



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS
CAMPO III: GEOLOGIA

Evolución metamórfica de las rocas metasedimentarias de la Suite Piaxtla,
Complejo Acatlán, México.

TESIS
PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:
DUBAN ESTEBAN GOMEZ GOMEZ

Comité tutor:
Dr. ROBERTO MALDONADO VILLANUEVA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
Dr. LUIGI SOLARI
CENTRO DE GEOCIENCIAS
Dr. MARIANO ELÍAS HERRERA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2022



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 la obra de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y al Centro de Geociencias por ser ejemplo de una educación pública de calidad.

Agradezco a cada una de las personas que integra a la comunidad del Centro de Geociencias por todo el apoyo brindado a lo largo de mi estancia en la institución.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada, además de su financiamiento al proyecto 7351 (La abertura y cierre del océano Rheico visto desde México: una aproximación estratigráfica, isotópica y geocronológica), por medio de los cuales el desarrollo de este trabajo fue posible. De igual forma agradezco al programa de apoyo a los estudios de posgrado (PAEP) de la UNAM, por su apoyo económico para el desarrollo oportuno de mi trabajo.

A mi asesor, el Dr. Roberto Maldonado Villanueva, por su mentoría y acompañamiento a lo largo de este proceso.

A los miembros de mi comité tutor, el Dr. Luigi Solari y Dr. Mariano Elías, por cada uno de sus comentarios a lo largo del desarrollo de mi trabajo.

A Juan Tomás Vázquez Ramírez, responsable del taller de laminación del Centro de Geociencias (CGEO), por su apoyo con la elaboración de las láminas delgadas requeridas en el desarrollo de mi investigación.

Al Dr. Carlos Ortega Obregón y Dr. Luigi Solari, responsables del Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias, por su apoyo con la medición y reducción de datos para los estudios geocronológicos llevados a cabo.

A la Dra. Marina Vega González por su apoyo en Laboratorio de Fluidos Corticales (CGEO), y a la Quím. Blanca Sonia Ángeles García por su apoyo en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido (Instituto de Geología-UNAM).

Al Ing. Carlos Linares López por su constante apoyo en el Laboratorio Universitario de Petrología (Instituto de Geología-UNAM) para la obtención de información geoquímica mineral.

Un agradecimiento especial a mi familia y amigos, pilares fundamentales de mi vida que aportan continuamente a mi crecimiento personal y profesional, y con las que compartí experiencias increíbles.

Finalmente agradezco a México. Mi experiencia en el país me brindó gran riqueza cultural y me permitió vivir experiencias llenas de alegría y aprendizaje.

Contenido

Resumen.....	5
Abstract	6
1. Introducción	7
2. Marco teórico.....	8
2.1 Estructura y dinámica de los complejos de subducción	8
2.2 Metamorfismo de alta presión en rocas pelíticas.....	13
2.3 Petrocronología en metapelitas de alta presión.....	15
3. Contexto geológico.....	18
3.1 Terreno Mixteco.....	18
3.2 Complejo Acatlán	19
4. Metodología.....	25
4.1 Trabajo de campo.....	25
4.2 Petrografía óptica y electrónica	25
4.3 Geoquímica e isotopía mineral	26
5. Resultados	28
5.1 Litología y estructura.....	28
5.2 Petrografía y química mineral	34
5.3 Termobarometría	42
5.4 Geocronología U-Pb y elementos traza.....	47
6. Discusión	55
6.1 Ensamblaje estructural en la Suite Piaxtla	55
6.2 Evolución metamórfica	55
6.3 Temporalidad del metamorfismo	59
6.4 Implicaciones tectónicas	60
7. Conclusiones.....	63
Bibliografía	64
Anexos.....	78
Anexo 1. Muestras	78
Anexo 2. Información isotópica U-Pb.....	80
Anexo 3. Química de elementos traza de circones y rutilos	89

Resumen

Se ha sugerido previamente que el metamorfismo de la suite de alta presión del Complejo Acatlán registra un evento de colisión-subducción relacionado con el cierre del Océano Rheico, manifiesto por la ocurrencia de eclogitas y otras rocas de alta presión asociadas. Sin embargo, la temporalidad y condiciones del pico metamórfico de este proceso y su contexto tectónico siguen siendo materia de debate. Estudios previos se han enfocado en los componentes máficos y graníticos de la secuencia, mientras la información geológica de la porción metasedimentaria es escasa. Para obtener información sobre la temporalidad y las condiciones del proceso de subducción, se realizó un estudio petrológico asistido por la datación LA-ICP-MS U-Pb de circón y rutilo en rocas metasedimentarias de la Suite Piaxtla que conservan evidencia de metamorfismo de alta presión. En las áreas estudiadas, la Suite Piaxtla está compuesta por una secuencia metamórfica metasedimentaria que contiene cuerpos lenticulares de meta-eclogitas (anfibolitas) y ocurrencias locales de serpentinita. En conjunto, todas las litologías presentan coherencia estructural, buzando principalmente en dirección SE. Los metasedimentos estudiados son principalmente metapelitas y metapsamitas compuestas de porfidoblastos de granate ricos en almandino en una matriz esquistosa de fengita + cuarzo + rutilo + circón ± cloritoide ± clinozoisita ± plagioclasa como minerales de pico metamórfico, con la ocurrencia de clorita + biotita + óxidos de hierro como minerales retrógrados. Las estimaciones termobarométricas, en coherencia con las asociaciones minerales observadas y la geoquímica mineral, sugieren que las rocas metasedimentarias en la porción más norte del Complejo Acatlán registran condiciones de pico metamórfico de 500–530 °C y 1.6–1.8 GPa, mientras las rocas aflorantes cerca de las localidades de Asís y Piaxtla registran condiciones de pico metamórfico de 640–700 °C y 1.8–2.2 GPa. Tanto los patrones de zonificación en los granates analizados, como las condiciones P–T de pico calculadas indican que las rocas metasedimentarias estudiadas habrían podido formarse durante un único evento metamórfico progresivo a lo largo de un gradiente geotérmico de subducción de 9–10 °C/km. Una edad promedio ponderada $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de 345.0 ± 2.7 Ma en circones de un esquistos cuarzo-micáceo colectado en las inmediaciones de Santa Cruz Organal se interpreta como la edad del evento metamórfico de alta presión. Esta interpretación es consistente con las edades U–Pb obtenidas en rutilo (entre 340 y 360 Ma), consideradas como edades de cristalización asociadas al pico bórico de la secuencia. La integración de información petrológica y geocronológica sugiere que el metamorfismo de la porción metasedimentaria de la Suite Piaxtla registra un proceso de subducción tipo Pacífico durante el Misisípico, posiblemente relacionado con la interacción entre Gondwana y el paleo-Pacífico, previo a la colisión del oeste de Gondwana con Laurentia.

Abstract

It has been previously suggested that the metamorphism in the high-pressure suite from the Acatlán Complex records a collision-subduction event related to the closure of the Rheic Ocean, manifested by the occurrence of eclogites and other associated high-pressure rocks. Nevertheless, the timing and conditions of the metamorphic peak of this process, as well as its tectonic context, are still a matter of debate. Previous studies have focused on the metamafic and granitic components of the sequence, however geologic data on the metasedimentary portion are scarce. To gain insight into the timing and conditions of the subduction process, it was conducted a petrological study assisted by LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon and rutile in metasedimentary rocks of the Piaxtla Suite that preserve evidence of high-pressure metamorphism. In the areas studied, the Piaxtla Suite is composed of a metasedimentary metamorphic sequence containing lenticular bodies of meta-eclogites (amphibolites) and local occurrences of serpentinite. Overall, all lithologies show structural coherence, dipping mainly in a SE direction. The metasediments studied are for the most part metapelites and metapsamites composed of almandine-rich garnet porphyroblasts in a schistose matrix of phengite + quartz + rutile + zircon ± chloritoid ± clinozoisite ± plagioclase as metamorphic peak minerals, with the occurrence of chlorite + biotite + plagioclase + iron oxides as retrograde minerals. Thermobarometric estimates, consistent with observed mineral associations and mineral geochemistry, suggest that metasedimentary rocks in the northernmost portion of the Acatlán Complex record metamorphic peak conditions of 500-530 °C and 1.6-1.8 GPa, while outcropping rocks near the localities of Asís and Piaxtla record metamorphic peak conditions of 640-700 °C and 1.8-2.2 GPa. Both the zoning patterns in the analyzed garnets and the calculated peak P-T conditions indicate that the studied metasedimentary rocks could have formed during a single progressive metamorphic event along a subduction geothermal gradient of 9-10 °C/km. A weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ zircon age of 345.0 ± 2.7 Ma, derived from a quartz-micaceous schist collected in the vicinity of Santa Cruz Organal, is interpreted as the age of the high-pressure metamorphic event. This interpretation is consistent with the U-Pb ages obtained in rutile between 340 and 360 Ma, considered crystallization ages associated with the baric peak of the sequence. The integration of petrological and geochronological information suggests that the metamorphism of the metasedimentary portion of the Piaxtla Suite records a Pacific-type subduction process during the Mississippian, possibly related to the interaction between Gondwana and the paleo-Pacific, prior to the collision of western Gondwana with Laurentia.

1. Introducción

El registro geológico del basamento cristalino pre-mesozoico en México es correlacionable con escenarios globales, como la amalgamación del supercontinente Pangea y la evolución del Océano Rheico (Nance et al., 2010). Este basamento tiene su mejor exposición en el sur del territorio, donde las rocas afloran con mayor continuidad, como es el caso de los complejos Oaxaqueño y Acatlán, siendo este último un orógeno altamente estudiado que registra una historia polimetamórfica compleja con episodios magmáticos, sedimentarios y metamórficos a lo largo del Paleozoico (Keppie et al., 2008; Nance and Linnemann, 2008; Ortega-Gutiérrez et al., 1999; Vega-Granillo et al., 2009). Estudios previos en el Complejo Acatlán sugieren que el metamorfismo de la Suite Piaxtla registra un proceso de subducción-colisión en el Carbonífero, relacionado al cierre del Océano Rheico y, por lo tanto, el inicio de la amalgamación de Pangea occidental. Este proceso queda de manifiesto por la ocurrencia de eclogitas y otras rocas de alta presión con edades de pico metamórfico de ca. 350 Ma (Estrada-Carmona et al., 2016; Keppie et al., 2012). Sin embargo, el papel de las rocas de este complejo en la historia evolutiva del Océano Rheico sigue siendo materia de debate. Los estudios previos se han enfocado principalmente en el estudio de los componentes máfico (eclogita) y granítico (metagranito Esperanza) de la secuencia (p.ej. Hernández-Uribe et al., 2019; Keppie et al., 2012; Middleton et al., 2007; Vega-Granillo et al., 2007), mientras que la información geológica del litodema metasedimentario de esta suite es escasa. Consecuentemente, los datos petrológicos y geocronológicos son sumamente limitados.

Es reconocido que las metapelitas son particularmente sensibles a los cambios de presión-temperatura (P–T) durante la evolución metamórfica (p.ej. Spear, 1995) y, en consecuencia, suelen ser comúnmente utilizadas para deducir las condiciones de los procesos orogénicos. Por otro lado, esta litología suele producir fases minerales accesorias de interés petrocronológico como son: granate, rutilo, monacita y circón, indispensables para reconstruir las trayectorias P–T–tiempo. Por lo tanto, las metapelitas de la Suite Piaxtla ofrecen la oportunidad de cotejar su registro del proceso de subducción-colisión con otras litologías más estudiadas de la suite (Estrada-Carmona et al., 2016; Hernández-Uribe et al., 2019; Ortega-Gutiérrez et al., 1999; Vega-Granillo et al., 2007) y evaluar el paradigma actual del orógeno.

El objetivo del presente trabajo es obtener información geológica y petrocronológica que permita reconstruir la evolución P–T–t de las metapelitas de la Suite Piaxtla y evaluar sus implicaciones tectónicas. Para ello, se llevó a cabo un estudio combinando metodologías tradicionales (trabajo de campo, cartografía detallada, estudios petrográficos, etc.) con técnicas modernas de análisis petrocronológico. Este trabajo aportará datos de interés petrológico y geocronológico para la porción metasedimentaria de la Suite Piaxtla, que contribuirán al entendimiento de su génesis y de la historia evolutiva del sur de México.

2. Marco teórico

2.1 Estructura y dinámica de los complejos de subducción

Los complejos de subducción son la evidencia material preservada de zonas de subducción antiguas (p.ej. Polonia et al., 2011; Wakabayashi, 2015). Su correcto estudio nos permite comprender los procesos tectónicos que modelaron la Tierra en el pasado (Peacock, 2020; Stern, 2002). Por ello, a continuación se presenta una síntesis del estado de conocimiento de la arquitectura y dinámica de las zonas de subducción.

Arquitectura de las zonas de subducción

Los **márgenes convergentes** son sitios donde dos placas se aproximan entre sí y su expresión puede ser kilométrica (Figura 1 A). Por su parte, la **zona de subducción** se refiere estrictamente a la región próxima al hundimiento de una placa bajo la otra (Figura 1B). Los elementos arquitectónicos que constituyen una zona de subducción son:

1. **Placa inferior.** Aquella que será subducida. En el caso de una subducción oceánica esta placa es una losa diferenciada compuesta de abajo hacia arriba por manto litosférico, corteza oceánica y sedimentos; por otro lado, si la subducción es continental esta placa será en principio corteza continental (Stern, 2002; Zheng et al., 2016).
2. **Placa superior.** Aquella que cabalga a la placa inferior. Esta porción rígida de corteza será sometida a intensa deformación, engrosamiento, metamorfismo de gradiente medio, y el desarrollo del arco y/o la cuenca de trasarco, si los hay (Stern, 2002).
3. La **trinchera** es una gran depresión de profundidad variable que se forma entre las dos placas como producto de una subducción oceánica (Le Pichon et al., 2013).
4. **Canal de subducción.** Capa de interfase entre la cima de la placa que subduce y la base de la placa superior (Shreve y Cloos, 1986). Esta capa está compuesta por un conjunto de bloques rígidos embebidos en una matriz dúctil, conformando un típico melange; con base en la composición de la matriz se hace distinción entre los canales de subducción de tipo serpentinitico y tipo metasedimentario (Zhang, 2020). La estructura de los canales está altamente controlada por la naturaleza del material que ingresa, por lo que habrá diferencias entre los canales de subducción oceánicos y continentales (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación estructural y composicional para los canales de subducción oceánicos y continentales (Zhang, 2020).

	Continental	Oceánico
Materiales de entrada	Basamento cristalino y material supracortical (rocas sedimentarias o volcánicas)	Rocas sedimentarias y bloques de corteza oceánica
Composición en profundidad	Gneises intercalados con eclogitas y peridotita granatífera.	Bloques de eclogita y esquisto azul en una matriz de serpentinita o metasedimento.
Espesor del	>10 km o incluso >30 km	<5 km
Profundidad	150 km	80 km
Tasa de exhumación	>10 km/Ma	1-5 km/Ma

5. El **"Inlet"** o entrada es el lugar por donde ingresa material al canal de subducción, controlando así su suministro y el patrón de flujo. (Zhang, 2020).
6. El **prisma de acreción** es una estructura que se anexa a la placa superior en zonas de subducción oceánicas, cuando el suministro de sedimento excede la capacidad del canal. (Stern, 2002).

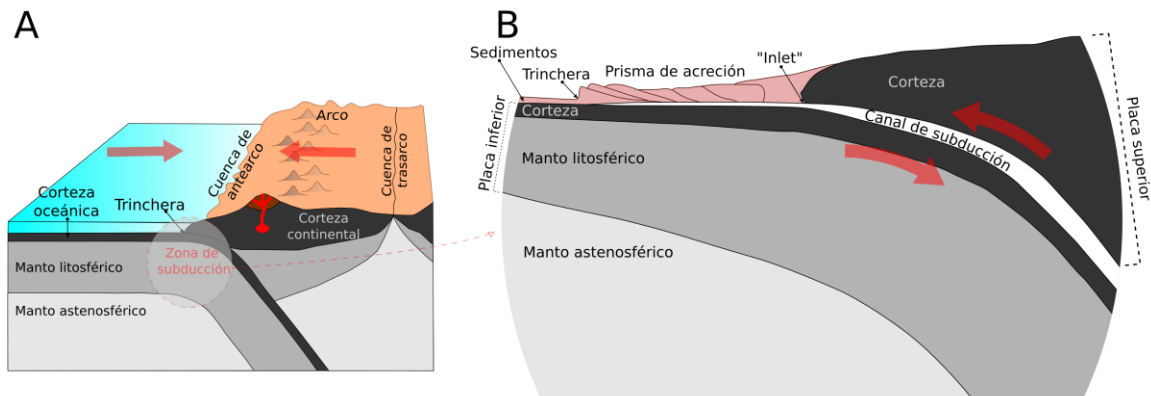


Figura 1. Esquema de arquitectura de (A) un margen convergente y (B) una zona de subducción. Para ambos casos se representa la subducción de litósfera oceánica bajo litósfera continental. Flechas rojas indican el sentido de movimiento de las placas. Modificado de (A) USGS (2016) y (B) Agard et al. (2018).

Estructura térmica

Como consecuencia de la subducción de material litosférico a profundidades del manto, las zonas de subducción se caracterizan por tener una estructura térmica fría. Esta estructura se hizo evidente por el reconocimiento de flujo de calor bajo en las zonas de antearco, sismos muy profundos (hasta 50 km), una zona sísmica rápida en la superficie de la litosfera que subduce, y la ocurrencia de rocas metamórficas formadas a gradientes geotérmicos bajos (Maekawa et al., 1993; Peacock, 1996; Tichelaar y Ruff, 1993; Zhao, 2001). Estudios de modelación sugieren que la estructura térmica de las zonas de subducción está controlada por variables como: la edad de la placa que subduce, la tasa de convergencia, la geometría de la subducción, el calentamiento por cizalla, la convección inducida en el manto, la entalpía de las reacciones metamórficas, la migración de fluidos y el calentamiento por radiación (Figura 2); sin embargo, algunas variables aún no están completamente comprendidas (Abers et al., 2020; England, 2018; Peacock, 2020; Syracuse et al., 2010).

Clasificación

Con respecto a la estructura geológica se han definido dos tipos contrastantes de zonas de subducción, las zonas tipo Pacífico y tipo Alpino. Estas dos clases representan dos miembros finales con una gran cantidad de configuraciones tectónicas intermedias (Ernst, 2005).

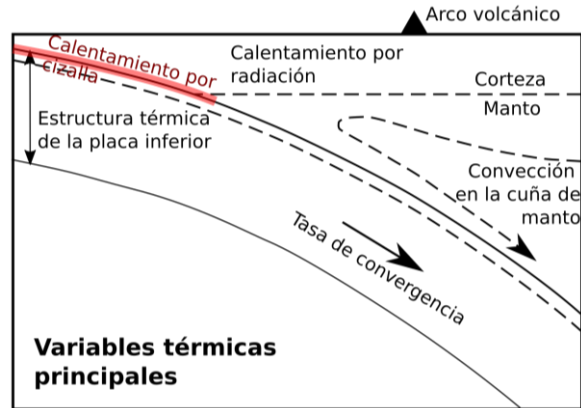


Figura 2 Sección transversal esquemática muestra las variables térmicas principales que determinan la estructura térmica de una zona de subducción como se aproxima por modelos numéricos cinemáticos-dinámico. Modificado de Peacock (2020).

Zona de subducción: tipo Pacífico

Son aquellas donde la placa inferior es oceánica (Figura 3A) y se caracterizan por producir magmatismo, evidencias de metamorfismo de alta presión, gradientes geotérmicos bajos, canales de subducción estrechos (<5 km) y poco profundos (<80 km), y velocidades de exhumación no mayores a 5 km/Ma; sus terrenos metamórficos están compuestos por complejos oceánicos acrecionados, que incluyen eclogitas oceánicas, esquistos azules, serpentinitas, metagrauvaca, silexita y carbonatos abisales (Zhang, 2020; Zhang y Wang, 2020). Este tipo de subducción fue nombrado previamente como tipo cordillerano (p.ej. Coney et al., 1980; Zwart, 1967, 1969), tipo B (p.ej. Bally, 1981; Maruyama et al., 1996), tipo oceánico (p.ej. Erdman y Lee, 2014; Song et al., 2006), tipo Miyashiro (Maruyama, 1997) y tipo acrecional (p.ej. Coney, 1987, 1992; Guillot et al., 2009; Zheng et al., 2016; Zheng y Chen, 2017).

Las zonas de tipo Pacífico pueden a su vez subdividirse en tipo Marianas y tipo Andes, con respecto a la naturaleza de la placa que subduce (Figura 3). En cuanto al canal de subducción, con base en su composición se cataloga como zona acrecional-oceánica: tipo canal serpentinitico y tipo canal metasedimentario. (Stern, 2002; Zhang, 2020; Zheng et al., 2016; Zheng y Zhao, 2017).

Zona de subducción: tipo Alpino

Este tipo de zonas representan convergencia de dos placas continentales con la subducción de una bajo la otra (Figura 3B). Se caracterizan por ausencia de magmatismo, metamorfismo regional en gradientes geotérmicos bajos a muy altas profundidades, formación de rocas metamórficas de alta y ultra alta presión, canales de subducción potentes (10-30 km) y profundos (hasta 120 km), y velocidades de exhumación mayores a 10 km/Ma. Los terrenos metamórficos de este tipo se caracterizan por la ocurrencia de lentes de eclogita hospedados en ortogneises y paragneises (Zhang, 2020; Zhang y Wang, 2020; Zheng et al., 2016; Zheng y Zhao, 2017). Este tipo de zonas han recibido distintos nombres, tales como: tipo A (p.ej. Bally, 1981; Maruyama et al., 1996), tipo turco

(Şengör y Natal'in, 1996), tipo continental (p.ej. Guillot et al., 2009; Song et al., 2006) y tipo colisional (p.ej. Dewey y Kidd, 1974; Dewey y Burke, 1973; Zheng et al., 2016; Zheng y Chen, 2017).

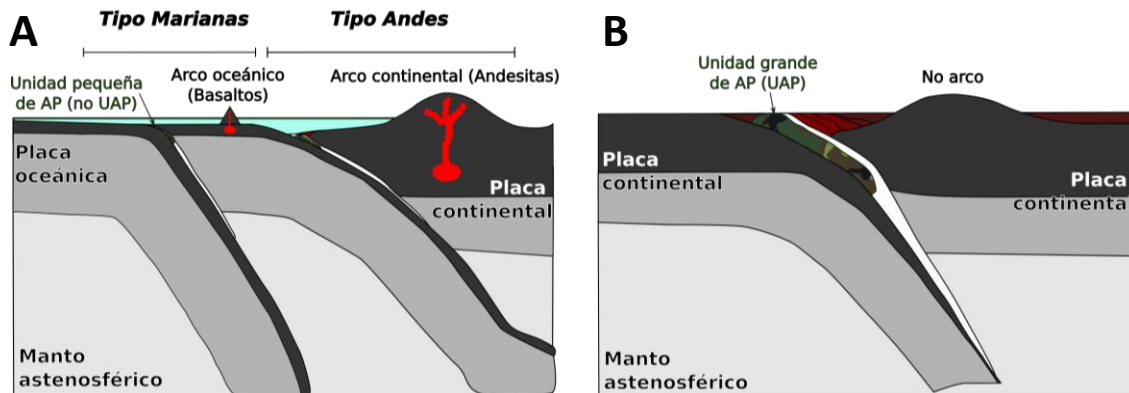


Figura 3 Diagrama esquemático de la clasificación de las zonas de subducción. (A) Zona de subducción oceánica tipo Pacífico. (B) Zona de subducción continental Tipo Alpino. AP: Alta presión, UAP: Ultra alta presión; elementos arquitectónicos con la simbología de la Figura 1.

Dinámica de los complejos de subducción

1. Ingreso de material litosférico:

El material que ingresa al canal de subducción puede provenir de distintas fuentes, como la placa inferior, la placa superior, el prisma de acreción e incluso de la cuña del manto. El material aportado por la placa inferior dependerá del tipo de subducción, siendo fragmentos de rocas oceánicas (gabroideas, serpentiniticas y sedimentarias) en zonas de tipo Pacífico, y fragmentos de rocas continentales (graníticas, metamórficas, sedimentarias y/o volcánicas) en zonas de tipo Alpino. El material proveniente de la placa superior, el prisma de acreción, y la cuña del manto será basamento cristalino, sedimentos y serpentina, respectivamente, removidos por medio de **erosión por subducción** (Stern, 2011; Straub et al., 2020).

2. Transformación

El material subducido será sometido a diferentes tipos de interacciones físicas y químicas como metamorfismo, deshidratación, fusión parcial, metasomatismo y reciclaje (Zheng y Zhao, 2017).

Metamorfismo. Las rocas que ingresan al canal de subducción serán conducidas por un gradiente geotérmico bajo (5–10 °C/km), y se someterán a un metamorfismo de tipo Alpino siguiendo la serie de facies zeolita → prehnita-pumpellita → esquistos azul → eclogita (p. ej. Fazio, Cirrincione, y Pezzino, 2008; Zheng y Chen, 2017; Figura 4). Dentro del metamorfismo tipo alpino se distingue el metamorfismo de **alta presión (AP)**, que engloba a la facies esquistos azul y parte de la facies eclogita, y el metamorfismo de **ultra alta presión (UAP)**, que comprende gran parte de la facies eclogita (Zheng y Chen, 2017; Figura 4).

A medida que el material es metamorfoseado su densidad incrementa dramáticamente, alcanzando valores tan altos como $3,1 \text{ g/cm}^3$ en metagranitos, $3,5 \text{ g/cm}^3$ en metapelitas y $3,6 \text{ g/cm}^3$ en metagabros (eclogitas), siendo estos cercanos o mayores a la densidad del manto (Massonne et al., 2007; Wang et al., 2019; Zheng y Chen, 2017).

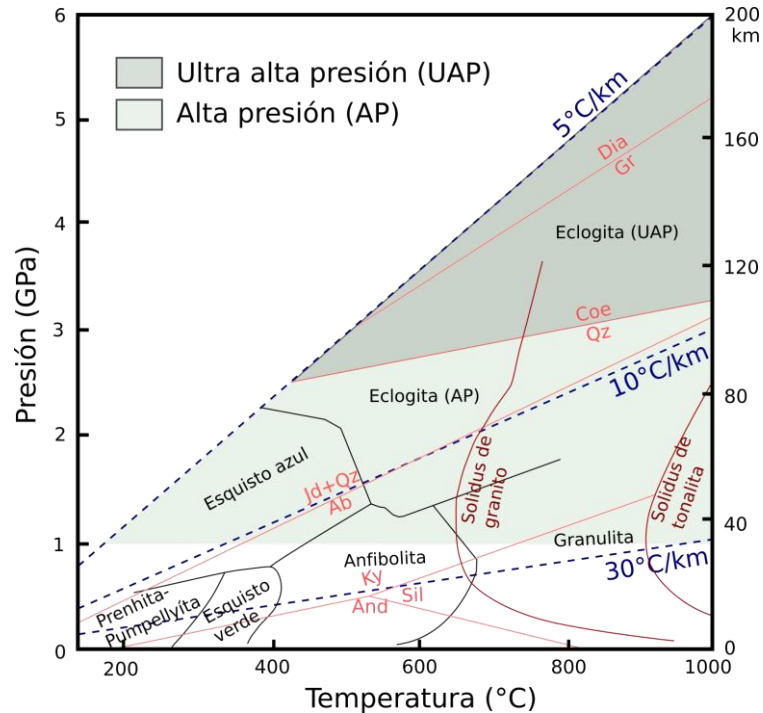


Figura 4 Diagrama de facies metamórficas y estabilidad de fases minerales en el metamorfismo de tipo Alpino. Líneas punteadas azules indican gradientes geotérmicos. Líneas sólidas de color naranja representan reacciones metamórficas de interés en el estudio de la alta presión. Modificado de Zheng y Chen (2017)

Generación y circulación de fluidos. A la zona de subducción ingresan fluidos en forma de agua intersticial en los sedimentos y como agua molecular en algunos minerales; los primeros son expulsados a profundidades someras, mientras los segundos son liberados continuamente como consecuencia de las reacciones metamórficas de deshidratación (Zheng et al., 2016; Zheng y Hermann, 2014). Una parte de los fluidos liberados queda contenida en el canal de subducción, mientras otra porción es transportada en dirección de la cuña del manto, donde interactúa con las peridotitas mediante procesos de hidratación y metasomatismo. (Bebout, 2013; Corgne et al., 2018; Grove et al., 2012; Zheng et al., 2016).

Reciclaje en el manto. Gran parte del material que ingresa al canal de subducción será reciclado a profundidad en el manto, siendo fuente de fluidos y agentes químicos, que inducirán la conocida "heterogeneidad del manto" (Anderson, 2006; Zheng y Zhao, 2017).

3. Exhumación

Los complejos de subducción son los testigos tangibles que tenemos de los procesos que ocurren a profundidad, sin embargo, su exhumación es un evento poco frecuente que solo ocurre durante perturbaciones de la subducción (Agard et al., 2009). La exhumación de rocas profundamente subducidas es un proceso controlado por muchos factores físicos y dinámicos, tales como: la formación de una zona de desprendimiento, las propiedades reológicas del canal de subducción, las fuerzas de movimiento (flotabilidad de los bloques y fuerzas tectónicas externas), y cambios significativos en la configuración tectónica (p.ej. desprendimiento o retroceso de la placa inferior) (Gerya et al., 2002; Guillot et al., 2009; Liu y Zhang, 2020; Warren, 2013; Zhang, 2020; Zhang y Wang, 2020).

Se han propuesto numerosos mecanismos de exhumación para los terrenos metamórficos de AP y UAP; a continuación, se presenta un resumen de aquellos más discutidos:

- (1) Flujo de canal. Propone que el movimiento del material en el canal de subducción está controlado por un flujo de subducción y un flujo de exhumación, siendo este último el responsable del ascenso de los bloques a superficie (Gerya et al., 2002; Zheng et al., 2013).
- (2) Exhumación diapírica. Este modelo propone que la cuña del manto será debilitada al hidratarse, permitiendo el ascenso vertical del material metamórfico a través del manto y su exhumación en la placa superior. (Erdman y Lee, 2014; Liu et al., 2017)
- (3) Flujo de canal y exhumación diapírica: Los dos mecanismos recién explicados pueden entenderse como dos miembros finales de un espectro completo, donde la variable que definirá cual prima es la estructura térmica de la zona de subducción. En tal sentido, como esta estructura térmica fluctúa conforme la zona de subducción evoluciona, ambos mecanismos pueden coexistir (Liu et al., 2017; Peacock, 2020).
- (4) Educción. Mecanismo que explica la exhumación de grandes terrenos metamórficos de UAP como un producto de la reversión del sentido de movimiento entre las placas (Andersen et al., 1991).
- (5) Historia petrotectónica variable. Es común que diferentes bloques en un mismo terreno de AP o UAP registren de más de un pico metamórfico, y esto puede tener al menos dos explicaciones: (1) la exhumación conjunta de unidades con historias petrotectónicas distintas (p.ej. Blanco-Quintero et al., 2011; Federico et al., 2007; Li et al., 2020); (2) la ocurrencia de múltiples etapas de subducción-exhumación (p.ej. Cutts et al., 2019).

2.2 Metamorfismo de alta presión en rocas pelíticas

Las rocas metapelíticas han sido clave para el estudio del metamorfismo, desde la definición del concepto de zonas metamórficas en el siglo XIX (Barrow, 1912, 1893), hasta la actualidad (p.ej. Likhanov, 2019; Yang et al., 2020; Wen y Tian, 2021). A continuación, se presentan los cambios mineralógicos principales durante el metamorfismo de alta presión de estas rocas (Figura 5):

Facies *Prenhita-Pumpellita*. Formación de micas blancas (fengita y paragonita) y cloritas (sudaíta) a expensas de los minerales arcillosos del protolito (Lanari et al., 2014; Livi et al., 2008). Con esto, las rocas metapelíticas en esta facies están compuestas por cuarzo, fengita, paragonita, clorita, albita y/o titanita (p.ej. Baziotis et al., 2019; Cruz et al., 2006).

Facies esquisto-azul. La formación de la jadeíta a partir del rompimiento de la albita (Holland, 1980). Formación de la carpholita a partir de la reacción sudoita + cuarzo, a presiones entre 0.6–0.8 GPa (Vidal et al., 1992). Cristalización del cloritoide a partir del rompimiento de la carpholita rica en hierro a temperaturas mayores de ~300°C (Pourteau et al., 2014; Song et al., 2007). Así, las asociaciones minerales de interés en facies esquisto azul son: clorita + jadeíta (Okay y Kelley, 1994), cloritoide + jadeíta (Lü et al., 2012; Okay, 2002), cloritoide + carpholita (Agard et al., 2001; Pourteau et al., 2014), y cloritoide + glaucofana (Du et al., 2011; López - Carmona et al., 2013); en compañía de cuarzo, paragonita, fengita, pirofilita, clorita, albita/jadeíta, epidota/lawsonita, y fases accesorias como titanita, rutilo, apatito y/o turmalina.

Facies eclogita. Las principales transformaciones minerales en la facies eclogita (Figura 5) son:

- Cristalización inicial de **granate** a 450°C, y su continuo crecimiento como consecuencia de múltiples reacciones como: plagioclasa + clorita, rompimiento de la clorita, onfacita + clorita, rompimiento de la onfacita, clorita + jadeíta, y el rompimiento del cloritoide (Arenas et al., 2020; Wei y Powell, 2006; Xia y Zhou, 2017).
- Estabilidad de la **onfacita** en metapelitas ricas en sodio a temperaturas entre ~500–620°C y presiones ~1.2–2.5 GPa. Puede formarse por las reacciones: granate + clorita + plagioclasa, o plagioclasa + glaucofana, y romperse para formar cianita + jadeíta (Wei y Powell, 2006).
- Cristalización inicial de **cloritoide** a los ~350°C por el rompimiento de clorita y/o carpholita, su enriquecimiento en magnesio con el aumento de la temperatura, y su ruptura a ~600°C (Wei y Powell, 2006).
- Formación de la **cianita** a temperaturas entre 500 y 600 °C, a partir del rompimiento de diversos minerales como carpholita, cloritoide, granate y clorita (Li et al., 2021; Rahimi y Massonne, 2020; Wei y Powell, 2006).
- Formación de **talco** en rocas pelíticas ricas en magnesio a presiones mayores de ~1.7 GPa y temperaturas mayores de ~530°C, como producto de rompimiento de cloritoide, clorita y/o carpholita (Bucher y Grapes, 2011; Wei y Powell, 2006); esta fase es estable hasta muy altas condiciones P–T (Pawley y Wood, 1995).
- La transformación polimórfica de cuarzo a **coesita** a presiones de ~2.7 GPa; con dificultad este mineral se preserva durante la exhumación, sin embargo, se pueden encontrar inclusiones de coesita en granate (p.ej. Bi et al., 2020; Gonzalez et al., 2021).
- Transformación polimórfica de grafito a diamante a presiones mayores de 3 GPa (Sonin et al., 2019).

A partir de esto, algunas asociaciones minerales reciben particular interés al ser estables en condiciones acotadas de P–T. La asociación granate + cloritoide es estable a temperaturas entre 400–600 °C (p.ej. Gabriele et al., 2004; Maldonado et al., 2016), y representa un potencial geobarómetro en rocas de alta presión (Bucher y Grapes, 2011). La asociación cianita + talco (con fengita, granate, cuarzo/coesita, jadeíta, paragonita y/o glaucofana) define los llamados esquistos blancos (p.ej. Schreyer, 1973; Adjerid et al., 2015; Marger et al., 2019). Acompañando a estas distintas asociaciones se encuentran fases minerales accesorias como: rutilo, monacita, xenotima, apatito y/o circón, de gran interés petrológico y petrocronológico.

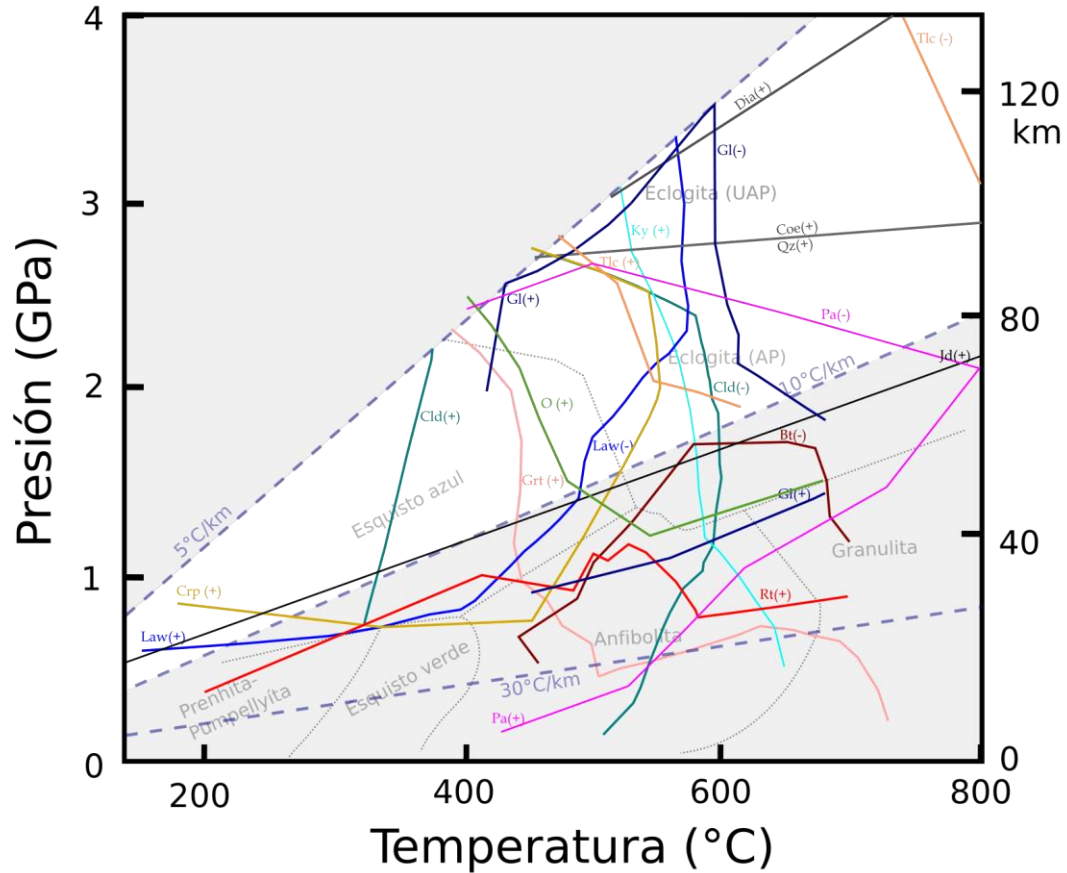


Figura 5 Diagrama esquemático de fases en el espacio PT para el metamorfismo de alta presión y baja temperatura de rocas metapelíticas. Las líneas de colores representan los campos de estabilidad de las fases minerales mayores; las líneas punteadas azules indican gradientes geotérmicos; las líneas punteadas grises delimitan las facies metamórficas. Bt: biotita, Cld: cloritoide, Coe: coesita, Crp: carpholita, Dia: diamante, Gl: glaucofana, Grt: granate, Jd: jadeita, Ky: cianita, Law: lawsonita, O: onfacita, Pa: paragonita, Qz: cuarzo, Rt: rutilo, Tlc: talco. Fuente: Arenas et al., (2020); Cruciani et al., (2013); Hoschek et al., (2010); B. Li et al., (2021); Maldonado et al., (2016, 2018); Proyer, (2003); Rahimi y Massonne, (2020); Ren et al., (2021); S. G. Song et al., (2007); Wei y Powell, (2006); Zhou et al., (2019).

2.3 Petrocronología en metapelitas de alta presión

La petrocronología busca conciliar la obtención de edades isotópicas con la petrología, vinculando así los procesos formadores de rocas a una temporalidad; para ello, se realizan estudios termométricos, geoquímicos y cronológicos integrados en distintas fases minerales, como son el granate, rutilo y circón.

Granate

El granate es ampliamente reconocido por su alto potencial petrológico y geocronológico, al ser un mineral cuyo crecimiento semicontinuo queda registrado en su zoneamiento químico y textural, representando así un registro casi continuo tanto de las condiciones tectonometamórficas como

de la temporalidad de su cristalización (Atherton y Edmunds, 1966; Cheng, 2019; Hollister, 1966; Kohn, 2003; Xia y Zhou, 2017). Los granates metamórficos se pueden entender como una solución sólida ($X_3Al_2Si_3O_{12}$) entre los miembros extremos: almandino, piropo, grosularia y espesartina, donde la posición cristalina cúbica X está ocupada por Fe^{2+} , Mg, Ca y Mn, respectivamente (Spear, 1993). Durante su crecimiento su composición podrá variar en función de factores como: P, T y X (composición del sistema), resultando en un perfil variable de núcleo a borde. Para empezar, se ha observado un decrecimiento de Sps ($Mn/(Fe^{2+} + Mg + Ca + Mn)$), junto a un incremento de Prp ($Mg/(Fe^{2+} + Mg + Ca + Mn)$) y X_{Mg} ($Mg/(Fe^{2+} + Mg)$) durante la etapa prógrada del metamorfismo (p.ej. Dempster et al., 2019). Por otro lado, la variación de Alm ($Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg + Ca + Mn)$) y Grs ($Ca/(Fe^{2+} + Mg + Ca + Mn)$) se encuentra controlada por factores adicionales como: la trayectoria PT exacta, la reactividad de otras fases que compiten por los elementos (como plagioclasa por el Ca, o biotita por el Fe), y los cambios en las asociaciones minerales (Xia y Zhou, 2017); sin embargo, se ha observado una tendencia de incremento de Grs relacionada a un aumento de presión durante la subducción (p.ej. Likhonov, 2019). Pese al potencial del registro químico del granate, algunos procesos como la difusión (a altas temperaturas) pueden modificar la composición de los perfiles, causando incluso su aplanamiento (Chu y Ague, 2015). El potencial petrológico del granate ha llevado al desarrollo de numerosas metodologías enfocadas en la correcta lectura de su registro, tales como: (1) termómetros basados en reacciones de intercambio (p.ej. GM; Wu y Zhao, 2006); (2) barómetros basados en reacciones de transferencia de masa (p.ej. GMPQ; Wu y Zhao, 2006); y el (3) desarrollo de modelos de inversión para calcular trayectorias PT a partir del zoneamiento geoquímico del granate (p.ej. Engi et al., 2017). Con esto, el granate representa un mineral de alto valor para el estudio petrológico de las rocas metapelíticas de alta presión.

