101.1	1008.1	3377.0	562.7	2949.0	901.9	125.1	1030.4	174.0	1194.8	250.5	721.0	627.0	87.2	17.4	9.9
2606181-74	G	96.7	819.7	212.8	1852.0	20.3	241.2	665.1	115.5	783.4	342.7	30.6	460.7	66.9	386.5	68.4	167.6	117.9	16.2	2.3	38.5
2606181-50	G	42.0	607.4	299.0	7056.0	105.2	1029.4	4207.0	764.5	4157.0	1105.9	121.6	1112.4	175.9	1172.8	242.0	721.1	673.9	96.2	126.1	27.3
2606181-17	G	90.7	917.4	204.8	5478.0	76.8	2113.0	7108.0	1084.0	5202.0	1218.1	123.4	1093.1	158.1	1001.4	195.7	555.6	475.5	64.2	33.1	59.1
2606181-21	G	132.0	1815.0	249.0	3841.0	59.6	2179.0	6735.0	915.4	4056.0	934.8	45.0	815.8	117.4	734.9	142.5	411.4	406.4	63.0	7.1	67.4
2606181-2	G	84.5	295.7	312.6	3737.0	49.6	1470.0	4970.0	789.9	4001.0	971.2	67.7	901.1	127.4	760.6	142.7	377.4	289.6	39.5	45.2	38.5
2606181-1	G	101.0	431.6	2121.0	395.7	4.4	66.0	460.9	121.4	878.0	225.0	46.9	155.1	16.8	82.3	13.5	34.0	26.8	3.7	1.0	86.2
2606181-25	G	70.8	397.7	168.7	1808.0	13.0	258.9	928.3	156.3	862.2	337.9	23.0	423.0	69.5	418.5	69.6	148.6	52.9	5.6	2.6	37.6
2606181-57	G	123.9	319.1	339.1	3492.0	44.4	1421.0	4581.0	733.1	3735.0	905.1	119.5	801.4	113.6	684.0	128.4	341.4	256.6	34.8	139.8	28.2
2606181-69	G	63.3	348.2	260.8	3090.0	40.0	1386.0	4816.0	759.1	3805.0	901.0	62.8	796.5	108.5	630.1	116.3	307.3	241.4	32.2	122.7	31.7
2606181-65	G	110.5	477.7	263.1	4076.0	53.5	2119.0	6635.0	1009.0	5035.0	1139.9	63.8	1003.1	136.2	803.0	151.3	402.6	318.3	41.6	105.4	25.6
2606181-92	G	142.6	500.7	112.3	518.5	7.5	446.7	1070.9	131.4	578.7	124.7	32.8	119.6	15.6	93.4	18.3	52.2	49.9	7.3	18.1	20.5
2606181-124	G	253.0	314.8	225.4	1266.0	13.3	514.7	1575.0	255.6	1372.0	341.7	12.0	334.1	44.8	256.6	46.7	115.7	69.4	8.9	12.5	8.8
2606181-67	G	91.7	655.3	263.9	2158.0	28.5	1490.0	4282.0	601.5	2729.0	547.4	44.1	464.3	63.3	379.2	74.4	205.9	177.7	25.3	71.4	12.0
2606181-20	G	68.6	458.7	154.0	4975.0	62.0	2309.0	9363.0	1554.0	7573.0	1625.9	66.6	1235.6	163.7	975.1	181.4	486.8	355.0	44.9	202.0	13.2
2606181-51	G	66.2	735.9	225.9	3122.0	29.2	1304.0	3703.0	558.5	2774.0	829.5	64.8	836.9	114.6	640.1	112.9	270.7	137.4	14.8	46.1	65.7
2606181-94	G	47.7	252.8	996.9	886.4	11.0	472.8	1909.0	329.8	1676.0	359.0	69.1	255.6	29.8	162.3	30.0	80.1	69.7	10.5	33.1	32.5
2606181-41	G	103.5	473.4	299.0	3186.0	38.1	2095.0	6883.0	927.0	4208.0	824.5	61.3	733.9	99.1	601.1	114.9	305.2	221.2	29.7	94.6	17.2
2606181-39	G	71.9	470.1	297.6	2732.0	32.8	2119.0	5755.0	824.2	3904.0	847.7	67.8	746.3	98.9	575.3	104.3	265.3	182.8	23.3	73.8	22.4
2606181-109	G	60.2	180.7	118.4	2089.0	23.9	1770.0	4341.0	564.8	2478.0	514.7	21.2	494.7	65.7	385.1	75.1	194.0	131.8	17.5	17.2	5.7
2606181-6	G	270.0	1367.0	65.1	3276.0	35.0	2210.0	6054.0	860.8	4093.0	907.7	63.3	872.0	116.4	676.2	124.7	305.5	183.4	23.3	30.8	11.4
2606181-91	G	29.3	682.6	416.0	1750.0	20.3	1129.0	4089.0	628.9	2974.0	558.0	81.9	465.0	55.0	305.6	59.0	157.4	122.6	19.1	108.9	11.2
2606181-29	G	116.0	999.7	170.9	1157.0	14.2	1122.0	2887.0	359.8	1481.0	271.5	10.5	238.8	31.6	194.1	38.2	108.1	85.0	11.5	10.3	7.2
2606181-62	G	63.3	661.5	317.7	2516.0	31.5	2762.0	6630.0	829.3	3618.0	709.9	64.3	621.6	82.5	479.1	90.9	242.5	183.7	24.7	67.8	12.4
2606181-129	G	120.4	399.3	263.8	2811.0	31.8	2541.0	6604.0	906.0	4379.0	890.7	57.5	782.2	101.7	582.5	103.8	264.5	175.5	22.6	46.0	14.2
2606181-77	G	58.7	519.2	258.7	2992.0	35.5	2556.0	7845.0	1100.0	4963.0	975.6	48.8	820.6	105.1	593.4	108.5	281.8	199.4	25.3	175.5	41.9
2606181-40	G	111.5	199.4	350.6	1327.0	14.6	1339.0	3200.0	445.9	2062.0	430.6	39.4	364.2	46.9	265.8	47.3	120.8	80.2	10.0	30.3	8.5
2606181-42	G	134.5	603.2	618.0	1819.0	20.8	1655.0	4830.0	696.7	3198.0	642.7	57.8	537.8	67.7	379.7	67.8	171.3	116.5	15.3	68.4	27.1
2606181-59	G	39.6	430.3	407.2	1760.0	21.1	1831.0	5170.0	740.3	3416.0	644.4	58.7	517.4	64.0	354.5	64.8	167.4	122.0	16.6	27.6	14.2
2606181-33	G	64.8	454.6	377.3	2028.0	23.5	2205.0	5808.0	773.4	3418.0	665.3	43.0	559.4	71.3	408.4	73.9	191.3	136.5	18.2	65.9	25.7
2606181-61	G	73.2	368.1	432.9	2679.0	31.8	2665.0	7622.0	1043.0	4773.0	909.0	65.0	752.2	98.0	557.3	100.6	257.2	178.5	23.1	138.9	30.0
2606181-58	G	84.1	497.0	387.3	5231.0	59.1	5817.0	13870.0	1795.0	8052.0	1673.3	101.1	1450.9	190.1	1081.6	197.6	500.8	315.8	39.5	164.5	16.9
2606181-113	G	108.7	359.1	395.9	1763.0	20.7	1886.0	5050.0	688.1	3112.0	617.0	42.8	509.1	65.6	370.9	66.2	168.3	114.5	14.5	62.2	14.4
2606181-55	G	129.0	413.4	247.6	2810.0	33.4	3144.0	8202.0	1089.0	4875.0	999.1	54.3	841.4	107.1	597.8	107.2	273.4	184.7	23.9	137.6	32.2
2606181-36	G	96.9	693.0	327.5	1998.0	25.0	2731.0	6849.0	856.2	3593.0	610.9	51.1	497.3	63.1	370.2	70.3	192.6	153.3	22.0	108.0	16.8
2606181-26	G	351.1	679.8	56.1	1822.0	17.7	1424.0	4208.0	591.7	2791.0	608.4	20.6	544.3	68.3	384.0	66.6	160.2	92.7	11.2	69.0	10.4
2606181-24	G	88.0	405.4	259.1	1884.0	21.8	2277.0	5963.0	793.1	3515.0	673.9	51.6	556.8	70.8	402.9	70.3	178.0	122.1	15.1	51.1	16.6
2606181-28	G	133.5	789.9	790.6	1681.0	19.7	2063.0	5719.0	759.4	3379.0	622.3	81.1	490.5	60.6	344.2	61.3	159.6	113.4	15.0	65.4	11.5
2606181-118	G	75.5	337.6	150.3	2769.0	29.9	3167.0	8140.0	1131.0	5470.0	1104.8	39.6	946.4	115.4	630.4	109.3	264.1	157.9	19.9	19.7	19.9
2606181-19	G	84.0	668.3	213.6	2314.0	27.6	3521.0	8273.0	961.7	4006.0	726.0	45.7	616.5	78.2	454.1	83.5	219.0	159.6	21.3	151.2	40.6
2606181-5	G	67.1	652.3	265.9	3166.0	38.7	5041.0	12288.0	1483.0	6039.0	1020.1	49.3	833.1	104.2	598.9	112.9	302.2	224.4	31.0	98.9	24.9
2606181-45	G	105.8	524.7	377.8	1878.0	22.4	3226.0	7114.0	881.0	3638.0	660.4	44.2	529.5	66.7	376.6	68.2	177.5	129.7	17.3	194.2	39.6
2606181-4	G	128.1	430.7	462.9	366.1	3.8	566.5	1160.0	136.5	593.2	111.9	22.6	108.5	12.8	71.2	12.8	32.1	21.1	3.0	24.5	24.4
2606181-81	G	99.3	550.1	387.6	1662.0	20.2	2510.0	6605.0	805.2	3329.0	613.2	52.1	483.7	59.7	331.3	59.9	156.0	117.6	16.0	103.9	18.1
2606181-96	G	56.2	569.9	270.6	1851.0	18.4	1882.0	6832.0	1034.0	4888.0	951.9	66.9	703.9	80.1	412.2	69.8	163.4	102.3	13.5	110.9	17.8

