



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

**Líneas guía para la identificación de sucesiones fluviales antes  
cartografiadas como Formación Matzitzi**

## **TESIS**

Que para optar por el grado de  
**Maestro en Ciencias de la Tierra**

**PRESENTA:**

**JONATHAN ABIMAEEL ANAYA GUARNEROS**

**TUTOR:**

DR. MICHELANGELO MARTINI  
Instituto de Geología, UNAM

**JURADO EVALUADOR:**

DR. LUIGI SOLARI (Centro de Geociencias, UNAM)  
DRA. CLAUDIA CRISTINA MENDOZA ROSALES (Facultad de Ingeniería, UNAM)  
DR. ROBERTO MALDONADO VILLANUEVA (Centro de Geociencias, UNAM)  
DR. AARON MARTIN (División de Ciencias aplicadas IPICYT)

*Ciudad Universitaria, CDMX, a noviembre de 2020*



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



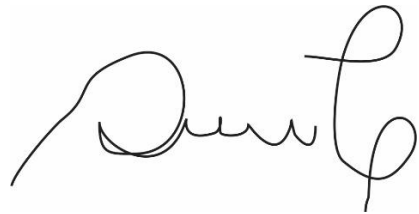
**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**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.

*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, las obras 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 'Jonathan', written in a cursive style.

***Jonathan Abimael Anaya Guarneros***

*Septiembre de 2020*

## Agradecimientos

A Miche por ser un gran tutor y una de las mejores personas que he conocido. No tengo palabras para expresar mi gratitud hacia él por todas las enseñanzas y todo su compromiso en la elaboración de este trabajo, que indudablemente se ha enriquecido con sus observaciones, correcciones y comentarios. Y a quién debo todos mis conocimientos y gusto por las rocas sedimentarias. Mil gracias.

Al Instituto de Geología y la UNAM por ser mi casa nuevamente por dos años y donde aprendí muchísimas cosas nuevas y conocí personas increíbles. A mis profesores de la maestría por sus enseñanzas y consejos.

A la Dra. Claudia Mendoza-Rosales por todas las observaciones y comentarios realizados en los exámenes tutorales y todas sus enseñanzas sedimentológicas desde la Facultad de Ingeniería ¡mil gracias Doctora! También, a las Dras. Elena Centeno-García y Pilar Navas-Parejo por sus recomendaciones y observaciones. Al Dr. Luigi Solari por su apoyo en los fechamientos U-Pb, sus comentarios y discusión de los afloramientos. Al Dr. Roberto Maldonado-Villanueva por sus muy acertadas observaciones petrológicas. Y al Dr. Aaron Martin por sus comentarios y sugerencias.

Al proyecto PAPIIT IN104018 bajo la dirección del Dr. Michelangelo Martini y al *GSA research grant* por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo. Al CONACYT por la beca otorgada durante mis estudios de maestría.

Quiero agradecer a Mildred por su apoyo en campo, en la realización del mapa geológico y por siempre estar dispuesta a ayudarme. A Scarlette por su apoyo en la cartografía. A Ismael por su gran ayuda en la molienda de muestras. A Rodrigo por darme hospedaje en las visitas a Juriquilla. A la Dra. Berlaine por su ayuda en la discusión de los afloramientos. A la comunidad de Los Reyes Metzontla por ser personas tan maravillosas y abrirme las puertas para estudiar sus rocas.

Al Dr. Carlos Ortega por su apoyo en los fechamientos U-Pb, a la M.C. Consuelo Macias por su apoyo en la separación de minerales pesados, al técnico Juanito por la tinción y preparación de láminas delgadas, al técnico Manuel por permitirme usar el Laboratorio de Molienda. A Mary, la Dra. María Colín y Araceli por su apoyo en todos los tramites.



Al Ing. Javier Arellano por permitirme ser su ayudante, donde aprendí mucho, por su amistad y confianza brindada en estos años.

A mis amigas las Quelilas: Claudia Martínez, Ana Lau Cacheux y Gesi de Anda por todos sus consejos, risas, buenos y malos momentos, son las mejores. No tengo palabras para expresar cuanto las amo. A Orlando por todas las aventuras vividas. A Esther Hernández por ser una de mis mejores amigas y a quién le debo su compañía en las clases, te quiero mucho Estheren. A mi Siljis, por todos esos bailes y su maravillosa amistad, no tienes idea de cuanto te quiero. A Néstor, mil gracias señora. A Memo Vera, Yasma y Ana Margarita por su amistad y compañía en las clases. A Miriam, Cynthia y Nicté por esos “5 minutos” de chisme diarios, gracias por su amistad, bailes y comidas. Al grupo de Microfacies, donde conocí grandes amigos. Y finalmente, al grupo de Geología de Campo por su notablemente contribución en la realización del mapa geológico. Y todos a quienes no he puesto aquí y que han contribuido en mayor o menor medida a que terminara este trabajo.

A mi familia por ser mi motor y siempre apoyarme. A mis papás Mayra e Ismael por su paciencia, comprensión y risas. A Merith por ser la mejor hermana de este mundo. Por ser tan hermosos conmigo, no tengo como agradecerles tanto... los amo. A mi Logan y Meche...

## Índice

|  |    |
|--|----|
| <b>Resumen</b> .....   | iv |
| <b>Abstract</b> .....  | vi |
| <b>1. Introducción</b> .....   | 1  |
| <b>2. Antecedentes</b> .....   | 5  |
| 2.1 La Formación Matzitzi .....  | 5  |
| 2.2 Sucesiones fluviales del Mesozoico sobreyacentes a la Formación Matzitzi ..... | 8  |
| 2.3 Posibles rocas fuentes de las sucesiones fluviales .....                       | 9  |
| 2.3.1 Complejo Oaxaqueño .....   | 9  |
| 2.3.2 Complejo Acatlán .....   | 11 |
| 2.3.3 Complejo Ayú .....   | 12 |
| 2.3.4 Arco Pérmico del Este de México .....  | 12 |
| 2.3.5 Provincia volcano-sedimentaria de Nazas .....                                | 13 |
| <b>3 Problemática y objetivos</b> .....  | 15 |
| 3.1 Planteamiento de problema .....  | 15 |
| 3.2 Hipótesis .....  | 15 |
| 3.3 Objetivo .....   | 16 |
| 3.4 Justificación .....  | 16 |
| 3.5 Área de estudio .....  | 17 |
| <b>4 Metodología</b> .....   | 18 |
| 4.1 Trabajo de campo .....   | 18 |
| 4.2 Análisis de forma de clastos .....   | 18 |
| 4.3 Petrografía de areniscas .....   | 19 |
| 4.4 Separación y petrografía de minerales pesados .....                            | 22 |
| 4.5 Geocronología U-Pb en circones detríticos .....                                | 23 |
| 4.5.1 Escalamiento multidimensional .....  | 23 |
| <b>5 Observaciones de campo</b> .....  | 25 |
| 5.1 Litofacies .....   | 25 |
| 5.1.1 Conglomerado soportado por los clastos y masivo .....                        | 26 |
| 5.1.2 Conglomerado soportado por los clastos con gradación inversa .....           | 26 |
| 5.1.3 Conglomerado soportado por la matriz y masivo .....                          | 26 |
| 5.1.4 Conglomerado con estratificación cruzada curvada a planar .....              | 28 |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 5.1.5     | Arenisca con estratificación cruzada curvada a planar-----                               | 28        |
| 5.1.6     | Arenisca con rizaduras-----  | 29        |
| 5.1.7     | Arenisca de relleno -----  | 29        |
| 5.1.8     | Lodolita y arenisca muy fina con laminación plano-paralela de régimen inferior ---       | 30        |
| 5.2       | Elementos arquitectónicos -----  | 30        |
| 5.2.1     | Elemento Depósitos de flujos gravitacionales (SG)-----                                   | 31        |
| 5.2.2     | Elemento Finos de la llanura de inundación (FF)-----                                     | 32        |
| 5.2.3     | Elemento Abanico de desborde (CS)-----   | 33        |
| 5.2.4     | Elemento Dique natural o <i>levee</i> (LV)-----  | 34        |
| 5.2.5     | Elemento Capas y formas de fondo de grava (GB)-----                                      | 34        |
| 5.2.6     | Elemento Canal (CH)-----   | 35        |
| 5.3       | Características sedimentológicas de las sucesiones fluviales en el área de estudio ----- | 37        |
| 5.3.1     | Conjuntos de la Formación Matzitzi -----   | 39        |
| 5.3.2     | Sistemas fluviales del Cretácico-----  | 43        |
| <b>6</b>  | <b>Análisis dimensional de clastos</b> -----   | <b>44</b> |
| <b>7</b>  | <b>Petrografía de areniscas</b> -----  | <b>46</b> |
| 7.1       | Conjunto 1 -----   | 46        |
| 7.1.1     | Elemento CH-----   | 46        |
| 7.1.2     | Elemento SG-----   | 51        |
| 7.2       | Conjunto 2 -----   | 54        |
| 7.3       | Sistemas fluviales del Cretácico -----   | 56        |
| <b>8</b>  | <b>Petrografía de minerales pesados</b> -----  | <b>58</b> |
| 8.1       | Conjunto 1 -----   | 59        |
| 8.1.1     | Elemento CH-----   | 59        |
| 8.1.2     | Elemento SG-----   | 60        |
| 8.2       | Conjunto 2 de la Formación Matzitzi-----   | 61        |
| 8.3       | Sucesiones fluviales del Cretácico -----   | 62        |
| <b>9</b>  | <b>Geocronología U-Pb en circones detríticos</b> -----                                   | <b>63</b> |
| 9.1       | Conjunto 1 -----   | 63        |
| 9.1.1     | Elemento CH-----   | 63        |
| 9.1.2     | Elemento SG-----   | 64        |
| 9.2       | Sucesiones fluviales del Cretácico -----   | 66        |
| <b>10</b> | <b>Discusión</b> -----   | <b>68</b> |

|                           |   |            |
|---------------------------|---|------------|
| 10.1                      | Ambiente de depósito -----  | 68         |
| 10.1.1                    | Conjunto 1 de la Formación Matzitzi -----   | 68         |
| 10.1.2                    | Conjunto 2 de la Formación Matzitzi -----   | 69         |
| 10.1.3                    | Sistemas fluviales del Cretácico-----   | 70         |
| 10.2                      | Procedencia -----   | 71         |
| 10.2.1                    | Conjunto 1 de la Formación Matzitzi -----   | 71         |
| 10.2.2                    | Conjunto 2 de la Formación Matzitzi -----   | 75         |
| 10.2.3                    | Sucesiones fluviales del Cretácico-----   | 78         |
| 10.3                      | Significado geológico del Conjunto 2 originalmente agrupado en la Formación Matzitzi      | 81         |
| 10.4                      | Líneas guía para la identificación de las sucesiones fluviales en el área de estudio----- | 84         |
| <b>Conclusiones</b> ----- |   | <b>86</b>  |
| <b>Bibliografía</b> ----- |   | <b>88</b>  |
| <b>Anexo 1</b> -----      |   | <b>97</b>  |
| <b>Anexo 2A</b> -----     |   | <b>100</b> |
| <b>Anexo 2B</b> -----     |   | <b>101</b> |
| <b>Anexo 2C.</b> -----    |   | <b>102</b> |
| <b>Anexo 3.</b> -----     |   | <b>103</b> |

## Resumen

La colisión y amalgamiento de las diferentes masas continentales que llevaron a la formación de Pangea ocurrió finales del Paleozoico. En el sur de México, este evento tiene su expresión en la zona de Falla de Caltepec, una estructura cortical que pone en contacto a las rocas pre-Mesozoicas del Complejo Oaxaqueño y el Complejo Acatlán. La sucesión fluvial más antigua depositada en la margen ecuatorial occidental de Pangea y que sobreyace a esta sutura es la Formación Matzitzi. La edad de la Formación Matzitzi ha sido constreñida por la gran abundancia de plantas fósiles del Pérmico Superior. Sin embargo, nuevas edades U-Pb del Jurásico Medio en circones detríticos contenidos en las areniscas de la Formación Matzitzi sugieren que esta sea posiblemente una mezcla de sucesiones fluviales distintas.

En efecto, los datos presentados en este trabajo demuestran que las rocas descritas previamente como Formación Matzitzi contienen dos sucesiones fluviales con características distintivas, pero la complejidad estructural debida a las múltiples reactivaciones de la zona de Falla de Caltepec dificulta el reconocimiento de una y otra. Para definir las diferencias entre las distintas sucesiones sedimentarias, se tomaron muestras de diferentes depósitos fluviales originalmente mapeados como Formación Matzitzi en el área entre Los Reyes Metzontla, Santiago Coatepec y la autopista Tehuacán-Oaxaca. Además, se recolectaron muestras de las unidades fluviales cretácicas expuesta en el área de estudio para una comparación. En este trabajo, se presenta una guía para reconocer las diferentes sucesiones fluviales basada en datos sedimentológicos, petrográficos y geocronológicos. Los datos obtenidos en este trabajo permitieron identificar dos conjuntos distintos dentro de la Formación Matzitzi, las cuales se distinguen por sus características litológicas, procedencia y edad. El Conjunto 1 se caracteriza por los elementos arquitectónicos típicos de un sistema fluvial anastomosado. Las facies conglomeráticas de este conjunto se caracterizan por contener clastos con forma compacta. La principal fuente de detrito son las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño, y en cantidad menor, las rocas metasedimentarias de bajo grado del Complejo Acatlán, y las rocas volcánicas félsicas del Arco Pérmico del Este de México. Se propone que este conjunto mantenga el nombre de Formación Matzitzi, debido a que contiene los afloramientos con base en los cuales esta unidad litoestratigráfica fue originalmente definida, así como la característica flora fósil del Pérmico. Los depósitos fluviales post-180 Ma del Conjunto 2 contienen elementos arquitectónicos típicos de un

abanico aluvial y un río trezado. La forma de los clastos en las facies conglomeráticas varía de compacta a en disco, en cuchillo y elongada. Las rocas del Conjunto 2 fueron alimentadas por las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño, rocas volcánicas del Jurásico Inferior y Medio de la Provincia volcano-sedimentaria de Nazas y, en menor medida, por las sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior o Cretácico Inferior circundantes al Golfo de México, el Arco Pérmico del Este de México y el Complejo Acatlán. Considerando que las rocas del Conjunto no se parecen en procedencia a las sucesiones de abanico aluvial del Cretácico Inferior expuestas en el área de estudio, se propone definir informalmente a esta sucesión fluvial como una nueva unidad estratigráfica llamada formación Agua de Mezquite.

Diferenciar entre las distintas sucesiones fluviales que afloran en el sur de México permitirá una correcta reconstrucción de los estilos fluviales asociados a las variaciones topográficas durante el amalgamiento y ruptura de Pangea, así como enriquecer los modelos paleogeográficos de México de finales del Paleozoico e inicios del Mesozoico.

## Abstract

At the end of Paleozoic time, the collision and amalgamation of continental masses led to the formation of Pangea. In southern Mexico, this process is expressed by the Caltepec Fault zone, a crustal structure that bounds pre-Mesozoic rocks of the Oaxacan and Acatlán complexes. The oldest fluvial succession deposited on the western margin of equatorial Pangea and above covering the Caltepec Fault zone is the Matzitzi Formation. The age of the Matzitzi Formation has been constrained by its Upper Permian flora. However, new Middle Jurassic ages on zircon grains from sandstone deposits mapped as the Matzitzi Formation suggest that this unit is probably a mix of different fluvial succession.

In effect, data shown in this work demonstrate that the rocks described previously as Matzitzi Formation contains two fluvial succession with distinctive features, but the structural complexity associated with the multiple reactivations of Caltepec Fault zone does not permit the correct recognition of these successions. In order to define the differences of these sedimentary successions, a representative sampling of the different fluvial deposits mapped as Matzitzi Formation has been performed in the area between Los Reyes Metzontla, Santiago Coatepec, and the Tehuacán-Oaxaca highway. In addition, sample from Cretaceous fluvial units exposed in this area has been collected for comparison. In this work, it is presented a guide for discrimination of the different fluvial successions exposed in the study area according to their sedimentological, petrographic, and geochronological characteristics. Data presented in this work permit dividing the Matzitzi Formation into two sets. Set 1 consists of architectonic elements typical of an anastomosing fluvial system. Clasts in conglomerate deposits are mainly compact. Set 1 is mostly sourced by high-grade rocks of the Oaxacan Complex and, minorly, by low-grade metasedimentary rocks of the Acatlán Complex, and felsic volcanic rocks of the Permian East Mexico Arc. It is proposed to keep the name of Matzitzi Formation for this set, because it contains the fluvial deposits on which this unit was firstly defined, as well as the characteristic Upper Paleozoic fossil flora. The post-180 Ma fluvial deposits of Set 2 contain the architectonic elements typical of alluvial fans and braided rivers. Clasts in conglomerate deposits vary from compact to platy, bladed, and elongated. Rocks of Set 2 are derived from high-grade rocks of the Oaxacan Complex, volcanic rocks of the Lower-Middle Jurassic Nazas volcanic-sedimentary Province and, minorly, from Upper Jurassic or Lower Cretaceous carbonate successions of the circum-Gulf

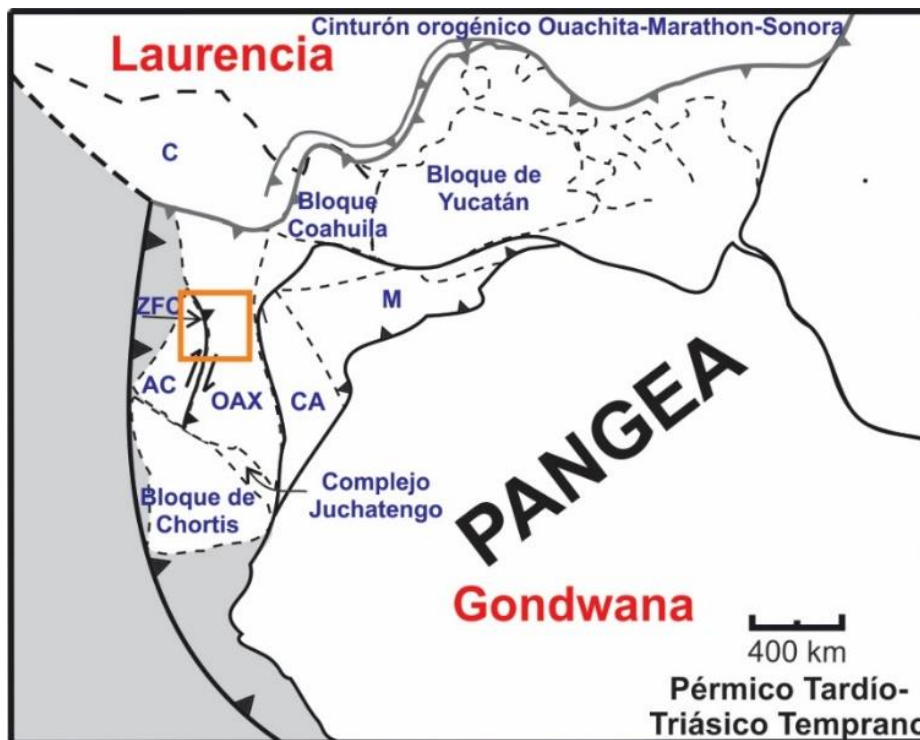
of Mexico area, the Permian East Mexico Arc, and the Acatlán Complex. Considering that Set 2 deposits show a different provenance relative to alluvial fan deposits of the Cretaceous units exposed in the study area, it is proposed here to define informally these fluvial deposits as a new stratigraphic unit called Agua de Mezquite formation.

The correct recognition of the different fluvial successions that outcrops in southern Mexico will permit to differentiate changes in the fluvial drainage associated with topographic variations during the amalgamation and the subsequent break-up of Pangea. In addition, the recognition of fluvial succession associated to different tectonic settings will improve the paleogeographic reconstructions during Late Paleozoic and Early Mesozoic time.



## 1. Introducción

Entre el Pérmico Tardío y el Triásico Temprano, la colisión y amalgamación de las diferentes masas continentales existentes en el planeta Tierra determinó la formación del supercontinente Pangea (Dickinson y Lawton, 2001). En el sur de México, dicho proceso de amalgamación está expresado por la zona de Falla de Caltepec, la cual representa la zona de sutura entre dos terrenos continentales que corresponden al microcontinente Oaxaquía y al Complejo Acatlán (Elías-Herrera *et al.*, 2005; Fig. 1.1). De acuerdo con los datos actualmente disponibles, la zona de Falla de Caltepec fue activa durante el Pérmico Temprano y Medio (~270-276 Ma), actuando como una estructura transpresiva dextral con orientación aproximada de N-S (Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 2002; Fig. 1.1).



**Figura 1.1** Reconstrucción paleogeográfica del Pérmico Tardío-Triásico Temprano de la margen ecuatorial occidental de Pangea, donde se muestra la ubicación de depósito de la Formación Matzitzi (cuadro anaranjado). Modificado de Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez (2002) y Martini y Ortega-Gutiérrez (2018). OAX: Oaxaquía, AC: Complejo Acatlán, CA: Andes colombianos, M: Bloque de Mérida, C: Terreno de Caborca y ZFC: zona de Falla de Caltepec.

El primer registro estratigráfico formado en el sur de México inmediatamente después de la amalgamación de Pangea es representado por los depósitos fluviales de la Formación Matzitzi (*e.g.* Centeno-García *et al.*, 2009). Dicha formación es de suma importancia debido

a que representa el registro estratigráfico de uno de los primeros sistemas fluviales desarrollado en la margen ecuatorial occidental de Pangea. Con base en el reconocimiento de asociaciones de facies, Centeno-García *et al.* (2009) han sugerido que la Formación Matzitzi representa el registro estratigráfico de un sistema fluvial anastomosado que drenó la parte ecuatorial de la Pangea occidental.

La edad de depósito de la Formación Matzitzi representa actualmente un problema abierto. Desde hace poco más de cuatro décadas, los estudios paleontológicos han indicado la presencia de una flora abundante del Paleozoico Superior. En particular, las identificaciones paleontológicas reportadas por Silva-Pineda (1970) indican una edad pensilvánica, mientras que revisiones posteriores de Weber (1987), Weber (1997) y Flores-Barragán *et al.* (2019) del mismo material y ejemplares nuevos sugieren más bien edades del Pérmico Inferior y Superior. Sin embargo, recientemente varios autores (Bedoya-Mejía, 2018; Macías-Romo *et al.*, 2019) han reportado edades U-Pb en circones de aproximadamente 240 Ma para un cuerpo ígneo felsítico interpretado por Centeno-García *et al.* (2009) como un nivel de toba intercalado con los depósitos fluviales de la Formación Matzitzi. Adicionalmente, algunos depósitos fluviales expuestos en las cercanías de Los Reyes Metzontla, los cuales originalmente habían sido mapeados como parte de la Formación Matzitzi (Centeno-García *et al.*, 2009), han revelado un contenido abundante en circones del Jurásico Inferior-Medio (Bedoya-Mejía, 2018). Por lo tanto, los datos paleontológicos y geocronológicos disponibles hasta el momento parecen sugerir que la Formación Matzitzi no es una unidad estratigráfica única, sino que incluye sucesiones fluviales del Pérmico, Triásico, Jurásico Medio o posteriores. Con base en esta premisa, el registro estratigráfico que tradicionalmente se ha agrupado dentro de la Formación Matzitzi no debería ser considerado como una unidad estratigráfica única, sino como un conjunto de formaciones diferentes que representan los registros fluviales desarrollados en diferentes tiempos y bajo diferentes contextos tectónosedimentarios, como son la fase final de ensamble de la Pangea occidental en el Pérmico y el inicio de la fragmentación de este mismo supercontinente desde el Triásico (Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018). Redefinir la estratigrafía de los depósitos fluviales originalmente incluidos en la Formación Matzitzi es una tarea fundamental hoy en día, porque permitiría:

- 1) reconstruir con más precisión los patrones de drenaje fluvial durante el Pérmico, el Triásico y el Jurásico y, por ende, determinar las variaciones en la configuración topográfica asociadas a la consolidación y fragmentación del supercontinente Pangea;
- 2) gracias a lo anterior, entender la historia de exhumación de la litosfera continental en el sur de México durante la consolidación y fragmentación de Pangea; y
- 3) ayudar los estudios paleontológicos enfocados en entender los efectos de la más grande extinción de masa de la historia del planeta, es decir, la Gran Mortandad del Pérmico-Triásico (Erwin, 1994), simplemente con definir cuáles son las sucesiones formadas durante el Paleozoico y las que se desarrollaron en vez durante el Mesozoico.

La metodología más tradicional en uso para la reconstrucción estratigráfica es la cartografía geológica basada en los principios estratigráficos fundamentales dictados por Steno ya en la segunda mitad del año 1600. Sin embargo, dada la complejidad estructural de la región (Elías-Herrera *et al.*, 2005; Centeno-García *et al.*, 2009), resulta difícil seguir de manera continua el registro estratigráfico por distancias largas y documentar posibles discordancias angulares que puedan sugerir superficies de contacto entre unidades fluviales distintas. Por lo tanto, la aplicación de esta metodología resulta difícil en el área de interés. Otra metodología que en los últimos años ha florecido en varios campos de las geociencias, incluyendo la sedimentología, es el fechamiento U-Pb en circon. Sin embargo, una reconstrucción estratigráfica de detalle basada únicamente en el fechamiento isotópico se traduciría en un gasto de dinero muy grande y, considerando que en toda el área solamente hay un único nivel de rocas ígneas (*e.g.* Centeno-García *et al.*, 2009), la gran mayoría de los fechamientos serían en circones detríticos de las rocas clásticas, de los cuales se obtendrían edades máximas de depósito y no la edad precisa de formación del registro estratigráfico. Una alternativa para diferenciar entre los diferentes depósitos fluviales actualmente incluidos en la Formación Matzitzi es estudiar con detalle la procedencia de los depósitos fluviales en las localidades en las cuales con seguridad sabemos su edad. En caso de observarse claras diferencias que permitan distinguir entre una u otra sucesión, realizar un muestreo sistemático de todos los depósitos continentales en el área de interés y subdividir unidades con base en sus diferencias composicionales. Esta metodología es razonable y no implica el dispendio de grandes recursos económicos. Por esta razón, este trabajo quiere ser un estudio piloto con el

cual se evalúa el potencial de esta metodología, realizando el análisis de procedencia de detalle de los depósitos fluviales que se han agrupado dentro de la Formación Matzitzi, para reconocer posibles diferencias sustanciales entre ellos y distinguir distintas sucesiones sedimentarias.

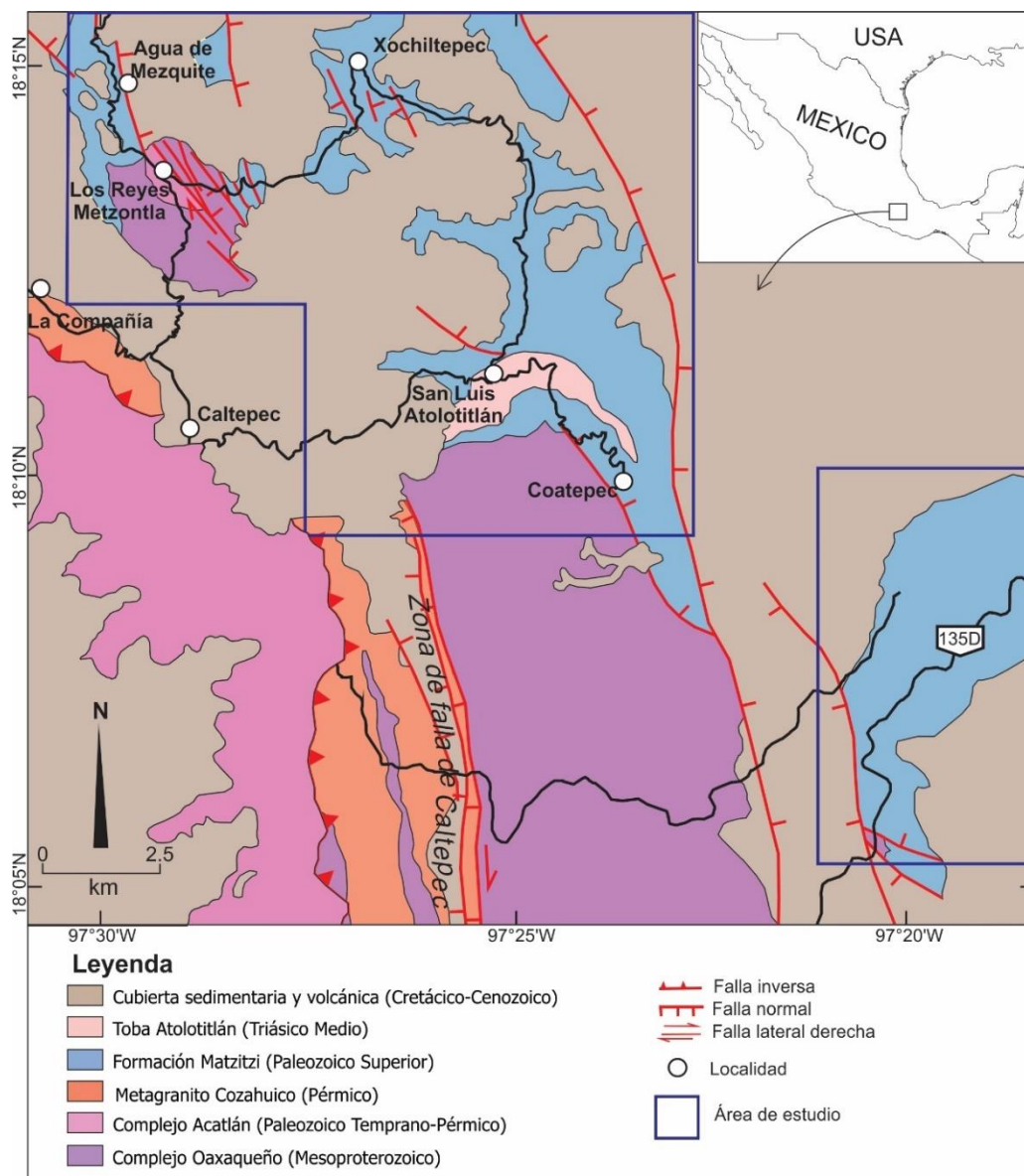
## 2. Antecedentes

### 2.1 La Formación Matzitzi

La Formación Matzitzi aflora en las cercanías de los poblados de los Reyes Metzontla, San Luis Atolotitlán y Coatepec, en el sur del estado de Puebla, y sobre la autopista federal 135D Tehuacán-Oaxaca (Fig. 2.1). La Formación Matzitzi fue descrita informalmente por Calderón-García (1956) como una sucesión de arenisca intercalada con lutita, esporádicos lentes de conglomerado y capas de carbón, presentando un abundante registro de plantas fósiles. Cinco décadas después, Centeno-García *et al.* (2009) realizaron el primer estudio sedimentológico detallado de esta unidad estratigráfica, utilizando herramientas como el análisis de litofacies y de conjuntos de litofacies. Aunque estos autores no definen la geometría tridimensional de los elementos arquitectónicos, lo cual es imprescindible para un profundo entendimiento del tipo de ambiente fluvial (Miall, 2006), ellos describen tentativamente a la Formación Matzitzi como una sucesión clástica desarrollada en un sistema fluvial anastomosado e identifican dentro del registro estratigráfico de esta unidad seis asociaciones de facies diferentes, cada una representativa de un subambiente específico, las cuales son:

1. Depósitos de flujos de escombros de tipo aluvial o de relleno de canal. Esta asociación de litofacies está representada por depósitos de conglomerado masivo soportado tanto por la matriz como por los clastos, mal clasificado y con clastos bien redondeados a subredondeados, los cuales están compuestos por gneis, que tentativamente se han asignado como parte del Complejo Oaxaqueño.
2. Depósitos de barra transversal y de relleno de canal. Esta asociación está representada por conglomerado soportado por los clastos, que muestran gradación normal, imbricación y estratificación horizontal a cruzada.
3. Relleno de canal o barra transversal o de punto. Esta asociación está conformada por arenisca, con esporádicos lentes de conglomerado y algunos horizontes de limolita. La arenisca es masiva o puede presentar estratificación cruzada, así como estratificación plano-paralela. En ocasiones pueden presentarse horizontes de paleosuelos.
4. Depósitos de abanico de desborde o crevasse splay. Esta asociación se compone de arenisca fina a gruesa en estratos ondulados y con estratificación cruzada.

5. Depósitos de llanura de inundación. Esta asociación se compone por una alternancia de arenisca fina a media, limolita y arcillolita en estratos tabulares que presentan estratificación heterolítica de tipo *flaser* y estructuras de fluidificación de sedimento. Esta asociación contiene abundantes paleosuelos con abundantes marcas de raíces y troncos en posición de vida.
6. Depósitos de pantano. Esta asociación está compuesta por arcillolita negra, limolita carbonosa y arenisca con estratificación heterolítica *flaser* y estructuras de fluidificación de sedimento. Esta asociación de facies presenta un mayor contenido de materia orgánica respecto a los depósitos finos de planicie de inundación.



**Figura 2.1.** Mapa geológico de la zona de estudio que sintetiza la información previa a este trabajo. Modificado de Centeno-García *et al.* (2009) y Elías-Herrera *et al.* (2011).

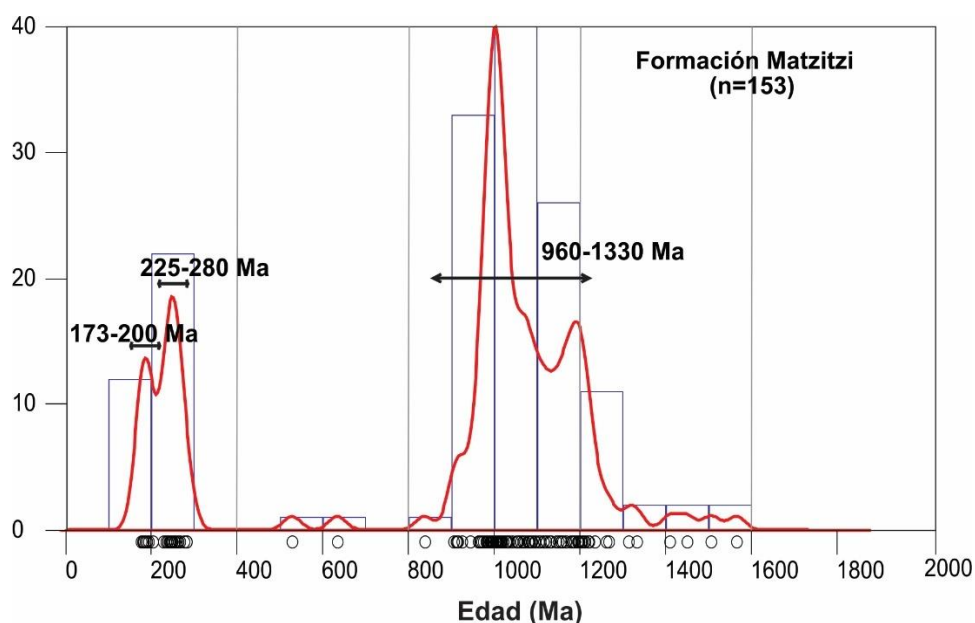
La Formación Matzitzi es una de las pocas unidades del Paleozoico Superior en México que presenta interestratificación con rocas volcánicas. En la cercanía del pueblo de San Luis Atolotitlán (Fig. 2.1) está expuesto un cuerpo volcánico felsítico de forma lenticular que ha sido interpretado por algunos autores como un depósito piroclástico interestratificado (Centeno-García *et al.*, 2009), mientras que otros autores han propuesto que se trata de un diquestrato cuyo emplazamiento fue posterior al depósito de la sucesión fluvial (Elías-Herrera *et al.*, 2011). La presencia de peperitas reportadas por Bedoya-Mejía (2018) y Macías-Romo *et al.* (2019) sugiere que el emplazamiento del cuerpo magmático fue penecontemporáneo a los depósitos fluviales aledaños (Skilling *et al.*, 2002).

Aún no se sabe con certeza bajo qué tipo de régimen tectónico se desarrolló la cuenca donde se depositó la Formación Matzitzi; sin embargo, dada la afinidad geoquímica de arco de las rocas felsíticas de Atolotitlán (Centeno-García *et al.*, 2009) y su correlación con otras sucesiones vulcano-sedimentarias en el centro y norte de México (*e.g.* formaciones Tuzancoa y Arco Las Delicias), se ha propuesto que la Formación Matzitzi pudo haberse depositado en una cuenca de tras-arco asociada al Arco Pérmico del Este de México (Centeno-García *et al.*, 2009; 2019).

La edad de la Formación Matzitzi aún es un tema de discusión, dados los nuevos datos que han salido a la luz en los últimos años, y que han abierto la posibilidad de una extensión de su rango de edad. Los primeros estudios paleobotánicos en la Formación Matzitzi realizados por Silva-Pineda (1970) permitieron establecer una edad del Pensilvánico. Sucesivamente, Weber (1997) revisó el material fosilífero de la Formación Matzitzi y le asignó una edad entre el Pensilvánico y el Pérmico por la presencia de *Lonesomia mexicana*. Estudios paleobotánicos posteriores confirmaron una edad del Pensilvánico al Pérmico Inferior (Hernández-Láscars, 2000). Los análisis paleopalínológicos hechos por Gerwert-Navarro y Villanueva-Amadoz (2019) proponen una edad para la Formación Matzitzi que va desde el Carbonífero, mientras que Flores-Barragán *et al.* (2019) proponen una edad del Pérmico Superior. Por otra parte, los circones contenidos en las rocas volcánicas felsíticas de Atolotitlán han arrojado una edad U-Pb de ~240 Ma (Bedoya-Mejía, 2018; Macías-Romo *et al.*

*al.*, 2019), lo cual abre las posibilidades que la edad de la Formación Matzitzi pueda extenderse hasta el Triásico Medio o que las rocas del Triásico impliquen la existencia de otra unidad estratigráfica.

Los estudios sobre la procedencia de la Formación Matzitzi son escasos y están enfocados principalmente a los depósitos de conglomerado. Juárez-Zuñiga *et al.* (2020) realizaron fechamientos isotópicos en los clastos volcánicos de esta unidad estratigráfica, determinando edades del Pérmico Superior (~270-290 Ma) y que corresponden a la edad máxima de depósito de para esta formación, así mismo, estos autores sugieren que dichos fragmentos provienen del Arco Pérmico del Este de México. Sobre la procedencia de las facies arenosas, la información es muy escasa y puntual. Los circones detríticos de tres muestras de areniscas muestran la predominancia de edades U-Pb en un rango de ~960 a 1330 Ma, y en una sola muestra se han obtenido dos grupos de edades adicionales, el primero que va de ~225 a 280 Ma y el segundo de ~173 a 200 Ma (Bedoya-Mejía, 2018; Fig. 2.2)



**Figura 2.2.** Estimador de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histograma que muestran la distribución estadística de una muestra de la Formación Matzitzi, donde se observan tres grupos de edades: 1) de ~960 a 1330 Ma, 2) de ~225 a 280 Ma y 3) ~173 a 200 Ma. Modificado de Bedoya-Mejía (2018).

## 2.2 Sucesiones fluviales del Mesozoico sobreyacentes a la Formación Matzitzi

En los alrededores de Los Reyes Metzontla afloran otras unidades fluviales, que a diferencia de la Formación Matzitzi, son claramente del Mesozoico. En algunos lugares, el contacto



discordante de estas unidades estratigráficas con la Formación Matzitzi es claro; sin embargo, en otras localidades las exposiciones son escasas, discontinuas o están afectados por la zona de Falla de Caltepec, por lo que resulta muy difícil diferenciar entre la Formación Matzitzi y las sucesiones fluviales sobreyacentes. Estas sucesiones fluviales sobreyacentes son informales y se han agrupado como unidad de Lechos rojos por Centeno-García *et al.* (2009) y como formaciones Caltepec y La Compañía por Mendoza-Rosales (2010).

Las formaciones Caltepec y La Compañía afloran en las cercanías de las localidades de La Compañía, Los Reyes Metzontla y Caltepec (Fig. 2.1). De acuerdo con Mendoza-Rosales (2010), la formación Caltepec corresponde a una sucesión grano-decreciente de conglomerado, arenisca conglomerática y lodolita que descansan discordantemente sobre la Formación Matzitzi y las rocas cristalinas de basamento. Los principales componentes que constituyen a los conglomerados de esta unidad son clastos de esquisto verde, granito, cuarzo metamórfico, gneis milonítico, rocas volcánicas y arenisca. La formación Caltepec varía lateralmente a la formación La Compañía, esta última interpretada como una unidad de transición continental-marina donde se intercalan depósitos fluviales y marinos (Mendoza-Rosales, 2010). La edad máxima propuesta para la formación Caltepec es del Cretácico Inferior y se basa en la presencia de clastos de calizas con fósiles de *Texturalia sp.* (González-Hervet *et al.*, 1984).

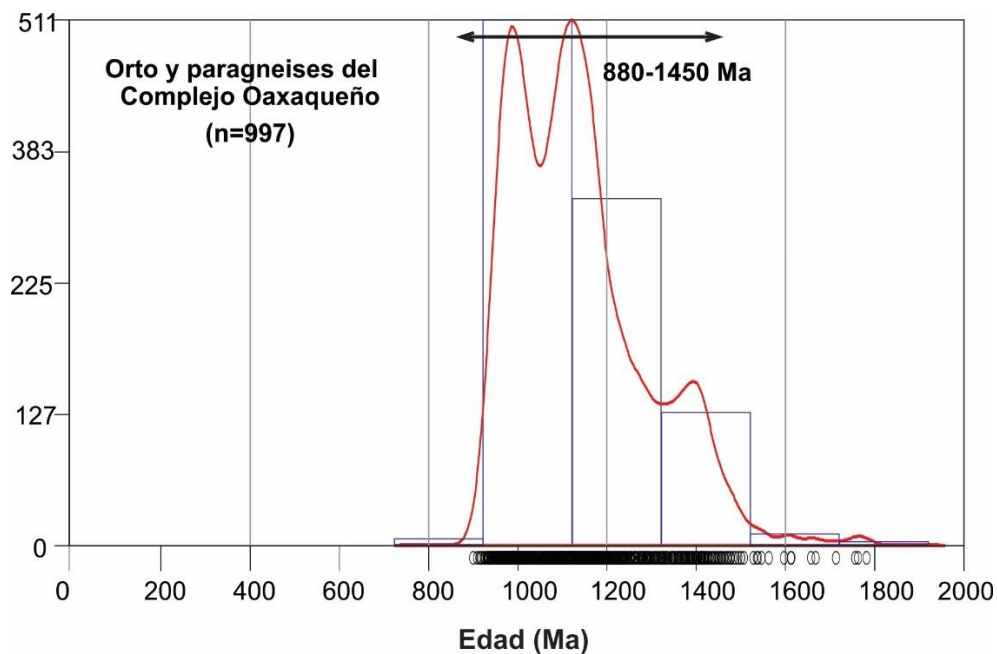
## 2.3 Posibles rocas fuentes de las sucesiones fluviales

### 2.3.1 Complejo Oaxaqueño

El microcontinente Oaxaquia es un bloque continental que aflora en la parte oriental del territorio mexicano y se compone de rocas en facies de granulitas del Meso y Neoproterozoico (Solari *et al.*, 2003; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). Oaxaquia ha sido interpretada como el vestigio de un arco intraocéanico del Mesoproterozoico Tardío al Neoproterozoico Temprano que quedó entre las masas continentales de Báltica y Amazonia durante la consolidación del supercontinente Rodinia (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018).

Los afloramientos más cercanos de Oaxaquia al área de estudio son los del Complejo Oaxaqueño (CO). El CO se extiende en una banda irregular de ~290 km de longitud con una tendencia hacia el N y está delimitado al oeste por la zona de Falla de Caltepec (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). El CO se compone de ortogneises máficos a félsicos que incluyen una

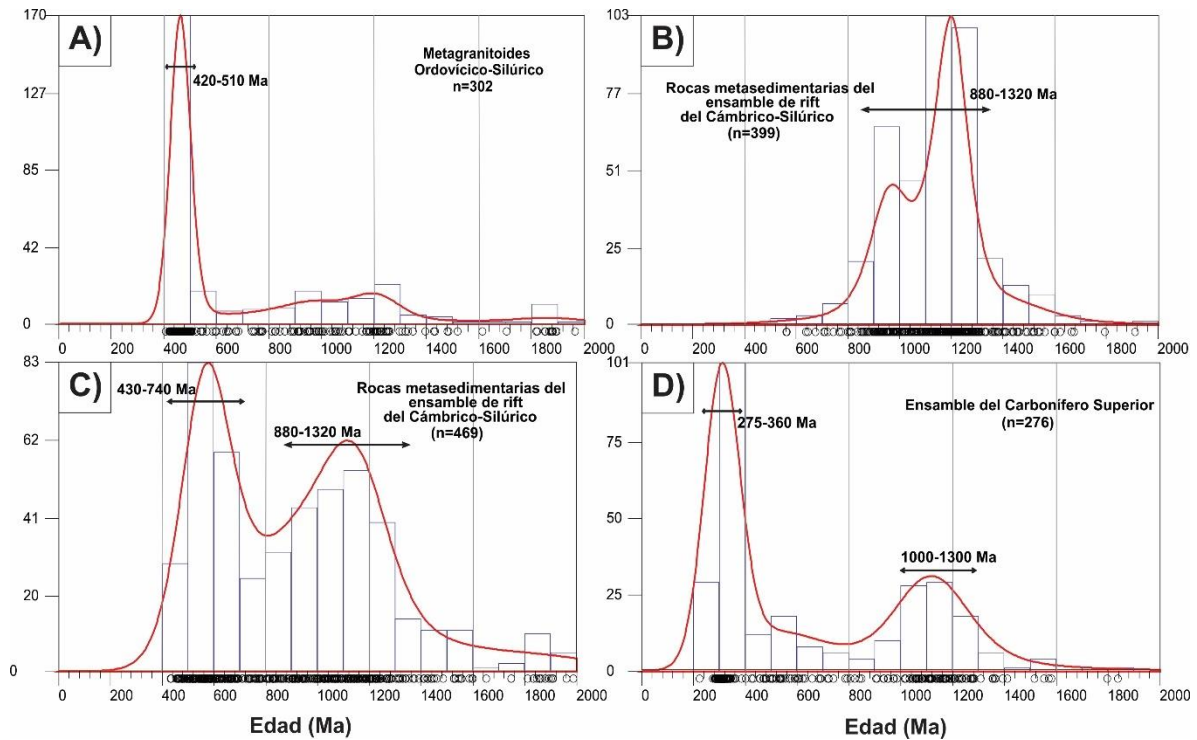
suite AMCG (anortosita-mangerita-charnockita-granito), así mismo se compone de paragneises, calc-silicatos, mármoles y pegmatitas (Solari *et al.*, 2003; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). De acuerdo con Ortega-Gutiérrez *et al.* (2018) las principales fases distintivas del CO son ortopiroxeno, clinopiroxeno, feldespato potásico con microestructura mesopertítica, plagioclasa localmente con microestructura antipertítica, cuarzo con inclusiones aciculares de rutilo, hornblenda, granate, rutilo e ilmenita. En los paragneises, mármoles y calc-silicatos se encuentran comúnmente sillimanita, escapolita, wollastonita y olivino. Localmente, a lo largo de las mayores estructuras paleozoicas y mesozoicas, en donde este complejo fue repetidamente exhumado (*e.g.* la zona de Falla de Caltepec), los gneises granulíticos del CO han experimentado una fuerte retrogresión a facies de esquistos verdes y anfibolitas de bajo grado (Solari *et al.*, 2003; Elías-Herrera *et al.*, 2005). Las fases minerales que evidencian esta retrogresión son biotita, muscovita, epidota, titanita y anfíboles como actinolita y antofilita, que generalmente forman coronas alrededor del piroxeno, hornblenda e ilmenita (Solari *et al.*, 2003). Los circones de las rocas del CO arrojan edades de entre ~880 a 1450 Ma, con una cantidad menor de cristales con edades de hasta ~1780 Ma (Solari *et al.*, 2014; Fig. 2.3).



**Figura 2.3.** Estimador de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histograma que muestran la distribución estadística de los orto y paragneises del Complejo Oaxaqueño, donde se muestra un grupo poblacional de ~880 a 1450 Ma. Modificado de Solari *et al.* (2014).

### 2.3.2 Complejo Acatlán

El Complejo Acatlán (CA) está constituido por una amplia variedad de litologías, las cuales comprenden varios procesos tectónicos superpuestos, que incluyen una fase de *rifting* y una orogénica relacionados a la apertura y cierre del Océano Reico (Keppie *et al.*, 2008). En síntesis el CA está compuesto por a) un ensamble de *rift* del Cámbrico-Silúrico desarrollado a lo largo de la margen meridional del Océano Reico y que fue parcialmente subducido durante del Devónico Tardío, b) un ensamble metavolcánico-sedimentario del Devónico y Carbonífero asociado a la exhumación del ensamble de *rift* y c) un ensamble metasedimentario depositado durante un periodo de transpresión dextral (Keppie *et al.*, 2008; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). En general, el CA está compuesto por metapsammita, metapelita, metabasita, metagranitoides y escasas rocas ultramáficas. El grado metamórfico de estas rocas varía entre la facies de subesquistos verdes y hasta la de eclogita (Keppie *et al.*, 2008). Sin embargo, las rocas de alto grado se han reequilibrado en las facies de esquistos y subesquistos verdes durante la exhumación. Así que en general, el CA es una de las fuentes en el sur de México de rocas metamórficas de bajo grado (Martini *et al.*, 2020). Entre los minerales más representativos del CA están: cuarzo, moscovita, clorita, actinolita, epidota, turmalina, feldespato potásico y plagioclasa, y pequeños granos de biotita para las rocas de bajo grado, así como, anfíbol sódico a cálcico-sódico, plagioclasa, cuarzo, fengita, granate, rutilo, clinozoisita, turmalina, feldespato potásico, biotita en cristales de grano grueso y relictos de onfacita para las rocas de alto grado (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Martini *et al.*, 2020). Debido a su gran variedad litológica, el CA se caracteriza por presentar un grupo muy heterogéneo de espectros de edad de circones. Los circones de los metagranitoides de bajo y alto grado presentan edades U-Pb entre ~250 y 450 Ma (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Morales-Gámez *et al.*, 2008). Las rocas metasedimentarias son muy heterogéneas en su firma de circones detríticos, algunas solo contienen un grupo de edades entre ~880 y 1320 Ma, mientras que otros contienen también grupos de edades de ~430 y 740 Ma y ~275 a 350 Ma (Martini *et al.*, 2020 y referencias en él; Figs. 2.4 A-D).



**Figura 2.4.** Estimadores de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histogramas que muestran la distribución estadística de A) metagranitoides del Complejo Acatlán (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013), B) y C) ensamble de rift del Cámbrico-Silúrico de alta presión (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Murphy *et al.*, 2006; Vega-Granillo *et al.*, 2007; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013) y bajo grado metamórfico (Keppie *et al.*, 2008; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018) del Complejo Acatlán, y D) ensamble del Carbonífero Superior (Kirsch *et al.*, 2012) del Complejo Acatlán.

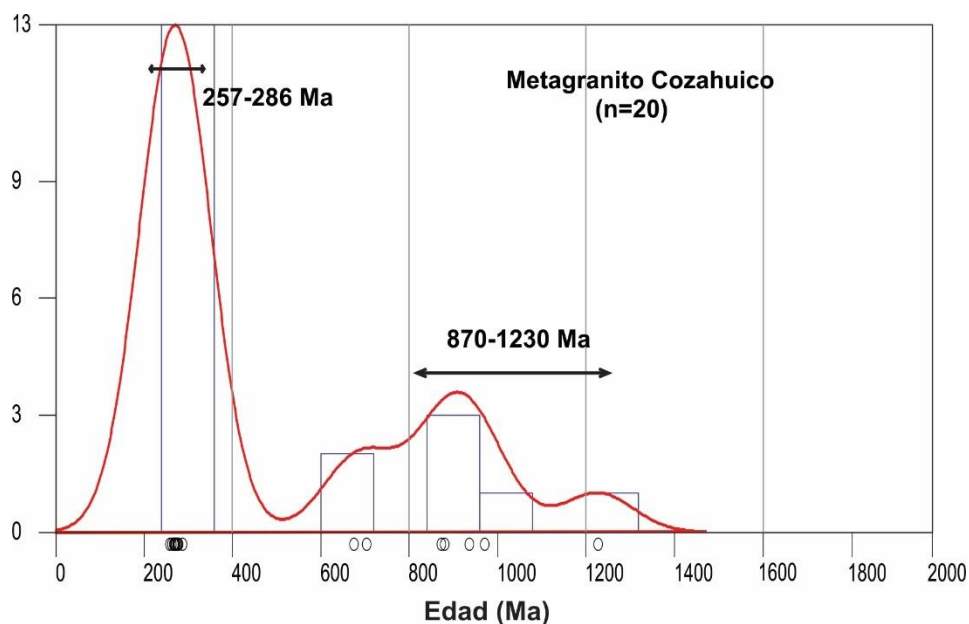
### 2.3.3 Complejo Ayú

El Complejo Ayú corresponde a un conjunto de rocas metasedimentarias e ígneas polideformadas en facies de anfibolita, parcialmente migmatizadas entre ~160 y ~170 Ma (Helbig *et al.*, 2012). Tradicionalmente, estas rocas fueron consideradas como parte del CA (Ortega-Gutiérrez, 1978). Sin embargo, basados en nuevos datos U-Pb, Helbig *et al.* (2012) le asignan una edad del Triásico a estas rocas metamórficas e introducen el nombre de Complejo Ayú para diferenciarlas del CA. Los minerales representativos del Complejo Ayú son: cuarzo, plagioclasa, biotita, moscovita, titanita, granate y hornblenda (Helbig *et al.*, 2012). Las edades U-Pb representativas varían entre ~185 a ~1600 Ma, con dos grupos de edades entre ~230 a ~400 y ~880 a ~1280 Ma (Martini *et al.*, 2020 y referencias en él).

### 2.3.4 Arco Pérmico del Este de México

Se ha asignado como Arco Pérmico del Este de México a un conjunto de cuerpos intrusivos del Carbonífero-Pérmico (*e.g.* Plutones de Totoltepec, Etna, Cozahuico y La Carbonera), los

cuales se han interpretado como las raíces de un arco continental desarrollado a lo largo de la margen occidental de Pangea (Dickinson y Lawton, 2001; Kirsch *et al.*, 2012). Estos cuerpos intrusivos contienen circones con edades en un rango entre ~250 y 320 Ma (Fig. 2.5; Elías-Herrera *et al.*, 2005; Ortega-Obregón *et al.*, 2014).



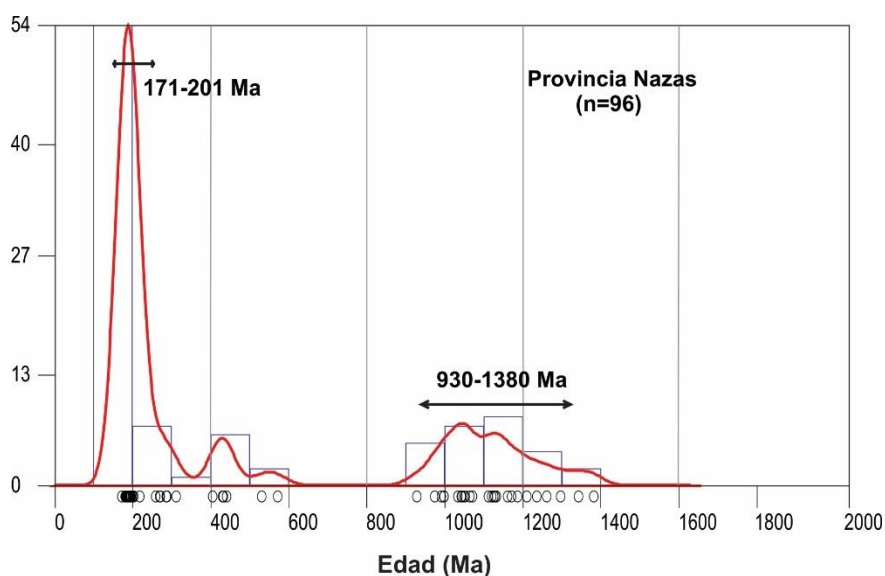
**Figura 2.5.** Estimador de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histograma que muestran la distribución estadística para el metagranito Cozahuico, donde se observan un grupo de edades muy bien definido entre ~257 y 286 Ma (Elías-Herrera *et al.*, 2005).

La expresión superficial de este arco es muy limitada, en el territorio mexicano existen pocos afloramientos de sucesiones volcano-sedimentarias que muestran evidencias de actividad magmática durante el Carbonífero-Pérmico. Entre ellos se encuentran las formaciones Tuzancoa y Guacamaya en los estados de Hidalgo y Tamaulipas (Arellano-Gil *et al.*, 1998; Rosales-Lagarde *et al.*, 2005; Centeno-García *et al.*, 2019). Otro registro de actividad volcánica del Paleozoico Superior es representado por la Riolita Sosola, la cual aflora en el estado de Oaxaca y presenta una edad de ~270 Ma (Ortega-Obregón *et al.*, 2014).

### 2.3.5 Provincia volcano-sedimentaria de Nazas

La Provincia volcano-sedimentaria de Nazas corresponde a un conjunto de sucesiones volcano-sedimentarias del Jurásico Inferior a Medio que están expuestas de manera aislada en todo el este de México, desde los estados de Durango y Nuevo León en el norte, hasta los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas en el sur (*e.g.* Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018). El

origen y significado tectónico de esta provincia aún son temas de debate. Se han propuesto dos escenarios: 1) la provincia Nazas representa un arco continental y extensional (Arco Nazas) asociado a la subducción a lo largo del Pacífico (*e.g.* Stern y Dickinson, 2010); o 2) la provincia Nazas es una *suite* magmática relacionada a la extensión intracontinental resultado del rompimiento de Pangea (Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018). El reciente trabajo de Cavazos-Tovar *et al.* (2020) pone en evidencia que la concentración de elementos mayores y traza en las rocas volcánicas de la Provincia Nazas no son las típicas de un arco magmático, sino de productos asociados a la fusión de la corteza continental en un régimen de extensión litosférica. Las rocas volcano-sedimentarias de la provincia Nazas se caracterizan por contener circones con edades que van desde ~163 a ~193 Ma (Fig. 2.6; Barbosa-Gudiño *et al.*, 2008; Durán-Aguilar, 2013; Rubio-Cisneros y Lawton, 2011; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018).



**Figura 2.6.** Estimador de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histograma que muestran la distribución estadística de una muestra de la Provincia volcano-sedimentaria de Nazas, modificado de Rubio-Cisneros y Lawton (2011).

### 3 Problemática y objetivos

#### 3.1 Planteamiento de problema

La información paleontológica sugiere una edad del Paleozoico Superior para la Formación Matzitzi. Sin embargo, los datos U-Pb en circón obtenidos del cuerpo felsítico intercalado con las rocas sedimentarias de la Formación Matzitzi indican una edad del Triásico Medio (Bedoya-Mejía, 2018), y algunos depósitos de areniscas considerados como parte de la Formación Matzitzi contienen un grupo consistente de granos de circón del Jurásico Inferior a Medio (Fig. 2.3). Estos datos sugieren la posibilidad que la Formación Matzitzi esté conformada por más de una unidad fluvial, las cuales fueron depositadas entre el final del Paleozoico, durante el Mesozoico o Cenozoico. Bajo esta consideración, el registro estratigráfico actualmente incluido en la Formación Matzitzi no debe tratarse como una simple formación, sino como una mezcla de unidades que registran diferentes episodios de depósito en el sur de México. Considerando el rango total de edad, las rocas actualmente agrupadas dentro de la Formación Matzitzi se han depositado bajo contextos tectónicos muy diferentes, como el ensamble de Pangea durante el Paleozoico Superior y la posterior disgregación de este supercontinente durante el Mesozoico. Por lo tanto, es posible afirmar que, en la actualidad, las diferentes sucesiones que actualmente están agrupadas dentro de esta unidad necesitan ser identificadas, caracterizadas y separadas en cuanto representan diferentes ciclos de sedimentación fluvial.

#### 3.2 Hipótesis

Los datos paleontológicos y geocronológicos disponibles sugieren que el registro estratigráfico actualmente agrupado dentro de la Formación Matzitzi sea el conjunto de diferentes sucesiones fluviales depositadas entre el Paleozoico Superior y el Mesozoico. Por ende, dichas sucesiones se han desarrollado bajo distintos contextos tectónicos: las del Paleozoico Superior se depositaron en el momento en que ocurría la amalgamación de Pangea, mientras que las formadas durante el Mesozoico fueron contemporáneas al proceso de ruptura del supercontinente Pangea. Bajo estas consideraciones, el detrito que conforma a estas sucesiones fluviales debería de mostrar ciertas diferencias importantes en la procedencia, debido a los cambios en la configuración topográfica y, consecuentemente, en el patrón de drenaje fluvial. Por ello, se prevé que las diferentes sucesiones que actualmente

conforman la Formación Matzitzi sean reconocibles con base en diferencias importantes en la procedencia.

### 3.3 Objetivo

El objetivo medular de este proyecto es evaluar el potencial del análisis de procedencia de rocas clásticas como una herramienta eficiente para diferenciar las diferentes unidades fluviales que actualmente están agrupadas dentro de la Formación Matzitzi. En caso de que la metodología resulte eficaz, se procederá en definir las características composicionales de las sucesiones del final del Paleozoico y del Mesozoico, poniendo en relieve las diferencias sustanciales que permiten diferenciar a cada una. Considerando, que dentro de una cuenca sedimentaria continental la procedencia puede variar de un elemento arquitectónico a otro (*e.g.* entre el drenaje axial de una cuenca y sus abanicos aluviales adyacentes; Miall, 2006), en este trabajo se considera imprescindible caracterizar desde el punto de vista sedimentológico los afloramientos seleccionados para el análisis de procedencia. Por ende, aunque no representa el objetivo principal de este trabajo, se pretende identificar los elementos arquitectónicos que componen las diferentes sucesiones fluviales agrupadas dentro de la Formación Matzitzi. Esto permitirá inclusive poner a prueba y enriquecer el modelo sedimentológico propuesto por Centeno-García *et al.*, (2009) para la Formación Matzitzi.

### 3.4 Justificación

A pesar de que en las últimas décadas se han logrado avances muy importantes en la reconstrucción paleogeográfica de Pangea, hasta la fecha existen controversias sobre la posición de algunas piezas del rompecabezas y su relación con las piezas adyacentes. Estas deficiencias dificultan entender con detalle la dinámica del proceso de consolidación de Pangea. Entender si las rocas que conforman a la Formación Matzitzi registran los eventos de amalgamiento o ruptura de Pangea ayudaría a la formulación de modelos paleogeográficos más precisos sobre la configuración del sur de México entre el Paleozoico Superior y el Mesozoico. Diferenciar entre las diferentes unidades fluviales que están agrupadas en la Formación Matzitzi ayudará a redefinir la estratigrafía del sur de México y así mismo reconocer cambios en el estilo y distribución del drenaje fluvial y en la configuración topográfica durante la transición ensamble-ruptura de Pangea. A su vez, estos cambios



permitirían reconstruir la historia de exhumación de la litosfera continental en el sur de México durante el evento de consolidación y dispersión del supercontinente Pangea. Adicionalmente, a finales del Pérmico e inicios del Triásico, ocurrió el evento de extinción de masa más catastrófico que nuestro planeta haya conocido (Erwin, 1994). Por lo tanto, la redefinición estratigráfica del registro actualmente incluido en la Formación Matzitzi ayudará a futuros estudios paleontológicos enfocados en entender los efectos de esta hecatombe mediante el reconocimiento de las sucesiones que se depositaron durante el Paleozoico Superior y aquellas que se desarrollaron durante el Mesozoico.