Rutilo

El rutilo es un mineral metamórfico que se forma en condiciones de alto grado y mediana a alta presión, a partir del rompimiento de alguna fase mineral rica en titanio (p.ej. biotita; Luvizotto et al., 2009; Luvizotto y Zack, 2009), o por medio de una reacción metamórfica (p.ej. GRAIL; Frost y Lindsley, 1991). El rutilo es en principio TiO_2 , sin embargo, este mineral actúa como sumidero (hasta 90% del contenido total de la roca) de Nb, Sb, Ta y W, así como es importante portador (5–45% del contenido total de la roca) de V, Cr, Mo y Sn (Zack et al., 2002); con ello, el rutilo presenta un alto potencial para estudios de procedencia (p.ej. Meinhold et al., 2008; Pereira et al., 2021; Triebold et al., 2012) y de diferenciación del manto (p.ej. Gao et al., 2014). En adición, se ha observado que la concentración de Zr en el rutilo es altamente dependiente de la temperatura, lo que ha permitido la construcción y aplicación del termómetro Zr en rutilo (cuya calibración más reciente es presentada por Kohn (2020)) para estimar temperaturas de pico metamórfico (p.ej. Cutts et al., 2019; Maldonado et al., 2018; Rezvukhina et al., 2021). Finalmente, el alto contenido de U (>100ppm) hace del rutilo un mineral de interés para la geocronología, sin embargo, la lenta difusión del plomo en el rutilo (Cherniak, 2000) no permite definir una temperatura de cierre, sino un perfil de temperatura de cierre (Dodson, 1986), donde el valor en el núcleo será dependiente del tamaño de los cristales y de la tasa de enfriamiento (Zack y Kooijman, 2018). Trabajos previos han estimado la temperatura de cierre en el núcleo entre 420°C (Mezger et al., 1989) y 640°C (Kooijman et al., 2010), mientras algunos otros proponen el uso de una temperatura cierre de frontera $T_c(O)$ de 450–500°C (Vry y Baker, 2006).

Circón

El circón es la fase mineral más utilizada en el mundo de la petrocronología por su alto potencial como geocronómetro y trazador de procesos genéticos (p.ej. Brown et al., 2021; Costa et al., 2022). Durante el metamorfismo, la formación de circones puede estar asociada a: la modificación de circones del protolito (por transformaciones en estado sólido, alteración metasomática y/o procesos de disolución-reprecipitación); o a la neocrystalización de circón como pequeños granos anhedrales o como sobrecrecimientos alrededor de circones del protolito (Chen et al., 2010; Chen y Zheng, 2017; Xia et al., 2009; Zheng et al., 2007; Zheng y Hermann, 2014). Se ha documentado que la formación de circones metamórficos puede ocurrir en un amplio rango de condiciones P–T durante las diferentes etapas del metamorfismo (p.ej. Gao et al., 2011), generando una complejidad textural en los cristales, donde se pueden observar múltiples dominios de crecimiento. El circón se ha descrito esencialmente como $ZrSiO_4$, sin embargo, este puede contener trazas como el U, Th, elementos de tierras raras (REE), Y, y elementos de alta intensidad de campo (HFSE), cuya incorporación es sensitiva a las condiciones de crecimiento del mineral (Chen y Zheng, 2017). La razón elemental Th/U ha sido utilizada para diferenciar circones magmáticos (valores >0.1) de metamórficos (<0.1); sin embargo, factores como la temperatura y la presencia (o ausencia) de fases ricas en Th pueden derivar en circones metamórficos con $Th/U > 0.1$, por lo que este criterio debe usarse con precaución (Harley et al., 2007; Yakymchuk et al., 2018). Por otro lado, el crecimiento coetáneo de ciertas fases minerales (p.ej. granate, plagioclasa o epidota) puede controlar el contenido de los elementos traza en el circón, por ejemplo: un circón que crece en conjunto con plagioclasa se verá empobrecido en Eu (p.ej. Kohn, 2016; Poulaki et al., 2021); un circón empobrecido en REE pesadas (Dy-Lu) puede sugerir el crecimiento simultáneo de granate (p.ej. Rubatto, 2017); la formación de fases como titanita, alanita o monacita resultará en la formación de circones empobrecidos en REE ligeras (La-Nd) (p.ej. Chen y Zheng, 2017). De igual importancia, la relación observada entre la concentración de Ti en los circones y su temperatura de cristalización ha permitido calibrar el termómetro Ti-en-circón (Ferry y Watson, 2007), una herramienta ventajosa para la resolución de trayectorias P–T–t. Por último, el enriquecimiento de U y Th en los circones, así como su capacidad de registrar múltiples etapas de crecimiento, han convertido a este mineral en un candidato ideal para la datación de eventos geológicos (Rubatto, 2017). De este modo, el estudio petrocronológico del circón metamórfico representa una oportunidad para comprender la temporalidad de los eventos tectonotérmicos, así como algunas condiciones que controlaron el crecimiento del mineral.

3. Contexto geológico

3.1 Terreno Mixteco

El terreno Mixteco (Figura 6 A), definido inicialmente por Sedlock et al. (1993), registra fragmentos de la historia evolutiva del Océano Rheico durante el Paleozoico, la deposición de sedimentos epicontinentales durante el Mesozoico, y la cercanía a algún arco durante el Cenozoico (Keppie et al., 2012; Sedlock et al., 1993). Este terreno está limitado al este por la Zona de Falla de Caltepec, un límite tectónico que lo pone en contacto con el terreno Zapoteco a través de una estructura transpresiva dextral del Pérmico (Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 2002). Al occidente, el terreno Mixteco cabalga sobre la plataforma Guerrero-Morelos a través de la falla de Papalutla del Cretácico Tardío (Cerca et al., 2007, 2004; Ramos-Arias et al., 2012). El límite sur está representado por la zona de falla Chacalapa-La Venta, un complejo milonítico con sentido de cizalla sinistral cenozoico que lo yuxtapone con el terreno Xolapa (Riller et al., 1992; Tolson, 2005). Finalmente, el norte del terreno Mixteco se encuentra cubierto discordantemente por rocas volcánicas neógenas del Cinturón Volcánico trans-Mexicano (Ferrari et al., 1999).

Litológicamente, el terreno Mixteco se encuentra constituido por un basamento cristalino conformado por los complejos Acatlán y Ayú, cubiertos por una serie de unidades del Paleozoico–Mesozoico.

Complejo Acatlán. Complejo polimetamórfico paleozoico que representa el basamento cristalino del Terreno Mixteco (Figura 6 B; Keppie et al., 2008; Meza-Figueroa et al., 2003; Ortega-Gutiérrez, 1978; Ortega-Gutiérrez et al., 1999; Vega-Granillo et al., 2007; Yanez et al., 1991), es la unidad de interés del presente trabajo y será descrito a detalle en la sección 3.2 Complejo Acatlán.

Complejo Ayú. Complejo metamórfico polideformado definido formalmente por Helbig et al. (2012), compuesto por el Litodema Chazumba y por la Migmatita Magdalena. Inicialmente se asignó una edad mesozoica a la unidad, sin embargo, datos obtenidos recientemente permitieron proponer que el protolito sedimentario de este complejo constituye una unidad paleozoica afín al Complejo Acatlán (Helbig et al., 2012; Ortega-Gutiérrez et al., 2022)

Depósitos de periarco paleozoicos. Unidades metasedimentarias de bajo grado que cubren con una marcada relación de inconformidad angular al Complejo Acatlán. A este grupo pertenecen la Formación Patlanoaya del Pensilvánico tardío-Pérmico temprano; la Formación Tecomate del Pensilvánico tardío-Pérmico medio (Keppie et al., 2004a); y la Formación Matzitzi del Pérmico tardío (Juárez-Zúñiga et al., 2021; Martini et al., 2021).

Unidades sedimentarias epicontinentales mesozoicas. Se superponen al Complejo Acatlán y a los depósitos paleozoicos; entre estas se encuentran: ignimbrita de aparente edad triásica; niveles jurásicos compuestos por intercalaciones de arenitas, conglomerados y limolitas, con capas menores de carbón y carbonatos; y unidades cretácicas calcáreas intercaladas con rocas clásticas marinas y niveles de yeso (Morán-Zenteno et al., 1993).

Unidades cenozoicas. Depositadas sobre las unidades paleozoicas y mesozoicas se encuentran unidades sedimentarias paleógenas de conglomerados, arenitas y limolitas; unidades volcánicas y volcanoclásticas del Oligoceno; y depósitos lacustres del Mioceno-Plioceno (Sedlock et al., 1993).

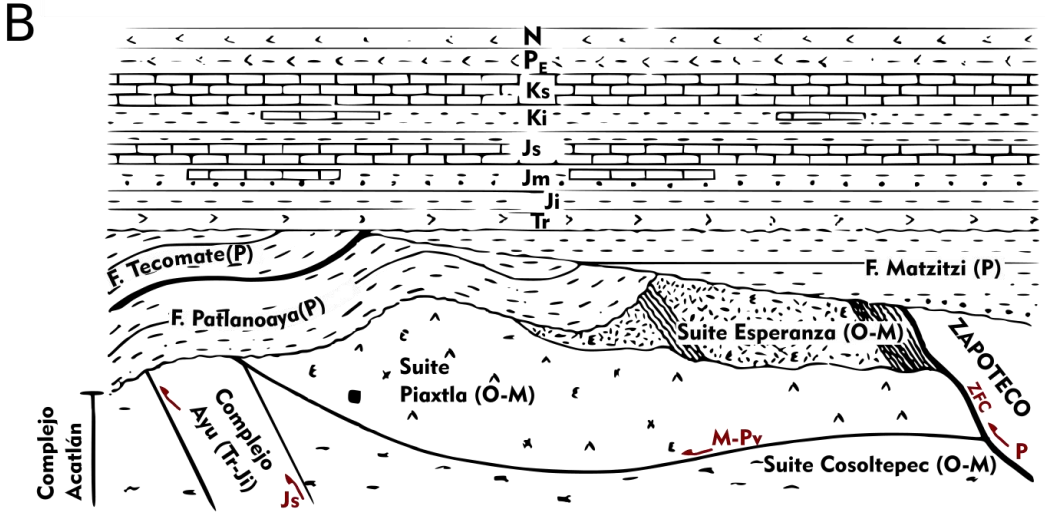
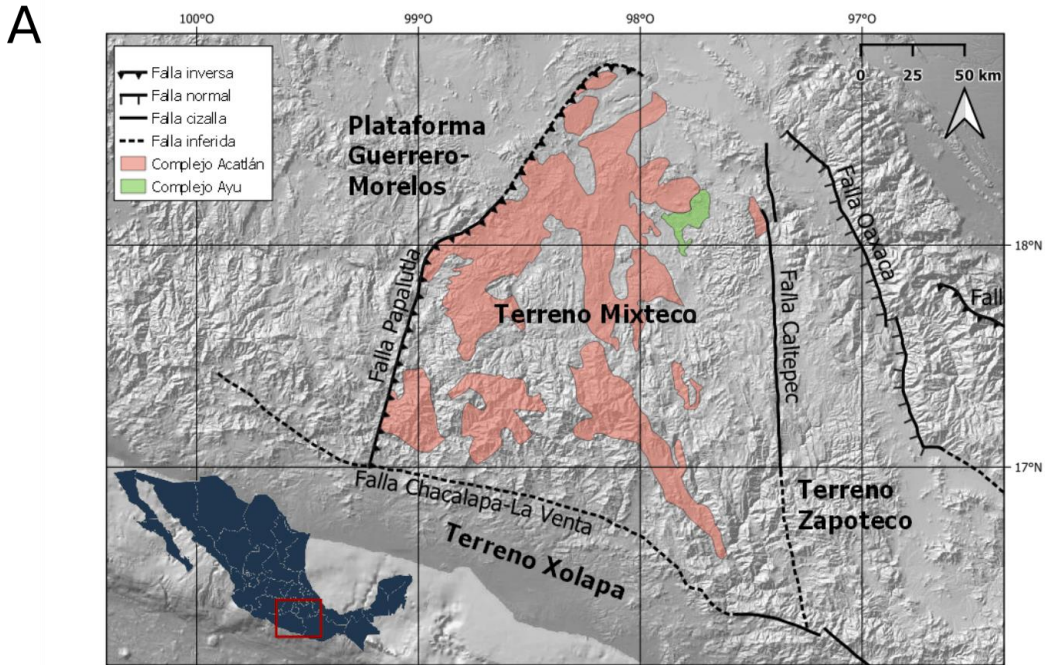


Figura 6. Terreno Mixteco. (A) Ubicación y delimitación de este terreno; sistema de coordenadas WGS-84. (B) Sección tectonoestratigráfica del Terreno Mixteco; modificada de Sedlock et al. (1993). O: Ordovícico, M: Misisípico, Pv: Pensilvánico, P: Pérmico, Tr: Triásico, Ji: Jurásico inferior, Jm: Jurásico medio, Js: Jurásico superior, Ki: Cretácico inferior, Ks: Cretácico superior, Pe: Paleógeno, N: Neógeno, ZFC: Zona de fallas de Caltepec.

3.2 Complejo Acatlán

El Complejo Acatlán, localizado en el estado de Puebla, registra múltiples eventos orogénicos sobrepuestos relacionados con la apertura y cierre del océano Rheico (Ortega-Gutiérrez et al., 2018). De manera general, su litología se observa como un ensamble de unidades metasedimentarias y metagraníticas, con niveles menores de metabasitas. El metamorfismo de estas unidades varía desde la facies esquistos verde hasta la facies eclogita (Galaz et al., 2013;

Keppie et al., 2012; Middleton et al., 2007; Miller et al., 2007; Murphy et al., 2006; Ortega-Gutiérrez, 1978; Ortega-Gutiérrez et al., 2018; Ramos-Arias et al., 2012; Vega-Granillo et al., 2007). Múltiples propuestas para la sistemática del Complejo Acatlán han sido presentadas, siendo dividido hasta en 7 suites distintas (p.ej. Talavera-Mendoza et al., 2005; Vega-Granillo et al., 2007, 2009). En la presente descripción, nos acogemos a la propuesta de seccionar el complejo Acatlán en dos ensambles de grado metamórfico contrastante: uno de bajo grado que incluye a la Suite Cosoltepec y al Litodema El Rodeo, y uno de alto grado que contiene a las suites de alta presión Esperanza y Piaxtla (Figura 7; Keppie et al., 2008).

3.2.1 Unidades de bajo grado

Suite Cosoltepec. Comprende cerca del 70-80% de las exposiciones del Complejo Acatlán, y consiste de una intercalación de cuarcitas y filitas de bajo grado metamórfico (facies subesquistoso verde a esquistoso verde), con un menor contenido de capas volcanoclásticas y lajas tectónicas aisladas de basaltos almohadillados en facies prehnita-pumpellita. Incluidos en esta secuencia se encuentran un conjunto de granitos megacristalinos ordovícicos calcoalcalinos, entre los que resaltan los plutones La Noria, Los Hornos, Palo Liso (Galaz et al., 2013; Keppie et al., 2007; Miller et al., 2007; Ramirez-Espinosa, 2002). La porción metasedimentaria de esta suite representa un extenso registro estratigráfico, por lo que ha sido subdividida, con base en edades de circones detríticos, en múltiples unidades con litologías, estilos de deformación y grado metamórfico similares (Ortega-Gutiérrez et al., 2018). Los espectros de circones detríticos muestran edades en el rango Paleoproterozoico–Misisípico, con una edad máxima de depositación de 455–394 Ma. Algunas unidades de la Suite Cosoltepec (p.ej. unidades La Huerta y Amates) registran edades que sugieren una procedencia de fuentes Grenvillianas y Brasilianas (edades 900–750 Ma) de Gondwana, y una edad máxima de depositación ordovícica-silúrica temprana. Otras secuencias (e.g. unidad Cosoltepec) carecen de una fuente Brasiliana y su edad máxima de depositación corresponde al Devónico (Keppie et al., 2008, 2006; Morales-Gómez et al., 2008; Talavera-Mendoza et al., 2005). El ambiente de depósito de esta suite se ha interpretado como una trinchera de antearco (Ortega-Gutiérrez et al., 1999), un prisma acrecionario (Ramirez-Espinosa, 2002), o un rift peri-Gondwanico en el borde sur del Océano Rheico (Keppie et al., 2008).

Litodema El Rodeo. Secuencia pre-ordovícica expuesta en la parte norte del Complejo Acatlán. Está conformada por una intercalación de rocas metavolcánicas, cuarcitas y esquistos, afectadas en conjunto por un metamorfismo en facies esquistoso verde, e intruídas por un grupo de granitoides ordovícicos (476 ± 8 y 461 ± 7 Ma); la geoquímica e isotopía de la porción metavolcánica sugiere una afinidad tectónica con un ambiente de rift intra-arco (Ramirez-Espinosa, 2002; Talavera-Mendoza et al., 2005; Vega-Granillo et al., 2007).

3.2.2 Suites de Alta Presión

Suite Esperanza. Unidad compuesta por ortogneises (gneises augen) peraluminosos con firmas químicas continentales, que contienen xenolitos metasedimentarios y lentes de anfíbolita rica en granate (metaeclogitas). Estimaciones termobarométricas sugieren que esta suite experimentó metamorfismo en condiciones de facies eclogita (1.5–1.7 GPa, ~730–830 °C; Galaz et al., 2013;

Vega-Granillo et al., 2007); sin embargo, la temporalidad y duración de este metamorfismo no están claramente definidas. Los datos U-Pb en circón de estos ortogneises indican edades entre 471 y 440 Ma (Ortega-Gutiérrez et al., 1999; Sánchez-Zavala et al., 2004), que han sido interpretadas como la edad del pico metamórfico (Ortega-Gutiérrez et al., 1999), o como la edad de cristalización del protolito ígneo (Talavera-Mendoza et al., 2005). Edades ^{40}Ar - ^{39}Ar (430 Ma; Vega-Granillo et al., 2007) obtenidas para anfiboles en las metaeclogitas fueron inicialmente interpretadas como la edad de pico metamórfico. Sin embargo, Estrada-Carmona et al. (2016) refuta esta interpretación al describir el espectro de Ar como perturbado, y sugiere que las suites Esperanza y Piaxtla experimentaron un pico metamórfico coetáneo en el Misisípico.

Suite Piaxtla. Se observa como una intercalación metasedimentaria que contiene cuerpos lenticulares metabásicos, y se encuentra cortada por diques y plutones metagraníticos. Adicionalmente, la suite incluye cuerpos serpentiniticos relacionados espacialmente (Galaz et al., 2013; Keppie et al., 2012). En conjunto, estas litologías preservan asociaciones minerales formadas por metamorfismo de alta presión, aunque las condiciones y temporalidad de este metamorfismo aún no están bien definidas. Las estimaciones termobarométricas se han obtenido principalmente en la porción metabásica y se han mostrado bastante variables (Tabla 2), obteniendo presiones entre 0.9 y 2.2 GPa (con T en el rango 440–750 °C) para las eclogitas, entre 0.6 y 1.9 GPa (con T entre 200 y 505 °C) para los esquistos azules, y un único cálculo de 1.5–1.7 GPa (con T en el rango 730–786) en la porción metasedimentaria (Galaz et al., 2013; Hernández-Uribe et al., 2019; Meza-Figueroa et al., 2003; Middleton et al., 2007; Ramos-Arias et al., 2012; Vega-Granillo et al., 2007). En cuanto la temporalidad del metamorfismo, por un lado Vega-Granillo et al. (2007) sugieren tres eventos con base en dataciones sobre las secuencias sedimentarias y los cuerpos graníticos: (1) en la Suite Xayacatlán entre 490–477 Ma, (2) en la Suite Ixcamilpa entre el Ordovícico Tardío y el Silúrico Temprano, y un (3) en la Suite Esperanza en 430 Ma. Por otra parte, las edades U-Pb en circón, Sm-Nd y Lu-Hf en granate/roca total para las metaeclogitas, sugieren de manera consistente un único evento metamórfico Misisípico (~352Ma) (Elías-Herrera et al., 2007; Estrada-Carmona et al., 2016; Keppie et al., 2004b; Keppie et al., 2012; Middleton et al., 2007; Yanez et al., 1991).

Tabla 2 Síntesis de las condiciones PT calculadas previamente para las rocas de la Suite Piaxtla, Complejo Acatlán

Autor	Localidad	Tipo de roca	P (GPa)	T (°C)
Meza-Figueroa et al. (2003)	Piaxtla y Mimilulco	Eclogita	1.1–1.5	528–602
Middleton et al. (2007)	Asís	Eclogita	>1.4	650–750
Vega-Granillo et al. (2007)	Piaxtla, Mimilulco, Cuatlxatecoma	Eclogita	1.2–1.3	491–609
	Ixcamilpa	Esquisto azul	0.6–0.9	200–390
Ramos-Arias et al. (2012)	Ixcamilpa	Eclogita	0.9–1.6	440–550
		Esquisto azul	1.0–1.2	292–396
Galaz et al. (2013)	Tehuiztingo	Metapelitas	1.5–1.7	730–786
Hernández-Uribe et al. (2019)	Piaxtla	Eclogita	~2.2	~690
	Las Minas	Esquisto azul	~1.9 (o ~1.3)	~505 (o ~480)

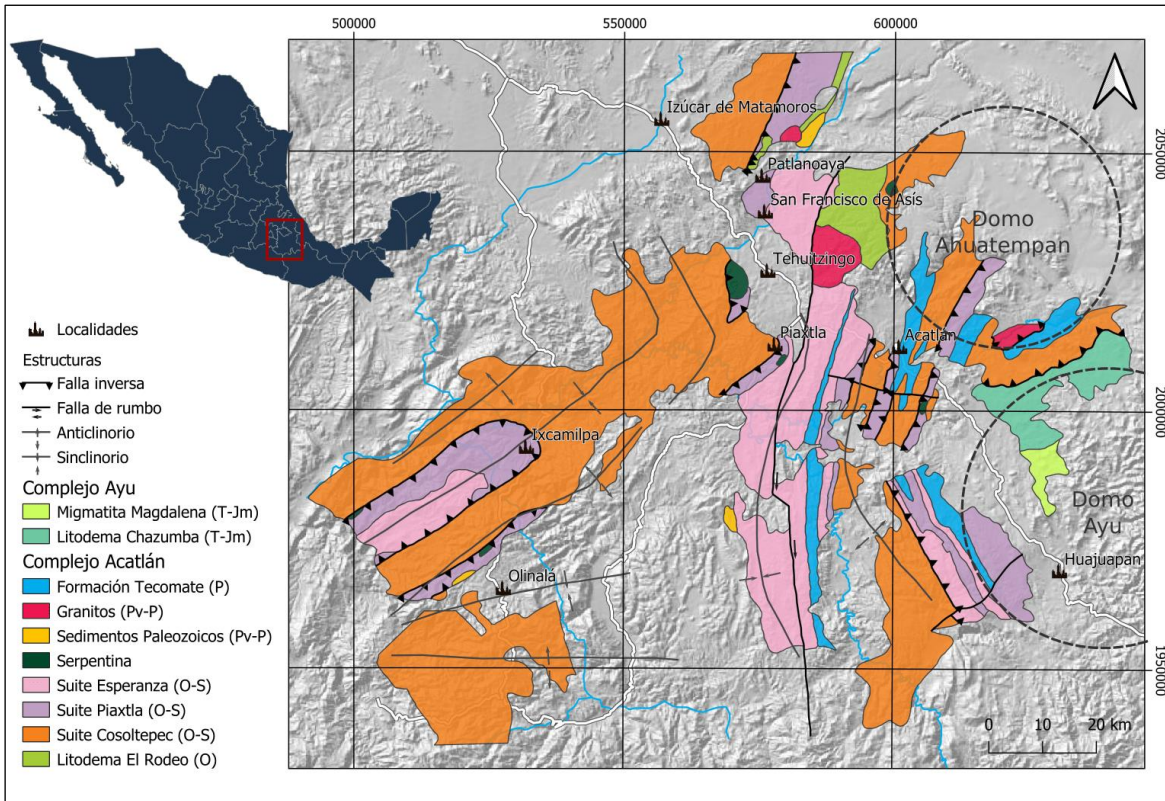


Figura 7 Geología y estructuras principales del Complejo Acatlán. El Litodema Chazumba y la Migmatita Magdalena pertenecen al Complejo Ayu (Helbig et al., 2012). Modificado de Ortega-Gutiérrez et al. (2018) y Vega-Granillo et al. (2009). O: Ordovícico; S: Silúrico; Pv: Pensilvánico; P: Pérmico; T: Triásico; Jm: Jurásico medio. Proyección de coordenadas usado en este, y todos los mapas presentados: WGS-84/UTM14N.

3.2.3 Geología estructural

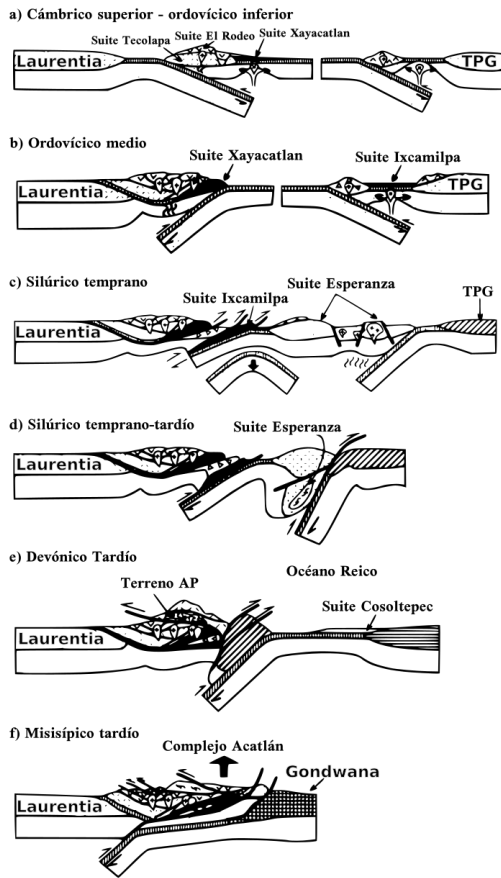
Las estructuras más significativas en el Complejo Acatlán son: los domos Ayu y Ahuatempan, y una serie de pliegues regionales (Figura 7). Dichos pliegues controlan la exposición de las rocas, estando las unidades de alto grado expuestas en los sinclinorios, y las unidades de bajo grado en los anticlinorios (Vega-Granillo et al., 2009). Estudios estructurales a lo largo del Complejo Acatlán describen, como tendencia general, la existencia de al menos tres a cuatro eventos de deformación (Barley, 2006; Keppie et al., 2012; Malone et al., 2002; Ramos-Arias et al., 2008; Vega-Granillo et al., 2009). Con respecto a la disposición de las unidades de alta presión es común encontrar la definición de dos cinturones: occidental y central. El cinturón occidental, occurrente al SW de la localidad e Ixcamilpa (Figura 7), ha sido definido como un klippe con tendencia NE-SW y vergencia hacia el oeste, cabalgante sobre las unidades de bajo grado. Por otro lado, el cinturón central (de tendencia NS y pasando por las localidades de Piaxtla y Patlanoaya) está encajonado por rocas de bajo grado metamórfico con características similares, y se encuentra limitado en su parte inferior por una falla de cabalgadura, y en su parte superior por una falla lítrica (Keppie et al., 2012; Keppie et al., 2008; Ramos-Arias et al., 2012).

3.2.4 Evolución tectónica

La construcción de un modelo tectónico para la formación de las rocas del Complejo Acatlán ha sido materia continua de debate. A continuación, se presentan los tres principales modelos tectónicos propuestos:

1. El modelo propuesto por Ortega-Gutiérrez et al. (1999) relaciona la formación del Complejo Acatlán con la orogenia Acadiana, un evento de colisión continental Ordovícico-Silúrico, donde terrenos perigondwanicos (incluido Oaxaquia) migran en dirección a Laurentia durante el cierre del Océano Iapetus; sin embargo, el registro fósil sobre Oaxaquia sugiere que este terreno permaneció cerca de Gondwana hasta el Silúrico.
2. Vega-Granillo et al. (2007, 2009) proponen la existencia de nueve eventos tectónicos mayores, que incluyen: (1) tres episodios de colisión entre el Ordovícico y el Silúrico, relacionados al cierre del Océano Iapetus, que forman las rocas de las suites Xayacatlán, Ixcamilpa y Esperanza cerca del margen de Laurentia (Figura 8A, b-d); (2) colisión de estas tres suites durante la apertura del Océano Rheico en el Devónico Tardío para formar un terreno compuesto de alta presión (Figura 8A, e); (3) superposición del terreno de alta presión sobre la suite Cosoltepec de baja presión; y (4) el levantamiento generalizado del Complejo Acatlán durante el Misisípico, como consecuencia del cierre del Océano Rheico.
3. El modelo de Keppie et al. (2008) ubica a la formación del Complejo Acatlán en el margen de Gondwana durante la apertura y cierre del Océano Rheico (Figura 8B), y propone la siguiente secuencia de eventos: (1) Depositación de una secuencia sedimentaria perigondwanica en el Ordovícico, con la intrusión coetánea de un magmatismo bimodal compuesto por granitos calcoalcalinos y diques máficos toleíticos de intraplaca; (2) subducción de parte de esta secuencia (suites Piaxtla y Esperanza), sometándose a un metamorfismo en condiciones de alta presión (cuyas condiciones P-T permanecen en debate) durante el Misisípico (~352 Ma); (3) exhumación rápida de estas unidades atravesando la corteza superior de la paleozona de subducción, emplazándose en medio de la secuencia que no fue subducida (Suite Cosoltepec).

A) Vega-Granillo et al., 2009



B) Keppie et al., 2008

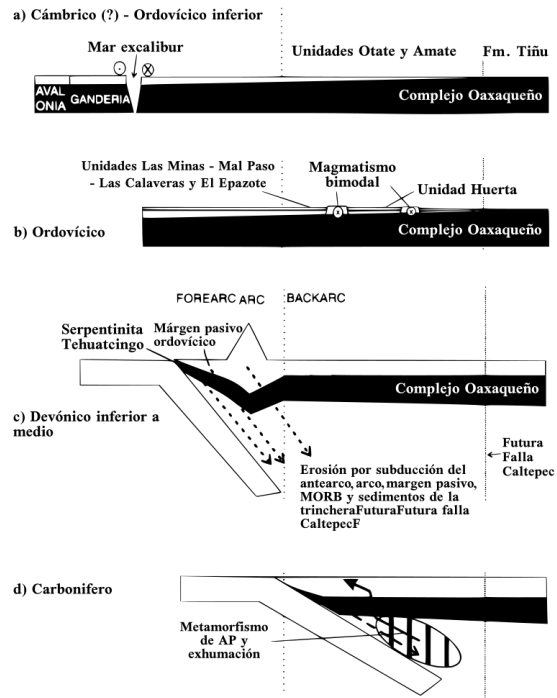


Figura 8 Modelos tectónicos contrastantes para el Complejo Acatlán. A) Modelo presentado por Vega-Granillo et al. (2009); TPG: Terrenos perigondwanicos. B) Modelo presentado por Keppie et al. (2008) y discutido continuamente en trabajos consecuentes.

4. Metodología

4.1 Trabajo de campo

Se definieron tres áreas estratégicas donde previamente fueron reportados metasedimentos con asociaciones minerales indicativas de condiciones de alta presión: (1) Mimilulco-Las Minas, (2) San Francisco de Asís, y (3) Piaxtla (Figura 9). Se llevaron a cabo dos salidas de campo, durante las cuales se buscó: (1) explorar la región en busca de rocas metasedimentarias que exhibieran la asociación mineral diagnóstica de alta presión, incluidos granate, fengita, rutilo, cianita y/o cloritoide; (2) identificar y describir las relaciones espaciales entre estas rocas metasedimentarias y las metaeclogitas de la suite de alta presión; y (3) realizar un trabajo cartográfico a semi-detalle. En estas áreas, se recolectó un total de 43 muestras, correspondientes a: 31 afloramientos de rocas metasedimentarias, 9 de metaeclogitas y 3 de rocas metagraníticas (Anexo 1. Muestras).

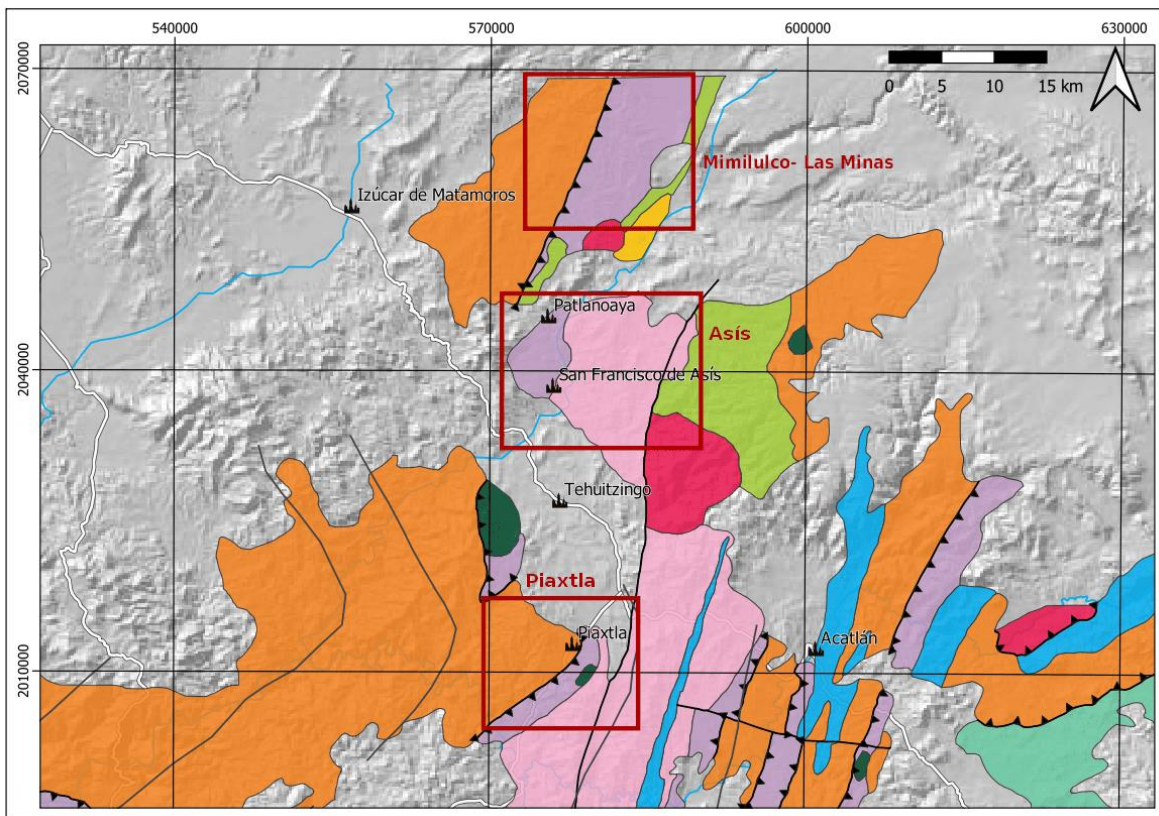


Figura 9 Áreas de trabajo seleccionadas para la realización de trabajo de campo y muestreo. Para explicación del mapa ver la Figura 7.

4.2 Petrografía óptica y electrónica

Las muestras recolectadas fueron cortadas y laminadas en el laboratorio de preparación de muestras (Laminación) del Centro de Geociencias (CGEO), elaborando un total de 63 láminas delgadas, incluyendo secciones de roca y montajes de granates separados. Las láminas fueron analizadas usando microscopía óptica con luz reflejada y transmitida (microscopio ZEISS Axio

Scope A1), lo que permitió caracterizar las asociaciones minerales y relaciones texturales presentes en las muestras. La identificación de minerales se hizo con base en las características ópticas de los mismos (hábito, clivaje, maclas, relieve, birrefringencia, extinción, etc.), y estos se reportan siguiendo las abreviaciones minerales propuestas por Whitney y Evans (2010). Para la caracterización litológica de la suite, se siguieron las recomendaciones de la Subcomisión para la Sistemática de las Rocas Metamórficas (SCMR) indicadas en Schmid et al. (2007). Adicionalmente, se obtuvieron imágenes de electrones retrodispersados en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del Departamento de Procesos Litosféricos (UNAM) para un análisis textural a detalle. El equipo utilizado fue un Microscopio electrónico de barrido marca Zeiss, modelo EVO MA10.

4.3 Geoquímica e isotopía mineral

4.3.1 *Química mineral*

Composiciones de elementos mayores en minerales fueron analizadas mediante una microsonda electrónica de barrido JEOL JXA8900-R, en el Laboratorio Universitario de Petrología, UNAM. La microsonda está equipada con cinco detectores WDS. Para los minerales medidos se determinaron las concentraciones de Na, Si, Mn, Ti, K, Mg, Fe, Ca, Al, Ni, Ba y Zn usando tiempos de adquisición de 40 segundos, excepto para Na y K (10 segundos). Minerales naturales fueron usados como estándares. Se aplicó un voltaje de aceleración de 20 kV, una corriente eléctrica de 20 nA y un diámetro de haz de 1 μm . Para visualizar las variaciones químicas en el granate, se adquirieron mapas composicionales de Fe, Mg, Ca y Mn.

4.3.2 *Dataciones U-Pb y análisis de elementos traza*

Se separaron granos de circón y rutilo en muestras seleccionadas con potencial petrocronológico. Este procedimiento se llevó a cabo en el taller de molienda y separación del CGEO. La metodología de separación comprende, en orden secuencial: la molienda de las muestras, el tamizado del material molido (con malla 40), la concentración de los minerales pesados usando técnicas de bateo, la separación de los minerales pesados en fracciones magnéticas (con el uso de un separador magnético isodinámico Frantz), y la selección manual de los cristales de circón y rutilo de la fracción no magnética bajo un microscopio binocular. Los cristales fueron montados en resina epóxica, y posteriormente pulidos para exponer sus secciones medias. Los cristales de rutilo fueron analizados en búsqueda de fracturas, inclusiones y texturas de exsolución con la ayuda de microscopía óptica e imágenes de electrones retrodispersados, las últimas obtenidas en el microscopio electrónico de barrido TM-1000 de Hitachi del Laboratorio de Fluidos Corticales (CGEO). Las imágenes de catodoluminiscencia de los cristales de circón fueron obtenidas en un luminoscopio ELM3R, con condiciones de operación a 7 kV.

Las dataciones U-Pb y los análisis de elementos traza para los circones y rutilos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Estudios Isotópicos, Centro de Geociencias, UNAM, usando un sistema de ablación láser de excímeros (ArF, $\lambda = 193\text{nm}$) Coherent Compex 102, acoplado a un espectrómetro de masas por plasma acoplado inductivamente (ICPMS) Thermo iCapQc. Para los análisis se utilizó un protocolo modificados de Solari et al. (2018), utilizando una energía de láser de 6 J/cm² con

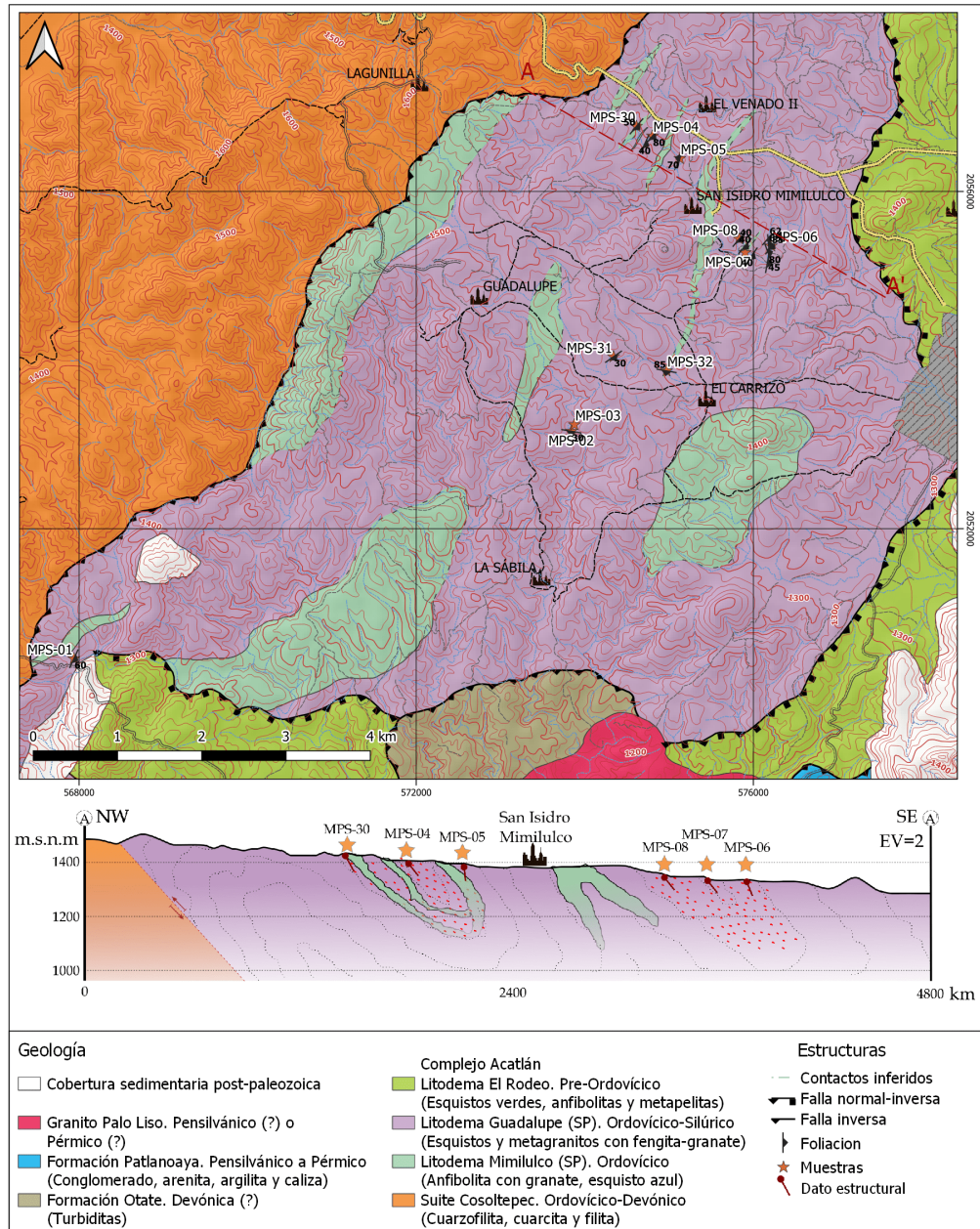
frecuencia de 5 Hz, y un tamaño de spot de 60 y 24 μm para los rutilos y circones, respectivamente. Para todos los análisis se utilizó He y Ar como gases portadores, siendo inyectados a la celda de ablación a tasas de 350 y 800 mL/min, respectivamente; adicionalmente se agregó N_2 a una tasa de 4 mL/min a la mezcla antes de ingresar al ICP. Cada análisis representa 15 segundos de adquisición de blanco, seguido por 30 segundos de adquisición de la muestra, con 15 segundos finales de limpieza. Durante el análisis de los rutilos se midieron las señales de ^{29}Si , ^{31}P , ^{45}Sc , ^{51}V , ^{52}Cr , ^{57}Fe , ^{89}Y , ^{90}Zr , ^{93}Nb , ^{95}Mo , ^{177}Hf , ^{180}Ta , ^{182}W , ^{202}Hg , ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U ; se realizaron dos análisis del rutilo R10 y uno de rutilo R19 por cada diez análisis desconocidos, y un análisis del vidrio NIST612 por cada 20 desconocidos; como estándar interno se utilizó el Ti medido como ^{49}Ti , normalizándose a una concentración de 59.94%; el vidrio estándar NIST SRM 612 (Jochum et al., 2011) y el rutilo R10 (Luvizotto et al., 2009) fueron usados para calibración externa, y el rutilo R19 (ID-TIMS: 489.5 ± 0.9 Ma; Luvizotto et al., 2009; Zack et al., 2011) fue usado como desconocido para evaluar la calidad de los datos, obteniendo una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio de 476.93 ± 7.32 Ma ($n=28$; $\text{MSWD}=3.81$). Para el análisis de los circones se midieron las señales de ^{31}P , ^{45}Sc , ^{49}Ti , ^{89}Y , ^{93}Nb , ^{96}Zr , ^{139}La , ^{140}Ce , ^{141}Pr , ^{146}Nd , ^{147}Sm , ^{153}Eu , ^{157}Gd , ^{159}Tb , ^{163}Dy , ^{165}Ho , ^{166}Er , ^{172}Yb , ^{175}Lu , ^{179}Hf , ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U ; como estándar interno se utilizó la señal de ^{29}Si , siendo normalizada a 15.37%; como estándar externo se utilizó el circón 91500 (Wiedenbeck et al., 2004) y el vidrio estándar NIST SRM 610 (Jochum et al., 2011), y como estándar secundario se midió el circón Plesovice ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$: 337.103 ± 0.37 Ma; Sláma et al., 2008), obteniendo una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio de 334.75 ± 2.03 Ma ($n=12$; $\text{MSWD}=0.64$). La reducción de los datos fue realizada en IOLITE 4 (Paton et al., 2011). Los diagramas de concordia y los cálculos de la media ponderada se realizaron utilizando IsoplotRgui 4.2 (Vermeesch, 2018). El plomo común no fue corregido en los circones (Andersen, 2002) mientras que se utilizó ^{208}Pb para los rutilos (Zack et al., 2011). Los errores para los análisis están reportados con precisión 2σ (Paton et al., 2010).