2606181-102	G	111.5	632.3	405.3	1824.0	19.8	2994.0	7416.0	969.0	4219.0	775.7	81.4	617.8	73.8	392.3	68.5	165.5	108.4	13.6	64.9	9.7
2606181-130xx	G	161.1	659.9	177.8	1012.0	10.8	1347.0	4494.0	642.1	2852.0	477.0	34.2	342.5	39.2	205.3	35.9	90.3	61.1	8.3	4.6	23.8
2606181-73	G	74.5	765.5	630.9	1061.0	12.1	3031.0	5771.0	614.3	2430.0	379.4	51.7	317.1	36.3	196.5	37.2	96.8	72.4	11.1	150.9	19.5
2606181-95	G	39.7	482.8	1320.4	712.3	8.1	1800.0	4204.0	478.5	1866.0	280.5	32.6	209.6	22.9	121.9	23.2	62.4	50.8	7.9	116.3	24.1
2606181-8	G	194.3	849.3	1041.5	996.9	11.9	2310.0	6112.0	742.9	2889.0	436.5	46.0	315.5	36.8	199.2	35.6	92.9	69.9	9.6	136.8	6.6
2606181-54	G	100.3	142.7	118.4	1202.0	6.4	3287.0	8450.0	1141.0	5195.0	1121.8	21.7	874.3	87.4	357.1	44.4	77.2	27.2	2.8	25.9	14.3
2606181-13	G	187.0	129.4	121.8	572.7	2.6	815.3	3530.0	633.2	3445.0	945.8	9.4	621.2	52.1	183.8	20.3	32.9	11.3	1.1	0.7	12.6
2606181-111	G	204.2	153.0	127.5	487.4	2.0	1756.0	6158.0	960.0	4733.0	1008.6	22.3	641.1	51.9	169.2	17.6	27.6	9.4	0.9	86.7	24.3
2606181-60	G	112.7	95.5	88.7	574.6	3.2	3017.0	7692.0	1003.0	4543.0	822.7	17.2	534.2	45.7	171.3	21.0	37.3	11.2	1.6	81.8	22.1
2606181-83	G	168.0	96.1	95.0	311.3	1.2	3700.0	8940.0	1175.0	5230.0	960.0	21.9	547.0	38.3	111.6	10.9	17.4	5.6	0.5	24.9	17.4
2606181-43	G	71.9	97.0	93.1	230.1	0.7	3275.0	7677.0	979.9	4313.0	775.1	22.9	460.0	32.5	91.3	7.8	10.9	3.3	0.3	57.2	13.1
2606181-48	C-P	89.7	868.1	481.1	929.1	12.1	106.1	397.8	82.5	531.4	186.8	52.0	193.4	27.1	164.5	32.2	89.0	76.6	11.6	1.5	29.5
2606181-31	C-P	43.3	559.7	207.3	3797.0	53.7	488.9	1865.0	380.2	2403.0	755.9	129.7	797.4	117.1	750.2	146.5	407.2	331.0	45.0	4.8	25.1
2606181-123	C-P	56.3	1015.5	354.6	1700.0	19.9	172.3	695.0	138.7	933.0	346.3	35.8	380.4	53.9	321.6	59.0	154.3	121.2	18.2	12.7	5.5
2606181-56	C-P	344.0	1499.0	608.6	798.6	9.8	119.9	460.1	89.0	593.0	184.0	36.8	196.2	23.3	131.6	25.1	69.9	65.3	10.4	6.4	16.8
2606181-27	C-P	47.0	557.2	319.4	2522.0	33.4	398.1	1753.0	345.9	2033.0	598.5	113.6	591.7	83.3	512.7	96.0	257.5	202.4	27.8	16.7	24.1
2606181-120	C-P	32.4	828.0	424.2	450.8	5.5	174.9	483.9	72.4	399.2	92.3	21.1	91.9	11.5	68.9	14.1	41.0	36.1	6.0	1.7	3.6
2606181-119	C-P	470.0	948.6	327.5	2617.0	30.0	809.7	2555.0	431.8	2465.0	626.0	65.3	631.0	88.5	533.4	99.0	252.6	162.8	20.8	0.3	3.8
2606181-115	C-P	59.6	603.5	468.6	254.9	2.5	61.2	244.1	48.4	310.2	94.4	16.7	92.0	10.9	55.5	8.9	20.7	14.2	2.0	1.0	7.9
2606181-116	C-P	85.8	618.7	617.6	160.1	2.0	81.3	232.4	36.3	197.2	46.7	16.6	45.8	5.4	30.4	5.8	15.5	12.7	2.3	12.8	9.8
2606181-30	C-P	2669.0	365.2	5388.0	1860.0	26.0	981.1	2935.0	469.2	2477.0	619.7	65.7	600.7	79.8	467.5	86.3	219.9	142.2	18.5	36.9	14.6
2606181-44	C-P	520.0	1522.0	616.0	259.3	2.7	106.8	335.3	56.0	308.8	87.2	22.6	82.9	10.3	56.1	9.9	23.5	14.8	1.9	0.4	0.8
2606181-12	C-P	53.7	484.1	500.6	91.9	1.1	50.0	173.9	26.7	132.2	23.3	4.6	20.9	2.4	13.4	2.9	8.1	7.4	1.4	1.1	1.4
2606181-105	C-P	165.9	1689.0	921.0	1949.0	23.5	1467.0	4009.0	550.8	2511.0	536.4	50.6	486.1	65.2	379.0	71.7	184.6	134.0	17.5	60.3	17.4
2606181-34	C-P	98.8	869.5	476.5	61.0	0.8	116.7	185.3	19.8	86.8	15.5	4.6	16.3	1.9	10.9	2.2	6.2	5.2	0.9	1.7	2.2
2606181-98	C-P	121.0	2400.0	161.0	2228.0	26.1	2312.0	6092.0	799.1	3452.0	685.9	36.7	581.2	75.7	433.1	81.1	207.1	146.6	18.1	71.6	15.5
2606181-114	C-P	1364.0	2539.0	418.9	311.6	3.5	281.8	874.1	132.8	674.6	133.3	21.4	106.7	12.3	64.7	11.4	28.6	20.5	3.0	1.3	0.9
2606181-99	C-P	95.5	795.3	553.8	249.3	3.1	392.7	898.9	104.2	429.6	71.2	21.4	61.8	6.9	38.6	7.8	22.5	20.6	3.5	4.9	1.8
2606181-122	C-P	78.0	590.4	509.6	343.4	4.1	420.2	1115.0	150.7	746.0	139.6	28.9	120.7	13.3	71.0	13.0	34.2	25.1	3.9	16.8	6.9
2606181-32	C-P	1518.0	449.5	713.0	809.6	10.1	1172.0	2620.0	318.1	1318.2	243.2	24.0	205.2	26.2	152.9	28.8	78.0	58.3	7.8	22.8	8.2
2606181-110	C-P	549.0	1693.0	1050.2	421.7	4.0	403.3	1211.0	197.9	1083.0	263.8	58.3	220.5	22.3	97.6	14.3	32.0	26.4	4.1	2.5	1.8
2606181-103	C-P	1391.0	669.2	654.1	131.7	1.5	137.5	388.9	55.3	262.8	53.1	13.3	45.7	5.2	28.3	5.0	12.2	8.4	1.2	6.6	1.6
2606181-37	C-P	259.3	705.8	376.7	743.2	9.4	1289.0	2758.0	317.5	1236.0	218.1	13.6	184.1	23.7	143.1	26.9	73.4	55.7	7.3	14.4	4.2
2606181-100	C-P	66.5	591.1	383.3	172.8	2.1	472.0	760.0	66.8	233.2	38.2	10.6	35.1	4.2	24.6	5.1	14.7	14.9	2.7	21.8	8.9
2606181-85	C-P	59.0	569.1	602.5	248.1	3.0	342.8	930.0	119.4	532.0	93.5	14.8	77.7	8.8	48.0	9.0	23.7	18.0	2.8	10.2	5.8
2606181-49	C-P	2479.0	388.2	1453.6	369.8	4.0	528.6	1176.0	151.1	689.8	132.5	24.0	115.7	13.5	74.5	13.7	33.9	22.4	3.0	15.5	4.8
2606181-121	C-P	318.0	493.0	393.9	865.4	8.8	972.5	2495.0	342.9	1679.0	328.6	32.9	280.3	33.7	182.9	31.9	78.2	47.2	6.1	23.8	7.0
2606181-23	C-P	48.2	918.2	361.7	166.5	2.1	548.8	1008.3	92.2	320.5	41.1	12.7	38.0	3.9	22.2	4.7	14.7	14.6	2.9	6.7	4.1
2606181-75	C-P	45.5	855.3	376.2	152.4	1.9	523.2	930.6	88.6	336.6	46.9	15.7	43.0	4.4	23.7	4.8	14.0	13.3	2.6	5.4	2.8
2606181-10	C-P	39.9	529.4	419.2	80.6	1.0	331.6	564.0	48.8	166.8	20.2	7.2	18.4	1.9	10.3	2.2	6.9	8.0	1.8	14.3	24.1
2606181-70	C-P	138.6	1546.0	330.1	458.9	6.1	1511.0	2888.0	275.6	965.4	134.4	21.0	112.7	12.6	71.0	14.4	42.1	41.0	6.8	53.3	11.7
2606181-112	C-P	213.0	1277.0	635.1	430.9	5.1	965.5	2243.0	278.6	1153.0	174.1	21.6	130.5	14.5	77.3	14.2	38.5	30.8	4.4	5.1	3.0
2606181-53	C-P	58.1	307.9	638.4	281.3	3.1	395.1	1370.0	205.0	935.0	149.9	25.2	105.0	10.8	54.7	9.5	24.6	18.4	3.0	53.3	7.7
2606181-80	C-P	88.0	1777.0	399.3	358.9	4.7	1326.0	2463.0	238.3	825.5	111.9	18.7	93.5	10.2	57.3	11.4	33.1	31.7	5.1	42.2	10.3
2606181-84	C-P	80.8	851.4	573.0	181.2	2.2	631.5	1135.0	114.4	441.8	66.8	18.4	58.9	6.0	31.9	6.2	16.6	14.5	2.5	5.1	2.0
2606181-79	C-P	33.8	465.5	419.6	99.1	1.1	268.2	543.3	58.7	245.8	34.5	8.2	29.4	3.1	16.8	3.3	8.6	6.8	1.2	11.1	6.2
2606181-52	C-P	2539.0	360.7	1397.7	333.2	3.3	711.0	1543.0	194.1	872.7	164.8	30.5	130.8	13.9	69.2	11.7	28.1	18.4	2.3	40.1	14.4
2606181-90	C-P	101.8	1028.9	518.6	217.8	2.6	776.1	1483.0	147.2	541.3	75.2	19.3	64.7	6.5	35.1	6.9	19.6	17.4	3.0	6.2	2.2
2606181-127	C-P	64.5	889.0	427.4	160.6	1.7	462.0	756.0	75.9	326.3	50.2	8.0	49.2	5.5	30.3	5.7	14.8	8.7	1.5	27.4	8.0
2606181-16	C-P	107.4	1220.0	431.4	219.2	2.6	727.1	1384.0	139.0	514.3	73.9	18.3	65.7	6.9	37.5	7.3	20.1	15.6	2.7	8.2	3.0
2606181-117	C-P	47.9	761.0	396.5	117.7	1.5	616.2	952.0	79.9	280.7	35.9	11.5	33.8	3.3	17.4	3.5	10.4	10.7	2.4	8.5	5.3
2606181-38	C-P	34.6	587.9	334.2	65.6	0.8	483.0	629.0	47.2	161.0	18.5	7.7	17.9	1.6	9.0	1.9	5.8	6.7	1.6	13.4	8.4