### 3.5 Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el sector SE del estado de Puebla, entre los poblados de Los Reyes Metzontla, San Francisco Xochiltepec, Santiago Coatepec y sobre la carretera federal 135D Tehuacán-Oaxaca (Fig. 2.1). La zona estudiada en este trabajo ha sido dividida en dos sectores (Fig. 2.1), donde se localizan afloramientos de edad paleontológica o geocronológica conocida. En los sectores seleccionados se encuentran las mejores exposiciones de los depósitos fluviales objetos de estudio, lo que permitió la descripción litológica, medición de perfiles de litofacies y la descripción de elementos arquitectónicos fluviales.

## 4 Metodología

### 4.1 Trabajo de campo

El punto de partida de esta tesis es el trabajo de campo en los alrededores de las localidades de Los Reyes Metzontla, Xochiltepec, Coatepec, San Luis Atolotitlán y sobre la carretera federal 135D Tehuacán-Oaxaca (Fig. 2.1). En cada una de las localidades se realizó la cartografía geológica y la descripción de las unidades aflorantes, incluyendo su textura, fábrica, estructuras sedimentarias, contenido paleontológico, geometría de los estratos y sus relaciones de contacto. La observación de estas características ha permitido definir litofacies de acuerdo con el esquema propuesto por Miall (2006). El análisis de la asociación de litofacies, así como de su geometría tridimensional y relación de contacto con las adyacentes permitió el reconocimiento de elementos arquitectónicos de acuerdo con el esquema descrito por Miall (2006). El resultado final fue la realización de dos mapas geológicos donde se observa la distribución de las distintas sucesiones fluviales aflorantes en el área de estudio (**Capítulo 5**). Adicionalmente, el trabajo de campo sirvió para la recolección de muestras representativas de las diferentes sucesiones fluviales en las localidades donde se han realizado estudios paleontológicos y geocronológicos previamente. Dichas muestras son el material de base con que se ha realizado el análisis de procedencia en que se enfoca este trabajo. Adicionalmente, se han tomado varias muestras en otras localidades donde la edad de las rocas es desconocida, para poderlas correlacionar por afinidad de procedencia con las localidades tipo y, de esta manera, determinar la distribución de las diferentes sucesiones fluviales presentes en el área de estudio. De cada afloramiento se ha tomado una muestra de aproximadamente 15 kg, cuidando que no tuviera rastros de meteorización que pudieran afectar a alguno de los componentes clásticos de la roca. La ubicación de las muestras se presenta en los mapas geológicos en el **Capítulo 5**.

### 4.2 Análisis de forma de clastos

Con el fin de determinar cuantitativamente posibles diferencias texturales entre diferentes depósitos fluviales expuestos en el área de estudio, durante las campañas de campo se recolectaron, 91, 39 y 33 clastos de tres depósitos de conglomerado anteriormente considerados como Formación Matzitzi. Se midieron las dimensiones de los tres ejes principales (A: eje largo, B: eje medio y C: eje corto) con ayuda de un medidor vernier. Las medidas obtenidas se graficaron en la hoja *Excel Tri-plot* (Graham y Midgley, 2000), que

permitieron graficar los resultados en los diagramas de Sneed y Folk (1958), Cann *et al.* (2014) y Graham y Midgley (2000). Los resultados de estas mediciones se muestran en el **Anexo 1**.

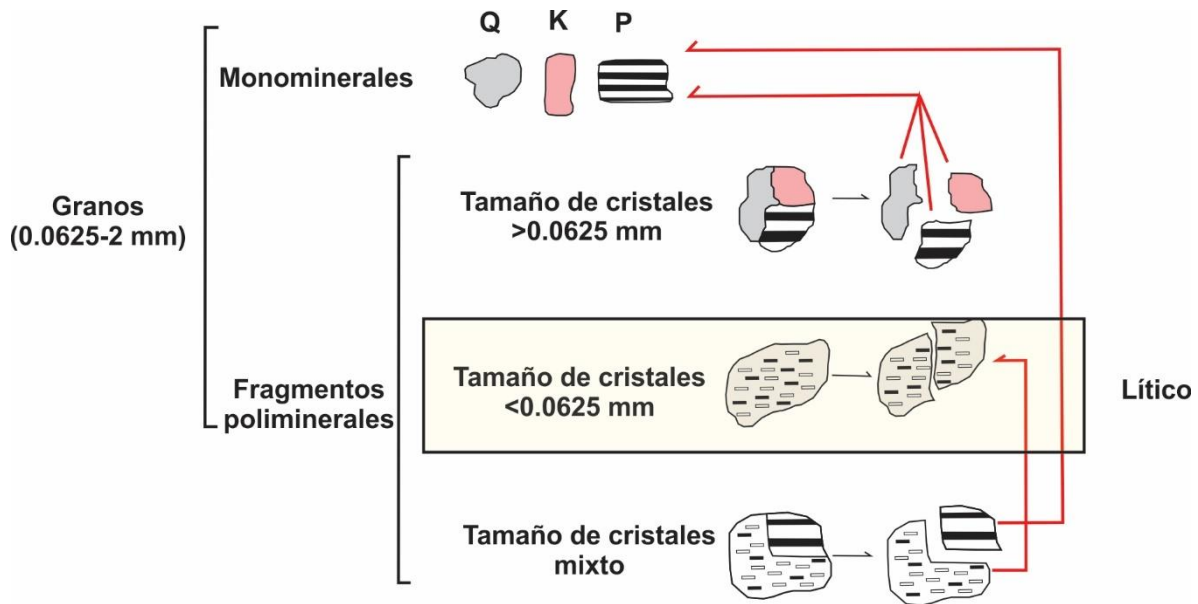
#### 4.3 Petrografía de areniscas

Se realizó un estudio petrográfico en lámina delgada de 22 muestras colectadas en las campañas de campo. Las láminas delgadas fueron teñidas con rodizonato de potasio para distinguir los cristales de feldespato potásico de los cristales de cuarzo. El primer paso del análisis petrográfico fue observar las muestras al microscopio y determinar para cada una las diferentes categorías de componentes detríticos. En general, se diferenciaron 37 categorías que se presentan en el **Anexo 2**.

Una vez que los componentes de las rocas fueron identificados, se realizó un conteo de puntos con la técnica de Gazzi-Dickinson (Gazzi, 1966; Dickinson, 1970). Para ello, se ha utilizado un contador manual. El método consiste en colocar una lámina delgada de la muestra a estudiar sobre la platina del microscopio petrográfico, previamente instalado el contador de puntos. El contador de puntos es un soporte metálico con dos brazos ortogonales que permite desplazar la sección delgada en cuestión en dos direcciones. El contador cuenta con una escala milimétrica, lo que permite determinar de manera cuantitativa cuanto se va a desplazar la lámina. El desplazamiento de la lámina debe de ser repetitivo, de manera que se establezca una rejilla regular y se cuenten los clastos que caen en las intersecciones. Este método permite determinar de manera exacta los porcentajes modales de los diferentes componentes de las muestras estudiada. En este trabajo se utilizó un desplazamiento de 1 mm para cada lámina analizada. No existe aún un número determinado de cuantos puntos deben de contarse; sin embargo, por encima de los 300 puntos se ha observado que el error  $2\sigma$  contiene un índice de confianza del 95%. Para el conteo de puntos realizado en este trabajo se contaron entre 350 y 600 puntos, tratando de cubrir la mayor parte de cada lámina. De acuerdo con la metodología de Gazzi-Dickinson (Fig. 4.1):

- 1) Todos los componentes monominerales se cuentan como clastos monocristalinos;
- 2) Los granos policristalinos compuestos por cristales mayores a 0.0625 mm se cuentan como granos monocristalinos, y se le asigna la categoría dependiendo del cristal que se encuentre en el cruce del microscopio;

- 3) Los granos policristalinos compuestos por cristales de tamaño inferior a 0.0625 mm se cuentan como líticos;
- 4) Los granos policristalinos mixtos (constituidos por cristales tanto mayores como menores a 0.0625 mm) se cuentan como granos monocristalinos o líticos dependiendo de la porción del grano que se encuentre bajo el cruce.



**Figura 4.1.** Esquema de clasificación de los componentes de una arenisca de acuerdo con el método de conteo de puntos de Gazzi-Dickinson. Modificado de Zuffa (1985). Q: cuarzo, K feldespato potásico y P: plagioclasa.

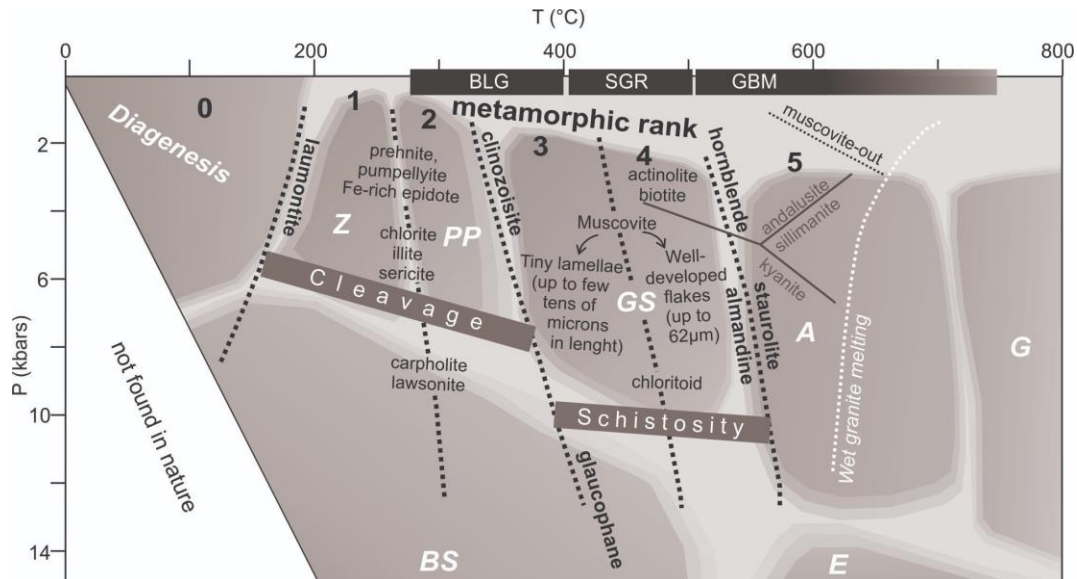
De acuerdo con Dickinson (1970) y Marsaglia e Ingersoll (1992), los líticos volcánicos pueden ser de cuatro tipos:

- 1) Los líticos *lathwork* son fragmentos volcánicos porfídicos. Se cuentan como líticos solamente las partes afaníticas del fragmento. Composicionalmente corresponden a un basalto o basalto-andesita.
- 2) Los líticos microlíticos son fragmentos volcánicos afaníticos compuestos por microlitos subedrales a eudrales de plagioclasa. Composicionalmente corresponden a una andesita.
- 3) Los líticos felsíticos son fragmentos volcánicos porfídicos con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. Composicionalmente corresponden a una dacita o riolita.
- 4) Los líticos vítreos están compuestos por vidrio y pueden contener agregados microcristalinos. El color del vidrio puede usarse para inferir la composición del

lítico: vidrios incoloros generalmente corresponden a rocas ácidas; sin embargo, el sideromelano que es un vidrio incoloro basáltico se identifica por su alteración a palagonita.

Los líticos metamórficos fueron clasificados usando el esquema propuesto por Garzanti y Vezzoli (2003) y las modificaciones hechas por Martini *et al.* (2020). De acuerdo con estos autores, los líticos metamórficos se dividen en cuatro grupos según el tipo de protolito; metapelíticos, metapsammíticos/metafelsíticos, metabasíticos y metacarbonatados. A su vez, a cada tipo de lítico se le asigna uno de los cuatro rangos metamórficos con base en la paragénesis y en observaciones texturales y microestructurales (Fig. 4.2).

- 1) Rango metamórfico 1 (facies de zeolita): los fragmentos muestran el desarrollo de clivaje poco penetrativo definido por la cristalización de láminas de arcillas muy finas, además del desarrollo de estructuras de disolución por presión. En los líticos metabasíticos se desarrollan minerales del grupo de las zeolitas.
- 2) Rango metamórfico 2 (facies de prehnita-pumpelita): los fragmentos muestran el desarrollo de un clivaje penetrativo definido por la cristalización de láminas de arcillas más grandes respecto a las del rango 1 y el desarrollo de estructuras de disolución por presión y microestructuras de recrystalización por *bulging* (~280-400°C; Stipp *et al.*, 2002). En los líticos metabasíticos se desarrollan minerales del grupo de prehnita-pumpelita y pistachita.
- 3) Rango metamórfico 3 (facies de esquisto de baja temperatura): los fragmentos muestran el desarrollo de una esquistosidad definida por la cristalización de moscovita menores a 0.062 mm y con microestructuras de recrystalización por *bulging*. En los líticos metabasíticos se desarrollan cristales de clinozoisita.
- 4) Rango metamórfico 4 (facies de esquisto de alta temperatura): los fragmentos muestran el desarrollo de esquistosidad definida por la cristalización de moscovita mayores a 0.062 mm y el desarrollo de microestructuras de recrystalización por rotación de subgrano (~400-500°C). En los líticos metabasíticos se desarrollan cristales de anfibolita de la serie actinolita-tremolita.



**Figura 4.2.** Diagrama de P-T de facies metamórficas tomado de Martini *et al.* (2020), mostrando los principales minerales y rangos metamórficos de acuerdo con la clasificación de Garzanti y Vezzoli (2003). Mientras que el rango de temperatura para las microestructuras en granos de cuarzo se establecen de acuerdo con Stipp *et al.* (2002).

#### 4.4 Separación y petrografía de minerales pesados

Se seleccionaron 10 muestras para la separación de minerales pesados en búsqueda de trazadores de procedencia sólidos que puedan reforzar el análisis de composición de roca total. El proceso de separación de minerales pesados es descrito por Morton (1985) y consiste de cuatro etapas:

- 1) Molienda, la cual se ha realizado en el taller de molienda del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) utilizando una prensa hidráulica.
- 2) Separación de la fracción inferior a 0.18 mm con el ayuda de un tamiz.
- 3) Concentración por densidad por vía húmeda utilizando la mesa Wilfley.
- 4) Decantación en líquidos pesados, en particular se usó bromoformo, cuya densidad es de 2.89 g/cm<sup>3</sup>.

Los minerales pesados obtenidos después de estos cuatro pasos fueron montados en láminas delgadas para realizar una descripción petrográfica de cada uno de ellos. El análisis petrográfico se basa en el reconocimiento de cada especie mineral por sus características ópticas. Las concentraciones absolutas de minerales pesados no fueron obtenidas, debido a

que no se midieron los pesos totales de las muestras y el concentrado de minerales pesados como se indica en Garzanti y Andò (2019). Por ende, las paragénesis descritas en este trabajo son tomadas como un indicador cualitativo de procedencia.

#### 4.5 Geocronología U-Pb en circones detríticos

Se seleccionaron 5 muestras para determinar la edad U-Pb en cristales de circón detrítico. De la etapa de concentración de minerales pesados antes descrita, el concentrado resultante fue dividido en dos porciones, una para la realización de láminas de minerales pesados y otra para la separación de circones detríticos. Para cada muestra, se montaron entre 250 y 300 cristales de circón usando una lupa binocular y seleccionándolos manual y aleatoriamente. Los cristales fueron montados sobre una base de vidrio a la cual se le pegó cinta de doble pegamento, luego fueron embebidos en una resina epóxica y se pulieron con abrasivos para dejarlos expuestos para el análisis. Utilizando la técnica de catodoluminiscencia se identificó en primera instancia que los cristales montados efectivamente fueran circones y también se pudieron observar las texturas internas de los cristales para así seleccionar de manera adecuada los puntos a analizar. Los análisis de LA-ICP-MS (*Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) se realizaron en el Laboratorio de Estudios Isotópicos del Centro de Geociencias de la UNAM, siguiendo la metodología y tratamientos descritos en Solari *et al.* (2018). Las edades de circones individuales fueron obtenidas con un láser excímero *Resolution M50* de longitud de onda de 193 nm, con un oscilador *Lambda Physik LPX 220* y acoplado a un cuadrupolo *Thermo ICap Qc ICPMS*. Para la reducción de datos se utilizó la metodología descrita en Solari *et al.* (2018), utilizando el *software* *Iolite* (Paton *et al.*, 2011). Los datos fueron graficados en el diagrama de Wetherill (1956) a través del programa *Isoplot*.

##### 4.5.1 Escalamiento multidimensional

El uso de la geocronología U-Pb en circones detríticos es una herramienta muy útil en los estudios de procedencia. Dado el gran uso de esta técnica y la gran cantidad de datos, se ha optado por usar otras técnicas estadísticas multivariadas que permitan manejarlos de manera estadística. Las 5 muestras utilizadas fueron comparadas con otras muestras selectas de las posibles rocas fuente para construir un escalamiento multidimensional (MDS; Vermeesch, 2013). Este método consiste en generar un mapa bidimensional mediante la creación de una

matriz de disimilitud entre  $n$  número de muestras, a la cual se le aplica la prueba de efecto de tamaño de Kolmogorov-Smirnov para medir la disimilitud y representar las muestras en un espacio euclidiano. El MDS grafica la distancia entre las muestras y se utilizó un *script* con el *software* R, por lo que muestras similares aparecen cercanas y muestras disimilares aparecen alejadas (Vermeesch, 2013).



## 5 Observaciones de campo

### 5.1 Litofacies

En la Tabla 5.1 se muestra la descripción e interpretación de las 10 litofacies identificadas en el trabajo de campo para las distintas sucesiones fluviales que afloran en el área de estudio.

**Tabla 5.1.** Resumen de las litofacies descritas para los depósitos fluviales en el área de estudio.

| <b>Litofacies</b> | <b>Descripción</b>   | <b>Interpretación</b>  |
|-------------------|--|--|
| <b>Gcm</b>        | Conglomerado soportado por los clastos y masivo                                | Depósito de flujo de detrito con comportamiento pseudoplástico (baja resistencia y alta viscosidad)                              |
| <b>Gci</b>        | Conglomerado soportado por los clastos y con gradación inversa                 | Depósito de flujo de detrito hiperconcentrado con comportamiento plástico (alta resistencia) o pseudoplástico (baja resistencia) |
| <b>Gmm</b>        | Conglomerado soportado por la matriz y masivo                                  | Depósito de flujo de detrito con comportamiento pseudoplástico (baja resistencia y alta viscosidad)                              |
| <b>Gt</b>         | Conglomerado con estratificación cruzada curvada                               | Depósito de barra fluvial transversal 3D   |
| <b>Gp</b>         | Conglomerado con estratificación cruzada planar                                | Depósito de barra fluvial transversal 2D   |
| <b>St</b>         | Conglomerado con estratificación cruzada curvada                               | Tren de dunas 3D   |
| <b>Sp</b>         | Conglomerado con estratificación curvada planar                                | Tren de dunas 2D   |
| <b>Sr</b>         | Arenisca con rizaduras   | Tren de rizaduras por flujo unidireccional   |
| <b>Ss</b>         | Arenisca de relleno  | Depósito de relleno en las partes profundas de canales   |
| <b>Fl</b>         | Lodolita y arenisca muy fina con laminación plano-paralela de régimen inferior | Depósito por decantación en condiciones de corrientes de tracción muy débiles o aguas estancadas                                 |

### 5.1.1 Conglomerado soportado por los clastos y masivo

En el área de estudio, la litofacies de Conglomerado soportado por los clastos y masivo (Gcm) está representada por cuerpos conglomeráticos soportados por clastos de guijarros, que forman depósitos de algunos centímetros hasta 2.5 m de espesor. Los clastos son muy bien redondeados, con formas casi esféricas, y mal seleccionados (Fig. 5.1A). No se presenta alguna estructura sedimentaria primaria interna en estos depósitos. Algunos afloramientos presentan clastos alargados y redondeados y localmente imbricación (Fig. 5.1B). La base de estos conglomerados está representada por una superficie neta y no erosiva. Los clastos están constituidos por gneises félsicos y máficos y en menor proporción de rocas volcánicas y areniscas. De acuerdo con Miall (2006) la litofacies Gcm es el registro estratigráfico de flujos de detrito de alta energía, los cuales se caracterizan por bajos potenciales erosivos y que tienden a rellenar la topografía existente.

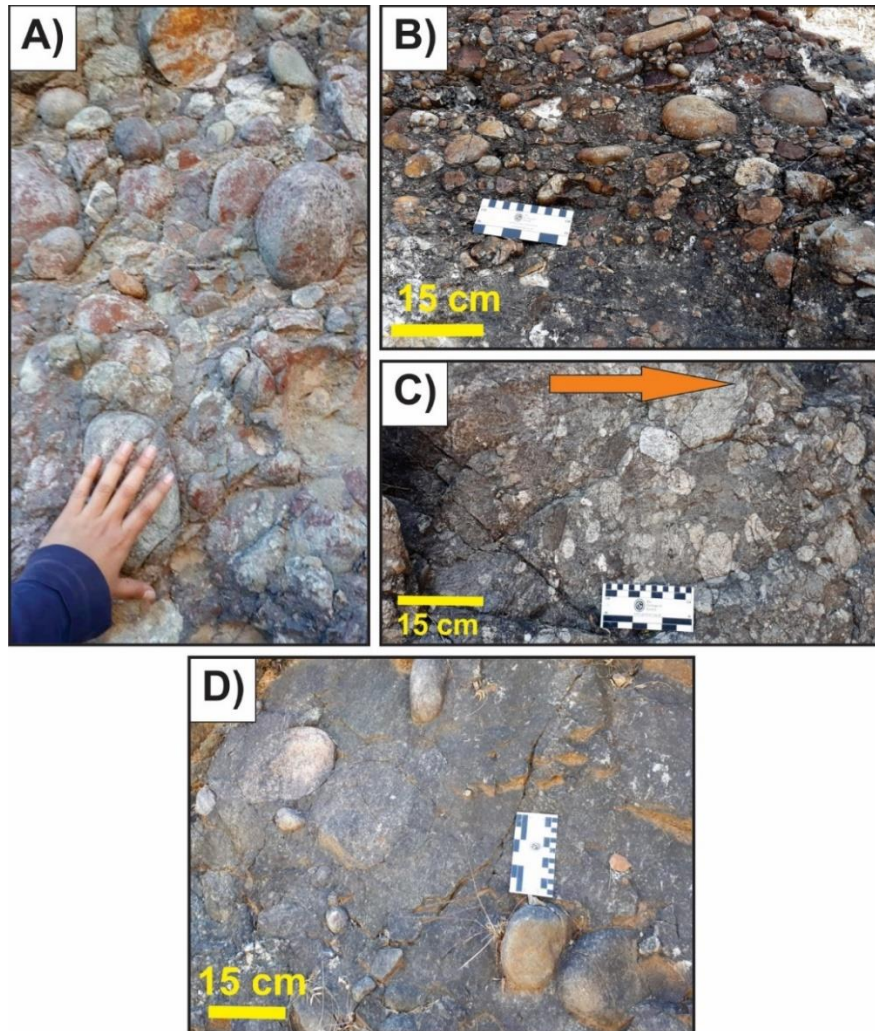
### 5.1.2 Conglomerado soportado por los clastos con gradación inversa

La litofacies de Conglomerado soportado por los clastos con gradación inversa (Gci) está representada por cuerpos de conglomerado soportado por clastos de guijarros con gradación inversa, que llegan a formar depósitos individuales de hasta 90 cm de espesor. Estos depósitos están compuestos por clastos muy bien redondeados con formas casi esféricas, y mal seleccionados (Fig. 5.1C). Localmente dichos depósitos presentan sectores con mayor abundancia de matriz. En ninguno de los afloramientos analizados se pudo observar la base de estos depósitos. Los clastos de este conglomerado están compuestos por fragmentos gneis de composición félsica y máfica y, en menor proporción rocas volcánicas, arenisca y anortosita. De acuerdo con Miall (2006) la litofacies Gci puede ocurrir de dos maneras: 1) como resultado de flujos de detrito hiperconcentrados con comportamiento plástico o 2) como resultado de flujos de detrito con comportamiento pseudoplástico.

### 5.1.3 Conglomerado soportado por la matriz y masivo

La litofacies de Conglomerado soportado por la matriz masivo (Gmm) no presenta alguna estructura interna y se compone de partículas tamaño grava de hasta 10 cm de diámetro, bien redondeadas y mal clasificadas (Fig. 5.1D). Los clastos en su mayoría están compuestos por fragmentos de gneis félsico y máfico, y en menor proporción fragmentos de roca volcánica y de arenisca. Es posible observar en algunos afloramientos fragmentos de caliza *mudstone*

y pedernal negro (Fig. 5.2). De acuerdo con Miall (2006), los depósitos de la litofacies Gmm son el resultado de flujos de detrito con comportamiento pseudo-plástico con baja resistencia y alta viscosidad.



**Figura 5.1.** Fotografías de las litofacies conglomeráticas: A) litofacies de Conglomerado soportado por los clastos y masivo, B) litofacies de Conglomerado soportado por la matriz con fragmentos alargados y con imbricación, C) litofacies de Conglomerado soportado por los clastos y con gradación inversa (la flecha anaranjada apunta hacia la cima del estrato) y D) litofacies de Conglomerado soportado por la matriz y masivo.



**Figura 5.2** Fragmentos de caliza *mudstone* (izquierda) y pedernal negro (derecha) en la litofacies de Conglomerado soportado por matriz masivo.

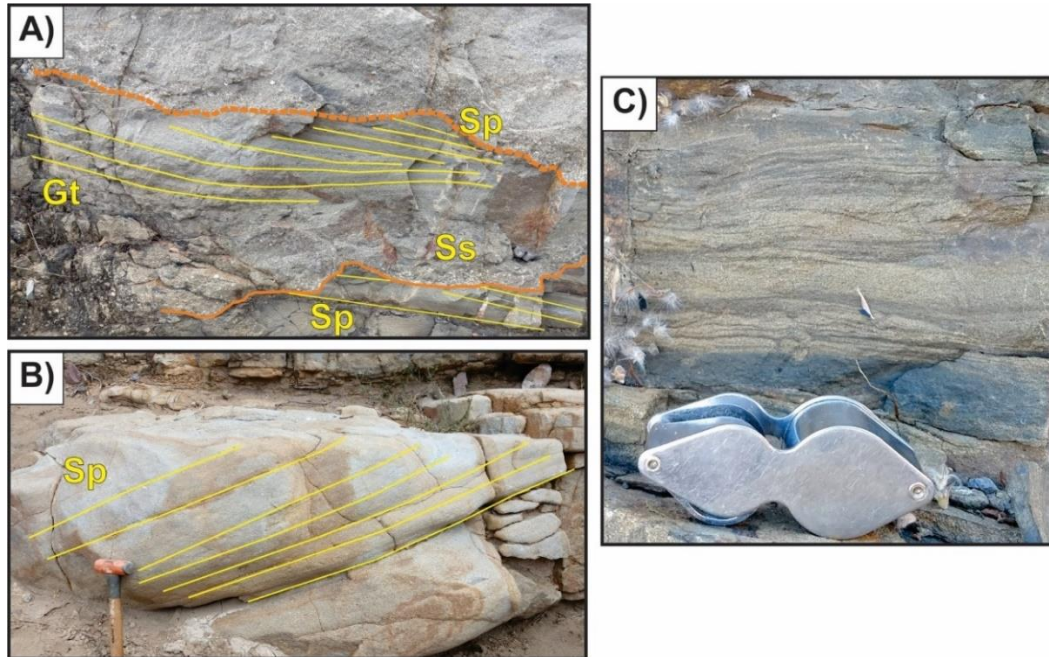
#### 5.1.4 Conglomerado con estratificación cruzada curvada a planar

Las litofacies de Conglomerado con estratificación cruzada curvada (Gt) y planar (Gp) forman depósitos lentiformes de espesor decimétrico a métrico. La base de estos lentes es erosiva y es sobreyacida por un *lag* basal de intraclastos de lutita y arenisca fina. Por encima del *lag* basal, se observa un conglomerado de gránulos soportado por clastos, mal clasificados y con clastos predominantemente subredondeados. Las estructuras sedimentarias características son la estratificación cruzada curvada y planar (Fig. 5.3A). De acuerdo con Miall (2006), las litofacies Gt y Gp representan depósitos de barras fluviales transversales.

#### 5.1.5 Arenisca con estratificación cruzada curvada a planar

Las litofacies de Arenisca con estratificación cruzada curvada (St) y planar (Sp) están compuestas por arenisca media a muy gruesa, que presentan de manera evidente estratificación cruzada variando de curvada a planar (Figs. 5.3A y B). Estas litofacies sobreyacen de manera transicional a las litofacies Gt y Gp o directamente a las superficies de erosión. De acuerdo con Miall (2006), las litofacies St y Sp son el resultado del desarrollo de trenes de dunas 3D y 2D respectivamente.





**Figura 5.3.** Fotografías de las litofacies: A) Conglomerado con estratificación cruzada curvada (Gt) que cambia verticalmente a la litofacies de Arenisca con estratificación cruzada planar (Sp) y son cortados por superficies erosivas (líneas anaranjadas), sobre la base se observa la litofacies de Arenisca de relleno (Ss), B) litofacies de Arenisca con estratificación cruzada planar y C) litofacies de Arenisca con rizaduras.

#### 5.1.6 Arenisca con rizaduras

La litofacies de Arenisca con rizaduras (Sr) se conforma por depósitos de arenisca fina a media, bien clasificada y con laminación cruzada curvada a planar (Fig. 5.3C). Localmente, la preservación de láminas paralelas tanto del *lee side* como del *stoss side* de las rizaduras indica que se trata de rizaduras montantes. Estas litofacies se encuentran en estratos centimétricos y están sobreyaciendo de manera transicional a las litofacies St y Sp, y a su vez la litofacies es sobreyacida en contacto erosivo por las litofacies Gt, Gp y St. También, la litofacies Sr se alterna con estratos delgados de limolita, formando estratificación lenticular. De acuerdo con Miall (2006), esta litofacies se forma por la migración de trenes de rizaduras por la acción de un flujo unidireccional de baja velocidad.

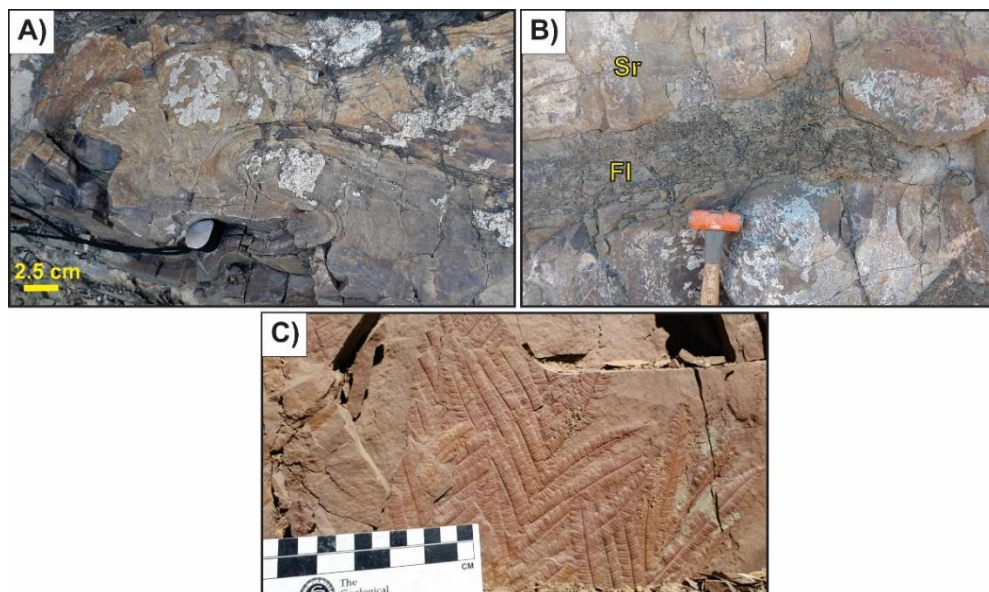
#### 5.1.7 Arenisca de relleno

Este tipo de litofacies se desarrolla por encima de superficies de erosión canalizadas y se compone de arenisca gruesa y pobremente clasificada. Esta litofacies muestra una tenue estratificación cruzada y contiene un *lag* de intraclastos de limolita y arenisca fina (Fig. 5.3A). El espesor de esta litofacies es de hasta 25 cm. De acuerdo con Miall (2006), esta

litofacies se desarrolla por el depósito rápido de mantos arenosos en la parte basal de un canal inmediatamente después de su formación.

#### 5.1.8 Lodolita y arenisca muy fina con laminación plano-paralela de régimen inferior

La litofacies de Lodolita y arenisca muy fina con laminación plano-paralela de régimen inferior (FI) está compuesta por estratos centimétricos, finamente laminados y de forma tabular de lodolita y arenisca muy fina. Localmente estos contienen laminación convoluta (Fig. 5.4A) y estructuras de carga y flama (Fig. 5.4B). Esta litofacies se caracteriza por contener una gran abundancia de plantas fósiles (Fig. 5.4C). De acuerdo con Miall (2006), la litofacies FI se forma por el depósito de material fino en suspensión o por corrientes de tracción débiles.



**Figura 5.4.** Fotografías de las litofacies de Lodolita y areniscas muy finas con A) laminación convoluta, B) estructuras de carga y flama y C) plantas fósiles.

## 5.2 Elementos arquitectónicos

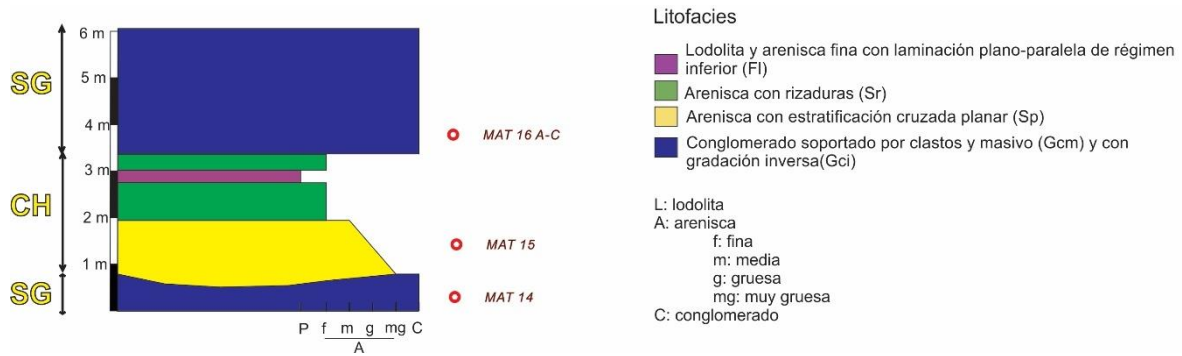
Con base en la combinación de la distintas litofacies, la geometría tridimensional y las relaciones de contacto, se identificaron 6 elementos arquitectónicos distintos. A continuación, se muestra un resumen de las características distintivas de estos elementos en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2.** Resumen de los elementos arquitectónicos para los depósitos fluviales en el área de estudio.

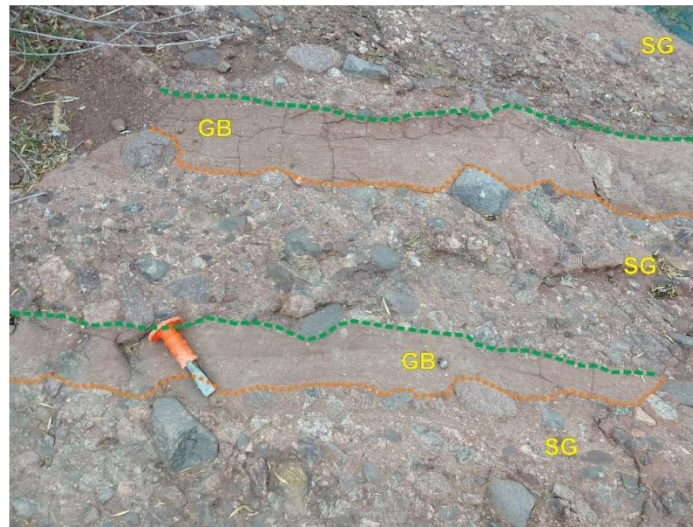
| <b>Elemento arquitectónico</b>                   | <b>Litofacies</b>           | <b>Interpretación</b>   |
|--|-----------------------------|---|
| <b>Depósitos de flujos gravitacionales (SG)</b>  | Gcm, Gci y Gmm              | Depósitos generados por inestabilidad gravitacional del detrito a lo largo de una pendiente                 |
| <b>Finos de la llanura de inundación (FF)</b>    | Sr y Fl                     | Llanura de inundación formada adyacente al canal  |
| <b>Abanico de desborde o crevasse splay (CS)</b> | Sp, Sr y Fl                 | Abanicos adyacentes al canal principal, formados durante eventos de desborde que rompieron el dique natural |
| <b>Dique natural o levee (LV)</b>                | Sr y Fl                     | Diques naturales que se distribuyen paralelamente a la margen del canal                                     |
| <b>Capas y formas de fondo de grava (GB)</b>     | Gt, Gp, St, Sp, Sr y Fl     | Barra de grava de acreción frontal. Típica de sistemas fluviales con alto a moderado índice de bifurcación  |
| <b>Canal (CH)</b>                                | Gt, Gp, St, Sp, Ss, Sr y Fl | Canal con relleno sencillo. Típico de sistemas fluviales anastomosados                                      |

### 5.2.1 Elemento Depósitos de flujos gravitacionales (SG)

El elemento de Depósitos de flujos gravitacionales (SG) está compuesto por las litofacies Gcm, Gci y Gmm. En algunas ocasiones la totalidad del elemento está conformado por una sola de estas litofacies y, en otros casos, el elemento se conforma por la asociación de dos o tres litofacies (Fig. 5.5). El elemento SG se caracteriza por presentar una base no erosiva, que principalmente refleja la topografía preexistente (Fig. 5.6). De acuerdo con Miall (2006), el elemento SG corresponde a depósitos generados por el emplazamiento de flujos de detrito de diferente densidad.



**Figura 5.5.** Perfil de litofacias del elemento de Depósito de flujos gravitacionales (SG) sobre la barranca de Coatepec.

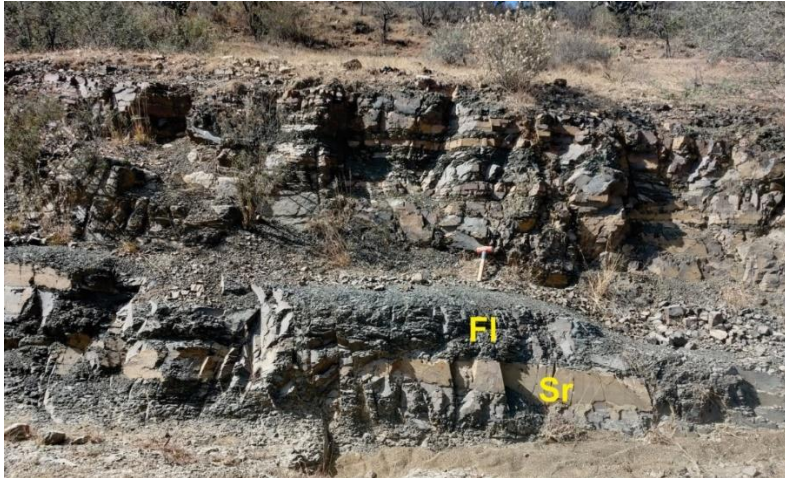


**Figura 5.6.** Fotografía donde se muestra al elemento de Depósito de flujos gravitacionales (SG). Las líneas verdes representan las bases no erosivas del elemento SG, mientras que las líneas anaranjadas representan bases erosivas del elemento GB (Capas y formas de fondo de grava).

### 5.2.2 Elemento Finos de la llanura de inundación (FF)

El elemento Finos de la llanura de inundación (FF) se caracteriza por presentar paquetes tabulares y continuos, compuestos por una alternancia rítmica de las litofacias Sr y Fl que se extienden lateralmente desde decenas a cientos de metros (Fig. 5.7). Este elemento tiene un amplio interés paleontológico debido a su gran abundancia de plantas fósiles. De acuerdo con Miall (2006), el elemento FF representa el registro estratigráfico de eventos de inundación sucesivos en la llanura de inundación adyacente a los canales de un sistema fluvial, donde el proceso de decantación del material fino en suspensión es predominante.

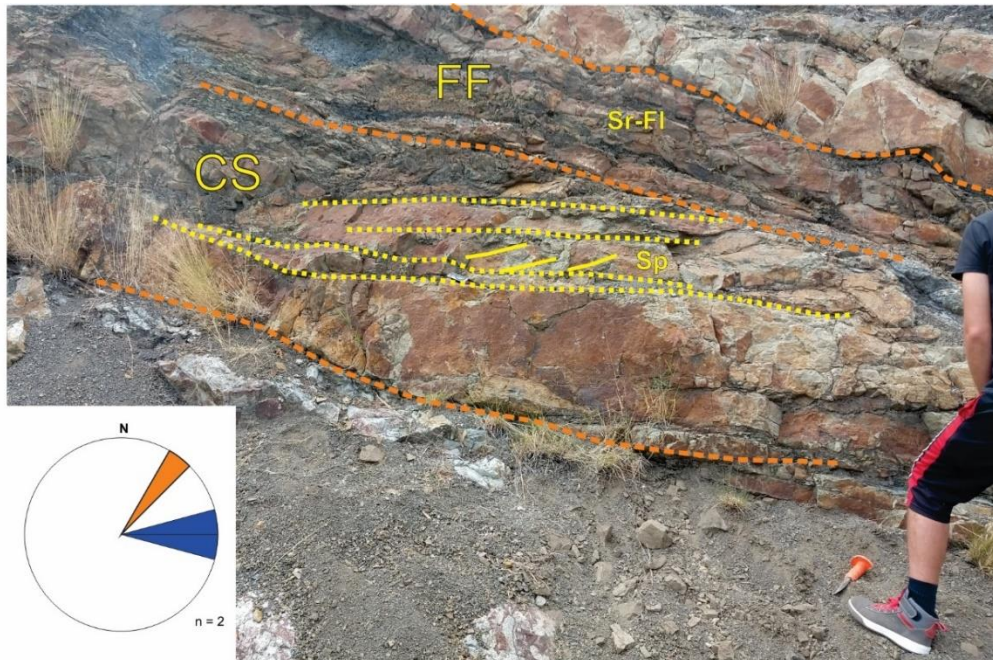




**Figura 5.7** Fotografía del elemento de Finos de la llanura de inundación donde se muestra la asociación de litofacies FI y Sr en estratos delgados y tabulares.

### 5.2.3 Elemento Abanico de desborde (CS)

El elemento Abanico de desborde (CS) está compuesto por cuerpos tabulares centimétricos a decimétricos que se intercalan con los depósitos del elemento FF. El elemento CS se compone por la asociación de litofacies Ss, Sp y Sr. Se conforma por una base erosiva sobreyacida por la litofacies Ss y verticalmente pasa transicionalmente a las litofacies Sp y Sr. El elemento CS se caracteriza por una serie de cliniformes que muestran evidencia de acreción frontal, como lo indica la geometría de los *forsets* que buzcan en la misma dirección que los cliniformes (Fig. 5.8). De acuerdo con Miall (2006), el elemento CS representa abanicos que se forman adyacentemente al margen de los canales de un sistema fluvial durante eventos de ruptura de los diques naturales. Estos eventos propician una expansión del flujo y su consecuente pérdida de competencia debido a un cambio de condiciones confinadas a no confinadas.



- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: orange;">- - -</span> Superficie entre elementos arquitectónicos</li> <li><span style="color: yellow;">- - -</span> Superficie de acreción de clinoformes</li> <li><span style="color: yellow;">- - -</span> Estratificación cruzada</li> </ul> <p><b><u>Elementos arquitectónicos:</u></b></p> <p><b>CS:</b> crevasse splay<br/> <b>FF:</b> finos de la llanura de inundación</p> | <p><b><u>Litofacies:</u></b></p> <p><b>Sp:</b> Arenisca con estratificación cruzada planar<br/> <b>Sr:</b> Arenisca con rizaduras<br/> <b>Fi:</b> Lodolita y arenisca muy fina con laminación plano-paralela de régimen inferior</p> <p><span style="color: blue;">■</span> Forset<br/> <span style="color: orange;">■</span> Clinoforme</p> |
|---|--|

**Figura 5.8.** Fotografía del elemento Abanico de desborde o *crevasse splay* (CS) y las paleocorrientes medidas.

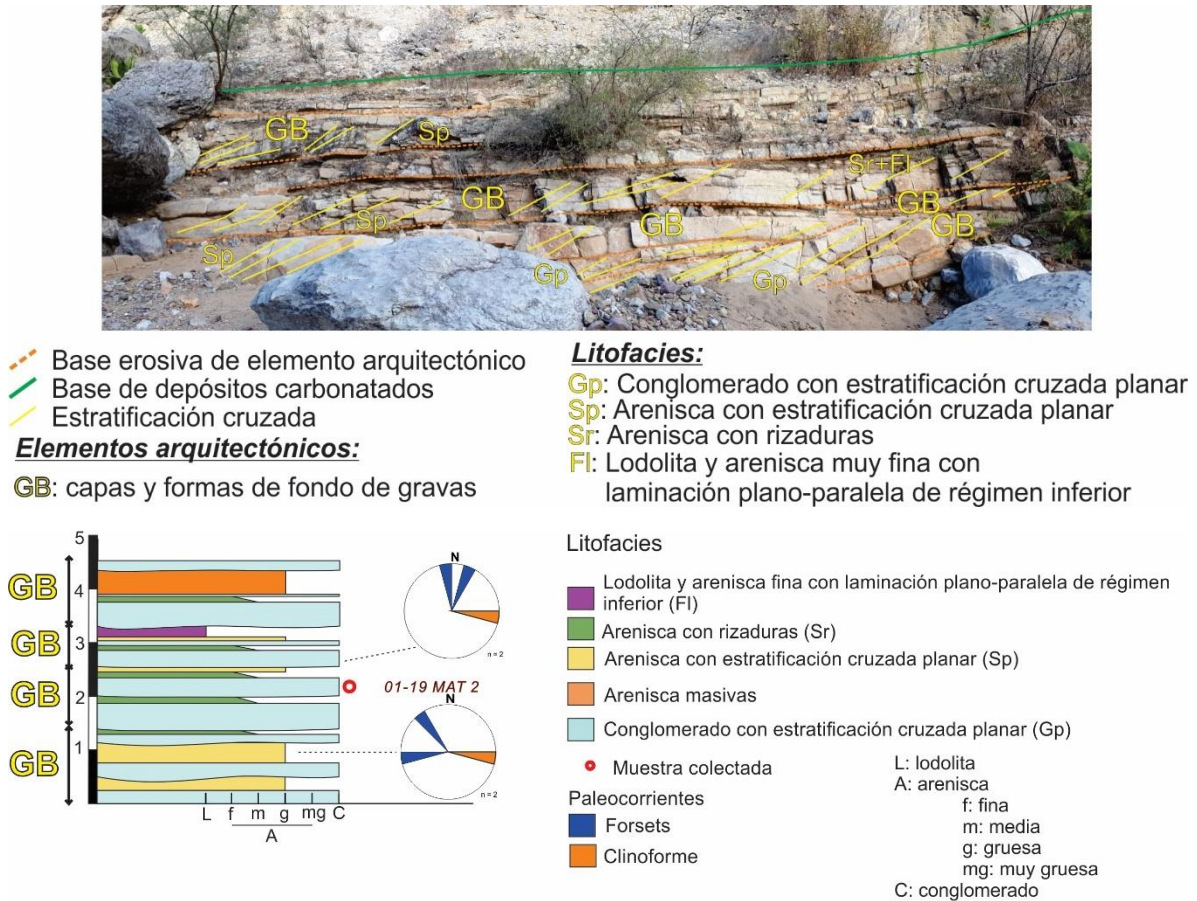
#### 5.2.4 Elemento Dique natural o *levee* (LV)

El elemento Dique natural o *levee* (LV) se caracteriza por ser un cuerpo en forma de cuña compuestos por una alternancia de litofacies Sr y Fi. Se encuentra alternado con el elemento FF y adyacente a los bordes del elemento canal (CH). De acuerdo con Miall (2006), el elemento LV se distribuye paralelamente a los márgenes de los canales y es el resultado del depósito repetido a partir de eventos de desborde.

#### 5.2.5 Elemento Capas y formas de fondo de grava (GB)

Está compuesto por un conjunto de depósitos lenticulares grano-decrecientes que se cortan uno a otro vertical y lateralmente. La base de estos depósitos lenticulares es una superficie erosiva cóncava hacia arriba, la cual es sobreyacida por la litofacies Gp, que hace transición verticalmente a las litofacies Sp, Sr y, finalmente, Fi (Fig.5.9). De acuerdo con Miall (2006), el elemento GB representa el registro estratigráfico de barras transversales que crecen

paralelas a la dirección de corriente. La tendencia grano-decreciente de los depósitos refleja la progresiva pérdida de energía de la corriente fluvial entre un periodo de aguas altas y uno de aguas bajas.

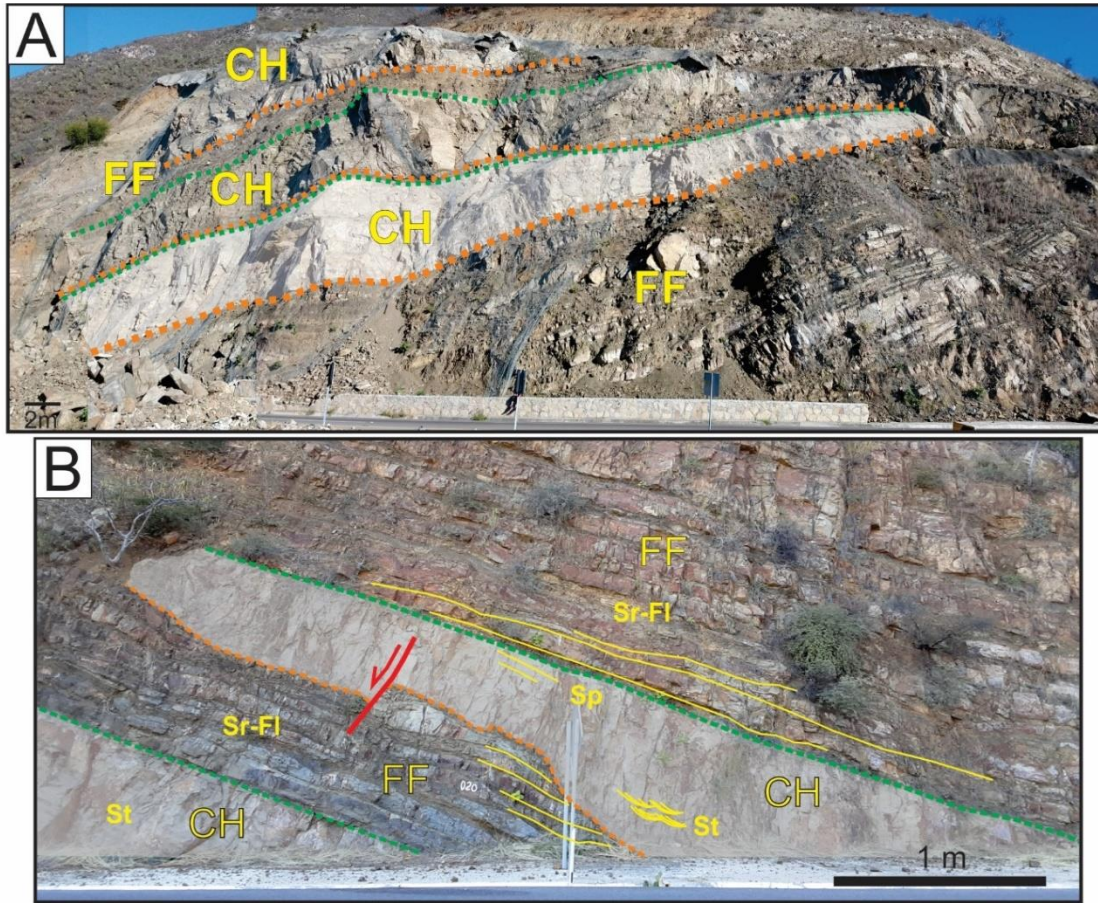


**Figura 5.9.** Arriba: fotomosaico interpretado del elemento de Capas y formas de fondo de grava (GB). Abajo: perfil de litofacies medido sobre el arroyo Barranca Grande, en la localidad de Agua de Mezquite.

### 5.2.6 Elemento Canal (CH)

El elemento Canal (CH) se compone por cuerpos lentiformes de espesor métrico intercalados con los depósitos finos del elemento FF. La extensión lateral de estos cuerpos varía entre ~10 y ~20 m, lo que define una razón espesor/ancho de 1:10 a 1:20 para estos cuerpos (Fig. 5.10A). Lateralmente, estos lentes presentan terminaciones acuñadas. La superficie de base es erosiva y cóncava hacia arriba. El techo, en vez, es representado por una transición gradual a los depósitos finos del elemento FF. Cada cuerpo lentiforme está compuesto por las litofacies Gt, Gp, St, Sp, Sr y Fl, las que definen una tendencia grano-decreciente (Fig. 5.10B).



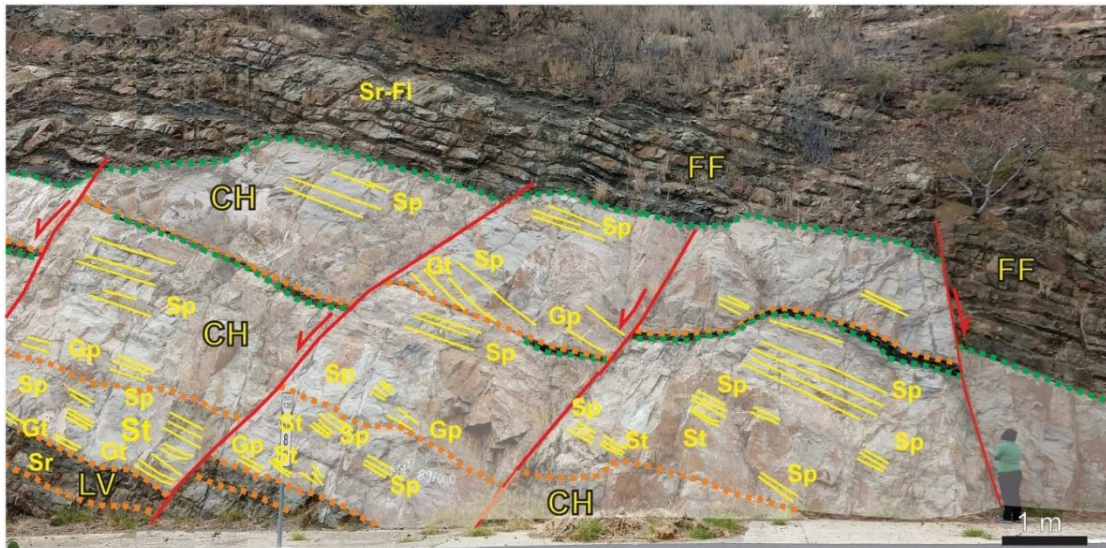


- Base erosiva de elemento arquitectónico
  - Cima no erosiva de elemento arquitectónico
  - Estratificación cruzada
  - ✓ Falla sinsedimentaria
- Elementos arquitectónicos:**
- CH: canal
  - FF: finos de la llanura de inundación
- Litofacies:**
- St: Arenisca con estratificación cruzada
  - Sp: Arenisca con estratificación cruzada planar
  - Sr: Arenisca con rizaduras
  - Fi: Lodolita y arenisca muy fina con laminación plano-paralela de régimen inferior

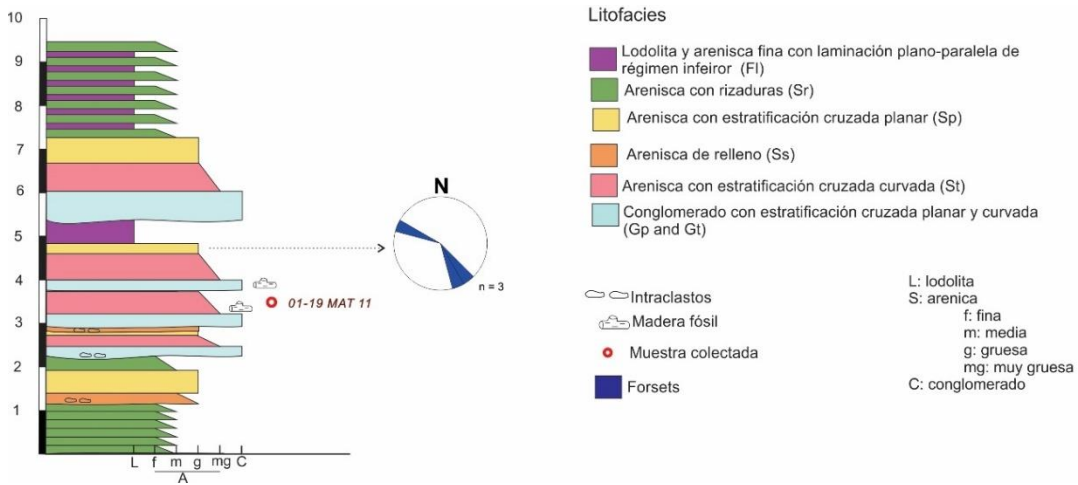
**Figura 5.10.** Fotomosaicos del elemento Canal (CH) donde se muestra: A) la extensión lateral y geometría lentiforme y B) canal con historia simple y las litofacies que lo conforman. Los afloramientos se encuentran sobre el km 89 de la carretera Tehuacán-Oaxaca.

Localmente, varios elementos CH pueden estar apilados y amalgamados, lo que genera paquetes arenosos de decenas de metros, donde cada elemento es delimitado por diversas superficies erosivas sucesivas (Fig. 5.11). En el elemento CH, las litofacies St, Sp y, sobre todo, Sr presentan una geometría montante, lo cual denota que el crecimiento del relleno de estos canales ocurrió predominantemente por agradación vertical, lo cual define su principal característica de depósito. De acuerdo con Miall (2006), el elemento CH representa el registro

estratigráfico de canales cuyo relleno se debe a procesos de acreción vertical con relleno sencillo.



- Base erosiva de elemento arquitectónico
  - Cima no erosiva de elemento arquitectónico
  - Estratificación cruzada
  - Falla sinsedimentaria
- Elementos arquitectónicos:**
- CS: crevasse splay
  - FF: finos de la llanura de inundación
  - LV: levee
- Litofacies:**
- Gt: Conglomerado con estratificación cruzada curvada
  - Gp: Conglomerado con estratificación cruzada planar
  - St: Arenisca con estratificación cruzada curvada
  - Sp: Arenisca con estratificación cruzada planar
  - Sr: Arenisca con rizaduras
  - FI: Lodolita y arenisca muy fina con laminación plano-paralela de régimen inferior



**Figura 5.11.** Arriba: fotomosaico del elemento Canal con relleno multi-historia e interpretado. Abajo: perfil de litofacies medido sobre la carretera Tehuacán-Oaxaca.

### 5.3 Características sedimentológicas de las sucesiones fluviales en el área de estudio

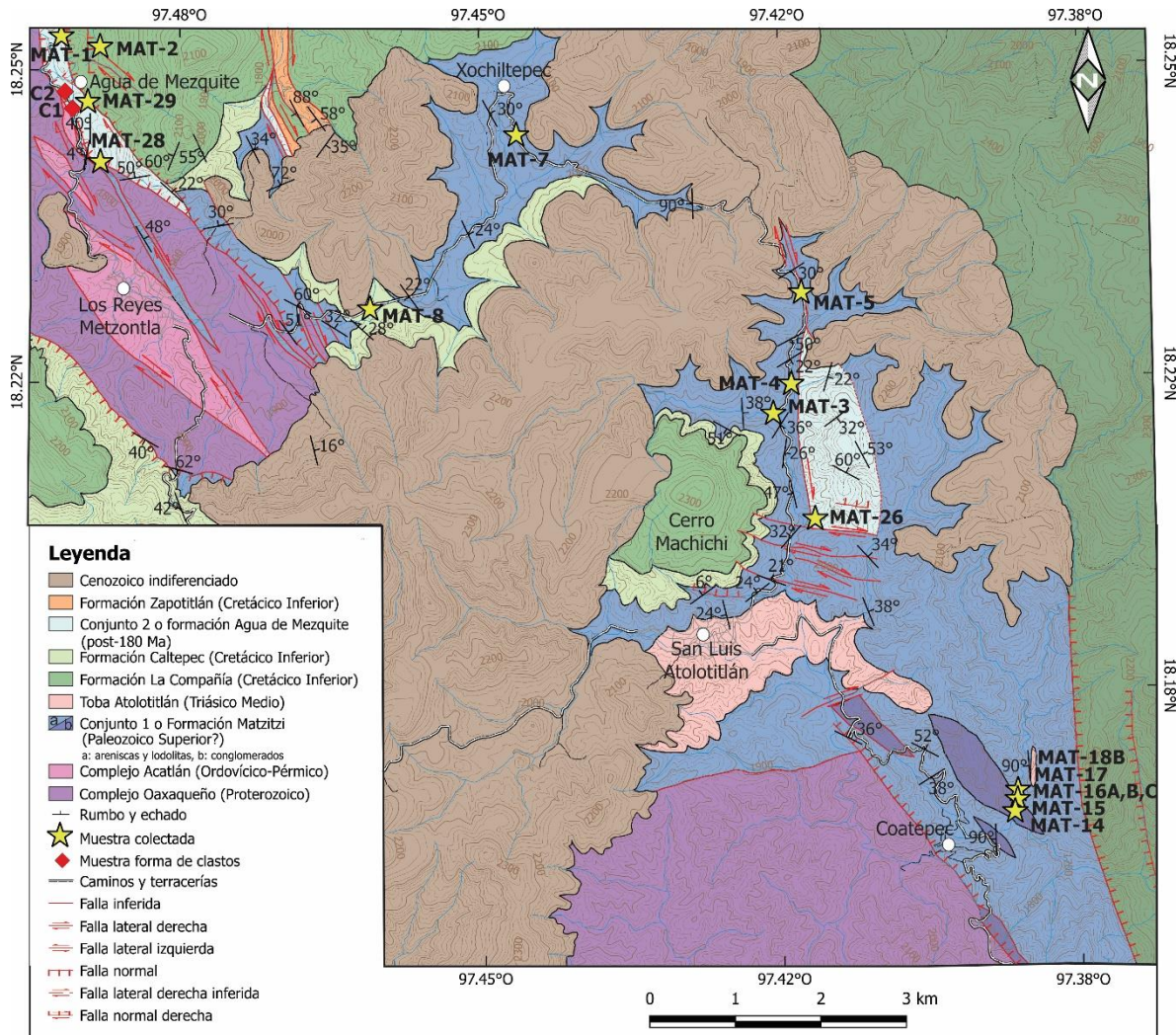
Con base en las características sedimentológicas observadas en cada sucesión fluvial, se realizaron dos mapas geológicos donde se distinguen las diferentes sucesiones fluviales con

base en las diferentes asociaciones de elementos arquitectónicos (Figs. 5.12 y 13). En la Tabla 5.3 se resumen las asociaciones de elementos arquitectónicos de cada unidad fluvial expuesta en el área de estudio. Las sucesiones fluviales previamente cartografiadas como Formación Matzitzi se separaron en dos asociaciones con base en los elementos arquitectónicos. Estas dos asociaciones se denominarán de manera provisional Conjunto 1 y Conjunto 2, y se discutirá al final cual es el significado de esta dualidad (ver **Capítulo 10**).