5. Resultados

5.1 Litología y estructura

5.1.1 Área Mimilulco-Las Minas

En esta área, la Suite Piaxtla se observa como un cinturón con tendencia NE-SW, encajonado entre rocas de la Suite Cosoltepec al noroeste y del Litodema el Rodeo al sur-sureste (Figura 10).



Modificado de Elias-Herrera et al. (2007)

Figura 10 Mapa geológico y perfil estructural del Área Mimilulco-Las Minas. Se indica la ubicación de las muestras recolectadas. El plegamiento de los litodemas Guadalupe y Mimilulco se configura de manera esquemática e ilustrativa. SP: Suite Piaxtla; EV: exageración vertical.

Hacia el suroeste del área, entre las localidades de San Juan Raboso y San Miguel las Minas, se observó una secuencia de metapelitas ricas en granate que contienen lentes de esquistos azules (o anfibolitas); la relación estructural entre ambos grupos litológicos es concordante, con una foliación buzando en dirección SE. Medio kilómetro al norte de la localidad de La Sábila se observó una secuencia metasedimentaria, compuesta de base a cima por: (1) metapsamitas con granate, (2) metapelitas con granate y (3) metapelitas con granate y cloritoide. En las inmediaciones de la localidad de Mimilulco se encuentra una exposición muy completa de la Suite Piaxtla (Perfil A-A' en la Figura 10). Se trata de una sucesión metasedimentaria, que contiene bandas y lentes de rocas metabásicas. El ensamble presenta una foliación general en sentido NE-SW, buzando al SE, con la presencia de plegamiento y replegamiento cerrado a isoclinal (Figura 11 A-D). De base a cima, la secuencia de Mimilulco está compuesta por: (1) metapelitas sin granate; (2) anfibolitas intercaladas con bandas graníticas, ambas litologías con granate; (3) metapelitas con abundante granate intercaladas con bandas de anfibolita (~4 m) con granate; (4) metapsamitas con poco granate intercaladas con bandas (~3 m) de anfibolitas con granate; (5) intercalación de bandas de rocas cuarzo feldespáticas y anfibolitas; (6) metapelitas con granate grueso (5–8 mm), conteniendo bandas menores de metapsamitas pobres en granate (Figura 11 E); (7) lente potente (~10m) de anfibolita con granate, con intercalaciones menores de metapsamita con granate y epidota; (8) intercalación rítmica entre niveles de metapsamita con granate y niveles de esquistos grafitosos (Figura 11 F); y (9) metapelitas ricas en turmalina, con relictos de granate.

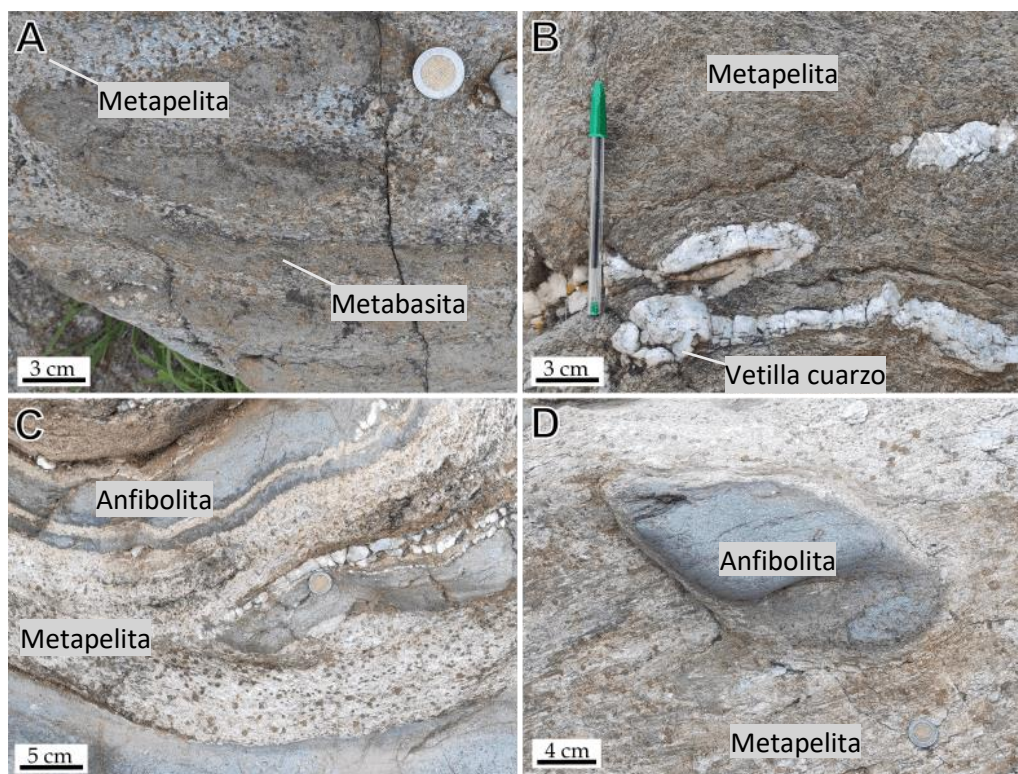


Figura 11 Fotografías de afloramiento mostrando las características típicas de los metasedimentos en el Área Mimilulco - Las Minas. (A) Plegamiento isoclinal de metabasita en una secuencia metapelítica rica en granate. (B) Vetilla de cuarzo plegada, contenida en una secuencia metapelítica. (C) Plegamiento isoclinal de intercalación entre metapelitas y anfibolitas, ambas litologías ricas en granate. (D) Porción de anfibolita contenida en ensamble meta sedimentario.

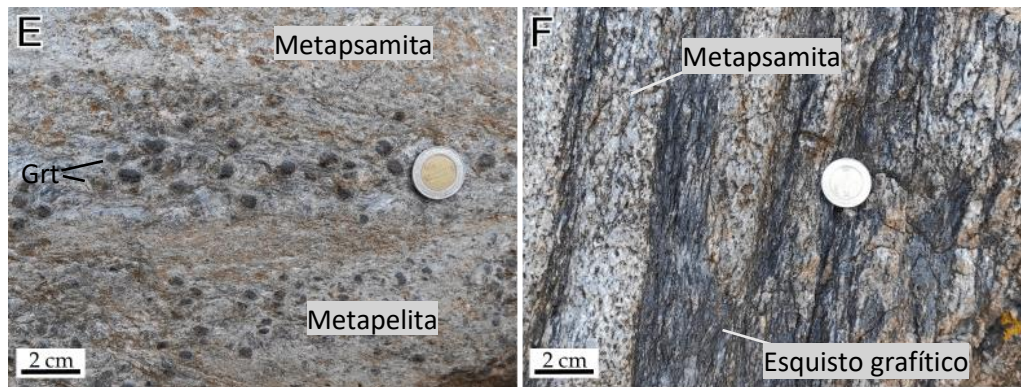


Figura 11 (Continuación). (E) Intercalación entre niveles de metapelitas con granate grueso, y niveles de metapsamitas pobres en granate. (F) Intercalación entre niveles de metapsamita con granate y esquisto gráfico.

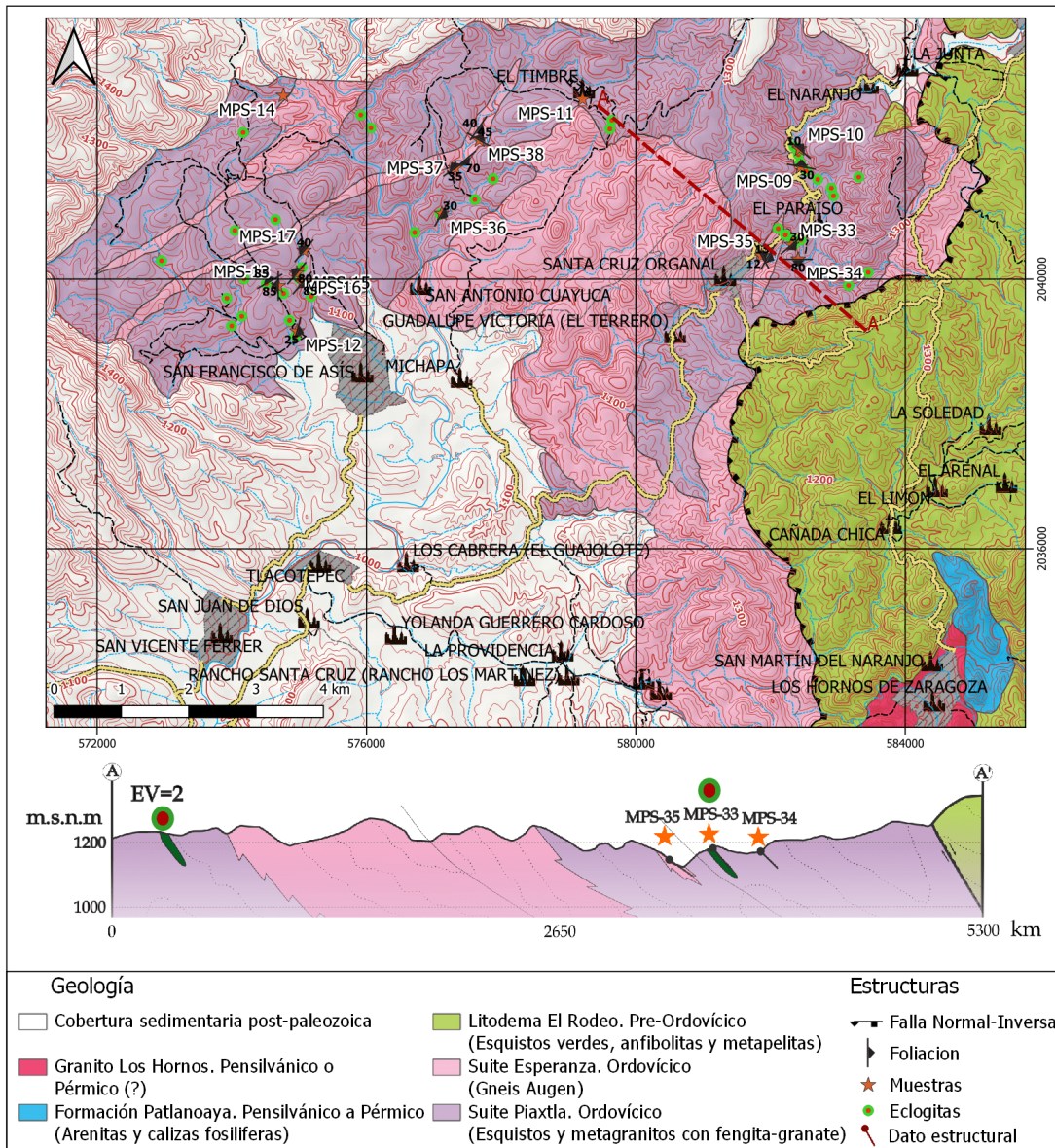
5.1.2 Área San Francisco de Asís

Esta área está dominada por las suites de alta presión Esperanza y Piaxtla, limitadas en su margen oriental por el Litodema El Rodeo, y hacia el oeste por una cobertura post-paleozoica. A lo largo del área se exploró con detalle los sectores cercanos a las localidades: Santa Cruz Organal, San Francisco de Asís y El Timbre (Figura 12). Al noreste de la localidad de Santa Cruz Organal, aflora una porción de augen gneises pertenecientes a la Suite Esperanza, suprayacidos estructuralmente por la secuencia metasedimentaria de la Suite Piaxtla. Los augen gneisses muestran un grado de milonitización variable y son cortados por al menos dos familias de pegmatitas: (1) un grupo de pegmatitas centimétricas cuyo emplazamiento y deformación es coherente a la foliación, y (2) un conjunto de pegmatitas no deformadas de dimensiones métricas que cortan a la foliación. Por su parte, la Suite Piaxtla está representada por una intercalación de metapsamitas y metapelitas ricas en granate intensamente deformada (Figura 13 A), que a su vez contienen bandas de espesor variable (~20 cm - ~4 m) de anfibolita granatífera masiva de grano grueso (Figura 13 B). Al noroeste de la localidad de San Francisco de Asís predomina la Suite Piaxtla, observada como una secuencia metapsamítica intercalada con niveles menores de metapelitas con cristales pequeños de granate (<1mm); esta secuencia contiene bandas (Figura 13 C) y cuerpos lenticulares (Figura 13 D) de anfibolita de tamaño de grano fino, orientados de manera coherente con la foliación (NE-SW, buzando al NW) de los metasedimentos. Adicionalmente, se observaron bloques rodados de esquisto azul (UTM 574.967, 2.039.228). Al sur oeste de la localidad El Timbre aflora una secuencia plegada de metapsamitas (sin granate) intercaladas con niveles menores de metapelitas ricas en granate (cristales de 2–5 mm) y bandas de rocas metabásicas (anfibolitas con granate) (Figura 13 E). Asimismo, se observaron bloques de tamaño métrico de eclogitas con un grado de retrogresión bajo, compuestas por granate y onfacita, con una menor cantidad de anfibol (Figura 13 F).

5.1.3 Área Piaxtla

Al suroeste de Piaxtla, la Suite Cosoltepec se encuentra cabalgada por una franja NE-SW de la Suite Piaxtla, la cual muestra una sucesión metasedimentaria (metapsamitas y metapelitas) que contiene cuerpos metabásicos y serpentiniticos. En esta área se exploró a detalle las exposiciones

rocosas de dos cañadas, localizadas en las inmediaciones de la hacienda Guadalupe y en la localidad de Inopilco, respectivamente (Figura 14).



Modificado de Elias-Herrera et al. (2007)

Figura 12 Mapa geológico y perfil estructural del Área San Francisco de Asís. El plegamiento de la Suite Piactla se configura de manera esquemática e ilustrativa. EV: exageración vertical.

Hacia el sureste de la hacienda Guadalupe se encuentra una quebrada homónima que fluye hacia el NW, exponiendo una sección de la localidad tipo de la Suite Piactla. La sección está compuesta por un ensamble de rocas metabásicas y metasedimentarias, con grado de deformación variable, y una foliación común en sentido NE-SW, buzando hacia el SE (Figura 15 A). De base a cima la secuencia está compuesta por: (1) un cuerpo metabásico (~400 m) heterogéneo, compuesto por

esquistos verdes, anfibolita granoblástica con porfidoblastos de plagioclasa, y anfibolitas granatíferas (Figura 14); (2) metapsamitas con turmalina, epidota y cantidades menores de granate; (3) un nivel metabásico (~300 m) compuesto por anfibolitas granoblásticas ricas en granate en su parte central y esquistos verdes sin granate en sus márgenes; y (4) una intercalación de metapsamitas con granate que contienen bandas menores de metabasitas.

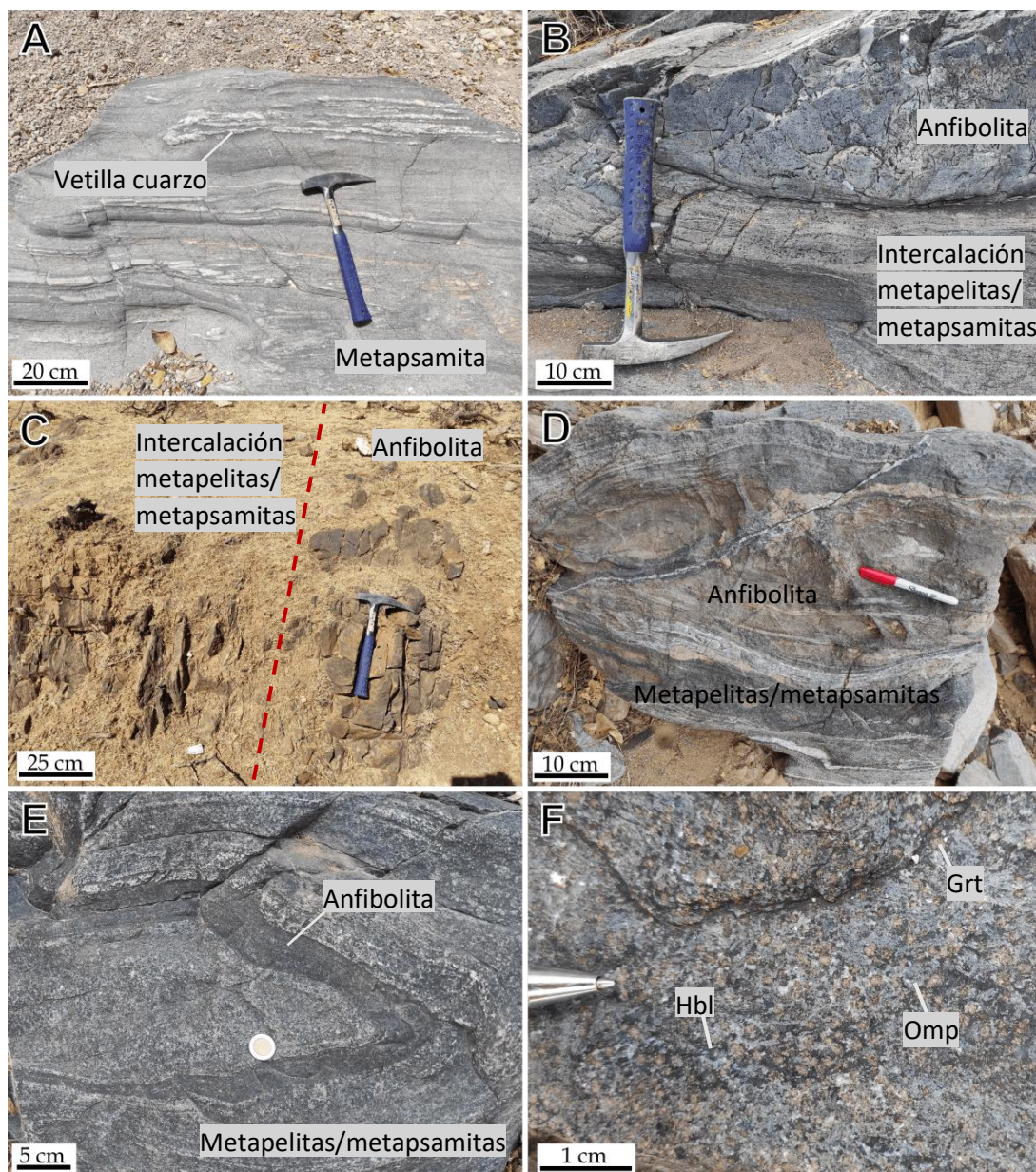
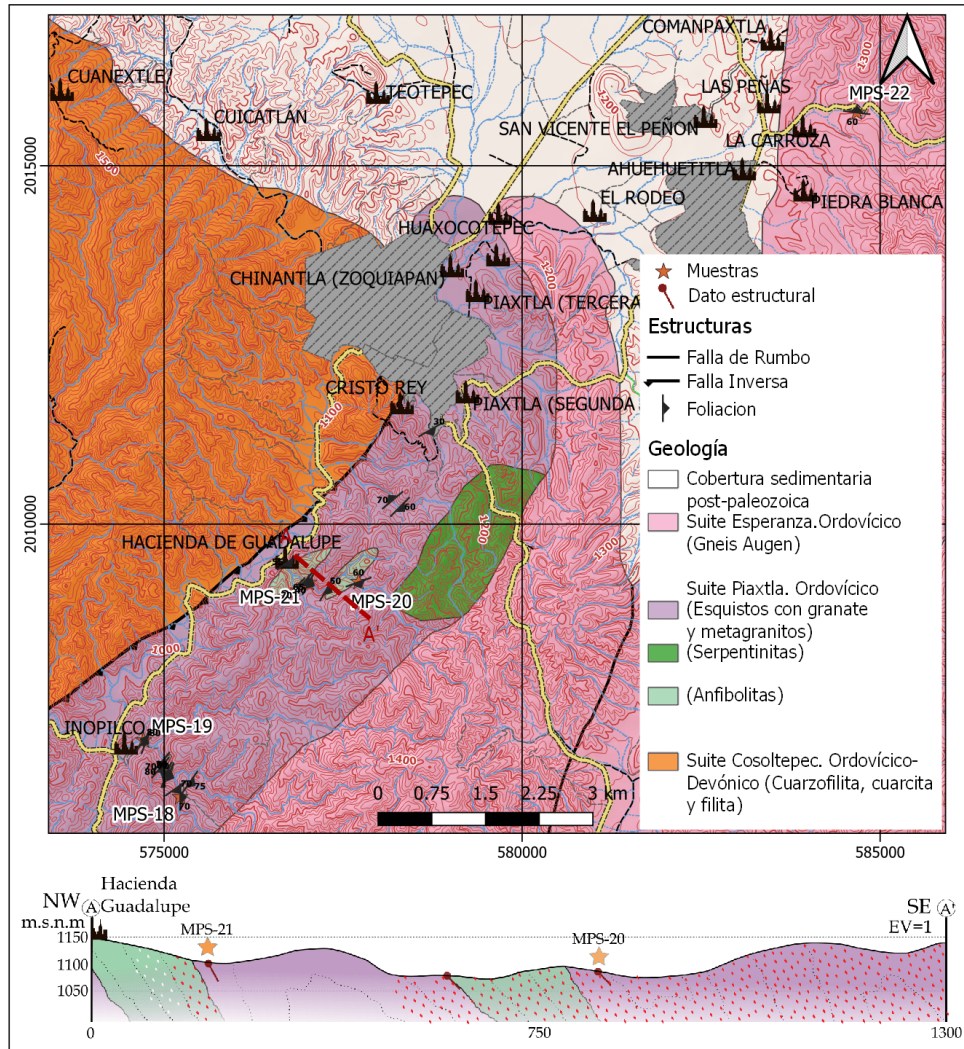


Figura 13 Fotografías de afloramientos típicos del Área San Francisco de Asís. (A) Plegamiento isoclinal en secuencia metasedimentaria, evidente en niveles de cuarzo. (B) Plegamiento isoclinal de secuencia de metasedimentos que contienen un nivel anfibolítico. (C) Banda de anfibolita en contacto con rocas metasedimentarias. (D) Anfibolita en el núcleo de un pliegue isoclinal. (E) Plegamiento en conjunto de una secuencia metasedimentaria y un nivel de anfibolita contenido por esta. (F) Bloque de eclogita con retrogresión leve, compuesta por granate (Grt), onfacita (Omp) y anfíbol (Hbl).



Modificado de Ortega et al. (2018)

Figura 14 Mapa geológico y perfil estructural del Área Piaxtla. En el perfil estructural, porfidoblastos de granate y plagioclasa son representados por puntos rojos y blancos, respectivamente. El plegamiento de la Suite Piaxtla se configura de manera esquemática e ilustrativa. EV: exageración vertical.

Al sureste de la localidad de Inopilco se encuentra una sección litológicamente diversa, compuesta por unidades metasedimentarias, metabásicas y serpentiniticas, con una foliación general en sentido NE-SW, buzando hacia el SE (Figura 15 B). En dirección aguas arriba de la quebrada se asciende estructuralmente por las unidades, y se observa la siguiente secuencia: (1) sucesión metasedimentaria, con niveles metapelíticos ricos en granate y niveles metapsamíticos sin granate; (2) banda de ~50 m de anfibolita con poco granate; (3) nivel ~20m de metapsamitas sin granate; (4) una aparente escama tectónica de ~80m de serpentinita con foliación coherente a la secuencia sedimentaria, cuyos límites no están bien expuestos, pero el contraste litológico se observa a escala métrica; (5) una secuencia dominada por metapsamitas de ~150m; y (6) una secuencia de metapelitas con porfidoblastos gruesos (hasta 2 cm, Figura 15 C) de granate, que contiene bandas métricas (~3m) de metabasitas con granate.

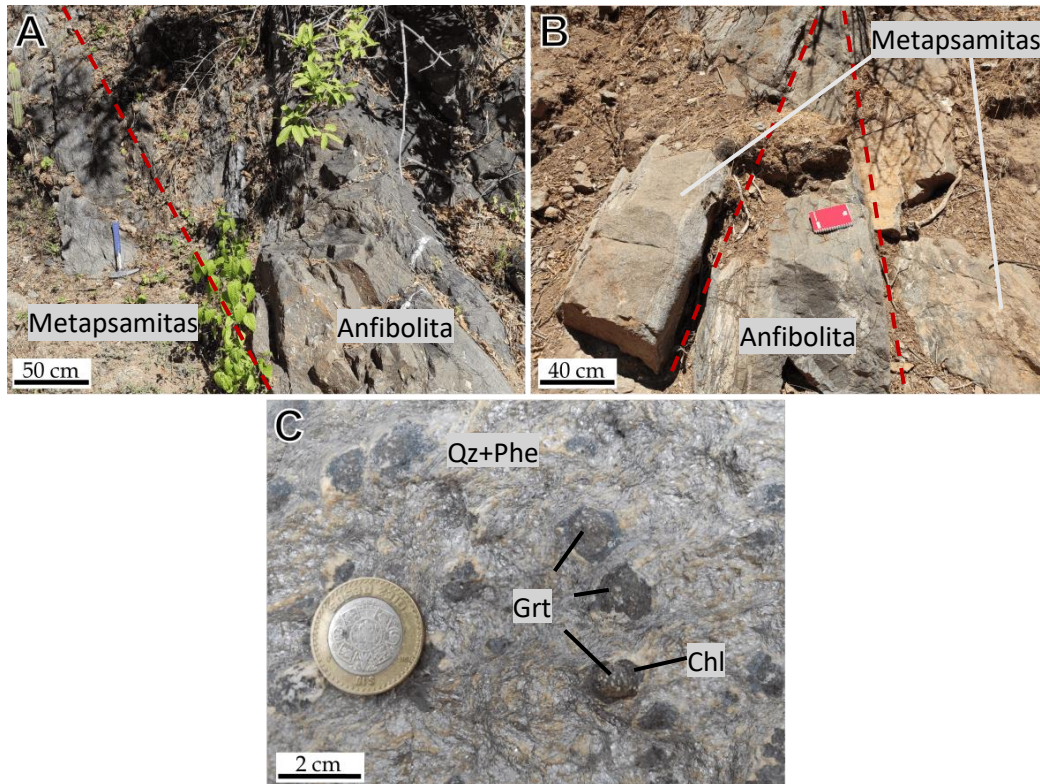


Figura 15 Fotografías de afloramientos representativos del Área Piaxtla. (A y B) Zonas de contacto entre nivel anfibolítico y la secuencia metasedimentaria. (C) Metapelitas con granates centimétricos, se observa el núcleo del granate (Grt), con una corona de clorita (Chl).

5.2 Petrografía y química mineral

5.2.1. Petrografía

Las rocas metasedimentarias muestreadas en la Suite Piaxtla se caracterizan por: su esquistosidad (con una dirección de foliación principal), lineación (por crenulación), presencia de capas enriquecidas en mica blanca, y alto porcentaje modal de granate milimétrico (Figura 16 A y B). La mayor parte de las muestras colectadas tienen muy bajo grado de retrogresión o meteorización, siendo pocas las muestras en las que se observa reemplazamiento parcial del granate por agregados de clorita (p.ej. MPS-06a y MPS-16; Figura 16C) o agregados color rojizo (p.ej. MPS-06b y MPS-11; Figura 16D), así como reemplazamiento en los bordes de las micas blancas por biotita o agregados de óxidos de hierro. A continuación se presentará una descripción petrográfica para las áreas estudiadas, así como una síntesis de las distintas asociaciones observadas (Tabla 3).

La secuencia metasedimentaria en el área de Mimilulco-Las Minas está compuesta mayoritariamente por esquistos micáceos, junto con menores cantidades de esquistos cuarzo micáceos; ambas litologías contienen cristales de granate que definen una textura porfidoblástica. De manera más específica, resaltan algunas asociaciones minerales observadas en las muestras estudiadas. Por ejemplo, en la localidad del Carrizo (p.ej. muestra MPS-02; Figura 16 H e I) la secuencia consiste en rocas porfidoblásticas de grano medio (Figura 16 I), donde resalta la asociación granate + cloritoide en compañía de fengita, cuarzo, feldespato potásico, rutilo,

ilmenita, turmalina, y clorita. Por otro lado, al sureste de San Isidro Mimilulco los esquistos presentan una textura porfidoblástica impresa por la ocurrencia de cristales de granate de entre 0.5–5 mm (p.ej. muestra MPS-08; Figura 16 J-L), que se encuentran asociados a fengita, cuarzo, granate, feldespato, carbonatos, clorita, ilmenita, rutilo, circón y óxidos de hierro. Hacia el mismo sector recién enunciado, también se reportó: ocurrencia de posible andalucita (p.ej. muestra MPS-06b, Figura 16 G); así como una porción enriquecida en epidota (p.ej. muestra MPS-07, Figura 16E). Para finalizar, en esta área resalta la común ocurrencia de rutilo tanto de forma libre, como también incluida en otras fases minerales (p.ej. Figura 16 A y G).

En el área de San Francisco de Asís, la secuencia metasedimentaria está representada por una serie de esquistos cuarzo micáceos de grano fino compuestas por cuarzo, fengita, plagioclasa, granate, clorita, rutilo, circón, y epidota (p.ej. Figura 16 M-Q); como particularidad, resalta la ocurrencia de carbonato en la muestra MPS-09. Con respecto al granate, en las muestras analizadas este mineral se observó como cristales pequeños (con tamaños no mayores a 1 mm), anhedrales, y con muy poco contenido de inclusiones (p.ej. muestras MPS-09, entre las localidades de El Paraíso y en Naranjo). Por su parte, el rutilo se observa como cristales prismáticos finos (<200 μm en su eje largo), y se encuentran tanto en forma libre como incluidos en granate.

Hacia el área de Piaxtla las observaciones petrográficas son un poco variables. Por un lado, en la localidad de Inopilco la porción metasedimentaria de la suite se encuentra conformada por esquistos micáceos con textura porfidoblástica, donde se observan cristales de granate de hasta 1 cm (p.ej. muestra MPS-18a), en asociación con cuarzo, fengita, plagioclasa y rutilo. Por otra parte, hacia la Hacienda de Guadalupe las rocas metasedimentarias son esquistos cuarzo-micáceos con poco (o nulo) contenido de granate, y abundante contenido de turmalina y epidota (p.ej. muestra MPS-21; Figura 16 F).

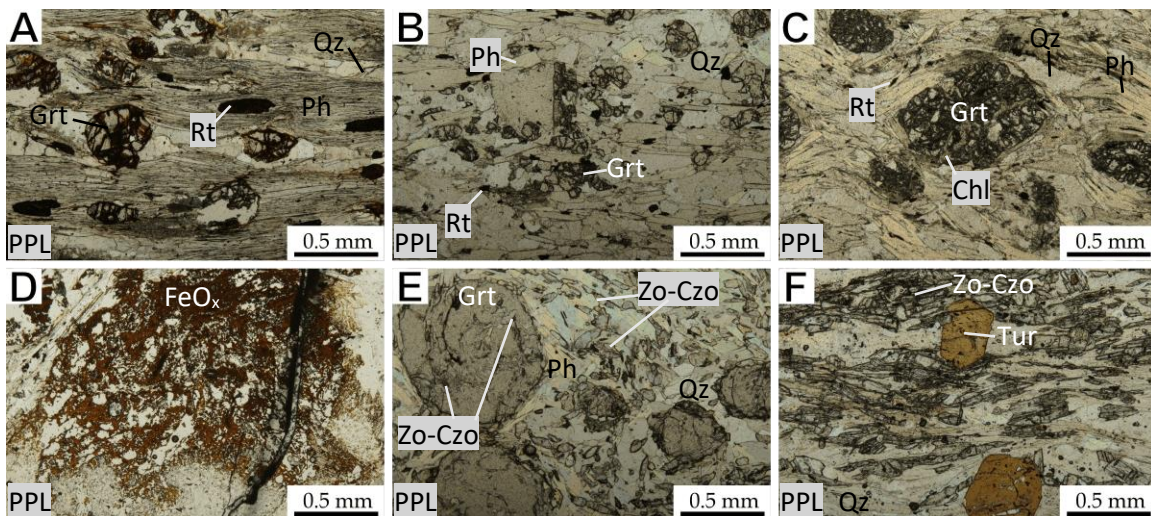


Figura 16 Fotomicrografías (en PPL o XPL) e imágenes de electrones retrodispersados (BSE) mostrando texturas y características minerales relevantes de las muestras estudiadas. (A) Esquisto micáceo rico en granate y rutilo (MPS-04d). (B) Esquisto cuarzo micáceo con granate (MPS-15). (C) Esquisto micáceo rico en granate; granate parcialmente cloritizado (MPS-16). (D) Pseudomorfo de granate totalmente reemplazado por óxidos de hierro (FeO_x). (E) Esquisto micáceo rico en granate y zoisita-clinozoisita; inclusiones de zoisita definen un patrón de espiral en los porfidoblastos de granate (MPS-07a). (F) Esquisto cuarzo micáceo rico en zoisita-clinozoisita y turmalina (MPS-21).

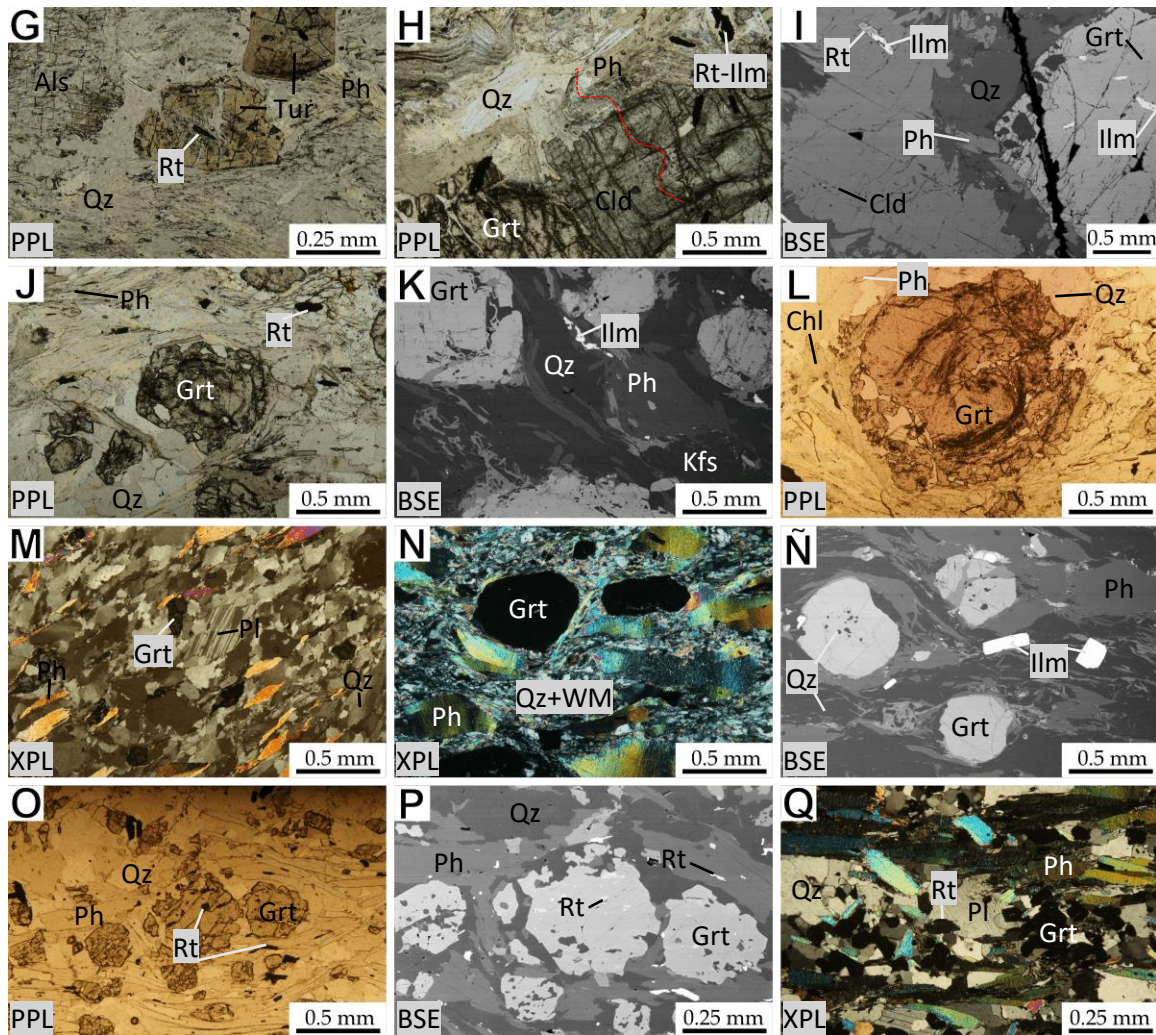


Figura 16 (continuación). (G) Esquisto cuarzo micáceo rico en aluminosilicato (Als; aparentemente andalucita) y turmalina (MPS-06b); se observan cristales de rutilo incluidos en la turmalina. (H-I) Esquisto micáceo rico en granate y cloritoide (MPS-02); se observan patrones de plegamientos internos a escala mineral (línea roja). (J-L) Esquisto cuarzo micáceo rico en granate (MPS-08); en el interior de los granates se observan inclusiones de zoisita dispuestas en patrón de espiral. (M-Ñ) Esquisto cuarzo-micáceo rico en granate (MPS-09). (O-Q) Esquisto cuarzo-micáceo rico en granate y rutilo (MPS-15). Abreviaciones según Whitney y Evans (2010).

Tabla 3 Síntesis de las asociaciones minerales observadas en las áreas estudiadas.

Área	Muestras	Asociación de pico metamórfico	Asociación de retrogresión
Mimilulco-Las Minas	MPS-01 – MPS-08	Granate + fengita + cuarzo + rutilo + circón ± cloritoide ± clinzoisita	Clorita ± Biotita ± Andalucita
San Francisco de Asís	MPS-09 – MPS-17	Granate + cuarzo + fengita + rutilo + circón ± clinzoisita ± carbonato	Clorita + Plagioclasa
Piactla	MPS-18 –MPS-22	Granate + cuarzo + fengita + rutilo + circón	Clorita

5.2.2. Química mineral

Con base en las relaciones espaciales observadas en campo y las asociaciones minerales observadas en petrografía, se seleccionaron un total de cuatro muestras (MPS-02, MPS-08, MPS-09 y MPS-15) para realizar análisis de química mineral. Estas muestras presentan características diagnósticas de la alta presión y son candidatas óptimas para la realización de estudios termobarométricos. Las composiciones representativas de distintos minerales se presentan en la Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, y Tabla 7, respectivamente. Los cationes totales fueron calculados usando el siguiente número de oxígenos como base de normalización: granate (12), fengita (11), cloritoide (6) y plagioclasa (8). Concentraciones de miembros extremos son presentadas en fracciones molares (p.ej. $prp = Mg/(Mg+Fe^{2+}+Mn+Ca)$. $X_{Mg} = Mg/(Fe^{2+}+Mg)$; $X_{Na} = Na/(K+Na)$; $X_{An} = Ca/(Na+Ca)$; $Al^{iv}=4-Si$; $Al^{vi} = Al - Al^{iv}$.

Muestra MPS-02 (área Mimilulco-Las Minas)

En esta muestra se hicieron mediciones en granate, fengita y cloritoide (Tabla 4). Los porfidoblastos de granate están químicamente zonados (Figura 17 A y E). En su porción interna, desde el núcleo hacia el borde, se observa: un incremento de almandino (de $alm = 0.74$ a 0.84) y piropo (de $prp = 0.03$ a 0.04), un decrecimiento de espesartina (de $sps = 0.11$ a 0.02), y un perfil plano de grosularia ($grs = 0.12$). En su porción externa se mantiene esta tendencia, excepto por la grosularia, que disminuye ($alm = 0.89$, $prp = 0.08$, $sps = 0.00$, $grs = 0.03$). La composición de la fengita es constante a lo largo de los cristales, aunque un poco variable entre ellos, siendo mayormente potásicas ($X_{Na}=0.5-0.7$) con valores de Si entre 3.28 y 3.37 por unidad de fórmula (puf), y contenidos de Fe^{2+} y Mg de 0.17–0.18 y 0.24–0.26 puf, respectivamente (Figura 18). El cloritoide muestra una composición rica en Fe ($Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg) = 0.86$), constante entre núcleo y borde.

Tabla 4 Composiciones químico-minerales representativas en la muestra MPS-02 (esquisto de cloritoide-fengita-granate).