2606181-3	C-P	94.1	949.3	507.2	151.6	1.9	730.4	1209.0	113.1	432.6	62.0	19.2	55.9	5.3	26.7	5.1	14.0	12.9	2.5	7.5	3.4
2606181-104	C-P	42.7	703.7	397.8	107.0	1.2	407.2	767.4	75.7	285.7	40.1	10.2	35.9	3.6	18.7	3.6	9.7	8.0	1.4	2.8	1.6
2606181-18	C-P	84.5	982.6	580.4	185.9	2.2	733.6	1367.0	135.4	502.4	70.5	15.7	58.9	6.1	32.5	6.1	16.8	13.5	2.1	5.3	2.0
2606181-97xx	C-P	59.8	950.6	448.0	95.4	1.2	567.9	883.4	74.0	248.1	30.4	12.1	27.5	2.6	13.5	2.9	8.2	8.6	1.8	9.1	6.6
2606181-68	C-P	82.0	1161.0	466.6	159.0	1.9	801.0	1293.0	116.0	420.3	55.8	14.0	49.0	5.0	25.9	5.2	14.5	12.6	2.3	5.6	2.3
2606181-93	C-P	59.6	655.7	253.9	149.7	2.0	1311.0	1551.0	109.5	331.6	39.8	5.9	38.2	3.7	20.7	4.5	14.1	14.6	2.9	45.0	29.8
2606181-63	C-P	50.9	766.1	380.2	70.8	0.9	511.0	794.4	60.2	188.0	18.3	11.0	17.5	1.5	7.8	1.8	6.1	7.2	1.7	8.5	7.7
2606181-87	C-P	97.2	1081.4	572.1	226.5	2.6	962.9	1746.0	176.7	670.3	93.9	19.3	79.0	8.0	41.9	7.8	20.6	15.6	2.4	7.0	2.3
2606181-86	C-P	83.8	950.5	528.8	151.0	1.9	901.8	1423.0	127.6	432.5	50.3	14.7	45.3	4.3	23.0	4.8	13.7	12.6	2.3	10.4	3.5
2606181-11	C-P	106.2	931.9	471.9	134.5	1.7	802.2	1374.0	124.7	410.7	40.1	14.2	35.1	3.3	18.3	3.9	11.8	12.1	2.4	7.2	2.9
2606181-9	C-P	105.4	856.7	532.2	136.1	1.7	875.7	1358.0	119.1	425.2	55.1	18.7	50.1	4.5	22.5	4.5	12.4	11.5	2.3	8.1	3.8
2606181-22	C-P	37.4	603.4	371.8	79.4	0.8	822.1	1019.5	82.2	295.3	35.3	12.4	31.1	2.8	14.3	2.6	7.2	5.5	1.0	12.4	6.2

Sample	Group	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Tm (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
RN-3																					
2606183-2	C-P	24.0	389.9	441.5	53.5	0.7	35.2	94.0	13.0	68.4	13.2	4.4	13.5	1.5	8.7	1.8	5.0	4.2	0.8	1.4	23.2
2606183-3	C-P	-18.0	311.0	586.3	133.9	1.7	117.0	295.0	36.9	181.2	37.5	6.9	38.7	4.3	23.6	4.7	13.1	11.0	2.1	7.8	10.7
2606183-4	C-P	84.0	503.2	523.7	190.7	2.6	317.4	665.3	68.9	278.2	44.9	9.3	44.3	4.9	28.3	5.9	18.0	18.8	3.8	12.4	6.7
2606183-5	C-P	86.0	339.1	530.6	173.0	2.1	211.2	557.3	70.1	325.1	59.6	15.7	55.2	5.9	30.9	5.7	15.8	13.3	2.3	8.3	7.0
2606183-7	C-P	105.0	373.7	818.1	112.7	1.3	272.3	535.2	58.9	259.4	45.0	10.8	39.7	4.0	20.3	3.7	10.0	8.4	1.5	13.1	9.8
2606183-8	C-P	90.0	248.7	550.5	169.1	1.9	72.7	294.7	51.5	285.9	61.7	12.0	55.3	6.1	32.1	5.9	15.6	11.7	1.9	6.2	7.7
2606183-9	C-P	24.0	624.7	369.7	266.6	3.2	459.0	879.0	94.6	396.7	71.5	10.9	67.5	7.9	45.0	8.8	24.4	20.2	3.6	11.2	16.8
2606183-10	C-P	91.0	591.5	734.4	251.4	3.2	413.2	929.4	104.2	435.7	76.2	14.7	69.6	7.7	42.9	8.4	23.5	20.1	3.3	17.0	6.1
2606183-12	C-P	118.0	1124.0	437.1	579.6	7.0	571.3	1615.0	213.3	1008.0	189.4	24.7	163.0	19.5	109.0	20.4	54.7	41.6	6.3	12.1	4.0
2606183-13	C-P	32.0	375.5	451.9	203.7	2.5	114.1	324.0	47.8	248.1	51.6	13.3	50.9	6.0	34.8	6.9	19.3	15.7	2.8	9.5	15.0
2606183-14	C-P	24.0	340.5	563.2	153.9	1.8	118.2	354.3	50.8	262.1	51.8	9.8	48.1	5.2	27.6	5.3	13.9	11.2	1.9	7.2	7.6
2606183-15	C-P	126.0	594.1	671.6	247.5	3.1	387.1	883.0	99.3	418.2	69.7	12.8	64.9	7.3	41.2	8.3	23.0	19.9	3.2	10.8	4.9
2606183-16	C-P	140.0	650.4	774.8	314.1	3.8	495.7	1196.0	135.3	575.4	97.8	17.1	87.7	10.0	55.2	10.6	29.3	23.5	3.6	11.9	5.1
2606183-17	C-P	86.0	526.7	698.8	140.3	1.5	147.7	352.8	43.5	199.3	41.3	7.6	47.9	5.6	29.3	5.1	12.5	9.4	1.6	2.2	4.9
2606183-18	C-P	91.0	975.0	371.0	547.6	6.9	104.2	378.3	67.0	411.7	120.4	33.0	133.8	17.2	100.0	19.5	53.2	42.9	6.9	7.9	6.9
2606183-19	C-P	22.0	338.1	802.0	378.1	3.8	315.4	1029.0	162.0	835.4	164.5	40.1	139.7	15.0	75.3	13.2	32.2	21.7	3.4	33.3	13.8
2606183-20	C-P	33.0	348.7	601.0	3170.0	38.6	1051.0	3604.0	592.7	3233.0	764.7	452.6	674.8	88.7	519.9	98.2	274.5	249.1	37.4	142.8	327.0
2606183-23	C-P	116.0	410.5	527.2	351.1	4.0	165.9	528.6	82.9	446.9	102.4	24.9	97.4	11.6	63.9	12.3	32.2	25.0	4.3	100.1	8.2
2606183-24	C-P	158.0	640.6	863.4	313.3	3.8	313.6	826.9	106.0	483.3	101.0	18.4	93.0	10.6	58.8	11.2	30.1	22.6	3.3	8.1	5.1
2606183-25	C-P	52.0	475.7	718.2	399.7	4.7	247.4	738.7	104.4	527.2	122.9	18.5	118.7	14.0	76.4	14.6	38.4	27.5	4.2	6.3	3.5
2606183-28	C-P	40.0	325.6	436.5	203.2	2.4	199.8	582.7	78.2	379.9	74.5	13.7	66.1	7.4	39.3	7.4	19.3	14.2	2.3	8.9	3.2
2606183-29	C-P	61.0	255.5	724.6	77.5	0.9	72.6	218.6	29.9	149.3	28.2	8.8	25.3	2.6	13.2	2.5	6.8	5.5	1.0	8.2	6.1
2606183-30	C-P	203.0	551.4	775.3	270.9	3.3	263.4	728.8	93.5	423.8	85.0	15.4	74.6	8.5	46.3	9.0	24.7	20.0	2.9	7.7	3.8
2606183-31	C-P	112.0	706.3	362.5	591.0	8.0	186.0	556.0	78.7	407.3	103.7	31.0	112.6	15.1	91.7	19.2	57.1	55.4	10.0	12.1	7.9
2606183-32	C-P	206.0	668.7	801.2	325.6	3.9	353.4	932.9	114.5	503.3	100.3	17.3	89.1	10.4	58.0	11.2	30.0	23.9	3.6	8.9	5.5
2606183-33	C-P	77.0	635.4	392.1	242.6	3.1	145.6	395.0	51.1	239.4	53.4	15.4	52.2	6.6	39.1	8.0	22.9	19.9	3.6	24.1	16.0
2606183-36	C-P	93.0	440.5	424.1	67.1	0.9	26.6	80.5	12.4	65.6	15.1	4.9	16.6	1.9	11.3	2.4	6.7	5.6	1.0	0.4	11.4
2606183-39	C-P	171.0	488.9	390.4	109.5	1.4	33.7	106.0	16.8	90.4	23.3	6.0	24.1	2.9	17.8	3.7	10.6	9.0	1.6	3.1	8.2
2606183-40	C-P	40.0	446.4	658.4	196.3	2.3	254.7	648.7	79.0	343.3	66.6	11.6	59.4	6.6	35.8	6.9	18.0	13.9	1.9	4.0	4.6
2606183-41	C-P	133.0	670.3	785.5	330.5	3.9	500.7	1250.0	138.0	578.4	105.5	18.2	95.5	10.7	59.0	11.4	31.1	24.8	3.7	12.1	5.2
2606183-42	C-P	18.0	430.5	371.2	99.6	1.2	12.0	44.4	8.5	53.9	17.4	5.2	20.8	2.7	16.7	3.5	9.4	7.4	1.3	0.7	11.2
2606183-43	C-P	17.0	358.7	575.9	185.7	2.3	205.9	498.0	59.7	279.9	55.5	9.4	54.4	6.0	33.6	6.6	18.3	14.3	2.6	12.0	11.3
2606183-44	C-P	22.0	410.1	394.5	157.8	2.2	89.5	237.2	32.6	158.6	33.2	15.0	33.5	4.0	23.9	5.1	15.2	14.6	3.0	16.4	14.1
2606183-45	C-P	192.0	396.9	502.1	292.8	3.5	195.7	543.4	77.6	382.5	79.5	23.4	74.7	8.6	49.8	9.8	27.3	23.0	4.1	14.9	6.2
2606183-46	C-P	56.0	475.3	434.0	167.0	2.2	211.0	460.0	54.0	241.0	45.5	13.5	42.5	4.9	28.1	5.6	15.7	14.0	2.5	9.3	20.1
2606183-47	C-P	47.0	249.5	732.5	81.0	0.9	152.0	339.0	43.0	199.0	37.9	9.7	31.2	3.2	15.9	2.8	7.3	5.5	0.9	3.3	2.5