**Tabla 5.3.** Asociaciones de elementos arquitectónicos en las diferentes sucesiones fluviales en el área de estudio

|   | Elementos arquitectónicos | Litofacies              | Otras observaciones                                       |
|---|---------------------------|-------------------------|---|
| <b>Formación Matzitzi</b>                 |                           |                         |   |
| <b>Conjunto 1</b>                         | SG                        | Gcm, Gci y Gmm          | Clastos esféricos de gneis, arenisca y roca volcánica     |
|   | CH                        | Gt, Gp, Ss, St, Sp y Sr |   |
|   | FF                        | Sr y Fl                 |   |
|   | CS                        | Ss, Sp y Sr             |   |
|   | LV                        | Sr y Fl                 |   |
| <b>Conjunto 2</b>                         | SG                        | Gcm, Gci y Gmm          | Clastos esféricos y alargados de gneis, pedernal y caliza |
|   | GB                        | Gp, St, Sp, Sr y Fl     |   |
| <b>Sucesiones fluviales del Cretácico</b> |                           |                         |   |
| <b>Formación La Compañía</b>              | GB                        | Gt, Gp, St, Sp, Sr y Fl |   |
| <b>Formación Caltepec</b>                 | SG                        | Gcm                     | Clastos con formas alargadas de gneis y esquisto          |
|   | GB                        | Gp, St, Sp, Sr y Fl     | Color rojizo  |



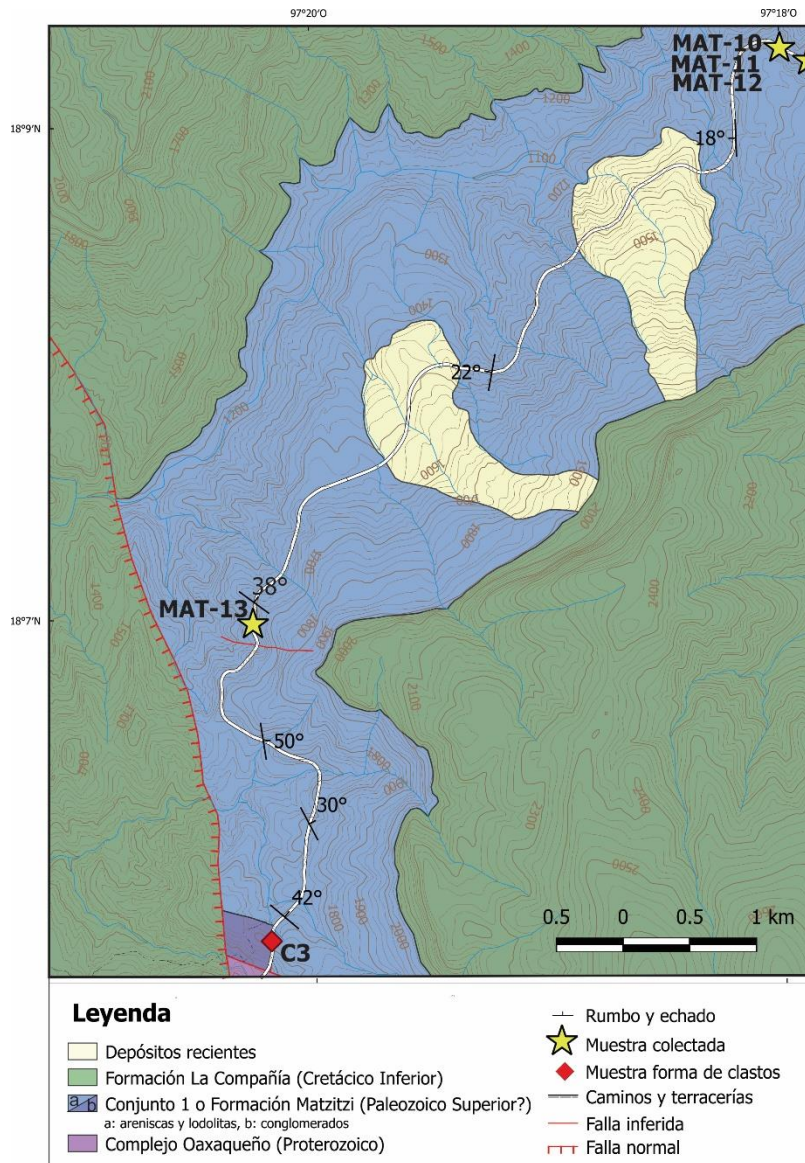


**Figura 5.12.** Mapa geológico del área comprendida entre Agua de Mezquite y Coatepec. La rocas de basamento y la cobertura cenozoico han sido marcadas de acuerdo con Centeno-García *et al.* (2009) y Elías-Herrera *et al.* (2011).

### 5.3.1 Conjuntos de la Formación Matzitzi

El Conjunto 1 de la Formación Matzitzi se caracteriza por la asociación de elementos arquitectónicos CH, LV, CS, FF y SG, en correspondencia a las asociaciones de litofacies reportadas por Centeno-García *et al.* (2009). Se distribuye en la porción NW del área de estudio, entre los poblados de Xochiltepec y Los Reyes Metzontla, y en la porción suroriental, entre Coatepec y el Cerro Machichi (Fig. 5.12). También, aflora sobre la carretera Tehuacán-Oaxaca (Fig. 5.13). Este conjunto sobryace discordantemente y por falla a los gneises del Complejo Oaxaqueño. Sin embargo, comúnmente, sus relaciones de contacto son enmascaradas por el complejo arreglo estructural que caracteriza el área. En efecto, las rocas

de Conjunto 1 se encuentran frecuentemente formando cuñas delimitadas por fallas laterales derechas con componente normal con una orientación NW-SE.



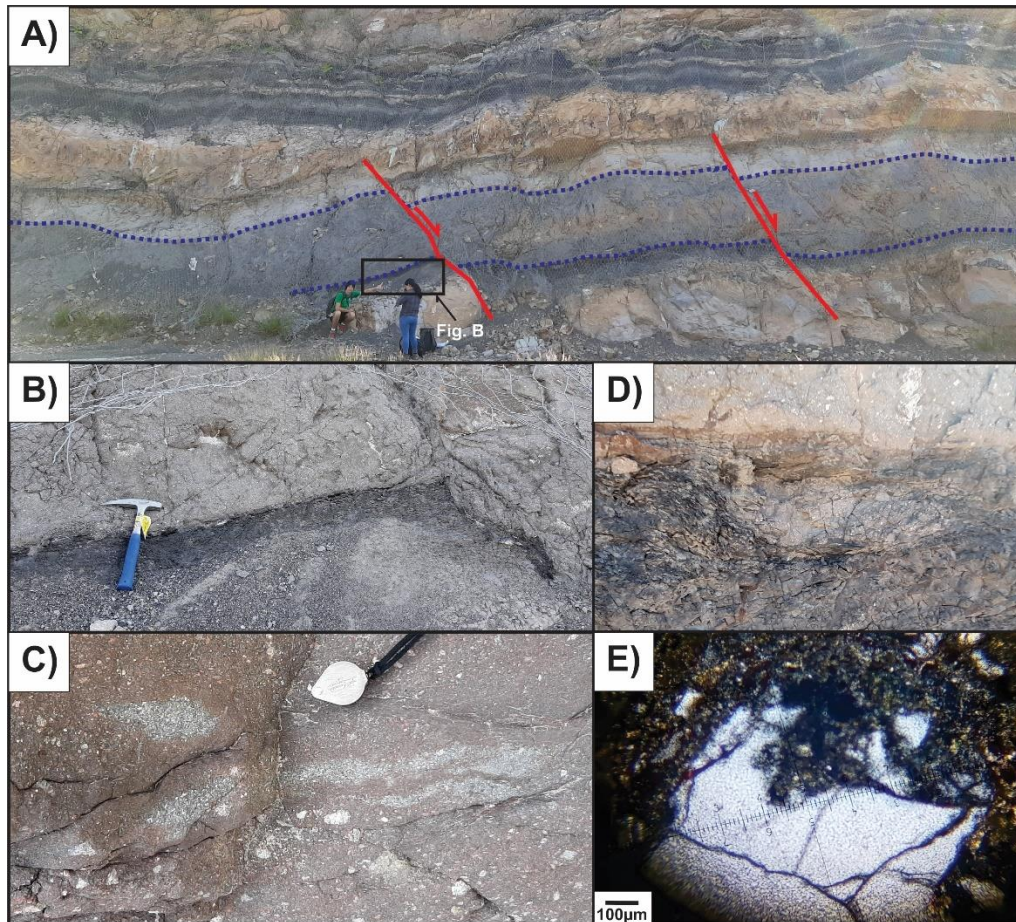
**Figura 5.13.** Mapa geológico del área aledaña a la carretera Tehuacán-Oaxaca.

Texturalmente, el elemento SG del Conjunto 1 se caracteriza por contener clastos muy bien redondeados y formas esféricas. Estos clastos están constituidos por fragmentos de gneis félsico y máfico, rocas volcánicas felsíticas, arenisca y anortosita.

En este trabajo, se reporta por primera vez la presencia de dos depósitos volcánicos adicionales a la felsita de San Luis Atolotitlán, los cuales se encuentran interestratificados



con los depósitos fluviales del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. Estos depósitos volcánicos presentan una geometría tabular (Fig. 5.14A). En ambos casos, estos depósitos sobreyacen a una alternancia de lutita y arenisca en contacto localmente erosivo. En proximidad del contacto, la lutita y arenisca fina son altamente carbonosas y, poco a poco alejándose de este contacto, se hacen cada vez menos carbonosas (Fig. 5.14B). Considerando que el carbón es el resultado de un proceso de transformación de la materia orgánica vegetal por la temperatura, se considera que esta variación en el contenido de carbón en los depósitos subyacentes a las rocas volcánicas pueda estar relacionado con un gradiente de temperatura vertical propiciado por el emplazamiento de estos depósitos volcánicos calientes. Por lo contrario, el contacto superior de estos depósitos volcánicos con los depósitos fluviales es neto, no erosivo y no presenta evidencia de procesos térmicos. Estos depósitos volcánicos son mal seleccionados y predominantemente masivos y se componen de fragmentos líticos, fragmentos de feldespato, cuarzo y biotita cloritizada embebidos en una matriz de tamaño ceniza (Fig. 5.14C). En proximidad de la base, es posible observar numerosos intraclastos de la lutita y la arenisca fina subyacentes (Fig. 5.14C), lo que pone en evidencia el carácter erosivo de estos flujos volcánicos. Por otro lado, a lo largo del contacto basal, los depósitos de arenisca y lutita subyacentes presentan peperitas (Fig. 5.14D), las cuales se forman típicamente por la interacción entre un cuerpo volcánico caliente y todavía en un estado plástico y un depósito sedimentario no litificado y saturado en agua (Skilling *et al.*, 2002). Petrográficamente, se caracterizan por tener una textura porfídica, con una alta densidad de xenocristales de feldespato mesopertítico y cuarzo de origen metamórfico que, localmente, presenta bahías de disolución, fenocristales de plagioclasa, biotita cloritizada y fragmentos de roca en una matriz de ceniza (Fig. 5.15E).



**Figura 5.14.** Fotografías que muestran algunos detalles de los depósitos de ceniza del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. A) geometría tabular y paralela a la estratificación, B) contacto basal del depósito volcánico con los depósitos fluviales en los cuales se observa una disminución progresiva de carbón con la distancia del contacto, como lo marca la variación progresiva en el color, C) intraclastos de arenisca en la parte inferior del depósito volcánico, D) peperita desarrollada a lo largo del contacto basal del depósito volcánico y E) fotomicrografía de una muestra de depósito de ceniza, donde se observa un cristal de cuarzo con bahías de disolución.

El Conjunto 2 de la Formación Matzitzi se compone exclusivamente por los elementos arquitectónicos GB y SG. Se distribuye en las porciones occidentales del área de estudio, cerca del poblado de Agua de Mezquite, y al oriente del Cerro Machichi (Fig. 5.12). Sobreyace discordantemente a los gneises del Complejo Oaxaqueño. Sin embargo, debido a la complejidad estructural del área, ninguna relación estratigráfica con las demás unidades sedimentarias ha sido observada en campo. También en este caso, estos depósitos conforman cuñas que están delimitadas por fallas con orientación NW-SE.

A diferencia del Conjunto 1, el elemento SG del Conjunto 2 presenta numerosos clastos con formas alargadas y, localmente, exhibe imbricación. Este conjunto contiene clastos de gneis

félsico y máfico, se pueden observar abundantes clastos de rocas volcánicas máfica-intermedia y algunos clastos de pedernal negro y caliza *mudstone*, que en el Conjunto 1 son ausentes. Algunos fragmentos volcánicos presentan formas y bordes irregulares, recordando formas típicas de peperitas (Fig. 5.15). Sin embargo, un estudio más detallado se tendrá que hacer para reconocer si de verdad se trata de estas.



**Figura 5.15.** Clasto de fragmentos volcánico con forma irregular dentro de la litofacies Gmm del Conjunto 2 de la Formación Matzitzi.

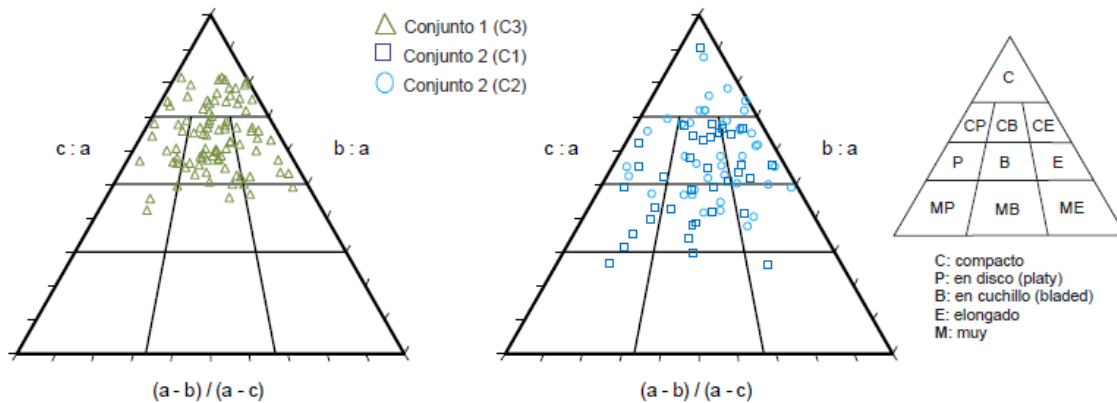
### 5.3.2 Sistemas fluviales del Cretácico

Las sucesiones fluviales del Cretácico agrupan las formaciones Caltepec y La Compañía. Sobreyacen discordantemente a las rocas del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi y se distribuyen principalmente en los sectores NW y E del área de estudio (Fig. 5.12). Particularmente, la formación Caltepec se caracteriza por una intercalación de los elementos GB y SG que muestran típicamente una coloración rojiza. En estos depósitos, los clastos son alargados y muy bien redondeados. Se componen de fragmentos de gneis, esquisto, rocas volcánicas y arenisca. La formación La Compañía se compone de una intercalación del elemento GB con depósitos de calizas.

## 6 Análisis dimensional de clastos

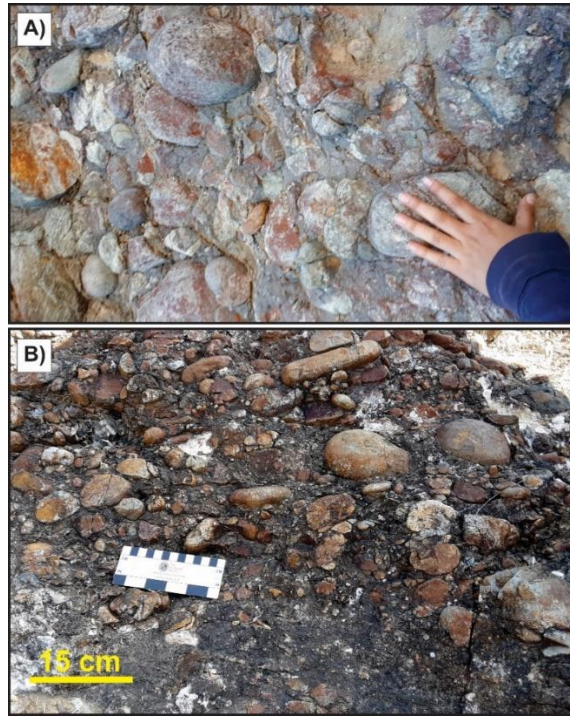
Para mostrar las diferencias observadas en las facies conglomeráticas de los Conjuntos 1 y 2 de la Formación Matzitzi, se analizó la forma de 91 clastos de un afloramiento del elemento SG del Conjunto 1 (C3 en la Fig. 5.13). Los resultados de las mediciones de las dimensiones de los clastos se presentan en el **Anexo 1**. Los clastos de este depósito son compactos, compactos-en forma de disco (*platy*), compactos- en forma de cuchillo (*bladed*) y compactos-elongados (Figs. 6.1 y 6.2). La relación eje corto/largo varía de 0.43 a 0.82.

Para el Conjunto 2 se analizaron dos afloramientos (C1 y C2 en la Fig. 5.12), correspondientes a los elementos SG y GB, y para cada uno se analizaron 41 y 36 clastos respectivamente. Los clastos del Conjunto 2 al igual que los del Conjunto 1 son compactos, compactos-en forma de disco (*platy*), compactos- en forma de cuchillo (*bladed*) y compactos-elongados; sin embargo, presentan una cantidad significativa de clastos con formas en plato, cuchillo y elongadas y hasta en muy en plato y muy elongadas (Figs. 6.1 y 6.2). La relación eje corto/largo varía entre 0.26 y 0.9.



**Figura 6.1.** Diagrama ternario de Sneed y Folk (1958) con las modificaciones hechas por Cann *et al.* (2014) y Graham y Midgley (2000) para los clastos de los conglomerados de los Conjuntos 1 y 2 de la Formación Matzitzi. Donde a: eje largo, b: eje intermedio y c: eje corto de un clasto.





**Figura 6.2.** Textura de los conglomerados de A) Conjunto 1 y B) Conjunto 2 de la Formación Matziti.

## 7 Petrografía de areniscas

Se realizó el análisis petrográfico y se determinaron modas detríticas para 22 muestras de arenisca, 15 corresponden al Conjunto 1 cartografiado originalmente como Formación Matzitzi, 5 muestras más del Conjunto 2 y las 2 últimas muestras corresponden a las sucesiones fluviales del Cretácico (formaciones Caltepec y La Compañía). Las clases tomadas en este trabajo y los resultados del conteo de puntos se presentan en los **Anexos 2A-C**.

### 7.1 Conjunto 1

Del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi se analizaron muestras de los elementos arquitectónicos CH y SG. A continuación se presentan los resultados.

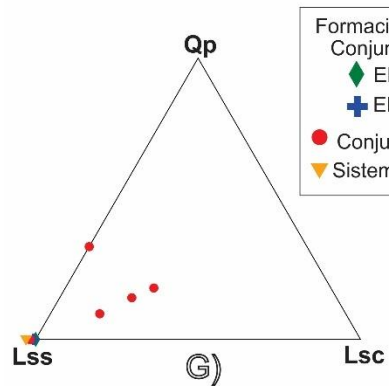
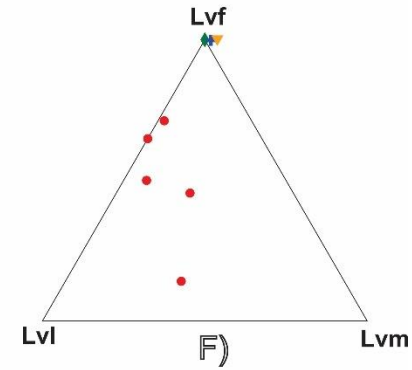
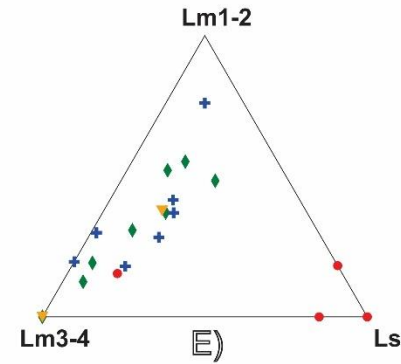
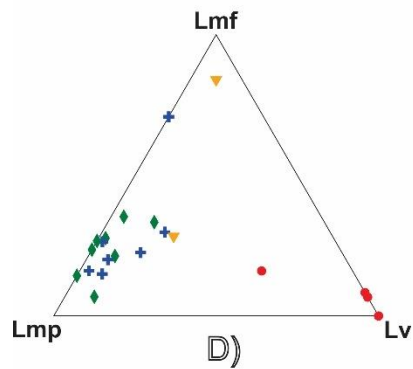
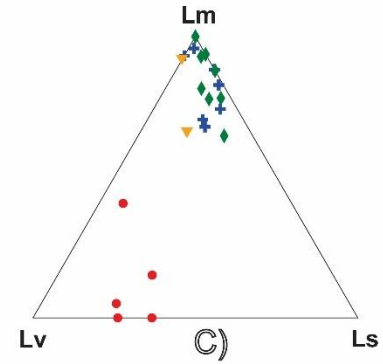
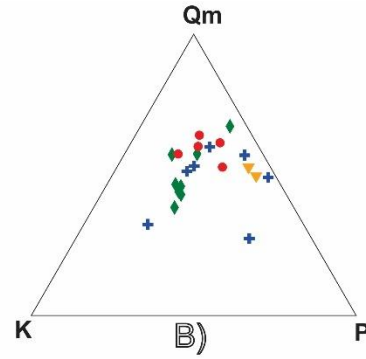
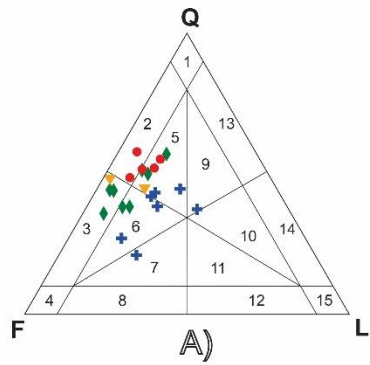
#### 7.1.1 Elemento CH

Las muestras colectadas del elemento CH son areniscas gruesas, mal clasificadas, compuestas por clastos subredondeados a subangulosos que presentan contactos cóncavos-convexos a suturados. El pegamento de estas muestras es una matriz compuesta por hojuelas de minerales arcillosos y óxidos que representan menos del 5% del volumen total de cada muestra. En el diagrama QFL de Garzanti (2016), estas muestras grafican en los campos de arenisca cuarzo-feldespática, lito-cuarzo-feldespática y lito-feldespato-cuarzosa (Fig. 7.1A), con una composición promedio %Q: 35.9-57.1%, %F: 27.8-57.7% y %L: 4.1-13.2%. El cuarzo y el feldespato derivan principalmente de fragmentos faneríticos metamórficos con textura granoblástica ameboide y poligonal (Fig. 7.2A y B). La textura granoblástica ameboide es expresada por la presencia de microestructuras de recristalización por migración de borde de grano (Fig. 7.2A), las cuales sugieren una roca fuente metamórfica de temperatura media a alta (Stipp *et al.*, 2002; Passchier y Trouw, 2005). En algunos casos, el cuarzo presenta inclusiones aciculares de rutilo a lo largo de los principales planos cristalográficos (Fig. 7.2C), lo cual es típico de rocas metamórficas de temperatura alta (*e.g.* Sato y Santosh, 2007). Los cristales de cuarzo muestran comúnmente extinción ondulada y dominios de subgranos, y localmente presentan una estructura de ajedrez, la cual se ha reportado en la literatura para rocas de temperatura alta (>700°C; Fig. 7.2D; Passchier y Trouw, 2005). En estas rocas, el feldespato se distribuye casi equitativamente entre plagioclasa y feldespato potásico (Fig. 7.1B). El feldespato potásico comúnmente presenta

microestructuras pertítica y mesopertítica (Fig. 7.2E), esta última es típica en rocas de temperatura alta (>700°C; Jiao y Guo, 2011).

Los líticos metamórficos son los más abundantes y se encuentran en porcentajes modales entre 64.7 y 100% del total de este tipo de fragmentos y definen una petrofacies metamorfológica (*sensu* Garzanti, 2019) en el diagrama ternario LmLvLs (Fig. 7.1C). Los líticos sedimentarios están presentes en cantidades inferiores variables entre 5.3 y 26.3%. Finalmente, los líticos volcánicos se encuentran en cantidades subordinadas, siempre menores a 8.8% del total de líticos.

Los líticos metamórficos más abundantes son los del tipo metapelítico y metapsammítico/metafelsítico (Fig. 7.1D) y cuyo rango metamórfico varía entre 2 y 4 (Fig. 7.1E). Los líticos metapelíticos de rango 2 están representados por pizarras caracterizadas por una foliación continua, la cual está definida por minerales arcillosos y cantidades subordinadas de clorita. Los líticos metapelíticos de rango 3 y 4 están compuestos por esquistos de mica blanca, los tamaños de los cristales de mica blanca son de unas decenas de micras para el rango 3 (Fig. 7.3A) y mayores a 62  $\mu\text{m}$  en el rango 4 (Fig. 7.3B). Los líticos metapsammíticos/metafelsíticos de rango 2 están compuestos por rocas cuarzosas con una textura predominantemente granoblástica y se caracteriza por una foliación espaciada y disyuntiva definida por la orientación de hojuelas de minerales arcillosos y óxidos que se concentran a lo largo de planos de disolución por presión (Fig. 7.3C). Los líticos metapsammíticos/metafelsíticos de rango 3 están compuestos por esquistos cuarzosos a esquistos cuarzo-micáceos que presentan una foliación espaciada disyuntiva dada por la orientación preferencial de micas y localmente de cuarzo. Los líticos de este tipo en rango 4 se caracterizan por presentar microestructuras de recristalización por rotación de subgrano (Fig. 7.3D).



Formación Matzitzi  
 Conjunto 1  
 ◆ Elemento CH  
 + Elemento SG  
 ● Conjunto 2  
 ▼ Sistemas fluviales cretácicos

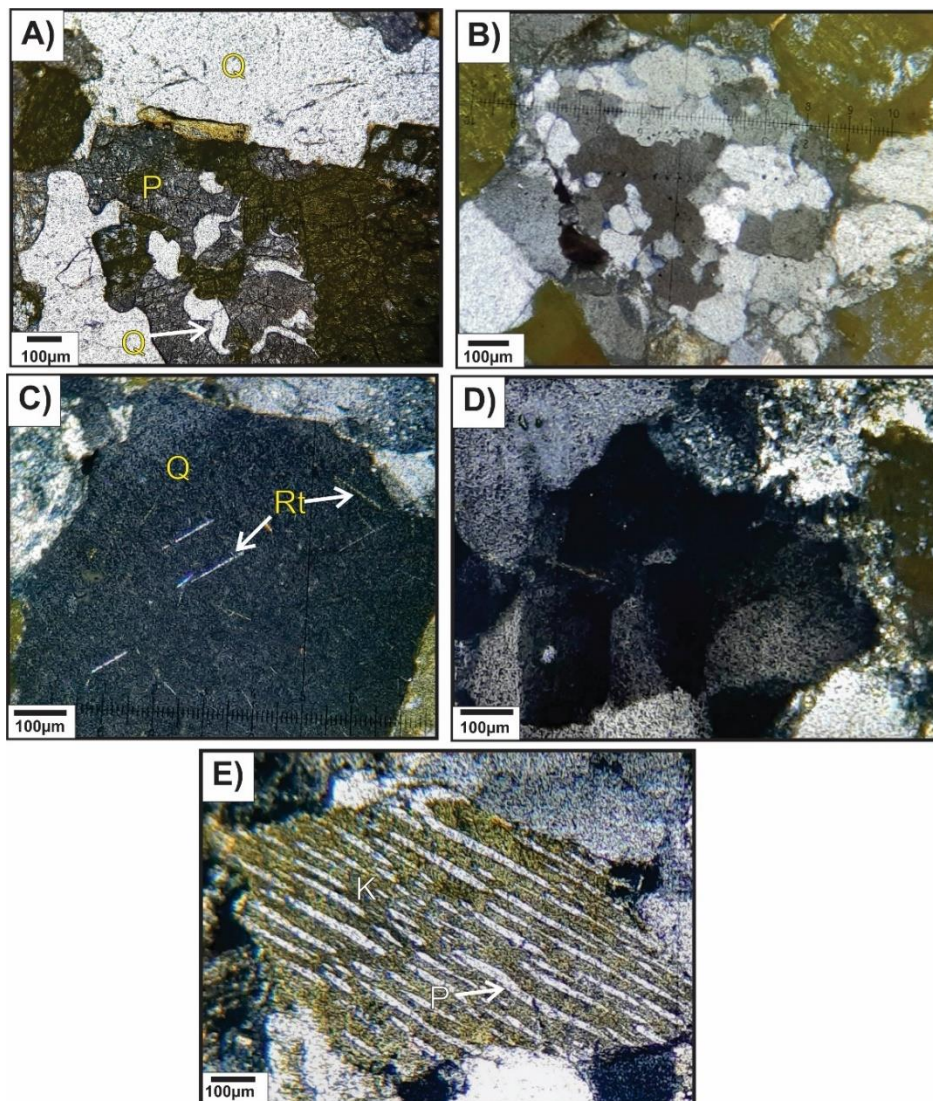
- 1: cuarzosa
- 2: feldespato-cuarzosa
- 3: cuarzo-feldespática
- 4: feldespática
- 5: lito-feldespato-cuarzosa
- 6: lito-cuarzo-feldespática
- 7: cuarzo-lito-feldespática
- 8: lito-feldespática

- 9: feldespato-lito-cuarzosa
- 10: feldespato-cuarzo-lítica
- 11: cuarzo-feldespato-lítica
- 12: feldespato-lítica
- 13: lito-cuarzosa
- 14: cuarzo-lítica
- 15: lítica



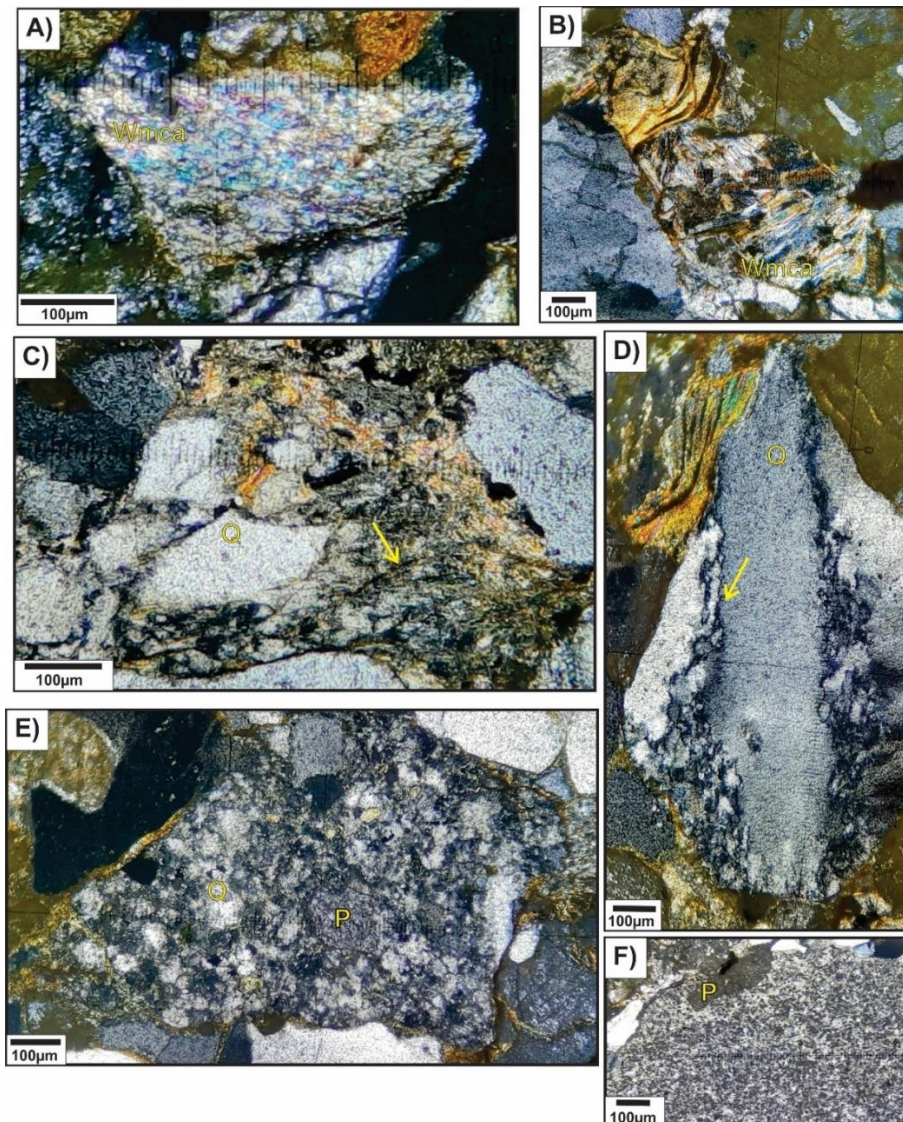
**Figura 7.1.** Diagramas ternarios que muestran las variaciones composicionales de las muestras analizadas. A) diagrama de clasificación de areniscas de Garzanti (2016) que presenta Q: cuarzo total, F: feldespato total y L: líticos totales, B) diagrama QmKP, donde Qm: cuarzo monocristalino, K: feldespato potásico y P: plagioclasa, C) diagrama LmLvLs, donde Lm: líticos metamórficos, Lv: líticos volcánicos y Ls: líticos sedimentarios, D) diagrama LmLmpLv, donde Lmf: líticos metafelsíticos, Lmp: líticos metapelíticos y Lv: líticos volcánicos, E) diagrama Lm1-2Lm3-4Ls, donde Lm1-2: líticos metamórficos de rango 1 a 2, Lm3-4: líticos metamórficos de rango 3 a 4 y Ls: líticos sedimentarios, F) diagrama LvLvlLvm, donde Lvf: líticos volcánicos felsíticos, Lvl: líticos volcánicos *lathwork* y Lvm: líticos volcánicos microlíticos, y G) diagrama QpLssLsc, donde Qp: cuarzo policristalino, Lss: líticos sedimentarios siliciclásticos y Lsc: líticos sedimentarios carbonatados.

Localmente, algunas muestras presentan líticos metabásicos de rango 2 a 3. Los fragmentos de rango 2 son metabasitas de clorita y epidota, mientras que los fragmentos de rango 3 son metabasitas de clinozoisita y clorita. Subordinadamente, se pueden encontrar líticos metacarbonatados con texturas granoblásticas poligonales.



**Figura 7.2.** Fotomicrografías de los fragmentos faneríticos de las muestras del elemento CH del Conjunto 1 de la Formación Matzitzí. A) fragmento policristalino de cuarzo (Q) y feldespato mimerquíptico con microestructuras de migración de borde de grano, B) fragmento de cuarzo con textura granoblástica poligonal, C) cristal individual de cuarzo con inclusiones aciculares de rutilo (Rt), D) cristal de cuarzo con extinción en forma de tablero de ajedrez y E) fragmento individual de feldespato potásico mesoperfítico, K: feldespato potásico y P: plagioclasa.

El porcentaje restante de líticos está representado por cantidades subordinadas de líticos sedimentarios y volcánicos. Por un lado, los líticos sedimentarios son del tipo siliciclástico y están representados por limolitas cuarzosas y cuarzo arcillolitas (Fig. 7.3E). Por otro lado, los líticos volcánicos son del tipo felsítico y se caracterizan por ser porfídicos con fenocristales de cuarzo y feldespato embebidos en una matriz microcristalina de cuarzo, feldespato y óxidos (Fig. 7.3F).

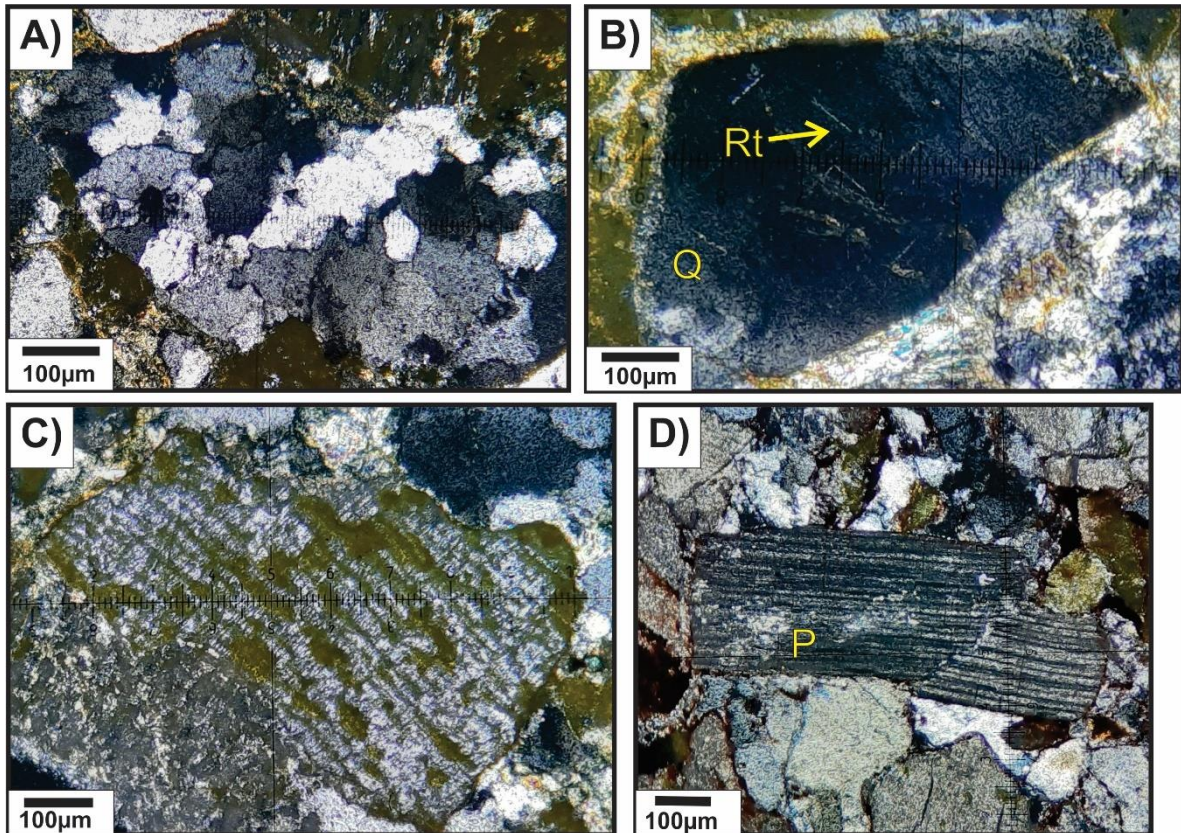




**Figura 7.3.** Fotomicrografías de líticos más representativos de las muestras del elemento CH del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. A) Lítico metapelítico de rango 3 con foliación continua definida por pequeños cristales de mica blanca (Wmca), B) Lítico metapelítico de rango 4 con foliación continua definida por cristales de mica blanca mayores a 62  $\mu\text{m}$ , C) Lítico metapsammítico/metafelsítico de rango 2 con foliación espaciada definida por superficies de disolución por presión (flecha amarilla), D) Lítico metapsammítico/metafelsítico de rango 4 con microestructura de recristalización por rotación de subgrano (flecha amarilla), E) Lítico sedimentario siliciclástico de limolita arenosa de cuarzo (Q) y plagioclasa (P) y F) lítico volcánico felsítico porfídico y con fenocristal de plagioclasa (P).

### 7.1.2 Elemento SG

Este conjunto de muestras es representativo de la matriz de conglomerados soportados por la matriz interpretados como el elemento de Depósitos de flujos gravitacionales (SG). Las muestras colectadas son areniscas gruesas, mal clasificadas, con partículas subredondeadas a subangulosas que presentan contactos cóncavos-convexos, tangenciales y en menor medida suturados. Los granos arenosos están ensamblados por hojuelas de minerales arcillosos en abundancia menor al 5% del volumen total de cada muestra. En el diagrama QFL de Garzanti (2016) grafican en los campos de arenisca lito-cuarzo-feldespática, cuarzo-lito-feldespática, lito-feldespato-cuarzosa y feldespato-lito-cuarzosa (Fig. 7.1A). La composición promedio de este conjunto de areniscas es Q: 21-44.6%, F: 28.2-56.6% y L: 16.3-34.4%. Estas rocas muestran un ligero enriquecimiento en líticos con respecto a las muestras del elemento CH de la Formación Matzitzi (Fig. 7.1A). En el diagrama QmKP (Fig. 7.1B) se observa que la mayoría de las muestras presentan concentraciones equivalentes de plagioclasa y feldespato potásico. Solamente dos muestras presentan una concentración netamente mayor de plagioclasa. Al igual que las areniscas del elemento CH, el cuarzo y el feldespato en estas rocas proceden de fragmentos faneríticos metamórficos, como lo evidencian los dominios de subgrano en tablero de ajedrez, las microestructuras de migración de borde de grano (Fig. 7.4A), las inclusiones aciculares de rutilo en los cristales de cuarzo (Fig. 7.4B) y la microestructura mesopertítica en el feldespato potásico (Fig. 7.4C). Es común encontrar cristales de plagioclasa con maclas mecánicas o con fracturas producidas por compactación (Fig. 7.4D).



**Figura 7.4.** Fotomicrografías de los componentes faneríticos de las muestras del elemento SG del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. A) fragmento fanerítico y policristalino con estructura de migración de borde de grano, B) cristal individual de cuarzo con inclusiones aciculares de rutilo (Rt), C) cristal individual de feldespato potásico mesoperfítico y D) cristal individual de plagioclasa (P) fracturado por compactación.

Al igual que las areniscas del elemento CH, en este conjunto de muestras los líticos metamórficos son los más abundantes, con porcentajes que varían entre 67.9 y 95.8% (Fig. 7.1C). Por lo tanto, estas muestras definen una petrofacies metamorfoclástica en el diagrama LmLvLs (*sensu* Garzanti, 2019). Los líticos sedimentarios están presentes en abundancias menores, alcanzando porcentajes de 20.6%, mientras que, los líticos volcánicos presentan proporciones iguales o menores a 12.5%.

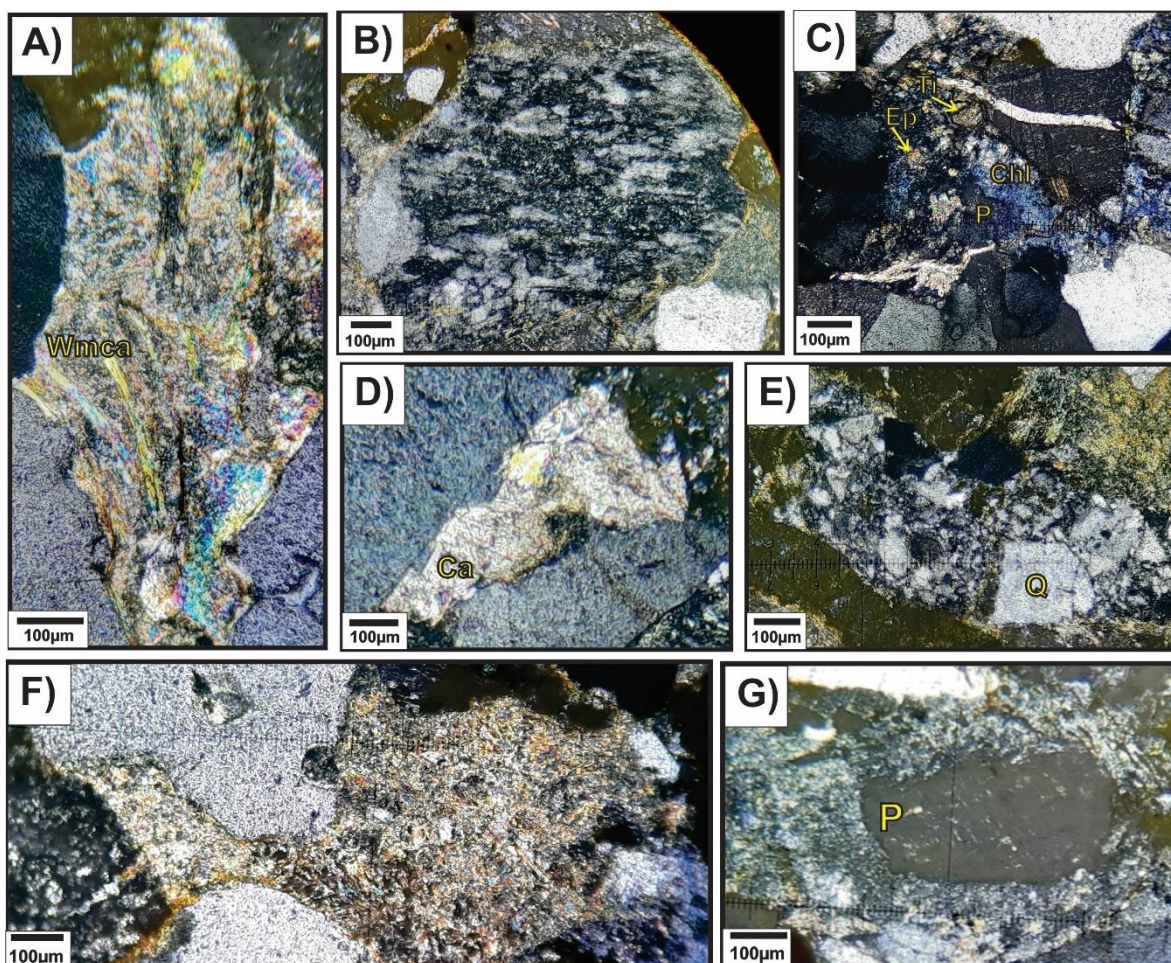
Los líticos metamórficos más abundantes son los metapelíticos y metapsammíticos/metafelsíticos de rango dominante entre 2 y 3 (Figs. 7.1D, 7.5A y 7.5B), excepto para una muestra, en la cual los líticos metabasíticos de rango 2 a 3 son los más abundantes. Los líticos metabasíticos de rango 2 están representados por metabasitas de clorita y epidota, con cantidades subordinadas de titanita (Fig. 7.5C). Los de rango 3



corresponden a metabasitas de clorita y clinozoisita. En menor proporción es posible encontrar líticos metacarbonatados, los cuales están compuestos por cristales de calcita con textura granoblástica poligonal (Fig. 7.5D).

Los líticos sedimentarios están representados por fragmentos de limolitas y limolita arenosa de cuarzo (Fig. 7.5E) y arcillolita que muestran evidencias de deformación por compactación, formando una pseudomatriz (*sensu* Dickinson, 1970; Fig. 7.5F).

Los líticos volcánicos están representados únicamente por la variedad felsítica. Estos fragmentos presentan textura porfídica con fenocristales de cuarzo en una matriz microcristalina de cuarzo, feldespato y óxidos (Fig. 7.5G).



**Figura 7.5.** Fotomicrografías de líticos más representativos de las muestras del elemento SG del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. A) lítico metapelítico de rango 4 con foliación definida por cristales de mica blanca (Wmca) mayores a  $62\mu\text{m}$ , B) lítico metapsammítico/metafelsítico de rango 2 con textura nematoblástica definida por la orientación de cristales de cuarzo, C) lítico metabasítico de rango 2 con paragénesis epidota (Ep)+ clorita (Chl)+ plagioclasa (P)+ titanita (Ti), D) cristales de calcita (Ca) en lítico metacarbonatado, E) lítico sedimentario siliciclástico de limolita arenosa cuarzosa (Q), F) lítico sedimentario siliciclástico de

arcillolita deformado, formando una pseudomatriz y G) lítico volcánico felsítico porfídico con fenocristal de plagioclasa (P).

## 7.2 Conjunto 2

Del Conjunto 2 se colectaron 5 muestras de los elementos SG y GB. Estas muestras corresponden a arenisca media a gruesa, mal clasificada, con partículas subredondeadas a subangulosas con contactos tangenciales, cóncavos-convexos y subordinadamente suturados. Las areniscas están ensambladas por una matriz arcillosa que representa menos del 5% del volumen total de las muestras. En el diagrama QFL de Garzanti (2016) grafican en los campos de arenisca feldespatocuarzosa y lito-feldespatocuarzosa, graficando similarmente a las muestras del elemento CH del Conjunto 1 (Fig. 7.1A). La composición promedio de este conjunto de areniscas es Q: 48.6 a 57.9%, F: de 30.6 a 43.2% y L: de 5.7 a 14.2%. En el diagrama QmKP (Fig. 7.1B), las muestras presentan cantidades similares de plagioclasa y feldespato potásico. Tanto el cuarzo como el feldespato derivan principalmente de fragmentos metamórficos faneríticos y presentan microestructuras de migración de borde de grano, inclusiones de rutilo acicular en el cuarzo y feldespato potásico mesopertítico.

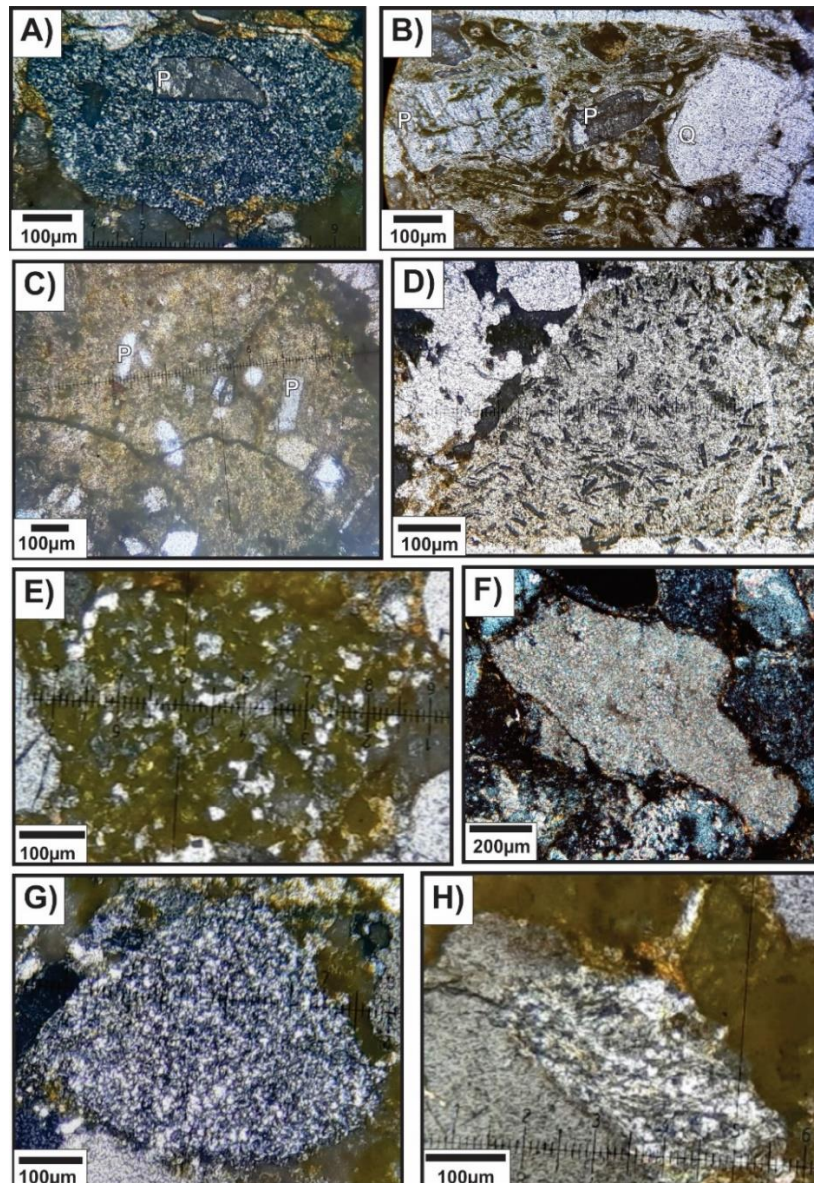
En el diagrama LmLvLs (Fig. 7.1C) se observa que los líticos volcánicos son los más abundantes (51.9 a 73.9% de los líticos totales), definiendo en este caso una petrofacies volcanoclástica (*sensu* Garzanti, 2019). Después, le siguen los líticos sedimentarios cuya proporción va de 7.4 a 36.6%. Los líticos metamórficos son los menos abundantes, los cuales pueden o no estar presentes en las muestras, y cuando lo están alcanzan porcentajes de hasta 15.2%.

Los líticos volcánicos están representados por una gama más amplia en este tipo de fragmentos, siendo los más abundantes los de la clase felsítica, seguido por los *lathwork* y por último los del tipo microlíticos (Fig. 7.1E). Los líticos volcánicos felsíticos presentan una textura porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa en una matriz microcristalina compuestas por cuarzo, feldespato y óxidos (Fig. 7.6A) y algunos muestran textura reomórfica (Fig. 7.6B). Los líticos volcánicos *lathwork* presentan una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa en una matriz hipocristalina constituida de microlitos de plagioclasa y vidrio (Fig. 7.6C). Finalmente, los líticos microlíticos presentan una textura afanítica con cristales de plagioclasa menores a 62  $\mu\text{m}$  (Fig. 7.6D).



Los líticos sedimentarios también presentan una gama más amplia en estas muestras (Fig. 7.1F). Los líticos sedimentarios siliciclásticos son los más abundantes y están representados por limolita y limolita arenosa, mal clasificadas y compuestas por cuarzo y feldespato (Fig. 7.6E). Le siguen los líticos sedimentarios carbonatados y que corresponden a fragmentos compuestos en su totalidad de micrita y clasifican como caliza *mudstone* (Fig. 7.6F). También, es posible observar que hay una mayor abundancia de cuarzo policristalino con respecto a las muestras del Conjunto 1 (Fig. 7.6G).

Cuando est n presentes, los líticos metamórficos corresponden a metapelitas de rango 3 y en menor medida metapsammitas/metafelsitas de rango 2 a 3 (Fig. 6.6H).



**Figura 7.6.** Fotomicrografías de los líticos más representativos de las muestras del Conjunto 2 de la Formación Matzitzi. A) lítico volcánico felsítico porfídico con fenocristal de plagioclasa (P) en una matriz microcristalina de cuarzo y plagioclasa, B) lítico volcánico felsítico reomórfico con fenocristales de cuarzo (Q) y plagioclasa (P), C) lítico volcánico *lathwork* porfídico y con fenocristales de plagioclasa (P), D) lítico volcánico microlítico, E) lítico sedimentario siliciclástico de limolita arenosa, F) lítico sedimentario carbonatado de caliza *mudstone*, G) cuarzo policristalino y H) lítico metapsammítico/metafelsítico de rango 3 con foliación continua definida por la orientación de cristales pequeños de mica blanca.

### 7.3 Sistemas fluviales del Cretácico

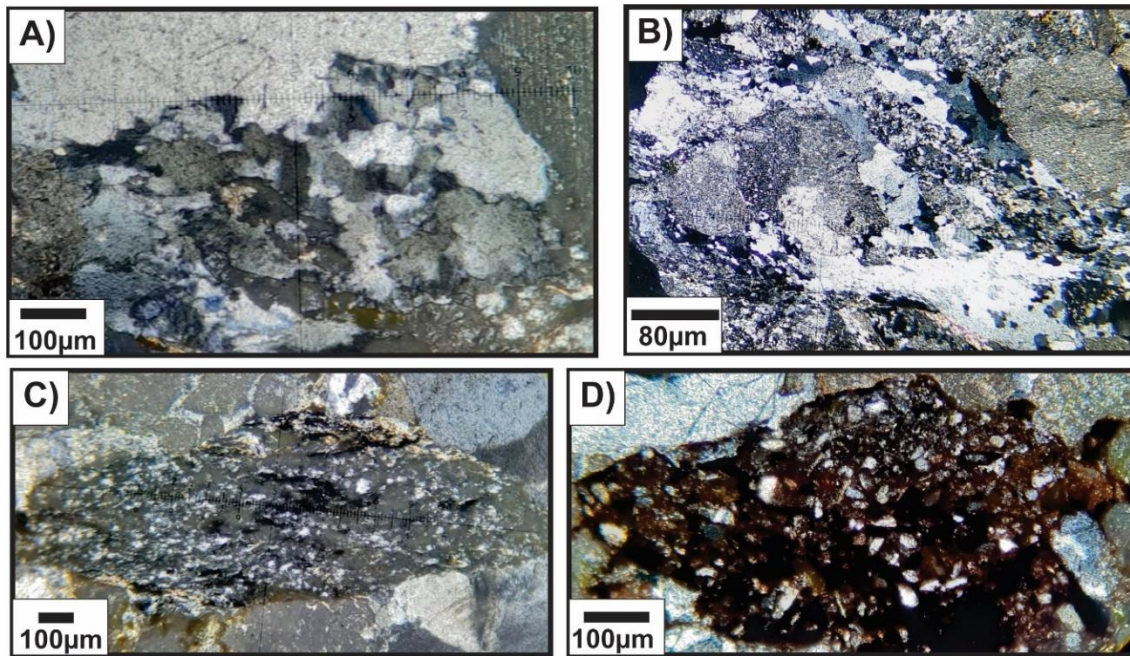
Se analizaron dos muestras de las formaciones Caltepec y La Compañía. Estas muestras fueron extraídas de los elementos GB y SG. Ambas muestras son de arenisca gruesa, mal seleccionada, con partículas subredondeadas a subangulosas que presentan contactos tangenciales a cóncavos-convexos, y localmente suturados. Las muestras están ensambladas por una matriz de minerales arcillosos y un cementante de óxidos. En el diagrama QFL de Garzanti (2016), estas muestras grafican en los campos de arenisca cuarzo-feldespática y lito-feldespato-cuarzosa. Dichas muestras presentan una composición similar a las muestras del elemento CH del Conjunto 1 y a las del Conjunto 2 de la Formación Matzitzi. La composición promedio es Q: 44.4 a 47.8%, F: 40.9 a 49.8% y L: 2.4 a 14.8% (Fig. 7.1A). En el diagrama QmKP (Fig. 7.1B), las muestras están mayormente enriquecidas en plagioclasa respecto al feldespato potásico. El cuarzo y el feldespato potásico de estas muestras derivan principalmente de rocas faneríticas metamórficas, lo cual es evidenciado por las microestructuras de migración de borde de grano (Fig. 7.7A) y cantidades subordinadas de feldespato potásico mesopertítico. Una característica particular de estas muestras son los fragmentos de protomilonita con porfidoblastos de cuarzo y plagioclasa (Fig. 7.7B).

En el diagrama LmLvLs se observa que estas muestras están mayormente enriquecidas en líticos metamórficos, con cantidades que van de 65.8 a 91.7% del total de los líticos, definiendo una petrofacies metamorfoiclástica (*sensu* Garzanti, 2019; Fig. 7.1C). Después le siguen líticos volcánicos (8.3 a 19.7% del total de líticos) y finalmente, los líticos sedimentarios con cantidades menores o iguales a 14.5%.

Los líticos metamórficos más abundantes son los líticos metapelíticos y metapsammíticos/metafelsíticos de rango 2 a 3 (Figs. 7.1D, E Y 7.7C). Los líticos volcánicos están representados por la variedad felsítica (Fig. 7.1F), mientras que los líticos sedimentarios



son fragmentos de limolita arenosa y limolitas cuarzosas (Fig. 7.1G) con óxidos como cementante (Fig. 7.7D)



**Figura 7.7.** Fotomicrografías de componentes representativos de las muestras de los Sistemas fluviales del Cretácico. A) fragmento fanerítico con microestructura de migración de borde de grano, B) fragmento de protomilonita con por porfidoblastos de cuarzo y plagioclasa, C) lítico metapsammítico/metafelsítico de rango 2 con foliación espaciada definida por superficies de disolución por presión y F) lítico sedimentario siliciclástico de limolita con cementante de óxidos.





## 8 Petrografía de minerales pesados

Se seleccionaron 10 muestras para el análisis petrográfico de minerales pesados. 7 corresponden al Conjunto 1, la cuales fueron extraídas de los elementos CH (MAT-3, 4, 10, 11 y 12) y SG (MAT-14 y 17). Una muestra fue colectada del elemento GB del Conjunto 2 (MAT-1). Finalmente, dos muestras más fueron extraídas de las sucesiones fluviales del Cretácico (MAT-2 y 8). En las Figuras 5.12 y 13 se muestra la ubicación de donde fueron colectadas las muestras. En la Tabla 8.1, se presenta un resumen de los principales minerales pesados encontrados en las láminas analizadas. Estos minerales fueron separados en tres categorías semicualitativas principales: minerales abundantes (más de 10 cristales), minerales poco abundantes (entre 2 y menos de 10 cristales) y subordinados (solo aparece un único cristal o un par en la muestra).