Localización	Grt	Grt	Grt	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Cld	Cld
	Núcleo (interior)	Núcleo (exterior)	Borde	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Núcleo	Borde
SiO ₂	35.67	35.281	35.32	51.18	48.68	49.39	48.77	49.51	25.34	25.25
TiO ₂	0.02	0	0.00	0.05	0.04	0.07	0.05	0.06	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	20.48	20.318	20.11	28.62	29.25	28.10	28.91	28.93	40.76	40.68
FeO	34.05	38.02	41.65	3.06	3.09	3.21	3.24	3.23	26.33	26.48
MnO	5.06	1.728	0.47	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03
MgO	0.80	0.861	1.40	2.60	2.44	2.52	2.61	2.56	2.38	2.37
CaO	4.24	4.635	2.35	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.22	0.015	0.08	0.45	0.43	0.53	0.46	0.47	0.05	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	11.17	11.40	11.17	11.40	11.11	0.02	0.02
Total	100.54	100.86	101.40	97.11	95.33	94.99	95.46	95.89	94.88	94.85
Si	2.89	2.86	2.86	3.37	3.28	3.34	3.29	3.31	1.02	1.02
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.96	1.94	1.92	2.22	2.33	2.24	2.30	2.28	1.94	1.94
Fe ³⁺	0.30	0.35	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
Fe ²⁺	2.01	2.23	2.43	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.87	0.87
Mn	0.35	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.10	0.10	0.17	0.26	0.24	0.25	0.26	0.26	0.14	0.14
Ca	0.37	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Na	0.04	0.00	0.01	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.94	0.98	0.96	0.98	0.95	0.00	0.00
Sum	8.00	8.00	8.00	7.01	7.07	7.05	7.08	7.04	4.00	4.00
Oxígenos	12.00	12.00	12.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	6.00	6.00
X_{Mg}	0.05	0.04	0.06	0.60	0.58	0.58	0.59	0.59	0.14	0.14
Al ^{iv}	-	-	-	0.63	0.72	0.66	0.71	0.69	-	-
Al ^{vi}	-	-	-	1.59	1.61	1.58	1.59	1.60	-	-
X_{Na}	-	-	-	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	-	-
Fe + Mg	-	-	-	0.43	0.41	0.43	0.44	0.44	-	-
Alm	0.71	0.78	0.86	-	-	-	-	-	-	-
Prp	0.03	0.04	0.06	-	-	-	-	-	-	-
Grs	0.13	0.14	0.07	-	-	-	-	-	-	-
Sps	0.12	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-

Muestra MPS-08 (área Mimilulco-Las Minas)

Esta muestra presenta granates zonados (Figura 17 B; Tabla 5), donde se distinguen dos dominios: (1) un dominio interior caracterizado por una distribución de espesartina en forma de campana ($sps = 0.04-0.25$), un incremento en almandino (de $alm = 0.43$ a 0.60) y un perfil plano de piropo y grosularia ($prp = 0.01-0.02$, $grs = 0.29-0.30$); y (2) un dominio exterior donde se observa un decrecimiento de espesartina, y un incremento suavizado de grosularia, piropo, y almandino ($alm = 0.66$, $prp = 0.07$, $sps = 0.01$, $grs = 0.26$), con comportamientos ligeramente distintivos entre los extremos izquierdo y derecho del perfil. Las fengitas medidas en la matriz de la roca tienen una composición homogénea, con contenidos de $Si = 3.30-3.37$ puf, $Fe^{2+} = 0.12-0.14$ puf, $Mg = 0.27-0.33$ puf, y $X_{Na}=0.5-0.7$; un único análisis presenta contenidos menores de Si (3.12 puf) y Mg (0.18 puf), y mayor contenido de Al (Figura 18).

Tabla 5 Composiciones químico-minerales representativas en la muestra MPS-08.

Localización	Grt	Grt	Grt	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph
	Núcleo (interior)	Núcleo (exterior)	Borde	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz
SiO ₂	34.81	34.19	35.76	49.90	50.60	50.78	50.23	50.47	50.15	46.57
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.08	0.06	0.09	0.07	0.08	0.07	0.04
Al ₂ O ₃	20.32	20.63	20.83	28.40	28.25	28.46	28.63	27.83	30.08	33.17
FeO	23.91	29.28	32.52	2.56	2.17	2.32	2.44	2.54	2.36	2.12
MnO	10.35	5.49	0.35	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01
MgO	0.35	0.67	1.72	3.15	3.35	3.12	3.09	3.11	2.71	1.79
CaO	9.82	9.23	8.65	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	0.00	0.04	0.05	0.48	0.40	0.41	0.43	0.38	0.52	0.75
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	10.95	11.30	11.06	11.28	11.23	11.03	10.86
Total	99.56	99.54	99.88	95.53	96.17	96.24	96.18	95.64	96.96	95.32
Si	2.83	2.77	2.87	3.34	3.36	3.36	3.34	3.37	3.30	3.12
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.94	1.97	1.97	2.24	2.21	2.22	2.24	2.19	2.33	2.62
Fe ³⁺	0.41	0.49	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	1.22	1.50	1.88	0.14	0.12	0.13	0.14	0.14	0.13	0.12
Mn	0.71	0.38	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.04	0.08	0.21	0.31	0.33	0.31	0.31	0.31	0.27	0.18
Ca	0.85	0.80	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.01	0.01	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.07	0.10
K	0.00	0.00	0.00	0.93	0.96	0.93	0.96	0.96	0.93	0.93
Sum	8.00	8.00	8.00	7.03	7.03	7.01	7.04	7.03	7.02	7.07
Oxígenos	12.00	12.00	12.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
X_{Mg}	0.03	0.05	0.10	0.69	0.73	0.71	0.69	0.69	0.67	0.60

Al ^{iv}	-	-	-	0.66	0.64	0.64	0.66	0.63	0.70	0.88
Al ^{vi}	-	-	-	1.58	1.57	1.59	1.58	1.57	1.63	1.75
X _{Na}	-	-	-	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.09
Fe + Mg	-	-	-	0.45	0.45	0.44	0.45	0.45	0.40	0.30
Alm	0.43	0.54	0.66	-	-	-	-	-	-	-
Prp	0.02	0.03	0.07	-	-	-	-	-	-	-
Grs	0.30	0.29	0.26	-	-	-	-	-	-	-
Sps	0.25	0.14	0.01	-	-	-	-	-	-	-

Muestra MPS-09 (área San Francisco de Asís)

En esta muestra el granate es de grano fino y exhibe un ligero zoneamiento químico, principalmente en Ca y Fe (Figura 17 C). Hacia la porción central del granate la composición es homogénea, mostrando perfiles aplanados (Figura 17 E; Tabla 6) y contenidos de almandino, piropo, grosularia y espesartina de alm=0.54–0.55, prp=0.22–0.24, grs=0.18–0.19 y sps=0.03. Por su parte, en el dominio exterior los componentes de almandino y piropo son ligeramente menores, compensado por un incremento en el componente de grosularia (alm = 0.52, prp = 0.22, grs = 0.22, sps= 0.03). La mica blanca presente es la fengita, la cual presenta valores de Si, Fe y Mg en el rango 3.24–3.30, 0.17–0.19 y 0.22–0.29 puf, respectivamente (Figura 18). Esta muestra contiene plagioclasa, cuya composición es principalmente albítica, con un componente X_{an} con valores de 0.01 a 0.02.

Tabla 6 Composiciones químico-minerales representativas en la muestra MPS-09.

	Grt	Grt	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Pl	Pl
Localización	Núcleo	Borde	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz
SiO₂	36.74	37.18	47.63	48.88	48.82	48.04	48.08	48.16	47.95	48.14	48.87	68.69	70.14
TiO₂	0.03	0.00	0.05	0.06	0.05	0.07	0.04	0.07	0.06	0.04	0.06	0.00	0.00
Al₂O₃	21.38	21.22	29.11	29.64	29.46	29.63	30.12	30.19	29.28	29.18	28.73	19.38	19.15
FeO	27.86	26.37	3.34	3.25	3.32	3.14	3.03	3.14	2.93	3.14	3.23	0.02	0.02
MnO	2.18	1.62	0.02	0.06	0.07	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00
MgO	6.52	5.59	2.78	2.63	2.60	2.43	2.27	2.23	2.50	2.50	2.42	0.01	0.01
CaO	5.92	7.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.17
Na₂O	0.02	0.00	0.71	0.73	0.48	0.76	0.79	0.63	0.55	0.72	0.73	10.33	10.49
K₂O	0.00	0.00	11.21	11.45	11.34	11.18	11.30	11.28	11.49	11.26	11.22	0.01	0.01
Total	100.65	99.56	94.84	96.68	96.15	95.24	95.65	95.72	94.79	94.97	95.27	98.75	99.97
Si	2.85	2.92	3.24	3.26	3.27	3.25	3.24	3.24	3.26	3.27	3.30	3.02	3.04
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.95	1.96	2.34	2.33	2.33	2.36	2.39	2.39	2.35	2.33	2.29	1.00	0.98
Fe³⁺	0.35	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe²⁺	1.46	1.52	0.19	0.18	0.19	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	0.00	0.00
Mn	0.14	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.75	0.65	0.28	0.26	0.26	0.24	0.23	0.22	0.25	0.25	0.24	0.00	0.00
Ca	0.49	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Na	0.00	0.00	0.09	0.09	0.06	0.10	0.10	0.08	0.07	0.10	0.09	0.88	0.88
K	0.00	0.00	0.97	0.97	0.97	0.96	0.97	0.97	1.00	0.97	0.97	0.00	0.00
Sum	8.00	8.00	7.12	7.10	7.07	7.10	7.10	7.08	7.09	7.10	7.08	4.92	4.91
Oxígenos	12.00	12.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	8.00	8.00
X_{Mg}	0.34	0.30	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57	0.56	0.60	0.59	0.57	-	-
Al^{iv}	-	-	0.76	0.74	0.73	0.75	0.76	0.76	0.74	0.73	0.70	-	-
Al^{vi}	-	-	1.58	1.59	1.60	1.61	1.63	1.63	1.61	1.60	1.59	-	-
X_{Na}	-	-	0.09	0.09	0.06	0.09	0.10	0.08	0.07	0.09	0.09	-	-
Fe + Mg	-	-	0.47	0.44	0.45	0.42	0.40	0.40	0.42	0.43	0.42	-	-
X_{an}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.01
Alm	0.51	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Prp	0.26	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grs	0.17	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sps	0.05	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

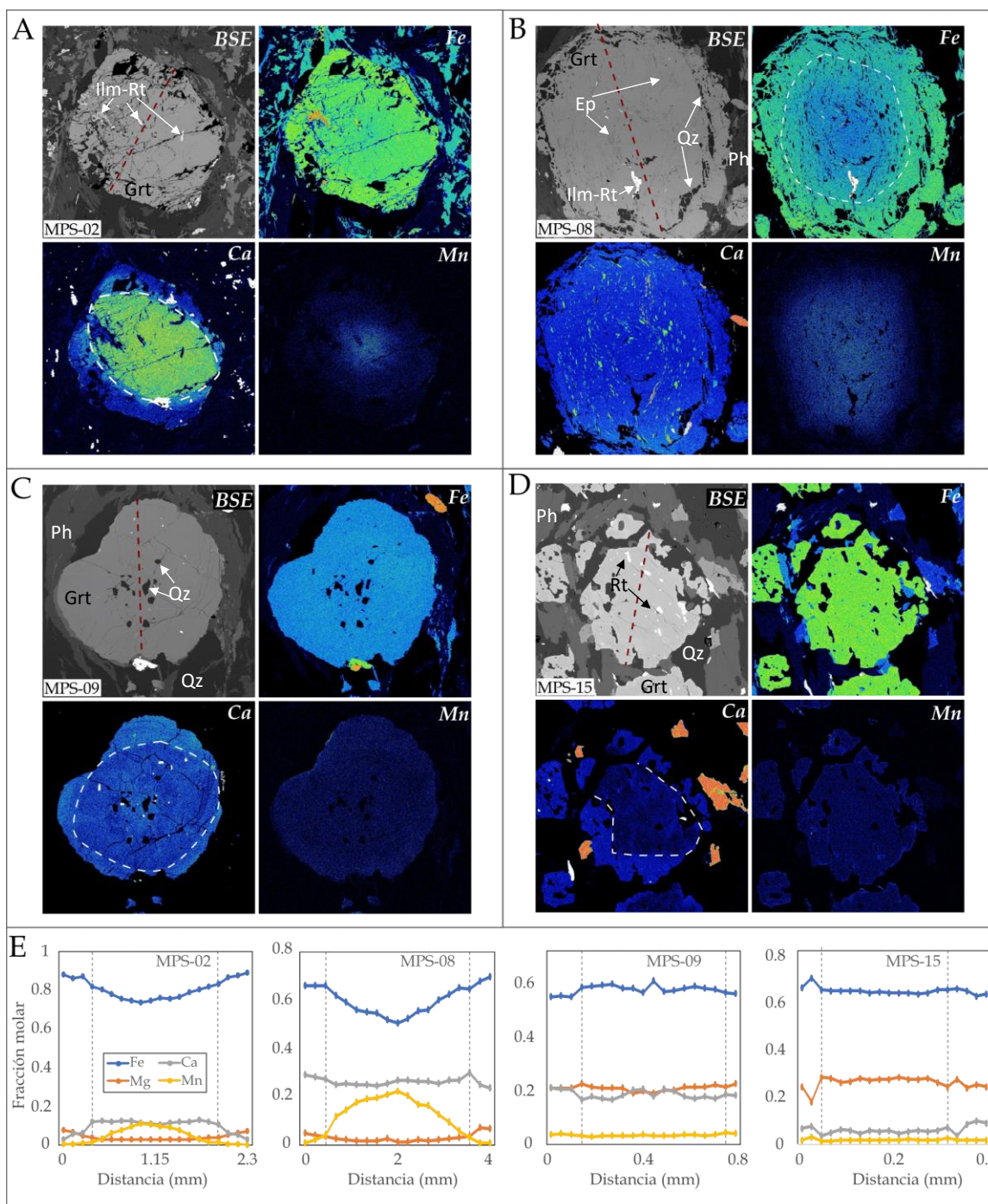


Figura 17 (A-D) Imágenes BSE y mapas composicionales de rayos X de granates de las muestras MPS-02 (A), MPS-08 (B), MPS-09 (C), MPS-15 (D). (E) Perfiles composicionales de elementos mayores en el granate. Líneas punteadas rojas en las imágenes BSE indican la dirección de medición de los perfiles mostrados en (E). Límites entre los dominios interior-externo están marcados por líneas blancas punteadas en los mapas composicionales, y por líneas grises punteadas en los perfiles.

Muestra MPS-15 (área San Francisco de Asís)

Los granates observados en esta muestra exhiben un zoneamiento químico, donde los dominios externos no siempre están completos (Figura 17 D). En la parte interior de los cristales se observa un perfil plano para todos los componentes, cuyos valores son: alm = 0.64–0.65, prp = 0.28–0.29, grs = 0.03–0.06 y sps = 0.02 (Tabla 7). El límite entre los dominios interno y externo es neto, marcando un cambio composicional, en el cual el contenido de almandino y grosularia no varía, el piropero decrece (prp = 0.24–0.25) y la grosularia aumenta (grs = 0.09–0.10). La fengita en esta muestra tiene un contenido de 3.24–3.27 puf de Si, 0.18–0.21 puf de Fe²⁺ y 0.23–0.27 puf de Mg, junto con valores X_{Na} en el rango 0.13–0.15 (Figura 18). La plagioclasa tiene un componente de anortita (X_{an}) de 0.03 a 0.04, correspondiente al rango composicional de la albita.

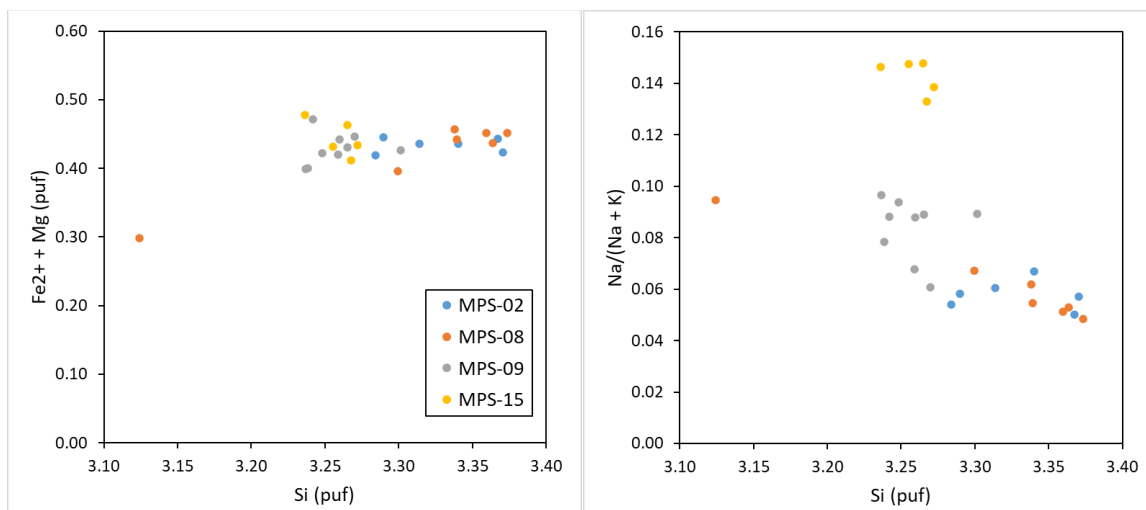


Figura 18 Variaciones composicionales de la mica blanca en las metapelitas estudiadas.

Tabla 7 Composiciones químico-minerales representativas en la muestra MPS-15.

	Grt	Grt	Grt	Grt	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Pl	Pl	Pl
Localización	Núcleo (interior)	Núcleo (exterior)	Borde (interior)	Borde (exterior)	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz
SiO ₂	38.92	35.72	38.67	38.76	48.73	48.48	48.53	47.44	48.72	69.88	69.46	69.68
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04	0.08	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	21.75	20.44	21.73	21.68	29.49	29.71	29.17	29.17	29.74	19.71	19.83	19.63
FeO	29.44	30.02	29.00	28.96	3.46	3.49	3.50	3.62	3.26	0.02	0.00	0.01
MnO	0.98	1.25	0.90	0.83	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00
MgO	7.07	6.26	6.02	6.27	2.39	2.36	2.66	2.67	2.29	0.00	0.01	0.00
CaO	2.15	2.60	3.08	3.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.81	0.67
Na ₂ O	0.06	0.09	0.03	0.00	1.10	1.19	1.20	1.16	1.06	10.11	10.27	10.58
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	10.42	10.47	10.48	10.30	10.50	0.00	0.00	0.00
Total	100.37	96.37	99.44	99.82	95.62	95.73	95.61	94.41	95.66	100.41	100.39	100.56
Si	3.02	2.91	3.03	3.03	3.27	3.26	3.27	3.24	3.27	3.02	3.01	3.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.99	1.96	2.01	2.00	2.33	2.35	2.31	2.35	2.35	1.00	1.01	1.00
Fe ³⁺	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	1.91	1.81	1.90	1.89	0.19	0.20	0.20	0.21	0.18	0.00	0.00	0.00
Mn	0.07	0.09	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.82	0.76	0.70	0.73	0.24	0.24	0.27	0.27	0.23	0.00	0.00	0.00

Ca	0.18	0.23	0.26	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03
Na	0.01	0.01	0.00	0.00	0.14	0.16	0.16	0.15	0.14	0.85	0.86	0.89
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.00	0.00	0.00
Sum	7.99	8.00	7.97	7.98	7.08	7.09	7.10	7.11	7.07	4.90	4.92	4.93
Oxígenos	12.00	12.00	12.00	12.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	8.00	8.00	8.00
X_{Mg}	0.30	0.30	0.27	0.28	0.55	0.55	0.58	0.57	0.56	-	-	-
Al^{iv}	-	-	-	-	0.73	0.74	0.73	0.76	0.73	-	-	-
Al^{vi}	-	-	-	-	1.61	1.61	1.58	1.58	1.62	-	-	-
X_{Na}	-	-	-	-	0.14	0.15	0.15	0.15	0.13	-	-	-
Fe + Mg	-	-	-	-	0.43	0.44	0.47	0.48	0.41	-	-	-
X_{An}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.04	0.03
Alm	0.64	0.63	0.65	0.64	-	-	-	-	-	-	-	-
Prp	0.28	0.26	0.24	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-
Grs	0.06	0.08	0.09	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-
Sps	0.02	0.03	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-

5.3 Termobarometría

5.3.1 Termobarometría Zr en Rutilo

El rutilo es un mineral de interés en el estudio del metamorfismo ya que su composición química es capaz de proveer información tanto termométrica como geocronológica altamente correlacionable (Zack y Kooijman, 2018). Con el objetivo de estimar las condiciones de temperatura alcanzadas durante el metamorfismo de la Suite Piaxtla, así como la edad de este evento, se realizó un estudio termométrico y geocronológico (ver sección 5.4) aplicado a este mineral. Para ello, se seleccionó un conjunto de muestras donde el rutilo ocurre tanto de forma libre como incluido en granate (MPS-02, MPS-04d, MPS-05a, MPS-06b, MPS-08, MPS-09, MPS-15, MPS-17a, MPS-18a y MPS-19), y se llevó a cabo una caracterización química del rutilo. Para el cálculo de la temperatura se utilizó el contenido de Zr en los cristales, de acuerdo a la calibración de Kohn (2020).

Química del rutilo

En la Tabla 8 se presenta un promedio de las concentraciones elementales medidas en los granos de rutilo para cada muestra; el conjunto completo de datos se presenta en el Anexo 3. Química de elementos traza de circones y rutilos.

Tabla 8 Valores promedio y desviación estándar de concentración (en ppm) de elementos traza en granos de rutilo por cada muestra.

Muestra	Zr	Nb	Hf	Ta	Cr	Fe	V	W	Pb	Th	U
MPS-02											
PROMEDIO	29.07	1970	1.69	1.93	238	5819	1113	134	1.82	0.35	4.03
1σ	5.21	872	0.64	0.73	113	4888	173	205	1.58	0.37	0.69
MPS-04d											
PROMEDIO	42.98	1194	2.32	2.62	282	2759	1079	44.39	1.42	0.68	1.94
1σ	3.13	401	0.12	0.12	16	1034	54	11.32	0.63	1.35	0.45
MPS-05a											
PROMEDIO	39.02	2248	2.18	2.51	274	3826	916	79.41	1.81	7.53	2.77
1σ	2.04	587	0.15	0.15	46	1870	148	11.88	4.55	29.46	4.86
MPS-06b											

PROMEDIO	27.02	1657	1.52	1.72	349	3510	1864	100	1.60	1.34	1.36
1σ	6.49	795	0.24	0.28	124	1686	324	68	1.26	1.05	0.49
MPS-08											
PROMEDIO	37.42	1707	2.02	2.27	830	3363	2252	119	7.76	16.11	3.03
1σ	22.84	762	0.67	0.76	468	3207	1085	132	9.93	38.58	6.92
MPS-09											
PROMEDIO	349.34	4007	16.24	18.40	350	6382	564	594	1.63	0.36	16.81
1σ	39.85	1058	1.06	1.19	95	2364	97	78	1.62	0.68	11.84
MPS-15											
PROMEDIO	246.91	1497	11.37	13.03	366	5978	695	85.67	0.36	0.31	68.37
1σ	27.35	408	1.10	1.26	102	1651	140	57.25	0.34	0.77	14.21
MPS-17a											
PROMEDIO	265.59	4037	13.25	15.06	345	9057	564	457	0.52	0.22	176.16
1σ	15.16	259	0.83	0.92	80	2133	55	39.43	0.52	0.53	16.60
MPS-18a											
PROMEDIO	306.34	1924	12.07	13.69	464	2607	2084	85.33	1.56	0.57	8.93
1σ	25.46	1624	1.35	1.63	186	1667	797	90.27	1.60	0.67	16.26

Para las muestras tomadas en el área de Mimilulco (MPS-02, MPS04d, MPS-05a y MPS-06b), las concentraciones de Zr, Hf, Nb y Ta varían entre 16–111 ppm (Figura 19), 1.19–3.90 ppm, 458–4208 ppm y 1.31–4.41 ppm, respectivamente. Las muestras tomadas en las áreas de Asís y Piaxtla (MPS-09, MPS-15, MPS-17a y MPS-18a) presentan concentraciones de HFSE mayores, observándose valores de 178–411 ppm de Zr (Figura 19), 8.11–18.31 de Hf, 662–7240 de Nb y 9.90–20.75 de Ta.

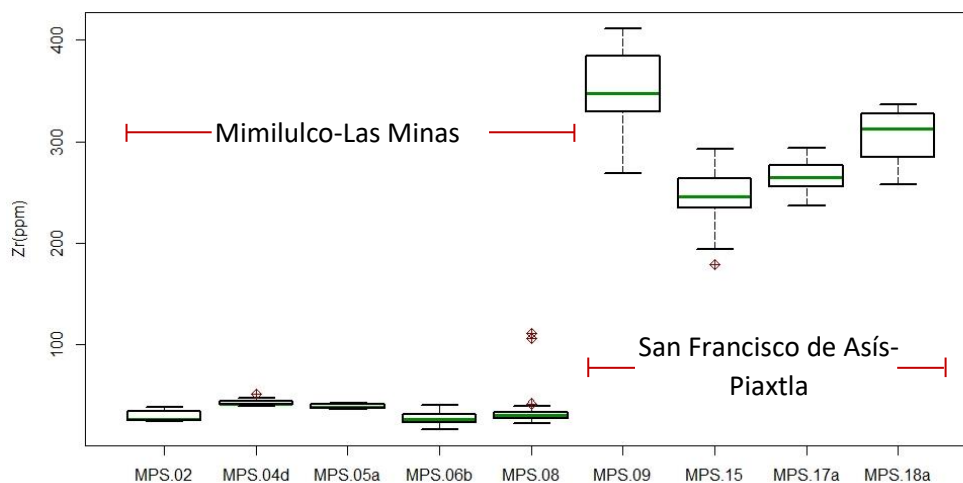


Figura 19 Diagrama de cajas y bigotes del contenido de Zr en rutilo para las muestras analizadas. Diamantes rojos representan datos extremos.

El contenido de Fe varía a lo largo del área muestreada, variando entre 1162–10885.55 ppm (con 95% de confianza y mediana de 3069 ppm) en el área de Mimilulco, y entre 816–11805.8 ppm (con 95% de confianza y mediana de 5600 ppm) en las áreas de Asís y Piaxtla. La concentración de U en las muestras varía entre 0.17–21.1 ppm, sin embargo, las muestras MPS-15 y MPS-17a presentan concentraciones mayores, que varían entre 45.21–97.10 ppm y 146.7–197.4, respectivamente. Con respecto al Th, la concentración medida en los granos es baja (<10ppm) en todas las muestras,

solamente algunos granos de las muestras MPS-05 y MPS-08 (Anexo 3. Química de elementos traza de circones y rutilos) contienen cantidades >100ppm. De manera similar, el contenido de Pb es bajo en los granos (<5ppm), observándose solamente algunos valores >15ppm en las mismas muestras que presentan valores altos de Th.

Termometría

El termómetro utilizado considera una dependencia a la presión, por lo cual se seleccionaron tres valores de referencia consistentes con las características petrográficas de las muestras y con las relaciones de fases típicas en rocas pelíticas (Figura 5): 1.0 GPa, 1.5 GPa y 2.0 GPa; los resultados se presentan en la Tabla 9 y en la Figura 20. Suponiendo una presión intermedia de 1.5 GPa, se obtuvo una temperatura promedio de ~471–501 °C para las muestras tomadas en el área Mimilulco-Las Minas y de 634–665 °C para las muestras tomadas en las áreas Asís y Piaxtla. Es importante señalar que estos intervalos de temperatura varían en el orden de $\pm 20^\circ\text{C}$ al establecer presiones de 1.0 y 2.0 GPa (Tabla 9).

Tabla 9 Temperaturas Zr en rutilo calculadas en metapelitas de la Suite Piaxtla, Complejo Acatlán.

	<i>n</i>	Zr(ppm)	1σ	<i>T</i> (°C, 1.0 GPa)	<i>T</i> (°C, 1.5 GPa)	<i>T</i> (°C, 2.0 GPa)
MPS-02	18	29.07	5.21	458 ± 10	477 ± 11	495 ± 11
MPS-04d	17	42.98	3.13	483 ± 5	502 ± 5	521 ± 5
MPS-05a	16	39.02	2.04	477 ± 3	496 ± 3	514 ± 3
MPS-06b	19	27.02	6.49	453 ± 14	472 ± 14	490 ± 15
MPS-08	24	36.81	22.54	469 ± 26	488 ± 26	506 ± 27
MPS-09	15	349.34	39.85	643 ± 11	666 ± 11	689 ± 11
MPS-15	24	246.91	27.35	612 ± 10	634 ± 10	656 ± 10
MPS-17a	18	265.59	15.16	618 ± 5	641 ± 5	663 ± 5
MPS-18a	16	306.34	25.46	629 ± 8	654 ± 8	675 ± 8

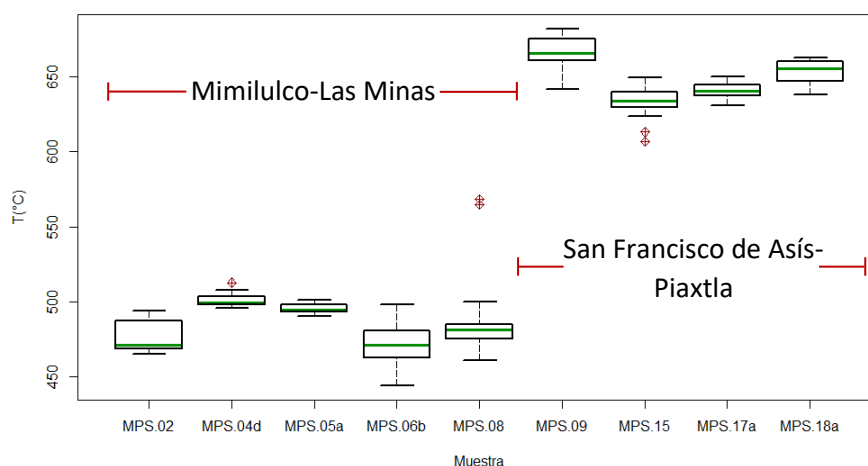


Figura 20 Diagrama de cajas y bigotes de temperaturas calculadas a partir de la calibración de Kohn (2020) para metapelitas del Complejo Acatlán. Diamantes rojos representan datos extremos.

5.3.2 Barometría Si en Fengita

Una estimación preliminar de la presión se llevó a cabo utilizando el barómetro de Si en Fengita de Massonne y Schreyer (1987), que a pesar de estar calibrado para composiciones graníticas permite establecer las condiciones de presión mínimas de asociaciones con fengita y otras fases aluminosas como cloritoide y granate. Para esta estimación se tuvieron en cuenta las temperaturas calculadas a partir de Zr en rutilo (Tabla 9) y el contenido de Si en las fengitas de las muestras estudiadas (Tabla 10), que varía entre 3.24 y 3.27 puf, lo que sugiere que las rocas estudiadas se equilibraron a presiones mínimas de entre 0.75 y 1.05 GPa (Figura 21).

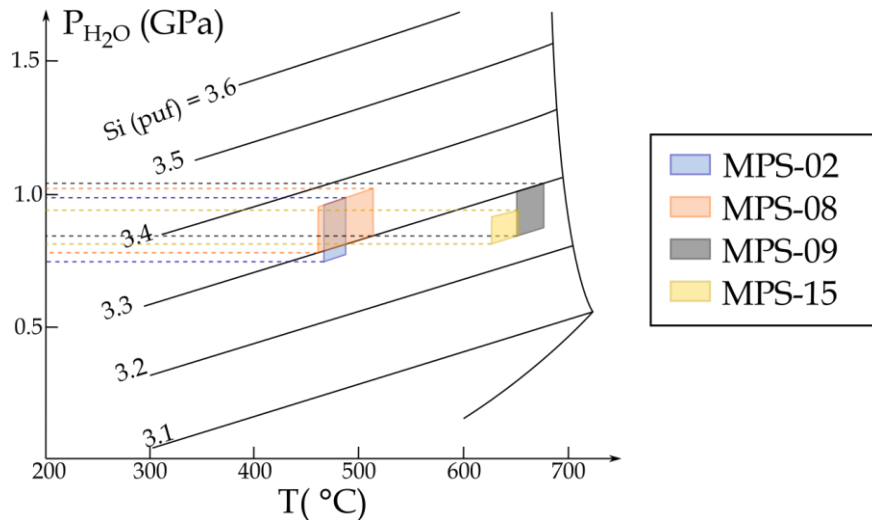


Figura 21 Estimación de condiciones de presión mínimas para las muestras analizadas, con base el barómetro Si en fengita de Massonne y Schreyer (1987).

Adicionalmente, se aplicó la calibración de Kamzolkin et al. (2016) con base en la composición química de las fengitas analizadas (Tabla 10). Puesto que esta calibración es ligeramente dependiente a la temperatura, se utilizaron como referencia las temperaturas obtenidas por termometría Zr en Rutilo y se realizaron múltiples iteraciones. Los resultados de esta calibración sugieren presiones de entre 1.5 y 1.7 GPa para las rocas recolectadas en el área Mimilulco-Las Minas (p.ej. MPS-02 y MPS-08), y entre 1.23 y 2.13 para aquellas muestras procedentes del área San Francisco de Asís (p.ej. MPS-09 y MPS-15).

Tabla 10 Composición de fengitas (% en peso y átomos por unidad de fórmula calculados con base en 11 oxígenos) en rocas metasedimentarias de la Suite Piaxtla y estimaciones de presión usando una calibración actualizada del geobarómetro de fengita (Kamzolkin et al., 2016).

Muestra	P (GPa)	T (°C)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
			Si ⁴⁺	Ti ⁴⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
MPS-02												
Ph 2.1	1.70 ± 0.4	500	51.18	0.05	28.62	3.06	0.00	2.60	0.00	0.45	11.17	97.15

Muestra	P (GPa)	T (°C)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
			Si ⁴⁺	Ti ⁴⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Ph 2.2	1.70 ± 0.4	500	3.37	0.00	2.22	0.17	0.00	0.26	0.00	0.06	0.94	7.01
			50.83	0.06	28.29	3.33	0.02	2.63	0.01	0.39	11.25	96.82
Ph 2.3	1.50 ± 0.4	500	3.37	0.00	2.21	0.18	0.00	0.26	0.00	0.05	0.95	7.02
			48.68	0.04	29.25	3.09	0.00	2.44	0.01	0.43	11.40	95.35
Ph 2.4	1.64 ± 0.4	500	3.28	0.00	2.33	0.17	0.00	0.24	0.00	0.06	0.98	7.07
			49.39	0.07	28.10	3.21	0.01	2.52	0.00	0.53	11.17	95.01
Ph 2.5	1.53 ± 0.4	500	3.34	0.00	2.24	0.18	0.00	0.25	0.00	0.07	0.96	7.05
			48.77	0.05	28.91	3.24	0.02	2.61	0.00	0.46	11.40	95.52
Ph 2.6	1.57 ± 0.4	500	3.29	0.00	2.30	0.18	0.00	0.26	0.00	0.06	0.98	7.08
			49.51	0.06	28.93	3.23	0.01	2.56	0.00	0.47	11.11	95.92
MPS-08			3.31	0.00	2.28	0.18	0.00	0.26	0.00	0.06	0.95	7.04
Ph 8.1	1.64 ± 0.4	500	49.90	0.08	28.40	2.56	0.00	3.15	0.02	0.48	10.95	95.58
			3.34	0.00	2.24	0.14	0.00	0.31	0.00	0.06	0.93	7.03
Ph 8.2	1.69 ± 0.4	500	50.60	0.06	28.25	2.17	0.03	3.35	0.00	0.40	11.30	96.18
			3.36	0.00	2.21	0.12	0.00	0.33	0.00	0.05	0.96	7.03
Ph 8.3	1.69 ± 0.4	500	50.78	0.09	28.46	2.32	0.00	3.12	0.00	0.41	11.06	96.28
			3.36	0.00	2.22	0.13	0.00	0.31	0.00	0.05	0.93	7.01
Ph 8.4	1.64 ± 0.4	500	50.23	0.07	28.63	2.44	0.01	3.09	0.00	0.43	11.28	96.25
			3.34	0.00	2.24	0.14	0.00	0.31	0.00	0.06	0.96	7.04
Ph 8.5	1.72 ± 0.4	500	50.47	0.08	27.83	2.54	0.00	3.11	0.00	0.38	11.23	95.65
			3.37	0.00	2.19	0.14	0.00	0.31	0.00	0.05	0.96	7.03
Ph 8.6	1.52 ± 0.4	500	50.15	0.07	30.08	2.36	0.03	2.71	0.00	0.52	11.03	96.96
			3.30	0.00	2.33	0.13	0.00	0.27	0.00	0.07	0.93	7.02
Ph 8.7	0.67 ± 0.4	500	46.57	0.04	33.17	2.12	0.01	1.79	0.01	0.75	10.86	95.32
			3.12	0.00	2.62	0.12	0.00	0.18	0.00	0.10	0.93	7.07
MPS-09												
Ph 9.1	1.36 ± 0.4	693	47.63	0.05	29.11	3.34	0.02	2.78	0.00	0.71	11.21	94.88
			3.24	0.00	2.34	0.19	0.00	0.28	0.00	0.09	0.97	7.12
Ph 9.2	2.04 ± 0.4	693	48.88	0.06	29.64	3.25	0.06	2.63	0.00	0.73	11.45	96.73
			3.26	0.00	2.33	0.18	0.00	0.26	0.00	0.09	0.97	7.10
Ph 9.3	2.06 ± 0.4	693	48.82	0.05	29.46	3.32	0.07	2.60	0.00	0.48	11.34	96.20
			3.27	0.00	2.33	0.19	0.00	0.26	0.00	0.06	0.97	7.07
Ph 9.4	2.00 ± 0.4	693	48.04	0.07	29.63	3.14	0.00	2.43	0.00	0.76	11.18	95.28
			3.25	0.00	2.36	0.18	0.00	0.24	0.00	0.10	0.96	7.10
Ph 9.5	1.27 ± 0.4	693	48.08	0.04	30.12	3.03	0.02	2.27	0.00	0.79	11.30	95.73
			3.24	0.00	2.39	0.17	0.00	0.23	0.00	0.10	0.97	7.10
Ph 9.6	1.27 ± 0.4	693	48.16	0.07	30.19	3.14	0.02	2.23	0.00	0.63	11.28	95.78
			3.24	0.00	2.39	0.18	0.00	0.22	0.00	0.08	0.97	7.08
Ph 9.7	2.03 ± 0.4	693	47.95	0.06	29.28	2.93	0.02	2.50	0.00	0.55	11.49	94.79
			3.26	0.00	2.35	0.17	0.00	0.25	0.00	0.07	1.00	7.09
Ph 9.8	2.04 ± 0.4	693	48.14	0.04	29.18	3.14	0.00	2.50	0.00	0.72	11.26	94.98
			3.27	0.00	2.33	0.18	0.00	0.25	0.00	0.10	0.97	7.10
Ph 9.9	2.13 ± 0.4	693	48.87	0.06	28.73	3.23	0.02	2.42	0.00	0.73	11.22	95.32
			3.30	0.00	2.29	0.18	0.00	0.24	0.00	0.09	0.97	7.08
MPS-15												
Ph 15.1	1.88 ± 0.4	633	48.73	0.03	29.49	3.46	0.00	2.39	0.00	1.10	10.42	95.62
			3.27	0.00	2.33	0.19	0.00	0.24	0.00	0.14	0.89	7.08
Ph 15.2	1.84 ± 0.4	633	48.48	0.04	29.71	3.49	0.00	2.36	0.00	1.19	10.47	95.78
			3.26	0.00	2.35	0.20	0.00	0.24	0.00	0.16	0.90	7.09
Ph 15.3	1.88 ± 0.4	633	48.53	0.08	29.17	3.50	0.00	2.66	0.00	1.20	10.48	95.63
			3.27	0.00	2.31	0.20	0.00	0.27	0.00	0.16	0.90	7.10
Ph 15.4	1.23 ± 0.4	633	47.44	0.04	29.17	3.62	0.01	2.67	0.00	1.16	10.30	94.41
			3.24	0.00	2.35	0.21	0.00	0.27	0.00	0.15	0.90	7.11
Ph 15.5	1.86 ± 0.4	633	48.72	0.06	29.74	3.26	0.02	2.29	0.00	1.06	10.50	95.67

Muestra	P (GPa)	T (°C)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
			Si ⁴⁺	Ti ⁴⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
			3.27	0.00	2.35	0.18	0.00	0.23	0.00	0.14	0.90	7.07

5.4 Geocronología U-Pb y elementos traza

Las rocas metapelíticas de la Suite Piaxtla fueron utilizadas para investigar: (1) la edad del metamorfismo de alta presión en la zona estudiada y (2) procedencia y edad de depositación del protolito. Estas muestras contienen fases accesorias óptimas para estudiar el sistema isotópico U-Pb, como lo son el rutilo y el circón. Por ello, rutilos de las muestras MPS-02, MPS-05a, MPS-06b, MPS-09, MPS-15 y MPS-17a, y circones de las muestras MPS-08 y MPS-09 fueron empleados para su análisis isotópico U-Pb y de elementos traza. El conjunto completo de datos de U-Pb y geoquímica mineral están disponibles en el Anexo 2. Información isotópica U-Pb y Anexo 3. Química de elementos traza de circones y rutilos, respectivamente.

5.4.1. Rutilo

El sistema U-Pb en rutilo tiene algunas particularidades: en primer lugar, la lenta difusión del Pb en este mineral define un perfil de temperatura de cierre con valores calculados no mayores a 640 °C (Kooijman et al., 2010); por otro lado, el alto contenido de U (>100ppm) y el bajo contenido de Th permite la común aplicación de la corrección de Pb común por ²⁰⁸Pb (Zack et al., 2011). Estas consideraciones son importantes para una correcta lectura e interpretación (ver sección 6.3) de las edades obtenidas.

El rutilo en la muestra **MPS-02** (Mimilulco-Las Minas) presenta mayormente formas prismáticas elongadas, y en menor cantidad formas elipsoidales; la dimensión de los cristales varía de 70 a 200 µm en sus ejes largos, y de 20–90 µm en sus ejes cortos. Se analizaron 23 granos que presentan contenidos de U y Th de 2.56 a 7.05 ppm y 0.01 a 1.40 ppm, respectivamente. Los análisis U-Pb en esta muestra definen una línea regresión en el diagrama Tera-Wasserburg (TW) con una edad de intersección inferior de 344.0 ± 12.6 Ma (Figura 22 A).

Las muestras **MPS-05a** y **MPS-06b** (Mimilulco-Las Minas) contienen rutilo con formas prismáticas elongadas similares, con longitudes de 80–400 µm y espesores de 40–150 µm. El contenido de uranio varía de 0.62 a 2.02 ppm en la muestra MPS-05a (16 análisis en 13 granos) y de 0.71 a 2.72 en la muestra MPS-06b (20 análisis en 16 granos). La concentración de Th en los cristales es <0.47 ppm para MPS-05a y <7.30 ppm para MPS-06b. La regresión de los datos U-Pb en el diagrama TW resulta en edades de intersección inferior de 348.2 ± 20.6 Ma para MPS-05a (Figura 22 B) y 328.3 ± 29.7 Ma para MPS-06b (Figura 22 C).

El rutilo separado en la muestra **MPS-09** (San Francisco de Asís) ocurre como cristales prismáticos con dimensiones similares a aquellos de la muestra MPS-02. De esta muestra se analizaron 26 granos, donde se observó un contenido de U de 2.82 a 77.34 ppm, y valores de Th <3.81 ppm excepto por un grano (22.38 ppm). La regresión ajustada a los datos U-Pb discordantes en el diagrama TW da una edad de intersección inferior de 374.4 ± 12.0 Ma (Figura 22 D).