2606183-51	C-P	92.0	513.4	447.0	289.6	3.7	372.9	832.7	97.8	433.1	74.9	20.9	67.3	7.9	46.4	9.5	27.2	24.7	4.4	21.6	7.4
2606183-53	C-P	232.0	244.6	809.2	62.5	0.6	183.8	372.9	44.5	206.8	36.8	9.2	30.2	2.8	13.2	2.2	5.1	3.7	0.6	14.9	2.0
2606183-55	C-P	109.0	914.8	498.7	345.9	4.0	673.3	1652.0	179.2	768.0	131.8	23.1	116.0	12.7	68.0	12.5	32.7	25.0	4.0	16.6	5.1
2606183-56	C-P	86.0	662.9	787.3	304.7	3.8	403.4	948.0	111.5	490.3	94.3	15.7	84.5	9.8	54.4	10.6	29.3	24.3	4.0	9.6	4.3
2606183-57	C-P	56.0	532.1	424.3	168.6	2.2	216.5	502.5	61.6	279.2	48.4	12.6	42.6	4.9	27.7	5.5	15.4	14.5	2.4	13.4	4.7
2606183-58	C-P	80.0	828.8	405.8	274.4	3.6	278.2	682.0	84.0	375.7	69.5	17.4	63.4	7.7	44.5	9.0	25.5	23.4	4.0	15.1	18.9
2606183-59	C-P	62.0	286.1	903.3	68.4	0.7	350.5	627.3	64.8	267.2	39.6	10.7	30.7	2.8	12.7	2.2	5.7	4.3	0.7	4.4	1.4
2606183-60	C-P	66.0	489.4	448.6	149.2	1.9	244.0	513.0	58.2	260.9	43.1	13.0	38.6	4.4	24.4	5.0	14.4	12.8	2.2	8.8	3.6
2606183-61	C-P	48.0	359.2	543.4	109.8	1.2	207.0	489.4	57.3	236.4	35.8	8.3	30.5	3.4	18.4	3.6	9.6	8.1	1.3	6.2	3.9
2606183-63	C-P	46.0	1023.0	318.0	311.3	3.7	404.0	888.0	111.9	545.0	97.0	11.9	98.5	10.7	58.2	11.3	29.3	22.4	3.7	17.5	15.3
2606183-67	C-P	53.0	305.8	610.2	54.9	0.6	302.5	435.7	43.6	178.4	27.0	8.2	22.9	2.1	9.9	1.8	4.6	3.8	0.7	7.8	4.9
2606183-68	C-P	48.0	1032.2	427.1	503.5	6.1	453.5	1156.0	177.0	884.0	172.1	23.1	153.8	18.1	100.4	19.1	49.6	36.2	5.4	10.6	3.8
2606183-69	C-P	28.0	297.6	526.7	64.3	0.7	116.6	266.8	31.9	147.6	25.3	8.3	23.3	2.3	11.5	2.2	5.6	4.5	0.8	6.0	3.4
2606183-73	C-P	87.0	534.6	390.5	110.8	1.4	62.7	176.9	25.3	124.4	24.9	8.4	24.3	2.9	17.1	3.5	10.1	9.3	1.7	2.3	18.3
2606183-74	C-P	67.0	302.5	622.0	106.7	1.2	211.1	450.2	52.8	231.8	38.6	9.9	33.3	3.4	18.0	3.3	9.3	8.1	1.4	12.4	4.0
2606183-76	C-P	131.0	718.2	642.7	351.1	4.1	324.6	856.2	110.2	521.4	106.2	15.8	96.2	11.6	65.2	12.5	32.8	24.0	3.4	7.3	3.7
2606183-77	C-P	61.0	450.9	426.1	216.7	2.8	139.8	391.0	54.5	275.0	56.1	12.5	54.5	6.6	37.2	7.5	21.0	17.5	3.0	13.4	10.9
2606183-78	C-P	42.0	375.6	569.8	178.2	2.2	216.4	497.7	58.3	264.8	47.7	8.3	47.7	5.3	29.7	6.1	17.1	14.5	2.7	10.5	6.0
2606183-79	C-P	70.0	1003.7	356.2	383.9	4.1	545.9	1105.0	143.0	718.2	145.1	14.0	132.4	14.6	77.8	14.4	36.0	23.8	4.0	20.3	10.6
2606183-80	C-P	64.0	628.9	428.6	275.2	3.5	326.2	808.4	100.3	459.1	88.1	20.7	83.5	9.3	51.2	9.8	26.4	23.0	4.0	15.4	5.5
2606183-81	C-P	83.0	509.5	640.8	207.4	2.6	238.0	606.9	73.5	318.4	61.7	11.2	54.4	6.1	34.5	6.8	19.8	16.5	2.6	6.8	3.4
2606183-82	C-P	41.0	272.4	654.5	66.4	0.7	256.1	510.2	56.2	234.8	40.7	9.7	31.6	2.9	13.1	2.3	5.6	4.3	0.7	4.6	2.1
2606183-83	C-P	12.0	382.0	538.5	267.1	3.3	241.6	625.0	80.1	389.0	88.7	12.4	80.3	9.3	52.1	10.1	26.3	20.0	3.0	8.6	7.5
2606183-84	C-P	40.0	535.5	432.6	162.9	2.1	237.1	565.2	65.8	279.6	53.6	11.3	46.9	5.4	29.8	5.9	16.4	13.6	2.3	10.9	4.5
2606183-85	C-P	75.0	370.1	544.8	66.0	0.7	413.4	605.6	54.1	200.0	32.2	11.2	26.9	2.5	12.2	2.2	5.6	4.7	0.9	13.9	3.7
2606183-86	C-P	75.0	1323.0	421.0	474.4	6.4	469.6	1064.0	161.1	729.0	153.3	23.6	132.4	15.6	87.2	17.0	47.0	41.9	7.2	12.6	3.8
2606183-88	C-P	35.0	178.7	610.0	153.0	1.7	258.1	575.0	67.8	312.0	65.0	26.5	53.5	5.4	26.7	4.9	13.2	11.8	2.2	30.3	10.8
2606183-89	C-P	90.0	528.8	607.0	203.3	2.8	352.4	750.0	75.9	309.6	59.6	11.9	54.5	6.1	34.5	7.0	20.1	18.8	3.2	10.6	5.0
2606183-91	C-P	45.0	500.8	615.0	293.2	3.7	192.2	540.0	72.4	354.2	88.9	15.3	82.2	9.5	52.8	10.2	28.4	24.2	3.8	9.4	6.5
2606183-92	C-P	88.0	713.9	268.7	475.6	6.1	986.0	1951.0	259.9	1046.0	187.6	13.7	159.4	18.2	99.8	18.7	48.7	37.0	5.6	40.4	24.2
2606183-93	C-P	49.0	491.9	552.5	244.0	3.2	313.5	710.5	77.5	334.6	68.2	10.8	63.4	7.3	42.0	8.3	23.6	20.6	3.4	10.9	6.0
2606183-95	C-P	12.0	646.8	378.3	140.3	2.0	6.3	25.2	5.0	34.7	15.6	7.0	21.8	3.2	21.8	4.8	14.4	13.2	2.3	6.2	14.1
2606183-97	C-P	44.0	277.5	603.5	66.5	0.7	246.8	471.7	48.5	203.8	34.7	8.6	28.2	2.6	12.7	2.1	5.5	4.4	0.7	5.3	3.3
2606183-98	C-P	64.0	995.0	394.9	480.0	6.3	505.0	1149.0	165.4	756.0	157.1	20.8	141.1	16.7	93.3	18.1	48.2	36.8	5.6	12.1	4.4
2606183-100	C-P	74.0	339.0	589.0	130.0	1.5	347.0	685.0	73.2	306.4	52.2	12.2	43.4	4.4	23.2	4.3	11.8	9.7	1.6	9.8	3.3
2606183-102	C-P	61.0	537.0	635.0	270.8	3.4	381.2	884.0	99.7	444.0	80.1	14.2	76.8	8.7	49.2	9.6	26.5	21.0	3.5	14.6	6.6
2606183-103	C-P	87.0	651.1	639.2	267.4	3.3	324.1	813.8	98.8	444.7	81.0	14.5	74.1	8.4	46.9	9.1	25.1	19.7	3.0	7.4	3.9
2606183-105	C-P	51.0	433.2	251.7	314.0	4.8	284.9	797.6	100.5	458.7	81.0	10.0	75.1	9.4	55.9	11.4	34.0	32.3	5.4	35.9	16.2
2606183-106	C-P	95.0	669.8	627.7	250.7	2.8	176.0	497.1	68.6	342.2	72.9	10.2	64.1	7.9	45.3	8.6	23.1	16.2	2.3	0.9	0.6
2606183-107	C-P	47.0	360.2	570.2	132.1	1.5	552.8	977.0	101.2	431.5	66.5	13.2	57.8	5.7	28.2	4.9	12.2	8.4	1.3	8.1	2.6
2606183-108	C-P	97.0	896.0	484.1	470.5	5.4	628.0	1334.0	200.8	956.0	172.1	25.4	147.3	17.0	90.7	16.7	43.7	31.7	5.0	20.0	7.1
2606183-111	C-P	16.0	227.1	574.1	56.6	0.6	24.7	88.9	14.5	85.7	18.2	3.7	17.7	1.9	10.2	1.9	5.1	3.8	0.7	3.0	1.8
2606183-112	C-P	24.9	253.9	472.8	153.0	1.7	93.0	286.9	44.8	255.3	55.3	11.2	50.8	5.4	28.2	5.1	13.2	10.4	1.8	4.7	3.2
2606183-113	C-P	22.0	224.5	659.6	69.7	0.7	350.6	576.8	58.8	248.9	37.7	8.8	30.9	2.8	13.2	2.3	5.9	4.5	0.8	4.2	1.5
2606183-115	C-P	33.0	179.5	654.6	59.5	0.6	109.8	259.9	32.5	155.0	27.4	9.1	22.5	2.2	10.6	1.9	4.9	3.8	0.7	14.3	3.2
2606183-117	C-P	40.0	445.4	418.2	57.9	0.8	19.0	58.0	9.1	50.0	12.5	4.2	13.4	1.6	9.3	2.0	5.5	4.5	0.9	3.0	13.2
2606183-118	C-P	83.0	576.9	679.4	302.9	3.6	233.2	654.1	91.2	453.4	99.3	17.6	88.5	10.1	55.4	10.5	28.4	22.2	3.3	7.9	5.4
2606183-119	C-P	19.0	245.6	463.6	52.5	0.5	280.0	406.0	37.0	148.2	20.7	8.2	19.2	1.7	8.6	1.5	4.1	3.5	0.7	31.7	13.8
2606183-120	C-P	42.0	367.5	488.0	570.7	8.4	11.6	78.3	21.8	188.2	75.6	12.9	100.1	14.4	92.4	20.0	59.5	54.6	9.5	6.6	3.9
2606183-122	C-P	135.0	1216.0	513.8	653.7	7.6	549.0	1326.0	228.5	1083.0	219.0	28.2	181.0	21.9	123.6	23.2	61.0	43.7	6.1	11.3	3.9
2606183-123	C-P	36.0	364.7	561.9	141.5	1.8	224.1	449.5	48.4	213.5	39.5	7.5	40.7	4.3	24.3	5.0	13.7	11.3	2.2	11.0	9.1
2606183-125	C-P	47.0	285.7	598.1	81.1	0.9	156.8	341.4	38.8	169.3	29.4	10.2	27.0	2.8	14.6	2.7	7.4	6.0	1.2	6.8	4.7
2606183-127	C-P	119.0	714.4	617.4	348.0	4.3	571.7	1128.0	146.1	603.0	105.4	17.5	92.5	10.7	59.6	11.8	32.4	26.0	4.1	13.8	5.6