**Tabla 8.1.** Asociación de minerales pesados de las muestras analizadas. Gr: granate, Zr: circón, Ap: apatito, Rt: rutilo, Chl: clorita, Wmca: mica blanca, Bt: biotita, Anf: actinolita-tremolita, Hrb: hornblenda, Czo: clinozoisita, Ep: epidota, Tur: turmalina, Cor: corindón.

| Muestra/Mineral                           | Gr          | Zr        | Ap             | Rt        | Chl            | Wmca           | Bt          | Anf         | Hrb         | Czo            | Ep          | Tur            | Cor         |
|---|-------------|-----------|----------------|-----------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| <b>Conjunto 1 (elemento CH)</b>           |             |           |                |           |                |                |             |             |             |                |             |                |             |
| MAT-11                                    | Abundante   | Abundante | Abundante      | Abundante | Poco abundante | Poco abundante | No presente | No presente | No presente | Subordinado    | No presente | Subordinado    | No presente |
| MAT-10                                    | Subordinado | Abundante | Abundante      | Abundante | Poco abundante | Poco abundante | No presente | No presente | No presente | Subordinado    | No presente | Subordinado    | Subordinado |
| MAT-4                                     | Abundante   | Abundante | Abundante      | Abundante | Subordinado    | Subordinado    | Subordinado | No presente | No presente | Poco abundante | No presente | No presente    | No presente |
| MAT-3                                     | Abundante   | Abundante | Abundante      | Abundante | Abundante      | Poco abundante | No presente | No presente | No presente | Subordinado    | No presente | Poco abundante | Subordinado |
| MAT-12                                    | Abundante   | Abundante | Abundante      | Abundante | Poco abundante | Poco abundante | Subordinado | No presente | No presente | No presente    | No presente | Subordinado    | No presente |
| <b>Conjunto 1 (elemento SG)</b>           |             |           |                |           |                |                |             |             |             |                |             |                |             |
| MAT-14                                    | Abundante   | Abundante | Abundante      | Abundante | Subordinado    | Poco abundante | No presente | No presente | Subordinado | No presente    | No presente | No presente    | No presente |
| MAT-17                                    | No presente | Abundante | Abundante      | Abundante | Poco abundante | Subordinado    | No presente | No presente | No presente | Poco abundante | Subordinado | Subordinado    | No presente |
| <b>Conjunto 2 (elemento GB)</b>           |             |           |                |           |                |                |             |             |             |                |             |                |             |
| MAT-1                                     | No presente | Abundante | Abundante      | Abundante | Subordinado    | Poco abundante | No presente | No presente | No presente | Poco abundante | No presente | Poco abundante | No presente |
| <b>Sucesiones fluviales del Cretácico</b> |             |           |                |           |                |                |             |             |             |                |             |                |             |
| MAT-2                                     | No presente | Abundante | Poco abundante | Abundante | Subordinado    | Subordinado    | No presente | No presente | No presente | Abundante      | No presente | No presente    | No presente |
| MAT-8                                     | No presente | Abundante | Poco abundante | Abundante | Subordinado    | Poco abundante | No presente | Subordinado | No presente | Poco abundante | No presente | No presente    | No presente |

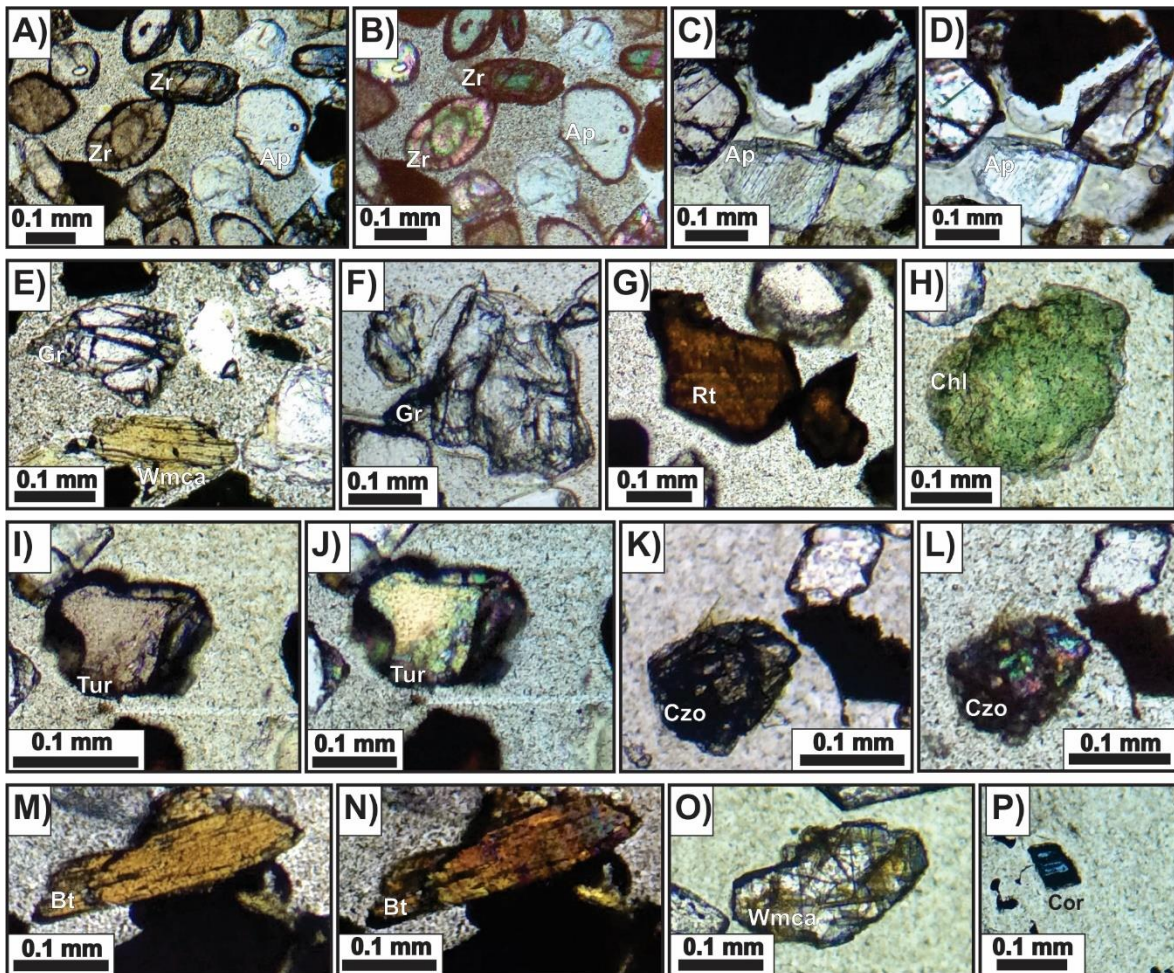
**Leyenda**

|                |   |
|----------------|---|
| Abundante      |  |
| Poco abundante |  |
| Subordinado    |  |
| No presente    |  |

## 8.1 Conjunto 1

### 8.1.1 Elemento CH

El análisis petrográfico de cinco muestras del elemento CH de la Formación Matzitzi muestra que la asociación de minerales pesados de las rocas analizadas está conformada, en orden de abundancia cualitativa decreciente, por: circón, apatito, granate y rutilo y como minerales más abundantes, clorita y mica blanca parcialmente cloritizada, como minerales menos abundantes turmalina, clinozoisita, biotita, y finalmente algunos cristales de mica blanca saginitica y corindón en cantidades subordinadas (Fig. 8.1A-P).

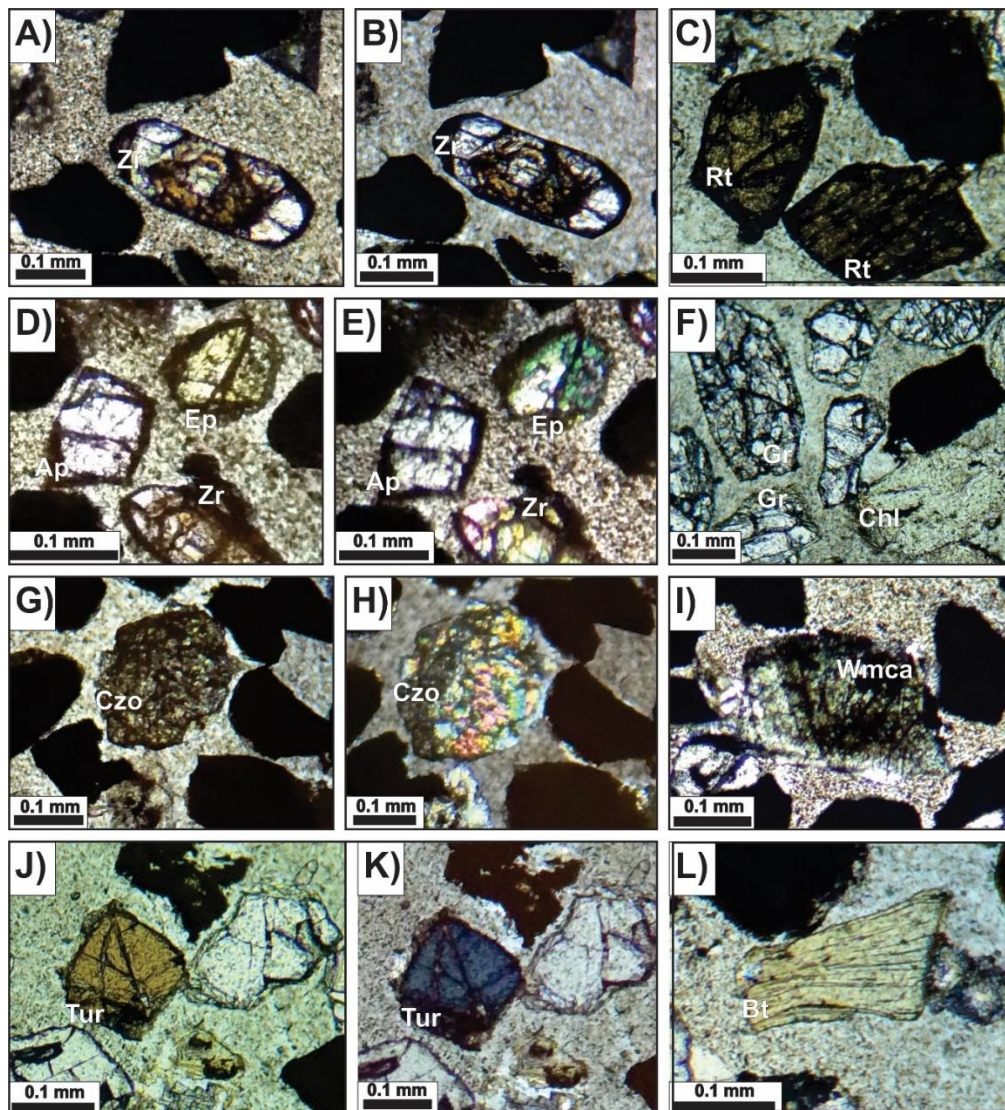


**Figura 8.1.** Fotomicrograffías de los minerales pesados de las muestras del elemento CH del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. Cristales de circón (Zr) y apatito (Ap) observados en A) nicoles paralelos y B) nicoles cruzados, cristal de apatito (Ap) con cavidades internas por disolución observado en C) nicoles paralelos y D) nicoles cruzados, E) cristal de granate (Gr) y mica blanca cloritizada (Wmca), F) cristal de granate (Gr), G) cristales de rutilo (Rt), H) cristal de clorita (Chl), I) y J) cristal de turmalina (Tur) en nicoles paralelos y cruzados respectivamente, K) y L) cristal de clinozoisita (Czo) en nicoles paralelos y cruzados, M) y N) cristal de biotita (Bt) en nicoles paralelos y cruzados respectivamente, O) mica blanca saginitica (Wmca) y P) cristal de corindón (Cor).



### 8.1.2 Elemento SG

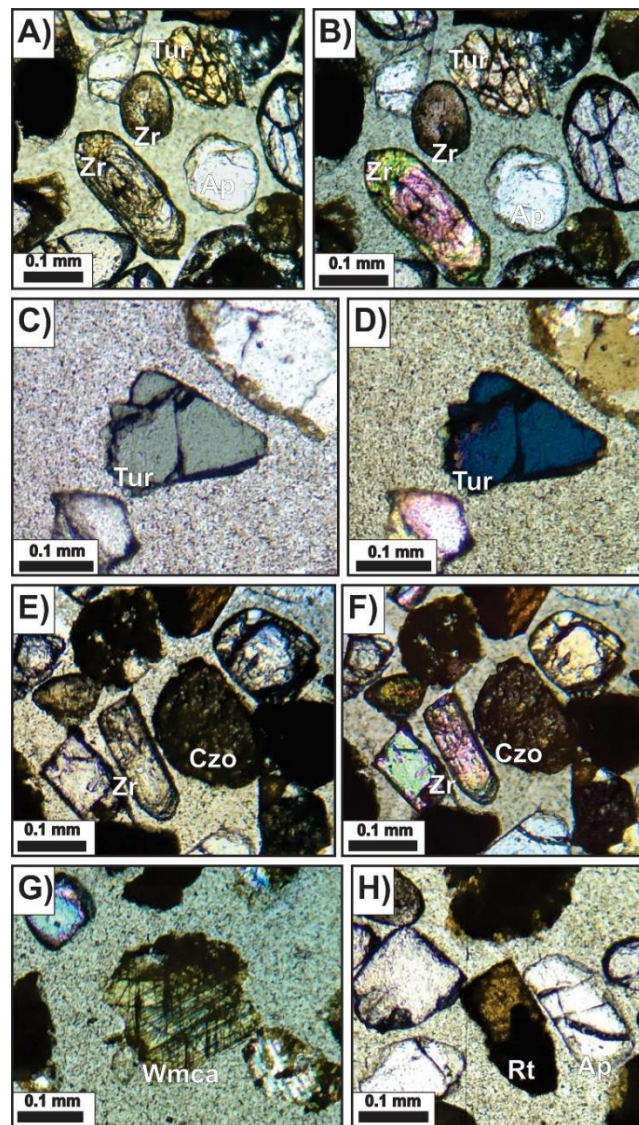
Las dos muestras colectadas del elemento SG pertenecen al Conjunto 1 definido con base en las modas detríticas de roca total. El análisis petrográfico muestra que la asociación de minerales pesados está conforma, en orden de abundancia cualitativa decreciente, por: circón, apatito, rutilo y, en algunas muestras, granate como minerales más abundantes, mica blanca, clorita y, en algunas muestras, clinozoisita como minerales menos abundantes y, finalmente, epidota, hornblenda y turmalina como minerales en cantidades menores (Fig. 8.2A-L).



**Figura 8.2.** Fotomicrografías de las minerales pesados de las muestras del elemento SG del Conjunto 1 de la Formación Matzitzí. Cristal de circón (Zr) observado en A) nicoles paralelos y B) nicoles cruzados. C) cristales de rutilo (Rt), cristales de epidota (Ep), apatito (Ap) y circón (Zr) observados en D) nicoles paralelos y E) nicoles cruzados, F) cristales de granate (Gr) y clorita (Chl), cristales de clinozoisita (Czo) observado en G) nicoles paralelos y H) nicoles cruzados, I) cristal de mica blanca (Wmca) saginífica, cristal de turmalina (Tur) observado en J) nicoles paralelos y K) nicoles cruzados, y L) cristal de biotita (Bt).

## 8.2 Conjunto 2 de la Formación Matzitzi

Se analizó únicamente una muestra de minerales pesados del Conjunto 2 de la Formación Matzitzi. Se muestra que la asociación de minerales pesados cualitativa (de mayor a menor abundancia relativa) es: circón, apatito y rutilo como minerales más abundantes, como minerales menos abundantes aparecen clinzoisita, turmalina y mica blanca cloritizada y saginítica y finalmente la clorita como mineral subordinando (Fig. 8.3A-H). El granate no aparece en los concentrados.

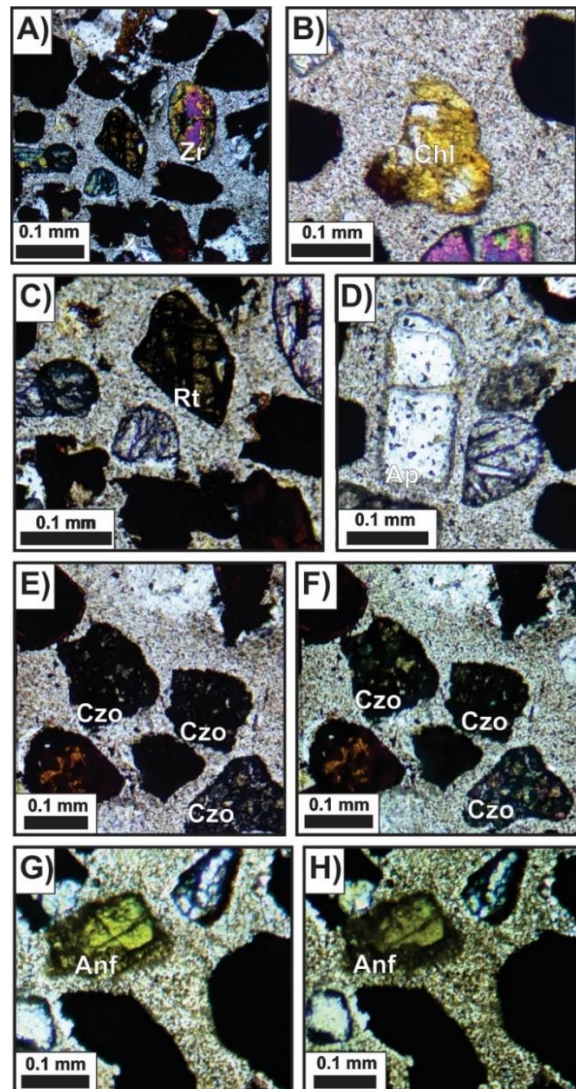


**Figura 8.3.** Fotomicrograffías de los minerales pesados de la muestra del Conjunto 2 de la Formación Matzitzi. Cristales de circón (Zr), apatito (Ap) y turmalina (Tur) observados en A) nicoles paralelos y B) nicoles cruzados, cristal de turmalina (Tur) observado en C) nicoles paralelos y D) nicoles cruzados, cristales de clinzoisita (Czo) y circón observados en E) nicoles paralelos y F) nicoles cruzados, G) cristal de mica blanca (Wmca) saginítica, y H) cristal de rutilo (Rt).



### 8.3 Sucesiones fluviales del Cretácico

Se analizaron dos muestras de las formaciones fluviales del Cretácico, una de la formación Caltepec y otra de la formación La Compañía. Los datos obtenidos muestran que la asociación de minerales pesados de estas muestras está compuesta, en orden de abundancia cualitativa decreciente, por: circón, rutilo y, en algunas muestras, clinozoisita como minerales más abundantes, mica blanca y apatito aparecen como minerales menos abundantes y, finalmente, clorita y anfíbol verde como minerales subordinados (Fig. 8.4A-H). Es de notar que el granate y la turmalina no aparece en la paragénesis de estas muestras.



**Figura 8.4.** Fotomicrografías de los minerales pesados de las muestras de las sucesiones fluviales del Cretácico. A) Cristal de circón (Zr) en nicols cruzados, B) cristal de clorita (Chl) en nicols cruzados C) cristal de rutilo (Rt), D) cristal de apatito (Ap), cristales de clinozoisita (Czo) observados en E) nicols paralelos y F) nicols cruzados, y cristal de anfíbol (Anf) de la serie actinolita-tremolita observado en G) nicols paralelos y H) nicols cruzados.



## 9 Geocronología U-Pb en circones detríticos

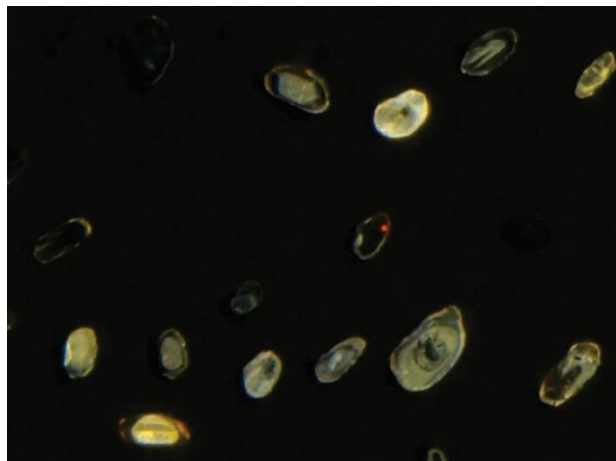
Con el objetivo de reforzar el análisis de procedencia y ver posibles diferencias entre los distintos depósitos fluviales estudiados, se realizó el fechamiento U-Pb en cristales de circón detrítico de tres muestras de la Formación Matzitzi y dos de las sucesiones fluviales del Cretácico. Los resultados de los análisis isotópicos se muestran en el **Anexo 3**.

### 9.1 Conjunto 1

De las tres muestras extraídas del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi, dos corresponden al elemento CH y una al elemento SG.

#### 9.1.1 Elemento CH

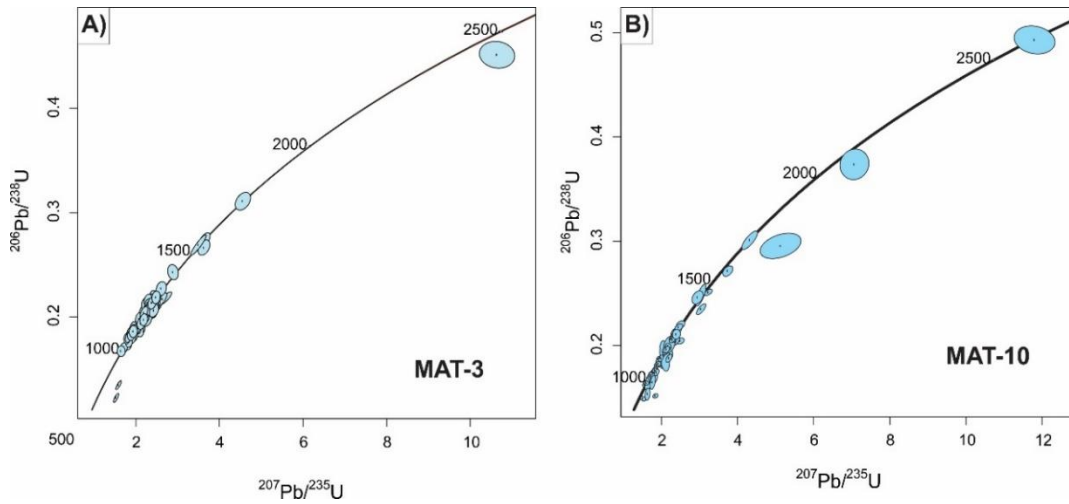
Del elemento CH fueron recolectadas las muestras MAT-3 y MAT-10. Los circones seleccionados son redondeados a subredondeados y varían de anedrales a subedrales, con coloraciones rosáceas a incoloros y, en ocasiones, es evidente el zoneamiento concéntrico (Fig. 9.1). Se analizaron 100 cristales de circón para la muestra MAT-3 y 97 para la muestra MAT-10.



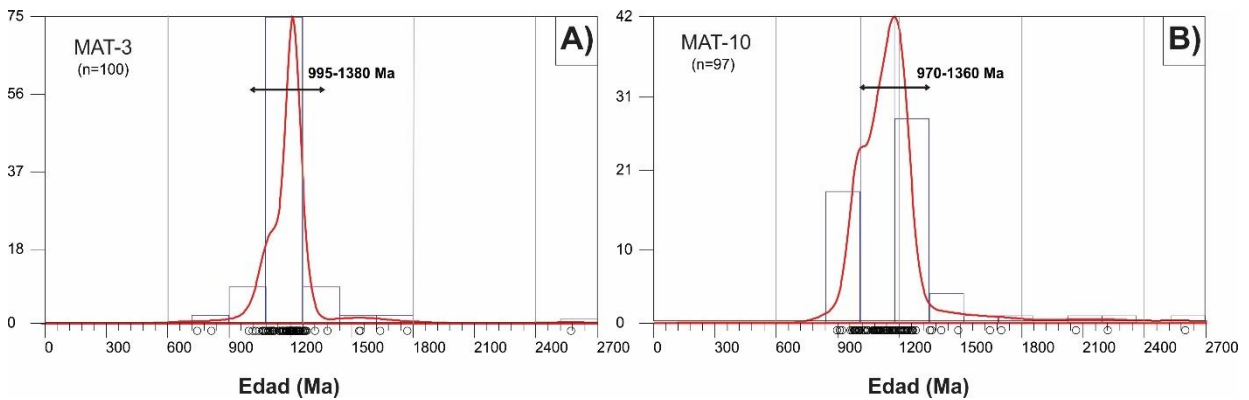
**Figura 9.1.** Imagen de catodoluminiscencia de cristales de circón seleccionados. Obsérvese que algunos presentan zoneamiento concéntrico.

Los resultados muestran que la mayoría de los cristales analizados arrojaron edades concordantes, con menos del 5% del total de datos que son ligeramente discordantes (Fig. 9.2). Ambas muestras definen un solo grupo de edades que van de ~995 a 1380 Ma para la muestra MAT-3 (Fig. 9.3A) y de ~970 a 1360 Ma para la muestra MAT-10 (Fig. 9.3B). Un

número subordinado de cristales han arrojado edades aisladas entre ~1400 y 1500 Ma para ambas muestras.



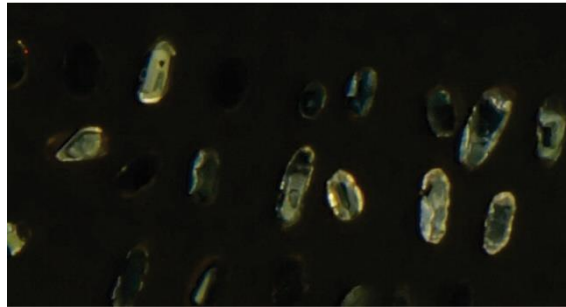
**Figura 9.2.** Diagramas de concordia para las muestras MAT-3 (A) y MAT-10 (B) del elemento CH del Conjunto 1 de la Formación Matiziti.



**Figura 9.3.** Estimadores de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histogramas que muestran la distribución estadística de las edades U-Pb en cristales de circón para las muestras MAT-3 (A) y MAT-10 (B) del elemento CH del Conjunto 1 de la Formación Matiziti.

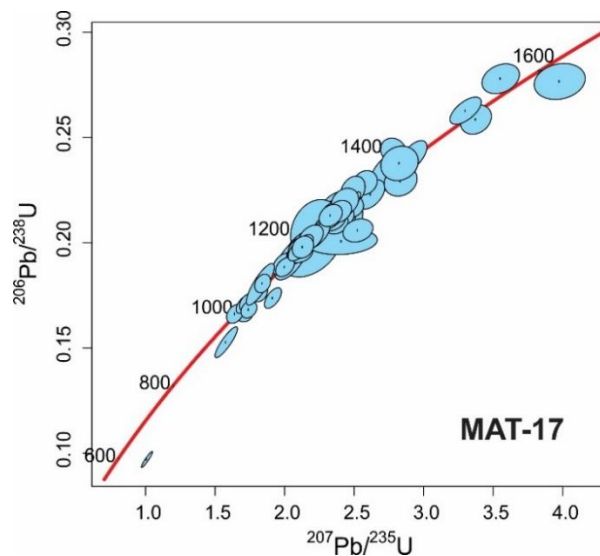
### 9.1.2 Elemento SG

Del elemento SG se colectó la muestra MAT-17. Se analizaron 99 cristales de circón, los cuales son redondeados a subredondeados y varían entre anedrales a subedrales con formas prismáticas, con coloraciones rosáceas a incoloras y, en ocasiones, es evidente el zoneamiento concéntrico (Fig. 9.4).

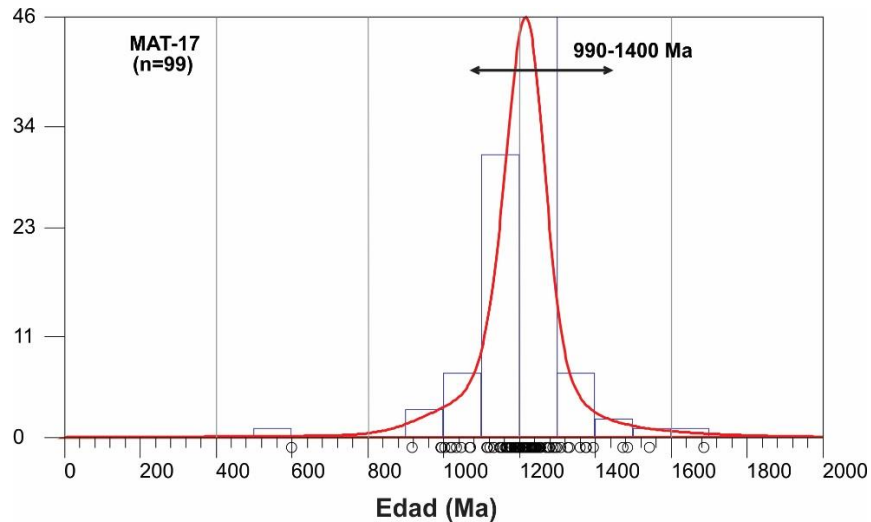


**Figura 9.4.** Imagen de catodoluminiscencia de los cristales de circón seleccionados para la muestra MAT-17. Obsérvese que algunos cristales presentan zoneamiento concéntrico.

Los resultados obtenidos muestran que la mayoría de los cristales analizados ha arrojado edades concordantes, con escasos datos ligeramente discordantes (Fig. 9.5). Al igual que las muestras del elemento CH, las edades obtenidas definen un grupo de edades entre ~990 y 1400 Ma. Algunos cristales subordinados analizados han arrojado edades de entre ~1470 y 1685 Ma (Fig. 9.6).



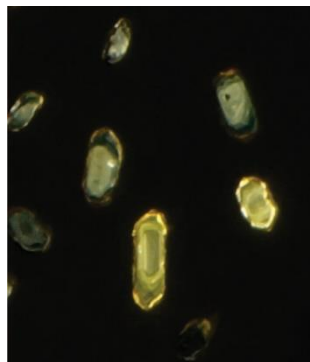
**Figura 9.5.** Diagrama de concordia para la muestra MAT-17 del elemento SG del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi.



**Fig. 9.6.** Estimador de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histograma que muestran la distribución estadística de las edades U-Pb en cristales de circón para la muestra MAT-17 del elemento SG Conjunto 1 de la Formación Matzitzi.

## 9.2 Sucesiones fluviales del Cretácico

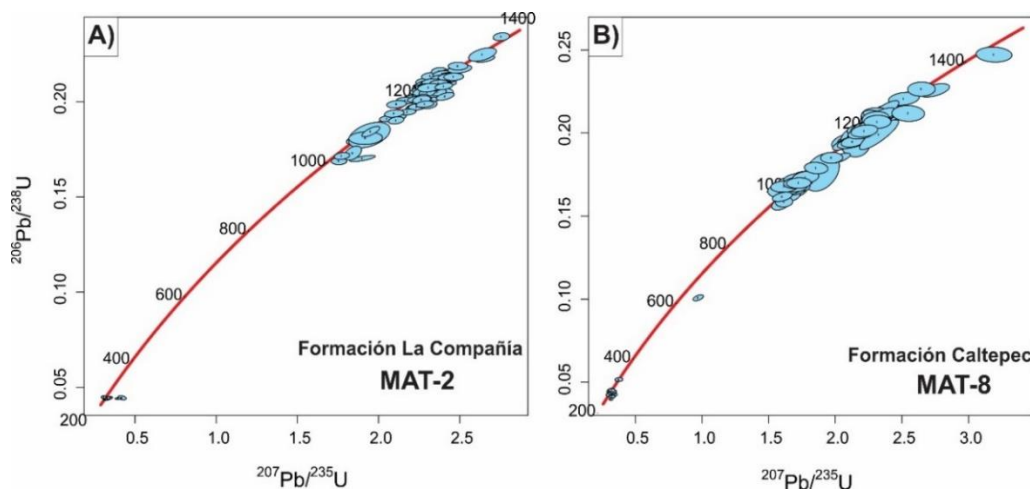
Se tomaron dos muestras de arenisca de las unidades fluviales del Cretácico. La muestra MAT-2 fue colectada del elemento GB de la formación La Compañía, mientras que la muestra MAT-8 fue tomada del elemento SG de la formación Caltepec (Fig. 5.12). Los cristales de circón seleccionados son redondeados a subredondeados y varían de anedrales a subedrales, con coloraciones rosáceas, marrones e incoloras (Fig. 9.7). Se analizaron 100 y 99 cristales de circón para las muestras MAT-2 y MAT-8, respectivamente.



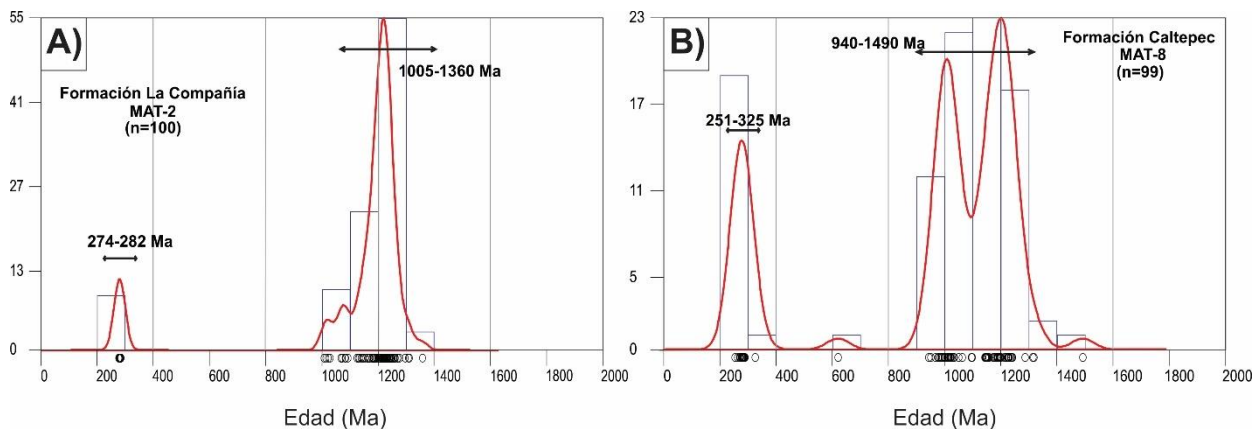
**Figura 9.7.** Imagen de catodoluminiscencia de los cristales de circón seleccionados para una muestra de los sistemas fluviales del Cretácico. Obsérvese que algunos cristales presentan zonamiento concéntrico.

Para ambas muestras se observa que la mayoría de los datos son concordantes, con algunas edades ligeramente discordantes (Fig. 9.8). Al igual que las muestras de la Formación

Matzitzi, las muestras de las unidades fluviales del Cretácico definen un grupo de edad que va de ~1005 a 1360 Ma para la formación La Compañía (Fig. 9.9A) y de ~940 a 1490 Ma para la formación Caltepec (Fig. 9.9B). Adicionalmente a este grupo, es notable la presencia en ambas muestras de otro grupo de edades que va de ~274 a 282 Ma y de ~251 a 325 Ma para las formaciones La Compañía y Caltepec, respectivamente (Figs. 9.9A-B).



**Figura 9.8.** Diagramas de concordia para las muestras MAT-2 (A) y MAT-8 (B) de las sucesiones fluviales del Cretácico.



**Figura 9.9.** Estimadores de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histogramas que muestran la distribución estadística de las edades U-Pb en cristales de circon para las muestras MAT-2 (A) y MAT-8 (B) de los sucesiones fluviales del Cretácico.



## 10 Discusión

### 10.1 Ambiente de depósito

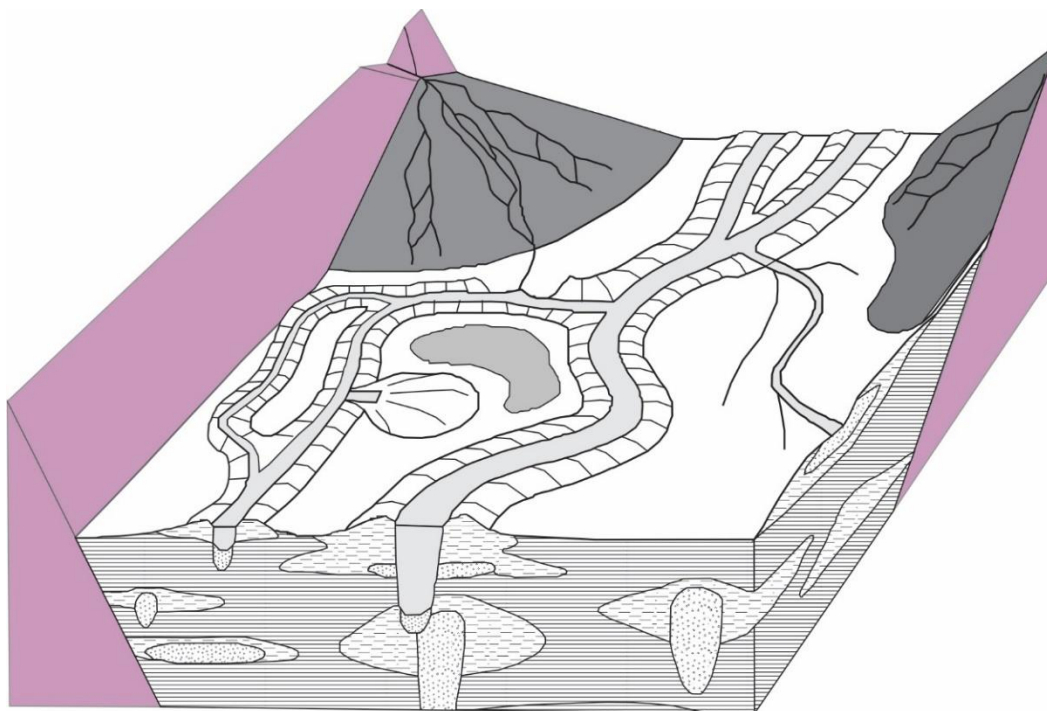
#### 10.1.1 Conjunto 1 de la Formación Matzitzi

El Conjunto 1 de la Formación Matzitzi está compuesto por los elementos arquitectónicos CH, FF, CS, LV y SG, que son elementos importantes típicos de los sistemas fluviales anastomosados (Fig. 10.1; Miall, 2006; Makaske, 2001). Estos ríos son el resultado de la coalescencia de diferentes cinturones fluviales y se caracterizan por una compleja red de canales separados por grandes llanuras de inundación (Makaske, 2001). Los canales de los ríos anastomosados se caracterizan por un relleno relativamente sencillo generado principalmente por agradación. En el área de estudio, este proceso es evidenciado por rizaduras con geometría montante, las cuales indican que el crecimiento del relleno de estos canales ocurría principalmente en la vertical (*e.g.* Miall, 2006).

La coexistencia en esta sucesión de canales individuales y canales amalgamados sugiere variaciones en la tasa de subsidencia con respecto a la tasa de sedimentación durante el tiempo. En efecto, si la tasa de sedimentación es más lenta que la generación de nuevo espacio de acomodo por subsidencia es posible formar canales sobreimpuestos o amalgamados, que están separados por superficies de erosión (Fig. 10.1; Makaske, 2001). Por lo contrario, si la tasa de sedimentación es muy rápida con respecto a la tasa de creación de nuevo espacio de acomodación por subsidencia, los canales serán aislados y completamente rodeados por los depósitos de llanura de inundación (Makaske, 2001).

Por otro lado, el elemento SG del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi es el resultado de depósitos de flujos gravitacionales, los cuales se forman por la inestabilidad gravitacional a lo largo de una pendiente y son típicos en zonas tectónicamente activas, donde se generan pendientes abruptas (Miall, 2006). Dado que el elemento SG se distribuye en las cercanías de las zonas de contacto de la Formación Matzitzi con el Complejo Oaxaqueño, se propone que estos depósitos sean el resultado de abanicos aluviales que se formaron a lo largo de los bordes de la cuenca que alojaba en su parte central el sistema fluvial anastomosado, así como se representa en la Figura 10.1.

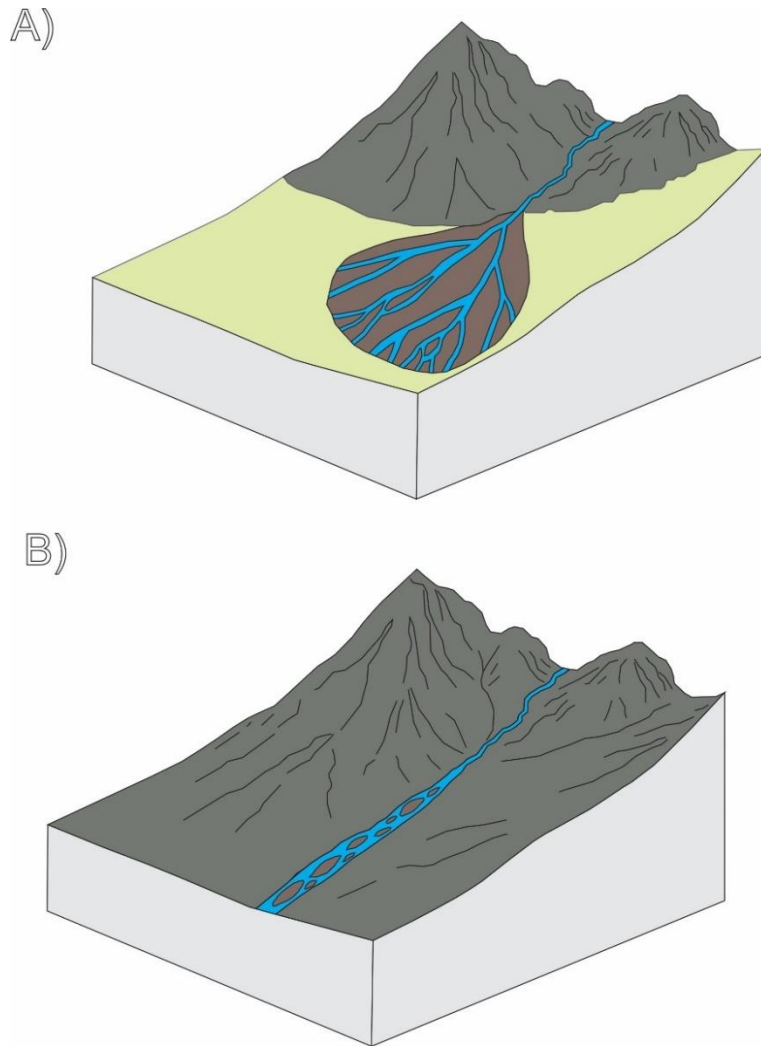
Las características antes descritas soportan el modelo sedimentario de Centeno-García *et al.* (2009), donde se sugiere que la Formación Matzitzi representa el registro estratigráfico de un sistema fluvial anastomosado.



**Figura 10.1** Modelo sedimentario de la para el Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. Modificado de (Makaske, 2001).

#### 10.1.2 Conjunto 2 de la Formación Matzitzi

El Conjunto 2 de los depósitos cartografiados originalmente como Formación Matzitzi está conformado por los elementos GB y SG. Esta asociación de elementos es típica de sistemas fluviales de alta energía que escurren en zonas con pendientes altas, y que desarrollan una compleja red de canales que van rápidamente migrando lateralmente en el tiempo. Estas condiciones se desarrollan en abanicos aluviales y ríos trenzados (Fig. 10.2; Miall, 2006). Para discriminar entre uno y otro tipo de drenaje es necesario realizar un análisis de paleocorrientes. Sin embargo, dado que los afloramientos observados de este conjunto se encuentran siempre como cuñas tectónicas delimitadas por fallas laterales, el análisis de paleocorrientes podría verse afectado, dado que no se tiene la certeza si estos depósitos han sufrido rotaciones tectónicas importantes.



**Figura 10.2.** Modelo sedimentario propuesto para el Conjunto 2. A) modelo de abanico aluvial y B) rio trenzado. Modificado de Nichols (2009).

### 10.1.3 Sistemas fluviales del Cretácico

Mendoza-Rosales (2010) interpreta que las formaciones Caltepec y La Compañía representan el registro de un abanico-delta, que varía lateralmente a una laguna costera donde hay aporte de ambientes fluviales, y asocia este abanico-delta al desarrollo de escarpes del basamento. Los datos obtenidos en este trabajo suportan la idea de Mendoza-Rosales (2010). En efecto, la formación Caltepec se compone de una alternancia de elementos GB y SG que, de acuerdo con Miall (2006), son típicos de sistemas fluviales trenzados y abanicos aluviales. El análisis de paleocorrientes realizado en este trabajo permite establecer que, existe una dispersión en la dirección de los *forsets* de hasta 60°.

## 10.2 Procedencia

### 10.2.1 Conjunto 1 de la Formación Matzitzi

Los datos petrográficos indican que las areniscas de canal y de flujos de escombros del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi fueron derivadas principalmente de rocas metamórficas de alto grado. En efecto, la textura granoblástica ameboide expresada por microestructuras de migración de borde de grano, la extinción en forma de tablero de ajedrez, las inclusiones de rutilo acicular que se desarrollan a lo largo de los ejes cristalográficos de los granos de cuarzo y las microestructuras mesopertíticas en el feldespató potásico sugieren una fuente metamórfica de temperatura alta (Stipp *et al.*, 2002; Passchier y Trouw, 2005; Sato y Santosh, 2007; Jiao y Guo, 2011). Estas características texturales, microestructurales y composicionales han sido descritas para los orto y paragneises de alto grado del Complejo Oaxaqueño (Keppie *et al.*, 2003; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Martini *et al.*, 2020). La asociación rutilo+granate+corindón encontrada en los concentrados de minerales pesados extraídos de estas rocas, también soporta el aporte de las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). Igualmente, este escenario es indicado por los datos geocronológicos que documentan un único grupo de edades del Meso-Neoproterozoico para estas rocas (Fig. 10.3A), el cual coincide con el grupo de edades reportado para las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño (Solari *et al.*, 2014; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Martini *et al.*, 2020; Fig. 10.3B). El mapa de escalamiento multidimensional también soporta esta idea, donde las muestras del Conjunto 1 tienen similitudes de primer y segundo orden con una muestra representativa del Complejo Oaxaqueño (Fig. 10.4; Solari *et al.*, 2014).

Las areniscas del Conjunto 1 presentan hasta un 15% de fragmentos líticos metamórficos, los cuales están representados principalmente por líticos metapelíticos y metapsammíticos/metafelsíticos de rango metamórfico 2 a 4, que corresponden a facies de subesquistos y esquistos verdes (Garzanti y Vezzoli, 2003; Martini *et al.*, 2020). Una característica interesante es el ligero enriquecimiento en fragmentos líticos de las muestras tomadas del elemento SG con respecto a las tomadas del elemento CH (Fig. 7.1A). De manera tentativa, se especula que este enriquecimiento se deba a que los abanicos aluviales son depósitos más proximales respecto a los de canal y que los fragmentos metasedimentarios de bajo grado son relativamente inestables durante el transporte (Garzanti, 2017), generando una pérdida progresiva de estos con la distancia. Rocas metasedimentarias en facies de

subesquistos a esquistos verdes son muy abundantes en el Complejo Acatlán (*e.g.* Keppie *et al.*, 2008). El aporte del Complejo Acatlán es sugerido por la presencia de algunos granos de turmalina en los concentrados de minerales pesados, ya que este mineral es ausente en el Complejo Oaxaqueño y es muy abundante en el Complejo Acatlán (Martini *et al.*, 2020). Las rocas metasedimentarias del Complejo Acatlán son muy heterogéneas en cuanto a sus firmas de edad de circones detríticos. Algunas presentan una firma idéntica la del Complejo Oaxaqueño, caracterizada por un solo grupo principal de edades entre ~ 880 y ~ 1320 Ma (Figs. 10.3C-F; Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Murphy *et al.*, 2006; Vega-Granillo *et al.*, 2007; Morales-Gómez *et al.*, 2008). Otras muestran grupos de edades adicionales de ~ 430-740 Ma y ~275-350 Ma (Figs. 10.3 C-F; Keppie *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018). La ausencia en las muestras analizadas de un grupo consistente de edades Paleozoicas sugiere que, posiblemente, las rocas metasedimentarias del Complejo Acatlán que alimentaron los depósitos del Conjunto 1 son las que presentan puramente circones Proterozoicos.

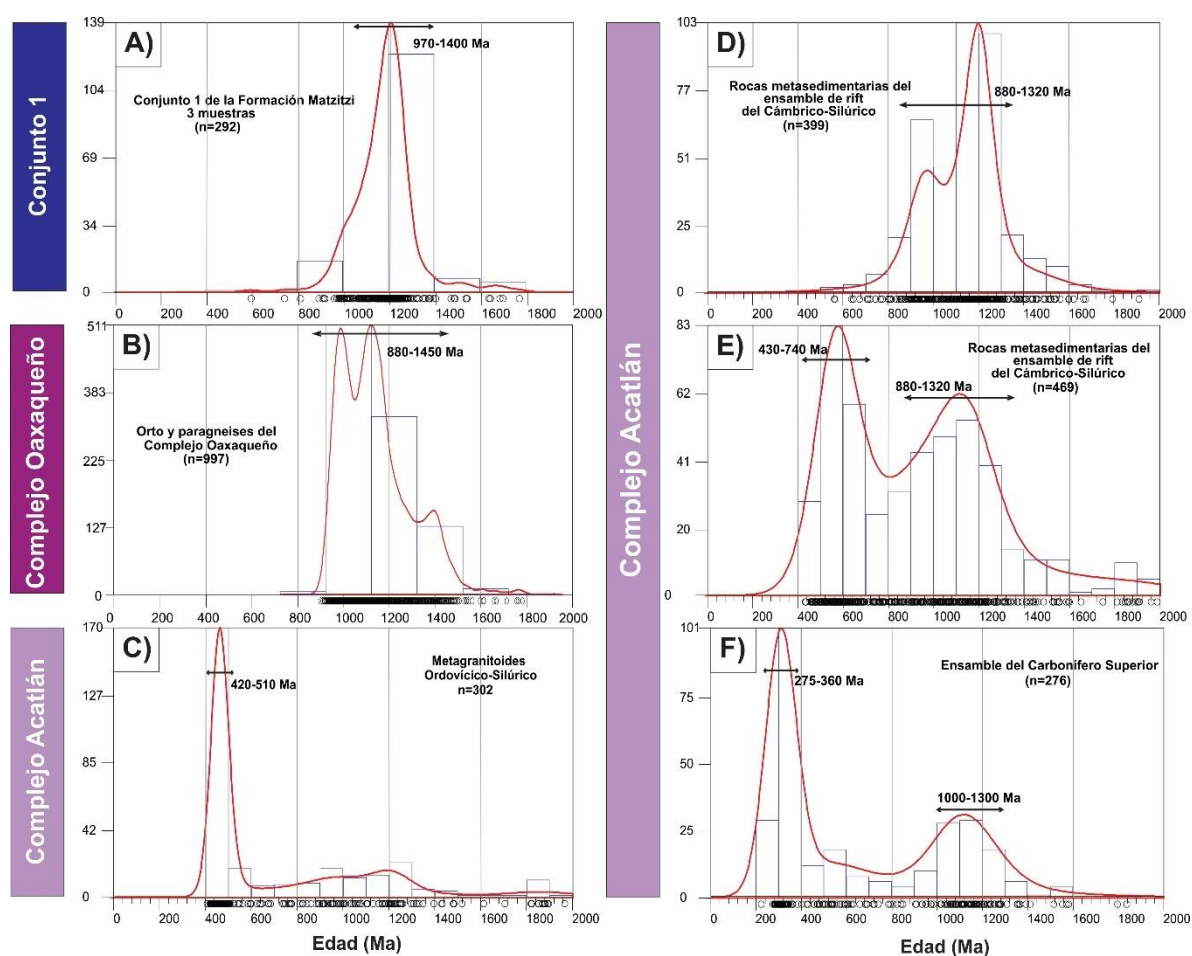
Aunque los líticos metapelíticos y metapsammíticos/metafelsíticos son los más abundantes del Conjunto 1, en este trabajo se reportan líticos metabasíticos y metacarbonatados. Metabasitas en facies de subesquistos a esquistos verdes han sido reportados en las partes retrogradadas del Complejo Oaxaqueño como en las del Complejo Acatlán (Kirsch *et al.* 2013). En ambos casos, se trata de metabasitas de clorita, mica blanca, epidota y calcita (Keppie *et al.*, 2003; Kirsch *et al.*, 2013). Por otro lado, los líticos metacarbonatados no son diagnósticos de alguna fuente en particular, ya que rocas metasedimentarias carbonatadas están presentes tanto en el Complejo Oaxaqueño como en el Complejo Acatlán (*e.g.* Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018)

Los líticos volcánicos encontrados en el Conjunto 1 de la Formación Matzitzi son exclusivamente felsíticos. Juárez-Zuñiga (2019) también reporta en los conglomerados del elemento SG de la Formación Matzitzi líticos volcánicos felsíticos con edades U-Pb en circón entre ~285 y 269 Ma. De acuerdo con este autor, estos clastos volcánicos probablemente derivan del Arco Pérmico del Este de México y representan la edad máxima de depósito para la Formación Matzitzi (Centeno-García *et al.*, 2019; Juárez-Zuñiga, 2019).

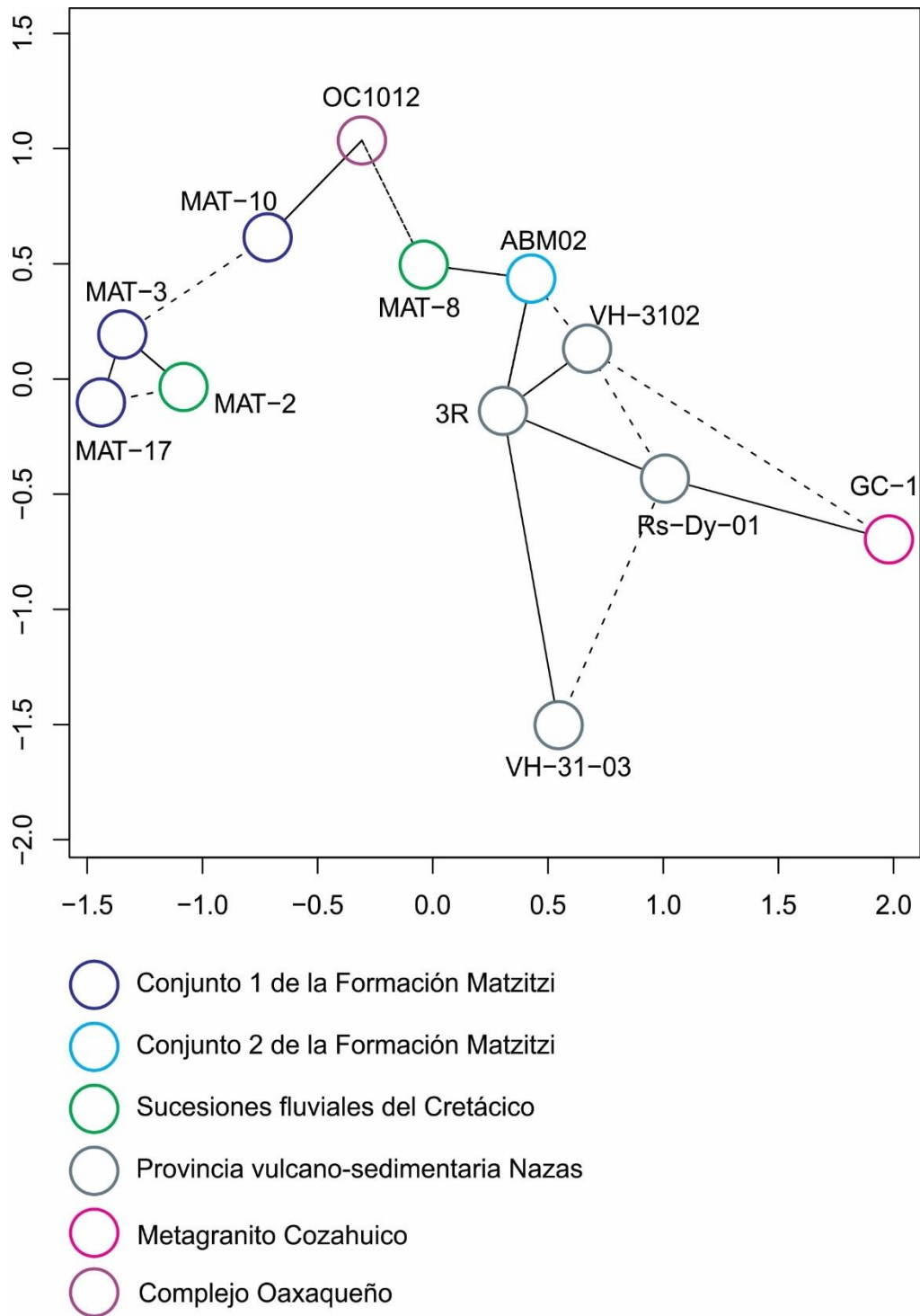


Finalmente, los fragmentos sedimentarios siliciclásticos de limolita a arenisca, que de acuerdo con Juárez-Zuñiga (2019) tienen una edad máxima de depósito de ~290 Ma. No se sabe con certeza de que sucesión sedimentaria derivan; sin embargo, se tratan de extraclastos y no representan el reciclaje de la misma unidad, debido a las diferencias texturales con respecto a las muestras del Conjunto 1.

En síntesis, con base en las observaciones realizadas en este trabajo, el Conjunto 1 de la Formación Matzitzi se formó a partir de la erosión del Complejo Oaxaqueño, del Complejo Acatlán y, en menor proporción, del Arco Pérmico del Este de México.



**Figura 10.3.** Estimadores de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histograma que muestra la distribución estadística de las edades de circones detríticos de A) 3 muestras del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi (este trabajo), B) los orto y paragneises del Complejo Oaxaqueño (Solari *et al.*, 2014), C) metagranitoides del Complejo Acatlán (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013), D) y E) ensamble de rift del Cámbrico-Silúrico de alta presión (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Murphy *et al.*, 2006; Vega-Granillo *et al.*, 2007; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013) y bajo grado metamórfico (Keppie *et al.*, 2008; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018) del Complejo Acatlán, y F) ensamble del Carbonífero Superior (Kirsch *et al.*, 2012) del Complejo Acatlán.



**Figura 10.4.** Mapa de escalamiento multidimensional (Vermeesch, 2013) para los Conjuntos 1 y 2 de la Formación Matzitzi y los sistemas fluviales del Cretácico con sus posibles rocas fuente: muestras Rs-Dy-1 (Durán-Aguilar, 2013), 3R (Zepeda-Martínez *et al.*, 2018) y VH-31-03 Y VH-3102 (Rubio-Cisneros y Lawton, 2011) de la Provincia vulcano-sedimentaria Nazas, muestra GC-1 del Granito Cozahuico (Elías-Herrera *et al.*, 2005), y muestra OC-1012 del Complejo Oaxaqueño (Solari *et al.*, 2014).

### 10.2.2 Conjunto 2 de la Formación Matzitzi

Al igual que para el Conjunto 1, las areniscas del Conjunto 2 fueron derivadas en gran parte de rocas metamórficas de alto grado, como lo atestiguan los fragmentos policristalinos con texturas granoblásticas ameboides evidenciadas por microestructuras de migración de borde de grano, los cristales de cuarzo con inclusiones aciculares de rutilo y el feldespatos potásico con microestructura mesopertítica. Lo anterior sugiere que la principal fuente de estos depósitos fluviales son las rocas de alto grado metamórfico del Complejo Oaxaqueño. Esta aseveración es soportada por las edades de circones detríticos en estas rocas sedimentarias. En efecto, uno de los grupos principales de edades para estas rocas se traslapa con el rango de edades reportado para el Complejo Oaxaqueño (Fig. 10.5A y B; Solari *et al.*, 2014; Bedoya-Mejía, 2018).

Una característica distintiva del Conjunto 2 es su abundancia de líticas volcánicas. Además, a diferencia de los líticas volcánicas del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi, los cuales son exclusivamente felsíticos, en el Conjunto 2 los líticas volcánicas presentan un mayor rango composicional, abarcado líticas tipo *lathwork*, microlíticas y felsíticos, que composicionalmente van desde basalto a dacitas-riolitas (Dickinson, 1970; Marsaglia y Ingersoll, 1992). La presencia de estos fragmentos indica que este conjunto registra la erosión de una fuente volcánica. No se sabe con exactitud la edad de estos fragmentos volcánicos. Sin embargo, Bedoya-Mejía (2018) ha reportado un grupo abundante de circones con edades entre ~173 y 200 Ma (Figs. 10.5A y C), que podrían derivar de estas rocas volcánicas. Rocas volcánicas con edades del Jurásico Inferior y Medio han sido reportadas en la Provincia volcano-sedimentaria Nazas (Rubio-Cisneros y Lawton, 2011; Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018; Fig. 10.5B ). Las áreas más próximas donde se encuentran rocas volcánicas de estas edades son Diquiyú y Olinalá (Campa-Uranga *et al.*, 2004; Durán-Aguilar, 2013; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018). El escalamiento multidimensional muestra que la roca del Conjunto 2 tiene similitudes de primer y segundo orden con las muestras representativas de la Provincia volcano-sedimentaria Nazas (Fig. 10.4). Considerando la presencia de circones con edades del Pérmico (Figs. 10.5A y D) en la arenisca analizada por Bedoya-Mejía (2018), se considera la posibilidad que, al igual que para el Conjunto 1, por lo menos parte de los fragmentos volcánicos felsíticos hayan derivado del Arco Pérmico del Este de México.

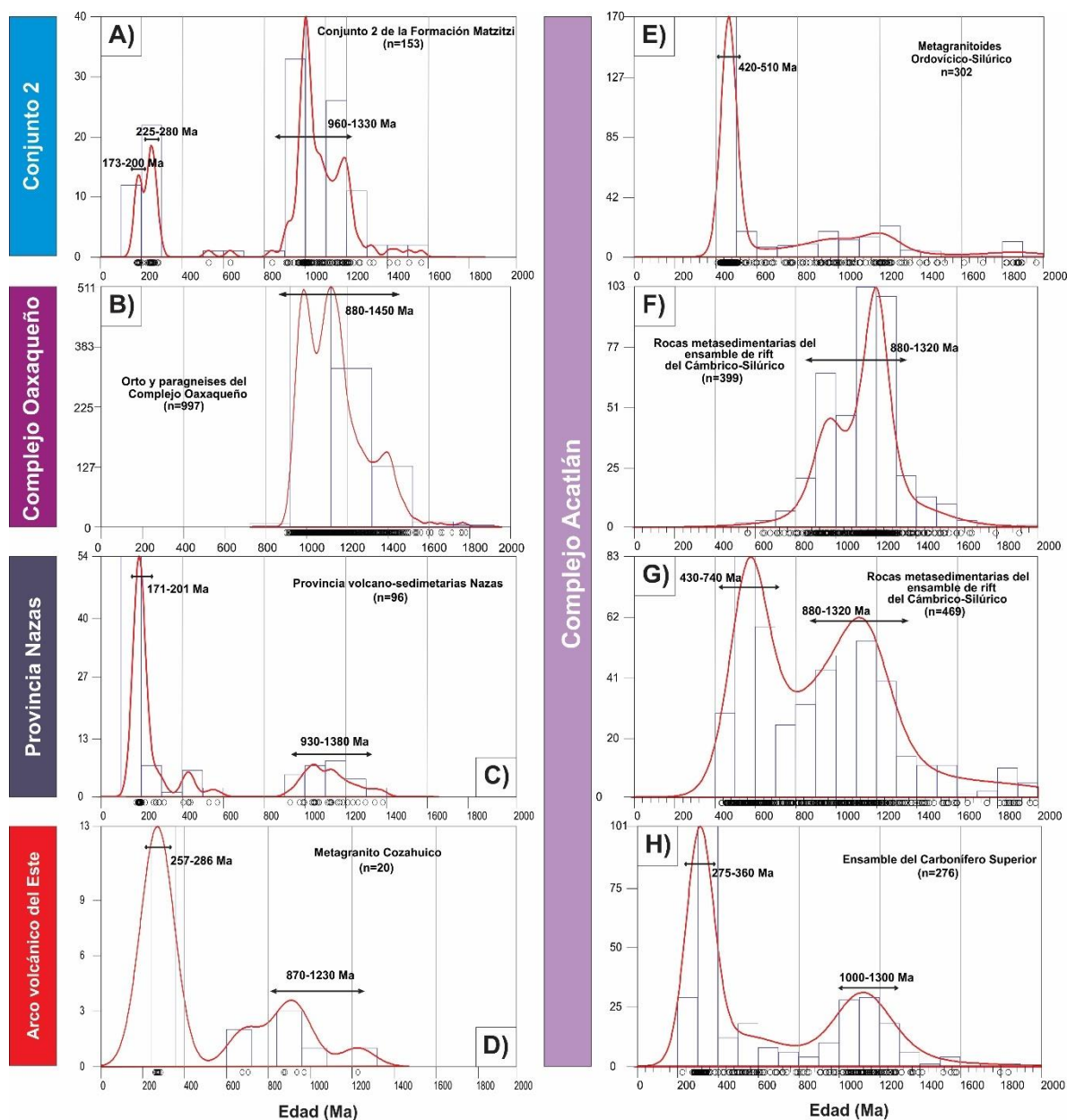
Otra característica distintiva del Conjunto 2 es que contiene una mayor variedad de líticos sedimentarios. Los líticos sedimentarios siliciclásticos son los más abundantes, Sin embargo, también hay líticos sedimentarios carbonatados, los cuales no fueron observados en ninguna muestra del Conjunto 1. Esto no solo se observó en las areniscas, sino también en los conglomerados. Desafortunadamente, los clastos carbonatados observados no contienen fósiles, por lo que su procedencia y edad son difíciles de constreñir. Sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior son abundantes en toda la zona circundante al Golfo de México (*e.g.* Goldhammer, 1999; Martini y Ortega-Gutiérrez, 2018). En la Cuenca de Ayuquila, se reporta una caliza del Jurásico Superior denominada Caliza Chimeco (Campos-Madrigal *et al.*, 2013). Alencaster y Buitrón-Sánchez (1965) le asignan una edad del Oxfordiano (Jurásico Superior) con base en su contenido fosilífero. Sin embargo, calizas del Cretácico Inferior también se reportan en el área de estudio en la formación La Compañía (Mendoza-Rosales, 2010). Por ello, las sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior representan una posible fuente de los clastos de caliza.