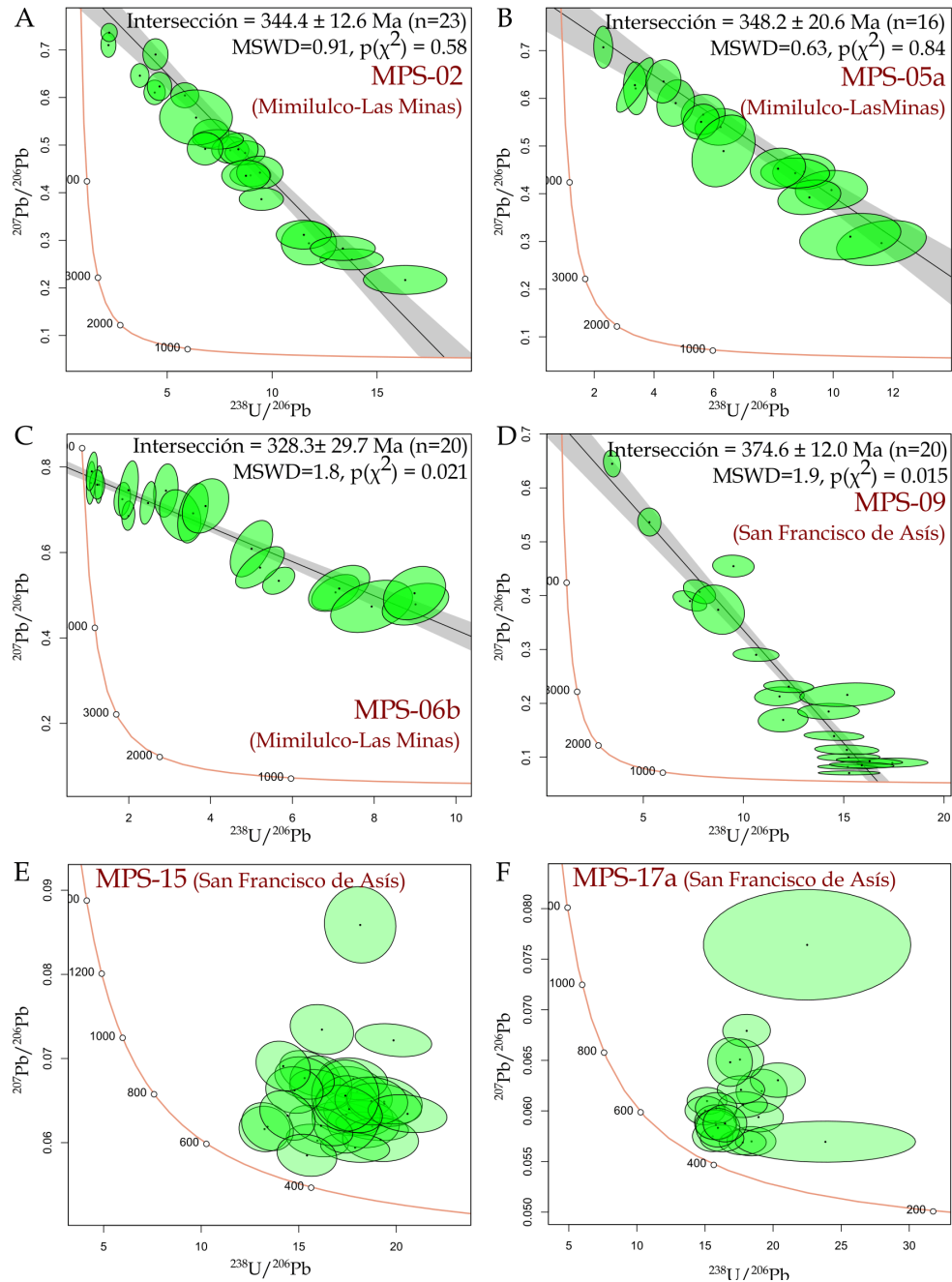


Figura 22 Resultados U-Pb (sin corregir) para las muestras en este estudio. Diagramas de concordia Tera-Wasserburg para las muestras (A) MPS-02, (B) MPS-05a, (C) MPS-06b, (D) MPS-09, (E) MPS-15 y (F) MPS-17.

En las muestras **MPS-15** y **MPS-17a** (San Francisco de Asís) el rutilo presenta formas tanto prismáticas elongadas como elipsoidales de grano fino, con longitudes de <150 μm y espesores de <80 μm . De la muestra MPS-15 se analizaron 26 granos, cuyo contenido de U y Th varía de 39.27 a 86.73 ppm y 0.00–0.61 ppm, respectivamente. En la muestra MPS-17a (21 granos) se observaron valores de 102.68–217.98 ppm de U y 0.00–1.78 de Th (excluyendo un dato). La dispersión de los datos en estas muestras no permitió definir una línea de regresión ni una edad de concordia

(Figura 22 E y F). Pese a esto, el bajo contenido de Th en los rutilos de estas dos muestras permitió aplicar una corrección de ^{208}Pb , obteniendo así edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio de 354.9 ± 5.6 Ma para MPS-15 (Figura 23 A) y 359.3 ± 6.4 Ma para MPS-17 (Figura 23 B).

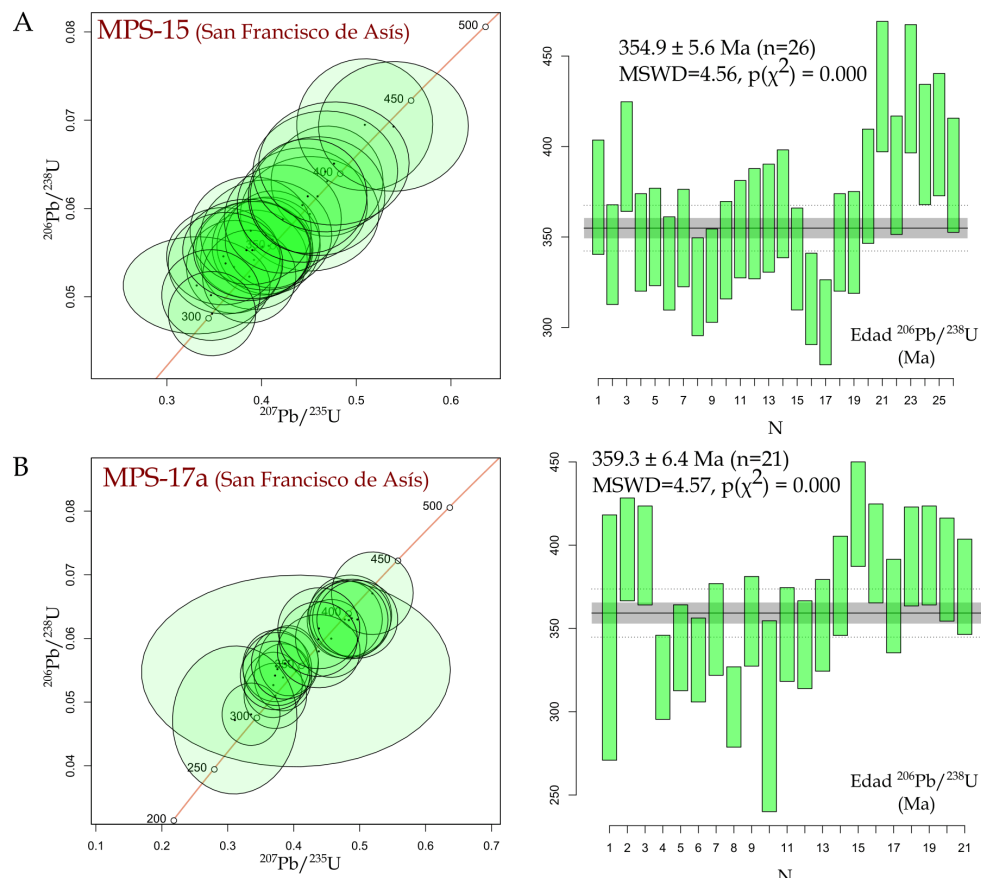


Figura 23 Resultados U-Pb (corregidos por ^{208}Pb) para las muestras (A) MPS-15 y (B) MPS-17a. A la izquierda se presentan los diagramas de concordia Wetherill mostrando los análisis U-Pb de circón, y a la derecha el promedio ponderado de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

5.3.2. Circón

Los circones en la muestra **MPS-09** (San Francisco de Asís) exhiben longitudes de 50–100 μm y espesores de 75–200 μm , así como formas moderadamente redondeadas, con algunos pocos preservando sus morfologías prismáticas. Las imágenes de catodoluminiscencia muestran cristales tanto homogéneos como zonados, los últimos compuestos por núcleos redondeados a subredondeados con baja luminiscencia y sobrecrecimientos euhedrales con luminiscencia alta (p.ej. Figura 26). Un total de 95 análisis fueron obtenidos entre núcleos y bordes, observándose edades entre 336 y 1794 Ma (Figura 24 A). Los núcleos analizados (n=75) muestran un espectro de edad entre 698 y 1794 Ma, con una población principal entre ~1000–1400 Ma, y dos grupos menores entre 700–900 Ma y 1600–1800 Ma (Figura 24 B). Estos núcleos se caracterizan por tener valores altos de Th (7.2 a 518.9 ppm) e Y (144 a 2810.6 ppm), valores de U de 24.2 a 967.9 ppm,

relaciones Th/U desde 0.11 a 1.48, patrones de REE con anomalías marcadas de Ce (positiva) y Eu (negativa), así como patrones enriquecidos en elementos de tierras raras pesadas (HREE; Figura 25). Las edades obtenidas en los sobrecrecimientos caen en dos grupos de ~336 a 359 Ma y ~931 a 950 Ma. Los sobrecrecimientos misisípicos presentan edades concordantes cuyo valor $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio es de 345.0 ± 2.7 Ma (Figura 24 C), y se distinguen por tener bajo contenido de Y (34 a 293 ppm) y Th (0.1 a 8.0 ppm), contenido de U entre 24.2 y 628.5 ppm, valores de la relación Th/U menores a 0.1, concentraciones de REE menores que los núcleos, ausencia de anomalías de Eu y patrones aplanados de tierras raras medias (MREE)-HREE (Figura 25). Los sobrecrecimientos neoproterozoicos resultan en una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio de 935.2 ± 10.4 Ma (Figura 24 D). Estos circones se caracterizan por presentar valores de 0.6–4.3 ppm de Th, 229–471.3 ppm de U, 125.2–302.9 ppm de Y y relaciones Th/U < 0.1. El patrón de REE de estos sobrecrecimientos es distintivo por reflejar concentraciones menores con respecto a los núcleos, ausencia de anomalía de Eu, y patrones de HREE enriquecidos (Figura 25).

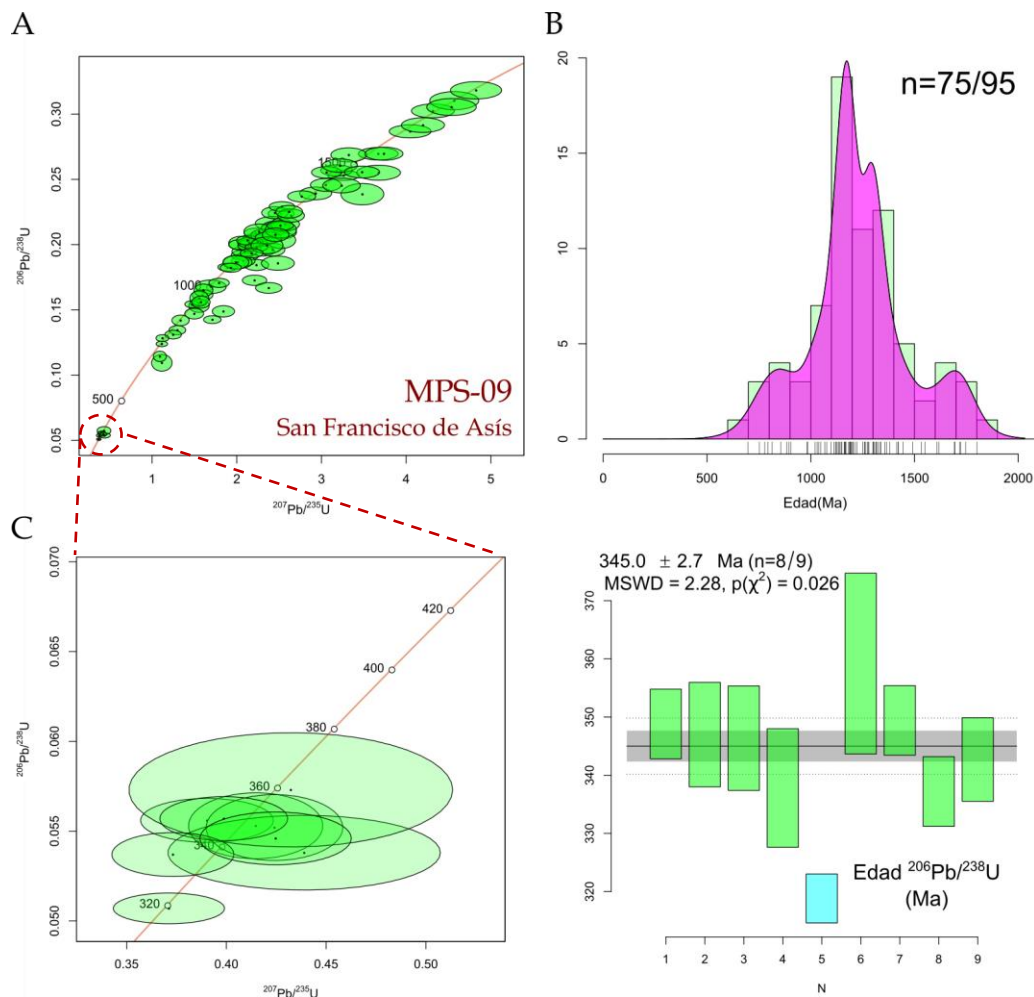


Figura 24 Datos U-Pb en circón para la muestra MPS-09. (A) Diagramas de concordia para todo el conjunto de puntos analizados. (B) Diagrama de densidad Kernel (Vermeesch, 2012) de las edades concordantes obtenidas en los núcleos ($n=75$), las edades preferidas son $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ para < 900 Ma y $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para >900Ma. (C) Diagrama de concordia (izquierda) y edad promedio (derecha) para los sobrecrecimientos misisípicos.

D

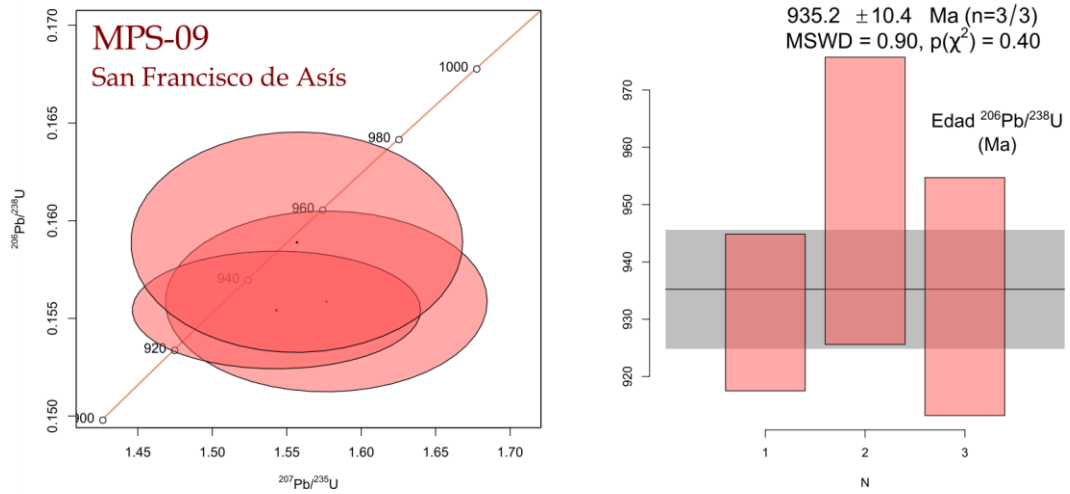


Figura 24 (continuación) (D) Diagrama de concordia (izquierda) y edad promedio (derecha) para los sobrecrecimientos neoproterozoicos

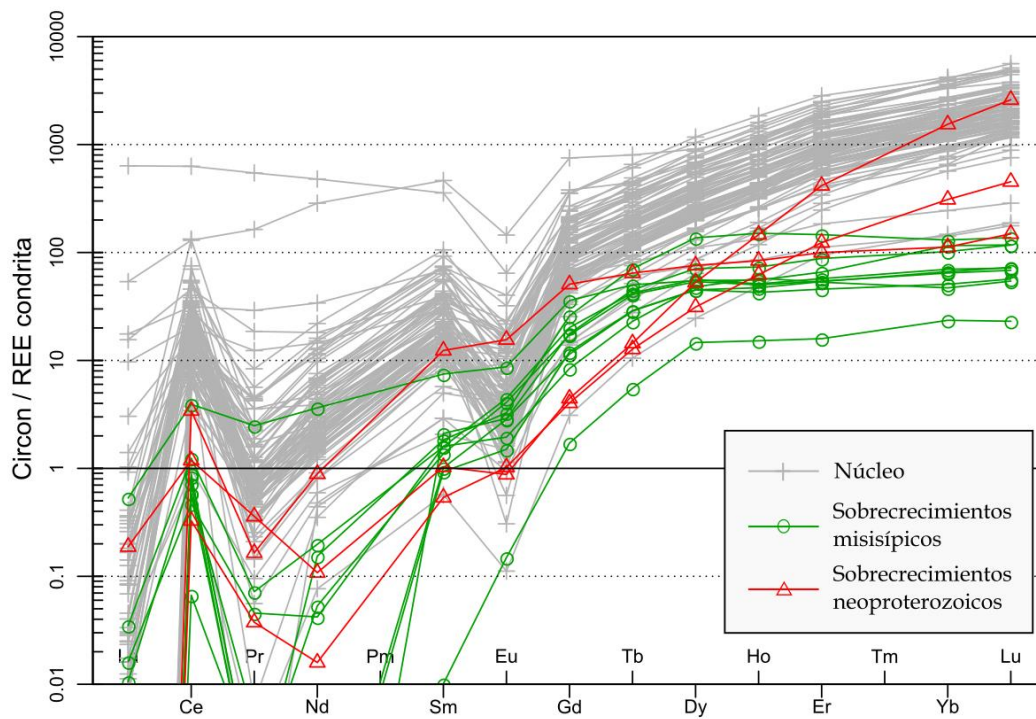


Figura 25 Diagrama elementos de tierras raras (REE) normalizadas con respecto a los valores de condrita de Anders y Grevesse (1989) para los circones de la muestra MPS-09. En color gris, se muestran los análisis de núcleo ($Th/U > 0.1$), en verde los análisis correspondientes a sobrecrecimientos misisípicos y en rojo los datos de los sobrecrecimientos neoproterozoicos.

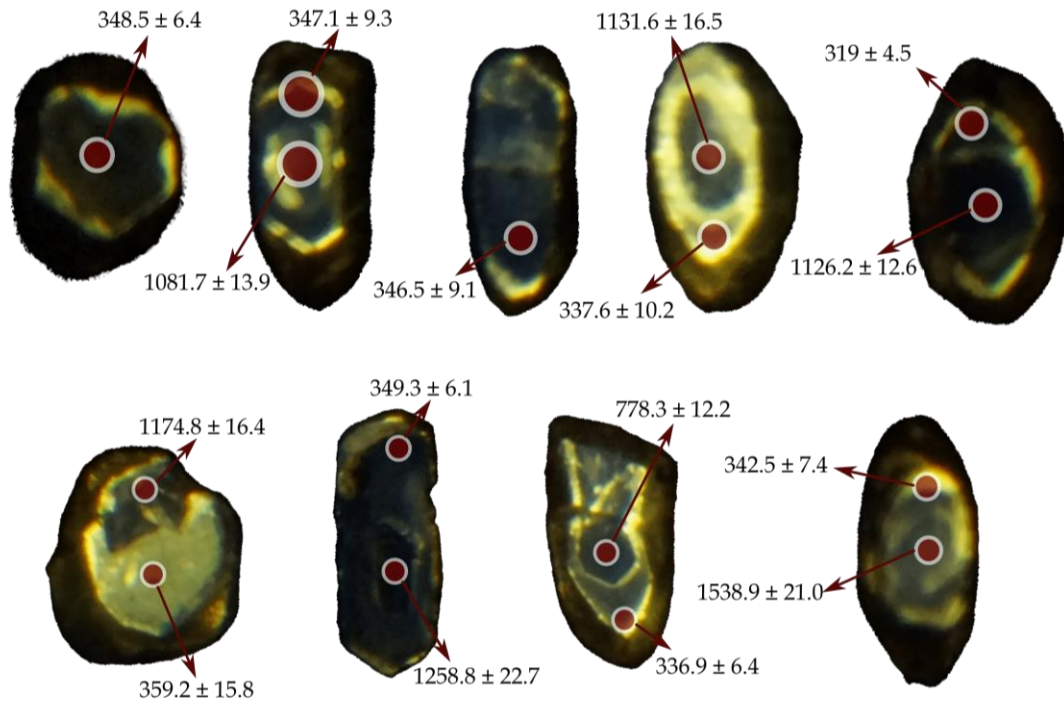


Figura 26 Imágenes de catodoluminiscencia de cristales con sobrecrecimientos misisípicos en la muestra MPS-09. Las edades corresponden a la edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Círculos rojos corresponden al tamaño de spot utilizado (24 μm). Los bordes más oscuros corresponden a porciones de cristal no expuestas en la superficie de análisis.

Los circones de la muestra **MPS-08** (Mimilulco-Las Minas) presentan formas euhedrales prismáticas con longitudes de 100–300 μm y espesores de 30–150 μm . Las imágenes de catodoluminiscencia indican que los cristales son complejos texturalmente; sin embargo, en numerosos granos se observan núcleos redondeados con alta luminiscencia y sobrecrecimientos euhedrales con luminiscencia baja (Figura 28). Se llevaron a cabo un total de 120 análisis distribuidos entre núcleos y bordes, los cuales proporcionan resultados concordantes a moderadamente discordantes (Figura 27 A). En la Figura 27 B se muestra la distribución de los análisis con discordancias entre -5 y 10% (entre las edades aparentes $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), usando 900 Ma como valor de corte entre la edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. El espectro de edades varía entre ~448 y ~1463 Ma, mostrando una población principal entre 1100 y 1300 Ma, y un grupo menor entre 900 y 1100 Ma. Estos análisis presentan contenidos variables de U y Th, con concentraciones en los rangos de 27–2689 ppm y 14–1309, respectivamente. Por su parte, un grupo de cuatro análisis más jóvenes obtenidos en los sobrecrecimientos definen una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio de 329.9 ± 4.8 Ma (Figura 27 C y D, Figura 28). Estos sobrecrecimientos misisípicos tienen contenidos de U entre 449–1827 ppm, Th entre 86–124, y relaciones Th/U entre 0.05–0.28. Las composiciones de REE de los núcleos muestran patrones fraccionados con anomalías acentuadas en Eu y Ce, mientras que los bordes misisípicos muestran patrones similares pero con anomalías de Eu y Ce claramente menos prominentes (Figura 29).

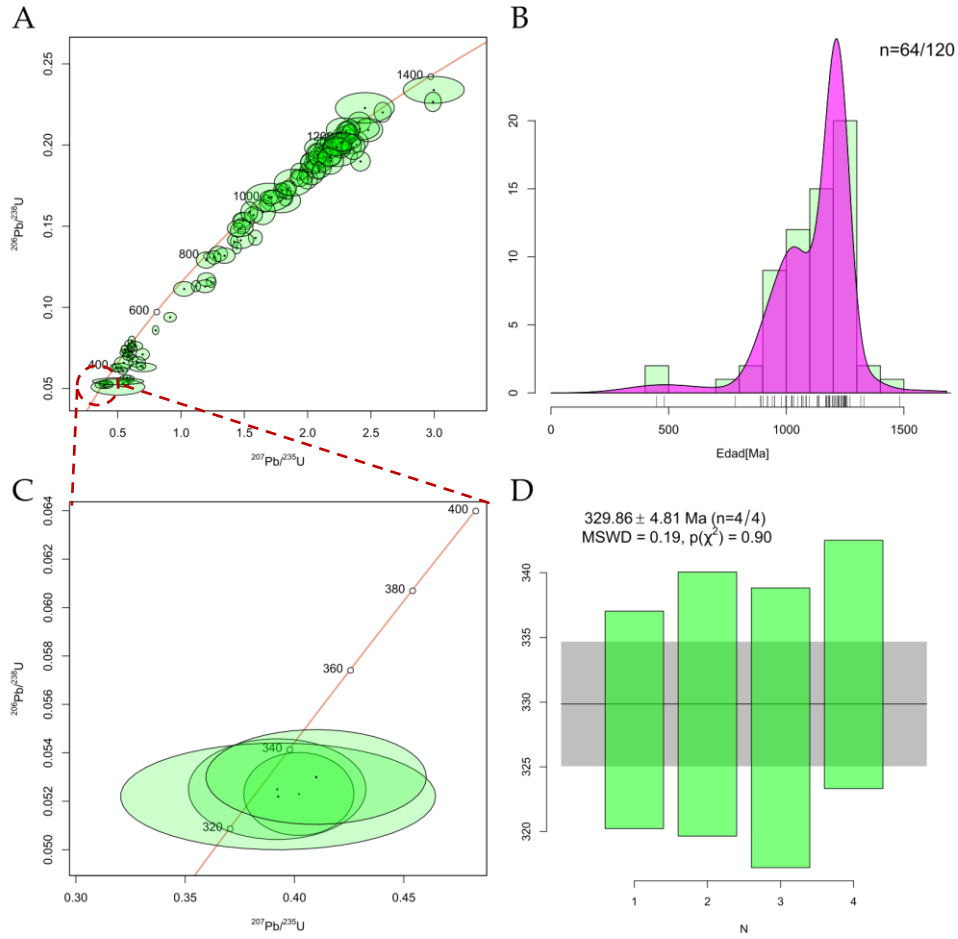


Figura 27 Datos U-Pb en circón para la muestra MPS-08. (A) Diagrama de concordia para todo el conjunto de puntos analizados. (B) Diagrama de densidad Kernel (Vermeesch, 2012) de las edades concordantes obtenidas en los núcleos ($n=64$), las edades preferidas son $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ para < 900 Ma y $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para > 900 Ma. (C) Diagrama de concordia para los sobrecrecimientos misisípicos. (D) Edad promedio de los sobrecrecimientos misisípicos.

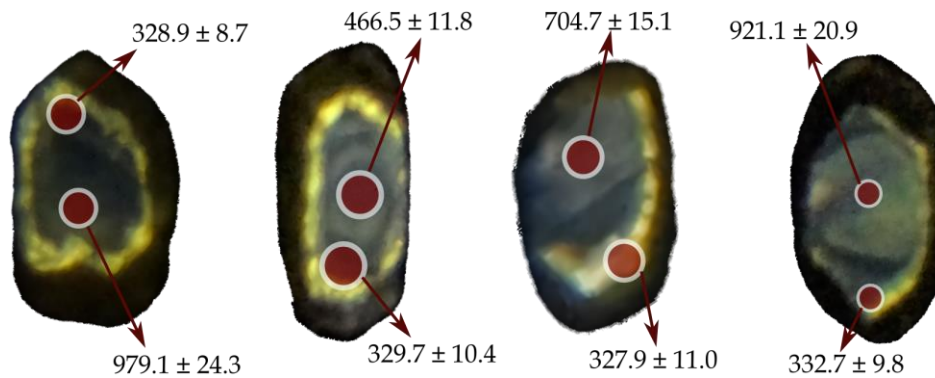


Figura 28 Imágenes de catodoluminiscencia de cristales con sobrecrecimientos misisípicos en la muestra MPS-08. Las edades corresponden a la edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Círculos rojos corresponden al tamaño de spot utilizado ($24 \mu\text{m}$). Los bordes más oscuros corresponden a porciones de cristal no expuestas en la superficie de análisis.

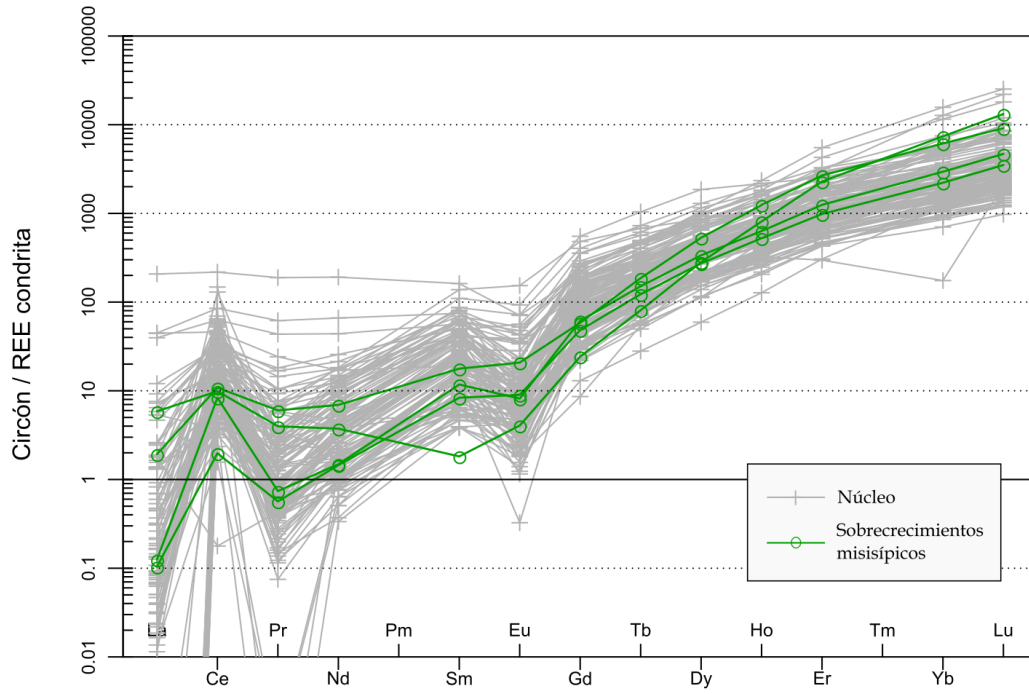


Figura 29 Diagrama elementos de tierras raras (REE) normalizadas con respecto a los valores de condrita de Anders y Grevesse (1989) para los circones de la muestra MPS-08. En color verde se resaltan los análisis correspondientes a sobrecrecimientos misisípicos.

6. Discusión

6.1 Ensamblaje estructural en la Suite Piaxtla

En las áreas estudiadas, la Suite Piaxtla está compuesta por una secuencia metamórfica de metapelitas, metapsamitas, meta-eclogitas (anfíbolitas) y ocurrencias locales de serpentinita. Las meta-eclogitas se encuentran principalmente como cuerpos lenticulares métricos contenidos en la secuencia sedimentaria, y exhiben un grado de retrogresión variable (p.ej. Meza-Figueroa et al., 2003; Vega-Granillo et al., 2007). La ocurrencia de plegamientos y replegamientos en niveles metasedimentarios, máficos y cuarzosos (Figura 11 y Figura 13) sugieren que la historia estructural de la Suite Piaxtla es compleja, registrando múltiples eventos de deformación ocurridos entre el Paleozoico y Mesozoico (p.ej. Galaz et al., 2013; Vega-Granillo et al., 2009). La coherencia estructural entre los niveles de meta-eclogita y la secuencia metasedimentaria sugiere que las litologías estuvieron asociadas durante estos eventos de deformación, o una parte de ellos, siendo el primer evento de deformación conjunto aquel de alta presión (Figura 31 y Figura 32). Múltiples estudios han descrito que los metasedimentos que contienen a los lentes eclogíticos comúnmente registran condiciones metamórficas de alta presión (p.ej. Gross et al., 2008; B. Li et al., 2021). Así, la deformación común entre los lentes de meta-eclogita y las unidades metasedimentarias, en conjunto con la mineralogía observada en los metasedimentos (p.ej. granate-cloritoide-mica blanca en MPS-02, en ausencia de biotita), sugiere que ambas litologías se encontraban relacionadas previas al evento metamórfico de alta presión, posiblemente como diques máficos que intruyen a la suite sedimentaria, tal como lo sugirieron previos autores (p.ej. Keppie et al., 2008). En coherencia con esta observación, las meta-eclogitas no se observaron en ningún caso como bloques rígidos contenidos en una matriz blanda de bajo grado metamórfico, por lo que la Suite Piaxtla no parece exhibir una estructura de melange. Con ello, se propone que ambas litologías (metapelitas y meta-eclogitas) fueron subducidas y exhumadas como bloques corticales relativamente coherentes.

6.2 Evolución metamórfica

Las asociaciones minerales observadas en las rocas metasedimentarias del Complejo Acatlán sugieren condiciones de pico metamórficas en la facies eclogita, como se ha documentado en múltiples orógenos del mundo (p.ej. Maldonado et al., 2016; Rahimi y Massonne, 2020; Zhou et al., 2019). El rutilo es una fase accesoria que cristaliza a presiones mayores de ca. 1 GPa en rocas metasedimentarias (Zack y Kooijman, 2018), por lo que su ocurrencia en la matriz y como inclusiones en granates y cloritoide implica una evolución metamórfica de estas rocas en el campo de la alta presión (Figura 4 y Figura 5). La asociación granate-cloritoide-fengita, en ausencia de biotita y/o cianita, ha sido modelada como estable entre condiciones de 450-600 °C, a presiones mayores a 1 GPa (p.ej. Cruciani et al., 2013; Maldonado et al., 2018). El crecimiento de la turmalina fue asociado a condiciones de alta presión por presentar inclusiones de rutilo (Figura 16 G). Un par de muestras se distinguen por contener abundante zoisita-clinozoisita tanto en la matriz (Figura 16F) como incluida en el granate (Figura 16E), lo cual puede deberse a: (1) un protolito rico en calcio o (2) un posible proceso de metasomatismo con los cuerpos máficos adyacentes. Adicionalmente, el grado moderado de retrogresión (p.ej. Figura 16 G) que permitió preservar estas asociaciones permite proponer condiciones de exhumación rápidas y/o con baja actividad de fluidos (Ernst, 2006). Así, las observaciones petrográficas apuntan a que las rocas

metasedimentarias de la Suite Piaxtla experimentaron un metamorfismo prógrado cuyo pico habría alcanzado condiciones de facies eclogita, seguido de un proceso de exhumación que permitió preservar las asociaciones minerales de alta presión.

La aplicación del termómetro Zr en rutilo en la secuencia metasedimentaria estudiada evidencia la ocurrencia de dos grupos distintos de temperatura (Figura 20, Tabla 9). El primer grupo corresponde a las muestras colectadas en el área Mimilulco, que registran temperaturas entre ~450 y 500 °C (asumiendo $P= 1.5$ GPa). El segundo grupo de temperatura se obtuvo en las muestras colectadas en las áreas de Asís y Piaxtla, el cual varía entre ~620 y 680 °C ($P= 1.5$ GPa). Estos resultados son consistentes con estimaciones termobarométricas previas, que indican temperaturas de 480–560 °C para el área de Mimilulco (Meza-Figueroa et al., 2003; Vega-Granillo et al., 2007), de 650–750 °C para el área de Asís (Middleton et al., 2007) y de ~690 °C para el área de Piaxtla (Hernández-Urbe et al., 2019). Con esto, se considera que hay por lo menos dos conjuntos de temperatura de pico metamórfico registrados en la suite de alta presión del Complejo Acatlán (Figura 30).

En el área de Mimilulco (MPS-02 y MPS-08) (Figura 11), el zoneamiento del granate (Figura 17 A, B y E) sugiere un crecimiento durante la trayectoria prógrada de metamorfismo (Caddick et al., 2010; Kohn, 2003), con un decrecimiento de espesartina y grosularia, y un incremento de piropo y almandino de núcleo a borde. La preservación de estos perfiles de crecimiento, especialmente la distribución de espesartina, sugiere que durante el metamorfismo no se alcanzaron temperaturas mayores a 650 °C (Caddick et al., 2010). Con base en ello, se interpreta que el borde del granate conserva la composición formada durante el pico metamórfico. La mineralogía observada en la muestra **MPS-02** (granate-cloritoide-fengita-rutilo) sugiere que la roca alcanzó su pico entre condiciones de 450–600 °C, a presiones mayores a 1 GPa (p.ej. Cruciani et al., 2013; Maldonado et al., 2018). Al comparar la composición química de las fases minerales granate, cloritoide y fengita, con pseudosecciones construidas para rocas con características similares a esta muestra (Hoschek et al., 2010; Rahimi y Massonne, 2020), se observa que: (1) la ausencia de evidencias de cristalización de cianita sugiere condiciones de pico menores a 600 °C; (2) el contenido de Si puf máximo en las fengitas (3.37) es consistente a condiciones de presión de hasta ~1.8 GPa; y (3) los valores de X_{Mg} y X_{Ca} en el borde del granate, así como de X_{Mg} en el cloritoide, sugieren condiciones de temperatura entre ~500 y 530 °C. Estos intervalos P – T estimados son consistentes con las condiciones calculadas de 1.7 ± 0.4 GPa y 484 ± 15 °C (Tabla 11). Por su parte, para la muestra **MPS-08**, tanto la ocurrencia de rutilo como inclusión en el granate (Figura 17 B), como el contenido de celadonita en la mica blanca (Tabla 5, Figura 18), son evidencia de que esta muestra alcanzó condiciones de alta presión durante su pico metamórfico. La aplicación en conjunto del termómetro Zr en Rutilo y del barómetro Si en Fengita indican condiciones de pico metamórfico de $\sim 1.7 \pm 0.4$ GPa y 495 ± 15 °C (Tabla 11). Con ello, se estiman que las rocas metasedimentarias en el área de Mimilulco experimentaron un metamorfismo prógrado con condiciones de pico entre 500–530 °C y 1.6–1.8 GPa (Figura 30).

En el área de Asís (MPS-09 y MPS-15) (Figura 12), el granate exhibe dos dominios: (1) núcleos caracterizados por tener perfiles aplanados de espesartina y almandino, junto con perfiles

difusivamente relajados de grosularia y piropo; y (2) bordes con mayor contenido de espesartina y grosularia, y menor contenido de piropo y almandino (Figura 17 C, D y E). La composición del núcleo de los granates sugiere que esta porción creció durante una trayectoria prógrada que alcanzó temperaturas iguales o mayores a 650 °C, rango en el cual la difusión de los cationes permite la completa homogenización de los contenidos de Mn y Fe²⁺, y la homogenización parcial de Ca y Mg (Caddick et al., 2010). El aplanamiento difusivo de los perfiles es consistente con las condiciones P–T calculadas a partir de la aplicación simultánea del geotermómetro Zr en rutilo y el geobarómetro Si en Fengita, que indica condiciones de pico metamórfico de 2.1 ± 0.4 GPa y 693 ± 15 °C para la muestra MPS-09, y 1.9 ± 0.4 GPa y 651 ± 15 °C para la muestra MPS-15 (Tabla 11). Con base en lo anterior, se propone que las rocas metasedimentarias de la Suite Piaxtla en el área de Asís registran condiciones de pico metamórfico entre 640–700 °C y 1.8–2.2 GPa (Figura 30).

Tabla 11 Geotermobarometría en rocas metasedimentarias de la Suite Piaxtla, Complejo Acatlán.

Muestra	Litología	Asociación mineral	P (GPa) ¹	T (°C) ²
MPS-02	Esquisto micáceo	Granate + cloritoide + fengita + rutilo	1.7 ± 0.4	484 ± 15
MPS-08	Esquisto micáceo	Granate + fengita + rutilo	1.7 ± 0.4	495 ± 15
MPS-09	Esquisto cuarzo-micáceo	Granate + fengita + rutilo	2.1 ± 0.4	693 ± 15
MPS-15	Esquisto cuarzo-micáceo	Granate + fengita + rutilo	1.9 ± 0.4	651 ± 15

Métodos: ¹Barómetro de fengita con la calibración de Kamzolkin et al. (2016). ²Termómetro Zr en rutilo con la calibración de Kohn (2020). Se ejecutaron múltiples iteraciones entre ambas calibraciones para obtener el mejor par P-T.

Las condiciones P–T máximas calculadas, en conjunto con el zoneamiento químico de los granates, indican que las rocas metasedimentarias estudiadas se formaron durante un solo evento metamórfico progresivo a lo largo de un gradiente de subducción de 9–11 °C/km (Figura 30). Condiciones P–T comparables han sido reportadas en numerosos complejos de subducción oceánicos a lo largo del mundo, como el Complejo de Raspas, Ecuador (John et al., 2010), el cinturón de alta presión de Sanbagawa, Japón (Aoki et al., 2011; Ota et al., 2004), el Terreno Diahot, Nueva Caledonia (Vitale-Brovarone y Agard, 2013), la ventana de Tauren, Alpes orientales (Konzett et al., 2012) y en Río San Juan, República Dominicana (Krebs et al., 2011). Estos resultados son consistentes con los datos reportados previamente para los componentes metabásicos de la secuencia (Figura 30; Hernández-Urbe et al., 2019). Por su parte, trabajos anteriores reportan condiciones en eclogitas con temperaturas similares pero presiones menores (Figura 30). Sin embargo, el recálculo a partir de la composición de fengitas reportada en estos trabajos sugiere condiciones de presión de 1.7 ± 0.4 GPa para el área de Mimilulco y ~2.2 ± 0.4 GPa para las áreas de Asís y Piaxtla (Tabla 12).

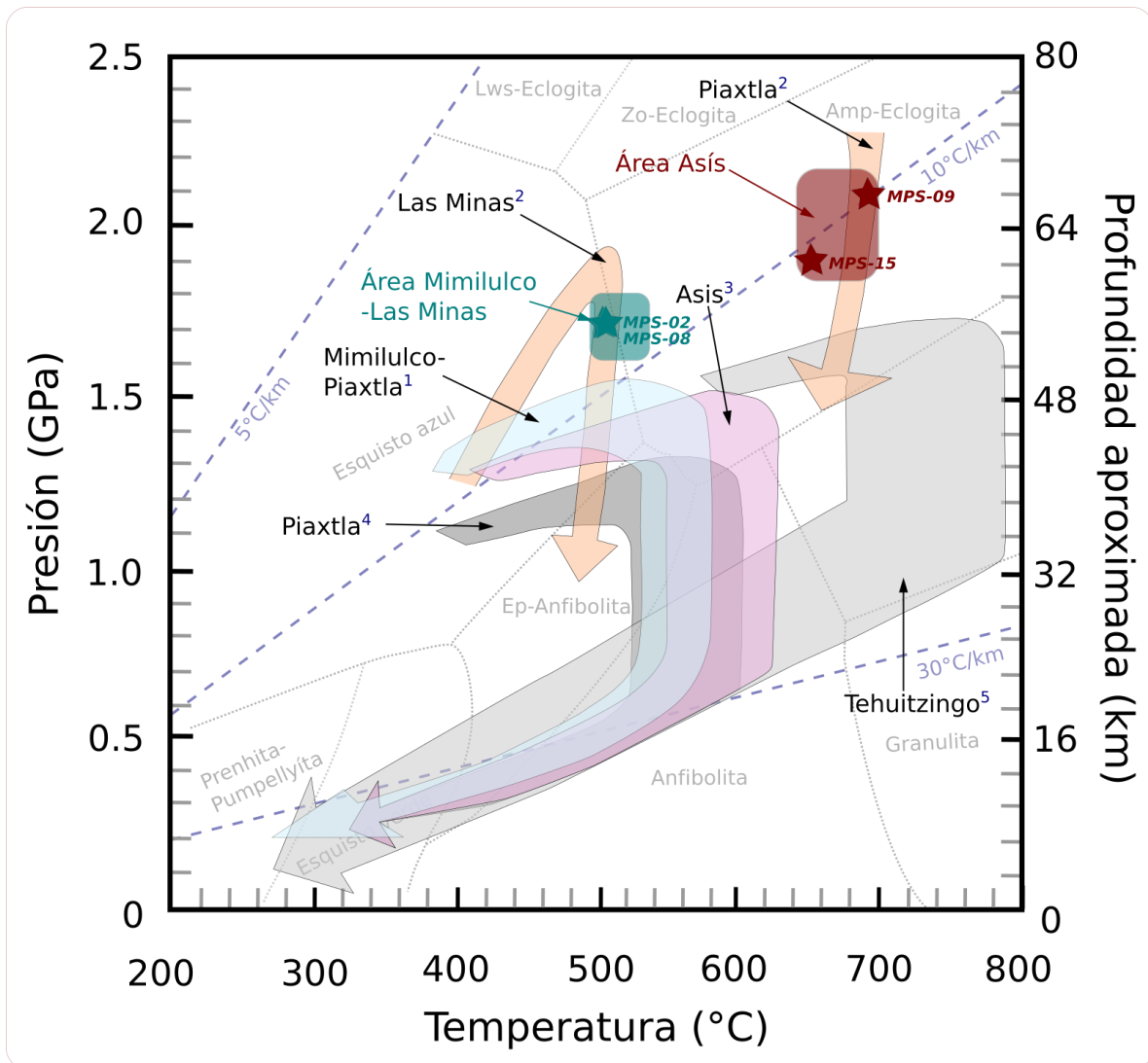


Figura 30 Compendio de condiciones PT calculadas en el Complejo Acatlán, para las áreas cercanas a las localidades de Las Minas, Mimitulco, Asís, Tehuitzingo y Piactla. Los resultados de este trabajo están señalados con estrellas, y se resaltan las ventanas PT propuestas para el pico metamórfico. Condiciones PT indicadas por trayectorias corresponden a: ¹Meza-Figueroa et al. (2003), ²Hernández-Uribe et al. (2019), ³Middleton et al. (2007), ⁴Vega-Granillo et al. (2007), ⁵Galaz et al. (2013). Campos de facies tomados de Okamoto y Maruyama (1999). Abreviaciones: Amp=anfibol, Lws= lawsonita y Zo=zoisita.