2606183-128	C-P	29.0	874.6	305.0	483.3	6.0	161.1	617.2	104.3	570.3	131.9	19.4	121.9	15.0	86.7	16.9	45.8	37.7	6.5	10.3	6.5
2606183-129	C-P	137.0	398.9	731.3	70.2	0.7	496.8	785.7	76.2	283.1	41.4	9.2	31.5	2.8	13.1	2.2	5.8	4.2	0.7	4.2	1.3
2606183-1	G	153.0	334.6	126.5	728.4	6.3	779.7	2074.0	286.8	1432.0	301.3	22.4	263.4	30.2	154.8	25.2	58.3	31.0	3.8	43.2	36.8
2606183-11	G	311.0	173.9	966.2	307.4	3.0	586.3	1450.0	188.2	877.3	162.1	29.1	127.9	14.0	69.2	11.4	26.6	16.4	2.2	19.1	18.5
2606183-38	G	614.0	656.8	181.3	487.6	5.8	560.1	1213.0	128.8	557.6	113.8	15.1	118.1	15.2	90.0	17.7	46.1	33.9	4.8	47.1	27.4
2606183-54	G	49.0	250.9	260.0	1733.0	19.3	4969.0	9775.0	989.0	3602.0	531.8	39.2	432.3	51.6	294.0	55.7	152.7	113.3	15.4	17.8	10.3
2606183-90	G	95.0	199.6	299.4	668.9	6.4	956.0	2135.0	326.6	1444.0	323.8	6.3	255.6	28.8	146.9	24.5	58.4	33.3	4.1	19.3	12.7
2606183-94	G	86.0	193.1	456.4	898.1	9.4	988.0	2411.0	381.4	1722.0	368.7	26.4	303.4	35.9	192.5	33.4	81.6	50.3	6.2	30.1	39.3
2606183-101	G	2050.0	426.3	146.7	368.5	4.8	243.4	494.0	58.2	269.9	55.6	10.4	61.5	8.6	55.8	12.1	35.3	29.0	4.4	8.0	20.5
2606183-104	G	305.0	126.5	356.9	308.5	3.4	440.8	1154.0	140.7	604.2	98.3	17.6	86.6	10.3	58.3	10.8	28.0	18.5	2.5	1.6	2.7
2606183-116	G	107.0	311.9	149.1	303.0	3.7	505.0	970.0	104.7	410.0	67.8	6.2	62.6	7.8	47.1	9.8	27.9	23.4	3.6	11.3	8.5
2606183-126	G	155.0	1149.0	91.9	3393.0	53.9	1078.0	3224.0	641.9	3333.0	854.4	105.1	798.8	114.5	725.0	145.9	403.4	318.2	45.4	2.0	18.9

Anexo 6. Datos de las trazas de fisión de granos individuales de apatito

Muestra V-1									
Ngr - apatito	Ns	Área (μm^2)	ρ_s (A/cm 2)	^{238}U (ppm)	tot incert (ppm)	Edad TFA (Ma)	1 σ (Ma)	Cl (wt.%)	tot incert (wt.%)
2606181-1	127	4640	2737069	85.57	6.24	58.53	7.85	0.927	0.085
2606181-2	82	9820	835031	38.20	2.31	40.05	5.75	0.746	0.074
2606181-3	10	12800	78125	3.40	0.23	42.1	13.92	0.665	0.066
2606181-4	30	5510	544465	24.22	1.56	41.19	8.47	0.955	0.086
2606181-5	44	5860	750853	24.71	1.50	55.61	9.82	0.769	0.075
2606181-6	32	10100	316832	11.30	0.72	51.33	10.28	1.185	0.100
2606181-7	55	5790	949914	28.99	1.82	59.95	9.83	0.979	0.092
2606181-8	60	11370	527704	6.54	0.42	146.63	23.45	1.574	0.133
2606181-9	10	11840	84459	3.76	0.26	41.16	13.62	0.677	0.068
2606181-10	23	4570	503282	23.88	1.75	38.62	8.94	0.569	0.058
2606181-11	6	10120	59289	2.87	0.19	37.86	15.88	0.621	0.059
2606181-13	28	8220	340633	12.47	0.78	50.01	10.54	0.771	0.080
2606181-14	55	7390	744249	16.54	1.03	82.18	13.46	0.933	0.087
2606181-15	36	6910	520984	16.56	1.03	57.57	10.99	0.763	0.073
2606181-16	7	14580	48011	2.99	0.20	29.45	11.48	0.693	0.073
2606181-17	120	7340	1634877	58.65	3.53	51.03	6.6	0.884	0.085
2606181-18	8	21800	36697	1.97	0.13	34.15	12.51	0.567	0.058
2606181-19	46	5600	821429	40.26	2.39	37.39	6.48	0.861	0.082
2606181-20	21	7480	280749	13.06	0.81	39.39	9.34	0.807	0.080
2606181-21	88	7570	1162483	66.87	4.03	31.87	4.48	0.731	0.071
2606181-22	18	18780	95847	6.12	0.39	28.72	7.29	0.548	0.060
2606181-23	8	6010	133111	4.04	0.27	60.28	22.09	0.658	0.066
2606181-24	15	6190	242326	16.46	1.08	27	7.43	0.600	0.064
2606181-25	101	9460	1067653	37.29	2.30	52.41	7.13	0.929	0.087
2606181-26	30	10120	296443	10.30	0.63	52.68	10.78	1.002	0.092
2606181-27	39	10420	374280	23.91	1.55	28.71	5.34	0.633	0.069
2606181-28	25	7260	344353	11.46	0.72	54.99	12.14	0.904	0.084
2606181-29	9	6240	144231	7.10	0.45	37.23	12.89	0.656	0.068
2606181-30	16	6080	263158	14.44	0.90	33.41	8.91	0.803	0.080
2606181-31	28	7210	388350	24.88	1.55	28.63	6.03	0.613	0.063
2606181-33	54	8950	603352	25.52	1.53	43.31	7.1	0.768	0.075
2606181-35	17	6170	275527	13.23	0.82	38.17	9.91	0.572	0.065
2606181-36	25	6250	400000	16.69	1.03	43.9	9.68	0.995	0.095
2606181-37	26	13020	199693	4.21	0.28	86.6	18.91	1.346	0.122
2606181-38	17	7730	219922	8.35	0.74	48.23	12.89	0.654	0.068
2606181-39	56	11560	484429	22.23	1.39	39.93	6.51	0.700	0.071
2606181-40	16	7460	214477	8.45	0.52	46.48	12.39	0.827	0.088
2606181-41	27	7140	378151	17.11	1.06	40.5	8.65	0.593	0.057
2606181-42	48	9290	516685	26.92	1.66	35.18	6.03	0.626	0.063
2606181-43	19	6950	273381	13.01	0.81	38.51	9.53	0.759	0.078
2606181-45	60	7520	797872	39.27	2.41	37.24	5.91	0.841	0.081
2606181-46	16	7340	217984	6.85	0.49	58.23	15.67	0.716	0.071
2606181-47	12	7090	169252	9.79	0.62	31.7	9.62	0.535	0.056
2606181-48	62	7730	802070	29.25	1.85	50.21	7.92	1.216	0.110
2606181-49	12	7470	160643	4.81	0.31	61.1	18.56	0.904	0.086