Finalmente, el Conjunto 2 tiene un contenido ligeramente mayor de cuarzo policristalino respecto a las muestras del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi. Esta categoría de acuerdo con Dickinson (1970) se asigna a fragmentos afaníticos constituidos solamente por cuarzo cuyo origen es incierto, por lo que pueden representar la matriz de líticos volcánicos felsíticos, partes afaníticas de líticos metamórficos cuarcíticos o fragmentos de rocas sedimentarias silíceas como radiolarita y pedernal. Las observaciones de campo han permitido determinar que los conglomerados de esta formación contienen fragmentos de pedernal, por lo que en este trabajo se propone que el cuarzo policristalino corresponda a fragmentos de pedernal. La procedencia de estos fragmentos es incierta. Las sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior contienen abundante pedernal diagenético de color negro, y podrían ser una posible fuente (Mendoza-Rosales, 2010; Campos-Madrigal *et al.*, 2013).

Los líticos metamórficos son los menos abundantes y son principalmente de rocas metasedimentarias en facies de esquistos verdes. La presencia de turmalina en estas rocas sugiere que el Complejo Acatlán pudo proporcionar estos clastos, aunque, esta suposición debe de corroborarse con datos de química mineral (Martini *et al.*, 2020).

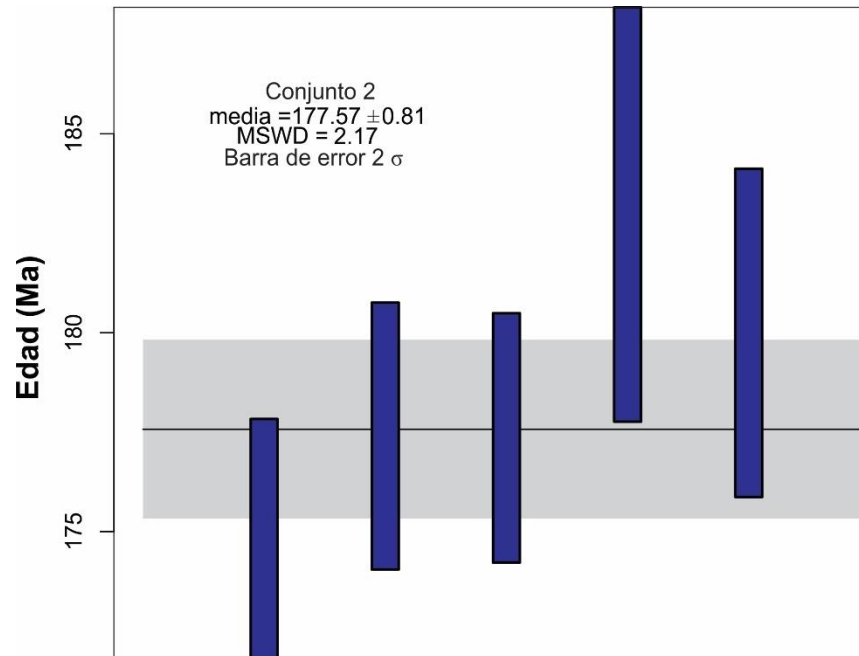
Sintetizando, las observaciones realizadas en este trabajo sugieren que el Conjunto 2 deriva principalmente de la erosión del Complejo Oaxaqueño, la Provincia volcano-sedimentaria Nazas y, en menor medida, de sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, del Arco Pérmico del Este Mexicano y el Complejo Acatlán.

La edad máxima de depósito del Conjunto 2 es de ~177 Ma (Fig. 10.6), la cual fue calculada haciendo la media aritmética de los cinco circones más jóvenes, dado que los errores  $2\sigma$  se traslapan (Dickinson y Gehrels, 2009). Sin embargo, dado el error de 0.81, en este trabajo se toma como la edad máxima de depósito ~180 Ma.





**Figura 10.5.** Estimadores de densidad de Kernel (Vermeesch, 2012) e histogramas que muestran la distribución estadística de las edades de circones detríticos de A) Conjunto 2 (Bedoya-Mejía, 2018), B) el Complejo Oaxaqueño (Solari *et al.*, 2014), C) el metagranito Cozahuico (Elías-Herrera *et al.*, 2005), D) arenisca de la Provincia volcano-sedimentaria Nazas (Rubio-Cisneros y Lawton, 2011), E) metagranitoides del Complejo Acatlán (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013), F) y G) ensamble de rift del Cámbrico-Silúrico de alta presión (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Murphy *et al.*, 2006; Vega-Granillo *et al.*, 2007; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013) y bajo grado metamórfico (Keppie *et al.*, 2008; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018) del Complejo Acatlán, y H) ensamble del Carbonífero Superior (Kirsch *et al.*, 2012) del Complejo Acatlán.



**Figura 10.6.** Edad máxima de depósito para el Conjunto 2 de la Formación Matzitzi. Datos tomados de Bedoya-Mejía (2018).

### 10.2.3 Sucesiones fluviales del Cretácico

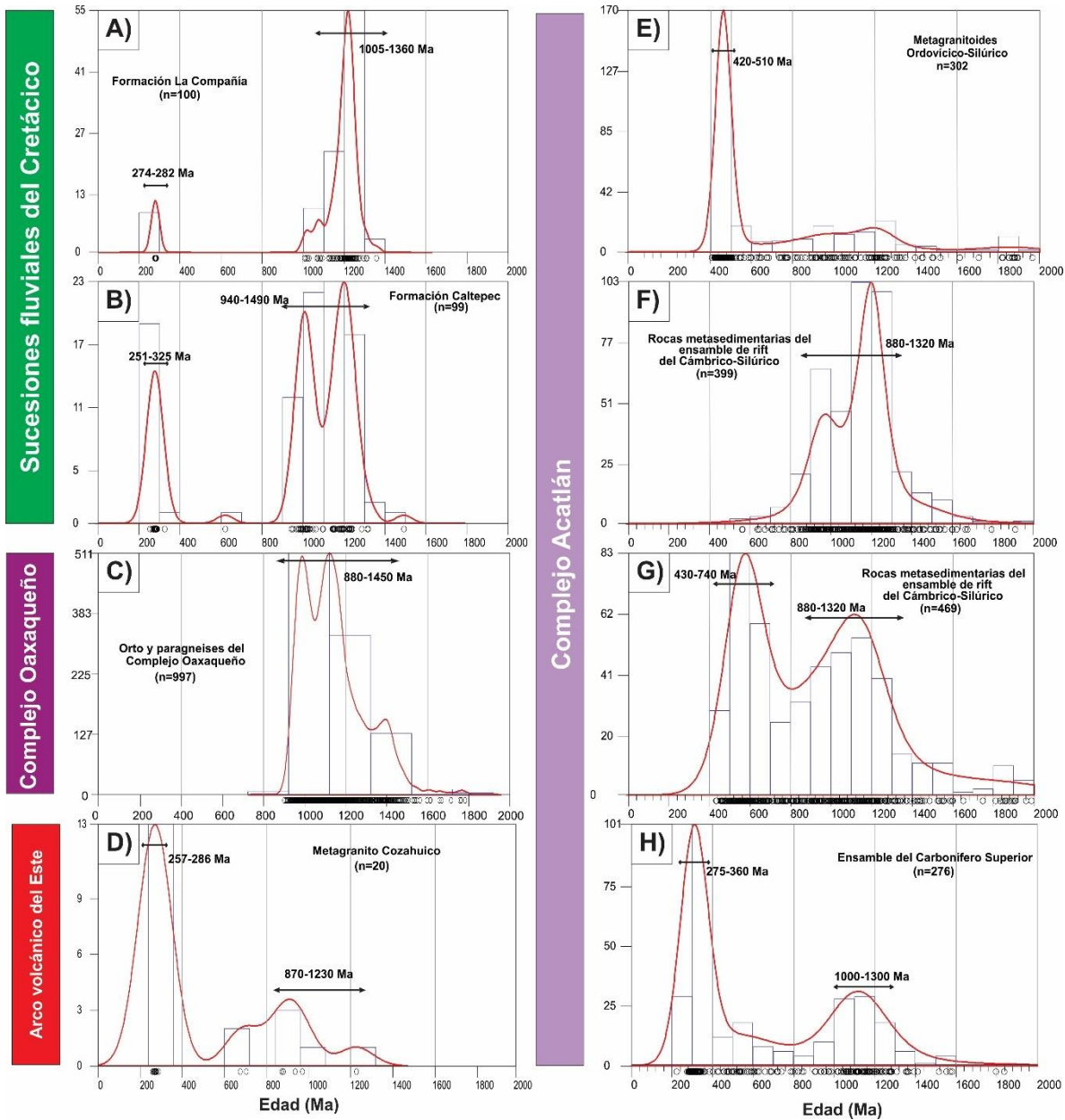
Al igual que las areniscas de los Conjuntos 1 y 2 de la Formación Matzitzi, las muestras de las sucesiones fluviales del Cretácico derivaron en gran parte de rocas metamórficas de alto grado, como lo atestiguan los fragmentos policristalinos con texturas granoblásticas ameboides evidenciadas por microestructuras de migración de borde de grano, los cristales de cuarzo con inclusiones aciculares de rutilo y el feldespato potásico mesopertítico. Lo anterior sugiere que la principal fuente de estos depósitos fluviales son las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño. Esta aseveración es soportada por un grupo principal de edades de circones detríticos que se traslapa con el rango de edades reportado para el Complejo Oaxaqueño (Figs. 10.7A-C; Solari *et al.*, 2014). Además, el mapa de escalamiento

multidimensional muestra similitudes de segundo orden con la muestra del Complejo Oaxaqueño (Fig. 10.4).

Una característica distintiva de las areniscas de las sucesiones fluviales del Cretácico es la presencia de fragmentos de milonita. En zonas aledañas se han reportado este tipo de rocas en la zona de Falla de Caltepec (Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 2002). El grupo de edades de ~250 a 350 Ma en las muestras analizadas, consistente con el grupo de edades reportado para los metagranitoides del Arco Pérmico del Este de México que van de ~257 a 286 Ma (Fig. 10.7D), por lo que se propone que estos fragmentos deriven de esta Provincia.

Al igual que las muestras del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi, los líticos metamórficos son los más abundantes, se tratan de rocas metasedimentarias en facies de esquisto verde. Una posible fuente de estos fragmentos son las rocas metasedimentarias de bajo grado del Complejo Acatlán. En efecto, esta aseveración es soportada por un grupo de edades de circones detríticos de ~250 a ~350 Ma que es consistente con la edades reportadas para las rocas metasedimentarias del ensamble del Carbonífero Superior del Complejo Acatlán (Figs. 10.7 E-H; Kirsch *et al.*, 2012).

En síntesis, las areniscas de las sucesiones fluviales del Cretácico derivaron principalmente del Complejo Oaxaqueño, y en menor medida de las rocas metasedimentarias de bajo grado del Complejo Acatlán y del Arco Pérmico del Este de México.



**Figura 10.7.** Estimadores de densidad de Kernel (Vermeech, 2012) e histogramas que muestran la distribución estadística de las edades de circones detríticos de A) y B) las areniscas de las sucesiones fluviales del Cretácico analizadas en este trabajo, C) el Complejo Oaxaqueño (Solari *et al.*, 2014), D) el metagranito Cozahuico (Elías-Herrera *et al.*, 2005), E) metagranitoides del Complejo Acatlán (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013), F) y G) ensamble de rift del Cámbrico-Silúrico de alta presión (Talavera-Mendoza *et al.*, 2005; Murphy *et al.*, 2006; Vega-Granillo *et al.*, 2007; Morales-Gómez *et al.*, 2008; Galaz *et al.*, 2013) y bajo grado metamórfico (Keppie *et al.*, 2008; Zepeda-Martínez *et al.*, 2018) del Complejo Acatlán, y H) ensamble del Carbonífero Superior (Kirsch *et al.*, 2012) del Complejo Acatlán.

### 10.3 Significado geológico del Conjunto 2 originalmente agrupado en la Formación

#### Matzitzi

La integración de los datos reportados en este trabajo con los de Bedoya-Mejía (2018) permite definir algunas diferencias substanciales entre los diferentes depósitos fluviales del área de estudio. Estas diferencias se sintetizan en la Tabla 10.1. En particular, resalta que la Formación Matzitzi, así como se había considerado anteriormente, contiene dos diferentes sucesiones con diferentes características sedimentológica, de procedencia y edad. Estas diferencias justifican que se separen estos dos conjuntos y se consideren como unidades estratigráficas distintas. En este trabajo se propone que la sucesión fluvial del Conjunto 1 se continúe denominando Formación Matzitzi, en cuanto esta contiene los afloramientos con base en que fue originalmente definida, así como la flora del Paleozoico Superior que ha sido estudiada y que es típica de esta unidad. Los depósitos fluviales del Conjunto 2 se consideran en este trabajo como una nueva unidad estratigráfica de edad posterior a los 180 Ma, llamada formación Agua de Mezquite, la cual se define a continuación de manera informal.

De acuerdo con el Código Estratigráfico Norteamericano (Barragán *et al.*, 2010), una tesis es considerada un medio poco adecuado para la descripción y definición formal de una unidad estratigráfica y no constituye una publicación válida. Sin embargo, reconocer que dentro de la Formación Matzitzi existen diferentes unidades estratigráficas es de suma importancia para la reconstrucción de la estratigrafía en el sur de México, y se considera fundamental separar adecuadamente estas sucesiones fluviales. Por ello, en este trabajo se presenta una breve descripción de acuerdo con el Código Estratigráfico Norteamericano (Barragán *et al.*, 2010), para definir informalmente a la formación Agua de Mezquite y justificar su separación de la Formación Matzitzi.

El nombre de la formación Agua de Mezquite deriva de la comunidad homónima localizada en el estado de Puebla, entre las localidades de Zapotitlán Salinas y Los Reyes Metzontla (Fig. 5.12), donde se encuentran las mejores exposiciones que permiten una descripción más detallada de esta unidad. La formación Agua de Mezquite se distribuye además al oriente del Cerro Machichi y al norte del poblado de San Luis Atolotitlán (Fig. 5.12).

La formación Agua de Mezquite es una intercalación de arenisca, conglomerado y, en menor proporción, limolita. Esta unidad estratigráfica contiene una intercalación de cuerpos con

base erosiva y cóncava hacia arriba, cortándose lateral y verticalmente, estos cuerpos se componen por conglomerado con estratificación cruzada curvada y planar, arenisca con estratificación cruzada curvada y planar, y rizaduras y limolita con laminación plano-paralela de régimen inferior. También, se alternan cuerpos de conglomerado masivo y ocasionalmente con gradación inversa. Los clastos de los conglomerados tienen formas obladas, en disco, en cuchillo y compactas. Los principales componentes de los conglomerados son fragmentos gneis cuarzo-feldespático, roca volcánica, arenisca, caliza y pedernal. Petrográficamente, se compone de fragmentos monocristalinos y policristalinos faneríticos de cuarzo y feldespato con textura granoblástica ameboide. Los líticos que contiene son principalmente volcánicos y texturalmente corresponden a fragmentos tipo *lathwork*, felsíticos y en menor proporción microlíticos, fragmentos de caliza *mudstone* y cuarzo policristalino.

El espesor estratigráfico de esta unidad no es claro, dada la intensa deformación que afecta al área de estudio. Esto mismo, ha dificultado comprender las relaciones estratigráficas que la formación Agua de Mezquite guarda con otras unidades estratigráficas. La formación Agua de Mezquite sobreyace en discordancia litológica a los gneises cuarzo-feldespáticos del Complejo Oaxaqueño, esta discordancia se localiza al norte del poblado de Los Reyes Metzontla (Fig. 5.12). Los datos reportados por Bedoya-Mejía (2018) indican que la formación Agua de Mezquite al menos tiene una edad máxima de depósito de 180 Ma, la cual no es necesariamente la edad real de depósito de esta unidad estratigráfica. Sin embargo, debido a la presencia de fragmentos de caliza que pueden proceder de las sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior o Cretácico Inferior, no se descarta que esta formación pueda ser cretácica o inclusive cenozoica.

Las características sedimentológicas indican que la formación Agua de Mezquite es una intercalación de elementos GB (barras y formas de fondo de grava) y SG (depósitos de flujos gravitacionales) que, de acuerdo con Miall (2006), corresponden a sistemas fluviales asociados a altas pendientes. Por esta razón, el ambiente sedimentario bajo el cual se depositó la formación Agua de Mezquite puede tratarse de un río trezado o abanico aluvial.



**Figura 10.1** Resumen de las características de las sucesiones fluviales estudiadas.

| <b>Unidad estratigráfica</b>                   | <b>Elementos arquitectónicos</b> | <b>Ambiente sedimentario</b>                   | <b>Forma de clastos</b>   | <b>Principal fuente de detrito</b>                                   | <b>Otras fuentes de detrito</b>   | <b>Edad</b>  | <b>Minerales pesados</b>  |
|--|----------------------------------|--|---|--|---|--|---|
| <b>Formación Matzitzi (Conjunto 1)</b>         | CH, SG, LV, CS, FF               | Sistema fluvial anastomosado y abanico aluvial | Compactos, compactos-elongados, compactos-cuchillo, compactos-disco   | Rocas de alto grado del Meso-Neoproterozoico del Complejo Oaxaqueño  | 1) Complejo Acatlán (líticos metamórficos en facies de subesquisto a esquisto verde)<br>2) Arco Pérmico del Este de México (líticos volcánicos felsíticos)<br>3) Areniscas (post- 290 Ma)   | Paleozoico Tardío (edad paleontológica) o Triásico Medio (edad Felsita Atolotitlán ) | Granate, circón, rutilo, apatito, clinozoisita, pistachita, mica blanca sagíptica, biotita, clorita, turmalina y corindón |
| <b>Formación Agua de Mezquite (Conjunto 2)</b> | GB y SG                          | Río trenzado o abanico aluvial                 | Compactos, compactos-elongados, compactos-cuchillo, compactos-disco, elongados, cuchillo, disco, muy elongados y muy en disco | Rocas del alto grado del Meso-Neoproterozoico del Complejo Oaxaqueño | 1) Provincia vulcanosedimentaria Nazas (líticos volcánicos <i>lathwork</i> a felsíticos)<br>2) Sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (caliza y pedernal)<br>3) Complejo Acatlán (líticos metamórficos en facies de subesquisto a esquisto verde)<br>4) Arco Pérmico del Este de México (líticos volcánicos felsíticos) | Post-Jurásico Medio (edad máxima de depósito 180 Ma)                                 | Circón, rutilo, apatito, clorita, mica blanca sagíptica, clinozoisita y turmalina   |
| <b>Formaciones Caltepec y La Compañía</b>      | GB y SG                          | Río trenzado y abanico aluvial                 | No aplica   | Rocas de alto grado del Meso-Neoproterozoico del Complejo Oaxaqueño  | 1) Complejo Acatlán (líticos metamórficos en facies de subesquisto a esquisto verde)<br>2) Arco Pérmico del Este de México (líticos volcánicos felsíticos)  | Cretácico Inferior (edad paleontológica)   | Circón, rutilo, apatito, clorita, mica blanca sagíptica, anfíbol verde y clinozoisita                                     |

#### 10.4 Líneas guía para la identificación de las sucesiones fluviales en el área de estudio

Los datos sedimentológicos, petrográficos y geocronológicos permiten diferenciar entre las distintas unidades fluviales aflorantes en la región comprendida entre Los Reyes Metzontla y Coatepec. Esta información se resume en la Tabla 10.1. De acuerdo los datos presentados en este trabajo, es posible diferenciar entre la Formación Matzitzi, las formaciones cretácicas y la nueva formación denominada en este trabajo como formación Agua de Mezquite.

El análisis de elementos arquitectónicos indica que la Formación Matzitzi está compuesta por elementos típicos de un sistema fluvial anastomosado con abanicos aluviales en las partes marginales de la cuenca. Por otro lado, las formaciones Agua de Mezquite, Caltepec y La Compañía se caracterizan por una alternancia de elementos de típicos de sistemas fluviales de alta energía y gradiente topográfico como son los ríos trenzados y abanicos aluviales.

Como se ha dicho antes, todas las muestras analizadas de las 3 unidades fluviales tienen como principal componente fragmentos derivados de una fuente metamórfica de alto grado que se relaciona con el Complejo Oaxaqueño, lo cual es soportado por un grupo de edades de circones del Meso al Neoproterozoico.

A pesar de este punto en común, hay también diferencias mayores. Mientras que la Formación Matzitzi y las formaciones Caltepec y La Compañía son definidas por petrofacies metamorfolíticas y contienen principalmente líticos metamórficos en facies de subesquistos a esquistos verdes que proceden de los ensambles del Complejo Acatlán; y en menor proporción líticos volcánicos felsíticos del Arco Pérmico del Este Mexicano. La formación Agua de Mezquite es representada por petrofacies vulcanoclásticas, presentando líticos volcánicos que derivan de la Provincia volcano-sedimentaria Nazas. Otra característica composicional es una mayor variedad de líticos sedimentarios como caliza y pedernal que podrían derivar de sucesiones carbonatadas de Jurásico Superior y Cretácico Inferior (Mendoza-Rosales, 2010; Campos-Madrigal *et al.*, 2013).

La edad de la Formación Matzitzi es aún un tema de debate, esta podría ser del Paleozoico Superior de acuerdo con el contenido fósil (Weber *et al.*, 1987; Flores-Barragán *et al.*, 2019) o inclusive del Triásico Medio por la edad de la Felsita Atolotitlán (Elías-Herrera *et al.*, 2011; Bedoya-Mejía, 2018). La edad de las formaciones Caltepec y La Compañía ha sido asignada al Cretácico Inferior de acuerdo con el contenido fósil (Mendoza-Rosales, 2010 y referencias

en él). Finalmente, la edad de la formación Agua de Mezquite es una edad máxima de depósito del Jurásico Medio (Bedoya-Mejía, 2018), aunque no se descarta que pueda ser cretácica o inclusive cenozoica.

## Conclusiones

Los resultados presentados en este trabajo permiten establecer líneas guía para la identificación de las sucesiones fluviales en el área de estudio. Estas guías se basan en datos sedimentológicos, petrográficos y geocronológicos. Estas observaciones permitieron dividir a la Formación Matzitzi en dos conjuntos, los cuales fueron comparados con las sucesiones fluviales del Cretácico que afloran en el área de estudio.

El Conjunto 1 se caracteriza por ser una alternancia de conglomerado, arenisca y lodolita, los elementos arquitectónicos son los típicos de un sistema fluvial anastomosado. Los conglomerados presentan formas compactas. Las areniscas de este conjunto derivaron principalmente de las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño, como lo indica un único grupo de edades del Proterozoico que son concordantes para el rango de edades reportado para el Complejo Oaxaqueño; con aportes menores de las rocas metasedimentarias de bajo grado del Complejo Acatlán y rocas volcánicas felsíticas del Arco Pérmico del Este de México. Se propone que estas rocas mantengan el nombre de Formación Matzitzi debido a que incluyen los afloramientos donde fue originalmente definida y porque contiene la flora fósil del Pérmico.

El Conjunto 2 se caracteriza por una alternancia de areniscas y conglomerados, cuyos elementos arquitectónicos son de abanico aluvial o río trenzado. Los conglomerados contienen formas compactas, en disco, en cuchillo y obladas. Al igual que el Conjunto 1, las areniscas derivan principalmente de las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño, como lo indica un grupo de edades concordantes con el rango de edad reportado para este complejo. El Conjunto 2 contiene en su mayoría líticos volcánicos de un amplio rango composicional, la aparición de un grupo de edades del Jurásico Inferior-Medio sugiere que estas rocas derivan de las sucesiones volcano-sedimentarias de la Provincia Nazas, además, este conjunto contiene clastos de calizas y pedernal que derivarían de las sucesiones carbonatadas del Jurásico Superior- Cretácico Inferior circundantes al Golfo de México. En menor medida, se reportan fuentes como el Arco Pérmico del Este de México y el Complejo Acatlán. Estos datos soportan que este grupo se separe de la tradicional Formación Matzitzi, por lo que se introduce por primera vez de manera informal, el nombre de formación Agua de Mezquite para este conjunto de rocas. La edad máxima de depósito de 180 Ma se basa en la edad de

los circones más jóvenes. Sin embargo, se necesitan trabajos posteriores para entender con más detalle la edad de depósito y las relaciones estratigráficas con otras unidades dada la complejidad estructural de la zona de estudio.

Finalmente, las formaciones Caltepec y La Compañía incluidas agrupadas como sucesiones fluviales del Cretácico Inferior se depositaron en un abanico fluvial que varía lateralmente a depósitos marinos someros. Las areniscas derivan principalmente de las rocas de alto grado del Complejo Oaxaqueño, las rocas metasedimentarias del Complejo Acatlán y las rocas del Arco Pérmico del Este de México. Asimismo, estas diferencias en la procedencia con el Conjunto 2, justifican que las sucesiones fluviales del Cretácico se separaren de la formación Agua de Mezquite.



## Bibliografía

- Alencaster, G., Buitrón-Sánchez, B. E. (1965). Fauna del Jurásico Superior de la región de Petlacingo, Puebla. *Paleontología Mexicana*, 21(53), 14.
- Arellano-Gil, J., Vachard, D., Yussim, S., Flores de Dios, A. (1998). Aspectos estratigráficos, estructurales y paleogeográficos del Pérmico Inferior al Jurásico Inferior en Pemuxco, estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(1), 9–13.
- Barbosa-Gudiño, J. R., Orozco-Esquivel, T., Gómez-Anguiano, M., Zavala-Monsiváis, A. (2008). Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *Journal of South American Earth Sciences*, 25(1), 49–63.
- Barragán, R., Campos-Madrigal, E., Ferrusquía-Villafranca, I., López-Palomino, I., Tolson, G. (2010). Código estratigráfico norteamericano. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 117.
- 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*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Calderón-García, A. (1956). Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Puebla. XX *Congreso Geológico Internacional*, 9–27. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Campa-Uranga, M. F., García-Díaz, J. I., Iriando, A. (2004). El arco sedimentario del Jurásico Medio (Grupo Tecocoyunca y Las Lluvias) de Olinalá, Guerrero. *GEOS: Unión Geofísica Mexicana*, 24, 174.
- Campos-Madrigal, 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 Texcalapa, Puebla- Huajuapán de León, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(1), 24–50.
- Cann, J. H., Lower, C. S., Jago, J. B. (2014). Provenance and sediment characteristics of

- contemporary gravel deposits at Sellicks Beach, eastern shore of Gulf St. Vincent, South Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 61, 819–836.
- Cavazos-Tovar, J. G., Gómez-Tuena, A., Parolari, M. (2020). The origin and evolution of the Mexican Cordillera as registered in modern detrital zircons. *Gondwana Research*, 86, 83–103.
- Centeno-García, E., Mendoza-Rosales, C., Silva-Romo, G. (2009). Sedimentología de la Formación Matzitz (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.
- Centeno-García, E., Mendoza-Rosales, C., Silva-Romo, G., Campos-Madrigal, E. (2019). Magmatismo del Paleozoico Tardío-Mesozoico Temprano en México, implicaciones tectónicas. En *Simposio GeoPangea: desde la consolidación hasta la dispersión del último supercontinente* (Vol. 122, p. 18).
- Dickinson, W. R. (1970). Interpreting detrital modes of greywackes and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40(2), 695–707.
- Dickinson, W. R., Gehrels, G. E. (2009). Use of U–Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth and Planetary Science Letters*, 288(1), 115–125.
- Dickinson, W. R., Lawton, T. F. (2001). Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 113(9), 1142–1160.
- Durán-Aguilar, R. F. (2013). *Sedimentología y geocronología de los lechos rojos del Jurásico. Correlaciones y procedencia*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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), 1013.
- Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Macías-Romo, C., Sánchez-Zavala, J. L., Solari, L.

- A. (2011). Colisión oblicua del Cisuraliano-Guadalupiano entre bloques continentales en el sur de México: evidencias estratigráfico-estructurales y geocronológicas. *Simposio En Honor Del Dr. Zoltan de Cserna*, 159–164. Ciudad de México, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J. L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Iriando, 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. Volumen Conmemorativo Del Centenario. Grandes Fronteras Tectónicas de México*, LVII(1), 83–109.
- Erwin, D. H. (1994). The Permo–Triassic extinction. *Nature*, 367, 231–236.
- Flores-Barragán, M. A., Velasco de León, M. P., Lozano-Carmona, D. E., Ortega-Chavez, E. (2019). Avances en el conocimiento de la paleoflora de la Formación Matzitzzi y sus implicaciones temporales. *Simposio Geopangea: Desde La Consolidación Hasta La Dispersión Del Último Supercontinente*, 21–22. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Galaz, G., Keppie, J. D., Lee, J. W. K., Ortega-Rivera, A. (2013). A high-pressure folded klippe at Tehuitzingo on the western margin of an extrusion zone, Acatlán Complex, southern México. *Gondwana Research*, 23(2), 641–660.
- Garzanti, E. (2016). From static to dynamic provenance analysis—Sedimentary petrology upgraded. *Sedimentary Geology*, 336, 3–13.
- Garzanti, E. (2017). The Maturity Myth In Sedimentology and Provenance Analysis. *Journal of Sedimentary Research*, 87, 353–365.
- Garzanti, E. (2019). Petrographic classification of sand and sandstone. *Earth-Sciences Reviews*, 192, 545–563.
- Garzanti, E., Andò, S. (2019). Heavy Minerals for Junior Woodchucks. *Minerals*, 9, 148.
- 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.

- Gazzi, P. (1966). Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Appennino modenese; correlazioni con il flysch di Monghidoro. *Mineral. Petrogr., Acta* 12, 69–97.
- Gerwert-Navarro, M., Villanueva-Amadoz, U. (2019). Estudios paleobotánicos sobre la Formación Matzitzi. *Simposio GeoPangea: Desde La Consolidación Hasta La Dispersión Del Último Supercontinente*, 122.
- Goldhammer, R. K. (1999). Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico. In *Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico*. Geological Society of America Special Paper, 340, 1–58.
- González-Hervet, M. G., González-Martínez, P. R., Rojas-Rosas, R., Miranda-Peralta, L. R., Arredondo-Delgadillo, M. (1984). Características estratigráficas y estructurales del límite de los terrenos Mixteco y Oaxaca, en la región de Los Reyes Metzontla, Pue. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 45(1–2), 21–32.
- Graham, D. J., Midgley, N. G. (2000). Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an Excel spreadsheet method. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1473–1477.
- Helbig, M., Keppie, J. D., Murphy, J. B., Solari, L. A. (2012). Exotic rifted passive margin of a back-arc basin off western Pangea: Geochemical evidence from the early Mesozoic Ayú Complex, southern Mexico. *International Geology Review*, 5, 863–881.
- Hernández-Láscares, D. (2000). *Contribución al conocimiento de la estratigrafía de la Formación Matzitzi, área Los Reyes Metzontla- Santiago Coatepec, extremo suroriental del estado de Puebla*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jiao, S., Guo, J. (2011). Application of the two-feldspar geothermometer to ultrahigh-temperature (UHT) rocks in the Khondalite belt, North China craton and its implications. *American Mineralogist*, 96(2–3), 250–260.
- Juarez-Zuñiga, S. (2019). *Análisis de los conglomerados de la formación Matzitzi, sur de México :implicaciones para la evolución del Paleozoico*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Juarez-Zuñiga, S., Solari, L. A., Ortega-Obregón, C. (2020). Permian igneous clasts from the

- Matzitzi Formation, southern Mexico: isotopic constrains on the final amalgamation of Pangea. *Geological Society of London. Special Publication*, 503.
- Keppie, J. D., Dostal, J., Cameron, K. L., Solari, L. A., Ortega-Gutiérrez, F., Lopez, R. (2003). Geochronology and geochemistry of Grenvillian igneous suites in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: tectonic implications. *Precambrian Research*, 120, 365–389.
- Keppie, J. D., Dostal, J., Miller, B. V., Ramos-Arias, M. A., Morales-Gómez, M., Nance, R., Cooper, P. (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(1–4), 130–156.
- Keppie, J. D., Dostal, J., Murphy, J. B., Nance, R. . (2008). Synthesis and tectonic interpretation of the westernmost Paleozoic Variscan orogen in southern Mexico: from rifted Rheic margin to active Pacific margin. *Tectonophysics*, 461, 277–290.
- Kirsch, M., Keppie, D. J., Murphy, B., Solari, L. (2012). Permian–Carboniferous arc magmatism and basin evolution along the western margin of Pangea: Geochemical and geochronological evidence from the eastern Acatlán Complex, southern Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 124, 1607–1628.
- Kirsch, M., Keppie, D. J., Murphy, J. B., Lee, J. K. W. (2013). Arc plutonism in a transtensional regime: the late Paleozoic Totoltepec pluton, Acatlán Complex, southern Mexico. *International Geology Review*, 55(3), 263–286.
- Macías-Romo, C., Elías-Herrera, M., Sánchez-Zavala, J. L. (2019). ¿Magmatismo Triásico (riodacita Atolotitlán) sedimentario en la Formación Matzitzi, unidad post-orogénica de traslape en el sur de México? *Simposio GeoPangea: Desde La Consolidación Hasta La Dispersión Del Último Supercontinente*, 24. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Makaske, B. (2001). Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth-Sciences Reviews*, 53, 149–196.
- Marsaglia, K. M., Ingersoll, R. V. (1992). Compositional trends in arc-related, deep-marine



- sand and sandstone: A reassessment of magmatic-arc provenance. *Geological Society of America Bulletin*, 102(12), 1637–1649.
- Martini, M., Ortega-Gutiérrez, F. (2018). Tectono-stratigraphic evolution of eastern Mexico during the break-up of Pangea: A review. *Earth-Sciences Reviews*, 183, 38–55.
- Martini, M., Solari, L., Peña-Guerrero, M., Martínez-Zepeda, M., Montomoli, C. (2020). Guidelines for assessing the provenance of Mesozoic and Cenozoic clastic successions sourced by pre-Jurassic basement complexes in southernmost North America. *Journal of Sedimentary Research*, 90(5), 513–532.
- Mendoza-Rosales, C. C. (2010). *Estratigrafía y facies de las cuencas cretácicas del sur de Puebla y su significado tectónico*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Miall, A. D. (2006). *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, basin Analysis, and Petroleum Geology*: Heidelberg, Germany, Springer, 582.
- Morales-Gómez, M., Keppie, J. D., Norman, M. (2008). Ordovician–Silurian rift-passive margin on the Mexican margin of the Rheic Ocean overlain by Carboniferous–Permian periarc rocks: Evidence from the eastern Acatlán Complex, southern Mexico. *Tectonophysics*, 461(1–4), 291–310.
- Morton, A. C. (1985). Heavy minerals in provenance studies. En Zuffa (ed.), *Provenance of arenites*: D. Reidel Publishing Company, 249-277.
- Murphy, J. B., Keppie, J. D., Nance, R. ., Miller, B. V., Dostal, J., Middleton, M., Storey, C. (2006). Geochemistry and U–Pb protolith ages of eclogitic rocks of the Asís Lithodeme, Piaxtla Suite, Acatlán Complex, southern Mexico: tectonothermal activity along the southern margin of the Rheic Ocean. *Journal of the Geological Society*, 163, 683–695.
- Nichols, G. J. (2009). Rivers and alluvial fans. In *Sedimentology and stratigraphy*: Wiley-Blackwell, 2nd edition, 129–150.
- Ortega-Gutiérrez, F. (1978). *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca*: Universidad Nacional Autónoma de México.

- 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-Sciences Reviews*, 183, 2–37.
- Ortega-Obregón, C., Solari, L. A., Gómez-Tuena, A., Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Macías-Romo, C. (2014). Permian-Carboniferous arc magmatism in southern Mexico: U-Pb dating, trace elements and Hf isotopic evidence on zircons of earliest subduction beneath the western margin of Gondwana. *International Journal of Earth Science*, 103(5), 1287–1300.
- Passchier, C. W., Trouw, R. A. J. (2005). Deformation mechanisms. In *Micro-tectonics*, 25–66.
- Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J. D., Hergt, J. M. (2011). Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, (12).
- Rosales-Lagarde, L., Centeno-García, E., Dostal, J., Sour-Tovar, F., Ochoa-Caramillo, H., Quiroz-Barroso, S. (2005). The Tuzancoa Formation: Evidence of an Early Permian Submarine Continental Arc in East-Central Mexico. *International Geology Review*, 47, 901–919.
- Rubio-Cisneros, I. I., Lawton, T. F. (2011). Detrital zircon U-Pb ages of sandstones in continental red beds at Valle de Huizachal, Tamaulipas, NE Mexico: Record of Early-Middle Jurassic arc volcanism and transition to crustal extension. *Geosphere*, 7(1), 159–170.
- Sato, K., Santosh, M. (2007). Titanium in quartz as a record of ultrahigh-temperature metamorphism: the granulites of Karur, southern India. *Mineralogical Magazine*, 71(2), 143.
- Silva-Pineda, A. (1970). Plantas del Pensilvánico de la región de Tehuacan: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 29, 108.
- Skilling, I. P., White, J. D. L., McPhie, J. (2002). Peperite: a review of magma-sediment mingling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114, 1–17.

- Sneed, E. D., Folk, R. L. (1958). Pebbles in the lower Colorado river, Texas a study in particle morphogenesis. *Journal of Geology*, 66(2), 114–150.
- Solari, L. A., González-León, C. M., Ortega-Obregón, C., Valencia-Moreno, M., Rascón-Heimpel, M. A. (2017). The Proterozoic of NW Mexico revisited: U-Pb geochronology and Hf isotopes of Sonoran rocks and their tectonic implication. *International Journal of Earth Science*, 107, 845–861.
- Solari, L. A., Keppie, J. D., Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K. L., Lopez, R., Hames, W. E. (2003). 990 and 1100 Ma Grenvillian tectonothermal events in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: roots of an orogen. *Tectonophysics*, 365, 257–282.
- Solari, L. A., Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Ortega-Obregón, C., Macías-Romo, C., Reyes-Salas, M. (2014). Detrital provenance of the Grenvillian Oaxacan Complex, southern Mexico: a zircon perspective. *International Journal of Earth Science*, 103, 1301–1315.
- Stern, R. J., Dickinson, W. R. (2010). The Gulf of Mexico is a Jurassic backarc basin. *Geosphere*, 6(6), 739–754.
- Stipp, M., Stünitz, H., Heilbronner, R., Schmid, S. M. (2002). The eastern Tonale fault zone: a “natural laboratory” for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 °C. *Journal of Structural Geology*, 24, 1861–1884.
- Talavera-Mendoza, O., Ruíz, J., Gehrels, G. E., Meza-Figueroa, D. M., Vega-Granillo, R., Campa-Uranga, M. F. (2005). U–Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, 235(3–4), 682–699.
- Vega-Granillo, R., Talavera-Mendoza, O., Meza-Figueroa, D. M., Ruíz, J., Gehrels, G. E., López-Martínez, M., de la Cruz-Vargas, J. C. (2007). Pressure-temperature-time evolution of Paleozoic high-pressure rocks of the Acatlán 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. (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.

Weber, R. (1997). How old is the Triassic flora of Sonora and Tamaulipas, and news on Leonardian floras in Puebla and Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14(2), 225–243.

Weber, R., Centeno-García, E., y Magallón-Puebla, S. A. (1987). La Formación Matzitzi tiene edad permocarbonífera. *II Simposio Sobre La Geología Regional de México*, 57–59. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Wetherill, G. W. (1956). Discordant Uranium-Lead Ages, I. *Transactions, American Geophysical Union*, 37(3), 320–326.

Zepeda-Martínez, M., Martini, M., Solari, L. A. (2018). A major provenance change in sandstones from the Tezoatlán basin, southern Mexico, controlled by Jurassic, sinistral normal motion along the Salado River fault: Implications for the reconstruction of Pangea. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 447–460.

Zuffa, G. G. (1985). Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. In *Provenance of arenites*, 165–189.

### Anexo 1

Mediciones de clastos de los conglomerados de los Conjuntos 1 y 2 de la Formación Matzitzi. Donde, a: eje largo, b: eje medio y c: eje corto. C1, C2 y C3 son los afloramientos donde se realizó la medición de clastos (Figs. 5.12 y 13).

| CONJUNTO 2                |       |       |      |      | CONJUNTO 1                |        |       |      |      |
|---------------------------|-------|-------|------|------|---------------------------|--------|-------|------|------|
| C1: 18.244454; -97.493507 |       |       |      |      | C3: 18.093388; -97.339076 |        |       |      |      |
| a                         | b     | c     | c/a  | b/a  | a                         | b      | c     | c/a  | b/a  |
| 48                        | 33.48 | 25.3  | 0.53 | 0.70 | 64.76                     | 57.18  | 52.4  | 0.81 | 0.88 |
| 42.16                     | 34.78 | 24.48 | 0.58 | 0.82 | 100.56                    | 81.44  | 58.24 | 0.58 | 0.81 |
| 43.68                     | 32.82 | 21.1  | 0.48 | 0.75 | 57.94                     | 46.74  | 45.96 | 0.79 | 0.81 |
| 48.46                     | 28.16 | 26.76 | 0.55 | 0.58 | 102.02                    | 77.8   | 61.82 | 0.61 | 0.76 |
| 53.1                      | 29.74 | 19.94 | 0.38 | 0.56 | 55.72                     | 42.72  | 41.78 | 0.75 | 0.77 |
| 53.04                     | 50.96 | 29.18 | 0.55 | 0.96 | 74.36                     | 59.54  | 50.14 | 0.67 | 0.80 |
| 37.58                     | 29.16 | 25.36 | 0.67 | 0.78 | 59.78                     | 53.36  | 36.34 | 0.61 | 0.89 |
| 45.06                     | 29.46 | 27.74 | 0.62 | 0.65 | 67.36                     | 65.22  | 38.4  | 0.57 | 0.97 |
| 34.66                     | 25.12 | 23.04 | 0.66 | 0.72 | 82.88                     | 57.72  | 43.52 | 0.53 | 0.70 |
| 36.74                     | 25.24 | 23.9  | 0.65 | 0.69 | 90.46                     | 71.9   | 51.84 | 0.57 | 0.79 |
| 39.26                     | 33.88 | 26.74 | 0.68 | 0.86 | 105.02                    | 88.14  | 57.98 | 0.55 | 0.84 |
| 47.06                     | 34.88 | 33.74 | 0.72 | 0.74 | 60.98                     | 53.02  | 47.02 | 0.77 | 0.87 |
| 46.8                      | 30.64 | 19.76 | 0.42 | 0.65 | 67.66                     | 53.74  | 44.94 | 0.66 | 0.79 |
| 35.12                     | 29.6  | 25.22 | 0.72 | 0.84 | 89.86                     | 61.34  | 54.02 | 0.60 | 0.68 |
| 50.62                     | 28.86 | 25.22 | 0.50 | 0.57 | 58.56                     | 56.84  | 42.92 | 0.73 | 0.97 |
| 46.92                     | 35.12 | 21.9  | 0.47 | 0.75 | 69.08                     | 59.98  | 38.96 | 0.56 | 0.87 |
| 38.38                     | 25.64 | 17.14 | 0.45 | 0.67 | 72.76                     | 41.16  | 38.74 | 0.53 | 0.57 |
| 39.12                     | 28.14 | 21.72 | 0.56 | 0.72 | 64.62                     | 49.52  | 36.9  | 0.57 | 0.77 |
| 54.84                     | 35.72 | 27.54 | 0.50 | 0.65 | 100.12                    | 78.78  | 58.56 | 0.58 | 0.79 |
| 26                        | 18.04 | 10.76 | 0.41 | 0.69 | 72.76                     | 47.92  | 37.98 | 0.52 | 0.66 |
| 66.64                     | 51.38 | 31.22 | 0.47 | 0.77 | 95.78                     | 75.34  | 57.66 | 0.60 | 0.79 |
| 55.08                     | 51.9  | 28.78 | 0.52 | 0.94 | 55.98                     | 40.6   | 37.34 | 0.67 | 0.73 |
| 32.62                     | 23.96 | 18.94 | 0.58 | 0.73 | 81.32                     | 74.22  | 48.76 | 0.60 | 0.91 |
| 26.58                     | 19.16 | 17.48 | 0.66 | 0.72 | 103.26                    | 82.98  | 70.96 | 0.69 | 0.80 |
| 38.76                     | 21.64 | 15.6  | 0.40 | 0.56 | 50.94                     | 44.14  | 41.2  | 0.81 | 0.87 |
| 48.88                     | 41.84 | 23.04 | 0.47 | 0.86 | 65.48                     | 48.04  | 40.58 | 0.62 | 0.73 |
| 27.72                     | 21.38 | 19    | 0.69 | 0.77 | 52.44                     | 45.98  | 30.36 | 0.58 | 0.88 |
| 28.04                     | 25.98 | 19.44 | 0.69 | 0.93 | 66.8                      | 51.22  | 47.86 | 0.72 | 0.77 |
| 29.04                     | 19.16 | 17.82 | 0.61 | 0.66 | 96.66                     | 51.76  | 47.74 | 0.49 | 0.54 |
| 30.4                      | 26.82 | 20.62 | 0.68 | 0.88 | 71.42                     | 52.56  | 39.12 | 0.55 | 0.74 |
| 24.56                     | 21    | 17.62 | 0.72 | 0.86 | 92.72                     | 74.8   | 51.52 | 0.56 | 0.81 |
| 36.38                     | 29.66 | 28.4  | 0.78 | 0.82 | 58.54                     | 46.94  | 44.24 | 0.76 | 0.80 |
| 26.92                     | 25.8  | 17.64 | 0.66 | 0.96 | 72.6                      | 48.24  | 36.4  | 0.50 | 0.66 |
| 32.78                     | 27.64 | 23.48 | 0.72 | 0.84 | 45.14                     | 37.52  | 34.48 | 0.76 | 0.83 |
| 27.82                     | 14.08 | 13.64 | 0.49 | 0.51 | 119.02                    | 104.88 | 89.08 | 0.75 | 0.88 |
| 29.48                     | 20    | 17.14 | 0.58 | 0.68 | 78.98                     | 74.22  | 60.14 | 0.76 | 0.94 |



|                           |       |       |      |      |        |        |       |      |      |
|---------------------------|-------|-------|------|------|--------|--------|-------|------|------|
| 25.74                     | 23.76 | 22.48 | 0.87 | 0.92 | 53.44  | 43.74  | 31.1  | 0.58 | 0.82 |
| 29.24                     | 24.98 | 22.26 | 0.76 | 0.85 | 115.94 | 88.34  | 72.58 | 0.63 | 0.76 |
| 35.16                     | 25.76 | 18.14 | 0.52 | 0.73 | 85.46  | 84.06  | 58.04 | 0.68 | 0.98 |
| 21.72                     | 17.04 | 12.18 | 0.56 | 0.78 | 96.6   | 68.08  | 63.56 | 0.66 | 0.70 |
| 22.86                     | 17.14 | 17    | 0.74 | 0.75 | 99.88  | 80.9   | 65.96 | 0.66 | 0.81 |
| C2: 18.246270; -97.494579 |       |       |      |      | 124.54 | 95.62  | 71.82 | 0.58 | 0.77 |
| 70.76                     | 44.32 | 36.6  | 0.52 | 0.63 | 89.08  | 75.42  | 60.58 | 0.68 | 0.85 |
| 79.54                     | 67.38 | 24.94 | 0.31 | 0.85 | 78.76  | 74.56  | 62.48 | 0.79 | 0.95 |
| 39                        | 36.32 | 21.48 | 0.55 | 0.93 | 92.46  | 70     | 46.96 | 0.51 | 0.76 |
| 65.46                     | 29.68 | 17.12 | 0.26 | 0.45 | 56.3   | 44.34  | 33.62 | 0.60 | 0.79 |
| 73.58                     | 49.26 | 41.04 | 0.56 | 0.67 | 55.04  | 41.96  | 34.64 | 0.63 | 0.76 |
| 37.12                     | 29.88 | 23.42 | 0.63 | 0.80 | 88.26  | 73.58  | 56.98 | 0.65 | 0.83 |
| 43.78                     | 40.98 | 21.4  | 0.49 | 0.94 | 85.72  | 78.98  | 58.12 | 0.68 | 0.92 |
| 36.42                     | 27.64 | 17.46 | 0.48 | 0.76 | 42.1   | 35.58  | 33.04 | 0.78 | 0.85 |
| 46.9                      | 31.72 | 23.88 | 0.51 | 0.68 | 40.02  | 28.98  | 26.38 | 0.66 | 0.72 |
| 68.48                     | 47.44 | 23.26 | 0.34 | 0.69 | 42.88  | 32.76  | 25.02 | 0.58 | 0.76 |
| 83.56                     | 68.76 | 33.16 | 0.40 | 0.82 | 110.32 | 64.76  | 58.96 | 0.53 | 0.59 |
| 62.98                     | 36.96 | 34.86 | 0.55 | 0.59 | 87.88  | 61.04  | 44.02 | 0.50 | 0.69 |
| 50.06                     | 35.94 | 33.24 | 0.66 | 0.72 | 143.72 | 87.62  | 82.08 | 0.57 | 0.61 |
| 31.8                      | 24.48 | 21.02 | 0.66 | 0.77 | 92.66  | 90.22  | 59.66 | 0.64 | 0.97 |
| 79.38                     | 52.56 | 23.42 | 0.30 | 0.66 | 64.06  | 55.9   | 47.26 | 0.74 | 0.87 |
| 47.02                     | 39.24 | 30.2  | 0.64 | 0.83 | 80.74  | 64.54  | 59.58 | 0.74 | 0.80 |
| 32.48                     | 26.92 | 13.98 | 0.43 | 0.83 | 100.14 | 90.92  | 69.12 | 0.69 | 0.91 |
| 64.48                     | 45.62 | 31.72 | 0.49 | 0.71 | 91.32  | 76.8   | 60.92 | 0.67 | 0.84 |
| 42.3                      | 31.32 | 27.38 | 0.65 | 0.74 | 93     | 81.62  | 75.88 | 0.82 | 0.88 |
| 72.66                     | 62.48 | 19.26 | 0.27 | 0.86 | 64.58  | 54.46  | 41.96 | 0.65 | 0.84 |
| 38.04                     | 29.4  | 24.82 | 0.65 | 0.77 | 57.9   | 46.88  | 46.54 | 0.80 | 0.81 |
| 48.94                     | 32.98 | 20.5  | 0.42 | 0.67 | 64.36  | 52.38  | 38.08 | 0.59 | 0.81 |
| 79.72                     | 59.84 | 43.7  | 0.55 | 0.75 | 106.5  | 104.64 | 86.76 | 0.81 | 0.98 |
| 50.98                     | 35.64 | 19.66 | 0.39 | 0.70 | 75.02  | 66.04  | 42.38 | 0.56 | 0.88 |
| 119.12                    | 70.06 | 49.2  | 0.41 | 0.59 | 76.28  | 63.72  | 42.98 | 0.56 | 0.84 |
| 29.88                     | 24.04 | 20.24 | 0.68 | 0.80 | 80.78  | 66.02  | 49    | 0.61 | 0.82 |
| 43.04                     | 28.46 | 22.96 | 0.53 | 0.66 | 69.04  | 43.74  | 32.42 | 0.47 | 0.63 |
| 62.08                     | 48.58 | 26.42 | 0.43 | 0.78 | 65.16  | 44.52  | 30.06 | 0.46 | 0.68 |
| 25.14                     | 23.76 | 22.68 | 0.90 | 0.95 | 48.04  | 41.82  | 31.34 | 0.65 | 0.87 |
| 28.86                     | 27.88 | 17.98 | 0.62 | 0.97 | 53.38  | 48.16  | 35.22 | 0.66 | 0.90 |
| 30.92                     | 27.06 | 20.82 | 0.67 | 0.88 | 57.88  | 47.98  | 45.52 | 0.79 | 0.83 |
| 71.96                     | 58.22 | 41.54 | 0.58 | 0.81 | 49.26  | 32.48  | 31.12 | 0.63 | 0.66 |
| 100.48                    | 70.82 | 37.96 | 0.38 | 0.70 | 51.74  | 35.34  | 27    | 0.52 | 0.68 |
| 25.12                     | 19.84 | 16.02 | 0.64 | 0.79 | 63.52  | 53.98  | 44.66 | 0.70 | 0.85 |
| 25.74                     | 21.9  | 13.36 | 0.52 | 0.85 | 55.98  | 42.98  | 37.44 | 0.67 | 0.77 |
| 42.06                     | 35.62 | 14.88 | 0.35 | 0.85 | 51.78  | 45.86  | 23.66 | 0.46 | 0.89 |
|                           |       |       |      |      | 49.86  | 43.96  | 36.14 | 0.72 | 0.88 |

|        |        |       |      |      |
|--------|--------|-------|------|------|
| 41.3   | 35.72  | 30.96 | 0.75 | 0.86 |
| 44.94  | 34.98  | 24.12 | 0.54 | 0.78 |
| 56.1   | 55.14  | 41.86 | 0.75 | 0.98 |
| 58.18  | 48.46  | 43.36 | 0.75 | 0.83 |
| 103.04 | 80.64  | 61.72 | 0.60 | 0.78 |
| 75.64  | 63.16  | 37.56 | 0.50 | 0.84 |
| 102.76 | 82.68  | 54.26 | 0.53 | 0.80 |
| 50.28  | 35.02  | 31.98 | 0.64 | 0.70 |
| 47.48  | 40.84  | 33.86 | 0.71 | 0.86 |
| 42.48  | 36.04  | 29.34 | 0.69 | 0.85 |
| 145.82 | 125.62 | 97.44 | 0.67 | 0.86 |
| 158.56 | 138.98 | 67.48 | 0.43 | 0.88 |

## Anexo 2A. Parámetros y categorías definidos para el conteo de puntos en areniscas.

| Parámetro | Definición   |
|-----------|--|
| Qs        | Cristal individual de cuarzo   |
| Qru       | Cristal individual de cuarzo con inclusiones aciculares de rutilo              |
| QRm       | Cuarzo en fragmento fanerítico metamórfico                                     |
| QLm       | Cuarzo en lítico metamórfico   |
| QLv       | Cuarzo en lítico volcánico   |
| QLss      | Cuarzo en lítico sedimentario siliciclástico                                   |
| Qp        | Cuarzo policristalino  |
| Ps        | Cristal individual de plagioclasa  |
| PRm       | Plagioclasa en fragmento fanerítico metamórfico                                |
| Psa       | Cristal individual de plagioclasa con estructura antiperítica                  |
| PLvf      | Plagioclasa en lítico volcánico  |
| PLmf      | Plagioclasa en lítico metamórfico  |
| PLss      | Plagioclasa en lítico sedimentario siliciclástico                              |
| Ks        | Cristal individual de feldespato potásico                                      |
| Ksm       | Cristal individual de feldespato potásico con estructura mesoperítica          |
| Ksp       | Cristal individual de feldespato potásico con estructura perítica              |
| KRm       | Feldespato potásico en fragmento fanerítico metamórfico                        |
| KLv       | Feldespato potásico en lítico volcánico  |
| Lmf (2-4) | Lítico metafelsítico/metapsammítico (los números indican el rango metamórfico) |
| Lmp (2-4) | Lítico metapelítico de rango 2 a 4 (los números indican el rango metamórfico)  |
| Lmb (2-3) | Lítico metapelítico de rango 2 a 3 (los números indican el rango metamórfico)  |
| Lmc       | Lítico metacarbonatado   |
| Lvf       | Lítico volcánico felsítico   |
| Lvmi      | Lítico volcánico microlítico   |
| Lvl       | Lítico volcánico <i>lathwork</i>   |
| Lss       | Lítico sedimentario siliciclástico   |
| Lsc       | Lítico sedimentario carbonatado  |
| Mtz       | Matriz   |
| Inc       | Intraclastos   |
| Arg       | Componente argilitizado  |
| HM        | Minerales pesados no opacos  |
| Bt        | Biotita  |
| Wmca      | Mica blanca  |
| Op        | Minerales opacos   |
| Categoría | Definición   |
| Qm        | Cuarzo monocristalino total (Qs+QRm+Qru+QLmf+QLvf+QLss)                        |
| Q         | Cuarzo total (Qm+Qp)   |
| P         | Plagioclasa total (Ps+Psa+PRm+PLvf+PLvl+PLmf)                                  |
| K         | Feldespato potásico total (Ks+KRm+Ksm+Ksp)                                     |
| F         | Feldespato (P+K)   |
| Lm        | Líticos metamórficos totales (Lmf+Lmb+Lmp+Lmc)                                 |
| Lv        | Líticos volcánicos totales (Lvf+Lvmi+Lvl)                                      |
| Ls        | Líticos sedimentarios totales (Lss+Lsc)  |
| L         | Líticos totales (Lm+Lv+Ls)   |

Anexo 2B. Resultados del conteo de puntos realizado.

| Muestra  | Coordenadas           | Qs  | Qru | QRm | Qp | Ps  | Psa | PRm | Ks  | Ksm | Ksp | KRm | Lmf 2 | Lmf3 | Lmf4 | Lmp2 | Lmp3 | Lmp4 | Lmb2 | Lmb3 | Lmc | QLmf | PLmf | Lvf | Lvl | Lvm | QLv | PLv | KLv | Lss | Lsc | QLss | PLss | Bt | Wmca | HM | Op | Mtz | Inc | Arg | TOTAL |     |
|--|-----------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|----|------|----|----|-----|-----|-----|-------|-----|
| <b>Conjunto 1 elemento CH de la Formación Matzitzi</b>                       |                       |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |    |      |    |    |     |     |     |       |     |
| <b>MAT-3</b>   | 18.212048; -97.416776 | 164 | 1   | 25  | 0  | 85  | 2   | 14  | 97  | 29  | 1   | 14  | 6     | 2    | 0    | 14   | 29   | 5    | 0    | 1    | 1   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8   | 0    | 1    | 0  | 0    | 3  | 16 | 3   | 2   | 0   | 4     | 527 |
| <b>MAT-4</b>   | 18.215176; -97.414763 | 228 | 0   | 16  | 0  | 79  | 4   | 12  | 63  | 13  | 3   | 8   | 7     | 11   | 0    | 16   | 13   | 2    | 0    | 1    | 0   | 0    | 0    | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 12  | 0   | 3    | 1    | 0  | 7    | 12 | 2  | 11  | 0   | 0   | 526   |     |
| <b>MAT-5</b>   | 18.224807; -97.413588 | 226 | 4   | 27  | 0  | 96  | 0   | 13  | 11  | 9   | 1   | 0   | 11    | 2    | 0    | 26   | 15   | 2    | 0    | 0    | 0   | 3    | 0    | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 11  | 0   | 11  | 2    | 0    | 9  | 6    | 16 | 11 | 0   | 0   | 517 |       |     |
| <b>MAT-7</b>   | 18.241671; -97.444943 | 163 | 0   | 6   | 2  | 77  | 5   | 3   | 97  | 14  | 2   | 1   | 0     | 4    | 0    | 2    | 9    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0    | 9    | 3  | 0    | 75 | 0  | 0   | 0   | 473 |       |     |
| <b>MAT-10</b>  | 18.153525; -97.302547 | 165 | 1   | 110 | 1  | 45  | 1   | 25  | 64  | 39  | 3   | 30  | 3     | 8    | 2    | 7    | 13   | 13   | 0    | 3    | 4   | 1    | 0    | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 0   | 0   | 0    | 7    | 17 | 1    | 4  | 4  | 0   | 0   | 575 |       |     |
| <b>MAT-11</b>  | 18.153461; -97.302462 | 157 | 2   | 32  | 0  | 89  | 1   | 34  | 101 | 54  | 3   | 25  | 5     | 2    | 0    | 6    | 5    | 0    | 4    | 0    | 0   | 0    | 0    | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 9   | 0   | 0   | 0    | 6    | 0  | 5    | 7  | 1  | 0   | 5   | 556 |       |     |
| <b>MAT-12</b>  | 18.153397; -97.302331 | 138 | 1   | 61  | 0  | 66  | 1   | 25  | 91  | 35  | 2   | 13  | 0     | 4    | 0    | 0    | 13   | 0    | 0    | 0    | 8   | 3    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 4    | 13 | 4    | 8  | 4  | 37  | 0   | 531 |       |     |
| <b>MAT-13</b>  | 18.114839; -97.340206 | 167 | 0   | 20  | 0  | 84  | 3   | 19  | 103 | 21  | 2   | 15  | 1     | 2    | 0    | 24   | 12   | 1    | 0    | 2    | 2   | 0    | 0    | 4   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 6   | 0   | 0    | 0    | 0  | 4    | 22 | 11 | 13  | 0   | 3   | 542   |     |
| <b>Conjunto 1 elemento SG de la Formación Matzitzi</b>                       |                       |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |    |      |    |    |     |     |     |       |     |
| <b>MAT-14</b>  | 18.171112; -97.390140 | 237 | 0   | 5   | 0  | 98  | 1   | 2   | 53  | 7   | 1   | 0   | 9     | 17   | 3    | 15   | 53   | 11   | 0    | 3    | 4   | 0    | 0    | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 22  | 0   | 0    | 0    | 0  | 6    | 22 | 8  | 6   | 0   | 10  | 595   |     |
| <b>MAT-15</b>  | 18.171112; -97.390140 | 188 | 0   | 18  | 0  | 121 | 0   | 11  | 7   | 14  | 0   | 0   | 12    | 11   | 3    | 21   | 85   | 29   | 0    | 7    | 9   | 1    | 3    | 13  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 3    | 4  | 14   | 15 | 9  | 0   | 19  | 617 |       |     |
| <b>MAT-16A</b>   | 18.171076; -97.390245 | 215 | 0   | 8   | 1  | 86  | 4   | 9   | 61  | 33  | 5   | 0   | 3     | 10   | 2    | 21   | 29   | 5    | 2    | 0    | 0   | 1    | 0    | 5   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 20  | 0   | 1    | 0    | 0  | 7    | 5  | 5  | 9   | 0   | 0   | 548   |     |
| <b>MAT-16B</b>   | 18.171076; -97.390245 | 186 | 4   | 11  | 0  | 75  | 3   | 9   | 69  | 28  | 5   | 3   | 11    | 5    | 0    | 21   | 23   | 0    | 0    | 2    | 0   | 2    | 0    | 11  | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 15  | 0   | 2    | 1    | 0  | 16   | 13 | 15 | 10  | 0   | 9   | 551   |     |
| <b>MAT-16C</b>   | 18.171076; -97.390245 | 116 | 6   | 11  | 0  | 57  | 3   | 24  | 131 | 27  | 0   | 49  | 8     | 8    | 1    | 19   | 9    | 1    | 0    | 11   | 0   | 1    | 0    | 11  | 0   | 0   | 1   | 1   | 16  | 0   | 5   | 0    | 0    | 16 | 16   | 5  | 11 | 0   | 0   | 564 |       |     |
| <b>MAT-17</b>  | 18.170987; -97.390397 | 162 | 0   | 50  | 0  | 182 | 0   | 27  | 0   | 10  | 0   | 1   | 1     | 13   | 3    | 30   | 41   | 15   | 4    | 8    | 0   | 0    | 3    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0    | 1    | 6  | 9    | 25 | 13 | 0   | 0   | 606 |       |     |
| <b>MAT-18B</b>   | 18.169831; -97.390426 | 99  | 0   | 12  | 2  | 194 | 2   | 21  | 59  | 19  | 0   | 0   | 9     | 8    | 0    | 5    | 2    | 0    | 81   | 5    | 3   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  | 0   | 0   | 0    | 0    | 0  | 31   | 4  | 2  | 0   | 0   | 573 |       |     |
| <b>Conjunto 2 de la Formación Matzitzi</b>                                   |                       |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |    |      |    |    |     |     |     |       |     |
| <b>MAT-1A</b>  | 18.252552; -97.495102 | 256 | 5   | 17  | 4  | 83  | 4   | 9   | 68  | 15  | 3   | 3   | 0     | 4    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 8   | 0    | 0    | 20  | 14  | 10  | 5   | 7   | 1   | 17  | 6   | 8    | 0    | 0  | 1    | 4  | 10 | 7   | 0   | 4   | 593   |     |
| <b>MAT-1B</b>  | 18.252552; -97.495102 | 270 | 2   | 25  | 3  | 80  | 2   | 11  | 52  | 18  | 4   | 5   | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 37   | 14  | 1   | 7   | 4   | 1   | 25  | 5   | 12  | 0    | 0    | 0  | 10   | 1  | 1  | 0   | 37  | 627 |       |     |
| <b>MAT-26</b>  | 18.200906; -97.412245 | 122 | 0   | 113 | 0  | 82  | 0   | 23  | 34  | 0   | 0   | 9   | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 11   | 6   | 0   | 0   | 0   | 0   | 6   | 0   | 0   | 0    | 11   | 0  | 0    | 6  | 6  | 0   | 11  | 0   | 440   |     |
| <b>MAT-28</b>  | 18.245592; -97.492230 | 168 | 0   | 23  | 2  | 40  | 0   | 15  | 60  | 0   | 0   | 27  | 2     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 14   | 12  | 2   | 0   | 0   | 0   | 6   | 3   | 0   | 0    | 2    | 0  | 0    | 6  | 15 | 0   | 10  | 407 |       |     |
| <b>MAT-29</b>  | 18.239220; -97.490904 | 109 | 0   | 52  | 1  | 97  | 0   | 2   | 45  | 0   | 0   | 0   | 2     | 2    | 0    | 0    | 7    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 2    | 7   | 5   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0    | 0    | 2  | 1    | 0  | 12 | 0   | 0   | 348 |       |     |
| <b>Sistemas fluviales del Cretácico (formaciones Caltepec y La Compañía)</b> |                       |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |    |      |    |    |     |     |     |       |     |
| <b>MAT-2</b>   | 18.251389; -97.490833 | 128 | 0   | 99  | 0  | 133 | 2   | 44  | 13  | 13  | 3   | 2   | 10    | 6    | 2    | 13   | 18   | 1    | 0    | 0    | 0   | 1    | 0    | 15  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 11  | 0   | 0    | 0    | 0  | 5    | 16 | 4  | 0   | 0   | 2   | 541   |     |
| <b>MAT-8</b>   | 18.223424; -97.461237 | 147 | 0   | 93  | 0  | 145 | 0   | 74  | 5   | 19  | 4   | 3   | 0     | 9    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0   | 3    | 3    | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 1  | 0    | 0  | 28 | 1   | 0   | 0   | 538   |     |