Tabla 12 Reestimaciones de presión, a partir de la calibración de Kamzolkin et al. (2016) del barómetro de fengita, para meta-eclogitas (M-e) y rocas metasedimentarias (M-s) estudiadas en trabajos anteriores. Las composiciones están dadas en % en peso y átomos por unidad de fórmula (calculados con base en 11 oxígenos).

Muestra	P (GPa)	T (°C)	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Total
Mimitulco												
M18b-19 ¹	1.72 ± 0.4	500	51.40	0.27	28.47	3.86	0.09	4.04	0.07	0.13	8.58	96.9
(M-e)			3.35	0.01	2.19	0.21	0.01	0.39	0.01	0.03	0.71	6.91
Asís												
42-2 ²	2.18 ± 0.4	650	48.10	0.67	26.37	4.28	0.01	2.74	0.02	0.49	9.32	90.48
(M-e)			3.37	0.04	2.17	0.25	0.00	0.29	0.00	0.06	0.80	6.98

41B²	2.18 ± 0.4	650	50.06	1.36	26.79	4.31	-	3.02	-	1.16	7.57	94.71
(M-s)			3.36	0.07	2.12	0.24	-	0.30	-	0.06	0.69	6.84
42A²	1.90 ± 0.4	650	45.85	0.60	27.98	4.14	0.02	2.16	-	0.10	9.33	88.83
(M-s)			3.26	0.03	2.35	0.25	-	0.23	-	0.16	0.79	7.07
Piaxtla												
MP3-56¹	2.24 ± 0.4	650	54.41	0.07	31.26	1.80	-	3.21	0.05	0.79	4.44	96.04
(M-e)			3.44	0.02	2.33	0.10	-	0.30	0.00	0.10	0.36	6.65
MP3¹	2.21 ± 0.4	650	53.81	0.08	31.08	1.94	-	3.33	0.01	0.79	4.52	95.6
(M-e)			3.42	0.00	2.33	0.10	-	0.32	0.00	0.10	0.37	6.64

¹Meza-Figueroa et al. (2003), ²Middleton et al. (2007)

6.3 Temporalidad del metamorfismo

En este trabajo se obtuvieron edades U-Pb en rutilo y circón metamórfico en metapelitas de las distintas áreas investigadas. Los sobrecrecimientos metamórficos de circón de la muestra **MPS-09** (San Francisco de Asís) tienen una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio de 345.0 ± 2.7 Ma (Figura 24 C). Estos sobrecrecimientos presentan características morfológicas/texturales, patrones de REE y contenidos de Th/U distintivos de crecimiento metamórfico en presencia de granate (p.ej. Rubatto, 2017; Figura 26 y Figura 25). En esta muestra también se observó un grupo de sobrecrecimientos neoproterozoicos (Figura 24 D), los cuales se interpretan como de carácter detrítico y pueden guardar relación con edades similares recientemente reportadas en el Macizo de Chiapas y la Sierra de Juárez (Espejo-Bautista et al., en revisión; Valencia-Morales et al., 2022). Por su parte, algunos sobrecrecimientos en la muestra **MPS-08** (Mimilulco-Las Minas) son concordantes y definen una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ promedio de 329.9 ± 4.8 Ma (Figura 27). La geoquímica de estos sobrecrecimientos no es distintiva de crecimiento coetáneo con granate, y las edades obtenidas son considerablemente más jóvenes que las obtenidas para la muestra MPS.09, así, estos sobrecrecimientos podrían ser el reflejo de una etapa de retrogresión en donde los cristales de granate están reaccionando y liberando HREE.

Los resultados U-Pb en rutilo deben interpretarse de manera diferenciada. Las muestras analizadas en el área Mimilulco (MPS-02, MPS-05a y MPS-06b) presentan edades de 344.4 ± 12.6 , 348.2 ± 20.6 y 328.3 ± 29.7 Ma, respectivamente (Figura 22). En estas muestras los rutilos se observaron tanto incluidos en granate como libres en la matriz, y su formación se asocia a la etapa prógrada del metamorfismo en condiciones de alta presión. Para estas muestras se calcularon temperaturas Zr en rutilo entre 500–520 °C, siendo cercanas a la temperatura de cierre de frontera ($T_c(0)$) del sistema U-Pb en rutilo (Kooijman et al., 2010; Smye y Stockli, 2014). Con ello, se interpreta la edad U-Pb en rutilo para estas muestras como la edad de pico metamórfico.

Por su parte, las muestras analizadas en el área Asís (MPS-09, MPS-15, MPS17a) presentan edades de 374.6 ± 12.0 , 354.9 ± 5.6 y 359.3 ± 6.4 Ma, respectivamente (Figura 22 y Figura 23). Para estas muestras se calcularon temperaturas Zr en rutilo entre 650–700 °C, las cuales exceden a la $T_c(0)$. Con ello, estas edades no pueden ser interpretadas como la edad de pico metamórfico, sino como el momento en que las rocas metasedimentarias enfriaron por debajo de una $T_c(0)$ de aproximadamente 500 °C. Sin embargo, esta interpretación no es completamente consistente con las edades U-Pb obtenidas en circones.

Trabajos geocronológicos previos son escasos y se han concentrado en la porción máfica de la Suite Piaxtla. Estrada-Carmona et al. (2016) presenta una edad promedio Lu-Hf en granate-roca

total de 352.5 ± 1.6 Ma, coherente con edades U-Pb en circón de 353.0 ± 1.0 Ma (Elías-Herrera et al., 2007) y 346.0 ± 3.0 Ma (Middleton et al., 2007). Las edades U-Pb en circón y rutilo obtenidas en este trabajo confirman que el evento metamórfico registrado en la porción metasedimentaria de la Suite Piaxtla ocurrió durante el Misisípico. Así, en conjunto con los datos obtenidos para la porción máfica, estos datos soportan la interpretación de que las porciones metasedimentarias y metabásicas de la Suite Piaxtla fueron metamorfoseadas de manera conjunta, representando posiblemente bloques que fueron subducidos de manera coherente en una zona de subducción activa durante el Misisípico.

6.4 Implicaciones tectónicas

La Suite Piaxtla incluye bloques corticales relativamente coherentes en facies eclogita compuestos por rocas metasedimentarias (metapsamitas y metapelitas), máficas (meta-eclogita) y ultramáficas (Figura 11, Figura 13 y Figura 15). La diferencia composicional y textural entre las rocas aflorantes en las distintas áreas (p.ej. Figura 16 A y B) permite interpretar que los protolitos de las rocas metasedimentarias de la Suite Piaxtla en del área Mimilulco-Las Minas incluyeron un mayor porcentaje de material psamítico que aquellos en el área San Francisco de Asís que debieron ser de naturaleza pelítica. En conjunto, las litologías presentes en la Suite Piaxtla, su ensamble estructural y su evolución metamórfica son coherentes con una zona de subducción tipo Pacífico con canal de subducción tipo acrecional (Ernst, 2005; Guillot et al., 2009). Interpreto que, a través de procesos de erosión por subducción, algunas porciones de la placa superior, como la cobertura sedimentaria intruída por magmatismo bimodal que representa al protolito de la Suite Piaxtla, fueron removidas de la placa superior e integradas al canal de subducción; edades detríticas obtenidas en este trabajo (Figura 24 y Figura 27) indican una edad máxima de depositación ordovícica para esta secuencia sedimentaria, coherente con datos publicados previamente (Keppie et al., 2008). Una vez subducido, se piensa que distintas porciones de este material fueron llevadas a condiciones de profundidad variables, resultando en la ocurrencia de las diferentes condiciones de pico metamórfico registradas en la Suite Piaxtla (Figura 30 y Figura 31). Las condiciones metamórficas calculadas son coherentes con aquellas esperadas para las zonas de subducción durante el Fanerozoico (Penniston-Dorland et al., 2015), sugiriendo que las rocas de la Suite Piaxtla se formaron en profundidades entre ~ 50 y 70 km (Figura 30). En conjunto con la información geocronológica previa es posible re-evaluar las tasas de exhumación propuestas por Keppie et al. (2012), obteniendo valores entre ~ 3.4 y 5 km/Ma, consistentes con exhumación en zonas de subducción tipo Pacífico (Guillot et al., 2009); por su parte, el gradiente geotérmico estimado (10 °C/km; Figura 30) propiciaría un mecanismo de exhumación a través de la placa superior (Liu 2017). No obstante, los resultados de este estudio no son suficientes para entender completamente los procesos de exhumación que permitieron el emplazamiento conjunto de bloques aparentemente metamorfoseados a distintas profundidades.

En un contexto tectónico global, las edades metamórficas misisípicas obtenidas sitúan el evento de subducción en la fase de cierre del Océano Rheico (Nance et al., 2010), en coherencia con lo propuesto por Estrada-Carmona et al. (2016) y con las edades de circón reportadas en trabajos anteriores (Elías-Herrera et al., 2007; Middleton et al., 2007). Las rocas estudiadas corresponden a las definidas suites Xayacatlán y Esperanza de Vega-Granillo et al. (2007; 2009), el cual propone que el metamorfismo de alta presión en estas unidades ocurrió entre el Ordovícico y Silúrico; sin

embargo, los datos obtenidos no preservan evidencia de un posible evento metamórfico en estos periodos. Con base en las características espaciales y metamórficas de la Suite Piaxtla, no pareciera haber registro de un evento de colisión, sino solamente de un evento de acreción, que pudiera estar relacionado con la interacción entre Gondwana y el paleo-Pacífico, tal como propone Keppie et al. (2008) (Figura 32). El cierre del Océano Rheico, así como la amalgamación de la Pangea, fue un proceso diacrónico entre el Devónico Tardío y el Pérmico, que inicia con la colisión del este de Gondwana con el sur de Báltica, y finaliza con la colisión del oeste de Gondwana con Laurentia, posterior al metamorfismo de subducción de la Suite Piaxtla (Nance et al., 2010; este trabajo).

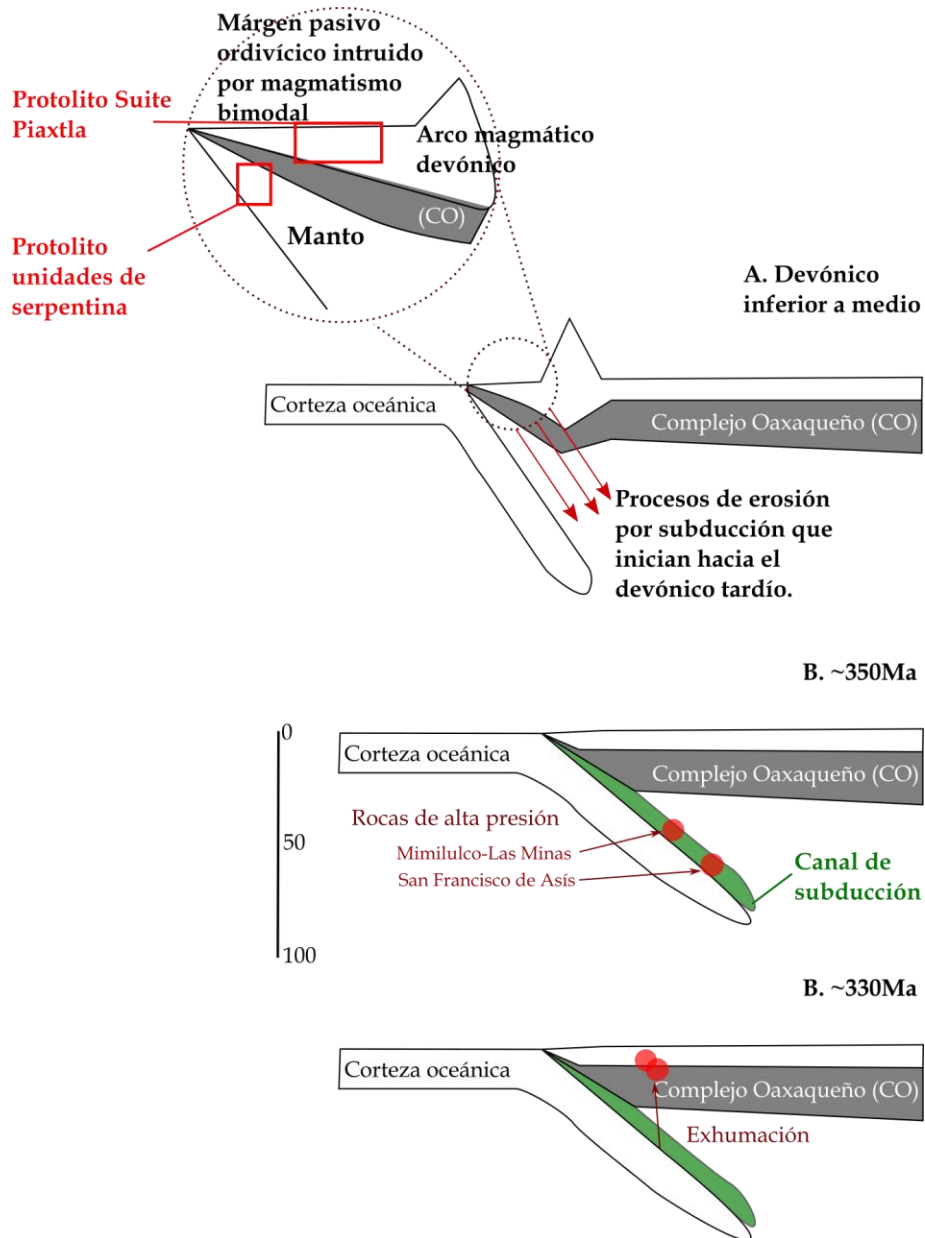


Figura 31 Evolución de la Suite Piaxtla en el contexto de la evolución paleozoica del sur de México. Base tomada de Keppie et al. (2008) y ajustada conforme lo aportes del presente trabajo.

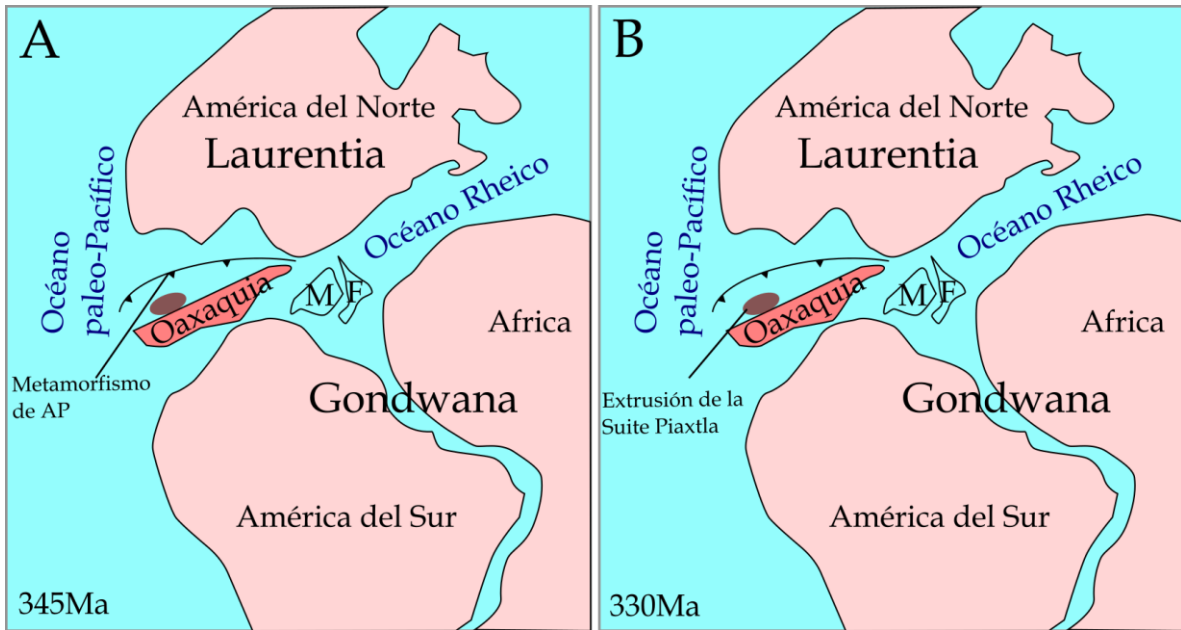


Figura 32 Reconstrucción paleo-geográfica local mostrando la (A) subducción y (B) exhumación de las rocas de alta presión de la Suite Piaxtla. Modificado de Estrada-Carmona et al. (2016) y Keppie et al. (2008). M = Maya, F = Florida.

7. Conclusiones

En conjunto, las observaciones de campo, petrográficas, las estimaciones termobarométricas y las edades obtenidas sugieren que las rocas metasedimentarias de la Suite Piaxtla comparten parte de la historia tectonotérmica de las eclogitas que hospedan, incluyendo así al evento metamórfico de alta presión. Con ello, se infiere que ambas litologías se encontraban relacionadas espacialmente de manera previa a la subducción, y que fueron conducidas como bloques coherentes durante la subducción y exhumación de la suite. En adición, se observó una diferencia en el registro de las condiciones de pico metamórfico a lo largo de la zona de estudio: mientras en el área de Mimilulco-Las Minas se registran condiciones entre 500–530 °C y 1.6–1.8 GPa, hacia el área de San Francisco de Asís se registran condiciones entre 640–700 °C y 1.8–2.2 GPa. Esta diferencia habría sido el resultado del emplazamiento de bloques formados a distintas condiciones de profundidad dentro de un canal de subducción. Las edades U-Pb en rutilo y circón en estas rocas sugieren que el evento metamórfico de alta presión ocurrió hace 345.0 ± 2.7 Ma, siendo consistente con edades disponibles para las meta-eclogitas de la suite. Con base en ello, se propone que el metamorfismo de la Suite Piaxtla registra un proceso de subducción tipo Pacífico durante el Misisípico, posiblemente relacionado con la interacción entre Gondwana y el paleo-Pacífico, previo a la colisión del oeste de Gondwana con Laurentia.

Bibliografía

- Abers, G.A., van Keken, P.E., Wilson, C.R., 2020. Deep decoupling in subduction zones: Observations and temperature limits. *Geosphere* 16, 1408–1424. <https://doi.org/10.1130/GES02278.1>
- Adjerid, Z., Godard, G., Ouzegane, K., 2015. High-pressure whiteschists from the Ti-N-Eggoleh area (Central Hoggar, Algeria): A record of Pan-African oceanic subduction. *Lithos* 226, 201–216. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.02.013>
- Agard, P., Vidal, O., Goffé, B., 2001. Interlayer and Si content of phengite in HP – LT carpholite - bearing metapelites. *J. Metamorph. Geol.* 19, 479 – 495.
- Agard, P., Yamato, P., Jolivet, L., Burov, E., 2009. Exhumation of oceanic blueschists and eclogites in subduction zones: Timing and mechanisms. *Earth-Science Rev.* 92, 53–79. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.11.002>
- Agard, P., Plunder, A., Angiboust, S., Bonnet, G., Ruh, J., 2018. The subduction plate interface: rock record and mechanical coupling (from long to short timescales). *Lithos* 320–321, 537–566. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.09.029>
- Andersen, T.B., Jamtveit, B., Dewey, J.F., Swensson, E., 1991. Subduction and eduction of continental crust: major mechanisms during continent - continent collision and orogenic extensional collapse, a model based on the south Norwegian Caledonides. *Terra Nov.* 3, 303–310. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1991.tb00148.x>
- Andersen, T.B., 2002. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report 204Pb. *Chem. Geol.* 192, 59–79.
- Anderson, D.L., 2006. Speculations on the nature and cause of mantle heterogeneity. *Tectonophysics* 416, 7–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.07.011>
- Aoki, K., Maruyama, S., Isozaki, Y., Otoh, S., Yanai, S., 2011. Recognition of the Shimanto HP metamorphic belt within the traditional Sanbagawa HP metamorphic belt: New perspectives of the Cretaceous-Paleogene tectonics in Japan. *J. Asian Earth Sci.* 42, 355–369. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.05.001>
- Arenas, R., Novo-Fernández, I., Garcia-Casco, A., Díez Fernández, R., Fuenlabrada, J.M., Pereira, M.F., Abati, J., Sánchez Martínez, S., Rubio Pascual, F.J., 2020. A unique blueschist facies metapelite with Mg-rich chloritoid from the Badajoz-Córdoba Unit (SW Iberian Massif): correlation of Late Devonian high-pressure belts along the Variscan Orogen. *Int. Geol. Rev.* 63, 1–24. <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1789509>
- Atherton, M.P., Edmunds, W.M., 1966. An electron microprobe study of some zoned garnets from metamorphic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1, 185–193.
- Bally, A.W., 1981. Thoughts on the tectonics of folded belts. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 9, 13–32. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1981.009.01.03>
- Barley, B.J., 2006. Polyphase deformation in San Miguel Las Minas, Northern Acatlán Complex, Southern México. Tesis de Maestría de la Facultad de Artes y Ciencias, Universidad de Ohio.
- Barrow, G., 1893. On an Intrusion of Muscovite-biotite Gneiss in the South-eastern Highlands of Scotland, and its accompanying Metamorphism. *Q. J. Geol. Soc.* 49, 330–358.
- Barrow, G., 1912. On the geology of Lower Dee-side and the southern Highland Border. *Proc. Geol. Assoc.* 23, 274–290.

- Baziotis, I., Proyer, A., Mposkos, E., Windley, B., Boukouvala, I., 2019. Exhumation of the high-pressure northwestern Cyclades, Aegean: New PT constraints, and geodynamic evolution. *Lithos* 324, 439–453.
- Bebout, G.E., 2013. Metasomatism in Subduction Zones of Subducted Oceanic Slabs, Mantle Wedges, and the Slab-Mantle Interface BT - Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock: The Role of Fluids in Terrestrial and Extraterrestrial Processes, in: Harlov, D.E., Austrheim, H. (Eds.), . Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 289–349. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28394-9_9
- Bebout, G.E., 2021. Insights Into Subduction Zone Dynamics, 2nd ed, Encyclopedia of Geology. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102908-4.00150-8>
- Bi, H., Song, S., Yang, L., Allen, M.B., Qi, S., Su, L., 2020. UHP metamorphism recorded by coesite-bearing metapelite in the East Kunlun Orogen (NW China). *Geol. Mag.* 157, 160–172.
- Blanco-Quintero, I., Proenza Fernández, J.A., García Casco, A., Tauler i Ferré, E., Galí Medina, S., 2011. Serpentinities and serpentinites within a fossil subduction channel: La Corea mélange, eastern Cuba. *Geol. Acta*, 2011, vol. 9, num. 2-3, p. 1-17.
- Brown, D.A., Hand, M., Morrissey, L.J., 2021. Zircon petrochronology and mineral equilibria of the eclogites from western Tasmania: Interrogating the early Palaeozoic East Gondwana subduction record. *Gondwana Res.* 93, 252–274. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.02.015>
- Bucher, K., Grapes, R., 2011. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer Science & Business Media.
- Caddick, M.J., Konopásek, J., Thompson, A.B., 2010. Preservation of garnet growth zoning and the duration of prograde metamorphism. *J. Petrol.* 51, 2327–2347. <https://doi.org/10.1093/petrology/egq059>
- Cerca, M., Ferrari, L., Bonini, M., Corti, G., Manetti, P., 2004. The role of crustal heterogeneity in controlling vertical coupling during Laramide shortening and the development of the Caribbean-North America transform boundary in southern Mexico: insights from analogue models. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 227, 117–139.
- Cerca, M., Ferrari, L., López-Martínez, M., Martiny, B., Iriondo, A., 2007. Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the central Sierra Madre del Sur, southern Mexico: Insights into the evolution of the Caribbean-North American plate interaction. *Tectonics* 26. <https://doi.org/10.1029/2006TC001981>
- Chen, R.X., Zheng, Y.F., Xie, L., 2010. Metamorphic growth and recrystallization of zircon: Distinction by simultaneous in-situ analyses of trace elements, U-Th-Pb and Lu-Hf isotopes in zircons from eclogite-facies rocks in the Sulu orogen. *Lithos* 114, 132–154. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.08.006>
- Chen, R.X., Zheng, Y.F., 2017. Metamorphic zirconology of continental subduction zones. *J. Asian Earth Sci.* 145, 149–176. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.04.029>
- Cheng, H.A.O., 2019. Garnet lu–hf and sm–nd geochronology: A time capsule of the metamorphic evolution of orogenic belts. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 474, 47–67. <https://doi.org/10.1144/SP474.7>
- Cherniak, D.J., 2000. Pb diffusion in rutile. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 139, 198–207. <https://doi.org/10.1007/PL00007671>
- Chu, X., Ague, J.J., 2015. Analysis of experimental data on divalent cation diffusion kinetics in aluminosilicate garnets with application to timescales of peak Barrovian metamorphism, Scotland. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 170, 1–27.
- Coney, P.J., Jones, D.L., Monger, J.W.H., 1980. Cordilleran suspect terranes. *Nature* 288, 329–333. <https://doi.org/10.1038/288329a0>
- Coney, P.J., 1987. Circum - Pacific Tectogenesis in the North American Cordillera. *Circum - Pacific Orog.*

Belts Evol. Pacific Ocean Basin 18, 59 – 69.

- Coney, P.J., 1992. The lachlan belt of eastern Australia and Circum-Pacific tectonic evolution. *Tectonophysics* 214, 1–25. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90187-B](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90187-B)
- Corgne, A., Schilling, M.E., Grégoire, M., Langlade, J., 2018. Experimental constraints on metasomatism of mantle wedge peridotites by hybridized adakitic melts. *Lithos* 308–309, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.03.006>
- Costa, F.M., Penna, J.L.A., Martins, L.C.D., Tedeschi, M., Novo, T.A., Araújo, C.S., do Carmo Vieira, P.L.N., Lana, C., Pedrosa-Soares, A.C., 2022. Zircon petrochronology reveals the moderately juvenile signature of a diatexite from the boundary zone between the Brasília and Ribeira orogens (SE Brazil): Relict of a Tonian arc? *J. South Am. Earth Sci.* 103767.
- Cruciani, G., Franceschelli, M., Massonne, H.J., Carosi, R., Montomoli, C., 2013. Pressure-temperature and deformational evolution of high-pressure metapelites from Variscan NE Sardinia, Italy. *Lithos* 175–176, 272–284. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.05.001>
- Cruz, M.D.R., Franco, F., De Galdeano, C.S., Novak, J., 2006. Evidence of contrasting low-grade metamorphic conditions from clay mineral assemblages in Triassic Alpujarride-Maláguide transitional units in the Betic Cordilleras, Spain. *Clay Miner.* 41, 619–636.
- Cutts, J.A., Smit, M.A., Kooijman, E., Schmitt, M., 2019. Two - stage cooling and exhumation of deeply subducted continents. *Tectonics* 38, 863 – 877.
- Dempster, T.J., Gilmour, M.I., Chung, P., 2019. The partial equilibration of garnet porphyroblasts in pelitic schists and its control on prograde metamorphism, Glen Roy, Scotland. *J. Metamorph. Geol.* 37, 383–399. <https://doi.org/10.1111/jmg.12467>
- Dewey, J.F., Burke, K.C.A., 1973. Tibetan, Variscan, and Precambrian Basement Reactivation: Products of Continental Collision. *J. Geol.* 81, 683–692. <https://doi.org/10.1086/627920>
- Dewey, J.F., Kidd, W.S.F., 1974. Continental collisions in the appalachian-caledonian orogenic belt: Variations related to complete and incomplete suturing. *Geology* 2, 543–546. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1974\)2<543:CCITAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1974)2<543:CCITAO>2.0.CO;2)
- Dodson, M.H., 1986. Closure profiles in cooling systems, in: *Materials Science Forum. Trans Tech Publ*, pp. 145–154.
- Du, J., Zhang, L., Lü, Z., Chu, X., 2011. Lawsonite-bearing chloritoid-glaucophane schist from SW Tianshan, China: Phase equilibria and P-T path. *J. Asian Earth Sci.* 42, 684–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.04.003>
- 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, 4-1-4–18. <https://doi.org/10.1029/2000tc001278>
- Elías-Herrera, M., Macías-Romo, C., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J.L., Iriondo, A., Ortega-Rivera, A., 2007. Conflicting Stratigraphic and Geochronologic Data From the Acatlán Complex: " Ordovician" Granites Intrude Metamorphic and Sedimentary Rocks of Devonian-Permian age, in: *AGU Spring Meeting Abstracts*. pp. T41A-12.
- Engi, M., Lanari, P., Kohn, M.J., 2017. Significant ages—An introduction to petrochronology. *Rev. Mineral. Geochemistry* 83, 1–12.
- England, P., 2018. On Shear Stresses, Temperatures, and the Maximum Magnitudes of Earthquakes at Convergent Plate Boundaries. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 123, 7165–7202. <https://doi.org/10.1029/2018JB015907>

- Erdman, M.E., Lee, C.T.A., 2014. Oceanic- and continental-type metamorphic terranes: Occurrence and exhumation mechanisms. *Earth-Science Rev.* 139, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.012>
- Ernst, W.G., 2005. Alpine and Pacific styles of Phanerozoic mountain building: Subduction-zone petrogenesis of continental crust. *Terra Nov.* 17, 165–188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2005.00604.x>
- Ernst, W.G., 2006. Preservation/exhumation of ultrahigh-pressure subduction complexes. *Lithos* 92, 321–335. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.03.049>
- Espejo-Bautista, G., Solari, L.A., Maldonado, R., Ramírez-Calderón, M., n.d. Stenian arc-magmatism and early Tonian metamorphism along the northern border of Amazonia during the Rodinia assembly: the Pochotepec suite in southern Mexico., *Precambrian Research*.
- Estrada-Carmona, J., Weber, B., Scherer, E.E., Martens, U., Elías-Herrera, M., 2016. Lu-Hf geochronology of Mississippian high-pressure metamorphism in the Acatlán Complex, southern México. *Gondwana Res.* 34, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.02.016>
- Fazio, E., Cirrincione, R., Pezzino, A., 2008. Estimating P–T conditions of Alpine-type metamorphism using multistage garnet in the tectonic windows of the Cardeto area (southern Aspromonte Massif, Calabria). *Mineral. Petrol.* 93, 111–142.
- Federico, L., Crispini, L., Scambelluri, M., Capponi, G., 2007. Ophiolite mélange zone records exhumation in a fossil subduction channel. *Geology* 35, 499–502. <https://doi.org/10.1130/G23190A.1>
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., Carrasco-Núñez, G., 1999. Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: From the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology* 27, 303–306. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0303:STPOCA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0303:STPOCA>2.3.CO;2)
- Ferry, J.M., Watson, E.B., 2007. New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 154, 429–437. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0201-0>
- Frost, B.R., Lindsley, D.H., 1991. Oxide minerals: petrologic and magnetic significance. *Rev. Mineral. Frost//Mineralogical Soc. Am.* 25, 509.
- Gabriele, P., Ballèvre, M., Jaillard, E., Hernandez, J., 2004. Garnet-chloritoid-kyanite metapelites from the Raspas Complex (SW Ecuador): a key eclogite-facies assemblage. *Eur. J. Mineral.* 15, 977–989. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2003/0015-0977>
- Galaz, G., Keppie, J.D., Lee, J.K.W., Ortega-Rivera, A., 2013. A high-pressure folded klippe at Tehuitzingo on the western margin of an extrusion zone, Acatlán Complex, southern México. *Gondwana Res.* 23, 641–660. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.04.011>
- Gao, X.Y., Zheng, Y.F., Chen, Y.X., 2011. U-Pb ages and trace elements in metamorphic zircon and titanite from UHP eclogite in the Dabie orogen: Constraints on P-T-t path. *J. Metamorph. Geol.* 29, 721–740. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2011.00938.x>
- Gao, X.Y., Zheng, Y.F., Xia, X.P., Chen, Y.X., 2014. U-Pb ages and trace elements of metamorphic rutile from ultrahigh-pressure quartzite in the Sulu orogen. *Geochim. Cosmochim. Acta* 143, 87–114. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.04.032>
- Gerya, T. V., Stöckhert, B., Perchuk, A.L., 2002. Exhumation of high-pressure metamorphic rocks in a subduction channel: A numerical simulation. *Tectonics* 21, 6-1-6–19. <https://doi.org/10.1029/2002tc001406>
- Gonzalez, J.P., Baldwin, S.L., Thomas, J.B., Nachlas, W.O., Fitzgerald, P.G., Lanari, P., 2021. Petrologic constraints on subduction zone metamorphism from a coesite-bearing metapelite in the Northern

- Appalachian Orogen, in: EGU General Assembly Conference Abstracts. pp. EGU21-10080.
- Gross, J., Burchard, M., Schertl, H.-P., Maresch, W. V., 2008. Common high-pressure metamorphic history of eclogite lenses and surrounding metasediments: a case study of calc–silicate reaction zones (Erzgebirge, Germany). *Eur. J. Mineral.* 20, 757–775.
- Grove, T.L., Till, C.B., Krawczynski, M.J., 2012. The role of H₂O in subduction zone magmatism. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 40, 413–439. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-042711-105310>
- Guillot, S., Hattori, K., Agard, P., Schwartz, S., Vidal, O., 2009. Exhumation Processes in Oceanic and Continental Subduction Contexts: A Review. https://doi.org/10.1007/978-3-540-87974-9_10
- Harley, S.L., Kelly, N.M., Möller, A., 2007. Zircon behaviour and the thermal histories of mountain chains. *Elements* 3, 25–30. <https://doi.org/10.2113/gselements.3.1.25>
- Helbig, M., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Solari, L.A., 2012. U-Pb geochronological constraints on the Triassic–Jurassic Ayú Complex, southern Mexico: Derivation from the western margin of Pangea-A. *Gondwana Res.* 22, 910–927. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.03.004>
- Hernández-Urbe, D., Gutiérrez-Aguilar, F., Mattinson, C.G., Palin, R.M., Neill, O.K., 2019. A new record of deeper and colder subduction in the Acatlán complex, Mexico: Evidence from phase equilibrium modelling and Zr-in-rutile thermometry. *Lithos* 324–325, 551–568. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.10.003>
- Holland, T.J.B., 1980. The reaction albite = jadeite + quartz determined experimentally in the range 600–1200 degrees C. *Am. Mineral.* 65, 129–134.
- Hollister, L.S., 1966. Garnet zoning: an interpretation based on the Rayleigh fractionation model. *Science* (80-). 154, 1647–1651.
- Hoschek, G., Konzett, J., Tessadri, R., 2010. Phase equilibria in quartzitic garnet-kyanite-chloritoid micaschist from the Eclogite Zone, Tauern Window, Eastern Alps. *Eur. J. Mineral.* 22, 721–732. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2010/0022-2049>
- Jochum, K.P., Weis, U., Stoll, B., Kuzmin, D., Yang, Q., Raczek, I., Jacob, D.E., Stracke, A., Birbaum, K., Frick, D.A., Günther, D., Enzweiler, J., 2011. Determination of reference values for NIST SRM 610–617 glasses following ISO guidelines. *Geostand. Geoanalytical Res.* 35, 397–429. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2011.00120.x>
- John, T., Scherer, E.E., Schenk, V., Herms, P., Halama, R., Garbe-Schönberg, D., 2010. Subducted seamounts in an eclogite-facies ophiolite sequence: The Andean Raspas Complex, SW Ecuador. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 159, 265–284. <https://doi.org/10.1007/s00410-009-0427-0>
- Juárez-Zúñiga, S., Solari, L.A., Ortega-Obregón, C., 2021. Permian igneous clasts from the matzitzi formation, southern Mexico: Isotopic constraints on the final amalgamation of pangea. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 503, 481–496. <https://doi.org/10.1144/SP503-2019-238>
- Kamzolkin, V.A., Ivanov, S.D., Konilov, A.N., 2016. Empirical phengite geobarometer: Background, calibration, and application. *Geol. Ore Depos.* 58, 613–622. <https://doi.org/10.1134/S1075701516080092>
- Keppie, J.D., Sandberg, C.A., Miller, B. V., Sánchez-Zavala, J.L., Nance, R.D., Poole, F.G., 2004a. Implications of latest Pennsylvanian to middle permian paleontological and U-Pb SHRIMP data from the tecomate formation to re-dating tectonothermal events in the acatlán complex, Southern Mexico. *Int. Geol. Rev.* 46, 745–753. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.46.8.745>
- Keppie, J.D., Miller, B. V., Nance, R.D., Murphy, J.B., Dostal, J., 2004b. New U-Pb zircon dates from the Acatlán Complex. Mex. Implic. ages tectonostratigraphic units Orog. events [abs.] *Geol. Soc. Am. Abstr.*

with Progr.

- Keppie, J.D., Nance, R.D., Fernández-Suárez, J., Storey, C.D., Jeffries, T.E., Murphy, J.B., 2006. Detrital zircon data from the eastern Mixteca terrane, southern Mexico: Evidence for an Ordovician-Mississippian continental rise and a Permo-Triassic clastic wedge adjacent to Oaxaquia. *Int. Geol. Rev.* 48, 97–111. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.48.2.97>
- Keppie, J.D., Dostal, J., Elías-Herrera, M., 2007. Ordovician-Devonian oceanic basalts in the Cosoltepec Formation, Acatlán complex, southern México: Vestiges of the Rheic Ocean? *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.* 423, 477–487. [https://doi.org/10.1130/2007.2423\(24\)](https://doi.org/10.1130/2007.2423(24))
- Keppie, J.D., Dostal, J., Murphy, J.B., Nance, R.D., 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. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.01.012>
- Keppie, J. Duncan, Dostal, J., Murphy, J.B., Galaz-Escanilla, G., Ramos-Arias, M.A., Nance, R.D., 2012. High pressure rocks of the Acatlán Complex, southern Mexico: Large-scale subducted Ordovician rifted passive margin extruded into the upper plate during the Devonian-Carboniferous. *Tectonophysics* 560–561, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.015>
- Keppie, J. Duncan, Nance, R.D., Dostal, J., Lee, J.K.W., Ortega-Rivera, A., 2012. Constraints on the subduction erosion/extrusion cycle in the Paleozoic Acatlán Complex of southern Mexico: Geochemistry and geochronology of the type Piaxtla Suite. *Gondwana Res.* 21, 1050–1065. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.07.020>
- Kohn, M.J., 2003. 3.07 - Geochemical Zoning in Metamorphic Minerals, in: Holland, H.D., Turekian, K.K.B.T.-T. on G. (Eds.), . Pergamon, Oxford, pp. 229–261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03176-5>
- Kohn, M.J., 2016. Metamorphic chronology - A tool for all ages: Past achievements and future prospects. *Am. Mineral.* 101, 25–42. <https://doi.org/10.2138/am-2016-5146>
- Kohn, M.J., 2020. A refined zirconium-in-rutile thermometer Pressure (kbar) Temperature (° C). *Am. Mineral.* 105, 963–971.
- Konzett, J., Krenn, K., Hauzenberger, C., Whitehouse, M., Hoinkes, G., 2012. High-pressure tourmaline formation and fluid activity in Fe-Ti-rich eclogites from the Kreuzeck Mountains, Eastern Alps, Austria. *J. Petrol.* 53, 99–125. <https://doi.org/10.1093/petrology/egr057>
- Kooijman, E., Mezger, K., Berndt, J., 2010. Constraints on the U-Pb systematics of metamorphic rutile from in situ LA-ICP-MS analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.* 293, 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.02.047>
- Krebs, M., Schertl, H.P., Maresch, W. V., Draper, G., 2011. Mass flow in serpentinite-hosted subduction channels: P-T-t path patterns of metamorphic blocks in the Rio San Juan mélange (Dominican Republic). *J. Asian Earth Sci.* 42, 569–595. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.01.011>
- Lanari, P., Wagner, T., Vidal, O., 2014. A thermodynamic model for di-trioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O: Applications to P-T sections and geothermometry. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 167, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-0968-8>
- Le Pichon, X., Francheteau, J., Bonnin, J., 2013. Plate tectonics. Elsevier.
- Li, B., Massonne, H., Koller, F., Zhang, J., 2021. Metapelite from the high - to ultrahigh - pressure terrane of the Eastern Alps (Pohorje Mountains, Slovenia)—New pressure, temperature and time constraints on a polymetamorphic rock. *J. Metamorph. Geol.*

- Li, Y., Liu, Y.C., Yang, Y., Rolfo, F., Groppo, C., 2020. Petrogenesis and tectonic significance of Neoproterozoic meta-basites and meta-granitoids within the central Dabie UHP zone, China: Geochronological and geochemical constraints. *Gondwana Res.* 78, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.08.005>
- Likhanov, I.I., 2019. Mass-transfer and differential element mobility in metapelites during multistage metamorphism of the Yenisey Ridge, Siberia. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 478, 89–115. <https://doi.org/10.1144/SP478.11>
- Liu, M.Q., Li, Z.H., Yang, S.H., 2017. Diapir versus along-channel ascent of crustal material during plate convergence: Constrained by the thermal structure of subduction zones. *J. Asian Earth Sci.* 145, 16–36. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.02.036>
- Liu, Y., Zhang, C., 2020. Exhumation of deeply subducted crust: Review and outlook. *Sci. China Earth Sci.* 63, 1904–1924. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9639-9>
- Livi, K.J.T., Christidis, G.E., Árkai, P., Veblen, D.R., 2008. White mica domain formation: A model for paragonite, margarite, and muscovite formation during prograde metamorphism. *Am. Mineral.* 93, 520–527.
- López - Carmona, A., Pitra, P., Abati, J., 2013. Blueschist - facies metapelites from the Malpica - Tui Unit (NW Iberian Massif): phase equilibria modelling and H₂O and Fe₂O₃ influence in high - pressure assemblages. *J. Metamorph. Geol.* 31, 263 - 280.
- Lü, Z., Bucher, K., Zhang, L., Du, J., 2012. The Habutengsu metapelites and metagreywackes in western Tianshan, China: metamorphic evolution and tectonic implications. *J. Metamorph. Geol.* 30, 907–926.
- Luvizotto, G.L., Zack, T., 2009. Nb and Zr behavior in rutile during high-grade metamorphism and retrogression: An example from the Ivrea-Verbano Zone. *Chem. Geol.* 261, 303–317. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.07.023>
- Luvizotto, G.L., Zack, T., Meyer, H.P., Ludwig, T., Triebold, S., Kronz, A., Münker, C., Stockli, D.F., Prowatke, S., Klemme, S., Jacob, D.E., von Eynatten, H., 2009. Rutile crystals as potential trace element and isotope mineral standards for microanalysis. *Chem. Geol.* 261, 346–369. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.04.012>
- Maekawa, H., Shozul, M., Ishii, T., Fryer, P., Pearce, J.A., 1993. Blueschist metamorphism in an active subduction zone. *Nature* 364, 520–523. <https://doi.org/10.1038/364520a0>
- Maldonado, R., Ortega-Gutiérrez, F., Hernández-Urbe, D., 2016. Garnet–chloritoid–paragonite metapelite from the Chuac us Complex (Central Guatemala): new evidence for continental subduction in the North America–Caribbean plate boundary. *Eur. J. Mineral.* 28, 1169–1186. <https://doi.org/10.1127/ejm/2016/0028-2578>
- Maldonado, R., Weber, B., Ortega - Gutiérrez, F., Solari, L.A., 2018. High - pressure metamorphic evolution of eclogite and associated metapelite from the Chuacús complex (Guatemala Suture Zone): Constraints from phase equilibria modelling coupled with Lu - Hf and U - Pb geochronology. *J. Metamorph. Geol.* 36, 95 - 124.
- Malone, J.R., Nance, R.D., Keppie, J.D., Dostal, J., 2002. Deformational history of part of the Acatlán Complex: Late Ordovician-Early Silurian and Early Permian orogenesis in southern Mexico. *J. South Am. Earth Sci.* 15, 511–524. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00080-9](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00080-9)
- Marger, K., Luisier, C., Baumgartner, L.P., Putlitz, B., Dutrow, B.L., Bouvier, A.S., Dini, A., 2019. Origin of Monte Rosa whiteschist from in-situ tourmaline and quartz oxygen isotope analysis by SIMS using new tourmaline reference materials. *Am. Mineral.* 104, 1503–1520. <https://doi.org/10.2138/am-2019-7012>
- Martini, M., Anaya Guarneros, J.A., Solari, L., Bedoya, A., Zepeda-Martínez, M., Villanueva-Amadoz, U., 2021.