2606181-50	45	7000	642857	27.14	1.66	43.39	7.61	0.542	0.062
2606181-51	85	7060	1203966	65.26	3.98	33.82	4.81	0.473	0.051
2606181-52	27	7470	361446	14.30	0.98	46.29	9.98	0.618	0.062
2606181-53	20	9300	215054	7.62	0.48	51.67	12.52	0.430	0.051
2606181-54	37	9570	386625	14.17	0.87	49.96	9.42	0.691	0.066
2606181-55	42	6510	645161	32.01	1.93	36.94	6.63	0.994	0.092
2606181-57	39	7470	522088	27.96	1.76	34.23	6.35	0.655	0.063
2606181-58	36	8770	410490	16.73	1.04	44.94	8.58	0.803	0.078
2606181-59	17	7490	226969	14.10	1.00	29.52	7.73	0.706	0.074
2606181-60	30	7830	383142	21.91	1.34	32.06	6.56	0.672	0.064
2606181-61	63	9560	658996	29.78	1.86	40.55	6.35	0.485	0.052
2606181-62	35	9420	371550	12.29	0.79	55.33	10.71	0.660	0.067
2606181-63	11	7560	145503	7.64	0.51	34.91	11.05	0.475	0.055
2606181-64	37	8800	420455	17.58	1.14	43.81	8.31	0.489	0.055
2606181-65	59	8630	683662	25.39	1.59	49.3	7.9	0.786	0.085
2606181-66	116	4850	2391753	108.63	6.64	40.34	5.28	0.447	0.051
2606181-67	39	11000	354545	11.91	0.74	54.49	10.09	0.568	0.062
2606181-68	8	12280	65147	2.24	0.16	53.24	19.55	0.504	0.053
2606181-69	58	7460	777480	31.45	1.96	45.28	7.29	0.625	0.065
2606181-70	25	9460	264271	11.59	0.73	41.77	9.22	0.565	0.056
2606181-71	209	4750	4400000	176.75	10.53	45.59	5.22	0.805	0.076
2606181-72	248	7480	3315508	144.99	8.92	41.89	4.7	0.795	0.079
2606181-73	53	8960	591518	19.35	1.20	55.94	9.28	0.775	0.076
2606181-74	80	7670	1043025	38.23	2.69	49.95	7.45	0.731	0.070
2606181-75	10	10000	100000	2.83	0.19	64.62	21.36	0.504	0.059
2606181-76	263	9520	2762605	131.26	8.07	38.57	4.29	0.570	0.058
2606181-77	105	11350	925110	41.57	2.52	40.77	5.47	0.467	0.049
2606181-78	104	8280	1256039	58.47	4.34	39.36	5.55	0.704	0.074
2606181-79	13	5630	230906	6.17	0.39	68.42	20.03	0.618	0.062
2606181-80	23	8670	265283	10.23	0.63	47.49	10.83	0.520	0.053
2606181-81	29	7280	398352	17.98	1.11	40.59	8.43	0.561	0.060
2606181-82	170	6960	2442529	113.18	6.96	39.54	4.75	0.527	0.055
2606181-83	25	5930	421585	17.30	1.06	44.64	9.83	0.740	0.069
2606181-84	12	24700	48583	1.95	0.14	45.63	13.94	0.536	0.055
2606181-85	22	11530	190807	5.78	0.49	60.39	14.47	0.826	0.077
2606181-86	10	11800	84746	3.50	0.23	44.35	14.65	0.460	0.050
2606181-87	8	19300	41451	2.29	0.15	33.18	12.15	0.410	0.044
2606181-88	120	4060	2955665	151.44	9.06	35.77	4.62	0.724	0.071
2606181-89	95	8510	1116334	58.63	3.60	34.9	4.82	0.752	0.078
2606181-91	20	8970	222965	11.11	0.70	36.78	8.92	0.398	0.046
2606181-92	53	14650	361775	20.38	1.24	32.55	5.38	0.746	0.075
2606181-93	42	6620	634441	29.61	1.98	39.26	7.14	0.522	0.060
2606181-94	54	8010	674157	32.22	1.97	38.34	6.31	0.711	0.071
2606181-95	49	11060	443038	23.96	1.45	33.9	5.76	0.617	0.063
2606181-96	35	11710	298890	17.63	1.09	31.09	5.99	0.407	0.044

Muestra RN-3

Ngr - apatito	Ns	Área (μm^2)	ρ_s (A/cm ²)	²³⁸ U (ppm)	tot incert (ppm)	Edad TFA (Ma)	1 σ (Ma)	CI (wt.%)	tot incert (wt.%)
2606183-1	80	9360	854701	36.52	2.25	43.09	6.47	0.809	0.081
2606183-2	75	9130	821468	23.03	2.37	65.56	11.39	0.240	0.034
2606183-3	23	8190	280830	10.57	0.77	48.9	11.47	0.174	0.029
2606183-4	21	9780	214724	6.64	0.43	59.47	14.33	0.281	0.038
2606183-5	17	7000	242857	6.96	0.45	64.14	16.88	0.302	0.042
2606183-6	38	6800	558824	33.61	2.32	30.64	5.92	0.232	0.033
2606183-7	17	6620	256798	9.76	0.80	48.43	12.97	0.293	0.040
2606183-8	18	10460	172084	7.64	0.48	41.48	10.63	0.147	0.023
2606183-9	34	8900	382022	16.63	1.13	42.3	8.49	0.274	0.034
2606183-10	18	16320	110294	6.07	0.44	33.48	8.67	0.136	0.025
2606183-11	41	10140	404339	18.38	1.12	40.51	7.51	0.694	0.066
2606183-12	14	11340	123457	3.98	0.26	57.05	16.33	0.207	0.029
2606183-13	24	6230	385233	14.88	1.17	47.65	11.08	0.308	0.041
2606183-14	11	8270	133011	7.53	0.48	32.55	10.36	0.306	0.040
2606183-15	14	13620	102790	4.88	0.32	38.8	11.11	0.292	0.037
2606183-16	14	8800	159091	5.09	0.33	57.49	16.45	0.282	0.039
2606183-17	8	7300	109589	4.89	0.32	41.27	15.19	0.323	0.042
2606183-18	11	6800	161765	6.85	0.66	43.48	14.18	0.365	0.044
2606183-19	17	5910	287648	13.66	0.85	38.79	10.18	0.187	0.031
2606183-21	19	6020	315615	16.67	1.00	34.88	8.72	0.336	0.040
2606183-23	15	5970	251256	8.10	0.60	57.05	15.97	0.364	0.048
2606183-24	17	9850	172589	5.11	0.33	62.1	16.34	0.200	0.030
2606183-25	13	12560	103503	3.52	0.25	54.09	16.07	0.284	0.041
2606183-26	45	5990	751252	42.28	2.79	32.74	5.93	0.683	0.070
2606183-27	24	6630	361991	22.46	1.58	29.71	6.83	0.417	0.046
2606183-28	8	8520	93897	3.17	0.22	54.49	20.1	0.405	0.051
2606183-29	12	8880	135135	6.03	0.42	41.27	12.68	0.342	0.050
2606183-30	13	12300	105691	3.74	0.25	52	15.39	0.285	0.038
2606183-31	14	5560	251799	7.86	0.56	58.91	16.95	0.502	0.063
2606183-32	10	12820	78003	5.47	0.65	26.29	9.12	0.317	0.043
2606183-33	17	4090	415648	15.85	1.06	48.27	12.73	0.548	0.064
2606183-34	36	4940	728745	30.93	1.89	43.38	8.43	0.904	0.089
2606183-35	20	5980	334448	8.82	0.61	69.68	17.21	1.312	0.118
2606183-36	10	5810	172117	11.30	0.76	28.08	9.34	0.718	0.077
2606183-37	47	6730	698366	28.16	1.71	45.65	8.06	0.964	0.093
2606183-38	28	5720	489510	27.17	1.69	33.2	7.11	0.882	0.085
2606183-40	6	7000	85714	4.54	0.31	34.79	14.66	0.373	0.049
2606183-41	10	9300	107527	5.16	0.32	38.38	12.74	0.264	0.035
2606183-42	27	10680	252809	11.13	0.86	41.83	9.28	0.251	0.041
2606183-43	14	4800	291667	11.17	0.76	48.06	13.79	0.288	0.042
2606183-44	14	6140	228013	13.95	1.25	30.13	8.82	0.389	0.049
2606183-45	7	4820	145228	6.18	0.41	43.27	16.95	0.564	0.062
2606183-46	32	4560	701754	19.95	1.34	64.66	13.25	0.523	0.061
2606183-47	6	15650	38339	2.48	0.22	28.5	12.12	0.272	0.039
2606183-48	8	8590	93132	3.98	0.26	43.09	15.86	0.194	0.029
2606183-49	28	5130	545809	40.20	2.47	25.03	5.35	0.597	0.065
2606183-51	10	5730	174520	7.36	0.48	43.66	14.51	0.646	0.068

2606183-52	33	5850	564103	27.37	1.68	37.96	7.62	1.210	0.112
2606183-53	6	11920	50336	2.03	0.15	45.65	19.28	0.590	0.065
2606183-54	15	6660	225225	10.24	0.64	40.51	11.23	0.430	0.056
2606183-55	5	5620	88968	5.03	0.35	32.59	14.97	0.712	0.074
2606183-56	6	6350	94488	4.23	0.35	41.14	17.44	0.592	0.072
2606183-57	10	6420	155763	4.69	0.31	61.07	20.31	0.346	0.047
2606183-58	15	5670	264550	18.74	1.19	26.03	7.22	0.452	0.057
2606183-59	5	15760	31726	1.41	0.10	41.43	19.05	0.451	0.054
2606183-60	12	12700	94488	3.58	0.28	48.58	15.03	0.644	0.075
2606183-61	5	6840	73099	3.90	0.27	34.53	15.86	0.539	0.066
2606183-62	75	4890	1533742	82.28	5.17	34.35	5.27	0.405	0.048
2606183-64	40	5060	790514	40.12	2.56	36.3	6.82	1.701	0.144
2606183-66	16	5560	287770	17.52	1.13	30.27	8.17	0.553	0.066
2606183-67	15	9520	157563	4.83	0.32	59.99	16.68	0.632	0.066
2606183-68	6	9360	64103	3.75	0.25	31.5	13.27	0.307	0.042
2606183-69	5	6490	77042	3.38	0.21	41.97	19.24	0.203	0.032
2606183-70	40	7730	517464	30.89	1.91	30.87	5.78	0.973	0.088
2606183-71	43	6570	654490	45.34	2.81	26.61	4.86	1.161	0.099
2606183-72	23	6710	342772	19.15	1.34	32.98	7.71	0.422	0.050
2606183-73	18	7980	225564	18.19	1.17	22.87	5.87	0.381	0.047
2606183-74	8	6710	119225	3.94	0.26	55.66	20.5	0.397	0.047
2606183-76	8	7920	101010	3.71	0.30	50.1	18.6	0.261	0.031
2606183-77	14	6430	217729	10.80	0.76	37.14	10.67	0.551	0.059
2606183-78	20	9810	203874	5.96	0.37	62.89	15.42	0.255	0.037
2606183-79	13	9450	137566	10.56	0.98	24.02	7.28	0.394	0.045
2606183-80	5	5560	89928	5.50	0.36	30.14	13.83	0.504	0.060
2606183-81	9	11880	75758	3.42	0.23	40.79	14.24	0.184	0.027
2606183-83	13	8260	157385	7.47	0.50	38.81	11.49	0.158	0.023
2606183-84	17	15180	111989	4.49	0.29	45.91	12.08	0.136	0.021
2606183-85	8	12420	64412	3.71	0.24	32	11.77	0.595	0.065
2606183-87	30	6290	476948	28.49	1.77	30.85	6.43	0.506	0.053
2606183-88	13	6230	208668	10.72	0.73	35.86	10.63	0.300	0.042
2606183-89	5	6180	80906	4.91	0.33	30.37	13.94	0.478	0.057
2606183-90	12	6100	196721	12.64	0.77	28.69	8.76	0.854	0.078
2606183-91	6	7700	77922	6.41	0.42	22.42	9.44	0.216	0.031
2606183-92	52	6790	765832	24.02	1.48	58.63	10.03	0.512	0.052
2606183-93	9	7000	128571	5.96	0.42	39.73	13.9	0.183	0.027
2606183-94	30	4950	606061	39.04	2.39	28.62	5.96	0.465	0.048
2606183-95	15	4700	319149	14.01	0.97	41.95	11.69	0.414	0.049