Anexo 2C. Parámetros recalculados en base 100 para la construcción de los diagramas ternarios de la Figura 7.1.

| Muestra  | %Q    | %F    | %L    | %Qm   | %K    | %P    | %Lm    | %Lv   | %Ls   | %Lmf  | %Lmp  | %Lv    | %Lm1-2 | %Lm3-4 | %Ls    | %Lv    | %Lvl  | %Lvm  | %Qp   | %Lss   | %Lsc  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| <b>Conjunto 1 elemento CH de la Formación Matzitzi</b>                       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |        |        |        |        |        |       |       |       |        |       |
| MAT-3  | 38.28 | 48.50 | 13.23 | 44.11 | 32.56 | 23.33 | 87.88  | 0.00  | 12.12 | 14.29 | 85.71 | 0.00   | 30.77  | 56.92  | 12.31  | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-4  | 50.00 | 37.04 | 12.96 | 57.44 | 20.23 | 22.33 | 78.13  | 3.13  | 18.75 | 35.29 | 60.78 | 3.92   | 37.10  | 43.55  | 19.35  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-5  | 57.05 | 27.79 | 15.16 | 67.25 | 5.21  | 27.54 | 77.78  | 6.94  | 15.28 | 21.31 | 70.49 | 8.20   | 55.22  | 28.36  | 16.42  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-7  | 44.30 | 51.55 | 4.15  | 45.92 | 30.98 | 23.10 | 93.75  | 0.00  | 6.25  | 26.67 | 73.33 | 0.00   | 12.50  | 81.25  | 6.25   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-10   | 51.29 | 38.19 | 10.52 | 57.23 | 28.10 | 14.67 | 92.98  | 1.75  | 5.26  | 27.66 | 70.21 | 2.13   | 19.23  | 75.00  | 5.77   | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-11   | 35.90 | 57.71 | 6.39  | 38.35 | 36.75 | 24.90 | 64.71  | 8.82  | 26.47 | 33.33 | 52.38 | 14.29  | 48.39  | 22.58  | 29.03  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-12   | 44.03 | 50.54 | 5.42  | 46.56 | 32.34 | 21.10 | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 23.53 | 76.47 | 0.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |
| MAT-13   | 38.24 | 50.72 | 11.04 | 42.99 | 32.41 | 24.60 | 81.48  | 7.41  | 11.11 | 6.82  | 84.09 | 9.09   | 52.08  | 35.42  | 12.50  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| <b>Conjunto 1 elemento SG de la Formación Matzitzi</b>                       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |        |        |        |        |        |       |       |       |        |       |
| MAT-14   | 44.57 | 29.83 | 25.60 | 59.90 | 15.10 | 25.00 | 82.73  | 1.44  | 15.83 | 26.36 | 71.82 | 1.82   | 18.05  | 65.41  | 16.54  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-15   | 37.43 | 28.21 | 34.36 | 57.02 | 5.79  | 37.19 | 93.16  | 6.84  | 0.00  | 14.94 | 77.59 | 7.47   | 19.64  | 80.36  | 0.00   | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |
| MAT-16A  | 43.30 | 38.12 | 18.58 | 53.07 | 23.35 | 23.58 | 74.23  | 5.15  | 20.62 | 20.00 | 73.33 | 6.67   | 28.26  | 50.00  | 21.74  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-16B  | 42.01 | 39.96 | 18.03 | 51.25 | 26.50 | 22.25 | 70.45  | 12.50 | 17.05 | 22.54 | 61.97 | 15.49  | 41.56  | 38.96  | 19.48  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-16C  | 27.13 | 56.59 | 16.28 | 32.41 | 47.92 | 19.68 | 67.86  | 13.10 | 19.05 | 29.82 | 50.88 | 19.30  | 36.99  | 41.10  | 21.92  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-17   | 38.41 | 39.86 | 21.74 | 49.07 | 2.55  | 48.38 | 95.83  | 2.50  | 1.67  | 16.04 | 81.13 | 2.83   | 29.91  | 68.38  | 1.71   | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-18B  | 21.08 | 55.04 | 23.88 | 27.34 | 19.21 | 53.45 | 88.28  | 0.00  | 11.72 | 70.83 | 29.17 | 0.00   | 76.00  | 12.00  | 12.00  | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| <b>Conjunto 2 de la Formación Matzitzi</b>                                   |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |        |        |        |        |        |       |       |       |        |       |
| MAT-1A   | 52.03 | 34.04 | 13.93 | 60.12 | 18.60 | 21.28 | 15.19  | 55.70 | 29.11 | 8.33  | 0.00  | 91.67  | 0.00   | 14.81  | 85.19  | 45.45  | 31.82 | 22.73 | 14.81 | 62.96  | 22.22 |
| MAT-1B   | 55.19 | 30.62 | 14.19 | 64.10 | 16.23 | 19.68 | 0.00   | 63.41 | 36.59 | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00   | 0.00   | 100.00 | 71.15  | 26.92 | 1.92  | 9.09  | 75.76  | 15.15 |
| MAT-26   | 57.88 | 36.45 | 5.67  | 61.36 | 11.23 | 27.42 | 0.00   | 73.91 | 26.09 | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00   | 0.00   | 100.00 | 21.15  | 11.54 | 0.00  | 0.00  | 18.18  | 0.00  |
| MAT-28   | 51.60 | 37.97 | 10.43 | 57.36 | 26.13 | 16.52 | 5.13   | 71.79 | 23.08 | 6.67  | 0.00  | 93.33  | 18.18  | 0.00   | 81.82  | 26.92  | 23.08 | 3.85  | 6.06  | 18.18  | 9.09  |
| MAT-29   | 48.65 | 43.24 | 8.11  | 52.79 | 14.75 | 32.46 | 40.74  | 51.85 | 7.41  | 16.00 | 28.00 | 56.00  | 15.38  | 69.23  | 15.38  | 3.85   | 13.46 | 9.62  | 3.03  | 6.06   | 0.00  |
| <b>Sistemas fluviales del Cretácico (formaciones Caltepec y La Compañía)</b> |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |        |        |        |        |        |       |       |       |        |       |
| MAT-2  | 44.36 | 40.86 | 14.79 | 52.05 | 7.08  | 40.87 | 65.79  | 19.74 | 14.47 | 27.69 | 49.23 | 23.08  | 37.70  | 44.26  | 18.03  | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 100.00 | 0.00  |
| MAT-8  | 47.83 | 49.80 | 2.36  | 48.99 | 6.25  | 44.76 | 91.67  | 8.33  | 0.00  | 83.33 | 8.33  | 8.33   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 100.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |

### Anexo 3.

Resultados de geocronología U-Pb en circones detríticos. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Estudios Isotópicos del Centro de Geociencias, mediante la técnica LA-ICP-MS. Los errores son reportados a nivel sigma-2. Las filas marcadas en gris muestran los datos excluidos por presentar valores de discordancia menores a -15% y mayores a 12%.

| Análisis   | Relaciones isotópicas corregidas |          |      |                                      |         |                                     |        |                                     |         |                                      |         | Edades corregidas (Ma) |                                     |      |                                     |      |                                      |       |                 |      |        |
|--|----------------------------------|----------|------|--------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|------------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|--------------------------------------|-------|-----------------|------|--------|
|  | U (ppm)                          | Th (ppm) | Th/U | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σabs | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ±2σ abs | Rho                    | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ  | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σ  | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ   | Mejor edad (Ma) | ±2σ  | Disc % |
| <b>Elemento CH del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi</b> |                                  |          |      |                                      |         |                                     |        |                                     |         |                                      |         |                        |                                     |      |                                     |      |                                      |       |                 |      |        |
| <b>MAT-3</b>   |                                  |          |      |                                      |         |                                     |        |                                     |         |                                      |         |                        |                                     |      |                                     |      |                                      |       |                 |      |        |
| MAT-3_Zrn-84   | 1436                             | 101.5    | 0.07 | 0.0911                               | 0.0062  | 1.5270                              | 0.0990 | 0.1223                              | 0.0071  | 0.1265                               | 0.0073  | 0.79                   | 744.0                               | 41.0 | 940.0                               | 43.0 | 1445.0                               | 110.0 | <b>744.0</b>    | 41.0 | 20.85  |
| MAT-3_Zrn-43   | 1020                             | 279      | 0.27 | 0.0857                               | 0.0052  | 1.5880                              | 0.1100 | 0.1346                              | 0.0070  | 0.0429                               | 0.0032  | 0.82                   | 814.0                               | 40.0 | 966.0                               | 45.0 | 1327.0                               | 120.0 | <b>814.0</b>    | 40.0 | 15.73  |
| MAT-3_Zrn-55   | 40.8                             | 14.59    | 0.36 | 0.0728                               | 0.0069  | 1.6500                              | 0.1600 | 0.1671                              | 0.0085  | 0.0539                               | 0.0050  | 0.00                   | 996.0                               | 47.0 | 1003.0                              | 59.0 | 1050.0                               | 180.0 | <b>996.0</b>    | 47.0 | 0.70   |
| MAT-3_Zrn-48   | 151.4                            | 55.3     | 0.37 | 0.0732                               | 0.0052  | 1.7150                              | 0.1300 | 0.1703                              | 0.0080  | 0.0504                               | 0.0034  | 0.08                   | 1014.0                              | 44.0 | 1010.0                              | 49.0 | 990.0                                | 150.0 | <b>1014.0</b>   | 44.0 | -0.40  |
| MAT-3_Zrn-38   | 170.3                            | 63.9     | 0.38 | 0.0745                               | 0.0049  | 1.8170                              | 0.1300 | 0.1733                              | 0.0081  | 0.0571                               | 0.0038  | 0.15                   | 1030.0                              | 45.0 | 1050.0                              | 46.0 | 1050.0                               | 130.0 | <b>1030.0</b>   | 45.0 | 1.90   |
| MAT-3_Zrn-58   | 197                              | 62.6     | 0.32 | 0.0763                               | 0.0051  | 1.8380                              | 0.1300 | 0.1760                              | 0.0084  | 0.0532                               | 0.0038  | 0.15                   | 1045.0                              | 46.0 | 1057.0                              | 47.0 | 1097.0                               | 130.0 | <b>1045.0</b>   | 46.0 | 1.14   |
| MAT-3_Zrn-76   | 328                              | 95.8     | 0.29 | 0.0735                               | 0.0046  | 1.7880                              | 0.1200 | 0.1792                              | 0.0083  | 0.0534                               | 0.0033  | 0.09                   | 1062.3                              | 46.0 | 1040.0                              | 44.0 | 1020.0                               | 130.0 | <b>1062.3</b>   | 46.0 | -2.14  |
| MAT-3_Zrn-44   | 157.6                            | 75.1     | 0.48 | 0.0774                               | 0.0052  | 1.9150                              | 0.1400 | 0.1794                              | 0.0085  | 0.0529                               | 0.0034  | 0.29                   | 1063.0                              | 46.0 | 1084.0                              | 48.0 | 1135.0                               | 130.0 | <b>1063.0</b>   | 46.0 | 1.94   |
| MAT-3_Zrn-37   | 265.7                            | 57.4     | 0.22 | 0.0735                               | 0.0046  | 1.8250                              | 0.1200 | 0.1799                              | 0.0087  | 0.0553                               | 0.0036  | 0.43                   | 1066.0                              | 48.0 | 1056.0                              | 43.0 | 1026.0                               | 130.0 | <b>1066.0</b>   | 48.0 | -0.95  |
| MAT-3_Zrn-89   | 348                              | 99.9     | 0.29 | 0.0734                               | 0.0045  | 1.8240                              | 0.1200 | 0.1806                              | 0.0084  | 0.0542                               | 0.0034  | 0.41                   | 1070.1                              | 46.0 | 1053.0                              | 44.0 | 1025.0                               | 120.0 | <b>1070.1</b>   | 46.0 | -1.62  |
| MAT-3_Zrn-13   | 438                              | 64.7     | 0.15 | 0.0763                               | 0.0047  | 1.9690                              | 0.1300 | 0.1818                              | 0.0085  | 0.0675                               | 0.0045  | 0.30                   | 1076.7                              | 46.0 | 1104.0                              | 46.0 | 1109.0                               | 120.0 | <b>1076.7</b>   | 46.0 | 2.47   |
| MAT-3_Zrn-85   | 497                              | 27.8     | 0.06 | 0.0748                               | 0.0046  | 1.8720                              | 0.1200 | 0.1824                              | 0.0085  | 0.0554                               | 0.0040  | 0.20                   | 1080.2                              | 46.0 | 1072.0                              | 45.0 | 1058.0                               | 120.0 | <b>1080.2</b>   | 46.0 | -0.76  |
| MAT-3_Zrn-92   | 116.3                            | 39.43    | 0.34 | 0.0751                               | 0.0051  | 1.8870                              | 0.1400 | 0.1827                              | 0.0086  | 0.0532                               | 0.0037  | 0.13                   | 1081.0                              | 47.0 | 1078.0                              | 46.0 | 1053.0                               | 140.0 | <b>1081.0</b>   | 47.0 | -0.28  |
| MAT-3_Zrn-40   | 203.8                            | 92.6     | 0.45 | 0.0741                               | 0.0049  | 1.8970                              | 0.1300 | 0.1842                              | 0.0087  | 0.0560                               | 0.0035  | 0.25                   | 1090.0                              | 47.0 | 1081.0                              | 45.0 | 1059.0                               | 130.0 | <b>1090.0</b>   | 47.0 | -0.83  |
| MAT-3_Zrn-67   | 530                              | 111.3    | 0.21 | 0.0746                               | 0.0046  | 1.8560                              | 0.1200 | 0.1844                              | 0.0086  | 0.0566                               | 0.0035  | 0.29                   | 1091.1                              | 47.0 | 1065.0                              | 44.0 | 1058.0                               | 130.0 | <b>1091.1</b>   | 47.0 | -2.45  |
| MAT-3_Zrn-99   | 54.6                             | 18.7     | 0.34 | 0.0739                               | 0.0059  | 1.9400                              | 0.1600 | 0.1860                              | 0.0096  | 0.0545                               | 0.0046  | 0.07                   | 1099.0                              | 52.0 | 1087.0                              | 55.0 | 1020.0                               | 160.0 | <b>1099.0</b>   | 52.0 | -1.10  |
| MAT-3_Zrn-14   | 138.2                            | 59       | 0.43 | 0.0792                               | 0.0053  | 2.0930                              | 0.1500 | 0.1862                              | 0.0088  | 0.0581                               | 0.0037  | -0.07                  | 1100.0                              | 48.0 | 1144.0                              | 49.0 | 1159.0                               | 140.0 | <b>1100.0</b>   | 48.0 | 3.85   |
| MAT-3_Zrn-90   | 562                              | 32       | 0.06 | 0.0754                               | 0.0047  | 1.9610                              | 0.1300 | 0.1873                              | 0.0088  | 0.0532                               | 0.0045  | 0.37                   | 1106.0                              | 48.0 | 1104.0                              | 44.0 | 1072.0                               | 130.0 | <b>1106.0</b>   | 48.0 | -0.18  |
| MAT-3_Zrn-68   | 465                              | 80.9     | 0.17 | 0.0770                               | 0.0048  | 1.9460                              | 0.1300 | 0.1873                              | 0.0087  | 0.0557                               | 0.0038  | 0.07                   | 1106.7                              | 47.0 | 1096.0                              | 45.0 | 1113.0                               | 130.0 | <b>1106.7</b>   | 47.0 | -0.98  |



|              |       |       |      |        |        |        |        |        |        |        |        |      |        |      |        |      |        |       |               |      |       |
|--------------|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|-------|---------------|------|-------|
| MAT-3_Zrn-31 | 147.4 | 52.8  | 0.36 | 0.0754 | 0.0049 | 1.9890 | 0.1400 | 0.1879 | 0.0089 | 0.0561 | 0.0040 | 0.32 | 1112.0 | 50.0 | 1110.0 | 47.0 | 1093.0 | 130.0 | <b>1112.0</b> | 50.0 | -0.18 |
| MAT-3_Zrn-03 | 66.4  | 29.9  | 0.45 | 0.0805 | 0.0060 | 2.1190 | 0.1600 | 0.1887 | 0.0092 | 0.0598 | 0.0048 | 0.09 | 1114.0 | 50.0 | 1150.0 | 53.0 | 1215.0 | 150.0 | <b>1114.0</b> | 50.0 | 3.13  |
| MAT-3_Zrn-24 | 260   | 87.2  | 0.34 | 0.0766 | 0.0049 | 2.0420 | 0.1400 | 0.1889 | 0.0088 | 0.0557 | 0.0035 | 0.03 | 1115.1 | 48.0 | 1128.0 | 48.0 | 1101.0 | 130.0 | <b>1115.1</b> | 48.0 | 1.14  |
| MAT-3_Zrn-51 | 167.2 | 69.3  | 0.41 | 0.0782 | 0.0055 | 2.0140 | 0.1900 | 0.1897 | 0.0120 | 0.0569 | 0.0044 | 0.46 | 1119.0 | 65.0 | 1118.0 | 55.0 | 1139.0 | 130.0 | <b>1119.0</b> | 65.0 | -0.09 |
| MAT-3_Zrn-61 | 456   | 66.2  | 0.15 | 0.0756 | 0.0047 | 1.9300 | 0.1300 | 0.1900 | 0.0091 | 0.0550 | 0.0039 | 0.41 | 1121.0 | 49.0 | 1090.0 | 45.0 | 1091.0 | 130.0 | <b>1121.0</b> | 49.0 | -2.84 |
| MAT-3_Zrn-86 | 178.6 | 39.5  | 0.22 | 0.0796 | 0.0052 | 2.1240 | 0.1500 | 0.1936 | 0.0093 | 0.0605 | 0.0045 | 0.16 | 1141.0 | 50.0 | 1160.0 | 46.0 | 1191.0 | 130.0 | <b>1141.0</b> | 50.0 | 1.64  |
| MAT-3_Zrn-16 | 153   | 72.7  | 0.48 | 0.0776 | 0.0048 | 2.1460 | 0.1400 | 0.1942 | 0.0092 | 0.0581 | 0.0038 | 0.35 | 1144.0 | 50.0 | 1162.0 | 47.0 | 1144.0 | 130.0 | <b>1144.0</b> | 50.0 | 1.55  |
| MAT-3_Zrn-02 | 309   | 89.7  | 0.29 | 0.0784 | 0.0048 | 2.1280 | 0.1400 | 0.1950 | 0.0094 | 0.0593 | 0.0039 | 0.51 | 1148.0 | 51.0 | 1156.0 | 47.0 | 1157.0 | 120.0 | <b>1148.0</b> | 51.0 | 0.69  |
| MAT-3_Zrn-26 | 684   | 114.4 | 0.17 | 0.0772 | 0.0047 | 2.1610 | 0.1400 | 0.1965 | 0.0091 | 0.0585 | 0.0036 | 0.04 | 1156.6 | 49.0 | 1168.0 | 46.0 | 1133.0 | 120.0 | <b>1156.6</b> | 49.0 | 0.98  |
| MAT-3_Zrn-28 | 62.7  | 23    | 0.37 | 0.0815 | 0.0061 | 2.2700 | 0.1800 | 0.1968 | 0.0097 | 0.0627 | 0.0048 | 0.36 | 1158.0 | 52.0 | 1225.0 | 60.0 | 1248.0 | 140.0 | <b>1158.0</b> | 52.0 | 5.47  |
| MAT-3_Zrn-98 | 217.9 | 70.2  | 0.32 | 0.0805 | 0.0052 | 2.1920 | 0.1500 | 0.1973 | 0.0093 | 0.0582 | 0.0038 | 0.15 | 1161.0 | 50.0 | 1177.0 | 48.0 | 1205.0 | 130.0 | <b>1161.0</b> | 50.0 | 1.36  |
| MAT-3_Zrn-79 | 123   | 57    | 0.46 | 0.0774 | 0.0054 | 2.0860 | 0.1500 | 0.1981 | 0.0097 | 0.0579 | 0.0040 | 0.14 | 1165.0 | 52.0 | 1145.0 | 48.0 | 1146.0 | 130.0 | <b>1165.0</b> | 52.0 | -1.75 |
| MAT-3_Zrn-11 | 172.3 | 62.8  | 0.36 | 0.0784 | 0.0050 | 2.1760 | 0.1500 | 0.1984 | 0.0094 | 0.0597 | 0.0041 | 0.24 | 1166.0 | 50.0 | 1177.0 | 48.0 | 1147.0 | 130.0 | <b>1166.0</b> | 50.0 | 0.93  |
| MAT-3_Zrn-63 | 100.6 | 28    | 0.28 | 0.0787 | 0.0055 | 2.1250 | 0.1600 | 0.1987 | 0.0096 | 0.0605 | 0.0047 | 0.37 | 1168.0 | 51.0 | 1152.0 | 53.0 | 1169.0 | 140.0 | <b>1168.0</b> | 51.0 | -1.39 |
| MAT-3_Zrn-53 | 151.1 | 58.4  | 0.39 | 0.0818 | 0.0052 | 2.2320 | 0.1500 | 0.2001 | 0.0095 | 0.0595 | 0.0040 | 0.17 | 1176.0 | 51.0 | 1192.0 | 50.0 | 1240.0 | 130.0 | <b>1176.0</b> | 51.0 | 1.34  |
| MAT-3_Zrn-20 | 186.2 | 86.6  | 0.47 | 0.0808 | 0.0050 | 2.2880 | 0.1500 | 0.2007 | 0.0095 | 0.0600 | 0.0040 | 0.30 | 1179.0 | 51.0 | 1210.0 | 49.0 | 1208.0 | 120.0 | <b>1179.0</b> | 51.0 | 2.56  |
| MAT-3_Zrn-36 | 314   | 115.2 | 0.37 | 0.0789 | 0.0049 | 2.2080 | 0.1500 | 0.2010 | 0.0094 | 0.0598 | 0.0037 | 0.27 | 1181.0 | 51.0 | 1182.0 | 47.0 | 1176.0 | 110.0 | <b>1181.0</b> | 51.0 | 0.08  |
| MAT-3_Zrn-70 | 263.8 | 89.8  | 0.34 | 0.0795 | 0.0050 | 2.1780 | 0.1500 | 0.2013 | 0.0094 | 0.0622 | 0.0041 | 0.38 | 1182.0 | 50.0 | 1172.0 | 48.0 | 1193.0 | 130.0 | <b>1182.0</b> | 50.0 | -0.85 |
| MAT-3_Zrn-10 | 464   | 95.4  | 0.21 | 0.0763 | 0.0047 | 2.1690 | 0.1500 | 0.2015 | 0.0097 | 0.0610 | 0.0040 | 0.48 | 1183.0 | 52.0 | 1170.0 | 47.0 | 1105.0 | 120.0 | <b>1183.0</b> | 52.0 | -1.11 |
| MAT-3_Zrn-72 | 651   | 189   | 0.29 | 0.0803 | 0.0049 | 2.1780 | 0.1400 | 0.2014 | 0.0094 | 0.0604 | 0.0037 | 0.25 | 1183.0 | 51.0 | 1175.0 | 47.0 | 1211.0 | 110.0 | <b>1183.0</b> | 51.0 | -0.68 |
| MAT-3_Zrn-05 | 205   | 85.5  | 0.42 | 0.0788 | 0.0051 | 2.2150 | 0.1600 | 0.2022 | 0.0096 | 0.0608 | 0.0038 | 0.35 | 1187.0 | 51.0 | 1190.0 | 49.0 | 1163.0 | 120.0 | <b>1187.0</b> | 51.0 | 0.25  |
| MAT-3_Zrn-12 | 178   | 51.4  | 0.29 | 0.0792 | 0.0052 | 2.2830 | 0.1600 | 0.2031 | 0.0096 | 0.0632 | 0.0044 | 0.08 | 1192.0 | 51.0 | 1208.0 | 48.0 | 1180.0 | 130.0 | <b>1192.0</b> | 51.0 | 1.32  |
| MAT-3_Zrn-30 | 533   | 131.6 | 0.25 | 0.0781 | 0.0048 | 2.2640 | 0.1600 | 0.2032 | 0.0098 | 0.0821 | 0.0055 | 0.75 | 1192.0 | 52.0 | 1199.0 | 49.0 | 1144.0 | 120.0 | <b>1192.0</b> | 52.0 | 0.58  |
| MAT-3_Zrn-50 | 166   | 27.6  | 0.17 | 0.0817 | 0.0053 | 2.2900 | 0.1600 | 0.2036 | 0.0097 | 0.0642 | 0.0051 | 0.58 | 1195.0 | 52.0 | 1210.0 | 49.0 | 1228.0 | 130.0 | <b>1195.0</b> | 52.0 | 1.24  |
| MAT-3_Zrn-73 | 242   | 70.5  | 0.29 | 0.0787 | 0.0049 | 2.1850 | 0.1600 | 0.2039 | 0.0100 | 0.0612 | 0.0041 | 0.65 | 1196.0 | 54.0 | 1180.0 | 47.0 | 1177.0 | 120.0 | <b>1196.0</b> | 54.0 | -1.36 |
| MAT-3_Zrn-06 | 248   | 63.6  | 0.26 | 0.0791 | 0.0050 | 2.2520 | 0.1500 | 0.2045 | 0.0097 | 0.0606 | 0.0039 | 0.45 | 1199.0 | 52.0 | 1196.0 | 47.0 | 1174.0 | 130.0 | <b>1199.0</b> | 52.0 | -0.25 |

|              |       |       |      |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |      |        |      |        |       |               |      |       |
|--------------|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|-------|---------------|------|-------|
| MAT-3_Zrn-17 | 107.8 | 110.9 | 1.03 | 0.0830 | 0.0054 | 2.3900 | 0.1600 | 0.2044 | 0.0097 | 0.0631 | 0.0040 | 0.23  | 1199.0 | 52.0 | 1241.0 | 51.0 | 1263.0 | 130.0 | <b>1199.0</b> | 52.0 | 3.38  |
| MAT-3_Zrn-45 | 613   | 109   | 0.18 | 0.0791 | 0.0048 | 2.2170 | 0.1500 | 0.2045 | 0.0098 | 0.0605 | 0.0037 | 0.59  | 1199.0 | 52.0 | 1185.0 | 47.0 | 1170.0 | 120.0 | <b>1199.0</b> | 52.0 | -1.18 |
| MAT-3_Zrn-49 | 181.6 | 69.2  | 0.38 | 0.0797 | 0.0050 | 2.2330 | 0.1500 | 0.2045 | 0.0096 | 0.0633 | 0.0041 | 0.29  | 1199.0 | 51.0 | 1190.0 | 48.0 | 1188.0 | 130.0 | <b>1199.0</b> | 51.0 | -0.76 |
| MAT-3_Zrn-96 | 264   | 87.4  | 0.33 | 0.0783 | 0.0050 | 2.1940 | 0.1500 | 0.2039 | 0.0098 | 0.0588 | 0.0039 | 0.52  | 1199.0 | 54.0 | 1180.0 | 48.0 | 1152.0 | 120.0 | <b>1199.0</b> | 54.0 | -1.61 |
| MAT-3_Zrn-15 | 371   | 53.7  | 0.14 | 0.0784 | 0.0048 | 2.2720 | 0.1500 | 0.2047 | 0.0098 | 0.0630 | 0.0041 | 0.68  | 1200.0 | 53.0 | 1205.0 | 50.0 | 1163.0 | 130.0 | <b>1200.0</b> | 53.0 | 0.41  |
| MAT-3_Zrn-23 | 177.6 | 75.1  | 0.42 | 0.0811 | 0.0050 | 2.3230 | 0.1500 | 0.2046 | 0.0097 | 0.0609 | 0.0038 | 0.11  | 1200.0 | 52.0 | 1221.0 | 50.0 | 1226.0 | 130.0 | <b>1200.0</b> | 52.0 | 1.72  |
| MAT-3_Zrn-18 | 165.4 | 78.5  | 0.47 | 0.0831 | 0.0055 | 2.4010 | 0.1700 | 0.2050 | 0.0097 | 0.0623 | 0.0039 | 0.00  | 1202.0 | 52.0 | 1241.0 | 50.0 | 1277.0 | 130.0 | <b>1202.0</b> | 52.0 | 3.14  |
| MAT-3_Zrn-08 | 159.5 | 76.6  | 0.48 | 0.0819 | 0.0053 | 2.3670 | 0.1700 | 0.2052 | 0.0096 | 0.0621 | 0.0039 | 0.17  | 1203.0 | 51.0 | 1230.0 | 50.0 | 1230.0 | 130.0 | <b>1203.0</b> | 51.0 | 2.20  |
| MAT-3_Zrn-46 | 73.6  | 35    | 0.48 | 0.0790 | 0.0058 | 2.1870 | 0.1700 | 0.2055 | 0.0100 | 0.0596 | 0.0043 | 0.37  | 1204.0 | 54.0 | 1177.0 | 56.0 | 1160.0 | 140.0 | <b>1204.0</b> | 54.0 | -2.29 |
| MAT-3_Zrn-56 | 100.6 | 38.85 | 0.39 | 0.0811 | 0.0058 | 2.2540 | 0.1700 | 0.2057 | 0.0098 | 0.0635 | 0.0045 | 0.08  | 1205.0 | 52.0 | 1198.0 | 54.0 | 1198.0 | 140.0 | <b>1205.0</b> | 52.0 | -0.58 |
| MAT-3_Zrn-94 | 142.1 | 55.1  | 0.39 | 0.0860 | 0.0059 | 2.4340 | 0.1800 | 0.2059 | 0.0100 | 0.0639 | 0.0048 | 0.37  | 1207.0 | 54.0 | 1253.0 | 53.0 | 1330.0 | 140.0 | <b>1207.0</b> | 54.0 | 3.67  |
| MAT-3_Zrn-88 | 328   | 144   | 0.44 | 0.0813 | 0.0051 | 2.3010 | 0.1600 | 0.2062 | 0.0098 | 0.0608 | 0.0038 | 0.25  | 1209.0 | 52.0 | 1216.0 | 46.0 | 1234.0 | 120.0 | <b>1209.0</b> | 52.0 | 0.58  |
| MAT-3_Zrn-33 | 455   | 155.4 | 0.34 | 0.0809 | 0.0049 | 2.3510 | 0.1600 | 0.2066 | 0.0097 | 0.0612 | 0.0037 | 0.55  | 1210.0 | 52.0 | 1227.0 | 47.0 | 1221.0 | 130.0 | <b>1210.0</b> | 52.0 | 1.39  |
| MAT-3_Zrn-19 | 167.9 | 79.9  | 0.48 | 0.0805 | 0.0056 | 2.3590 | 0.1700 | 0.2069 | 0.0097 | 0.0625 | 0.0039 | -0.01 | 1212.0 | 52.0 | 1226.0 | 53.0 | 1210.0 | 130.0 | <b>1212.0</b> | 52.0 | 1.14  |
| MAT-3_Zrn-80 | 115.7 | 45.8  | 0.40 | 0.0800 | 0.0052 | 2.2510 | 0.1600 | 0.2068 | 0.0099 | 0.0618 | 0.0040 | 0.49  | 1212.0 | 53.0 | 1193.0 | 52.0 | 1193.0 | 130.0 | <b>1212.0</b> | 53.0 | -1.59 |
| MAT-3_Zrn-93 | 105.4 | 40.6  | 0.39 | 0.0821 | 0.0060 | 2.3480 | 0.1800 | 0.2068 | 0.0098 | 0.0645 | 0.0048 | -0.07 | 1212.0 | 53.0 | 1227.0 | 52.0 | 1244.0 | 140.0 | <b>1212.0</b> | 53.0 | 1.22  |
| MAT-3_Zrn-29 | 553   | 116.4 | 0.21 | 0.0807 | 0.0049 | 2.3580 | 0.1600 | 0.2073 | 0.0096 | 0.0634 | 0.0039 | 0.13  | 1214.3 | 51.0 | 1229.0 | 47.0 | 1218.0 | 120.0 | <b>1214.3</b> | 51.0 | 1.20  |
| MAT-3_Zrn-09 | 180   | 87.6  | 0.49 | 0.0806 | 0.0052 | 2.3430 | 0.1600 | 0.2085 | 0.0098 | 0.0631 | 0.0038 | 0.09  | 1221.0 | 52.0 | 1223.0 | 50.0 | 1207.0 | 130.0 | <b>1221.0</b> | 52.0 | 0.16  |
| MAT-3_Zrn-82 | 154.5 | 57.5  | 0.37 | 0.0803 | 0.0051 | 2.2980 | 0.1600 | 0.2086 | 0.0099 | 0.0615 | 0.0044 | 0.10  | 1221.0 | 53.0 | 1210.0 | 48.0 | 1212.0 | 130.0 | <b>1221.0</b> | 53.0 | -0.91 |
| MAT-3_Zrn-57 | 172.8 | 88.3  | 0.51 | 0.0800 | 0.0051 | 2.2510 | 0.1600 | 0.2088 | 0.0100 | 0.0605 | 0.0037 | 0.27  | 1225.0 | 55.0 | 1198.0 | 47.0 | 1206.0 | 120.0 | <b>1225.0</b> | 55.0 | -2.25 |
| MAT-3_Zrn-64 | 170.3 | 63.2  | 0.37 | 0.0801 | 0.0051 | 2.2540 | 0.1600 | 0.2094 | 0.0099 | 0.0654 | 0.0045 | 0.26  | 1226.0 | 53.0 | 1196.0 | 49.0 | 1187.0 | 130.0 | <b>1226.0</b> | 53.0 | -2.51 |
| MAT-3_Zrn-32 | 413   | 107.9 | 0.26 | 0.0821 | 0.0050 | 2.4160 | 0.1600 | 0.2095 | 0.0097 | 0.0643 | 0.0040 | 0.34  | 1226.2 | 52.0 | 1246.0 | 48.0 | 1250.0 | 110.0 | <b>1226.2</b> | 52.0 | 1.59  |
| MAT-3_Zrn-07 | 324   | 92.4  | 0.29 | 0.0813 | 0.0049 | 2.3970 | 0.1600 | 0.2095 | 0.0098 | 0.0622 | 0.0038 | 0.26  | 1226.3 | 52.0 | 1243.0 | 49.0 | 1224.0 | 120.0 | <b>1226.3</b> | 52.0 | 1.34  |
| MAT-3_Zrn-91 | 241   | 85.2  | 0.35 | 0.0806 | 0.0050 | 2.3250 | 0.1600 | 0.2099 | 0.0098 | 0.0627 | 0.0040 | 0.37  | 1228.0 | 52.0 | 1221.0 | 50.0 | 1212.0 | 120.0 | <b>1228.0</b> | 52.0 | -0.57 |
| MAT-3_Zrn-27 | 221.1 | 79.1  | 0.36 | 0.0836 | 0.0055 | 2.4610 | 0.1700 | 0.2100 | 0.0098 | 0.0686 | 0.0049 | 0.07  | 1228.8 | 52.0 | 1258.0 | 51.0 | 1280.0 | 120.0 | <b>1228.8</b> | 52.0 | 2.32  |
| MAT-3_Zrn-65 | 250.9 | 118.8 | 0.47 | 0.0790 | 0.0050 | 2.2320 | 0.1500 | 0.2101 | 0.0098 | 0.0636 | 0.0040 | -0.21 | 1229.0 | 52.0 | 1193.0 | 49.0 | 1197.0 | 130.0 | <b>1229.0</b> | 52.0 | -3.02 |

|               |       |       |      |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |      |        |      |        |       |               |       |       |
|---------------|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|-------|---------------|-------|-------|
| MAT-3_Zrn-83  | 340   | 142.4 | 0.42 | 0.0851 | 0.0054 | 2.4360 | 0.1700 | 0.2101 | 0.0098 | 0.0683 | 0.0044 | 0.65  | 1229.3 | 52.0 | 1251.0 | 51.0 | 1309.0 | 120.0 | <b>1229.3</b> | 52.0  | 1.73  |
| MAT-3_Zrn-34  | 228   | 104   | 0.46 | 0.0821 | 0.0052 | 2.4300 | 0.1700 | 0.2109 | 0.0099 | 0.0634 | 0.0041 | 0.41  | 1233.0 | 53.0 | 1256.0 | 47.0 | 1249.0 | 130.0 | <b>1233.0</b> | 53.0  | 1.83  |
| MAT-3_Zrn-22  | 475   | 262.7 | 0.55 | 0.0794 | 0.0048 | 2.3700 | 0.1600 | 0.2110 | 0.0100 | 0.0644 | 0.0038 | 0.52  | 1234.0 | 54.0 | 1232.0 | 48.0 | 1187.0 | 130.0 | <b>1234.0</b> | 54.0  | -0.16 |
| MAT-3_Zrn-87  | 137.1 | 49.4  | 0.36 | 0.0801 | 0.0056 | 2.3220 | 0.1700 | 0.2113 | 0.0100 | 0.0601 | 0.0041 | 0.07  | 1236.0 | 53.0 | 1218.0 | 53.0 | 1201.0 | 140.0 | <b>1236.0</b> | 53.0  | -1.48 |
| MAT-3_Zrn-21  | 181.1 | 57.7  | 0.32 | 0.0831 | 0.0052 | 2.5130 | 0.1700 | 0.2121 | 0.0099 | 0.0671 | 0.0042 | 0.27  | 1240.0 | 53.0 | 1275.0 | 49.0 | 1263.0 | 120.0 | <b>1240.0</b> | 53.0  | 2.75  |
| MAT-3_Zrn-62  | 338.5 | 106.3 | 0.31 | 0.0815 | 0.0050 | 2.3400 | 0.1600 | 0.2125 | 0.0099 | 0.0638 | 0.0041 | 0.48  | 1242.0 | 53.0 | 1223.0 | 47.0 | 1239.0 | 120.0 | <b>1242.0</b> | 53.0  | -1.55 |
| MAT-3_Zrn-69  | 102   | 37.2  | 0.36 | 0.0773 | 0.0053 | 2.2350 | 0.1600 | 0.2125 | 0.0100 | 0.0609 | 0.0043 | 0.25  | 1242.0 | 54.0 | 1189.0 | 50.0 | 1155.0 | 140.0 | <b>1242.0</b> | 54.0  | -4.46 |
| MAT-3_Zrn-74  | 502   | 264.9 | 0.53 | 0.0818 | 0.0050 | 2.3700 | 0.1600 | 0.2125 | 0.0099 | 0.0620 | 0.0037 | 0.36  | 1242.1 | 53.0 | 1233.0 | 47.0 | 1242.0 | 120.0 | <b>1242.1</b> | 53.0  | -0.74 |
| MAT-3_Zrn-60  | 93.3  | 35.5  | 0.38 | 0.0821 | 0.0055 | 2.3540 | 0.1700 | 0.2126 | 0.0100 | 0.0634 | 0.0044 | 0.13  | 1243.0 | 54.0 | 1226.0 | 50.0 | 1232.0 | 130.0 | <b>1243.0</b> | 54.0  | -1.39 |
| MAT-3_Zrn-39  | 118.5 | 45.1  | 0.38 | 0.0825 | 0.0055 | 2.4670 | 0.1800 | 0.2129 | 0.0100 | 0.0684 | 0.0050 | 0.33  | 1244.0 | 54.0 | 1259.0 | 53.0 | 1274.0 | 140.0 | <b>1244.0</b> | 54.0  | 1.19  |
| MAT-3_Zrn-47  | 181   | 71.3  | 0.39 | 0.0815 | 0.0052 | 2.3850 | 0.1600 | 0.2132 | 0.0100 | 0.0623 | 0.0039 | 0.23  | 1246.0 | 53.0 | 1236.0 | 49.0 | 1224.0 | 130.0 | <b>1246.0</b> | 53.0  | -0.81 |
| MAT-3_Zrn-97  | 490   | 150   | 0.31 | 0.0806 | 0.0049 | 2.3900 | 0.1600 | 0.2135 | 0.0099 | 0.0667 | 0.0041 | 0.28  | 1247.2 | 53.0 | 1239.0 | 47.0 | 1208.0 | 120.0 | <b>1247.2</b> | 53.0  | -0.66 |
| MAT-3_Zrn-01  | 146.9 | 47.5  | 0.32 | 0.0796 | 0.0051 | 2.3900 | 0.1600 | 0.2145 | 0.0100 | 0.0665 | 0.0043 | 0.08  | 1253.0 | 54.0 | 1238.0 | 49.0 | 1196.0 | 130.0 | <b>1253.0</b> | 54.0  | -1.21 |
| MAT-3_Zrn-81  | 140.2 | 41.42 | 0.30 | 0.0777 | 0.0051 | 2.2960 | 0.1600 | 0.2157 | 0.0100 | 0.0641 | 0.0043 | 0.21  | 1259.0 | 55.0 | 1215.0 | 52.0 | 1154.0 | 130.0 | <b>1259.0</b> | 55.0  | -3.62 |
| MAT-3_Zrn-42  | 287   | 82    | 0.29 | 0.0799 | 0.0049 | 2.3740 | 0.1600 | 0.2158 | 0.0100 | 0.0638 | 0.0041 | 0.39  | 1259.4 | 53.0 | 1234.0 | 48.0 | 1190.0 | 120.0 | <b>1259.4</b> | 53.0  | -2.06 |
| MAT-3_Zrn-77  | 109   | 34.93 | 0.32 | 0.0815 | 0.0055 | 2.3860 | 0.1700 | 0.2160 | 0.0100 | 0.0675 | 0.0051 | 0.15  | 1261.0 | 54.0 | 1236.0 | 51.0 | 1216.0 | 130.0 | <b>1261.0</b> | 54.0  | -2.02 |
| MAT-3_Zrn-25  | 917   | 406   | 0.44 | 0.0871 | 0.0052 | 2.6400 | 0.1700 | 0.2170 | 0.0100 | 0.0621 | 0.0036 | 0.74  | 1266.0 | 54.0 | 1316.0 | 55.0 | 1360.0 | 120.0 | <b>1266.0</b> | 54.0  | 3.80  |
| MAT-3_Zrn-52  | 50.6  | 22.3  | 0.44 | 0.0828 | 0.0060 | 2.4420 | 0.1800 | 0.2171 | 0.0110 | 0.0631 | 0.0055 | 0.07  | 1266.0 | 59.0 | 1251.0 | 54.0 | 1265.0 | 130.0 | <b>1266.0</b> | 59.0  | -1.20 |
| MAT-3_Zrn-04  | 206.8 | 64.6  | 0.31 | 0.0900 | 0.0072 | 2.7100 | 0.2400 | 0.2179 | 0.0100 | 0.0870 | 0.0110 | 0.81  | 1271.0 | 55.0 | 1320.0 | 63.0 | 1385.0 | 150.0 | <b>1271.0</b> | 55.0  | 3.71  |
| MAT-3_Zrn-35  | 198.2 | 148.4 | 0.75 | 0.0824 | 0.0052 | 2.4850 | 0.1700 | 0.2180 | 0.0100 | 0.0644 | 0.0040 | 0.00  | 1271.0 | 54.0 | 1269.0 | 51.0 | 1255.0 | 120.0 | <b>1271.0</b> | 54.0  | -0.16 |
| MAT-3_Zrn-100 | 674   | 136.9 | 0.20 | 0.0813 | 0.0049 | 2.4850 | 0.1600 | 0.2187 | 0.0100 | 0.0603 | 0.0038 | 0.13  | 1274.8 | 54.0 | 1267.0 | 47.0 | 1228.0 | 120.0 | <b>1274.8</b> | 54.0  | -0.62 |
| MAT-3_Zrn-59  | 349.1 | 103.3 | 0.30 | 0.0815 | 0.0050 | 2.4380 | 0.1600 | 0.2193 | 0.0100 | 0.0697 | 0.0044 | -0.16 | 1279.3 | 55.0 | 1253.0 | 48.0 | 1241.0 | 130.0 | <b>1279.3</b> | 55.0  | -2.10 |
| MAT-3_Zrn-75  | 84.8  | 35.6  | 0.42 | 0.0859 | 0.0063 | 2.6100 | 0.2000 | 0.2271 | 0.0110 | 0.0685 | 0.0046 | 0.18  | 1319.0 | 58.0 | 1304.0 | 57.0 | 1322.0 | 130.0 | <b>1319.0</b> | 58.0  | -1.15 |
| MAT-3_Zrn-71  | 68.8  | 37.4  | 0.54 | 0.0891 | 0.0063 | 2.8900 | 0.2100 | 0.2429 | 0.0120 | 0.0678 | 0.0045 | -0.17 | 1401.0 | 61.0 | 1376.0 | 56.0 | 1381.0 | 140.0 | <b>1381.0</b> | 140.0 | -1.82 |
| MAT-3_Zrn-78  | 224   | 94.3  | 0.42 | 0.0954 | 0.0060 | 3.5000 | 0.3000 | 0.2690 | 0.0160 | 0.0818 | 0.0053 | 0.92  | 1535.0 | 83.0 | 1539.0 | 71.0 | 1536.0 | 120.0 | <b>1536.0</b> | 120.0 | 0.26  |
| MAT-3_Zrn-41  | 265   | 119.4 | 0.45 | 0.0959 | 0.0058 | 3.6300 | 0.2400 | 0.2728 | 0.0130 | 0.0822 | 0.0050 | 0.64  | 1555.0 | 66.0 | 1558.0 | 54.0 | 1542.0 | 120.0 | <b>1542.0</b> | 120.0 | 0.19  |

|                     |       |       |      |        |        |         |        |        |        |        |        |       |        |      |        |      |        |       |               |       |       |
|---------------------|-------|-------|------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|-------|---------------|-------|-------|
| <b>MAT-3_Zrn-66</b> | 467   | 121.7 | 0.26 | 0.1010 | 0.0061 | 3.6300  | 0.2300 | 0.2664 | 0.0120 | 0.0805 | 0.0049 | 0.40  | 1523.0 | 61.0 | 1559.0 | 52.0 | 1637.0 | 110.0 | <b>1637.0</b> | 110.0 | 2.31  |
| <b>MAT-3_Zrn-54</b> | 507   | 707   | 1.39 | 0.1084 | 0.0066 | 4.5600  | 0.3000 | 0.3109 | 0.0140 | 0.0865 | 0.0050 | 0.38  | 1745.0 | 71.0 | 1741.0 | 55.0 | 1770.0 | 110.0 | <b>1770.0</b> | 110.0 | -0.23 |
| <b>MAT-3_Zrn-95</b> | 282.5 | 266.7 | 0.94 | 0.1716 | 0.0100 | 10.6400 | 0.6900 | 0.4514 | 0.0210 | 0.1196 | 0.0069 | -0.09 | 2401.0 | 93.0 | 2492.0 | 62.0 | 2571.0 | 100.0 | <b>2571.0</b> | 100.0 | 3.65  |

| MAT-10       |         |          |             |                                      |         |                                     |        |                                     |         |                                      |         |           |                                     |     |                                     |     |                                      |     |                 |     |        |
|--------------|---------|----------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|-----------|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| Análisis     | U (ppm) | Th (ppm) | Th/U        | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σabs | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ±2σ abs | Rho       | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ | Mejor edad (Ma) | ±2σ | Disc % |
| Mat10_Zrn-93 | 114.2   | 54.6     | 0.478108581 | 0.0743                               | 0.0033  | 1.519                               | 0.056  | 0.1489                              | 0.0018  | 0.0388                               | 0.0016  | -0.26675  | 895                                 | 10  | 941                                 | 20  | 1053                                 | 82  | 895             | 10  | 4.89   |
| Mat10_Zrn-76 | 812.3   | 148      | 0.182198695 | 0.0887                               | 0.0032  | 1.842                               | 0.055  | 0.1516                              | 0.0018  | 0.0859                               | 0.0034  | 0.26422   | 909.8                               | 10  | 1060                                | 19  | 1394                                 | 70  | 909.8           | 10  | 14.17  |
| Mat10_Zrn-90 | 690     | 219      | 0.317391304 | 0.0782                               | 0.0026  | 1.637                               | 0.054  | 0.1534                              | 0.0048  | 0.0214                               | 0.0011  | 0.23443   | 920.2                               | 27  | 987                                 | 22  | 1149                                 | 68  | 920.2           | 27  | 6.77   |
| Mat10_Zrn-09 | 653     | 234      | 0.358346095 | 0.0728                               | 0.0024  | 1.613                               | 0.046  | 0.1609                              | 0.0017  | 0.0437                               | 0.0016  | 0.62902   | 961.8                               | 9.2 | 975                                 | 18  | 1005                                 | 65  | 961.8           | 9.2 | 1.35   |
| Mat10_Zrn-55 | 172.8   | 52.4     | 0.303240741 | 0.0696                               | 0.0026  | 1.568                               | 0.05   | 0.1627                              | 0.0018  | 0.0501                               | 0.0017  | 0.27484   | 971.7                               | 10  | 956                                 | 20  | 924                                  | 79  | 971.7           | 10  | -1.64  |
| Mat10_Zrn-74 | 247     | 122.8    | 0.497165992 | 0.0715                               | 0.0026  | 1.609                               | 0.049  | 0.1639                              | 0.0017  | 0.05045                              | 0.0014  | 0.0072213 | 978.3                               | 9.5 | 973                                 | 19  | 972                                  | 75  | 978.3           | 9.5 | -0.54  |
| Mat10_Zrn-94 | 371     | 219      | 0.590296496 | 0.075                                | 0.0025  | 1.772                               | 0.059  | 0.1647                              | 0.0055  | 0.0483                               | 0.0014  | 0.44544   | 983                                 | 33  | 1042                                | 28  | 1066                                 | 70  | 983             | 33  | 5.66   |
| Mat10_Zrn-08 | 486     | 16.4     | 0.033744856 | 0.0712                               | 0.0025  | 1.615                               | 0.046  | 0.1648                              | 0.0018  | 0.0545                               | 0.0035  | 0.15959   | 983.2                               | 10  | 976                                 | 18  | 964                                  | 70  | 983.2           | 10  | -0.74  |
| Mat10_Zrn-53 | 384     | 106.6    | 0.277604167 | 0.0714                               | 0.0025  | 1.639                               | 0.047  | 0.1655                              | 0.0019  | 0.0474                               | 0.0015  | 0.36161   | 987.3                               | 10  | 985                                 | 18  | 976                                  | 70  | 987.3           | 10  | -0.23  |
| Mat10_Zrn-15 | 212.1   | 90.3     | 0.425742574 | 0.072                                | 0.0027  | 1.653                               | 0.053  | 0.166                               | 0.0019  | 0.0506                               | 0.0016  | 0.14656   | 990                                 | 11  | 990                                 | 20  | 978                                  | 76  | 990             | 11  | 0.00   |
| Mat10_Zrn-04 | 668     | 85.9     | 0.128592814 | 0.0718                               | 0.0024  | 1.663                               | 0.049  | 0.1668                              | 0.0025  | 0.049                                | 0.0016  | 0.21863   | 994.6                               | 14  | 995.7                               | 18  | 977                                  | 70  | 994.6           | 14  | 0.11   |
| Mat10_Zrn-87 | 492     | 175      | 0.355691057 | 0.0744                               | 0.0031  | 1.76                                | 0.055  | 0.1679                              | 0.0043  | 0.0496                               | 0.0029  | 0.50476   | 1000                                | 24  | 1030                                | 21  | 1056                                 | 74  | 1000            | 24  | 2.91   |
| Mat10_Zrn-64 | 1206    | 57.9     | 0.04800995  | 0.0736                               | 0.0045  | 1.734                               | 0.14   | 0.16786                             | 0.0084  | 0.0497                               | 0.0043  | 0.67023   | 1000.3                              | 46  | 1021                                | 49  | 1029                                 | 97  | 1000.3          | 46  | 2.03   |
| Mat10_Zrn-42 | 546     | 63.1     | 0.115567766 | 0.0739                               | 0.0025  | 1.695                               | 0.059  | 0.1681                              | 0.0037  | 0.0503                               | 0.0026  | 0.53212   | 1002                                | 20  | 1006                                | 22  | 1034                                 | 68  | 1002            | 20  | 0.40   |
| Mat10_Zrn-63 | 507     | 59.88    | 0.118106509 | 0.07105                              | 0.0024  | 1.669                               | 0.046  | 0.1684                              | 0.0022  | 0.0532                               | 0.0019  | 0.51073   | 1003                                | 12  | 996.3                               | 17  | 956                                  | 70  | 1003            | 12  | -0.67  |
| Mat10_Zrn-38 | 683     | 189      | 0.276720351 | 0.0714                               | 0.0024  | 1.66                                | 0.045  | 0.1685                              | 0.0018  | 0.0498                               | 0.0013  | 0.21373   | 1003.6                              | 9.7 | 993                                 | 18  | 972                                  | 65  | 1003.6          | 9.7 | -1.07  |
| Mat10_Zrn-80 | 251.4   | 85.2     | 0.338902148 | 0.0741                               | 0.0027  | 1.722                               | 0.055  | 0.1688                              | 0.0018  | 0.0525                               | 0.0018  | 0.17485   | 1005.7                              | 10  | 1016                                | 20  | 1036                                 | 73  | 1005.7          | 10  | 1.01   |
| Mat10_Zrn-70 | 963     | 206      | 0.213914849 | 0.0779                               | 0.003   | 1.814                               | 0.064  | 0.1689                              | 0.0039  | 0.038                                | 0.0026  | 0.20005   | 1005.8                              | 22  | 1050                                | 23  | 1141                                 | 69  | 1005.8          | 22  | 4.21   |
| Mat10_Zrn-73 | 487     | 96       | 0.197125257 | 0.0727                               | 0.0025  | 1.716                               | 0.047  | 0.1723                              | 0.0017  | 0.0521                               | 0.0016  | -0.012781 | 1025                                | 9.1 | 1014.1                              | 17  | 1000                                 | 71  | 1025            | 9.1 | -1.07  |
| Mat10_Zrn-57 | 416     | 99.3     | 0.238701923 | 0.0736                               | 0.0025  | 1.771                               | 0.051  | 0.1734                              | 0.0022  | 0.049                                | 0.0016  | 0.38615   | 1030.5                              | 12  | 1034                                | 20  | 1033                                 | 69  | 1030.5          | 12  | 0.34   |
| Mat10_Zrn-91 | 455     | 194      | 0.426373626 | 0.0778                               | 0.0026  | 1.872                               | 0.052  | 0.1741                              | 0.0025  | 0.0339                               | 0.0017  | 0.44822   | 1035                                | 13  | 1071                                | 18  | 1144                                 | 66  | 1035            | 13  | 3.36   |
| Mat10_Zrn-37 | 519     | 53.7     | 0.103468208 | 0.0762                               | 0.0025  | 1.848                               | 0.054  | 0.1756                              | 0.0023  | 0.0506                               | 0.0017  | 0.47132   | 1043                                | 12  | 1062                                | 20  | 1098                                 | 68  | 1043            | 12  | 1.79   |
| Mat10_Zrn-78 | 310     | 151.2    | 0.487741935 | 0.0753                               | 0.0027  | 1.826                               | 0.053  | 0.1762                              | 0.0017  | 0.0525                               | 0.0014  | 0.27943   | 1046                                | 9.4 | 1059                                | 20  | 1069                                 | 74  | 1046            | 9.4 | 1.23   |
| Mat10_Zrn-67 | 482     | 25.8     | 0.053526971 | 0.0748                               | 0.0026  | 1.82                                | 0.053  | 0.1767                              | 0.0022  | 0.0603                               | 0.0028  | 0.43808   | 1049                                | 12  | 1052                                | 19  | 1065                                 | 72  | 1049            | 12  | 0.29   |