- The Matzitz Formation in southern Mexico: A record of Pangea final assembly or breakup initiation along inherited suture belts? *Basin Res.* 1–21. <https://doi.org/10.1111/bre.12638>
- Maruyama, S., Liou, J.G., Terabayashi, M., 1996. Blueschists and eclogites of the world and their exhumation. *Int. Geol. Rev.* 38, 485–594. <https://doi.org/10.1080/00206819709465347>
- Maruyama, S., 1997. Pacific-type orogeny revisited: Miyashiro-type orogeny proposed. *Isl. Arc* 6, 91–120. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.1997.tb00042.x>
- Massonne, H.-J., Schreyer, W., 1987. Contributions to Mineralogy and Petrology Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite, and quartz. *Contrib. Miner. Pet.* 96, 212–224.
- Massonne, H.J., Willner, A.P., Gerya, T., 2007. Densities of metapelitic rocks at high to ultrahigh pressure conditions: What are the geodynamic consequences? *Earth Planet. Sci. Lett.* 256, 12–27. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.01.013>
- Meinhold, G., Anders, B., Kostopoulos, D., Reischmann, T., 2008. Rutile chemistry and thermometry as provenance indicator: An example from Chios Island, Greece. *Sediment. Geol.* 203, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.11.004>
- Meza-Figueroa, D., Ruiz, J., Talavera-Mendoza, O., Ortega-Gutierrez, F., 2003. Tectonometamorphic evolution of the Acatlan Complex eclogites (southern Mexico). *Can. J. Earth Sci.* 40, 27–44. <https://doi.org/10.1139/e02-093>
- Mezger, K., Hanson, G.N., Bohlen, S.R., 1989. High-precision UPb ages of metamorphic rutile: application to the cooling history of high-grade terranes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 96, 106–118. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(89\)90126-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(89)90126-X)
- Middleton, M., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Miller, B. V, Nance, R.D., Ortega-Rivera, A., Lee, J.K.W., 2007. PTt constraints on exhumation following subduction in the Rheic Ocean from eclogitic rocks in the Acatlán complex of southern México. *Geol. Peri-Gondwana Avalonian-Cadomian belt, Adjoin. cratons Rheic Ocean Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 423, 489–509.
- Miller, B. V, Dostal, J., Keppie, J.D., Nance, R.D., Ortega-Rivera, A., Lee, J.K.W., 2007. Ordovician calc-alkaline granitoids in the Acatlán Complex, southern México: Geochemical and geochronologic data and implications for the tectonics of the Gondwanan margin of the Rheic Ocean. *Spec. Pap. Soc. Am.* 423, 465.
- Morales-Gámez, M., Keppie, J.D., Norman, M., 2008. Ordovician-Silurian rift-passive margin on the Mexican margin of the Rheic Ocean overlain by Carboniferous-Permian periarctic rocks: Evidence from the eastern Acatlán Complex, southern Mexico. *Tectonophysics* 461, 291–310. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.01.014>
- Morán-Zenteno, D.J., Caballero-Miranda, C.I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., Gonzalez-Torres, E., 1993. Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico. *Geofis. Int.* 32, 453–473. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1993.32.3.522>
- Murphy, J.B., Keppie, J.D., Nance, R.D., Miller, B. V, Dostal, J., Middleton, M., Fernandez-Suárez, J., Jeffries, T.E., Storey, C.D., 2006. Geochemistry and U–Pb protolith ages of eclogitic rocks of the Asis Lithodeme, Piaxtla Suite, Acatlán Complex, southern Mexico: tectonothermal activity along the southern margin of the Rheic Ocean. *J. Geol. Soc. London.* 163, 683–695.
- Nance, R.D., Linnemann, U., 2008. The Rheic Ocean: Origin, evolution, and significance. *GSA Today* 18, 4–12. <https://doi.org/10.1130/GSATG24A.1>
- Nance, R.D., Gutiérrez-Alonso, G., Keppie, J.D., Linnemann, U., Murphy, J.B., Quesada, C., Strachan, R.A., Woodcock, N.H., 2010. Evolution of the Rheic Ocean. *Gondwana Res.* 17, 194–222.

<https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.08.001>

- Okamoto, K., Maruyama, S., 1999. The high-pressure synthesis of lawsonite in the MORB+H₂O system. *Am. Mineral.* 84, 362–373. <https://doi.org/10.2138/am-1999-0320>
- Okay, A.I., Kelley, S.P., 1994. Tectonic setting, petrology and geochronology of jadeite+ glaucophane and chloritoid+ glaucophane schists from north - west Turkey. *J. Metamorph. Geol.* 12, 455 - 466.
- Okay, A.I., 2002. Jadeite - chloritoid - glaucophane - lawsonite blueschists in north - west Turkey: unusually high P/T ratios in continental crust. *J. Metamorph. Geol.* 20, 757 - 768.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1978. Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca. *Rev. Mex. ciencias geológicas.*
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macías-Romo, C., López, R., 1999. Late Ordovician-Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections. *Geology* 27, 719–722. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0719:LOESCC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0719:LOESCC>2.3.CO;2)
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Morán-Zenteno, D.J., Solari, L., Weber, B., Luna-González, L., 2018. The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution. *Earth-Science Rev.* 183, 2–37. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.006>
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Macías-Romo, C., Combata-Ariza, L.A., Sánchez-Zavala, J.L., Alcántara-Torres, M.Y., Reyes-Salas, A.M., 2022. The enigmatic Ayú metamorphic complex of southern Mexico: A late Palaeozoic polyorogenic metasedimentary prism of the Acatlán Complex reworked in the Jurassic. *J. South Am. Earth Sci.* 116. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103755>
- Ota, T., Terabayashi, M., Katayama, I., 2004. Thermobaric structure and metamorphic evolution of the Iratsu eclogite body in the Sanbagawa belt, central Shikoku, Japan. *Lithos* 73, 95–126. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.01.001>
- Paton, C., Woodhead, J.D., Hellstrom, J.C., Hergt, J.M., Greig, A., Maas, R., 2010. Improved laser ablation U–Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *G-cubed* 11.
- Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J., Hergt, J., 2011. Lolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *J. Anal. At. Spectrom.* 26, 2508–2518. <https://doi.org/10.1039/c1ja10172b>
- Pawley, A.R., Wood, B.J., 1995. The high-pressure stability of talc and 10 Å phase: potential storage sites for H₂O in subduction zones. *Am. Mineral.* 80, 998–1003. <https://doi.org/10.2138/am-1995-9-1015>
- Peacock, S.M., 1996. Thermal and petrologic structure of subduction zones. *Geophys. Monogr. Ser.* 96, 119–133. <https://doi.org/10.1029/GM096p0119>
- Peacock, S.M., 2020. Advances in the thermal and petrologic modeling of subduction zones. *Geosphere* 16, 1647–1663. <https://doi.org/10.1130/GES02213.1>
- Penniston-Dorland, S.C., Kohn, M.J., Manning, C.E., 2015. The global range of subduction zone thermal structures from exhumed blueschists and eclogites: Rocks are hotter than models. *Earth Planet. Sci. Lett.* 428, 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.07.031>
- Pereira, I., Storey, C.D., Darling, J.R., Moreira, H., Strachan, R.A., Cawood, P.A., 2021. Detrital rutile tracks the first appearance of subduction zone low T/P paired metamorphism in the Palaeoproterozoic. *Earth Planet. Sci. Lett.* 570, 117069. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117069>
- Polonia, A., Torelli, L., Mussoni, P., Gasperini, L., Artoni, A., Klaeschen, D., 2011. The Calabrian Arc subduction complex in the Ionian Sea: Regional architecture, active deformation, and seismic hazard.

Tectonics 30, 1–28. <https://doi.org/10.1029/2010TC002821>

- Poulaki, E.M., Stockli, D.F., Flansburg, M.E., Gevedon, M.L., Stockli, L.D., Barnes, J.D., Soukis, K., Kitajima, K., Valley, J.W., 2021. Zircon U-Pb and geochemical signatures in high-pressure, low-temperature metamorphic rocks as recorders of subduction zone processes, Sikinos and Ios islands, Greece. *Chem. Geol.* 582, 120447. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120447>
- Pourteau, A., Bousquet, R., Vidal, O., Plunder, A., Duisterhoeft, E., Candan, O., Oberhänsli, R., 2014. Multistage growth of Fe–Mg–carpholite and Fe–Mg–chloritoid, from field evidence to thermodynamic modelling. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 168, 1–25. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-1090-7>
- Proyer, A., 2003. Metamorphism of pelites in NKFMAH - A new petrogenetic grid with implications for the preservation of high-pressure mineral assemblages during exhumation. *J. Metamorph. Geol.* 21, 493–509. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1314.2003.00457.x>
- Rahimi, G., Massonne, H.J., 2020. Metamorphic Evolution of Chloritoid-Bearing Micaschist from the Variscan Elstergebirge: Evidences for Stacking of High-Pressure Rocks in the Saxothuringian Zone of Central Europe. *J. Earth Sci.* 31, 425–446. <https://doi.org/10.1007/s12583-020-1300-3>
- Ramirez-Espinosa, J., 2002. Tectono-magmatic evolution of the Paleozoic Acatlan Complex in southern Mexico, and its correlation with the Appalachian system.
- Ramos-Arias, M.A., Keppie, J.D., Ortega-Rivera, A., Lee, J.W.K., 2008. Extensional Late Paleozoic deformation on the western margin of Pangea, Patlanoaya area, Acatlán Complex, southern Mexico. *Tectonophysics* 448, 60–76. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.023>
- Ramos-Arias, M.A., Keppie, J.D., Lee, J.K.W., Ortega-Rivera, A., 2012. A Carboniferous high-pressure klippe in the western Acatlán Complex of southern México: Implications for the tectonothermal development and palaeogeography of Pangea. *Int. Geol. Rev.* 54, 779–798. <https://doi.org/10.1080/00206814.2011.580634>
- Ren, Y., Chen, D., Wang, H., Zhu, X., Bai, B., 2021. Grenvillian and early Paleozoic polyphase metamorphism recorded by eclogite and host garnet mica schist in the North Qaidam orogenic belt. *Geosci. Front.* 12, 101170. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101170>
- Rezvukhina, O. V., Skublov, S.G., Rezvukhin, D.I., Korsakov, A. V., 2021. Rutile in diamondiferous metamorphic rocks: New insights from trace-element composition, mineral/fluid inclusions, and U-Pb ID-TIMS dating. *Lithos* 394–395, 106172. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106172>
- Riller, U., Ratschbacher, L., Frisch, W., 1992. Left-lateral transtension along the Tierra Colorada deformation zone, northern margin of the Xolapa magmatic arc of southern Mexico. *J. South Am. Earth Sci.* 5, 237–249. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90023-R](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90023-R)
- Rubatto, D., 2017. Zircon: The Metamorphic Mineral, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.83.09>
- Sánchez-Zavala, J.L., Ortega-Gutiérrez, F., Keppie, J.D., Jenner, G.A., Belousova, E., Maciás-Romo, C., 2004. Ordovician and Mesoproterozoic Zircons from the Tecamate Formation and Esperanza Granitoids, Acatlán Complex, Southern Mexico: Local Provenance in the Acatlán and Oaxacan Complexes. *Int. Geol. Rev.* 46, 1005–1021. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.46.11.1005>
- Schmid, R., Fettes, D., Harte, B., Davis, E., Desmons, J., 2007. Metamorphic Terminology. *Subcomm. Syst. Metamorph. Rocks* 1, 22.
- Schreyer, W., 1973. Whiteschist: a high-pressure rock and its geologic significance. *J. Geol.* 81, 735–739.
- Sedlock, R.L., Ortega-Gutierrez, F., Speed, R.C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. *Tectonostratigraphic terranes Tecton. Evol. Mex.*

- Şengör, A.M., Natal'in, B.A., 1996. Turkic-type orogeny and its role in the making of the continental crust. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 24, 263–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.24.1.263>
- Shreve, R.L., Cloos, M., 1986. Dynamics of sediment subduction, melange formation, and prism accretion. *J. Geophys. Res.* 91, 10229. <https://doi.org/10.1029/jb091ib10p10229>
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., Whitehouse, M.J., 2008. Plešovice zircon - A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.* 249, 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>
- Smye, A.J., Stockli, D.F., 2014. Rutile U-Pb age depth profiling: A continuous record of lithospheric thermal evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.* 408, 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.10.013>
- Solari, L.A., González-León, C.M., Ortega-Obregón, C., Valencia-Moreno, M., Rascón-Heimpel, M.A., 2018. The Proterozoic of NW Mexico revisited: U–Pb geochronology and Hf isotopes of Sonoran rocks and their tectonic implications. *Int. J. Earth Sci.* 107, 845–861. <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1517-2>
- Song, S., Zhang, L., Niu, Y., Su, L., Song, B., Liu, D., 2006. Evolution from oceanic subduction to continental collision: A case study from the Northern Tibetan Plateau based on geochemical and geochronological data. *J. Petrol.* 47, 435–455. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi080>
- Song, S.G., Zhang, L.F., Niu, Y., Wei, C.J., Liou, J.G., Shu, G.M., 2007. Eclogite and carpholite - bearing metasedimentary rocks in the North Qilian suture zone, NW China: Implications for Early Palaeozoic cold oceanic subduction and water transport into mantle. *J. Metamorph. Geol.* 25, 547–563.
- Sonin, V., Leech, M., Chepurov, Aleksey, Zhimulev, E., Chepurov, Anatoli, 2019. Why are diamonds preserved in UHP metamorphic complexes? Experimental evidence for the effect of pressure on diamond graphitization. *Int. Geol. Rev.* 61, 504–519. <https://doi.org/10.1080/00206814.2018.1435310>
- Spear, F.S., 1993. Crystal chemistry of rock-forming minerals. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America, 73–105. *g minerals. Metamorph. Phase Equilibria Press. Temp. Time Paths. Mineral. Soc. Am.* 73–105.
- Spear, F.S., 1995. Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths.
- Stern, R., 2002. Subduction zones. *Rev. Geophys.* 40, 3-1-3–38. <https://doi.org/10.1029/2001RG000108>
- Stern, C.R., 2011. Subduction erosion: Rates, mechanisms, and its role in arc magmatism and the evolution of the continental crust and mantle. *Gondwana Res.* 20, 284–308. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.03.006>
- Straub, S.M., Gómez-Tuena, A., Vannucchi, P., 2020. Subduction erosion and arc volcanism. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1, 574–589. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0095-1>
- Syracuse, E.M., van Keken, P.E., Abers, G.A., Suetsugu, D., Bina, C., Inoue, T., Wiens, D., Jellinek, M., 2010. The global range of subduction zone thermal models. *Phys. Earth Planet. Inter.* 183, 73–90. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2010.02.004>
- Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Meza-Figueroa, D.M., Vega-Granillo, R., Campa-Uranga, M.F., 2005. U-Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico. *Earth Planet. Sci. Lett.* 235, 682–699. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.04.013>
- Tichelaar, B.W., Ruff, L.J., 1993. Depth of seismic coupling along subduction zones. *J. Geophys. Res.* 98, 2017–2037. <https://doi.org/10.1029/92JB02045>

- Tolson, G., 2005. La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca. *Boletín la Soc. Geológica Mex.* 57, 111–122. <https://doi.org/10.18268/bsgm2005v57n1a6>
- Triebold, S., von Eynatten, H., Zack, T., 2012. A recipe for the use of rutile in sedimentary provenance analysis. *Sediment. Geol.* 282, 268–275.
- USGS, 2016. EarthWord - Subduction [WWW Document]. <https://www.usgs.gov/news/science-snippet/earthword-subduction>. URL <https://www.usgs.gov/news/science-snippet/earthword-subduction>
- Valencia-Morales, Y.T., Weber, B., Tazzo-Rangel, M.D., González-Guzmán, R., Frei, D., Quintana-Delgado, J.A., Rivera-Moreno, E.N., 2022. Early Mesoproterozoic inliers in the Chiapas Massif Complex of southern Mexico: Implications on Oaxaquia-Amazonia-Baltica configuration. *Precambrian Res.* 373, 106611.
- Vega-Granillo, R., Talavera-Mendoza, O., Meza-Figueroa, D., Ruiz, 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. *Bull. Geol. Soc. Am.* 119, 1249–1264. <https://doi.org/10.1130/B226031.1>
- Vega-Granillo, R., Calmus, T., Meza-Figueroa, D., Ruiz, J., Talavera-Mendoza, O., López-Martínez, M., 2009. Structural and tectonic evolution of the acatlán complex, southern Mexico: Its role in the collisional history of Laurentia and Gondwana. *Tectonics* 28. <https://doi.org/10.1029/2007TC002159>
- Vermeesch, P., 2012. On the visualisation of detrital age distributions. *Chem. Geol.* 312–313, 190–194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.04.021>
- Vermeesch, P., 2018. IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. *Geosci. Front.* 9, 1479–1493. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.04.001>
- Vidal, O., Goffé, B., Theye, T., 1992. Experimental study of the stability of sudoite and magnesiocarpholite and calculation of a new petrogenetic grid for the system FeO–MgO–Al₂O₃–SiO₂–H₂O. *J. Metamorph. Geol.* 10, 603–614.
- Vitale Brovarone, A., Agard, P., 2013. True metamorphic isograds or tectonically sliced metamorphic sequence? New high-spatial resolution petrological data for the New Caledonia case study. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 166, 451–469. <https://doi.org/10.1007/s00410-013-0885-2>
- Vry, J.K., Baker, J.A., 2006. LA-MC-ICPMS Pb–Pb dating of rutile from slowly cooled granulites: Confirmation of the high closure temperature for Pb diffusion in rutile. *Geochim. Cosmochim. Acta* 70, 1807–1820. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.12.006>
- Wakabayashi, J., 2015. Anatomy of a subduction complex: Architecture of the Franciscan Complex, California, at multiple length and time scales. *Int. Geol. Rev.* 57, 669–746. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.998728>
- Wang, Y., Zhang, L., Li, Z., Li, Q., Bader, T., 2019. The exhumation of subducted oceanic - derived eclogites: Insights from phase equilibrium and thermomechanical modeling. *Tectonics* 38, 1764 – 1797.
- Warren, C.J., 2013. Exhumation of (ultra-)high-pressure terranes: Concepts and mechanisms. *Solid Earth* 4, 75–92. <https://doi.org/10.5194/se-4-75-2013>
- Wei, C., Powell, R., 2006. Calculated phase relations in the system NCKFMASH (Na₂O–CaO–K₂O–FeO–MgO–Al₂O₃–SiO₂–H₂O) for high-pressure metapelites. *J. Petrol.* 47, 385–408. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi079>
- Wen, F., Tian, Z., 2021. A metamorphic and deformational study of meta-pelites in the Liaohe Group located at Liaodong Peninsula: Significance to process of Paleoproterozoic orogenesis and exhumation. *Acta*

- Petrol. Sin. 37, 619–635.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 95, 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wiedenbeck, M., Hanchar, J.M., Peck, W.H., Sylvester, P., Valley, J., Whitehouse, M., Kronz, A., Morishita, Y., Nasdala, L., Fiebig, J., 2004. Further characterisation of the 91500 zircon crystal. *Geostand. Geoanalytical Res.* 28, 9–39.
- Wu, C.M., Zhao, G., 2006. Recalibration of the garnet-muscovite (GM) geothermometer and the garnet-muscovite-plagioclase-quartz (GMPQ) geobarometer for metapelitic assemblages. *J. Petrol.* 47, 2357–2368. <https://doi.org/10.1093/petrology/egl047>
- Xia, Q.X., Zheng, Y.F., Yuan, H., Wu, F.Y., 2009. Contrasting Lu-Hf and U-Th-Pb isotope systematics between metamorphic growth and recrystallization of zircon from eclogite-facies metagranites in the Dabie orogen, China. *Lithos* 112, 477–496. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.015>
- Xia, Q.X., Zhou, L.G., 2017. Different origins of garnet in high pressure to ultrahigh pressure metamorphic rocks. *J. Asian Earth Sci.* 145, 130–148. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.03.037>
- Yakymchuk, C., Kirkland, C.L., Clark, C., 2018. Th/U ratios in metamorphic zircon. *J. Metamorph. Geol.* 36, 715–737. <https://doi.org/10.1111/jmg.12307>
- Yanez, P., Ruiz, J., Patchett, P.J., Ortega-Gutierrez, F., Gehrels, G.E., 1991. Isotopic studies of the Acatlan Complex, southern Mexico: implications for Paleozoic North American tectonics. *Geol. Soc. Am. Bull.* 103, 817–828. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0817:ISOTAC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0817:ISOTAC>2.3.CO;2)
- Yang, Y., Liang, C., Zheng, C., Xu, X., Zhou, X., Hu, P., 2020. The metamorphic characteristics of metapelites of the Mashan Group in Mashan area, eastern Heilongjiang Province, China: Constraint on the crustal evolution of the Jiamusi Massif. *Gondwana Res.*
- Zack, T., Kronz, A., Foley, S.F., Rivers, T., 2002. Trace element abundances in rutiles from eclogites and associated garnet mica schists. *Chem. Geol.* 184, 97–122. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(01\)00357-6](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(01)00357-6)
- Zack, T., Stockli, D.F., Luvizotto, G.L., Barth, M.G., Belousova, E., Wolfe, M.R., Hinton, R.W., 2011. In situ U-Pb rutile dating by LA-ICP-MS: 208Pb correction and prospects for geological applications. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 162, 515–530. <https://doi.org/10.1007/s00410-011-0609-4>
- Zack, T., Kooijman, E., 2018. Petrology and geochronology of rutile. *Petrochronology Methods Appl.* 83, 443–467. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.83.14>
- Zhang, J., 2020. The study of subduction channels: Progress, controversies, and challenges. *Sci. China Earth Sci.* 63, 1831–1851. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9626-5>
- Zhang, L., Wang, Y., 2020. The exhumation of high- and ultrahigh-pressure metamorphic terranes in subduction zone: Questions and discussions. *Sci. China Earth Sci.* 63, 1884–1903. <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9579-3>
- Zhao, D., 2001. New advances of seismic tomography and its applications to subduction zones and earthquake fault zones: A review. *Isl. Arc* 10, 68–84. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1738.2001.00291.x>
- Zheng, Y.F., Gao, T.S., Wu, Y.B., Gong, B., Liu, X.M., 2007. Fluid flow during exhumation of deeply subducted continental crust: Zircon U-Pb age and O-isotope studies of a quartz vein within ultrahigh-pressure eclogite. *J. Metamorph. Geol.* 25, 267–283. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2007.00696.x>
- Zheng, Y.F., Zhao, Z.F., Chen, Y.X., 2013. Continental subduction channel processes: Plate interface

- interaction during continental collision. *Chinese Sci. Bull.* 58, 4371–4377.
<https://doi.org/10.1007/s11434-013-6066-x>
- Zheng, Y.F., Hermann, J., 2014. Geochemistry of continental subduction-zone fluids. *Earth, Planets Sp.* 66, 93. <https://doi.org/10.1186/1880-5981-66-93>
- Zheng, Y.F., Chen, R.X., Xu, Z., Zhang, S.B., 2016. The transport of water in subduction zones. *Sci. China Earth Sci.* 59, 651–682. <https://doi.org/10.1007/s11430-015-5258-4>
- Zheng, Y.F., Chen, R.X., 2017. Regional metamorphism at extreme conditions: Implications for orogeny at convergent plate margins. *J. Asian Earth Sci.* 145, 46–73. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.03.009>
- Zheng, Y.F., Zhao, Z.F., 2017. Introduction to the structures and processes of subduction zones. *J. Asian Earth Sci.* 145, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.06.034>
- Zhou, G., Zhang, J., Yu, S., Li, Y., Lu, Z., Mao, X., Teng, X., 2019. Metamorphic evolution of eclogites and associated metapelites from the Yuka terrane in the North Qaidam ultrahigh pressure metamorphic belt, NW China: Constraints from phase equilibrium modeling. *J. Asian Earth Sci.* 173, 161–175. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.01.017>
- Zwart, H.J., 1967. The duality of orogenic belts. *Geol. en Mijnb.* 46, 283–309.
- Zwart, H.J., 1969. Metamorphic facies series in the European orogenic belts and their bearing on the causes of orogeny. *Spec. Pap. geol. Assoc. Can* 5, 7–16.

Anexos

Anexo 1. Muestras

Ubicación UTM _{WGS-84}	Punto de muestreo	Descripción punto de muestreo	Muestras (# de muestras)
Área Mimilulco-Las Minas			
567936 E, 2050456 N	MPS-01	Quebrada con ocurrencia de cantos rodados de anfibolitas, esquistos azules, rocas cuarzofeldespáticas y esquistos micáceos con y sin granate.	Esquisto micáceo con granate. (1)
573839 E, 2053155 N	MPS-02	Quebrada con ocurrencia de rodados de esquistos pelíticos. Afloran esquistos pelíticos con granate, y en algunos lugares con aparente cloritoide	Esquisto micáceo con granate y cloritoide. (1)
573876 E, 2053232 N	MPS-03		Esquisto micáceo con granate. (1)
574801 E, 2056657 N	MPS-04	Cañada al NW de Mimilulco donde se observa una secuencia de rocas metasedimentarias intercaladas con cuerpos lenticulares metabásicos de dimensiones métricas (<4m) con evidencias de alta presión.	Anfibolita rica en granate; metapsamita con granate; esquisto micáceo con granate; esquisto micáceo con granate y aparente cianita. (4)
575127 E, 2056391 N	MPS-05		Anfibolita con granate; metapsamita. (2)
576212 E, 2055353 N	MPS-06	Cañada al SE de Mimilulco, de NW a SE se observa una intercalación de gneises cuarzo feldespáticos con lentes metabásicos, seguida de una secuencia metasedimentaria intercalada con cuerpos lenticulares metabásicos. En esta secuencia metasedimentaria se distinguen niveles pelíticos ricos en granate, niveles pelíticos con grafito, y niveles samíticos pobres en granate.	Esquisto cuarzo-micáceo con granate; esquisto micáceo con granate. (2)
575901 E, 2055274 N	MPS-07		Esquisto cuarzo-micáceo con granate; Anfibolita con granate. (2)
575832 E, 2055437 N	MPS-08		Esquisto micáceo con granate. (1)
574612 E, 2056772 N	MPS-30	Parte más norte trabajada en la cañada que atraviesa a Mimilulco, a lo largo de la cañada se observan metasedimentos intercalados con bandas de rocas metabásicas. Hacia este sector se observa un nivel potente de rocas metabásicas con algunas intercalaciones de rocas graníticas	Metagranito; Metabasita (2)
574340 E, 2054039 N	MPS-31	A lo largo de la quebrada se observa anfibolitas con granate, metapelitas con granate, y paragneises con granate	Esquisto cuarzo-micáceo con granate. (1)
574969 E, 2053871 N	MPS-32		Esquisto cuarzo-micáceo con granate; anfibolita con granate. (2)
Área Asís			
582445 E, 2041664 N	MPS-09	Afloramiento de roca metasedimentaria compuesta por cuarzo, mica blanca, clorita y granate, se observan bandas cuarzosas plegadas conforme a la foliación.	Esquisto cuarzo-micáceo con granate. (1)
582427 E, 2041930 N	MPS-10	Afloramiento de metapsamitas y metabasitas relacionadas espacialmente	Esquisto cuarzo-micáceo con aparente granate; anfibolita con granate. (2)
579206 E, 2042670 N	MPS-11	Afloramiento de lente máfico en cercanías del poblado de los Timbres, se observan rodados de esquistos micáceos.	Rodado de esquisto micáceo (1)
574967 E, 2039228 N	MPS-12	Afloramiento de rocas metasedimentarias. Principalmente esquistos con mica blanca, granate y un mineral de color negro con forma tabular. En la zona se observaron rodados de esquistos azules.	Esquisto micáceo con granate. (1)
574688 E, 2039899 N	MPS-13	Afloramiento sobre la vía, se observa esquistos competentes con abundante mica y granate.	Esquisto micáceo con granate. (1)
574765 E, 2042724 N	MPS-14	Afloramiento de cañada, se observaron esquistos cuarzo-micáceos, así como gneises augen de La Esperanza.	Rodado de esquisto micáceo con granate. (1)
575045 E, 2039945 N	MPS-15		Esquisto micáceo con granate fino. (1)
574963 E, 2040089 N	MPS-16	Intercalación de niveles de esquistos micáceos ricos en granate con niveles de esquistos cuarcíticos (metapsamitas) sin granate.	Esquisto micáceo con granate. (1)
575071 E, 2040422 N	MPS-17	Zona con rocas gnéissicas con bastante granate, muscovita, se observan estructuras de plegamiento intensas, relacionadas espacialmente con un bloque de metabasita.	Esquisto cuarzo-micáceo con granate; metabasita. (2)

582312 E, 2040509 N	MPS-33	En la quebrada se observa un nivel potente de gneises augen con grado de milonización heterogéneo, supra yacido por una secuencia metasedimentaria con granate, la cual a su vez está intercalada con lentes de metaeclogita	Micaesquisto con granate, Eclogita (2)
582408 E, 2040295 N	MPS-34		Esquisto micáceo con granate y abundante turmalina. (1)
581865 E, 2040346 N	MPS-35		Gneis augen. (1)
577117 E, 2040972 N	MPS-36	De base a cima, estructuralmente se observan: Metagranitos, Metasedimentos con granate, bloques y niveles plegados de metaeclogitas y metasedimentos estériles en granate.	Metaeclogita. (1)
577315 E, 2041649 N	MPS-37		Metasedimento con granates. (1)
577677 E, 2042063 N	MPS-38		Metagranito. (1)
Área Piaxtla			
575225 E, 2006191 N	MPS-18	Cañada con presas al oriente de Inopilco, a lo largo de la cañada se observan lentes metabásicos con granate de dimensiones métricas intercalados con metapelitas ricas en granate. El tamaño y abundancia de los granates varía entre bandas, se toma muestra de una banda de esquisto micáceo con granates centimétricos, así como de una banda de esquisto cuarzo-micáceo con granates milimétricos.	Esquisto micáceo con granate; esquisto cuarzo-micáceo con granate. (2)
574714 E, 2006983 N	MPS-19	Intercalación entre bandas de esquistos micáceos con abundante granate y bandas de esquistos cuarzo-micáceos con escaso granate. Se observan estructuras de cuarzo anastomosado	Esquisto micáceo con granate. (1)
577716 E, 2009192 N	MPS-20	Afloramiento en la Quebrada Guadalupe, a lo largo de la cual se encuentran bastantes rocas metabásicas intercaladas con rocas metapsamíticas con granate.	Esquisto micáceo con granate. (1)
577020 E, 2009180 N	MPS-21	Afloramiento de metapsamitas con poco granate y aparente turmalina.	Esquisto cuarzo-micáceo con poco granate y aparente turmalina. (1)
584673 E, 2015742 N	MPS-22	Afloramiento de esquisto cuarzoso con granates centimétricos e idiomórficos en contacto con rocas metagraníticas de La Esperanza.	Esquisto cuarzo- micáceo con granate. (1)
Área Ixcamilpa			
527806 E, 1994401 N	MPS-23	Quebrada al W de Cuatlaxtecoma donde se observaron metasedimentos con granate y cloritoide relacionados espacialmente a rocas metabásicas con granate	Anfibolita con granate (1)
527607 E, 1994305 N	MPS-24		Esquisto micáceo con granate y aparente cloritoide. (1)
527684 E, 1993636 N	MPS-25		Esquisto micáceo con granate y aparente cloritoide. (1)
534415 E, 1998086 N	MPS-26	Barranca al NW de Coacalco donde se observan posibles esquistos azules y eclogitas con una retrogresión intensa. En general los metasedimentos se ven estériles de granate, pero se encuentra un nivel con este mineral.	Roca foliada con porfidoblastos de plagioclasa, turmalina, mica blanca, clorita y posible granate; Micaesquisto con granate (2)
534268 E, 1998227 N	MPS-27		Anfibolita con posibles niveles de esquisto azul. (1)
533402 E, 1998898 N	MPS-28	Trayecto paralelo al Río Balsas, se observan rocas metabásicas con posibles niveles de esquistos azules asociadas a unos niveles de rocas foliadas con abundantes porfidoblastos de feldespatos	Esquisto cuarzo-micáceo con granate (1)
533484 E, 1998792 N	MPS-29		Anfibolita con posibles niveles de esquisto azul. (1)

Anexo 2. Información isotópica U-Pb

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Relaciones isotópicas								Rho	Edades aparentes (Ma)						% Disc.
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	
Circón/ esquistos pelíticos de Grt-Phe-Rt (MPS-08)																			
08_Zrn-01a	525.71	166.70	0.317	0.0824	0.0025	2.2925	0.0413	0.2013	0.0044	0.0598	0.0024	0.35	1182.2	23.7	1209.4	12.7	1251.7	60.2	2.3
08_Zrn-01b	474.54	68.13	0.144	0.0807	0.0029	1.9983	0.0651	0.1792	0.0051	0.0643	0.0033	0.61	1062.4	28.1	1113.3	22.2	1207.8	70.6	4.6
08_Zrn-02a	156.75	59.75	0.381	0.0822	0.0062	2.3320	0.1201	0.2021	0.0060	0.0627	0.0045	0.06	1186.5	32.1	1218.4	36.0	1211.9	154.0	2.6
08_Zrn-02b	199.53	87.52	0.439	0.0776	0.0029	2.0803	0.0759	0.1937	0.0062	0.0560	0.0029	0.69	1140.9	33.4	1139.0	25.3	1127.3	72.3	-0.2
08_Zrn-03	340.89	99.49	0.292	0.0806	0.0027	2.3111	0.0611	0.2077	0.0059	0.0635	0.0032	0.56	1216.5	31.3	1214.4	18.7	1206.9	66.1	-0.2
08_Zrn-04	259.50	95.83	0.369	0.0808	0.0031	2.2316	0.0555	0.2002	0.0046	0.0628	0.0029	0.02	1176.5	24.9	1189.7	17.3	1207.4	72.9	1.1
08_Zrn-05a	87.44	62.55	0.715	0.0833	0.0054	2.2223	0.1406	0.1933	0.0053	0.0651	0.0044	0.24	1138.9	28.6	1179.5	44.0	1233.5	132.5	3.4
08_Zrn-05b	206.88	95.93	0.464	0.0257	0.0018	0.6158	0.0353	0.0685	0.0017	0.0317	0.0019	0.25	426.9	10.3	486.4	22.0	513.3	35.2	12.2
08_Zrn-06	330.30	135.45	0.410	0.0789	0.0033	2.0440	0.0563	0.1883	0.0053	0.0551	0.0026	0.16	1111.9	28.9	1134.6	15.8	1160.4	79.5	2.0
08_Zrn-07a	1218.74	454.37	0.373	0.0807	0.0024	1.5876	0.0449	0.1429	0.0038	0.0462	0.0020	0.87	861.2	21.4	964.9	17.9	1212.0	59.3	10.7
08_Zrn-07b	836.47	67.36	0.081	0.0734	0.0023	1.4203	0.0234	0.1406	0.0029	0.0374	0.0021	0.10	848.0	16.6	897.1	9.8	1020.1	62.6	5.5
08_Zrn-08	260.79	102.49	0.393	0.0760	0.0031	1.7981	0.0563	0.1719	0.0039	0.0491	0.0023	0.23	1022.2	21.4	1043.0	20.3	1084.6	78.5	2.0
08_Zrn-09	1594.93	368.23	0.231	0.0866	0.0024	2.3857	0.0318	0.2003	0.0042	0.0558	0.0022	0.56	1176.7	22.8	1238.0	9.6	1350.2	53.2	5.0
08_Zrn-10a	131.38	45.46	0.346	0.0701	0.0029	1.4838	0.0543	0.1536	0.0037	0.0455	0.0028	0.43	921.1	20.9	920.7	22.4	911.3	89.0	0.0
08_Zrn-10b	131.01	29.81	0.228	0.0711	0.0039	1.4926	0.0703	0.1533	0.0044	0.0446	0.0031	0.10	919.0	24.7	924.0	28.9	930.1	118.2	0.5
08_Zrn-11a	169.26	51.02	0.301	0.0796	0.0030	2.1210	0.0563	0.1940	0.0044	0.0551	0.0028	0.04	1142.7	23.6	1153.6	18.5	1172.3	76.7	0.9
08_Zrn-73	730.24	373.69	0.512	0.0795	0.0028	2.0627	0.0559	0.1892	0.0042	0.0538	0.0021	0.48	1117.1	23.0	1135.8	18.3	1179.9	68.3	1.6
08_Zrn-12a	28.77	11.44	0.398	0.0795	0.0067	1.7871	0.1292	0.1656	0.0060	0.0507	0.0045	-0.06	987.1	33.0	1027.0	47.5	1074.7	177.1	3.9
08_Zrn-12b	336.34	250.72	0.745	0.0736	0.0063	0.5723	0.0477	0.0562	0.0017	0.0207	0.0021	0.21	352.4	10.4	458.5	30.7	1009.2	176.5	23.1
08_Zrn-13	417.95	105.33	0.252	0.0794	0.0024	2.1480	0.0369	0.1969	0.0042	0.0572	0.0024	0.20	1158.7	22.8	1166.3	13.0	1183.7	66.1	0.6
08_Zrn-14a	217.28	101.00	0.465	0.0748	0.0026	1.6692	0.0404	0.1641	0.0044	0.0515	0.0022	0.56	979.1	24.3	995.5	15.3	1053.4	69.2	1.6
08_Zrn-14b	211.68	26.82	0.127	0.0565	0.0038	0.5978	0.0347	0.0775	0.0020	0.0225	0.0024	-0.10	480.9	12.1	474.2	22.0	428.8	153.8	-1.4
08_Zrn-14b_2	1827.98	86.33	0.047	0.0226	0.0027	0.4020	0.0206	0.0523	0.0014	0.0226	0.0027	0.34	328.9	8.7	342.9	15.0	452.3	54.1	4.1
08_Zrn-15	82.92	34.43	0.415	0.0714	0.0041	1.2946	0.0594	0.1330	0.0038	0.0408	0.0024	-0.10	804.4	21.8	839.1	26.4	921.7	123.9	4.1
08_Zrn-72	227.27	94.55	0.416	0.0774	0.0027	2.0035	0.0478	0.1891	0.0048	0.0540	0.0024	0.26	1116.2	26.3	1115.3	16.3	1134.9	64.8	-0.1
08_Zrn-16a	179.16	94.76	0.529	0.0823	0.0031	2.2538	0.0644	0.2001	0.0048	0.0611	0.0026	0.35	1175.4	25.8	1195.9	20.1	1255.6	79.3	1.7
08_Zrn-16b	185.15	65.66	0.355	0.0812	0.0034	2.2916	0.0800	0.2055	0.0046	0.0598	0.0031	0.21	1208.0	27.7	1206.8	24.6	1210.7	84.4	-0.1
08_Zrn-17a	827.96	205.58	0.248	0.0795	0.0027	1.8267	0.0458	0.1675	0.0041	0.0530	0.0033	0.40	998.3	22.5	1054.5	16.3	1180.0	69.2	5.3
08_Zrn-17b	444.96	130.95	0.294	0.0790	0.0028	2.1190	0.0543	0.1965	0.0060	0.0578	0.0035	0.51	1156.4	32.1	1154.7	18.0	1169.4	70.2	-0.1
08_Zrn-18	265.39	15.53	0.059	0.0674	0.0052	1.0239	0.0676	0.1114	0.0037	0.0570	0.0092	-0.02	680.9	21.3	714.3	34.1	829.5	158.8	4.7
08_Zrn-19	289.08	126.41	0.437	0.0824	0.0030	2.2776	0.0619	0.2020	0.0050	0.0641	0.0028	0.33	1186.1	26.6	1203.9	19.3	1247.2	72.1	1.5
08_Zrn-20a	66.08	53.21	0.805	0.0756	0.0050	1.3425	0.0694	0.1319	0.0039	0.0304	0.0023	0.02	798.4	22.0	868.4	34.6	1078.0	117.3	8.1
08_Zrn-20b	110.44	17.01	0.154	0.0676	0.0039	1.1982	0.0642	0.1292	0.0041	0.0455	0.0041	0.28	783.3	23.4	796.2	29.5	823.6	126.9	1.6
08_Zrn-21a	617.96	515.33	0.834	0.0778	0.0028	1.8499	0.0517	0.1735	0.0039	0.0557	0.0022	0.33	1031.5	21.6	1062.6	18.4	1137.6	73.8	2.9
08_Zrn-21b	285.41	103.77	0.364	0.0791	0.0032	2.1368	0.0581	0.1978	0.0058	0.0581	0.0027	0.15	1163.1	31.2	1159.8	18.7	1166.2	81.5	-0.3
08_Zrn-22	782.47	67.81	0.087	0.0820	0.0028	2.3143	0.0630	0.2062	0.0050	0.0626	0.0037	0.50	1214.8	17.6	1216.0	19.2	1243.0	67.0	0.1
08_Zrn-23a	116.96	56.78	0.485	0.0745	0.0035	1.6449	0.0811	0.1587	0.0063	0.0513	0.0035	0.30	949.3	34.7	985.2	31.0	1076.3	120.1	3.7
08_Zrn-23b	297.11	79.38	0.267	0.0777	0.0026	1.9162	0.0453	0.1798	0.0041	0.0549	0.0025	0.30	1065.6	22.2	1085.2	15.9	1138.7	64.2	1.8