Muestra LS-2

Ngr - apatito	Ns	Área (μm^2)	ρ_s (A/cm^2)	^{238}U (ppm)	tot incert (ppm)	Edad TFA (Ma)	1σ (Ma)	Cl (wt.%)	tot incert (wt.%)
2506182-2	12	4600	260870	21.23	1.34	22.32	6.82	0.534	0.058
2506182-3	7	4450	157303	8.90	0.57	32.08	12.54	0.596	0.066
2506182-4	8	4510	177384	20.55	1.28	15.69	5.76	0.433	0.053
2506182-5	115	7240	1588398	114.78	7.15	25.13	3.42	0.229	0.029
2506182-7	16	10060	159046	14.11	0.88	20.48	5.51	0.622	0.066
2506182-8	8	6620	120846	15.22	0.92	14.43	5.29	0.713	0.078
2506182-9	32	10000	320000	29.02	2.30	20.04	4.18	0.901	0.091

2506182-10	18	10200	176471	16.40	1.25	19.55	5.07	0.691	0.075
2506182-11	6	4000	150000	6.57	0.42	41.42	17.41	0.530	0.058
2506182-12	12	4050	296296	50.92	3.18	10.58	3.23	0.574	0.068
2506182-13	21	5630	373002	44.33	2.74	15.29	3.66	0.471	0.055
2506182-14	5	9870	50659	2.28	0.15	40.31	18.48	0.779	0.074
2506182-15	5	19060	26233	1.98	0.13	24.07	11.03	0.736	0.070
2506182-16	30	5000	600000	52.52	3.30	20.76	4.31	0.448	0.049
2506182-17	18	4630	388769	41.56	2.59	17	4.35	0.483	0.055
2506182-18	12	18000	66667	7.90	0.49	15.34	4.68	0.645	0.066
2506182-19	8	14440	55402	2.38	0.16	42.22	15.54	0.832	0.082
2506182-20	9	11640	77320	4.01	0.27	34.99	12.2	0.738	0.070
2506182-21	11	5100	215686	23.26	1.43	16.85	5.34	0.451	0.053
2506182-22	83	4920	1686992	147.43	8.92	20.79	3.06	0.435	0.051
2506182-23	9	4490	200445	13.02	0.78	27.96	9.71	0.816	0.078
2506182-24	14	8080	173267	29.00	1.78	10.86	3.09	0.440	0.052
2506182-25	16	7380	216802	17.28	1.05	22.79	6.12	0.863	0.080
2506182-26	17	6750	251852	32.86	2.00	13.93	3.64	0.439	0.053
2506182-27	25	7770	321750	27.84	1.71	21	4.68	0.215	0.027
2506182-29	24	5700	421053	45.19	3.11	16.93	3.87	0.514	0.056
2506182-30	25	4140	603865	57.53	3.61	19.07	4.26	0.397	0.044
2506182-31	24	5470	438757	33.59	2.03	23.73	5.37	0.816	0.082
2506182-32	17	5580	304659	32.77	1.99	16.9	4.42	0.467	0.050
2506182-33	21	5330	393996	36.74	2.29	19.49	4.67	0.468	0.054
2506182-34	9	6280	143312	12.82	0.89	20.31	7.09	0.817	0.084
2506182-35	15	8380	178998	12.24	0.74	26.56	7.33	1.475	0.132
2506182-36	67	6600	1015152	66.84	3.97	27.58	4.3	0.386	0.046
2506182-37	16	4200	380952	26.84	1.64	25.78	6.92	0.529	0.060
2506182-38	8	4130	193705	9.44	0.58	37.23	13.66	0.749	0.077
2506182-39	25	5540	451264	41.92	2.53	19.56	4.35	0.563	0.059
2506182-40	6	5120	117188	18.41	1.15	11.57	4.86	0.436	0.055
2506182-41	63	6510	967742	89.93	5.40	19.55	3.11	0.498	0.055
2506182-42	30	5260	570342	39.49	2.59	26.23	5.47	0.343	0.043
2506182-44	8	15320	52219	9.11	0.57	10.42	3.83	0.399	0.043

Note: N_s is the number of spontaneous fission tracks registered within the area A (μm^2); ρ_s is the spontaneous track density (number of tracks expressed per 1 cm^2); U-238 represents the uranium-238 concentration in ppm measured by LA-ICP-MS (normalized using ^{43}Ca as an internal standard and taking an average CaO of 55 wt.% for F-apatites and 53 wt.% for Cl-rich apatites); total uncert is the total uncertainty for U-238, including the analytical error from LA-ICP-MS measurements and an error generated by the CaO variation (55 ± 2 wt.% and 53 ± 2 wt.%); AFT age is the apatite fission-track age in Ma; 1-SE is the 1σ -error in Ma; total uncertainty for Cl measurements includes the analytical error derived from LA-ICP-MS measurement and an error generated by the common variation of Cl in Durango F-apatite of 0.43 ± 0.03 wt.% (primary standard for Cl measurements).

Anexo 7. Mediciones de las longitudes de trazas de fisión en apatito

Muestra V-1			
No. de traza	Grano de apatito	Longitud (μm)	Cl (wt.%)
1	2606181-1	14.38	0.927
2	2606181-1	14.52	0.927
3	2606181-1	13.51	0.927
4	2606181-1	12.71	0.927
5	2606181-1	14.58	0.927
6	2606181-1	14.13	0.927
7	2606181-7	12.89	0.979
8	2606181-17	15.48	0.884
9	2606181-17	13.47	0.884
10	2606181-17	14.50	0.884
11	2606181-17	14.28	0.884
12	2606181-17	11.23	0.884
13	2606181-17	13.40	0.884
14	2606181-21	13.02	0.731
15	2606181-25	13.03	0.929
16	2606181-25	12.96	0.929
17	2606181-25	13.35	0.929
18	2606181-25	10.60	0.929
19	2606181-51	12.83	0.473
20	2606181-51	11.39	0.473
21	2606181-58	13.75	0.803
22	2606181-66	11.76	0.447
23	2606181-66	13.21	0.447
24	2606181-66	10.23	0.447
25	2606181-67	12.35	0.568
26	2606181-72	14.49	0.795
27	2606181-72	14.51	0.795
28	2606181-72	13.56	0.795
29	2606181-76	12.46	0.570
30	2606181-76	13.18	0.570
31	2606181-76	13.03	0.570
32	2606181-76	12.73	0.570
33	2606181-76	9.03	0.570
34	2606181-76	15.21	0.570
35	2606181-76	12.94	0.570
36	2606181-82	13.60	0.527
37	2606181-82	11.77	0.527
38	2606181-82	13.59	0.527
39	2606181-82	13.57	0.527

40	2606181-95	13.88	0.617
41	2606181-1	11.47	0.927
42	2606181-1	12.50	0.927
43	2606181-1	13.01	0.927
44	2606181-10	14.29	0.569
45	2606181-10	13.23	0.569
46	2606181-10	13.02	0.933
47	2606181-21	12.37	0.731
48	2606181-21	14.08	0.731
49	2606181-26	13.66	1.002
50	2606181-26	14.10	1.002
51	2606181-26	11.56	1.002
52	2606181-33	13.28	0.768
53	2606181-42	13.17	0.626
54	2606181-42	14.25	0.626
55	2606181-45	11.64	0.841
56	2606181-45	10.93	0.841
57	2606181-45	12.94	0.841
58	2606181-51	13.22	0.473
59	2606181-51	13.81	0.473
60	2606181-51	12.46	0.473
61	2606181-51	14.11	0.473
62	2606181-51	12.77	0.473
63	2606181-55	14.41	0.994
64	2606181-55	14.55	0.994
65	2606181-57	12.89	0.655
66	2606181-57	15.20	0.655
67	2606181-59	13.27	0.706
68	2606181-60	13.26	0.672
69	2606181-61	14.04	0.485
70	2606181-61	14.23	0.485
71	2606181-72	12.08	0.795
72	2606181-72	13.14	0.795
73	2606181-72	12.42	0.795
74	2606181-72	14.03	0.795
75	2606181-72	12.26	0.795
76	2606181-72	10.81	0.795
77	2606181-77	12.81	0.467
78	2606181-77	13.73	0.467
79	2606181-77	13.10	0.467
80	2606181-82	11.97	0.527
81	2606181-82	12.34	0.527
82	2606181-82	9.88	0.527

83	2606181-82	14.56	0.527
84	2606181-83	14.40	0.740
85	2606181-86	15.01	0.460

Muestra RN-3

No de traza	Grano muestra V-1	Longitud (μm)	Cl (wt.%)
1	2606183-2	15.26	0.240
2	2606183-6	13.57	0.232
3	2606183-6	14.55	0.232
4	2606183-11	14.68	0.694
5	2606183-11	12.77	0.694
6	2606183-13	14.01	0.308
7	2606183-13	10.62	0.308
8	2606183-26	11.74	0.683
9	2606183-26	15.28	0.683
10	2606183-26	13.79	0.683
11	2606183-26	13.30	0.683
12	2606183-26	11.65	0.683
13	2606183-26	9.56	0.683
14	2606183-27	12.63	0.417
15	2606183-27	13.48	0.417
16	2606183-27	13.35	0.417
17	2606183-27	13.83	0.417
18	2606183-32	13.52	0.317
19	2606183-33	12.38	0.548
20	2606183-34	15.95	0.904
21	2606183-34	12.88	0.904
22	2606183-34	14.64	0.904
23	2606183-34	13.20	0.904
24	2606183-35	13.35	1.312
25	2606183-35	11.03	1.312
26	2606183-37	11.21	0.964
27	2606183-38	14.17	0.882
28	2606183-51	15.40	0.646
29	2606183-61	11.88	0.539
30	2606183-87	14.50	0.506
31	2606183-92	12.93	0.512
32	2606183-53	14.68	0.590
33	2606183-49	11.94	0.597
34	2606183-49	11.60	0.597
35	2606183-49	13.00	0.597
36	2606183-54	13.29	0.430
37	2606183-58	11.21	0.452