|              |        |       |             |         |        |       |       |         |        |         |        |            |        |     |        |    |      |    |               |     |       |
|--------------|--------|-------|-------------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|---------|--------|------------|--------|-----|--------|----|------|----|---------------|-----|-------|
| Mat10_Zrn-59 | 1112   | 10.2  | 0.009172662 | 0.07581 | 0.0024 | 1.871 | 0.047 | 0.18037 | 0.0017 | 0.0564  | 0.0048 | 0.50121    | 1069   | 9.4 | 1070.7 | 17 | 1089 | 62 | <b>1069</b>   | 9.4 | 0.16  |
| Mat10_Zrn-61 | 510    | 158.7 | 0.311176471 | 0.0747  | 0.0025 | 1.869 | 0.05  | 0.1811  | 0.0019 | 0.05439 | 0.0014 | 0.24098    | 1072.8 | 11  | 1069.6 | 18 | 1060 | 66 | <b>1072.8</b> | 11  | -0.30 |
| Mat10_Zrn-54 | 342    | 163.9 | 0.479239766 | 0.0763  | 0.0028 | 1.908 | 0.058 | 0.1818  | 0.0019 | 0.0526  | 0.0015 | 0.25088    | 1076.9 | 10  | 1085   | 20 | 1095 | 72 | <b>1076.9</b> | 10  | 0.75  |
| Mat10_Zrn-89 | 535    | 35.64 | 0.066616822 | 0.0768  | 0.0026 | 1.921 | 0.055 | 0.1825  | 0.0018 | 0.0599  | 0.0024 | -0.0058382 | 1080.7 | 10  | 1090   | 19 | 1112 | 68 | <b>1080.7</b> | 10  | 0.85  |
| Mat10_Zrn-43 | 142.7  | 50.92 | 0.356832516 | 0.0786  | 0.0029 | 1.959 | 0.072 | 0.1829  | 0.0027 | 0.0562  | 0.0019 | 0.22704    | 1083   | 15  | 1100   | 24 | 1168 | 74 | <b>1083</b>   | 15  | 1.55  |
| Mat10_Zrn-71 | 1000.2 | 138   | 0.137972406 | 0.0763  | 0.0025 | 1.92  | 0.05  | 0.183   | 0.0017 | 0.05393 | 0.0015 | 0.30126    | 1083.4 | 9.3 | 1087.7 | 17 | 1101 | 65 | <b>1083.4</b> | 9.3 | 0.40  |
| Mat10_Zrn-34 | 357    | 86    | 0.240896359 | 0.0786  | 0.0029 | 2.053 | 0.071 | 0.1838  | 0.005  | 0.0323  | 0.002  | 0.17513    | 1088   | 28  | 1132   | 26 | 1150 | 66 | <b>1088</b>   | 28  | 3.89  |
| Mat10_Zrn-06 | 584    | 60.5  | 0.10359589  | 0.0758  | 0.0025 | 1.921 | 0.05  | 0.1844  | 0.0026 | 0.059   | 0.0021 | 0.62225    | 1091   | 14  | 1089.6 | 18 | 1088 | 65 | <b>1091</b>   | 14  | -0.13 |
| Mat10_Zrn-85 | 151.9  | 72.7  | 0.478604345 | 0.076   | 0.0031 | 1.931 | 0.065 | 0.1845  | 0.0023 | 0.0543  | 0.0018 | 0.13755    | 1091.7 | 12  | 1093   | 22 | 1102 | 76 | <b>1091.7</b> | 12  | 0.12  |
| Mat10_Zrn-01 | 706    | 38    | 0.053824363 | 0.0758  | 0.0025 | 1.946 | 0.049 | 0.1854  | 0.002  | 0.058   | 0.0023 | 0.10264    | 1096.1 | 11  | 1098.1 | 17 | 1087 | 65 | <b>1096.1</b> | 11  | 0.18  |
| Mat10_Zrn-31 | 863    | 10.28 | 0.011911935 | 0.0749  | 0.0025 | 1.928 | 0.056 | 0.1857  | 0.0025 | 0.0588  | 0.0051 | 0.6969     | 1098   | 13  | 1094   | 19 | 1064 | 66 | <b>1098</b>   | 13  | -0.37 |
| Mat10_Zrn-26 | 415    | 47.8  | 0.115180723 | 0.0741  | 0.0025 | 1.936 | 0.054 | 0.1864  | 0.0025 | 0.0573  | 0.0024 | 0.031913   | 1102   | 14  | 1093   | 19 | 1053 | 67 | <b>1102</b>   | 14  | -0.82 |
| Mat10_Zrn-22 | 650    | 14.2  | 0.021846154 | 0.07623 | 0.0025 | 1.957 | 0.054 | 0.1867  | 0.0031 | 0.0588  | 0.0034 | 0.7335     | 1103   | 17  | 1100.4 | 19 | 1102 | 64 | <b>1103</b>   | 17  | -0.24 |
| Mat10_Zrn-20 | 120.1  | 45.1  | 0.3755204   | 0.0774  | 0.0031 | 2.008 | 0.068 | 0.1875  | 0.0024 | 0.0583  | 0.0021 | -0.011031  | 1108   | 13  | 1117   | 22 | 1131 | 81 | <b>1108</b>   | 13  | 0.81  |
| Mat10_Zrn-56 | 950    | 372   | 0.391578947 | 0.0846  | 0.0031 | 2.2   | 0.067 | 0.1878  | 0.0031 | 0.054   | 0.0018 | 0.55927    | 1109.6 | 16  | 1180   | 21 | 1304 | 68 | <b>1109.6</b> | 16  | 5.97  |
| Mat10_Zrn-99 | 752    | 270   | 0.359042553 | 0.0782  | 0.0026 | 1.988 | 0.052 | 0.1878  | 0.0025 | 0.0538  | 0.0014 | 0.55045    | 1110   | 14  | 1111.1 | 18 | 1156 | 63 | <b>1110</b>   | 14  | 0.10  |
| Mat10_Zrn-44 | 333.8  | 115.7 | 0.346614739 | 0.079   | 0.0034 | 2.086 | 0.11  | 0.1899  | 0.012  | 0.0545  | 0.006  | -0.28574   | 1121   | 64  | 1144   | 38 | 1170 | 78 | <b>1121</b>   | 64  | 2.01  |
| Mat10_Zrn-10 | 141.3  | 58    | 0.410474168 | 0.0841  | 0.0028 | 2.21  | 0.075 | 0.1909  | 0.0038 | 0.0424  | 0.0025 | 0.21866    | 1126   | 20  | 1182   | 26 | 1288 | 71 | <b>1126</b>   | 20  | 4.74  |
| Mat10_Zrn-28 | 392    | 16.8  | 0.042857143 | 0.0776  | 0.0028 | 2.036 | 0.062 | 0.1911  | 0.0027 | 0.064   | 0.011  | 0.66349    | 1127   | 15  | 1126   | 21 | 1132 | 71 | <b>1127</b>   | 15  | -0.09 |
| Mat10_Zrn-41 | 312    | 155.4 | 0.498076923 | 0.0799  | 0.0028 | 2.107 | 0.062 | 0.1926  | 0.0021 | 0.0527  | 0.0016 | -0.37317   | 1136   | 11  | 1150   | 20 | 1188 | 68 | <b>1136</b>   | 11  | 1.22  |
| Mat10_Zrn-18 | 355.6  | 99.7  | 0.280371204 | 0.0791  | 0.0027 | 2.104 | 0.057 | 0.1936  | 0.0018 | 0.0453  | 0.0016 | -0.0023481 | 1140.8 | 9.7 | 1150   | 19 | 1177 | 66 | <b>1140.8</b> | 9.7 | 0.80  |
| Mat10_Zrn-24 | 181.3  | 89.7  | 0.494760066 | 0.0789  | 0.003  | 2.101 | 0.07  | 0.1935  | 0.0023 | 0.0591  | 0.0019 | 0.36131    | 1142   | 12  | 1148   | 23 | 1164 | 77 | <b>1142</b>   | 12  | 0.52  |
| Mat10_Zrn-52 | 209    | 69.6  | 0.333014354 | 0.0781  | 0.0029 | 2.108 | 0.065 | 0.1944  | 0.0028 | 0.0464  | 0.0016 | 0.23502    | 1145   | 15  | 1153   | 20 | 1148 | 73 | <b>1145</b>   | 15  | 0.69  |
| Mat10_Zrn-11 | 278    | 129.8 | 0.466906475 | 0.0801  | 0.0028 | 2.157 | 0.062 | 0.1954  | 0.0029 | 0.0543  | 0.0015 | 0.25682    | 1150   | 16  | 1167   | 21 | 1195 | 68 | <b>1150</b>   | 16  | 1.46  |
| Mat10_Zrn-65 | 225    | 42.6  | 0.189333333 | 0.0791  | 0.0028 | 2.132 | 0.064 | 0.1954  | 0.0023 | 0.0602  | 0.0021 | 0.34232    | 1150   | 12  | 1158   | 21 | 1176 | 73 | <b>1150</b>   | 12  | 0.69  |
| Mat10_Zrn-98 | 102    | 20.48 | 0.200784314 | 0.0783  | 0.0031 | 2.115 | 0.075 | 0.1958  | 0.0025 | 0.0604  | 0.0026 | 0.33225    | 1153   | 14  | 1152   | 24 | 1143 | 80 | <b>1153</b>   | 14  | -0.09 |



|               |       |       |             |         |        |       |       |        |        |         |        |           |        |    |        |    |      |    |               |    |       |
|---------------|-------|-------|-------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|-----------|--------|----|--------|----|------|----|---------------|----|-------|
| Mat10_Zrn-100 | 469.6 | 105.2 | 0.224020443 | 0.0802  | 0.0027 | 2.143 | 0.06  | 0.196  | 0.0026 | 0.0575  | 0.0015 | 0.38167   | 1153.9 | 14 | 1162   | 20 | 1204 | 67 | <b>1153.9</b> | 14 | 0.70  |
| Mat10_Zrn-16  | 173.7 | 89.1  | 0.512953368 | 0.0803  | 0.0028 | 2.172 | 0.061 | 0.197  | 0.0022 | 0.0591  | 0.0017 | 0.16921   | 1159.3 | 12 | 1171   | 21 | 1201 | 68 | <b>1159.3</b> | 12 | 1.00  |
| Mat10_Zrn-13  | 818   | 83    | 0.101466993 | 0.07924 | 0.0025 | 2.137 | 0.055 | 0.1973 | 0.0023 | 0.0598  | 0.0018 | 0.74634   | 1160   | 12 | 1160   | 18 | 1176 | 63 | <b>1160</b>   | 12 | 0.00  |
| Mat10_Zrn-46  | 759   | 109   | 0.143610013 | 0.07885 | 0.0026 | 2.134 | 0.063 | 0.1973 | 0.0044 | 0.0527  | 0.0042 | 0.7959    | 1160   | 24 | 1161   | 21 | 1166 | 65 | <b>1160</b>   | 24 | 0.09  |
| Mat10_Zrn-68  | 219.7 | 40.89 | 0.186117433 | 0.0799  | 0.003  | 2.18  | 0.065 | 0.198  | 0.002  | 0.0607  | 0.0021 | -0.039107 | 1164.7 | 11 | 1174   | 21 | 1188 | 73 | <b>1164.7</b> | 11 | 0.79  |
| Mat10_Zrn-17  | 263.9 | 75.1  | 0.284577491 | 0.0796  | 0.0029 | 2.188 | 0.07  | 0.1982 | 0.0027 | 0.0579  | 0.0019 | 0.38961   | 1165.5 | 14 | 1176   | 21 | 1191 | 71 | <b>1165.5</b> | 14 | 0.89  |
| Mat10_Zrn-23  | 586.7 | 141   | 0.240327254 | 0.07984 | 0.0027 | 2.172 | 0.063 | 0.1987 | 0.0021 | 0.0605  | 0.0017 | 0.66008   | 1168.4 | 11 | 1171   | 20 | 1190 | 65 | <b>1168.4</b> | 11 | 0.22  |
| Mat10_Zrn-40  | 1110  | 162   | 0.145945946 | 0.0795  | 0.0025 | 2.175 | 0.056 | 0.199  | 0.0026 | 0.0497  | 0.0043 | 0.62841   | 1170   | 14 | 1174.1 | 17 | 1183 | 63 | <b>1170</b>   | 14 | 0.35  |
| Mat10_Zrn-84  | 344.3 | 118.8 | 0.345047923 | 0.0789  | 0.0028 | 2.177 | 0.059 | 0.1996 | 0.002  | 0.0588  | 0.0017 | -0.064275 | 1173.3 | 11 | 1173.1 | 19 | 1164 | 69 | <b>1173.3</b> | 11 | -0.02 |
| Mat10_Zrn-66  | 196   | 27.26 | 0.139081633 | 0.0785  | 0.0032 | 2.208 | 0.12  | 0.2008 | 0.0065 | 0.0595  | 0.0025 | 0.30868   | 1180   | 34 | 1183   | 33 | 1167 | 75 | <b>1180</b>   | 34 | 0.25  |
| Mat10_Zrn-32  | 474   | 90    | 0.189873418 | 0.0803  | 0.0027 | 2.222 | 0.06  | 0.2013 | 0.002  | 0.0697  | 0.0024 | 0.10474   | 1182.1 | 11 | 1187   | 19 | 1200 | 66 | <b>1182.1</b> | 11 | 0.41  |
| Mat10_Zrn-02  | 246.3 | 46.2  | 0.187576127 | 0.0796  | 0.0029 | 2.212 | 0.069 | 0.2014 | 0.002  | 0.0611  | 0.0026 | 0.1602    | 1183   | 11 | 1186   | 21 | 1194 | 70 | <b>1183</b>   | 11 | 0.25  |
| Mat10_Zrn-07  | 771   | 101.7 | 0.131906615 | 0.0789  | 0.0026 | 2.199 | 0.058 | 0.2018 | 0.002  | 0.0583  | 0.0017 | 0.25954   | 1184.9 | 11 | 1182   | 19 | 1174 | 65 | <b>1184.9</b> | 11 | -0.25 |
| Mat10_Zrn-14  | 727.5 | 45.8  | 0.062955326 | 0.0805  | 0.0026 | 2.228 | 0.064 | 0.2018 | 0.0028 | 0.0573  | 0.0022 | 0.61476   | 1185.1 | 15 | 1189   | 20 | 1212 | 66 | <b>1185.1</b> | 15 | 0.33  |
| Mat10_Zrn-49  | 318   | 88.8  | 0.279245283 | 0.0851  | 0.0029 | 2.39  | 0.072 | 0.204  | 0.0033 | 0.0659  | 0.0027 | 0.65055   | 1197   | 18 | 1239   | 22 | 1315 | 68 | <b>1197</b>   | 18 | 3.39  |
| Mat10_Zrn-47  | 173   | 74.5  | 0.430635838 | 0.0891  | 0.0033 | 2.5   | 0.079 | 0.2043 | 0.0025 | 0.0562  | 0.0016 | 0.31632   | 1198   | 14 | 1271   | 23 | 1410 | 73 | <b>1198</b>   | 14 | 5.74  |
| Mat10_Zrn-88  | 439   | 213   | 0.485193622 | 0.0819  | 0.0028 | 2.295 | 0.068 | 0.2055 | 0.0023 | 0.05844 | 0.0015 | 0.58559   | 1205   | 12 | 1213   | 21 | 1240 | 66 | <b>1205</b>   | 12 | 0.66  |
| Mat10_Zrn-86  | 169.2 | 70.1  | 0.4143026   | 0.081   | 0.003  | 2.304 | 0.07  | 0.2059 | 0.0026 | 0.0609  | 0.0017 | 0.072862  | 1207   | 14 | 1213   | 21 | 1222 | 71 | <b>1207</b>   | 14 | 0.49  |
| Mat10_Zrn-45  | 578   | 127   | 0.219723183 | 0.0806  | 0.0027 | 2.298 | 0.06  | 0.2064 | 0.0022 | 0.0637  | 0.0018 | 0.019014  | 1209.4 | 12 | 1211.2 | 19 | 1208 | 66 | <b>1209.4</b> | 12 | 0.15  |
| Mat10_Zrn-75  | 141.9 | 74    | 0.52149401  | 0.0809  | 0.0032 | 2.309 | 0.081 | 0.207  | 0.0027 | 0.0612  | 0.002  | 0.36428   | 1213   | 14 | 1213   | 25 | 1209 | 78 | <b>1213</b>   | 14 | 0.00  |
| Mat10_Zrn-19  | 132.9 | 56.48 | 0.424981189 | 0.0834  | 0.0033 | 2.38  | 0.077 | 0.2075 | 0.003  | 0.0606  | 0.0019 | 0.050507  | 1215   | 16 | 1240   | 24 | 1269 | 82 | <b>1215</b>   | 16 | 2.02  |
| Mat10_Zrn-48  | 142.4 | 49.19 | 0.345435393 | 0.0802  | 0.0032 | 2.301 | 0.081 | 0.2074 | 0.003  | 0.0617  | 0.0019 | 0.42954   | 1215   | 16 | 1210   | 24 | 1200 | 76 | <b>1215</b>   | 16 | -0.41 |
| Mat10_Zrn-12  | 161.1 | 70.5  | 0.437616387 | 0.0813  | 0.003  | 2.343 | 0.075 | 0.2083 | 0.0022 | 0.0607  | 0.0017 | 0.18564   | 1219.5 | 12 | 1224   | 23 | 1222 | 72 | <b>1219.5</b> | 12 | 0.37  |
| Mat10_Zrn-21  | 198.6 | 66.6  | 0.335347432 | 0.0818  | 0.003  | 2.353 | 0.068 | 0.2085 | 0.0029 | 0.0654  | 0.0021 | 0.33192   | 1221   | 15 | 1230   | 21 | 1236 | 69 | <b>1221</b>   | 15 | 0.73  |
| Mat10_Zrn-33  | 205.9 | 130.5 | 0.633802817 | 0.083   | 0.0028 | 2.383 | 0.066 | 0.2094 | 0.0022 | 0.0615  | 0.0016 | 0.077843  | 1225.7 | 12 | 1237   | 20 | 1265 | 66 | <b>1225.7</b> | 12 | 0.91  |
| Mat10_Zrn-72  | 138.3 | 78.8  | 0.56977585  | 0.0818  | 0.0032 | 2.353 | 0.082 | 0.2095 | 0.0025 | 0.0628  | 0.0018 | 0.1305    | 1226   | 13 | 1229   | 25 | 1232 | 77 | <b>1226</b>   | 13 | 0.24  |

|              |       |       |             |        |        |       |       |        |        |        |        |           |        |    |      |    |      |    |               |    |       |
|--------------|-------|-------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|----|------|----|------|----|---------------|----|-------|
| Mat10_Zrn-83 | 369   | 131.2 | 0.355555556 | 0.0821 | 0.0029 | 2.351 | 0.077 | 0.2096 | 0.0034 | 0.0615 | 0.0018 | 0.71664   | 1226   | 18 | 1227 | 23 | 1244 | 69 | <b>1226</b>   | 18 | 0.08  |
| Mat10_Zrn-77 | 113.3 | 48.5  | 0.428067079 | 0.0814 | 0.0032 | 2.38  | 0.087 | 0.2097 | 0.0025 | 0.0658 | 0.002  | 0.59563   | 1227   | 13 | 1234 | 26 | 1230 | 77 | <b>1227</b>   | 13 | 0.57  |
| Mat10_Zrn-96 | 261   | 69.6  | 0.266666667 | 0.0817 | 0.0031 | 2.394 | 0.088 | 0.2108 | 0.0038 | 0.0661 | 0.0033 | 0.089199  | 1233   | 20 | 1240 | 25 | 1233 | 73 | <b>1233</b>   | 20 | 0.56  |
| Mat10_Zrn-05 | 131   | 50.7  | 0.387022901 | 0.0808 | 0.003  | 2.348 | 0.079 | 0.2119 | 0.0035 | 0.0659 | 0.0022 | 0.35219   | 1239   | 18 | 1225 | 24 | 1208 | 64 | <b>1239</b>   | 18 | -1.14 |
| Mat10_Zrn-29 | 545   | 87    | 0.159633028 | 0.0814 | 0.003  | 2.416 | 0.1   | 0.2122 | 0.0046 | 0.0762 | 0.0028 | 0.90133   | 1240   | 24 | 1245 | 28 | 1243 | 68 | <b>1240</b>   | 24 | 0.40  |
| Mat10_Zrn-25 | 284   | 62.6  | 0.220422535 | 0.082  | 0.003  | 2.401 | 0.07  | 0.2124 | 0.0024 | 0.0625 | 0.0016 | 0.22906   | 1241.5 | 13 | 1242 | 21 | 1239 | 68 | <b>1241.5</b> | 13 | 0.04  |
| Mat10_Zrn-50 | 259   | 88.8  | 0.342857143 | 0.0817 | 0.0028 | 2.394 | 0.066 | 0.2137 | 0.0024 | 0.0607 | 0.0017 | 0.15455   | 1249   | 13 | 1240 | 20 | 1235 | 68 | <b>1249</b>   | 13 | -0.73 |
| Mat10_Zrn-62 | 200.9 | 90.4  | 0.449975112 | 0.0826 | 0.0029 | 2.436 | 0.069 | 0.215  | 0.0024 | 0.0632 | 0.0018 | 0.11867   | 1255.4 | 13 | 1252 | 20 | 1254 | 68 | <b>1255.4</b> | 13 | -0.27 |
| Mat10_Zrn-58 | 179.5 | 57.3  | 0.319220056 | 0.083  | 0.003  | 2.447 | 0.079 | 0.216  | 0.0027 | 0.0624 | 0.0023 | 0.45673   | 1261   | 14 | 1259 | 24 | 1262 | 67 | <b>1261</b>   | 14 | -0.16 |
| Mat10_Zrn-39 | 239.2 | 72.2  | 0.301839465 | 0.0818 | 0.0029 | 2.446 | 0.069 | 0.2166 | 0.0022 | 0.0583 | 0.002  | -0.045229 | 1264.1 | 12 | 1255 | 20 | 1241 | 71 | <b>1264.1</b> | 12 | -0.73 |
| Mat10_Zrn-95 | 172   | 59.9  | 0.348255814 | 0.0831 | 0.003  | 2.458 | 0.082 | 0.2174 | 0.0027 | 0.0627 | 0.002  | 0.43257   | 1268   | 14 | 1258 | 24 | 1266 | 69 | <b>1268</b>   | 14 | -0.79 |
| Mat10_Zrn-79 | 274   | 96    | 0.350364964 | 0.0817 | 0.0032 | 2.501 | 0.094 | 0.2198 | 0.0032 | 0.0607 | 0.0019 | 0.40275   | 1281   | 17 | 1271 | 26 | 1239 | 76 | <b>1281</b>   | 17 | -0.79 |
| Mat10_Zrn-51 | 70.1  | 20.92 | 0.298430813 | 0.0874 | 0.0039 | 2.95  | 0.12  | 0.2461 | 0.0052 | 0.0656 | 0.0031 | 0.36706   | 1418   | 27 | 1402 | 31 | 1350 | 79 | <b>1350</b>   | 79 | -1.14 |
| Mat10_Zrn-60 | 271   | 160.5 | 0.592250923 | 0.0944 | 0.0032 | 3.043 | 0.1   | 0.2348 | 0.0043 | 0.0704 | 0.0019 | 0.7385    | 1359   | 23 | 1417 | 26 | 1527 | 63 | <b>1359</b>   | 23 | 4.09  |
| Mat10_Zrn-36 | 457   | 174   | 0.380743982 | 0.0892 | 0.0029 | 3.034 | 0.11  | 0.2482 | 0.0085 | 0.0628 | 0.004  | 0.74414   | 1429   | 45 | 1416 | 31 | 1405 | 61 | <b>1405</b>   | 61 | -0.92 |
| Mat10_Zrn-35 | 451   | 176.2 | 0.390687361 | 0.0931 | 0.003  | 3.232 | 0.084 | 0.251  | 0.0025 | 0.0745 | 0.0019 | 0.56327   | 1444   | 13 | 1464 | 20 | 1489 | 59 | <b>1489</b>   | 59 | 1.37  |
| Mat10_Zrn-30 | 123.1 | 43.1  | 0.350121852 | 0.1012 | 0.0034 | 3.744 | 0.11  | 0.2714 | 0.0041 | 0.0733 | 0.0025 | 0.43382   | 1548   | 21 | 1587 | 25 | 1644 | 65 | <b>1644</b>   | 65 | 2.46  |
| Mat10_Zrn-97 | 155   | 115.8 | 0.747096774 | 0.104  | 0.0037 | 4.32  | 0.17  | 0.301  | 0.0073 | 0.0862 | 0.0022 | 0.80096   | 1696   | 38 | 1694 | 32 | 1699 | 70 | <b>1699</b>   | 70 | -0.12 |
| Mat10_Zrn-69 | 80.19 | 26.59 | 0.33158748  | 0.1277 | 0.0064 | 5.13  | 0.44  | 0.2955 | 0.01   | 0.1051 | 0.0042 | 0.40073   | 1669   | 49 | 1840 | 59 | 2064 | 76 | <b>2064</b>   | 76 | 9.29  |
| Mat10_Zrn-27 | 193   | 67    | 0.347150259 | 0.1395 | 0.0046 | 7.07  | 0.31  | 0.3738 | 0.012  | 0.1048 | 0.0031 | 0.068736  | 2047   | 57 | 2120 | 44 | 2219 | 60 | <b>2219</b>   | 60 | 3.44  |
| Mat10_Zrn-92 | 50    | 38.7  | 0.774       | 0.175  | 0.0066 | 11.8  | 0.44  | 0.4931 | 0.011  | 0.1309 | 0.0044 | -0.16277  | 2584   | 51 | 2587 | 38 | 2600 | 61 | <b>2600</b>   | 61 | 0.12  |

Elemento SG del Conjunto 1 de la Formación Matzitzi

MAT-17

| Análisis     | U (ppm) | Th (ppm) | Th/U        | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σabs | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ±2σ abs | Rho       | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ | Mejor edad (Ma) | ±2σ | Disc % |
|--------------|---------|----------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|-----------|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| Mat17_Zrn-49 | 2190    | 218      | 0.099543379 | 0.07582                              | 0.0024  | 1.01                                | 0.033  | 0.097                               | 0.0031  | 0.0357                               | 0.0014  | 0.9409    | 597                                 | 18  | 708                                 | 17  | 1088                                 | 62  | 597             | 18  | 15.68  |
| Mat17_Zrn-04 | 2269    | 173      | 0.076245042 | 0.0747                               | 0.0024  | 1.58                                | 0.066  | 0.1527                              | 0.006   | 0.0578                               | 0.0035  | 0.8753    | 916                                 | 34  | 962                                 | 28  | 1059                                 | 65  | 916             | 34  | 4.78   |
| Mat17_Zrn-19 | 306     | 92       | 0.300653595 | 0.071                                | 0.0025  | 1.644                               | 0.05   | 0.1662                              | 0.0037  | 0.0516                               | 0.0018  | 0.35172   | 991.3                               | 21  | 987                                 | 19  | 951                                  | 73  | 991.3           | 21  | -0.44  |
| Mat17_Zrn-02 | 228     | 97       | 0.425438596 | 0.073                                | 0.0029  | 1.7                                 | 0.057  | 0.1667                              | 0.0035  | 0.0499                               | 0.0016  | -0.068896 | 994                                 | 20  | 1007                                | 23  | 1018                                 | 85  | 994             | 20  | 1.29   |
| Mat17_Zrn-61 | 341.3   | 84.1     | 0.246410782 | 0.0751                               | 0.0025  | 1.743                               | 0.047  | 0.1682                              | 0.0033  | 0.052                                | 0.0017  | 0.26433   | 1002.3                              | 18  | 1024                                | 17  | 1066                                 | 70  | 1002.3          | 18  | 2.12   |
| Mat17_Zrn-27 | 675     | 80.2     | 0.118814815 | 0.0728                               | 0.0024  | 1.712                               | 0.05   | 0.1709                              | 0.0037  | 0.0575                               | 0.0019  | 0.57961   | 1017.3                              | 21  | 1013                                | 19  | 1004                                 | 65  | 1017.3          | 21  | -0.42  |
| Mat17_Zrn-28 | 376.5   | 127.3    | 0.33811421  | 0.0738                               | 0.0024  | 1.73                                | 0.045  | 0.1716                              | 0.0034  | 0.0537                               | 0.0014  | 0.39726   | 1021                                | 19  | 1019.4                              | 17  | 1032                                 | 67  | 1021            | 19  | -0.16  |
| Mat17_Zrn-13 | 584     | 55.7     | 0.095376712 | 0.07978                              | 0.0026  | 1.916                               | 0.05   | 0.1737                              | 0.004   | 0.0701                               | 0.0025  | 0.60756   | 1032                                | 22  | 1086.2                              | 17  | 1194                                 | 63  | 1032            | 22  | 4.99   |
| Mat17_Zrn-42 | 455     | 175      | 0.384615385 | 0.0752                               | 0.0025  | 1.818                               | 0.048  | 0.1762                              | 0.0035  | 0.05236                              | 0.0012  | 0.22226   | 1045.9                              | 19  | 1051                                | 17  | 1070                                 | 65  | 1045.9          | 19  | 0.49   |
| Mat17_Zrn-79 | 279.7   | 51.97    | 0.185806221 | 0.0757                               | 0.0026  | 1.825                               | 0.082  | 0.1802                              | 0.0081  | 0.0551                               | 0.0019  | 0.82702   | 1068                                | 45  | 1053                                | 32  | 1082                                 | 68  | 1068            | 45  | -1.42  |
| Mat17_Zrn-81 | 476     | 97.5     | 0.204831933 | 0.0746                               | 0.0024  | 1.842                               | 0.047  | 0.1806                              | 0.0036  | 0.0533                               | 0.0015  | 0.26047   | 1070                                | 20  | 1060                                | 17  | 1053                                 | 67  | 1070            | 20  | -0.94  |
| Mat17_Zrn-92 | 423.5   | 70.6     | 0.166706021 | 0.0772                               | 0.0026  | 2.002                               | 0.055  | 0.1884                              | 0.0037  | 0.0534                               | 0.0016  | 0.39286   | 1112.7                              | 20  | 1117                                | 19  | 1122                                 | 68  | 1112.7          | 20  | 0.38   |
| Mat17_Zrn-44 | 223     | 71.1     | 0.318834081 | 0.0773                               | 0.0028  | 2.032                               | 0.069  | 0.1888                              | 0.0042  | 0.0571                               | 0.0017  | 0.49457   | 1115                                | 23  | 1125                                | 23  | 1144                                 | 70  | 1115            | 23  | 0.89   |
| Mat17_Zrn-72 | 157     | 90       | 0.573248408 | 0.0774                               | 0.0028  | 1.986                               | 0.059  | 0.1898                              | 0.0043  | 0.0582                               | 0.0018  | 0.43275   | 1120                                | 22  | 1110                                | 19  | 1124                                 | 71  | 1120            | 22  | -0.90  |
| Mat17_Zrn-26 | 237.5   | 65.1     | 0.274105263 | 0.0795                               | 0.0027  | 2.087                               | 0.058  | 0.1917                              | 0.0041  | 0.0603                               | 0.0017  | 0.31885   | 1131                                | 22  | 1147                                | 19  | 1179                                 | 68  | 1131            | 22  | 1.39   |
| Mat17_Zrn-70 | 208     | 88.6     | 0.425961538 | 0.0782                               | 0.0027  | 2.046                               | 0.097  | 0.1921                              | 0.008   | 0.0607                               | 0.0024  | 0.64669   | 1132                                | 44  | 1128                                | 34  | 1146                                 | 67  | 1132            | 44  | -0.35  |
| Mat17_Zrn-73 | 309     | 49.1     | 0.158899676 | 0.0778                               | 0.0026  | 2.085                               | 0.059  | 0.195                               | 0.0043  | 0.0573                               | 0.0022  | 0.41075   | 1148                                | 24  | 1143                                | 21  | 1139                                 | 65  | 1148            | 24  | -0.44  |
| Mat17_Zrn-32 | 797     | 138.3    | 0.173525721 | 0.07873                              | 0.0025  | 2.117                               | 0.054  | 0.1951                              | 0.0038  | 0.0573                               | 0.0018  | 0.19087   | 1148.7                              | 21  | 1154.1                              | 18  | 1163                                 | 63  | 1148.7          | 21  | 0.47   |
| Mat17_Zrn-78 | 164.8   | 68.1     | 0.413228155 | 0.0792                               | 0.0032  | 2.112                               | 0.074  | 0.1952                              | 0.0038  | 0.0575                               | 0.0019  | 0.2252    | 1149.5                              | 21  | 1151                                | 24  | 1165                                 | 80  | 1149.5          | 21  | 0.13   |
| Mat17_Zrn-35 | 834     | 155.3    | 0.186211031 | 0.07804                              | 0.0025  | 2.103                               | 0.059  | 0.1954                              | 0.004   | 0.0586                               | 0.0016  | 0.76557   | 1150.7                              | 22  | 1149                                | 20  | 1145                                 | 65  | 1150.7          | 22  | -0.15  |
| Mat17_Zrn-53 | 500     | 281.7    | 0.5634      | 0.0818                               | 0.0029  | 2.191                               | 0.17   | 0.1959                              | 0.01    | 0.0564                               | 0.0041  | 0.42962   | 1153                                | 52  | 1178                                | 42  | 1238                                 | 67  | 1153            | 52  | 2.12   |
| Mat17_Zrn-09 | 767     | 67.1     | 0.087483703 | 0.0771                               | 0.0024  | 2.096                               | 0.054  | 0.1961                              | 0.004   | 0.0603                               | 0.0019  | 0.75236   | 1154.1                              | 21  | 1147                                | 17  | 1121                                 | 62  | 1154.1          | 21  | -0.62  |
| Mat17_Zrn-98 | 180.6   | 26.6     | 0.147286822 | 0.0787                               | 0.0029  | 2.115                               | 0.074  | 0.1976                              | 0.0051  | 0.0591                               | 0.0026  | 0.65559   | 1162                                | 27  | 1152                                | 24  | 1164                                 | 70  | 1162            | 27  | -0.87  |

|               |       |       |             |         |        |       |       |        |        |        |        |           |        |    |      |    |      |     |               |    |       |
|---------------|-------|-------|-------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|----|------|----|------|-----|---------------|----|-------|
| Mat17_Zrn-100 | 256   | 76.5  | 0.298828125 | 0.0786  | 0.0029 | 2.131 | 0.063 | 0.1979 | 0.0043 | 0.0579 | 0.0015 | 0.18278   | 1164   | 23 | 1160 | 21 | 1154 | 74  | <b>1164</b>   | 23 | -0.34 |
| Mat17_Zrn-94  | 355   | 78.7  | 0.221690141 | 0.0769  | 0.0026 | 2.099 | 0.059 | 0.1979 | 0.0039 | 0.0595 | 0.0015 | 0.4225    | 1166   | 21 | 1150 | 20 | 1114 | 68  | <b>1166</b>   | 21 | -1.39 |
| Mat17_Zrn-30  | 386   | 171   | 0.443005181 | 0.0783  | 0.0026 | 2.161 | 0.062 | 0.1986 | 0.0045 | 0.062  | 0.0019 | 0.48988   | 1168   | 24 | 1168 | 20 | 1150 | 66  | <b>1168</b>   | 24 | 0.00  |
| Mat17_Zrn-14  | 189.2 | 35.8  | 0.189217759 | 0.0783  | 0.003  | 2.171 | 0.078 | 0.1995 | 0.005  | 0.0608 | 0.0024 | 0.23596   | 1172   | 27 | 1170 | 24 | 1146 | 73  | <b>1172</b>   | 27 | -0.17 |
| Mat17_Zrn-48  | 410   | 24.6  | 0.06        | 0.0771  | 0.0028 | 2.128 | 0.11  | 0.1996 | 0.0063 | 0.0615 | 0.0024 | 0.75644   | 1173   | 33 | 1157 | 32 | 1129 | 73  | <b>1173</b>   | 33 | -1.38 |
| Mat17_Zrn-40  | 489.4 | 160.6 | 0.328156927 | 0.0807  | 0.0027 | 2.21  | 0.056 | 0.2002 | 0.0044 | 0.0629 | 0.002  | 0.3524    | 1176   | 24 | 1184 | 18 | 1211 | 64  | <b>1176</b>   | 24 | 0.68  |
| Mat17_Zrn-83  | 121.4 | 40.6  | 0.334431631 | 0.0868  | 0.0064 | 2.41  | 0.21  | 0.2006 | 0.0051 | 0.0752 | 0.011  | 0.12075   | 1179   | 27 | 1244 | 53 | 1344 | 110 | <b>1179</b>   | 27 | 5.23  |
| Mat17_Zrn-20  | 698   | 182   | 0.260744986 | 0.0781  | 0.0026 | 2.189 | 0.07  | 0.2016 | 0.0051 | 0.0654 | 0.002  | 0.61305   | 1184   | 27 | 1177 | 21 | 1145 | 65  | <b>1184</b>   | 27 | -0.59 |
| Mat17_Zrn-29  | 426   | 172   | 0.403755869 | 0.0813  | 0.0028 | 2.271 | 0.063 | 0.2023 | 0.0041 | 0.0603 | 0.0015 | 0.0013139 | 1187   | 22 | 1203 | 20 | 1222 | 69  | <b>1187</b>   | 22 | 1.33  |
| Mat17_Zrn-97  | 96.8  | 28.19 | 0.291219008 | 0.0784  | 0.003  | 2.187 | 0.074 | 0.2024 | 0.0049 | 0.0632 | 0.0027 | 0.39572   | 1188   | 26 | 1175 | 24 | 1146 | 76  | <b>1188</b>   | 26 | -1.11 |
| Mat17_Zrn-93  | 190   | 40    | 0.210526316 | 0.0787  | 0.0028 | 2.204 | 0.062 | 0.2025 | 0.004  | 0.0617 | 0.0023 | 0.23802   | 1188.7 | 22 | 1181 | 20 | 1176 | 68  | <b>1188.7</b> | 22 | -0.65 |
| Mat17_Zrn-68  | 332   | 63.7  | 0.19186747  | 0.0799  | 0.0027 | 2.209 | 0.062 | 0.2027 | 0.004  | 0.0604 | 0.002  | 0.42456   | 1189.8 | 22 | 1183 | 19 | 1190 | 67  | <b>1189.8</b> | 22 | -0.57 |
| Mat17_Zrn-41  | 143   | 53.8  | 0.376223776 | 0.0809  | 0.003  | 2.243 | 0.066 | 0.2033 | 0.0046 | 0.0605 | 0.0018 | 0.32912   | 1193   | 24 | 1198 | 21 | 1218 | 73  | <b>1193</b>   | 24 | 0.42  |
| Mat17_Zrn-11  | 248   | 96.2  | 0.387903226 | 0.0797  | 0.0029 | 2.256 | 0.076 | 0.2036 | 0.0055 | 0.0616 | 0.0024 | -0.15058  | 1195   | 29 | 1198 | 21 | 1183 | 73  | <b>1195</b>   | 29 | 0.25  |
| Mat17_Zrn-56  | 191   | 72.7  | 0.380628272 | 0.0821  | 0.003  | 2.324 | 0.071 | 0.2039 | 0.0041 | 0.0641 | 0.0018 | 0.18126   | 1196   | 22 | 1218 | 22 | 1240 | 74  | <b>1196</b>   | 22 | 1.81  |
| Mat17_Zrn-95  | 241   | 82.8  | 0.343568465 | 0.08039 | 0.0026 | 2.245 | 0.065 | 0.2039 | 0.0047 | 0.0624 | 0.002  | 0.60974   | 1196   | 25 | 1194 | 20 | 1204 | 64  | <b>1196</b>   | 25 | -0.17 |
| Mat17_Zrn-10  | 1200  | 654   | 0.545       | 0.0802  | 0.0026 | 2.256 | 0.081 | 0.2043 | 0.0061 | 0.0608 | 0.0019 | 0.70628   | 1198   | 32 | 1198 | 24 | 1198 | 64  | <b>1198</b>   | 32 | 0.00  |
| Mat17_Zrn-66  | 116.9 | 49.2  | 0.420872541 | 0.0816  | 0.0032 | 2.264 | 0.069 | 0.2042 | 0.0056 | 0.0622 | 0.0027 | 0.4348    | 1198   | 30 | 1204 | 22 | 1228 | 75  | <b>1198</b>   | 30 | 0.50  |
| Mat17_Zrn-45  | 329.5 | 153.6 | 0.46616085  | 0.0838  | 0.0029 | 2.331 | 0.07  | 0.2043 | 0.0043 | 0.0591 | 0.0014 | 0.32575   | 1198.2 | 23 | 1221 | 22 | 1282 | 68  | <b>1198.2</b> | 23 | 1.87  |
| Mat17_Zrn-36  | 231.2 | 68.4  | 0.295847751 | 0.0804  | 0.0028 | 2.265 | 0.068 | 0.2049 | 0.0044 | 0.0634 | 0.0018 | 0.47201   | 1201   | 24 | 1200 | 21 | 1201 | 70  | <b>1201</b>   | 24 | -0.08 |
| Mat17_Zrn-43  | 167.3 | 13.78 | 0.082367005 | 0.0792  | 0.0028 | 2.229 | 0.065 | 0.2048 | 0.0041 | 0.0594 | 0.0034 | 0.17347   | 1201.1 | 22 | 1189 | 20 | 1177 | 74  | <b>1201.1</b> | 22 | -1.02 |
| Mat17_Zrn-17  | 859   | 212   | 0.246798603 | 0.0795  | 0.0027 | 2.252 | 0.11  | 0.205  | 0.0081 | 0.0619 | 0.0026 | 0.35413   | 1201.9 | 44 | 1197 | 31 | 1182 | 67  | <b>1201.9</b> | 44 | -0.41 |
| Mat17_Zrn-50  | 139.3 | 54.7  | 0.392677674 | 0.08    | 0.0031 | 2.226 | 0.15  | 0.2058 | 0.012  | 0.0586 | 0.0032 | 0.18865   | 1206   | 65 | 1188 | 55 | 1195 | 75  | <b>1206</b>   | 65 | -1.52 |
| Mat17_Zrn-58  | 281   | 77.2  | 0.274733096 | 0.0829  | 0.0028 | 2.365 | 0.062 | 0.206  | 0.0042 | 0.0648 | 0.0017 | 0.072683  | 1207   | 22 | 1232 | 19 | 1262 | 65  | <b>1207</b>   | 22 | 2.03  |
| Mat17_Zrn-16  | 301   | 70.9  | 0.235548173 | 0.0788  | 0.0026 | 2.275 | 0.069 | 0.2061 | 0.0056 | 0.0648 | 0.0022 | 0.45346   | 1208   | 30 | 1204 | 21 | 1162 | 67  | <b>1208</b>   | 30 | -0.33 |
| Mat17_Zrn-22  | 275.5 | 87.7  | 0.318330309 | 0.081   | 0.0029 | 2.312 | 0.067 | 0.206  | 0.0042 | 0.0692 | 0.002  | 0.26508   | 1208   | 22 | 1215 | 21 | 1216 | 69  | <b>1208</b>   | 22 | 0.58  |

|              |       |       |             |         |        |       |       |        |        |         |        |           |        |    |      |    |      |    |               |    |       |
|--------------|-------|-------|-------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|-----------|--------|----|------|----|------|----|---------------|----|-------|
| Mat17_Zrn-88 | 196.8 | 75.6  | 0.384146341 | 0.0889  | 0.0032 | 2.527 | 0.088 | 0.2058 | 0.0045 | 0.0696  | 0.0025 | 0.22265   | 1209   | 24 | 1279 | 27 | 1397 | 70 | <b>1209</b>   | 24 | 5.47  |
| Mat17_Zrn-54 | 252   | 70.9  | 0.281349206 | 0.0808  | 0.0026 | 2.302 | 0.065 | 0.207  | 0.0044 | 0.0585  | 0.0023 | 0.57613   | 1213   | 24 | 1215 | 20 | 1213 | 63 | <b>1213</b>   | 24 | 0.16  |
| Mat17_Zrn-24 | 526   | 199.3 | 0.378897338 | 0.08    | 0.0028 | 2.297 | 0.077 | 0.2078 | 0.0066 | 0.0606  | 0.0018 | 0.32438   | 1217   | 35 | 1211 | 24 | 1205 | 67 | <b>1217</b>   | 35 | -0.50 |
| Mat17_Zrn-60 | 309   | 46.9  | 0.151779935 | 0.0799  | 0.0027 | 2.291 | 0.063 | 0.2078 | 0.0041 | 0.0632  | 0.0022 | 0.28734   | 1217   | 22 | 1209 | 20 | 1191 | 67 | <b>1217</b>   | 22 | -0.66 |
| Mat17_Zrn-31 | 247.5 | 113.5 | 0.458585859 | 0.0806  | 0.0027 | 2.297 | 0.066 | 0.208  | 0.0041 | 0.0629  | 0.0015 | 0.28571   | 1218.3 | 22 | 1212 | 21 | 1206 | 67 | <b>1218.3</b> | 22 | -0.52 |
| Mat17_Zrn-47 | 153.6 | 69.7  | 0.453776042 | 0.08    | 0.003  | 2.298 | 0.074 | 0.2087 | 0.0044 | 0.0592  | 0.0017 | 0.38189   | 1222   | 24 | 1210 | 22 | 1189 | 74 | <b>1222</b>   | 24 | -0.99 |
| Mat17_Zrn-84 | 143.1 | 53.9  | 0.376659679 | 0.0822  | 0.0031 | 2.366 | 0.073 | 0.2094 | 0.0043 | 0.0616  | 0.002  | 0.13777   | 1225.6 | 23 | 1234 | 23 | 1250 | 70 | <b>1225.6</b> | 23 | 0.68  |
| Mat17_Zrn-52 | 332   | 106.6 | 0.321084337 | 0.0804  | 0.0028 | 2.329 | 0.064 | 0.2101 | 0.0042 | 0.0582  | 0.0016 | 0.14088   | 1229.2 | 23 | 1220 | 20 | 1210 | 69 | <b>1229.2</b> | 23 | -0.75 |
| Mat17_Zrn-80 | 423   | 244   | 0.576832151 | 0.08132 | 0.0026 | 2.343 | 0.058 | 0.2102 | 0.0041 | 0.0613  | 0.0014 | -0.074018 | 1229.8 | 22 | 1225 | 17 | 1227 | 63 | <b>1229.8</b> | 22 | -0.39 |
| Mat17_Zrn-63 | 176.2 | 60.5  | 0.343359818 | 0.0829  | 0.0029 | 2.372 | 0.066 | 0.2104 | 0.0044 | 0.0627  | 0.0019 | 0.21713   | 1231   | 23 | 1233 | 20 | 1267 | 70 | <b>1231</b>   | 23 | 0.16  |
| Mat17_Zrn-86 | 144.2 | 37.5  | 0.260055479 | 0.0807  | 0.003  | 2.349 | 0.074 | 0.2106 | 0.0041 | 0.0635  | 0.0023 | 0.3113    | 1232   | 22 | 1226 | 22 | 1207 | 74 | <b>1232</b>   | 22 | -0.49 |
| Mat17_Zrn-25 | 582   | 213   | 0.365979381 | 0.08    | 0.0026 | 2.338 | 0.062 | 0.2111 | 0.0041 | 0.06491 | 0.0014 | 0.17147   | 1234.8 | 22 | 1223 | 19 | 1191 | 65 | <b>1234.8</b> | 22 | -0.96 |
| Mat17_Zrn-21 | 174   | 66.9  | 0.384482759 | 0.0821  | 0.003  | 2.39  | 0.14  | 0.2111 | 0.011  | 0.0663  | 0.0031 | 0.21994   | 1235   | 57 | 1239 | 43 | 1244 | 75 | <b>1235</b>   | 57 | 0.32  |
| Mat17_Zrn-69 | 105.4 | 44.9  | 0.425996205 | 0.081   | 0.0031 | 2.369 | 0.074 | 0.2114 | 0.0044 | 0.0634  | 0.0024 | 0.0034718 | 1236.2 | 23 | 1232 | 21 | 1224 | 77 | <b>1236.2</b> | 23 | -0.34 |
| Mat17_Zrn-76 | 252   | 146.2 | 0.58015873  | 0.0839  | 0.0029 | 2.416 | 0.068 | 0.2115 | 0.0043 | 0.063   | 0.002  | 0.35941   | 1236.6 | 23 | 1249 | 20 | 1286 | 66 | <b>1236.6</b> | 23 | 0.99  |
| Mat17_Zrn-03 | 119.9 | 45.7  | 0.381150959 | 0.0811  | 0.0031 | 2.367 | 0.072 | 0.2116 | 0.0044 | 0.0616  | 0.0022 | 0.077086  | 1237   | 23 | 1231 | 22 | 1214 | 75 | <b>1237</b>   | 23 | -0.49 |
| Mat17_Zrn-39 | 226   | 97.7  | 0.432300885 | 0.08    | 0.0028 | 2.315 | 0.078 | 0.2116 | 0.0056 | 0.0645  | 0.0021 | -0.19525  | 1237   | 29 | 1216 | 22 | 1207 | 68 | <b>1237</b>   | 29 | -1.73 |
| Mat17_Zrn-06 | 233.9 | 115.8 | 0.495083369 | 0.0821  | 0.0028 | 2.406 | 0.095 | 0.2117 | 0.0058 | 0.0602  | 0.0017 | 0.35811   | 1238   | 31 | 1244 | 29 | 1245 | 69 | <b>1238</b>   | 31 | 0.48  |
| Mat17_Zrn-33 | 137.7 | 50.6  | 0.367465505 | 0.0811  | 0.0031 | 2.412 | 0.082 | 0.212  | 0.0045 | 0.0653  | 0.0023 | 0.24756   | 1240   | 24 | 1247 | 25 | 1249 | 76 | <b>1240</b>   | 24 | 0.56  |
| Mat17_Zrn-07 | 171.9 | 76    | 0.44211751  | 0.0834  | 0.0031 | 2.451 | 0.08  | 0.2124 | 0.0044 | 0.0627  | 0.002  | -0.19329  | 1241.3 | 23 | 1257 | 22 | 1271 | 70 | <b>1241.3</b> | 23 | 1.25  |
| Mat17_Zrn-90 | 309   | 90    | 0.291262136 | 0.0799  | 0.0028 | 2.359 | 0.07  | 0.2125 | 0.0049 | 0.0671  | 0.0018 | 0.6496    | 1242   | 26 | 1229 | 21 | 1190 | 68 | <b>1242</b>   | 26 | -1.06 |
| Mat17_Zrn-65 | 260   | 84.8  | 0.326153846 | 0.0823  | 0.0029 | 2.391 | 0.066 | 0.2128 | 0.0043 | 0.064   | 0.0021 | 0.34396   | 1243.7 | 23 | 1239 | 20 | 1247 | 69 | <b>1243.7</b> | 23 | -0.38 |
| Mat17_Zrn-05 | 734   | 390   | 0.53133515  | 0.0812  | 0.0026 | 2.397 | 0.068 | 0.2128 | 0.005  | 0.0649  | 0.0015 | 0.40088   | 1244   | 27 | 1241 | 21 | 1232 | 63 | <b>1244</b>   | 27 | -0.24 |
| Mat17_Zrn-99 | 239.9 | 69.52 | 0.289787411 | 0.079   | 0.0028 | 2.331 | 0.068 | 0.2129 | 0.0043 | 0.065   | 0.0018 | 0.28586   | 1244   | 23 | 1221 | 20 | 1177 | 67 | <b>1244</b>   | 23 | -1.88 |
| Mat17_Zrn-67 | 368   | 80.5  | 0.21875     | 0.08295 | 0.0027 | 2.422 | 0.063 | 0.213  | 0.0043 | 0.0646  | 0.002  | 0.46336   | 1245   | 23 | 1249 | 19 | 1269 | 66 | <b>1245</b>   | 23 | 0.32  |
| Mat17_Zrn-77 | 262   | 67.7  | 0.258396947 | 0.0817  | 0.0029 | 2.4   | 0.12  | 0.2134 | 0.0088 | 0.0564  | 0.0022 | 0.88634   | 1245   | 47 | 1237 | 37 | 1232 | 70 | <b>1245</b>   | 47 | -0.65 |

|              |       |       |             |        |        |       |       |        |        |        |        |           |        |    |        |    |      |    |               |    |       |
|--------------|-------|-------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|----|--------|----|------|----|---------------|----|-------|
| Mat17_Zrn-82 | 447   | 233   | 0.521252796 | 0.0803 | 0.0026 | 2.345 | 0.065 | 0.2135 | 0.0046 | 0.0606 | 0.0019 | 0.21259   | 1247.3 | 24 | 1227.9 | 19 | 1201 | 61 | <b>1247.3</b> | 24 | -1.58 |
| Mat17_Zrn-01 | 95    | 37    | 0.389473684 | 0.0813 | 0.0035 | 2.407 | 0.09  | 0.214  | 0.0045 | 0.0627 | 0.0026 | -0.018855 | 1250   | 24 | 1242   | 27 | 1223 | 89 | <b>1250</b>   | 24 | -0.64 |
| Mat17_Zrn-18 | 223.8 | 61.3  | 0.273905273 | 0.0825 | 0.0028 | 2.781 | 0.075 | 0.2438 | 0.0048 | 0.0618 | 0.002  | -0.1156   | 1406   | 25 | 1350   | 20 | 1252 | 69 | <b>1252</b>   | 69 | -4.15 |
| Mat17_Zrn-59 | 371   | 150   | 0.404312668 | 0.0819 | 0.0027 | 2.411 | 0.063 | 0.2145 | 0.0042 | 0.0629 | 0.0016 | 0.2253    | 1252.6 | 23 | 1245   | 19 | 1240 | 67 | <b>1252.6</b> | 23 | -0.61 |
| Mat17_Zrn-46 | 169   | 77.2  | 0.456804734 | 0.0796 | 0.0029 | 2.354 | 0.07  | 0.2147 | 0.0044 | 0.0612 | 0.002  | 0.090457  | 1253.5 | 23 | 1228   | 20 | 1203 | 74 | <b>1253.5</b> | 23 | -2.08 |
| Mat17_Zrn-96 | 215.7 | 98.4  | 0.456189152 | 0.081  | 0.0029 | 2.393 | 0.072 | 0.2148 | 0.0043 | 0.0635 | 0.0016 | 0.2615    | 1254.5 | 23 | 1239   | 22 | 1223 | 70 | <b>1254.5</b> | 23 | -1.25 |
| Mat17_Zrn-75 | 106.5 | 35.7  | 0.335211268 | 0.0834 | 0.0034 | 2.47  | 0.079 | 0.2175 | 0.0045 | 0.0638 | 0.0026 | 0.014371  | 1269   | 24 | 1262   | 23 | 1268 | 77 | <b>1269</b>   | 24 | -0.55 |
| Mat17_Zrn-89 | 200.4 | 78.8  | 0.393213573 | 0.0808 | 0.0029 | 2.43  | 0.075 | 0.2181 | 0.0048 | 0.0623 | 0.002  | 0.6107    | 1272   | 25 | 1249   | 21 | 1209 | 72 | <b>1272</b>   | 25 | -1.84 |
| Mat17_Zrn-12 | 267.7 | 121.2 | 0.452745611 | 0.0809 | 0.0028 | 2.464 | 0.066 | 0.2191 | 0.0044 | 0.069  | 0.0018 | 0.04534   | 1277   | 23 | 1261   | 19 | 1220 | 70 | <b>1277</b>   | 23 | -1.27 |
| Mat17_Zrn-91 | 109.4 | 36.15 | 0.330438757 | 0.0817 | 0.0031 | 2.434 | 0.08  | 0.2195 | 0.0052 | 0.064  | 0.0022 | 0.20423   | 1279   | 27 | 1252   | 24 | 1257 | 80 | <b>1279</b>   | 27 | -2.16 |
| Mat17_Zrn-23 | 130   | 55.31 | 0.425461538 | 0.0826 | 0.0031 | 2.526 | 0.082 | 0.2209 | 0.0055 | 0.0703 | 0.0023 | 0.4742    | 1287   | 29 | 1278   | 23 | 1252 | 80 | <b>1287</b>   | 29 | -0.70 |
| Mat17_Zrn-34 | 249.4 | 103.7 | 0.415797915 | 0.0813 | 0.0028 | 2.484 | 0.076 | 0.2221 | 0.0045 | 0.0663 | 0.0018 | 0.30308   | 1292.9 | 24 | 1270   | 21 | 1231 | 68 | <b>1292.9</b> | 24 | -1.80 |
| Mat17_Zrn-57 | 176   | 80.9  | 0.459659091 | 0.0851 | 0.0028 | 2.62  | 0.082 | 0.2229 | 0.0057 | 0.0628 | 0.0016 | 0.47428   | 1297   | 30 | 1305   | 24 | 1313 | 67 | <b>1297</b>   | 30 | 0.61  |
| Mat17_Zrn-64 | 310   | 252   | 0.812903226 | 0.0808 | 0.0026 | 2.49  | 0.072 | 0.2248 | 0.0056 | 0.0505 | 0.0036 | 0.26956   | 1307   | 29 | 1269   | 20 | 1213 | 63 | <b>1307</b>   | 29 | -2.99 |
| Mat17_Zrn-62 | 141.8 | 50.21 | 0.354090268 | 0.0824 | 0.0028 | 2.578 | 0.072 | 0.2285 | 0.0047 | 0.0622 | 0.0019 | 0.16723   | 1326   | 25 | 1293   | 21 | 1247 | 67 | <b>1326</b>   | 25 | -2.55 |
| Mat17_Zrn-71 | 138   | 117.4 | 0.850724638 | 0.0909 | 0.003  | 2.834 | 0.097 | 0.2292 | 0.0058 | 0.0678 | 0.0017 | 0.17644   | 1330   | 30 | 1363   | 24 | 1439 | 64 | <b>1330</b>   | 30 | 2.42  |
| Mat17_Zrn-37 | 207   | 64.6  | 0.312077295 | 0.0869 | 0.0033 | 2.792 | 0.14  | 0.2346 | 0.008  | 0.0771 | 0.0028 | 0.46716   | 1358   | 41 | 1357   | 33 | 1356 | 67 | <b>1358</b>   | 41 | -0.07 |
| Mat17_Zrn-08 | 398   | 170.2 | 0.427638191 | 0.0877 | 0.0029 | 2.83  | 0.082 | 0.2374 | 0.0053 | 0.0728 | 0.0021 | 0.69225   | 1373   | 27 | 1362   | 22 | 1372 | 69 | <b>1373</b>   | 27 | -0.81 |
| Mat17_Zrn-87 | 211   | 180   | 0.853080569 | 0.088  | 0.003  | 2.826 | 0.11  | 0.2377 | 0.0067 | 0.069  | 0.0017 | 0.13499   | 1375   | 36 | 1362   | 31 | 1395 | 68 | <b>1375</b>   | 36 | -0.95 |
| Mat17_Zrn-38 | 422   | 327   | 0.774881517 | 0.0874 | 0.0031 | 2.925 | 0.08  | 0.2413 | 0.0059 | 0.0672 | 0.002  | 0.58595   | 1394   | 31 | 1388   | 22 | 1380 | 67 | <b>1394</b>   | 31 | -0.43 |
| Mat17_Zrn-74 | 269   | 109.1 | 0.405576208 | 0.0921 | 0.0031 | 3.301 | 0.092 | 0.2627 | 0.0053 | 0.0779 | 0.002  | 0.63543   | 1503.4 | 27 | 1483   | 22 | 1472 | 63 | <b>1472</b>   | 63 | -1.38 |
| Mat17_Zrn-51 | 199.1 | 269.7 | 1.354595681 | 0.093  | 0.0032 | 3.553 | 0.11  | 0.2779 | 0.0058 | 0.0759 | 0.0019 | 0.28371   | 1581   | 28 | 1538   | 23 | 1484 | 62 | <b>1484</b>   | 62 | -2.80 |
| Mat17_Zrn-55 | 277   | 41    | 0.14801444  | 0.095  | 0.0033 | 3.375 | 0.091 | 0.2585 | 0.0057 | 0.0732 | 0.0027 | 0.22434   | 1482   | 29 | 1501   | 21 | 1541 | 64 | <b>1541</b>   | 64 | 1.27  |
| Mat17_Zrn-15 | 196.5 | 121.6 | 0.618829517 | 0.1035 | 0.0039 | 3.977 | 0.15  | 0.2766 | 0.007  | 0.0809 | 0.0024 | 0.17091   | 1574   | 35 | 1629   | 30 | 1685 | 72 | <b>1685</b>   | 72 | 3.38  |