38	2606183-58	14.11	0.452
39	2606183-73	13.20	0.381
40	2606183-73	12.74	0.381
41	2606183-73	13.62	0.381
42	2606183-3	14.75	0.174
43	2606183-3	13.91	0.174
44	2606183-84	14.30	0.136
45	2606183-84	13.18	0.136
46	2606183-10	13.04	0.136

Note: Only TINT-type confined tracks

Anexo 8. Datos de las muestras para el análisis de escalamiento multidimensional (MDS)

No. MDS	Unidad	Clave	Tipo de roca	Referencia
1	Abanico potosino	CH6-01	Arenisca	Barboza-Gudiño et al. (2010)
2	Abanico potosino	RC06-31	Arenisca	Barboza-Gudiño et al. (2010)
3	Fm. El Alamar	LB06-1	Arenisca	Barboza-Gudiño et al. (2010)
4	Fm. El Alamar	SM06-01	Arenisca	Barboza-Gudiño et al. (2010)
5	Fm. El Alamar	SM07-6	Arenisca	Barboza-Gudiño et al. (2014)
6	Complejo El Chilar	T11-01	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
7	Complejo El Chilar	T11-03	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
8	Complejo El Chilar	T11-06	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
9	Complejo El Chilar	T11-09	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
11	Complejo El Chilar	T11-11	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
15	Complejo Arteaga	GRO-12	Meta-arenisca	Talavera-Mendoza et al. (2007)
16	Fm. Zacatecas	Z12-04	Cuarzoarenita	Ortega-Flores et al. (2016)
17	Fm. Zacatecas	Z12-05	Cuarzoarenita	Ortega-Flores et al. (2016)
18	Fm. Zacatecas	Z12-06	Cuarzoarenita	Ortega-Flores et al. (2016)
19	Complejo Arteaga	Ar3	Cuarzoarenita	Ortega-Flores et al. (2016)
20	Complejo Arteaga	23	Cuarzoarenita	Ortega-Flores et al. (2016)
21	Fm. Matzitzi	ABM-02	Arenisca	Bedoya-Mejía (2018)
22	Fm. Matzitzi	ABM-05	Arenisca	Bedoya-Mejía (2018)
23	Fm. Tianguistengo	RMO-01	Arenisca	Bedoya-Mejía (2018)
24	Fm. Tianguistengo	RMO-04	Arenisca	Bedoya-Mejía (2018)
25	Ensamble Santo Tomás-Tejupilco	VB5-12-5	Meta-arenisca	Martini et al. (2014)
26	Ensamble Santo Tomás-Tejupilco	VB5-12-6	Meta-arenisca	Martini et al. (2014)
27	Ensamble Ojo de Agua	VB11-5	Meta-arenisca	Martini et al. (2014)
28	Ensamble Ojo de Agua	VB11-6	Meta-arenisca	Martini et al. (2014)
29	Ensamble Santo Tomás-Tejupilco	VB14-5-11(4)	Meta-arenisca	Martini et al. (2014)
30	Fm. Arperos	SL-45	Arenisca	Martini et al. (2011)
31	Fm. Arperos	SL-67	Arenisca	Martini et al. (2011)
32	Fm. Arperos	SL-70	Arenisca	Martini et al. (2011)
33	Fm. San Juan de la Rosa	T11-04	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
34	Fm. San Juan de la Rosa	T11-07	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
35	Fm. Peña Azul	T11-05	Debris flow	Ortega-Flores et al. (2014)
36	Fm. Las Trancas	O8LT02	Arenisca	Ortega-Flores et al. (2014)
38	Fm. Sierra de Cuarzos	P83a	Arenisca	Palacios-García and Martini (2014)
39	Fm. Sierra de Cuarzos	SQB-167	Arenisca	Palacios-García and Martini (2014)
40	Fm. Sierra de Cuarzos	SQB-168	Arenisca	Palacios-García and Martini (2014)
41	Fm. Sierra de Cuarzos	SQB-8	Arenisca	Palacios-García and Martini (2014)
42	Fm. Pelones	SQT-5	Arenisca	Palacios-García and Martini (2014)
43	Fm. Sierra de Cuarzos	SQT-8	Arenisca	Palacios-García and Martini (2014)
44	Sucesión Taxco-Taxco Viejo	GRO-1	Arenisca	Talavera-Mendoza et al. (2007)
45	Terreno Arcelia	GRO-7	Arenisca	Talavera-Mendoza et al. (2007)
46	Terreno Arcelia	GRO-8	Arenisca	Talavera-Mendoza et al. (2007)
47	Fm. San Lucas	GRO-9	Arenisca	Talavera-Mendoza et al. (2007)
48	Sucesión Miahuatpec	GRO-6	Arenisca	Talavera-Mendoza et al. (2007)
50	Fm. Arperos	M1a	Depósitos de Slump	Martini et al. (2012)
52	Fm. Esperanza	GTO-56	Arenisca	Martini et al. (2011)
53	Complejo vulcanosedimentario Las Pilas	Z12-09	Meta-arenisca	Ortega-Flores et al. (2016)
54	Fm. Chivillas	FCH-39	Arenisca	Mendoza-Rosales (2010)
55	Fm. Chivillas	FCH-40	Arenisca	Mendoza-Rosales (2010)
56	Fm. Zicapa	MIS055	Arenisca	Sierra Rojas and Molina Garza (2014)
57	Fm. Zicapa	O118-3c	Arenisca	Sierra Rojas and Molina Garza (2014)
58	Fm. Atzompa	MIS164B	Arenisca	Sierra-Rojas et al. (2016)
59	Fm. Atzompa	MIS166	Arenisca	Sierra-Rojas et al. (2016)

60	Fm. Atzompa	MIS163B	Arenisca	Sierra-Rojas et al. (2016)
61	Fm. Tecomate (Acatlán)	TT-81	Metapsamita	Kirsch et al. (2012)
62	Fm. Tecomate (Acatlán)	TT-82	Metapelita	Kirsch et al. (2012)
63	Fm. Tecomate (Acatlán)	TT612	Metapelita	Kirsch et al. (2012)
64	Fm. Santiago (Oaxaqueño)	Santiago	Arenisca	Gillis et al. (2005)
65	Fm. Ixtaltepec (Oaxaqueño)	Ixtaltepec	Arenisca	Gillis et al. (2005)
66	Unidad La Sepultura (CMC)	CB36	Metapelita	Weber et al. (2008)
67	Unidad La Sepultura (CMC)	CB33	Metapelita	Weber et al. (2008)
68	Unidad La Sepultura (CMC)	CB44	Cuarcita	Weber et al. (2008)
69	Unidad La Sepultura (CMC)	CB54	Meta-arenisca	Weber et al. (2008)
70	Macizo de Chiapas	CMP2	Migmatita (ortogneis)	Weber et al. (2007)
71	Unidad La Sepultura (CMC)	CB32	Metapelita	Weber et al. (2007)
72	Unidad Custeped (CMC)	CB45	Para-anfibolita	Weber et al. (2007)
73	Fm. Santa Rosa	CB55	Arenisca	Weber et al. (2006)
74	Fm. Santa Rosa	SR1	Arenisca	Weber et al. (2006)
75	Filita San Diego	Gt0417	Meta-arenisca	Torres-de León et al. (2012)
76	Complejo Las Ovejas	Ov142B	Meta-arenisca	Torres-de León et al. (2012)
	Orógeno Grenville/Sunsas	1200±100	Muestra sintética	Cawood et al. (2007)
	Complejo Oaxaqueño	1000±50	Muestra sintética	Solari et al. (2003)
	Orógeno Panafricano-Brasiliano	600±100	Muestra sintética	Cordani y Teixeira (2007)
	Arco Carbonífero-Pérmico	300±50	Muestra sintética	Ortega-Obregón et al. (2014)
	Arco Jurásico	170±20	Muestra sintética	Lawton y Molina-Garza (2014)
	Magmatismo Jurásico Superior-Cretácico Inferior	130±20	Muestra sintética	Sierra-Rojas y Molina-Garza (2014); Sierra-Rojas et al. (2016)

Nota: Las muestras sintéticas siguen una distribución normal.

Anexo 9. Descripción de muestras que se utilizaron para el análisis geoquímico de componentes principales (PCA)

Muestra	Unidad litológica	Tipo de Roca	Referencia
Oc1008	Complejo Oaxaqueño	Granulita moderadamente retrogradada con granate, feldespato, sillimanita. Se interpreta como una roca metasedimentaria de alto grado que experimentó fusión parcial adquiriendo una textura migmatítica	Solari et al. (2014)
Oc1019	Complejo Oaxaqueño	Migmatita bandeada y foliada totalmente retrogradada con todas las fases máficas originales convertidas a biotita roja y epidota. Protolito incierto que experimentó metamorfismo en facies de granulita y que fue totalmente retrogradada a facies de anfibolita	Solari et al. (2014)
Oc1012	Complejo Oaxaqueño	Granulita de dos piroxenos y hornblenda, se encuentra intrusionada por pegmatitas foliadas. Se interpreta un protolito máfico.	Solari et al. (2014)
Oc1009	Complejo Oaxaqueño	Melanosoma de la migmatita El Catrín de protolito máfico.	Solari et al. (2014)
Oc1005	Complejo Oaxaqueño	Granulita con granate que aflora cerca de la localidad tipo de las charnoquitas.	Solari et al. (2014)
Oc111	Complejo Oaxaqueño	Granulita con granates de tamaño >5mm y minerales máficos muy alterados. Es la muestra de más al norte, cerca del contacto con la Fm. Matzitzi y cerca de la zona de falla Caltepec.	Solari et al. (2014)
Oc1013	Complejo Oaxaqueño	Metasedimento en facies de granulita, caracterizado por abundante granate, biotita roja y grafito.	Solari et al. (2014)
Oc1020	Complejo Oaxaqueño	Pegmatita.	Interno LEI
Oc008	Complejo Oaxaqueño	Roca metamórfica de protolito máfico.	Interno LEI
Etla	Granito Etla	Granito	Interno LEI
Sosola	Riolita Sosola	Riolita	Interno LEI
ABM-02	Fm. Matzitzi	Arenisca	Bedoya Mejía, A. (2018)
ABM-05	Fm. Matzitzi	Arenisca	Bedoya Mejía, A. (2018)