Sistemas fluviales del Cretácico

MAT-2 (formación La Compañía)

| Análisis     | U (ppm) | Th (ppm) | Th/U        | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σabs | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ±2σ abs | Rho       | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ | Mejor edad (Ma) | ±2σ | Disc % |
|--------------|---------|----------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|-----------|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| MAT-2_Zrn-88 | 534.9   | 147.1    | 0.275004674 | 0.0522                               | 0.0028  | 0.32                                | 0.017  | 0.04343                             | 0.00064 | 0.01374                              | 0.00076 | 0.18616   | 274                                 | 4   | 282                                 | 13  | 320                                  | 120 | 274             | 4   | 2.84   |
| MAT-2_Zrn-81 | 827     | 135.4    | 0.163724305 | 0.0514                               | 0.0023  | 0.312                               | 0.014  | 0.04365                             | 0.00059 | 0.01431                              | 0.00081 | 0.15015   | 275.4                               | 3.6 | 274.9                               | 11  | 253                                  | 100 | 275.4           | 3.6 | -0.18  |
| MAT-2_Zrn-24 | 121     | 83.4     | 0.689256198 | 0.053                                | 0.0049  | 0.327                               | 0.031  | 0.04392                             | 0.001   | 0.01406                              | 0.00098 | 0.012046  | 277.1                               | 6.4 | 284                                 | 24  | 350                                  | 200 | 277.1           | 6.4 | 2.43   |
| MAT-2_Zrn-72 | 406     | 87.1     | 0.21453202  | 0.0645                               | 0.0052  | 0.396                               | 0.031  | 0.04408                             | 0.00085 | 0.0215                               | 0.0024  | 0.064428  | 278.1                               | 5.2 | 337                                 | 21  | 730                                  | 140 | 278.1           | 5.2 | 17.48  |
| MAT-2_Zrn-87 | 152.4   | 90.5     | 0.593832021 | 0.0562                               | 0.0055  | 0.338                               | 0.032  | 0.0443                              | 0.001   | 0.01406                              | 0.00073 | 0.0019076 | 279.2                               | 6.4 | 298                                 | 24  | 440                                  | 200 | 279.2           | 6.4 | 6.31   |
| MAT-2_Zrn-92 | 118.1   | 66.5     | 0.563082134 | 0.056                                | 0.0044  | 0.331                               | 0.022  | 0.0445                              | 0.0013  | 0.014                                | 0.0011  | 0.046253  | 280.6                               | 8   | 292                                 | 17  | 400                                  | 160 | 280.6           | 8   | 3.90   |
| MAT-2_Zrn-10 | 74      | 32.75    | 0.442567568 | 0.07                                 | 0.0078  | 0.42                                | 0.043  | 0.0445                              | 0.0018  | 0.0171                               | 0.0017  | -0.34694  | 281                                 | 11  | 352                                 | 30  | 900                                  | 220 | 281             | 11  | 20.17  |
| MAT-2_Zrn-47 | 320     | 94       | 0.29375     | 0.0553                               | 0.0039  | 0.347                               | 0.023  | 0.04461                             | 0.00083 | 0.0142                               | 0.0011  | 0.1629    | 281.3                               | 5.1 | 301                                 | 18  | 400                                  | 150 | 281.3           | 5.1 | 6.54   |
| MAT-2_Zrn-40 | 135     | 70.7     | 0.523703704 | 0.0523                               | 0.0057  | 0.309                               | 0.029  | 0.0448                              | 0.0012  | 0.0141                               | 0.0011  | 0.0092571 | 282.6                               | 7.7 | 279                                 | 24  | 270                                  | 220 | 282.6           | 7.7 | -1.29  |
| MAT-2_Zrn-41 | 103.2   | 19.39    | 0.187887597 | 0.0761                               | 0.0038  | 1.756                               | 0.079  | 0.1688                              | 0.003   | 0.0551                               | 0.004   | 0.024708  | 1005                                | 17  | 1034                                | 31  | 1108                                 | 100 | 1005            | 17  | 2.80   |
| MAT-2_Zrn-19 | 236     | 91.7     | 0.388559322 | 0.0822                               | 0.0052  | 1.9                                 | 0.13   | 0.1702                              | 0.0027  | 0.0646                               | 0.0056  | 0.69074   | 1013                                | 15  | 1084                                | 46  | 1240                                 | 120 | 1013            | 15  | 6.55   |
| MAT-2_Zrn-90 | 88.4    | 20.2     | 0.228506787 | 0.075                                | 0.0034  | 1.774                               | 0.078  | 0.1715                              | 0.003   | 0.0611                               | 0.0047  | 0.23846   | 1020                                | 17  | 1033                                | 29  | 1049                                 | 92  | 1020            | 17  | 1.26   |
| MAT-2_Zrn-79 | 273.7   | 97.8     | 0.357325539 | 0.0767                               | 0.0029  | 1.841                               | 0.087  | 0.173                               | 0.0061  | 0.0553                               | 0.0025  | 0.4408    | 1028                                | 34  | 1060                                | 34  | 1150                                 | 74  | 1028            | 34  | 3.02   |
| MAT-2_Zrn-12 | 154     | 41.6     | 0.27012987  | 0.0749                               | 0.0034  | 1.853                               | 0.085  | 0.1796                              | 0.0034  | 0.0555                               | 0.0029  | 0.32709   | 1065                                | 18  | 1060                                | 31  | 1068                                 | 88  | 1065            | 18  | -0.47  |
| MAT-2_Zrn-82 | 314.6   | 54.2     | 0.172282263 | 0.0783                               | 0.0028  | 1.962                               | 0.071  | 0.1799                              | 0.0026  | 0.0552                               | 0.0027  | 0.48842   | 1066                                | 14  | 1101                                | 24  | 1161                                 | 74  | 1066            | 14  | 3.18   |
| MAT-2_Zrn-89 | 31.73   | 16.9     | 0.532618973 | 0.078                                | 0.0072  | 1.92                                | 0.17   | 0.1809                              | 0.0054  | 0.0518                               | 0.0039  | 0.061906  | 1071                                | 29  | 1094                                | 57  | 1120                                 | 180 | 1071            | 29  | 2.10   |
| MAT-2_Zrn-62 | 1120    | 344      | 0.307142857 | 0.0771                               | 0.0038  | 1.943                               | 0.21   | 0.1825                              | 0.011   | 0.0548                               | 0.0035  | 0.43366   | 1080                                | 56  | 1095                                | 60  | 1120                                 | 86  | 1080            | 56  | 1.37   |
| MAT-2_Zrn-60 | 350     | 110      | 0.314285714 | 0.0779                               | 0.0027  | 1.947                               | 0.07   | 0.1829                              | 0.0033  | 0.0572                               | 0.0025  | 0.36421   | 1082                                | 18  | 1095                                | 24  | 1135                                 | 69  | 1082            | 18  | 1.19   |
| MAT-2_Zrn-96 | 294     | 34.8     | 0.118367347 | 0.0768                               | 0.0029  | 1.952                               | 0.091  | 0.1843                              | 0.0045  | 0.0539                               | 0.0033  | 0.73269   | 1090                                | 24  | 1099                                | 30  | 1105                                 | 76  | 1090            | 24  | 0.82   |
| MAT-2_Zrn-84 | 246     | 103      | 0.418699187 | 0.0801                               | 0.0031  | 2.108                               | 0.078  | 0.1902                              | 0.0031  | 0.0576                               | 0.0023  | 0.28814   | 1122                                | 17  | 1150                                | 26  | 1197                                 | 74  | 1122            | 17  | 2.43   |
| MAT-2_Zrn-74 | 188.7   | 51.1     | 0.270800212 | 0.0784                               | 0.003   | 2.052                               | 0.076  | 0.191                               | 0.0025  | 0.0592                               | 0.0029  | 0.16305   | 1126.8                              | 13  | 1134                                | 24  | 1155                                 | 79  | 1126.8          | 13  | 0.63   |
| MAT-2_Zrn-52 | 468.2   | 132.5    | 0.282998718 | 0.0801                               | 0.0029  | 2.124                               | 0.073  | 0.1919                              | 0.0027  | 0.0551                               | 0.0019  | 0.33523   | 1131                                | 14  | 1155                                | 23  | 1199                                 | 73  | 1131            | 14  | 2.08   |
| MAT-2_Zrn-29 | 248     | 86.5     | 0.348790323 | 0.0792                               | 0.003   | 2.093                               | 0.075  | 0.193                               | 0.0026  | 0.058                                | 0.0023  | 0.16164   | 1138                                | 14  | 1150                                | 24  | 1175                                 | 74  | 1138            | 14  | 1.04   |

|              |       |       |             |        |        |       |       |        |        |        |        |           |        |    |        |    |      |     |               |    |       |
|--------------|-------|-------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|----|--------|----|------|-----|---------------|----|-------|
| MAT-2_Zrn-83 | 85.6  | 26.19 | 0.305957944 | 0.079  | 0.0035 | 2.096 | 0.098 | 0.1938 | 0.0033 | 0.0609 | 0.003  | 0.25556   | 1142   | 18 | 1143   | 32 | 1154 | 91  | <b>1142</b>   | 18 | 0.09  |
| MAT-2_Zrn-58 | 192.6 | 63    | 0.327102804 | 0.0806 | 0.0032 | 2.178 | 0.084 | 0.1946 | 0.0026 | 0.0618 | 0.003  | 0.19576   | 1146   | 14 | 1175   | 28 | 1200 | 79  | <b>1146</b>   | 14 | 2.47  |
| MAT-2_Zrn-38 | 429   | 178   | 0.414918415 | 0.0809 | 0.0028 | 2.201 | 0.074 | 0.1959 | 0.0033 | 0.0552 | 0.002  | 0.47921   | 1153   | 18 | 1180   | 23 | 1218 | 66  | <b>1153</b>   | 18 | 2.29  |
| MAT-2_Zrn-34 | 229   | 78.2  | 0.341484716 | 0.0814 | 0.0029 | 2.219 | 0.077 | 0.1972 | 0.0026 | 0.0601 | 0.0025 | 0.29716   | 1160   | 14 | 1185   | 24 | 1223 | 71  | <b>1160</b>   | 14 | 2.11  |
| MAT-2_Zrn-43 | 186.6 | 61.03 | 0.327063237 | 0.0808 | 0.0032 | 2.235 | 0.085 | 0.1973 | 0.0027 | 0.0588 | 0.0026 | 0.14565   | 1161   | 15 | 1194   | 25 | 1232 | 85  | <b>1161</b>   | 15 | 2.76  |
| MAT-2_Zrn-93 | 193   | 60.9  | 0.315544041 | 0.0831 | 0.0033 | 2.304 | 0.092 | 0.1985 | 0.0035 | 0.0607 | 0.0025 | 0.21424   | 1167   | 19 | 1211   | 28 | 1289 | 82  | <b>1167</b>   | 19 | 3.63  |
| MAT-2_Zrn-39 | 129.2 | 34.9  | 0.270123839 | 0.0777 | 0.0039 | 2.111 | 0.1   | 0.1987 | 0.0032 | 0.0575 | 0.0031 | 0.21853   | 1168   | 17 | 1148   | 33 | 1112 | 98  | <b>1168</b>   | 17 | -1.74 |
| MAT-2_Zrn-98 | 162   | 56    | 0.345679012 | 0.0822 | 0.0033 | 2.286 | 0.089 | 0.1987 | 0.0028 | 0.0596 | 0.0026 | 0.28283   | 1168   | 15 | 1206   | 27 | 1249 | 74  | <b>1168</b>   | 15 | 3.15  |
| MAT-2_Zrn-42 | 585   | 187.7 | 0.320854701 | 0.0812 | 0.0027 | 2.243 | 0.069 | 0.2001 | 0.0024 | 0.0589 | 0.002  | 0.25131   | 1175.6 | 13 | 1194   | 22 | 1222 | 65  | <b>1175.6</b> | 13 | 1.54  |
| MAT-2_Zrn-27 | 105   | 35.05 | 0.333809524 | 0.0786 | 0.0035 | 2.164 | 0.09  | 0.2006 | 0.0028 | 0.06   | 0.0029 | 0.0093114 | 1178   | 15 | 1167   | 29 | 1167 | 89  | <b>1178</b>   | 15 | -0.94 |
| MAT-2_Zrn-94 | 119.9 | 35.6  | 0.296914095 | 0.0805 | 0.0033 | 2.265 | 0.09  | 0.2011 | 0.0036 | 0.0616 | 0.0036 | 0.27494   | 1181   | 19 | 1202   | 29 | 1203 | 79  | <b>1181</b>   | 19 | 1.75  |
| MAT-2_Zrn-55 | 134.5 | 37.1  | 0.275836431 | 0.0814 | 0.0031 | 2.246 | 0.086 | 0.2013 | 0.003  | 0.0643 | 0.0038 | 0.26698   | 1182   | 16 | 1200   | 27 | 1219 | 77  | <b>1182</b>   | 16 | 1.50  |
| MAT-2_Zrn-59 | 346.1 | 93.3  | 0.269575267 | 0.0795 | 0.0027 | 2.222 | 0.074 | 0.2013 | 0.0025 | 0.0612 | 0.0024 | 0.39237   | 1182.4 | 14 | 1187   | 24 | 1185 | 71  | <b>1182.4</b> | 14 | 0.39  |
| MAT-2_Zrn-03 | 99.8  | 28.08 | 0.281362725 | 0.084  | 0.0037 | 2.329 | 0.097 | 0.2018 | 0.0031 | 0.0637 | 0.0037 | 0.2366    | 1185   | 17 | 1225   | 30 | 1285 | 86  | <b>1185</b>   | 17 | 3.27  |
| MAT-2_Zrn-02 | 175.9 | 56.7  | 0.32234224  | 0.079  | 0.0033 | 2.202 | 0.089 | 0.2019 | 0.0025 | 0.0607 | 0.0026 | 0.29198   | 1185.6 | 13 | 1182   | 27 | 1165 | 83  | <b>1185.6</b> | 13 | -0.30 |
| MAT-2_Zrn-97 | 226   | 77.4  | 0.342477876 | 0.0869 | 0.0031 | 2.41  | 0.09  | 0.2028 | 0.0033 | 0.0583 | 0.0027 | 0.52681   | 1190   | 18 | 1251   | 29 | 1350 | 70  | <b>1190</b>   | 18 | 4.88  |
| MAT-2_Zrn-76 | 838   | 325   | 0.387828162 | 0.0811 | 0.0025 | 2.271 | 0.063 | 0.2025 | 0.0024 | 0.0619 | 0.0019 | 0.2213    | 1190.1 | 13 | 1202.8 | 20 | 1225 | 59  | <b>1190.1</b> | 13 | 1.06  |
| MAT-2_Zrn-32 | 356   | 149.6 | 0.420224719 | 0.0799 | 0.0028 | 2.254 | 0.072 | 0.203  | 0.0024 | 0.0599 | 0.002  | 0.05353   | 1191.2 | 13 | 1197   | 22 | 1186 | 70  | <b>1191.2</b> | 13 | 0.48  |
| MAT-2_Zrn-56 | 164.6 | 54.2  | 0.329283111 | 0.0826 | 0.0039 | 2.337 | 0.11  | 0.2043 | 0.0032 | 0.0626 | 0.0029 | 0.11625   | 1198   | 17 | 1219   | 32 | 1238 | 93  | <b>1198</b>   | 17 | 1.72  |
| MAT-2_Zrn-18 | 108.4 | 37.1  | 0.342250923 | 0.0823 | 0.0039 | 2.301 | 0.11  | 0.2049 | 0.0035 | 0.0618 | 0.0033 | 0.11355   | 1201   | 19 | 1213   | 33 | 1231 | 93  | <b>1201</b>   | 19 | 0.99  |
| MAT-2_Zrn-28 | 200   | 72.3  | 0.3615      | 0.0816 | 0.003  | 2.288 | 0.08  | 0.2049 | 0.0029 | 0.062  | 0.0027 | 0.32314   | 1201   | 16 | 1207   | 25 | 1234 | 70  | <b>1201</b>   | 16 | 0.50  |
| MAT-2_Zrn-57 | 128.6 | 36    | 0.279937792 | 0.0853 | 0.004  | 2.402 | 0.096 | 0.2049 | 0.0038 | 0.0602 | 0.0033 | 0.019917  | 1201   | 20 | 1240   | 29 | 1312 | 90  | <b>1201</b>   | 20 | 3.15  |
| MAT-2_Zrn-75 | 259   | 29.3  | 0.113127413 | 0.0812 | 0.0029 | 2.301 | 0.086 | 0.2049 | 0.0038 | 0.0592 | 0.0033 | 0.3611    | 1201   | 20 | 1213   | 25 | 1227 | 73  | <b>1201</b>   | 20 | 0.99  |
| MAT-2_Zrn-06 | 90    | 28.1  | 0.312222222 | 0.0816 | 0.0043 | 2.261 | 0.1   | 0.205  | 0.0041 | 0.0605 | 0.003  | -0.062689 | 1202   | 22 | 1200   | 31 | 1230 | 100 | <b>1202</b>   | 22 | -0.17 |
| MAT-2_Zrn-71 | 173.2 | 61.5  | 0.355080831 | 0.0845 | 0.0033 | 2.365 | 0.084 | 0.2051 | 0.0032 | 0.0624 | 0.0026 | 0.14506   | 1202   | 17 | 1233   | 25 | 1308 | 75  | <b>1202</b>   | 17 | 2.51  |
| MAT-2_Zrn-15 | 155   | 54    | 0.348387097 | 0.0797 | 0.0033 | 2.249 | 0.093 | 0.2054 | 0.0029 | 0.0565 | 0.0031 | 0.32637   | 1204   | 16 | 1193   | 29 | 1195 | 74  | <b>1204</b>   | 16 | -0.92 |

|               |       |       |             |        |        |       |       |        |        |        |        |           |      |    |      |    |      |    |      |    |       |
|---------------|-------|-------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|------|----|------|----|------|----|------|----|-------|
| MAT-2_Zrn-33  | 100.5 | 26    | 0.258706468 | 0.0815 | 0.0034 | 2.324 | 0.094 | 0.2054 | 0.0034 | 0.0635 | 0.004  | 0.18783   | 1204 | 18 | 1217 | 28 | 1232 | 83 | 1204 | 18 | 1.07  |
| MAT-2_Zrn-67  | 133.4 | 31.7  | 0.237631184 | 0.0811 | 0.0035 | 2.269 | 0.093 | 0.2055 | 0.0037 | 0.0621 | 0.0036 | 0.48221   | 1204 | 20 | 1204 | 28 | 1216 | 83 | 1204 | 20 | 0.00  |
| MAT-2_Zrn-50  | 127.7 | 41.26 | 0.323101018 | 0.0806 | 0.0032 | 2.302 | 0.094 | 0.2058 | 0.0035 | 0.0597 | 0.0028 | 0.26067   | 1206 | 19 | 1210 | 29 | 1230 | 82 | 1206 | 19 | 0.33  |
| MAT-2_Zrn-14  | 282   | 104.8 | 0.371631206 | 0.081  | 0.003  | 2.33  | 0.078 | 0.2066 | 0.0027 | 0.061  | 0.0026 | 0.090137  | 1210 | 15 | 1220 | 24 | 1237 | 74 | 1210 | 15 | 0.82  |
| MAT-2_Zrn-16  | 134.6 | 39.5  | 0.29346211  | 0.0804 | 0.0041 | 2.274 | 0.11  | 0.2066 | 0.003  | 0.062  | 0.0034 | 0.4064    | 1211 | 16 | 1209 | 33 | 1219 | 96 | 1211 | 16 | -0.17 |
| MAT-2_Zrn-68  | 214.8 | 74    | 0.344506518 | 0.0827 | 0.003  | 2.335 | 0.08  | 0.2069 | 0.0027 | 0.0591 | 0.0024 | 0.18388   | 1212 | 14 | 1224 | 25 | 1261 | 73 | 1212 | 14 | 0.98  |
| MAT-2_Zrn-08  | 253   | 86    | 0.339920949 | 0.0804 | 0.0029 | 2.3   | 0.072 | 0.2071 | 0.0033 | 0.0639 | 0.0023 | 0.22271   | 1213 | 18 | 1214 | 23 | 1219 | 68 | 1213 | 18 | 0.08  |
| MAT-2_Zrn-54  | 299   | 85    | 0.284280936 | 0.0819 | 0.0028 | 2.354 | 0.08  | 0.2071 | 0.0037 | 0.0605 | 0.0026 | 0.48067   | 1213 | 20 | 1227 | 25 | 1243 | 65 | 1213 | 20 | 1.14  |
| MAT-2_Zrn-63  | 100.2 | 29.6  | 0.295409182 | 0.0807 | 0.0036 | 2.29  | 0.1   | 0.2073 | 0.0032 | 0.0637 | 0.0041 | -0.073101 | 1214 | 17 | 1209 | 31 | 1207 | 89 | 1214 | 17 | -0.41 |
| MAT-2_Zrn-91  | 196   | 74.3  | 0.379081633 | 0.0825 | 0.0032 | 2.348 | 0.087 | 0.2073 | 0.0027 | 0.0595 | 0.0024 | 0.26421   | 1215 | 14 | 1228 | 26 | 1244 | 78 | 1215 | 14 | 1.06  |
| MAT-2_Zrn-35  | 145.6 | 47.8  | 0.328296703 | 0.0796 | 0.0035 | 2.286 | 0.1   | 0.2076 | 0.0031 | 0.065  | 0.0032 | 0.1943    | 1216 | 17 | 1204 | 31 | 1189 | 88 | 1216 | 17 | -1.00 |
| MAT-2_Zrn-70  | 159.1 | 40    | 0.251414205 | 0.0798 | 0.0029 | 2.289 | 0.076 | 0.2078 | 0.0028 | 0.0626 | 0.003  | 0.13457   | 1217 | 15 | 1208 | 23 | 1198 | 72 | 1217 | 15 | -0.75 |
| MAT-2_Zrn-99  | 107.8 | 35.6  | 0.330241187 | 0.0816 | 0.0038 | 2.308 | 0.11  | 0.2074 | 0.0037 | 0.0626 | 0.004  | 0.23637   | 1217 | 19 | 1210 | 33 | 1214 | 94 | 1217 | 19 | -0.58 |
| MAT-2_Zrn-20  | 120.7 | 46.5  | 0.385252693 | 0.0819 | 0.0034 | 2.349 | 0.089 | 0.2083 | 0.0034 | 0.0597 | 0.0027 | 0.01662   | 1219 | 18 | 1225 | 27 | 1248 | 81 | 1219 | 18 | 0.49  |
| MAT-2_Zrn-100 | 160.5 | 40.25 | 0.250778816 | 0.0837 | 0.0031 | 2.402 | 0.09  | 0.2081 | 0.003  | 0.0614 | 0.0031 | 0.35707   | 1219 | 16 | 1241 | 27 | 1275 | 73 | 1219 | 16 | 1.77  |
| MAT-2_Zrn-21  | 191   | 73.6  | 0.385340314 | 0.0825 | 0.0031 | 2.36  | 0.082 | 0.2082 | 0.0027 | 0.0626 | 0.0024 | 0.24359   | 1221 | 14 | 1232 | 26 | 1247 | 73 | 1221 | 14 | 0.89  |
| MAT-2_Zrn-78  | 226   | 81.3  | 0.359734513 | 0.0821 | 0.0032 | 2.354 | 0.089 | 0.2086 | 0.0028 | 0.0602 | 0.0024 | 0.29232   | 1221 | 15 | 1227 | 27 | 1236 | 78 | 1221 | 15 | 0.49  |
| MAT-2_Zrn-17  | 659   | 104.4 | 0.158421851 | 0.0789 | 0.0024 | 2.263 | 0.068 | 0.2088 | 0.0034 | 0.0646 | 0.0027 | 0.54296   | 1222 | 18 | 1200 | 21 | 1171 | 59 | 1222 | 18 | -1.83 |
| MAT-2_Zrn-66  | 153.6 | 42.5  | 0.276692708 | 0.0825 | 0.0034 | 2.367 | 0.093 | 0.209  | 0.0032 | 0.0632 | 0.0032 | 0.27429   | 1223 | 17 | 1233 | 27 | 1254 | 78 | 1223 | 17 | 0.81  |
| MAT-2_Zrn-01  | 169.8 | 56.9  | 0.335100118 | 0.0806 | 0.0033 | 2.319 | 0.088 | 0.2096 | 0.0032 | 0.0633 | 0.0026 | 0.091454  | 1226 | 17 | 1216 | 27 | 1197 | 83 | 1226 | 17 | -0.82 |
| MAT-2_Zrn-07  | 143.9 | 50.2  | 0.34885337  | 0.0834 | 0.0033 | 2.391 | 0.089 | 0.2097 | 0.0032 | 0.061  | 0.0029 | 0.081716  | 1227 | 17 | 1241 | 26 | 1275 | 79 | 1227 | 17 | 1.13  |
| MAT-2_Zrn-22  | 108.4 | 32.4  | 0.298892989 | 0.0814 | 0.0039 | 2.378 | 0.11  | 0.2098 | 0.0036 | 0.0648 | 0.0036 | 0.27698   | 1227 | 19 | 1236 | 33 | 1234 | 93 | 1227 | 19 | 0.73  |
| MAT-2_Zrn-95  | 139.9 | 52.7  | 0.376697641 | 0.0824 | 0.0034 | 2.371 | 0.095 | 0.2097 | 0.0028 | 0.0587 | 0.0029 | 0.16906   | 1227 | 15 | 1231 | 29 | 1240 | 83 | 1227 | 15 | 0.32  |
| MAT-2_Zrn-11  | 146.8 | 40.9  | 0.278610354 | 0.0839 | 0.0036 | 2.419 | 0.098 | 0.2098 | 0.0028 | 0.0615 | 0.0032 | 0.16445   | 1228 | 15 | 1253 | 29 | 1274 | 85 | 1228 | 15 | 2.00  |
| MAT-2_Zrn-51  | 181   | 61.7  | 0.340883978 | 0.0789 | 0.0029 | 2.309 | 0.08  | 0.2099 | 0.0032 | 0.0601 | 0.003  | 0.25899   | 1228 | 17 | 1216 | 25 | 1168 | 74 | 1228 | 17 | -0.99 |
| MAT-2_Zrn-64  | 128.9 | 22.6  | 0.175329713 | 0.0797 | 0.0038 | 2.333 | 0.11  | 0.21   | 0.0033 | 0.0655 | 0.0037 | 0.091983  | 1228 | 18 | 1218 | 33 | 1177 | 96 | 1228 | 18 | -0.82 |

|              |       |       |             |        |        |       |       |        |        |        |        |           |        |     |      |     |      |     |               |     |       |
|--------------|-------|-------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|-----|------|-----|------|-----|---------------|-----|-------|
| MAT-2_Zrn-30 | 132.3 | 47    | 0.355253212 | 0.0812 | 0.0033 | 2.372 | 0.094 | 0.2101 | 0.0029 | 0.0669 | 0.0033 | -0.013233 | 1229   | 15  | 1231 | 28  | 1222 | 83  | <b>1229</b>   | 15  | 0.16  |
| MAT-2_Zrn-53 | 81.5  | 26.09 | 0.320122699 | 0.0813 | 0.004  | 2.366 | 0.11  | 0.2094 | 0.0041 | 0.0622 | 0.0039 | 0.083339  | 1229   | 21  | 1233 | 34  | 1229 | 100 | <b>1229</b>   | 21  | 0.32  |
| MAT-2_Zrn-49 | 84.9  | 25.2  | 0.296819788 | 0.0808 | 0.0041 | 2.36  | 0.12  | 0.2104 | 0.004  | 0.064  | 0.0048 | 0.40566   | 1230   | 21  | 1223 | 38  | 1200 | 100 | <b>1230</b>   | 21  | -0.57 |
| MAT-2_Zrn-05 | 166.8 | 47.1  | 0.282374101 | 0.0781 | 0.0031 | 2.283 | 0.089 | 0.2107 | 0.0028 | 0.0626 | 0.0031 | 0.27085   | 1232   | 15  | 1211 | 27  | 1164 | 75  | <b>1232</b>   | 15  | -1.73 |
| MAT-2_Zrn-09 | 156.1 | 64.7  | 0.414477899 | 0.0808 | 0.0037 | 2.348 | 0.1   | 0.2108 | 0.0031 | 0.0657 | 0.0028 | 0.014803  | 1233   | 17  | 1227 | 30  | 1206 | 89  | <b>1233</b>   | 17  | -0.49 |
| MAT-2_Zrn-37 | 148.3 | 49.8  | 0.335805799 | 0.0824 | 0.0039 | 2.395 | 0.11  | 0.211  | 0.0029 | 0.0648 | 0.0027 | 0.12354   | 1236   | 16  | 1241 | 32  | 1256 | 92  | <b>1236</b>   | 16  | 0.40  |
| MAT-2_Zrn-45 | 169.7 | 86.7  | 0.510901591 | 0.0827 | 0.003  | 2.445 | 0.085 | 0.2121 | 0.003  | 0.0632 | 0.0024 | 0.28776   | 1240   | 16  | 1257 | 26  | 1267 | 72  | <b>1240</b>   | 16  | 1.35  |
| MAT-2_Zrn-61 | 137.4 | 51.1  | 0.371906841 | 0.0808 | 0.0034 | 2.38  | 0.097 | 0.2123 | 0.0028 | 0.0601 | 0.0028 | 0.2213    | 1241   | 15  | 1237 | 28  | 1221 | 81  | <b>1241</b>   | 15  | -0.32 |
| MAT-2_Zrn-36 | 605   | 129.6 | 0.214214876 | 0.0808 | 0.0025 | 2.364 | 0.068 | 0.2123 | 0.0024 | 0.0652 | 0.0023 | 0.309     | 1241.1 | 13  | 1233 | 21  | 1217 | 60  | <b>1241.1</b> | 13  | -0.66 |
| MAT-2_Zrn-46 | 133.7 | 37.86 | 0.283171279 | 0.0813 | 0.0035 | 2.441 | 0.1   | 0.213  | 0.0036 | 0.0613 | 0.0033 | 0.27613   | 1245   | 19  | 1251 | 30  | 1231 | 87  | <b>1245</b>   | 19  | 0.48  |
| MAT-2_Zrn-73 | 223   | 65.4  | 0.293273543 | 0.0823 | 0.0032 | 2.422 | 0.09  | 0.2131 | 0.003  | 0.0617 | 0.0027 | 0.27561   | 1245   | 16  | 1253 | 27  | 1257 | 77  | <b>1245</b>   | 16  | 0.64  |
| MAT-2_Zrn-86 | 105.6 | 31    | 0.293560606 | 0.0839 | 0.0036 | 2.462 | 0.1   | 0.2131 | 0.0032 | 0.0635 | 0.0036 | 0.078025  | 1245   | 17  | 1262 | 28  | 1296 | 79  | <b>1245</b>   | 17  | 1.35  |
| MAT-2_Zrn-13 | 171   | 42.9  | 0.250877193 | 0.08   | 0.003  | 2.319 | 0.09  | 0.2135 | 0.0031 | 0.0638 | 0.0031 | 0.26158   | 1247   | 17  | 1219 | 29  | 1197 | 71  | <b>1247</b>   | 17  | -2.30 |
| MAT-2_Zrn-69 | 261   | 69.6  | 0.266666667 | 0.082  | 0.003  | 2.428 | 0.082 | 0.2135 | 0.003  | 0.062  | 0.0028 | 0.090622  | 1247   | 16  | 1252 | 24  | 1243 | 75  | <b>1247</b>   | 16  | 0.40  |
| MAT-2_Zrn-48 | 218   | 67.8  | 0.311009174 | 0.0805 | 0.0031 | 2.394 | 0.097 | 0.2146 | 0.0029 | 0.0635 | 0.0025 | 0.3044    | 1253   | 15  | 1245 | 27  | 1206 | 75  | <b>1253</b>   | 15  | -0.64 |
| MAT-2_Zrn-31 | 163.9 | 45.9  | 0.28004881  | 0.0822 | 0.0033 | 2.444 | 0.092 | 0.2143 | 0.003  | 0.0655 | 0.0028 | 0.10719   | 1254   | 15  | 1257 | 26  | 1258 | 74  | <b>1254</b>   | 15  | 0.24  |
| MAT-2_Zrn-44 | 368   | 87.9  | 0.238858696 | 0.0816 | 0.0027 | 2.427 | 0.074 | 0.2153 | 0.0028 | 0.0657 | 0.0025 | 0.19728   | 1257   | 15  | 1250 | 22  | 1229 | 65  | <b>1257</b>   | 15  | -0.56 |
| MAT-2_Zrn-25 | 189   | 57.2  | 0.302645503 | 0.0792 | 0.0029 | 2.374 | 0.08  | 0.216  | 0.0032 | 0.0641 | 0.0031 | 0.13804   | 1260   | 17  | 1233 | 24  | 1175 | 69  | <b>1260</b>   | 17  | -2.19 |
| MAT-2_Zrn-65 | 96.9  | 34.1  | 0.351909185 | 0.0842 | 0.0043 | 2.5   | 0.12  | 0.2172 | 0.0036 | 0.0636 | 0.0032 | 0.32934   | 1267   | 19  | 1268 | 36  | 1284 | 97  | <b>1267</b>   | 19  | 0.08  |
| MAT-2_Zrn-80 | 241.6 | 72.9  | 0.301738411 | 0.0836 | 0.0049 | 2.516 | 2.2   | 0.2172 | 0.14   | 0.0653 | 0.045  | -0.078371 | 1267   | 500 | 1275 | 240 | 1288 | 97  | <b>1267</b>   | 500 | 0.63  |
| MAT-2_Zrn-77 | 168.1 | 51.3  | 0.305175491 | 0.0825 | 0.0036 | 2.489 | 0.099 | 0.2187 | 0.0033 | 0.0648 | 0.0035 | 0.015862  | 1275   | 17  | 1266 | 29  | 1260 | 85  | <b>1275</b>   | 17  | -0.71 |
| MAT-2_Zrn-23 | 309   | 340   | 1.100323625 | 0.0867 | 0.0033 | 2.655 | 0.098 | 0.2225 | 0.0029 | 0.0672 | 0.0021 | 0.51111   | 1295   | 15  | 1314 | 27  | 1352 | 71  | <b>1295</b>   | 15  | 1.45  |
| MAT-2_Zrn-85 | 105.4 | 25.7  | 0.243833017 | 0.0845 | 0.0039 | 2.64  | 0.14  | 0.2248 | 0.0058 | 0.0641 | 0.004  | 0.50401   | 1306   | 31  | 1311 | 39  | 1311 | 89  | <b>1306</b>   | 31  | 0.38  |
| MAT-2_Zrn-04 | 422.2 | 250.5 | 0.593320701 | 0.0852 | 0.0028 | 2.639 | 0.079 | 0.2253 | 0.0029 | 0.0668 | 0.0021 | 0.27644   | 1310   | 15  | 1311 | 22  | 1320 | 64  | <b>1310</b>   | 15  | 0.08  |
| MAT-2_Zrn-26 | 194   | 120.3 | 0.620103093 | 0.0853 | 0.0028 | 2.756 | 0.083 | 0.2341 | 0.0034 | 0.0724 | 0.0026 | 0.17909   | 1356   | 18  | 1343 | 23  | 1317 | 65  | <b>1356</b>   | 18  | -0.97 |

| MAT-8 (formación Caltepec) |         |          |             |                                      |         |                                     |        |                                     |         |                                      |         |           |                                     |     |                                     |     |                                      |     |                 |     |        |
|----------------------------|---------|----------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|-----------|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| Análisis                   | U (ppm) | Th (ppm) | Th/U        | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ abs | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σabs | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ abs | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ±2σ abs | Rho       | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±2σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ±2σ | Mejor edad (Ma) | ±2σ | Disc % |
| Mat08_Zrn-60               | 1236    | 144.6    | 0.116990291 | 0.0574                               | 0.0023  | 0.318                               | 0.012  | 0.03985                             | 0.00064 | 0.01408                              | 0.00062 | 0.12667   | 251.9                               | 4   | 279.9                               | 8.9 | 532                                  | 80  | 251.9           | 4   | 10.00  |
| Mat08_Zrn-61               | 247.3   | 67.1     | 0.271330368 | 0.056                                | 0.0035  | 0.325                               | 0.019  | 0.04134                             | 0.00072 | 0.01342                              | 0.00081 | -0.011984 | 261.1                               | 4.4 | 284                                 | 15  | 490                                  | 130 | 261.1           | 4.4 | 8.06   |
| Mat08_Zrn-13               | 379     | 99.17    | 0.261662269 | 0.0521                               | 0.0034  | 0.307                               | 0.023  | 0.04241                             | 0.00086 | 0.01277                              | 0.0011  | 0.13384   | 267.8                               | 5.3 | 271                                 | 17  | 290                                  | 110 | 267.8           | 5.3 | 1.18   |
| Mat08_Zrn-36               | 222.3   | 61.4     | 0.276203329 | 0.0586                               | 0.0033  | 0.342                               | 0.018  | 0.04248                             | 0.00083 | 0.01571                              | 0.001   | 0.09419   | 268.2                               | 5.1 | 298                                 | 13  | 580                                  | 120 | 268.2           | 5.1 | 10.00  |
| Mat08_Zrn-55               | 243.7   | 43.9     | 0.180139516 | 0.0559                               | 0.0025  | 0.331                               | 0.014  | 0.04281                             | 0.00062 | 0.0145                               | 0.00092 | 0.07357   | 270.2                               | 3.9 | 289.8                               | 10  | 430                                  | 95  | 270.2           | 3.9 | 6.76   |
| Mat08_Zrn-51               | 501     | 78.7     | 0.157085828 | 0.0541                               | 0.0022  | 0.322                               | 0.013  | 0.04295                             | 0.00062 | 0.01455                              | 0.0008  | 0.23351   | 271.1                               | 3.8 | 282.9                               | 9.8 | 377                                  | 90  | 271.1           | 3.8 | 4.17   |
| Mat08_Zrn-82               | 362     | 111      | 0.306629834 | 0.0523                               | 0.0025  | 0.312                               | 0.015  | 0.04358                             | 0.00092 | 0.01412                              | 0.00072 | 0.18791   | 275                                 | 5.7 | 275.2                               | 11  | 277                                  | 110 | 275             | 5.7 | 0.07   |
| Mat08_Zrn-03               | 164     | 114      | 0.695121951 | 0.0516                               | 0.0032  | 0.312                               | 0.019  | 0.04377                             | 0.00077 | 0.01394                              | 0.00067 | 0.20573   | 276.1                               | 4.8 | 275                                 | 14  | 270                                  | 130 | 276.1           | 4.8 | -0.40  |
| Mat08_Zrn-84               | 617     | 75.7     | 0.122690438 | 0.0527                               | 0.0022  | 0.3183                              | 0.013  | 0.04386                             | 0.00061 | 0.01402                              | 0.00078 | -0.023968 | 276.7                               | 3.8 | 280.3                               | 9.8 | 308                                  | 95  | 276.7           | 3.8 | 1.28   |
| Mat08_Zrn-57               | 187     | 114      | 0.609625668 | 0.0545                               | 0.0029  | 0.325                               | 0.017  | 0.044                               | 0.0008  | 0.01318                              | 0.00073 | -0.17238  | 277.6                               | 5   | 291                                 | 13  | 360                                  | 120 | 277.6           | 5   | 4.60   |
| Mat08_Zrn-46               | 184     | 62.6     | 0.340217391 | 0.0539                               | 0.0033  | 0.328                               | 0.02   | 0.04403                             | 0.00082 | 0.01418                              | 0.00095 | 0.21921   | 277.7                               | 5.1 | 287                                 | 15  | 340                                  | 140 | 277.7           | 5.1 | 3.24   |
| Mat08_Zrn-28               | 273.2   | 152.4    | 0.557833089 | 0.0528                               | 0.0033  | 0.321                               | 0.02   | 0.04421                             | 0.00077 | 0.01418                              | 0.00085 | -0.13116  | 278.9                               | 4.7 | 282                                 | 15  | 300                                  | 130 | 278.9           | 4.7 | 1.10   |
| Mat08_Zrn-44               | 306.7   | 107.9    | 0.351809586 | 0.0519                               | 0.0024  | 0.319                               | 0.015  | 0.0443                              | 0.00079 | 0.01358                              | 0.00072 | 0.28328   | 279.4                               | 4.8 | 280                                 | 12  | 260                                  | 110 | 279.4           | 4.8 | 0.21   |
| Mat08_Zrn-81               | 85      | 31.5     | 0.370588235 | 0.0532                               | 0.0042  | 0.329                               | 0.026  | 0.04446                             | 0.00095 | 0.01279                              | 0.001   | -0.053571 | 280.4                               | 5.8 | 290                                 | 19  | 310                                  | 160 | 280.4           | 5.8 | 3.31   |
| Mat08_Zrn-47               | 82      | 48.1     | 0.586585366 | 0.0516                               | 0.0041  | 0.318                               | 0.027  | 0.0446                              | 0.001   | 0.01388                              | 0.00097 | 0.25473   | 281.2                               | 6.3 | 281                                 | 21  | 240                                  | 170 | 281.2           | 6.3 | -0.07  |
| Mat08_Zrn-30               | 132.3   | 45.3     | 0.342403628 | 0.0542                               | 0.0033  | 0.329                               | 0.019  | 0.04461                             | 0.00085 | 0.01458                              | 0.0011  | 0.10925   | 281.3                               | 5.2 | 288                                 | 14  | 380                                  | 130 | 281.3           | 5.2 | 2.33   |
| Mat08_Zrn-23               | 146.5   | 65.3     | 0.445733788 | 0.0509                               | 0.0036  | 0.317                               | 0.023  | 0.0449                              | 0.0012  | 0.01447                              | 0.0014  | 0.16776   | 283.3                               | 7.1 | 278                                 | 19  | 230                                  | 160 | 283.3           | 7.1 | -1.91  |
| Mat08_Zrn-86               | 159.3   | 105.9    | 0.664783427 | 0.0526                               | 0.0037  | 0.324                               | 0.021  | 0.04521                             | 0.00089 | 0.01469                              | 0.00073 | -0.21239  | 285                                 | 5.5 | 286                                 | 15  | 310                                  | 150 | 285             | 5.5 | 0.35   |
| Mat08_Zrn-83               | 306     | 152.4    | 0.498039216 | 0.0502                               | 0.0026  | 0.321                               | 0.016  | 0.04559                             | 0.00073 | 0.01326                              | 0.00063 | 0.10975   | 287.4                               | 4.5 | 282                                 | 13  | 200                                  | 120 | 287.4           | 4.5 | -1.91  |
| Mat08_Zrn-90               | 162.4   | 23.9     | 0.147167488 | 0.0526                               | 0.0034  | 0.377                               | 0.024  | 0.0516                              | 0.001   | 0.0176                               | 0.0019  | 0.10997   | 324.5                               | 6.2 | 330                                 | 17  | 320                                  | 130 | 324.5           | 6.2 | 1.67   |
| Mat08_Zrn-79               | 1292    | 268      | 0.207430341 | 0.0694                               | 0.0022  | 0.972                               | 0.032  | 0.10084                             | 0.0015  | 0.03667                              | 0.0014  | 0.52092   | 619.3                               | 8.8 | 689                                 | 16  | 907                                  | 69  | 619.3           | 8.8 | 10.12  |
| Mat08_Zrn-32               | 399     | 36.2     | 0.090726817 | 0.0736                               | 0.0026  | 1.591                               | 0.056  | 0.1573                              | 0.003   | 0.0457                               | 0.0026  | 0.39361   | 941.9                               | 17  | 966                                 | 23  | 1037                                 | 72  | 941.9           | 17  | 2.49   |
| Mat08_Zrn-80               | 319.7   | 107.2    | 0.335314357 | 0.074                                | 0.0026  | 1.616                               | 0.053  | 0.1585                              | 0.0025  | 0.045                                | 0.0019  | 0.097354  | 948.6                               | 14  | 976                                 | 21  | 1034                                 | 70  | 948.6           | 14  | 2.81   |
| Mat08_Zrn-99               | 239.7   | 72.3     | 0.301627034 | 0.0727                               | 0.0027  | 1.602                               | 0.061  | 0.1616                              | 0.0023  | 0.0489                               | 0.002   | 0.43899   | 965.4                               | 13  | 972                                 | 24  | 996                                  | 76  | 965.4           | 13  | 0.68   |

|               |       |       |             |        |        |       |       |         |        |        |        |           |        |    |      |    |      |     |        |    |       |
|---------------|-------|-------|-------------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|--------|--------|-----------|--------|----|------|----|------|-----|--------|----|-------|
| Mat08_Zrn-62  | 775   | 176   | 0.227096774 | 0.0747 | 0.0025 | 1.656 | 0.066 | 0.1633  | 0.0034 | 0.0467 | 0.002  | 0.021421  | 975.1  | 19 | 992  | 24 | 1059 | 65  | 975.1  | 19 | 1.70  |
| Mat08_Zrn-08  | 217.7 | 65.8  | 0.302250804 | 0.0709 | 0.0028 | 1.617 | 0.061 | 0.164   | 0.0021 | 0.05   | 0.0021 | 0.094336  | 979.1  | 12 | 975  | 24 | 952  | 79  | 979.1  | 12 | -0.42 |
| Mat08_Zrn-05  | 130.3 | 25.8  | 0.198004605 | 0.0733 | 0.0031 | 1.648 | 0.075 | 0.165   | 0.003  | 0.0453 | 0.0049 | 0.45132   | 984    | 16 | 991  | 27 | 1024 | 87  | 984    | 16 | 0.71  |
| Mat08_Zrn-10  | 86.5  | 21.69 | 0.250751445 | 0.0723 | 0.0029 | 1.652 | 0.064 | 0.1654  | 0.0026 | 0.0499 | 0.0026 | 0.038139  | 986.9  | 14 | 989  | 25 | 981  | 84  | 986.9  | 14 | 0.21  |
| Mat08_Zrn-35  | 63.5  | 21.8  | 0.343307087 | 0.0733 | 0.0052 | 1.64  | 0.12  | 0.1656  | 0.0042 | 0.0491 | 0.0046 | 0.14432   | 987    | 23 | 980  | 49 | 1020 | 160 | 987    | 23 | -0.71 |
| Mat08_Zrn-64  | 330   | 41.95 | 0.127121212 | 0.0749 | 0.0028 | 1.693 | 0.068 | 0.1657  | 0.0025 | 0.0451 | 0.0023 | 0.28217   | 988.2  | 14 | 1005 | 24 | 1060 | 73  | 988.2  | 14 | 1.67  |
| Mat08_Zrn-68  | 167.8 | 62.72 | 0.373778308 | 0.0737 | 0.0031 | 1.67  | 0.064 | 0.1664  | 0.0028 | 0.0429 | 0.0022 | 0.26728   | 992    | 16 | 996  | 25 | 1020 | 84  | 992    | 16 | 0.40  |
| Mat08_Zrn-25  | 613   | 132.2 | 0.215660685 | 0.0694 | 0.0029 | 1.566 | 0.066 | 0.16706 | 0.002  | 0.0561 | 0.0067 | 0.99977   | 995.9  | 11 | 957  | 26 | 908  | 86  | 995.9  | 11 | -4.06 |
| Mat08_Zrn-70  | 91.2  | 28.3  | 0.310307018 | 0.0735 | 0.0033 | 1.695 | 0.076 | 0.1677  | 0.0025 | 0.0488 | 0.0028 | 0.034717  | 999.4  | 14 | 1004 | 29 | 1020 | 91  | 999.4  | 14 | 0.46  |
| Mat08_Zrn-54  | 90.1  | 39.18 | 0.434850166 | 0.0744 | 0.0035 | 1.717 | 0.076 | 0.1679  | 0.0031 | 0.0537 | 0.0026 | 0.037115  | 1000   | 17 | 1013 | 27 | 1050 | 95  | 1000   | 17 | 1.28  |
| Mat08_Zrn-72  | 38.9  | 14.57 | 0.374550129 | 0.071  | 0.0037 | 1.618 | 0.084 | 0.1678  | 0.0028 | 0.0486 | 0.0029 | 0.12528   | 1000   | 16 | 986  | 33 | 950  | 110 | 1000   | 16 | -1.42 |
| Mat08_Zrn-15  | 100.8 | 26.6  | 0.263888889 | 0.0747 | 0.0033 | 1.745 | 0.077 | 0.1693  | 0.0026 | 0.0519 | 0.0032 | 0.045122  | 1008   | 15 | 1022 | 29 | 1055 | 90  | 1008   | 15 | 1.37  |
| Mat08_Zrn-02  | 216.6 | 60.4  | 0.278855032 | 0.0733 | 0.0027 | 1.716 | 0.063 | 0.1695  | 0.0024 | 0.05   | 0.002  | 0.21366   | 1009.2 | 13 | 1013 | 23 | 1023 | 79  | 1009.2 | 13 | 0.38  |
| Mat08_Zrn-78  | 117   | 62.5  | 0.534188034 | 0.0719 | 0.003  | 1.701 | 0.072 | 0.1699  | 0.0027 | 0.05   | 0.0023 | 0.13254   | 1011   | 15 | 1010 | 26 | 989  | 92  | 1011   | 15 | -0.10 |
| Mat08_Zrn-100 | 74.99 | 22.64 | 0.301906921 | 0.0745 | 0.0034 | 1.726 | 0.075 | 0.1699  | 0.0026 | 0.0485 | 0.0025 | 0.051989  | 1011.5 | 14 | 1016 | 28 | 1046 | 95  | 1011.5 | 14 | 0.44  |
| Mat08_Zrn-07  | 72.7  | 21.1  | 0.290233838 | 0.0698 | 0.0031 | 1.661 | 0.076 | 0.1702  | 0.0028 | 0.0513 | 0.0029 | 0.14104   | 1013   | 16 | 995  | 29 | 920  | 96  | 1013   | 16 | -1.81 |
| Mat08_Zrn-12  | 100.1 | 34.8  | 0.347652348 | 0.0723 | 0.0035 | 1.712 | 0.078 | 0.1703  | 0.0026 | 0.0524 | 0.0025 | -0.037213 | 1013.7 | 14 | 1021 | 30 | 1007 | 96  | 1013.7 | 14 | 0.71  |
| Mat08_Zrn-21  | 102.8 | 21.39 | 0.20807393  | 0.0729 | 0.0031 | 1.715 | 0.073 | 0.1703  | 0.0026 | 0.0497 | 0.003  | 0.12618   | 1013.8 | 14 | 1012 | 27 | 998  | 84  | 1013.8 | 14 | -0.18 |
| Mat08_Zrn-76  | 136.1 | 32    | 0.235121234 | 0.0754 | 0.003  | 1.75  | 0.067 | 0.171   | 0.0026 | 0.0481 | 0.0021 | 0.062956  | 1017.3 | 14 | 1028 | 24 | 1068 | 79  | 1017.3 | 14 | 1.04  |
| Mat08_Zrn-49  | 153.4 | 42.2  | 0.275097784 | 0.0736 | 0.0026 | 1.74  | 0.064 | 0.1713  | 0.0026 | 0.0528 | 0.0024 | 0.30777   | 1019.4 | 14 | 1025 | 24 | 1031 | 81  | 1019.4 | 14 | 0.55  |
| Mat08_Zrn-77  | 318   | 85.3  | 0.268238994 | 0.0725 | 0.0026 | 1.73  | 0.065 | 0.1714  | 0.0026 | 0.052  | 0.0023 | 0.41863   | 1019.5 | 14 | 1022 | 24 | 1013 | 68  | 1019.5 | 14 | 0.24  |
| Mat08_Zrn-16  | 117.3 | 42.6  | 0.363171355 | 0.0719 | 0.003  | 1.711 | 0.072 | 0.1716  | 0.0027 | 0.0522 | 0.0024 | 0.22335   | 1021   | 15 | 1014 | 26 | 978  | 82  | 1021   | 15 | -0.69 |
| Mat08_Zrn-58  | 128.8 | 49.2  | 0.381987578 | 0.0715 | 0.0029 | 1.692 | 0.066 | 0.1723  | 0.0026 | 0.0513 | 0.0026 | 0.28281   | 1025   | 14 | 1004 | 25 | 962  | 83  | 1025   | 14 | -2.09 |
| Mat08_Zrn-85  | 60.5  | 16.13 | 0.26661157  | 0.0746 | 0.0036 | 1.776 | 0.082 | 0.1732  | 0.0031 | 0.0495 | 0.0036 | 0.26214   | 1030   | 17 | 1042 | 30 | 1061 | 88  | 1030   | 17 | 1.15  |
| Mat08_Zrn-52  | 117.5 | 40.3  | 0.342978723 | 0.0737 | 0.0031 | 1.765 | 0.071 | 0.1736  | 0.0027 | 0.0506 | 0.0027 | 0.11915   | 1032   | 15 | 1036 | 27 | 1029 | 83  | 1032   | 15 | 0.39  |
| Mat08_Zrn-29  | 1013  | 40    | 0.039486673 | 0.0788 | 0.0027 | 1.858 | 0.08  | 0.1737  | 0.0034 | 0.092  | 0.0047 | 0.039574  | 1032.4 | 19 | 1066 | 26 | 1164 | 65  | 1032.4 | 19 | 3.15  |



|              |       |       |             |         |        |       |       |        |        |        |        |           |        |    |        |     |      |     |               |    |       |
|--------------|-------|-------|-------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|----|--------|-----|------|-----|---------------|----|-------|
| Mat08_Zrn-37 | 252   | 55    | 0.218253968 | 0.0765  | 0.0027 | 1.896 | 0.11  | 0.1764 | 0.0093 | 0.0488 | 0.0041 | 0.34259   | 1047.5 | 53 | 1079   | 44  | 1114 | 67  | <b>1047.5</b> | 53 | 2.92  |
| Mat08_Zrn-94 | 151.3 | 34.98 | 0.231196299 | 0.0765  | 0.0031 | 1.856 | 0.072 | 0.1789 | 0.0028 | 0.0564 | 0.0029 | -0.11501  | 1061   | 15 | 1068   | 25  | 1097 | 83  | <b>1061</b>   | 15 | 0.66  |
| Mat08_Zrn-71 | 578   | 203.3 | 0.351730104 | 0.0799  | 0.0025 | 2.034 | 0.064 | 0.1849 | 0.0025 | 0.0528 | 0.002  | 0.66862   | 1093.8 | 14 | 1126.8 | 21  | 1192 | 62  | <b>1093.8</b> | 14 | 2.93  |
| Mat08_Zrn-95 | 361.4 | 177.4 | 0.490868843 | 0.0776  | 0.0026 | 1.972 | 0.068 | 0.1851 | 0.0027 | 0.0599 | 0.0022 | 0.032265  | 1094.6 | 15 | 1105   | 24  | 1141 | 68  | <b>1094.6</b> | 15 | 0.94  |
| Mat08_Zrn-27 | 175.7 | 53    | 0.301650541 | 0.0798  | 0.022  | 2.023 | 0.8   | 0.1854 | 0.0065 | 0.0396 | 0.054  | 0.41709   | 1096   | 35 | 1122   | 130 | 1204 | 240 | <b>1096</b>   | 35 | 2.32  |
| Mat08_Zrn-67 | 172.3 | 24    | 0.139291933 | 0.0783  | 0.0029 | 2.107 | 0.076 | 0.1938 | 0.0026 | 0.0608 | 0.0027 | 0.43884   | 1142   | 14 | 1149   | 25  | 1147 | 71  | <b>1142</b>   | 14 | 0.61  |
| Mat08_Zrn-59 | 237   | 51.3  | 0.216455696 | 0.0786  | 0.0029 | 2.093 | 0.092 | 0.1942 | 0.0037 | 0.0572 | 0.0024 | 0.73273   | 1144   | 19 | 1144   | 31  | 1157 | 72  | <b>1144</b>   | 19 | 0.00  |
| Mat08_Zrn-11 | 325   | 95.3  | 0.293230769 | 0.0804  | 0.0027 | 2.15  | 0.092 | 0.1943 | 0.0071 | 0.0563 | 0.0038 | 0.0048453 | 1145   | 39 | 1164   | 32  | 1203 | 67  | <b>1145</b>   | 39 | 1.63  |
| Mat08_Zrn-33 | 415.3 | 73.3  | 0.176498916 | 0.0801  | 0.0027 | 2.132 | 0.073 | 0.1947 | 0.0029 | 0.0619 | 0.0025 | 0.31313   | 1146   | 15 | 1161   | 23  | 1196 | 66  | <b>1146</b>   | 15 | 1.29  |
| Mat08_Zrn-88 | 191.7 | 56.2  | 0.293166406 | 0.0794  | 0.0026 | 2.13  | 0.071 | 0.1947 | 0.0026 | 0.0557 | 0.0024 | 0.31483   | 1146.6 | 14 | 1158   | 22  | 1179 | 68  | <b>1146.6</b> | 14 | 0.98  |
| Mat08_Zrn-04 | 413   | 93.6  | 0.226634383 | 0.0766  | 0.0026 | 2.076 | 0.084 | 0.1947 | 0.0039 | 0.0598 | 0.0025 | 0.37153   | 1147   | 21 | 1140   | 27  | 1116 | 68  | <b>1147</b>   | 21 | -0.61 |
| Mat08_Zrn-06 | 149.3 | 67.7  | 0.453449431 | 0.0788  | 0.0028 | 2.104 | 0.073 | 0.1951 | 0.003  | 0.0608 | 0.0025 | 0.37374   | 1149   | 16 | 1149   | 24  | 1168 | 68  | <b>1149</b>   | 16 | 0.00  |
| Mat08_Zrn-22 | 259   | 116   | 0.447876448 | 0.0795  | 0.003  | 2.161 | 0.084 | 0.1958 | 0.0034 | 0.0561 | 0.0041 | 0.57975   | 1153   | 18 | 1168   | 26  | 1179 | 70  | <b>1153</b>   | 18 | 1.28  |
| Mat08_Zrn-53 | 839.3 | 169.3 | 0.201715715 | 0.08048 | 0.0025 | 2.186 | 0.07  | 0.1965 | 0.0031 | 0.0542 | 0.0025 | 0.49157   | 1156.6 | 17 | 1178.2 | 23  | 1211 | 60  | <b>1156.6</b> | 17 | 1.83  |
| Mat08_Zrn-93 | 469   | 290.2 | 0.618763326 | 0.0847  | 0.0028 | 2.328 | 0.12  | 0.199  | 0.0074 | 0.065  | 0.0022 | 0.8574    | 1170   | 41 | 1219   | 42  | 1305 | 67  | <b>1170</b>   | 41 | 4.02  |
| Mat08_Zrn-96 | 136   | 56    | 0.411764706 | 0.0806  | 0.0029 | 2.194 | 0.081 | 0.1998 | 0.0028 | 0.0604 | 0.0026 | 0.30855   | 1174   | 15 | 1181   | 26  | 1206 | 76  | <b>1174</b>   | 15 | 0.59  |
| Mat08_Zrn-41 | 419   | 93    | 0.221957041 | 0.0784  | 0.0026 | 2.19  | 0.08  | 0.2008 | 0.0032 | 0.064  | 0.0026 | 0.70186   | 1179   | 17 | 1176   | 25  | 1153 | 67  | <b>1179</b>   | 17 | -0.26 |
| Mat08_Zrn-98 | 140.9 | 47.94 | 0.340241306 | 0.0802  | 0.0031 | 2.218 | 0.082 | 0.2012 | 0.003  | 0.062  | 0.0026 | 0.2535    | 1181   | 16 | 1188   | 25  | 1206 | 72  | <b>1181</b>   | 16 | 0.59  |
| Mat08_Zrn-09 | 241   | 97.4  | 0.404149378 | 0.079   | 0.0028 | 2.196 | 0.076 | 0.2019 | 0.003  | 0.0572 | 0.0023 | 0.30672   | 1185   | 16 | 1179   | 24  | 1167 | 70  | <b>1185</b>   | 16 | -0.51 |
| Mat08_Zrn-74 | 154.7 | 50.8  | 0.328377505 | 0.0801  | 0.0029 | 2.227 | 0.077 | 0.2017 | 0.0038 | 0.06   | 0.0028 | 0.050256  | 1185   | 20 | 1188   | 25  | 1192 | 73  | <b>1185</b>   | 20 | 0.25  |
| Mat08_Zrn-19 | 124.3 | 35.6  | 0.286403862 | 0.0784  | 0.003  | 2.193 | 0.086 | 0.2022 | 0.003  | 0.0609 | 0.0028 | 0.31996   | 1187   | 16 | 1179   | 27  | 1154 | 80  | <b>1187</b>   | 16 | -0.68 |
| Mat08_Zrn-31 | 110.7 | 33.31 | 0.300903342 | 0.0809  | 0.0033 | 2.301 | 0.089 | 0.2023 | 0.0029 | 0.0632 | 0.0029 | 0.13519   | 1188   | 15 | 1211   | 26  | 1220 | 81  | <b>1188</b>   | 15 | 1.90  |
| Mat08_Zrn-40 | 70.5  | 18.8  | 0.266666667 | 0.0797  | 0.0035 | 2.227 | 0.09  | 0.2026 | 0.0036 | 0.0632 | 0.0033 | 0.30981   | 1189   | 19 | 1192   | 27  | 1175 | 86  | <b>1189</b>   | 19 | 0.25  |
| Mat08_Zrn-34 | 829   | 297   | 0.358262967 | 0.08002 | 0.0025 | 2.247 | 0.072 | 0.2034 | 0.0031 | 0.0633 | 0.0023 | 0.77193   | 1193   | 16 | 1195   | 23  | 1196 | 62  | <b>1193</b>   | 16 | 0.17  |
| Mat08_Zrn-17 | 211.3 | 68.8  | 0.325603407 | 0.0806  | 0.0029 | 2.278 | 0.087 | 0.2036 | 0.0034 | 0.0578 | 0.0027 | 0.19702   | 1194   | 18 | 1205   | 26  | 1206 | 74  | <b>1194</b>   | 18 | 0.91  |
| Mat08_Zrn-24 | 156.5 | 35.6  | 0.227476038 | 0.0808  | 0.0031 | 2.266 | 0.081 | 0.2036 | 0.003  | 0.0617 | 0.0027 | -0.084609 | 1194.8 | 16 | 1201   | 25  | 1207 | 76  | <b>1194.8</b> | 16 | 0.52  |

|              |       |       |             |         |        |       |       |        |        |        |        |           |        |    |        |    |      |    |               |    |       |
|--------------|-------|-------|-------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|----|--------|----|------|----|---------------|----|-------|
| Mat08_Zrn-48 | 132.5 | 34.54 | 0.260679245 | 0.0811  | 0.0029 | 2.284 | 0.081 | 0.2039 | 0.0033 | 0.0615 | 0.0029 | 0.12147   | 1196   | 18 | 1210   | 24 | 1236 | 72 | <b>1196</b>   | 18 | 1.16  |
| Mat08_Zrn-92 | 177.4 | 36.31 | 0.204678692 | 0.0802  | 0.0029 | 2.267 | 0.081 | 0.2042 | 0.0033 | 0.0619 | 0.0028 | 0.40434   | 1198   | 18 | 1201   | 26 | 1203 | 73 | <b>1198</b>   | 18 | 0.25  |
| Mat08_Zrn-97 | 133.6 | 51.9  | 0.388473054 | 0.0823  | 0.0031 | 2.316 | 0.083 | 0.2067 | 0.0032 | 0.0611 | 0.0027 | 0.041818  | 1211   | 17 | 1216   | 26 | 1246 | 74 | <b>1211</b>   | 17 | 0.41  |
| Mat08_Zrn-14 | 131.5 | 42.25 | 0.321292776 | 0.0796  | 0.003  | 2.293 | 0.085 | 0.2076 | 0.0029 | 0.0618 | 0.003  | 0.12701   | 1216.1 | 16 | 1209   | 26 | 1193 | 79 | <b>1216.1</b> | 16 | -0.59 |
| Mat08_Zrn-39 | 234   | 57.2  | 0.244444444 | 0.0813  | 0.0028 | 2.34  | 0.087 | 0.2077 | 0.0031 | 0.0666 | 0.0029 | 0.3601    | 1216.5 | 17 | 1224   | 26 | 1233 | 68 | <b>1216.5</b> | 17 | 0.61  |
| Mat08_Zrn-56 | 528   | 139.5 | 0.264204545 | 0.081   | 0.0026 | 2.34  | 0.087 | 0.209  | 0.0049 | 0.057  | 0.0022 | 0.73094   | 1223   | 26 | 1224   | 27 | 1219 | 65 | <b>1223</b>   | 26 | 0.08  |
| Mat08_Zrn-18 | 176.4 | 57    | 0.323129252 | 0.0808  | 0.0028 | 2.349 | 0.083 | 0.2091 | 0.0032 | 0.0629 | 0.0029 | 0.39338   | 1224   | 17 | 1226   | 25 | 1217 | 69 | <b>1224</b>   | 17 | 0.16  |
| Mat08_Zrn-89 | 125.9 | 33.8  | 0.268467037 | 0.0817  | 0.0032 | 2.302 | 0.083 | 0.2085 | 0.0036 | 0.0617 | 0.0028 | 0.133     | 1224   | 19 | 1215   | 26 | 1225 | 78 | <b>1224</b>   | 19 | -0.74 |
| Mat08_Zrn-42 | 337   | 177   | 0.525222552 | 0.081   | 0.0027 | 2.372 | 0.078 | 0.2095 | 0.0031 | 0.0643 | 0.0025 | 0.31755   | 1226   | 17 | 1234   | 23 | 1224 | 65 | <b>1226</b>   | 17 | 0.65  |
| Mat08_Zrn-01 | 198.6 | 54.4  | 0.273917422 | 0.0801  | 0.0029 | 2.295 | 0.084 | 0.2095 | 0.0029 | 0.0626 | 0.0029 | 0.28428   | 1226.2 | 16 | 1210   | 25 | 1194 | 72 | <b>1226.2</b> | 16 | -1.34 |
| Mat08_Zrn-66 | 183.6 | 62.7  | 0.341503268 | 0.0807  | 0.0029 | 2.336 | 0.085 | 0.2097 | 0.0029 | 0.0607 | 0.0025 | 0.4334    | 1227   | 15 | 1222   | 26 | 1214 | 74 | <b>1227</b>   | 15 | -0.41 |
| Mat08_Zrn-69 | 154.7 | 38.5  | 0.248868778 | 0.081   | 0.0029 | 2.315 | 0.086 | 0.2098 | 0.0032 | 0.061  | 0.0032 | -0.55795  | 1228   | 17 | 1216   | 26 | 1209 | 78 | <b>1228</b>   | 17 | -0.99 |
| Mat08_Zrn-45 | 174.1 | 55.2  | 0.317059161 | 0.0811  | 0.0028 | 2.358 | 0.079 | 0.2108 | 0.0031 | 0.0648 | 0.0028 | 0.2798    | 1233   | 16 | 1231   | 25 | 1218 | 68 | <b>1233</b>   | 16 | -0.16 |
| Mat08_Zrn-65 | 96.4  | 29.29 | 0.303838174 | 0.0796  | 0.0032 | 2.305 | 0.09  | 0.211  | 0.0035 | 0.0654 | 0.0032 | 0.076307  | 1234   | 19 | 1211   | 27 | 1203 | 79 | <b>1234</b>   | 19 | -1.90 |
| Mat08_Zrn-20 | 96.8  | 30.7  | 0.31714876  | 0.0802  | 0.0034 | 2.328 | 0.11  | 0.2115 | 0.0032 | 0.06   | 0.0029 | 0.39048   | 1236   | 17 | 1222   | 33 | 1186 | 86 | <b>1236</b>   | 17 | -1.15 |
| Mat08_Zrn-38 | 158   | 53.3  | 0.337341772 | 0.0819  | 0.0029 | 2.386 | 0.089 | 0.2118 | 0.0044 | 0.0605 | 0.0035 | 0.22299   | 1238   | 23 | 1241   | 29 | 1235 | 72 | <b>1238</b>   | 23 | 0.24  |
| Mat08_Zrn-91 | 78    | 32.1  | 0.411538462 | 0.0878  | 0.0036 | 2.547 | 0.1   | 0.2118 | 0.0039 | 0.0626 | 0.003  | -0.039978 | 1238   | 21 | 1284   | 28 | 1380 | 77 | <b>1238</b>   | 21 | 3.58  |
| Mat08_Zrn-73 | 818   | 75.2  | 0.09193154  | 0.08108 | 0.0025 | 2.375 | 0.072 | 0.2118 | 0.0027 | 0.051  | 0.0019 | 0.45839   | 1238.4 | 14 | 1234.8 | 22 | 1222 | 62 | <b>1238.4</b> | 14 | -0.29 |
| Mat08_Zrn-63 | 427   | 124   | 0.290398126 | 0.0795  | 0.0027 | 2.342 | 0.11  | 0.2118 | 0.0063 | 0.0583 | 0.0028 | 0.83657   | 1239   | 33 | 1224   | 30 | 1193 | 67 | <b>1239</b>   | 33 | -1.23 |
| Mat08_Zrn-43 | 140.2 | 75.4  | 0.537803138 | 0.0824  | 0.0031 | 2.514 | 0.094 | 0.2206 | 0.0032 | 0.0665 | 0.0028 | 0.23745   | 1285   | 17 | 1275   | 27 | 1250 | 74 | <b>1285</b>   | 17 | -0.78 |
| Mat08_Zrn-50 | 149   | 80    | 0.536912752 | 0.0877  | 0.003  | 2.743 | 0.093 | 0.2257 | 0.0033 | 0.0642 | 0.0025 | 0.51399   | 1312   | 17 | 1339   | 25 | 1371 | 66 | <b>1312</b>   | 17 | 2.02  |
| Mat08_Zrn-87 | 131.2 | 46.1  | 0.351371951 | 0.0849  | 0.003  | 2.646 | 0.085 | 0.2264 | 0.0035 | 0.0662 | 0.0029 | 0.021499  | 1315   | 18 | 1315   | 24 | 1308 | 70 | <b>1315</b>   | 18 | 0.00  |
| Mat08_Zrn-75 | 147   | 38.1  | 0.259183673 | 0.0927  | 0.0034 | 3.19  | 0.11  | 0.2472 | 0.0037 | 0.0745 | 0.0032 | -0.077609 | 1424   | 20 | 1453   | 27 | 1490 | 68 | <b>1490</b>   | 68 | 2.00  |