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Relaciones isotópicas								Edades aparentes (Ma)						% Disc.	
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		±2σ
08_Zrn-24a	128.76	57.79	0.449	0.0821	0.0035	2.4075	0.0728	0.2141	0.0051	0.0658	0.0031	-0.02	1250.5	27.2	1242.7	21.7	1233.7	83.5	-0.6
08_Zrn-24b	261.23	30.61	0.117	0.0547	0.0027	0.5571	0.0248	0.0742	0.0021	0.0600	0.0083	0.38	461.6	12.8	448.7	16.2	379.3	110.4	-2.9
08_Zrn-25a	694.75	89.00	0.128	0.0733	0.0029	1.7056	0.0458	0.1674	0.0040	0.0560	0.0032	0.19	997.8	22.1	1009.9	17.2	1016.2	79.5	1.2
08_Zrn-25b	461.29	375.80	0.815	0.0728	0.0063	0.5369	0.0370	0.0533	0.0017	0.0126	0.0055	-0.39	335.0	10.3	435.9	24.4	991.0	172.3	23.1
08_Zrn-27a	351.55	150.66	0.429	0.0750	0.0039	1.4710	0.0849	0.1414	0.0042	0.0442	0.0038	0.71	852.4	23.8	917.0	35.2	1061.9	103.1	7.0
08_Zrn-27b	522.64	128.57	0.246	0.0676	0.0026	0.7987	0.0209	0.0860	0.0023	0.0313	0.0021	0.13	531.9	13.6	595.6	11.7	847.6	82.3	10.7
08_Zrn-28a	236.59	130.60	0.552	0.0851	0.0030	2.5928	0.0550	0.2202	0.0050	0.0668	0.0026	0.20	1282.6	26.4	1297.2	15.5	1307.3	68.4	1.1
08_Zrn-28b	181.36	34.68	0.191	0.0710	0.0062	0.6959	0.0441	0.0711	0.0029	0.0265	0.0063	-0.38	442.6	17.6	535.7	26.7	936.2	187.7	17.4
08_Zrn-29a	137.05	36.54	0.267	0.0608	0.0047	0.6398	0.0467	0.0763	0.0022	0.0302	0.0029	0.17	474.0	13.2	498.0	29.1	542.9	182.9	4.8
08_Zrn-29b	273.68	230.17	0.841	0.0583	0.0035	0.5783	0.0320	0.0721	0.0020	0.0217	0.0011	0.22	449.0	12.2	461.9	20.4	505.4	133.1	2.8
08_Zrn-30	626.30	305.18	0.487	0.0794	0.0027	2.1196	0.0582	0.1924	0.0046	0.0539	0.0027	0.53	1134.1	25.1	1154.7	18.9	1179.3	67.6	1.8
08_Zrn-31a	231.67	210.90	0.910	0.0606	0.0071	0.5249	0.0589	0.0629	0.0022	0.0217	0.0015	0.03	393.5	13.4	426.7	39.6	577.7	272.2	7.8
08_Zrn-31b	1387.32	156.90	0.113	0.0774	0.0033	0.5926	0.0235	0.0550	0.0013	0.0499	0.0027	0.51	345.1	7.9	472.1	15.0	1125.8	85.8	26.9
08_Zrn-32	552.14	72.22	0.131	0.0775	0.0026	1.2389	0.0313	0.1155	0.0026	0.0579	0.0024	0.50	704.7	15.1	817.2	14.3	1125.6	66.9	13.8
08_Zrn-33a	102.39	58.56	0.572	0.0857	0.0038	2.4783	0.0939	0.2093	0.0059	0.0660	0.0033	0.35	1224.8	31.2	1263.0	28.2	1319.2	87.9	3.0
08_Zrn-33b	101.79	53.03	0.521	0.0799	0.0069	2.4519	0.1904	0.2229	0.0077	0.0638	0.0038	0.02	1296.8	40.4	1253.5	55.0	1168.1	166.4	-3.5
08_Zrn-34	182.56	47.61	0.261	0.0831	0.0042	2.4110	0.1276	0.2100	0.0056	0.0622	0.0073	0.60	1228.6	29.9	1243.8	37.7	1263.6	98.1	1.2
08_Zrn-35	164.28	60.88	0.371	0.0796	0.0029	2.0314	0.0798	0.1829	0.0061	0.0558	0.0026	0.61	1082.1	33.4	1121.7	26.8	1173.6	74.9	3.5
08_Zrn-36a	839.69	146.05	0.174	0.0735	0.0041	0.5459	0.0353	0.0532	0.0018	0.0333	0.0040	0.69	334.1	11.0	441.5	23.1	1016.1	110.5	24.3
08_Zrn-36b	112.38	26.65	0.237	0.0789	0.0046	2.2805	0.1090	0.2095	0.0059	0.0692	0.0076	0.04	1225.8	31.5	1204.2	34.1	1155.8	115.1	-1.8
08_Zrn-37a	424.72	150.83	0.355	0.0804	0.0033	2.3026	0.0619	0.2085	0.0047	0.0604	0.0027	-0.02	1221.0	24.9	1212.2	18.9	1198.6	79.0	-0.7
08_Zrn-37b	332.02	103.56	0.312	0.0697	0.0027	1.2599	0.0462	0.1308	0.0034	0.0461	0.0027	0.61	792.5	19.3	826.2	21.0	909.5	78.8	4.1
08_Zrn-38	151.87	39.21	0.258	0.0777	0.0030	2.1629	0.0519	0.2012	0.0046	0.0641	0.0034	-0.22	1181.8	24.8	1167.5	16.5	1124.4	76.6	-1.2
08_Zrn-39a	151.71	46.20	0.305	0.0800	0.0039	2.1403	0.1041	0.1929	0.0056	0.0554	0.0033	0.52	1137.0	30.5	1157.4	34.2	1178.3	99.9	1.8
08_Zrn-39b	122.93	33.66	0.274	0.0810	0.0042	2.0835	0.0835	0.1858	0.0052	0.0556	0.0034	0.03	1098.4	28.5	1140.2	27.3	1198.0	99.2	3.7
08_Zrn-40a	173.34	122.86	0.709	0.0594	0.0032	0.6174	0.0288	0.0751	0.0020	0.0237	0.0013	0.16	466.5	11.8	486.2	18.0	539.9	117.6	4.1
08_Zrn-40b	449.90	124.16	0.276	0.0540	0.0046	0.3921	0.0332	0.0525	0.0017	0.0176	0.0015	0.22	329.7	10.4	335.0	24.1	330.9	210.4	1.6
08_Zrn-41	53.51	15.12	0.283	0.0734	0.0080	1.6898	0.1502	0.1678	0.0071	0.0493	0.0077	-0.23	999.6	39.1	998.5	58.8	965.7	234.4	-0.1
08_Zrn-42a	248.30	112.53	0.453	0.0771	0.0030	1.8367	0.0548	0.1721	0.0045	0.0525	0.0022	0.33	1023.3	24.8	1057.5	19.5	1115.5	77.2	3.2
08_Zrn-42b	225.70	95.58	0.424	0.0543	0.0030	0.5552	0.0242	0.0741	0.0020	0.0231	0.0013	-0.10	460.5	12.0	446.9	15.9	335.8	133.5	-3.0
08_Zrn-43	404.35	163.11	0.403	0.0752	0.0025	1.7948	0.0373	0.1722	0.0037	0.0527	0.0022	0.14	1023.9	20.6	1042.5	13.5	1066.0	66.4	1.8
08_Zrn-44	622.09	116.86	0.188	0.0759	0.0026	1.4418	0.0286	0.1367	0.0030	0.0306	0.0025	0.05	826.1	17.2	906.0	11.9	1085.7	67.4	8.8
08_Zrn-45	183.67	62.98	0.343	0.0741	0.0043	1.2015	0.0578	0.1172	0.0034	0.0406	0.0027	-0.09	714.1	19.5	799.8	26.8	1026.2	126.5	10.7
08_Zrn-46a	77.17	40.65	0.527	0.0762	0.0039	2.0889	0.0923	0.1983	0.0051	0.0570	0.0028	0.15	1165.8	27.4	1139.4	30.8	1084.2	97.7	-2.3
08_Zrn-46b	343.33	41.01	0.119	0.0637	0.0043	0.5383	0.0309	0.0611	0.0019	0.0332	0.0042	-0.02	382.4	11.5	436.2	20.6	699.9	153.6	12.3
08_Zrn-47	91.56	72.78	0.795	0.0810	0.0034	2.2504	0.0769	0.2010	0.0056	0.0589	0.0028	0.29	1180.1	30.0	1193.4	24.1	1202.0	84.3	1.1
08_Zrn-48	376.64	107.04	0.284	0.0804	0.0025	2.2160	0.0389	0.1990	0.0043	0.0580	0.0026	0.11	1169.8	23.0	1185.2	12.4	1201.3	62.8	1.3
08_Zrn-49	229.75	83.12	0.362	0.0826	0.0034	2.2612	0.0676	0.1984	0.0052	0.0612	0.0031	0.11	1166.8	27.8	1199.0	20.6	1250.9	79.9	2.7
08_Zrn-50	79.57	52.04	0.654	0.0928	0.0073	2.9966	0.1972	0.2340	0.0068	0.0784	0.0055	-0.21	1355.3	35.2	1403.1	49.1	1463.9	141.8	3.4
08_Zrn-51	406.11	206.69	0.509	0.0559	0.0027	0.6107	0.0236	0.0792	0.0026	0.0265	0.0018	0.27	491.4	15.4	483.6	14.7	440.5	103.0	-1.6
08_Zrn-52a	391.41	138.92	0.355	0.0920	0.0033	2.4177	0.0635	0.1900	0.0049	0.0615	0.0030	0.40	1121.3	26.7	1246.6	19.0	1461.5	68.6	10.0
08_Zrn-52b	1509.43	101.94	0.068	0.0795	0.0024	1.9952	0.0385	0.1808	0.0038	0.0554	0.0031	0.56	1071.3	20.6	1113.4	13.1	1181.6	59.2	3.8
08_Zrn-53	189.31	83.13	0.439	0.0794	0.0042	2.0714	0.1048	0.1894	0.0054	0.0543	0.0030	0.37	1117.8	29.1	1137.1	34.0	1169.7	102.8	1.7

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Relaciones isotópicas									Edades aparentes (Ma)						% Disc.
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	
08_Zrn-54a	167.73	77.44	0.462	0.0801	0.0028	2.1779	0.0512	0.1969	0.0043	0.0616	0.0028	0.08	1158.5	23.1	1172.4	16.3	1188.3	70.5	1.2
08_Zrn-54b	175.37	70.91	0.404	0.0811	0.0039	2.2239	0.0807	0.1992	0.0049	0.0590	0.0030	-0.07	1171.0	26.3	1186.1	25.4	1205.5	95.2	1.3
08_Zrn-55	156.40	142.68	0.912	0.0712	0.0064	0.6506	0.0549	0.0665	0.0026	0.0182	0.0014	0.16	415.0	15.5	506.1	33.5	913.0	181.8	18.0
08_Zrn-56	386.38	238.12	0.616	0.0705	0.0036	0.9133	0.0404	0.0940	0.0024	0.0248	0.0013	0.17	579.1	14.4	657.2	21.6	923.3	110.8	11.9
08_Zrn-57	457.58	171.07	0.374	0.0766	0.0031	1.9356	0.0557	0.1836	0.0043	0.0541	0.0025	0.00	1086.7	23.2	1093.0	19.1	1105.9	80.0	0.6
08_Zrn-58	174.51	66.88	0.383	0.0827	0.0041	2.1815	0.0838	0.1902	0.0067	0.0635	0.0055	0.25	1122.0	36.0	1174.2	26.9	1256.0	94.3	4.4
08_Zrn-59	514.72	254.83	0.495	0.0727	0.0032	1.5723	0.0580	0.1570	0.0041	0.0512	0.0020	0.31	940.2	22.7	958.1	22.8	997.3	87.8	1.9
08_Zrn-60a	169.82	127.73	0.752	0.0562	0.0044	0.4858	0.0375	0.0629	0.0021	0.0187	0.0012	0.26	393.0	12.9	400.1	25.3	403.6	176.5	1.8
08_Zrn-60b	172.75	66.92	0.387	0.0777	0.0030	2.0771	0.0626	0.1940	0.0053	0.0574	0.0026	0.38	1142.4	28.3	1138.7	20.6	1123.7	76.6	-0.3
08_Zrn-61a	1450.46	183.10	0.126	0.0712	0.0025	1.1181	0.0294	0.1131	0.0028	0.0476	0.0022	0.45	690.9	16.4	761.6	14.1	958.0	71.3	9.3
08_Zrn-61b	346.79	272.50	0.786	0.0583	0.0026	0.5824	0.0207	0.0725	0.0019	0.0220	0.0010	0.11	450.9	11.2	465.0	13.1	516.2	95.3	3.0
08_Zrn-62	544.60	170.08	0.312	0.0952	0.0029	2.9900	0.0539	0.2266	0.0049	0.0660	0.0028	0.28	1316.5	25.8	1404.4	13.8	1528.3	58.6	6.3
08_Zrn-63	238.99	125.00	0.523	0.0582	0.0028	0.6060	0.0245	0.0757	0.0022	0.0247	0.0013	0.19	470.1	13.1	480.0	15.6	514.1	110.4	2.1
08_Zrn-64a	333.52	162.10	0.486	0.0815	0.0031	2.2617	0.0557	0.2013	0.0046	0.0603	0.0025	-0.12	1182.3	24.6	1199.2	17.2	1224.7	73.1	1.4
08_Zrn-64b	547.64	74.35	0.136	0.0794	0.0089	0.6984	0.0872	0.0631	0.0022	0.0400	0.0042	0.48	394.3	13.3	535.3	50.2	1152.9	213.5	26.3
08_Zrn-65	407.90	115.26	0.283	0.0816	0.0027	2.3335	0.0531	0.2070	0.0048	0.0613	0.0026	0.44	1212.9	25.5	1221.3	16.1	1230.7	63.5	0.7
08_Zrn-66a	328.80	132.87	0.404	0.0863	0.0039	2.3611	0.0740	0.1989	0.0064	0.0644	0.0037	0.13	1169.3	34.5	1230.3	22.5	1339.9	88.4	5.0
08_Zrn-66b	996.48	280.69	0.282	0.0727	0.0036	0.5729	0.0250	0.0567	0.0014	0.0251	0.0018	0.24	355.8	8.6	459.3	15.9	994.5	97.6	22.5
08_Zrn-67a	95.61	43.48	0.455	0.0818	0.0038	2.1723	0.0747	0.1928	0.0047	0.0592	0.0029	-0.10	1136.3	25.2	1168.7	24.0	1214.6	92.2	2.8
08_Zrn-67b	268.06	113.80	0.425	0.0770	0.0043	0.6831	0.0312	0.0640	0.0020	0.0249	0.0020	0.10	400.0	12.1	527.5	18.9	1099.5	113.2	24.2
08_Zrn-68	231.44	77.71	0.336	0.0715	0.0030	1.4812	0.0527	0.1501	0.0039	0.0530	0.0033	0.36	901.2	21.7	921.4	21.7	961.6	88.2	2.2
08_Zrn-69	210.37	85.52	0.407	0.0781	0.0030	1.9392	0.0559	0.1797	0.0043	0.0533	0.0027	0.25	1065.3	23.5	1093.2	19.3	1139.7	76.9	2.6
08_Zrn-70	646.34	219.55	0.340	0.0821	0.0025	2.0899	0.0435	0.1842	0.0044	0.0543	0.0024	0.54	1089.8	23.8	1144.9	14.3	1244.6	60.7	4.8
08_Zrn-71b	340.36	79.16	0.233	0.0764	0.0048	1.1903	0.0613	0.1130	0.0032	0.0407	0.0027	-0.02	689.9	18.5	794.6	28.2	1088.3	120.1	13.2
08_Zrn-74a	283.08	99.21	0.350	0.0709	0.0031	1.4500	0.0498	0.1477	0.0036	0.0456	0.0025	0.13	887.7	20.3	908.4	20.7	942.9	91.2	2.3
08_Zrn-74b	205.10	53.50	0.261	0.0700	0.0028	1.5390	0.0544	0.1589	0.0050	0.0490	0.0026	0.53	950.3	27.7	943.6	21.7	912.3	83.5	-0.7
08_Zrn-75	270.22	63.56	0.235	0.0589	0.0035	0.5807	0.0294	0.0713	0.0018	0.0216	0.0015	0.01	443.7	11.1	463.2	18.9	522.0	134.6	4.2
08_Zrn-02 (2)	507.66	108.16	0.213	0.0737	0.0034	1.7158	0.0734	0.1680	0.0034	0.0516	0.0026	0.15	1000.9	18.5	1013.7	27.6	1027.1	94.9	1.3
08_Zrn-04 (2)	98.06	7.45	0.076	0.0600	0.0070	0.5472	0.0593	0.0660	0.0031	0.0316	0.0068	0.05	412.2	18.6	441.4	38.6	557.2	246.0	6.6
08_Zrn-05 (2)	12.98	6.09	0.469	0.0715	0.0274	0.5010	0.1735	0.0510	0.0041	0.0249	0.0128	0.17	320.6	25.0	394.3	116.1	277.3	1058.5	18.7
08_Zrn-06 (2)	153.40	135.53	0.883	0.0561	0.0034	0.5560	0.0316	0.0721	0.0017	0.0219	0.0011	0.08	448.5	10.3	447.8	20.6	424.8	140.6	-0.2
08_Zrn-07 (2)	27.23	14.19	0.521	0.0778	0.0053	1.8853	0.1219	0.1769	0.0067	0.0579	0.0041	0.27	1049.3	36.9	1069.7	43.1	1101.4	139.0	1.9
08_Zrn-11 (2)	861.75	767.40	0.891	0.0614	0.0041	0.5858	0.0379	0.0700	0.0021	0.0238	0.0014	0.24	436.3	12.7	467.1	24.1	632.0	139.2	6.6
08_Zrn-12 (2)	657.90	115.51	0.176	0.0554	0.0077	0.3925	0.0589	0.0522	0.0018	0.0232	0.0025	0.43	327.9	11.0	335.5	42.5	405.4	312.5	2.3
08_Zrn-14 (2)	505.63	88.74	0.175	0.0567	0.0057	0.4099	0.0412	0.0530	0.0016	0.0193	0.0026	0.21	332.7	9.8	348.3	29.9	460.7	231.3	4.5
08_Zrn-15 (2)	2689.71	1309.88	0.487	0.0816	0.0036	2.2319	0.0922	0.1988	0.0045	0.0622	0.0032	0.37	1168.7	24.2	1190.6	28.8	1232.6	87.5	1.8
08_Zrn-16 (2)	1276.47	534.56	0.419	0.0675	0.0208	0.5024	0.1666	0.0545	0.0017	0.0261	0.0010	1.00	342.3	10.4	411.8	112.7	819.9	648.3	16.9
08_Zrn-17 (2)	261.83	251.09	0.959	0.0820	0.0044	2.2760	0.1152	0.2020	0.0045	0.0599	0.0032	0.18	1185.7	24.4	1201.7	36.5	1227.3	107.8	1.3
08_Zrn-18 (2)	280.19	160.44	0.573	0.0717	0.0044	1.4673	0.0832	0.1487	0.0042	0.0481	0.0035	0.01	893.7	23.6	915.1	33.8	958.4	130.8	2.3
Circón/ esquistos pelíticos de Grt-Phe-Rt (MPS-09)																			
09_Zrn-01	187.55	1.06	0.006	0.0505	0.0042	0.3903	0.0272	0.0556	0.0010	-0.0086	0.0141	0.11	348.5	6.4	333.2	19.9	188.0	218.5	-4.6
09_Zrn-02	191.16	137.05	0.717	0.0822	0.0058	2.5247	0.1249	0.2236	0.0034	0.0629	0.0079	0.31	1300.8	18.2	1277.9	36.0	1244.1	139.2	-1.8
09_Zrn-03a	87.05	37.42	0.430	0.0803	0.0062	2.2340	0.1262	0.2029	0.0042	0.0598	0.0079	0.14	1190.6	22.2	1188.3	39.7	1183.9	152.7	-0.2

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Relaciones isotópicas								Rho	Edades aparentes (Ma)						% Disc.
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	
09_Zrn-03b	155.28	53.93	0.347	0.0797	0.0057	2.2223	0.1156	0.2030	0.0036	0.0601	0.0077	0.37	1191.0	19.5	1186.2	36.3	1180.2	143.9	-0.4
09_Zrn-04a	238.95	101.49	0.425	0.0754	0.0054	1.8920	0.0944	0.1827	0.0025	0.0544	0.0069	0.13	1081.7	13.9	1077.1	33.2	1069.3	144.9	-0.4
09_Zrn-04b	628.52	3.40	0.005	0.0535	0.0046	0.4147	0.0275	0.0553	0.0015	0.0535	0.0186	0.17	347.1	9.2	351.8	19.7	332.7	192.6	1.4
09_Zrn-05a	24.24	7.23	0.298	0.0733	0.0078	1.6919	0.1498	0.1677	0.0042	0.0568	0.0092	0.08	998.8	23.4	991.1	56.4	916.0	211.0	-0.8
09_Zrn-05b	178.33	43.21	0.242	0.0743	0.0057	1.5539	0.0980	0.1531	0.0041	0.0442	0.0060	0.58	917.9	22.8	949.2	38.8	1035.1	155.4	3.3
09_Zrn-06	465.02	8.04	0.017	0.0548	0.0044	0.4241	0.0280	0.0552	0.0015	0.0270	0.0109	0.46	346.5	9.1	358.7	19.8	395.3	176.4	3.4
09_Zrn-07a	81.59	44.83	0.549	0.0811	0.0062	2.3133	0.1278	0.2072	0.0034	0.0580	0.0074	0.08	1213.8	18.2	1213.3	39.5	1204.0	149.7	0.0
09_Zrn-07b	75.29	35.89	0.477	0.0826	0.0070	2.4286	0.1726	0.2162	0.0044	0.0620	0.0088	0.43	1261.8	23.1	1248.4	51.6	1247.5	162.6	-1.1
09_Zrn-08a	144.15	65.41	0.454	0.0788	0.0058	2.0636	0.1057	0.1919	0.0031	0.0543	0.0070	-0.05	1131.6	16.5	1135.6	35.2	1156.6	144.7	0.4
09_Zrn-08b	131.43	0.62	0.005	0.0591	0.0084	0.4390	0.0558	0.0538	0.0017	0.1997	0.0842	-0.02	337.6	10.2	366.3	40.8	547.7	307.5	7.8
09_Zrn-09a	139.34	81.52	0.585	0.0875	0.0067	2.2317	0.1188	0.1844	0.0035	0.0710	0.0091	-0.05	1090.5	18.9	1189.3	37.2	1358.3	144.0	8.3
09_Zrn-10a	78.53	45.93	0.585	0.0720	0.0059	1.5961	0.0994	0.1613	0.0033	0.0464	0.0061	0.00	964.0	18.6	964.2	39.5	947.8	181.2	0.0
09_Zrn-10b	201.42	31.68	0.157	0.0695	0.0054	1.2989	0.0805	0.1344	0.0029	0.0448	0.0062	0.45	813.0	16.3	849.2	31.6	896.7	169.9	4.3
09_Zrn-11a	533.09	106.39	0.200	0.0794	0.0056	2.1229	0.1070	0.1909	0.0023	0.0585	0.0076	0.33	1126.2	12.6	1155.6	35.1	1178.7	142.7	2.5
09_Zrn-11b	373.77	1.53	0.004	0.0529	0.0042	0.3712	0.0228	0.0507	0.0007	0.0119	0.0115	0.06	319.0	4.4	319.8	16.8	311.4	165.4	0.2
09_Zrn-12	471.85	171.18	0.363	0.0932	0.0064	3.2618	0.1524	0.2530	0.0031	0.0714	0.0090	0.32	1453.9	16.1	1471.5	36.4	1489.6	129.2	1.2
09_Zrn-13	27.87	1.92	0.069	0.0735	0.0079	1.1155	0.0988	0.1094	0.0052	0.1112	0.0236	0.00	668.5	30.4	763.6	51.9	1028.3	219.1	12.5
09_Zrn-14	540.90	92.99	0.172	0.0833	0.0059	2.3067	0.1143	0.1950	0.0031	0.0587	0.0077	0.21	1148.3	16.5	1213.9	35.8	1273.9	144.5	5.4
09_Zrn-15	996.30	249.96	0.251	0.0867	0.0060	1.7115	0.0847	0.1425	0.0024	0.0433	0.0054	0.67	858.6	13.7	1012.4	31.6	1352.1	135.0	15.2
09_Zrn-17	168.68	117.34	0.696	0.0786	0.0060	2.0762	0.1138	0.1874	0.0033	0.0541	0.0069	0.03	1107.2	17.7	1139.0	37.8	1148.8	155.2	2.8
09_Zrn-18	967.91	518.93	0.536	0.0854	0.0060	2.4225	0.1190	0.1961	0.0040	0.0626	0.0079	0.05	1154.1	21.5	1249.0	35.3	1322.4	139.0	7.6
09_Zrn-19	392.35	161.02	0.410	0.0850	0.0061	2.5434	0.1323	0.2095	0.0041	0.0661	0.0084	0.42	1225.9	21.7	1283.6	38.1	1310.7	141.6	4.5
09_Zrn-20	234.59	115.27	0.491	0.0803	0.0061	2.2985	0.1264	0.2029	0.0029	0.0598	0.0077	0.05	1190.6	15.6	1210.2	38.6	1195.3	142.4	1.6
09_Zrn-21	134.88	56.74	0.421	0.0832	0.0063	2.4567	0.1327	0.2122	0.0041	0.0608	0.0078	0.15	1240.3	21.8	1256.4	39.6	1255.7	150.8	1.3
09_Zrn-22	733.64	563.10	0.768	0.0931	0.0066	2.2098	0.1176	0.1726	0.0032	0.0588	0.0074	0.64	1026.5	17.8	1183.3	37.7	1487.5	137.4	13.2
09_Zrn-23a	46.52	14.35	0.309	0.0786	0.0067	2.0123	0.1377	0.1865	0.0041	0.0589	0.0082	0.07	1102.1	22.6	1112.2	46.6	1140.4	164.2	0.9
09_Zrn-23b	153.68	53.16	0.346	0.0752	0.0061	1.4974	0.0907	0.1470	0.0033	0.0472	0.0064	0.12	884.2	18.8	927.8	36.6	1061.3	159.3	4.7
09_Zrn-24	323.29	150.88	0.467	0.0992	0.0072	3.6711	0.1920	0.2697	0.0039	0.0765	0.0098	0.28	1539.0	20.0	1564.1	41.8	1604.7	136.8	1.6
09_Zrn-25	346.93	4.28	0.012	0.0721	0.0052	1.5431	0.0791	0.1554	0.0025	0.0650	0.0110	0.14	931.2	13.7	946.8	31.5	980.3	146.1	1.6
09_Zrn-26	134.55	124.97	0.929	0.0898	0.0066	2.9312	0.1551	0.2392	0.0040	0.0688	0.0088	0.31	1382.6	20.9	1387.6	40.9	1411.2	142.2	0.4
09_Zrn-27	414.26	54.86	0.132	0.0719	0.0052	1.6063	0.0914	0.1650	0.0039	0.0538	0.0069	0.71	984.1	21.7	971.0	34.9	975.1	146.1	-1.4
09_Zrn-28	189.07	77.81	0.412	0.0789	0.0057	2.1981	0.1107	0.2041	0.0033	0.0590	0.0074	-0.13	1197.4	17.4	1179.0	35.1	1170.7	132.0	-1.6
09_Zrn-29	238.21	74.32	0.312	0.0780	0.0056	2.2242	0.1122	0.2088	0.0031	0.0599	0.0077	0.00	1222.4	16.6	1187.2	35.4	1137.1	145.5	-3.0
09_Zrn-30	107.98	44.91	0.416	0.0782	0.0059	2.0916	0.1217	0.1948	0.0032	0.0570	0.0073	0.45	1147.2	17.3	1142.2	40.3	1134.0	151.3	-0.4
09_Zrn-31	333.78	303.09	0.908	0.1043	0.0084	3.6742	0.2115	0.2551	0.0047	0.0815	0.0105	-0.38	1464.6	24.1	1565.0	46.6	1695.9	151.2	6.4
09_Zrn-32	617.73	187.99	0.304	0.0899	0.0062	3.0519	0.1492	0.2457	0.0040	0.0714	0.0091	0.79	1416.2	20.7	1422.5	34.7	1420.4	130.7	0.4
09_Zrn-33	324.76	149.15	0.459	0.0895	0.0062	3.1784	0.1523	0.2568	0.0035	0.0764	0.0096	0.33	1473.6	17.9	1451.0	37.4	1410.2	133.3	-1.6
09_Zrn-34	244.92	112.88	0.461	0.0771	0.0055	2.1730	0.1074	0.2026	0.0030	0.0584	0.0073	-0.03	1189.2	16.2	1174.3	31.3	1116.6	144.2	-1.3
09_Zrn-35	137.83	91.14	0.661	0.0788	0.0058	2.4499	0.1276	0.2244	0.0038	0.0640	0.0081	0.19	1304.9	19.9	1255.8	37.9	1158.0	147.3	-3.9
09_Zrn-36	183.36	100.40	0.548	0.0981	0.0082	2.4853	0.1593	0.1857	0.0045	0.0769	0.0104	0.05	1098.0	24.3	1264.9	47.0	1572.8	163.1	13.2
09_Zrn-37	305.10	126.84	0.416	0.0798	0.0056	2.5334	0.1233	0.2292	0.0031	0.0659	0.0083	0.18	1330.0	16.1	1280.7	35.2	1187.2	138.4	-3.9
09_Zrn-38	211.14	65.71	0.311	0.0844	0.0060	2.7661	0.1354	0.2370	0.0035	0.0683	0.0087	0.13	1370.7	18.1	1345.3	36.5	1294.9	138.2	-1.9
09_Zrn-40	822.82	221.18	0.269	0.0692	0.0048	1.4726	0.0699	0.1543	0.0022	0.0497	0.0063	0.24	924.8	12.3	918.7	28.8	899.3	143.2	-0.7

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Relaciones isotópicas									Edades aparentes (Ma)						% Disc.
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	
09_Zrn-41	132.08	59.34	0.449	0.0739	0.0055	2.0430	0.1130	0.2010	0.0043	0.0579	0.0075	0.37	1180.5	23.0	1127.2	37.1	1022.3	147.5	-4.7
09_Zrn-42	73.61	23.56	0.320	0.0851	0.0067	2.4623	0.1406	0.2129	0.0043	0.0827	0.0110	0.01	1243.7	22.6	1257.1	41.6	1293.4	154.7	1.1
09_Zrn-44a	408.20	222.22	0.544	0.0737	0.0053	2.0270	0.1003	0.1999	0.0031	0.0608	0.0077	-0.04	1174.8	16.4	1124.0	33.7	1027.4	146.8	-4.5
09_Zrn-44b	24.17	0.13	0.005	0.0563	0.0091	0.4323	0.0663	0.0573	0.0026	7.71E+13	1.51E+14	0.08	359.2	15.8	352.8	47.3	64.4	500.2	-1.8
09_Zrn-45	659.06	311.11	0.472	0.0872	0.0061	3.0603	0.1451	0.2554	0.0036	0.0760	0.0095	0.41	1465.9	18.6	1422.4	36.4	1363.4	133.8	-3.1
09_Zrn-46a	900.69	156.97	0.174	0.0860	0.0063	2.5708	0.1386	0.2157	0.0043	0.0821	0.0107	0.41	1258.8	22.7	1291.5	39.6	1334.9	140.6	2.5
09_Zrn-46b	306.30	1.52	0.005	0.0518	0.0042	0.3987	0.0262	0.0557	0.0010	0.0466	0.0134	0.39	349.3	6.1	339.6	18.9	241.4	188.0	-2.9
09_Zrn-47	124.40	44.26	0.356	0.0773	0.0064	1.9891	0.1257	0.1865	0.0043	0.0571	0.0078	0.09	1102.0	23.4	1108.8	42.6	1108.4	162.2	0.6
09_Zrn-48	206.41	125.08	0.606	0.1040	0.0074	4.3161	0.2070	0.3025	0.0044	0.0855	0.0107	-0.12	1703.3	21.5	1698.3	36.5	1690.4	132.1	-0.3
09_Zrn-49	280.83	166.12	0.592	0.1037	0.0074	4.0470	0.2016	0.2868	0.0041	0.0777	0.0098	0.21	1625.5	20.5	1643.0	41.0	1689.1	132.6	1.1
09_Zrn-50	108.39	70.51	0.651	0.0761	0.0057	1.9298	0.1028	0.1822	0.0028	0.0521	0.0067	0.23	1079.0	15.5	1089.3	36.0	1081.2	149.9	0.9
09_Zrn-51	204.26	94.39	0.462	0.0800	0.0057	2.2937	0.1195	0.2039	0.0030	0.0593	0.0075	0.39	1196.2	16.3	1208.3	37.1	1188.8	143.9	1.0
09_Zrn-52a	452.55	105.41	0.233	0.0869	0.0068	2.5243	0.1401	0.2034	0.0052	0.0818	0.0105	0.04	1193.4	28.1	1278.3	40.0	1351.9	150.3	6.6
09_Zrn-52b	471.28	3.94	0.008	0.0704	0.0050	1.5568	0.0911	0.1589	0.0046	0.0619	0.0194	0.86	950.3	25.6	951.3	35.9	934.9	145.0	0.1
09_Zrn-53	79.83	61.02	0.764	0.1052	0.0076	4.5682	0.2372	0.3103	0.0057	0.0866	0.0110	0.23	1741.9	27.9	1740.7	43.6	1707.2	136.4	-0.1
09_Zrn-54a	74.44	71.12	0.955	0.0683	0.0057	1.2484	0.0798	0.1310	0.0027	0.0376	0.0048	0.10	793.4	15.6	818.6	36.5	838.1	173.4	3.1
09_Zrn-54b	729.81	476.69	0.653	0.0649	0.0046	1.1152	0.0553	0.1239	0.0017	0.0367	0.0046	0.09	752.8	10.0	760.1	26.5	764.8	149.3	1.0
09_Zrn-55a	75.57	76.70	1.015	0.1069	0.0079	4.5358	0.2392	0.3055	0.0053	0.0908	0.0116	0.03	1717.9	26.2	1734.5	43.8	1734.1	138.9	1.0
09_Zrn-55b	146.06	16.57	0.113	0.0901	0.0069	1.8422	0.1076	0.1488	0.0035	0.0542	0.0082	0.34	894.2	19.9	1058.4	38.2	1413.9	148.6	15.5
09_Zrn-56	916.12	113.70	0.124	0.0775	0.0054	2.1381	0.1031	0.1994	0.0036	0.0550	0.0070	0.67	1171.9	19.5	1160.4	33.1	1130.8	136.2	-1.0
09_Zrn-57	135.76	65.40	0.482	0.0694	0.0054	1.3365	0.0834	0.1419	0.0033	0.0434	0.0057	0.46	855.1	18.8	859.5	36.0	894.8	166.0	0.5
09_Zrn-58	286.55	176.16	0.615	0.0778	0.0056	2.1475	0.1120	0.2016	0.0032	0.0588	0.0076	0.54	1183.5	17.2	1162.3	36.2	1132.3	143.3	-1.8
09_Zrn-59a	364.54	128.43	0.352	0.0770	0.0056	2.1281	0.1063	0.2033	0.0030	0.0549	0.0069	-0.13	1192.9	15.9	1157.3	34.6	1114.5	144.1	-3.1
09_Zrn-59b	695.61	213.35	0.307	0.0796	0.0056	2.3039	0.1103	0.2072	0.0037	0.0627	0.0080	0.46	1213.8	19.5	1213.2	33.6	1185.5	138.3	0.0
09_Zrn-60a	384.55	183.84	0.478	0.0627	0.0048	1.1219	0.0625	0.1283	0.0021	0.0400	0.0051	0.00	778.3	12.2	762.7	29.7	684.1	157.2	-2.0
09_Zrn-60b	264.58	1.05	0.004	0.0509	0.0044	0.3732	0.0250	0.0537	0.0010	0.0309	0.0156	0.04	336.9	6.4	320.9	18.6	175.5	214.2	-5.0
09_Zrn-61	272.75	91.71	0.336	0.0910	0.0065	3.3222	0.1730	0.2688	0.0044	0.0764	0.0098	0.44	1534.4	22.5	1484.9	41.2	1440.9	137.1	-3.3
09_Zrn-62a	182.10	115.14	0.632	0.1055	0.0075	4.1987	0.2081	0.2916	0.0046	0.0858	0.0108	0.31	1649.3	23.0	1672.6	40.6	1718.9	132.3	1.4
09_Zrn-62b	73.73	98.34	1.334	0.1102	0.0079	4.8257	0.2470	0.3183	0.0054	0.0870	0.0110	0.29	1780.9	26.6	1786.9	43.1	1793.7	129.6	0.3
09_Zrn-63a	149.24	113.06	0.758	0.0767	0.0058	2.2639	0.1471	0.2099	0.0048	0.0631	0.0081	0.80	1228.0	25.7	1199.2	47.0	1107.5	159.5	-2.4
09_Zrn-64	517.58	137.32	0.265	0.0695	0.0055	1.0922	0.0626	0.1143	0.0033	0.0375	0.0050	0.20	697.6	18.9	749.1	30.4	908.1	160.4	6.9
09_Zrn-65	116.29	93.18	0.801	0.0750	0.0056	1.7911	0.0985	0.1707	0.0029	0.0515	0.0066	0.16	1015.6	15.8	1039.7	36.1	1051.5	153.5	2.3
09_Zrn-66	83.87	48.83	0.582	0.0880	0.0064	3.2185	0.1687	0.2605	0.0042	0.0743	0.0094	0.25	1492.3	21.5	1459.0	40.5	1370.9	142.9	-2.3
09_Zrn-67a	203.29	101.83	0.501	0.1045	0.0082	3.4833	0.2069	0.2387	0.0067	0.0877	0.0120	0.28	1379.4	35.0	1521.9	47.7	1699.7	148.0	9.4
09_Zrn-67b	967.33	663.16	0.686	0.0985	0.0072	2.3778	0.1278	0.1668	0.0034	0.0671	0.0085	0.50	994.4	18.5	1235.7	38.1	1594.3	136.0	19.5
09_Zrn-68a	113.35	67.93	0.599	0.0826	0.0062	2.3717	0.1260	0.2052	0.0036	0.0599	0.0077	0.06	1203.1	19.4	1231.7	38.1	1243.1	150.1	2.3
09_Zrn-68b	321.09	152.77	0.476	0.0807	0.0057	2.2325	0.1099	0.1980	0.0026	0.0581	0.0073	0.24	1164.5	14.1	1190.2	34.4	1206.8	139.3	2.2
09_Zrn-69a	64.68	59.79	0.924	0.0858	0.0067	2.5209	0.1509	0.2114	0.0051	0.0603	0.0077	0.31	1235.8	27.0	1273.1	43.7	1310.6	152.3	2.9
09_Zrn-69b	198.42	294.60	1.485	0.0844	0.0061	2.5147	0.1276	0.2146	0.0031	0.0609	0.0076	0.10	1253.3	16.3	1274.5	37.5	1291.5	142.3	1.7
09_Zrn-70a	62.23	40.28	0.647	0.0953	0.0072	3.2381	0.1813	0.2453	0.0046	0.0699	0.0090	0.20	1413.8	24.0	1462.3	43.6	1516.7	143.8	3.3
09_Zrn-70b	229.01	0.58	0.003	0.0731	0.0053	1.5766	0.0883	0.1559	0.0038	0.1157	0.0377	0.57	933.4	21.0	958.5	34.5	1003.3	153.5	2.6
09_Zrn-71	56.21	43.22	0.769	0.0835	0.0068	2.3565	0.1542	0.1994	0.0053	0.0587	0.0077	0.04	1171.8	28.2	1225.1	44.9	1284.5	174.3	4.3
09_Zrn-72a	193.55	53.95	0.279	0.0997	0.0072	3.7377	0.1843	0.2697	0.0041	0.0775	0.0100	-0.18	1538.9	21.0	1578.0	39.8	1608.6	136.3	2.5

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Relaciones isotópicas								Edades aparentes (Ma)						% Disc.	
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		±2σ
09_Zrn-72b	399.01	1.62	0.004	0.0558	0.0052	0.4247	0.0310	0.0546	0.0012	0.0343	0.0176	-0.19	342.5	7.4	358.6	22.6	407.9	231.9	4.5
09_Zrn-73	341.63	94.99	0.278	0.0847	0.0060	2.6413	0.1290	0.2222	0.0041	0.0636	0.0080	0.36	1293.3	21.7	1311.3	35.9	1302.6	136.5	1.4
09_Zrn-74	122.50	95.00	0.776	0.0845	0.0063	2.4572	0.1286	0.2076	0.0042	0.0602	0.0076	0.13	1215.5	22.5	1257.4	37.6	1289.7	144.9	3.3
09_Zrn-75	273.44	47.38	0.173	0.0800	0.0057	2.1746	0.1109	0.1934	0.0029	0.0590	0.0079	0.25	1139.5	15.5	1171.3	35.3	1197.5	150.3	2.7
09_Zrn-76	285.67	89.86	0.315	0.0828	0.0059	2.6187	0.1290	0.2252	0.0040	0.0658	0.0084	0.34	1309.0	20.9	1304.6	36.1	1258.5	140.0	-0.3
09_Zrn-77	441.51	118.42	0.268	0.0962	0.0068	3.4794	0.1693	0.2556	0.0037	0.0755	0.0095	0.20	1467.2	18.9	1521.8	38.1	1547.6	131.7	3.6

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Relaciones isotópicas						Edades Aparentes (Ma)						% Disc.	
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		±2σ
Rutilo/ esquistos pelíticos de Grt-Cld-Rt -Phe (MPS-02)																	
02_Rt-01	3.52	0.01	0.003	0.2601	0.0181	2.6256	0.3009	0.0725	0.0065	0.00	450.9	39.3	1297.2	80.9	3242.5	107.8	65.2
02_Rt-02	4.07	1.04	0.257	0.5244	0.0244	10.2135	1.2029	0.1410	0.0139	0.18	847.7	78.5	2420.9	118.5	4284.1	70.6	65.0
02_Rt-03	2.57	0.12	0.046	0.4367	0.0197	6.8486	0.6671	0.1115	0.0099	-0.24	680.3	57.4	2078.2	83.6	4045.0	70.2	67.3
02_Rt-04	7.05	1.34	0.190	0.7104	0.0212	47.4037	6.9589	0.4546	0.0608	0.66	2422.0	264.1	3824.8	154.8	4738.4	40.9	36.7
02_Rt-05	5.68	0.47	0.083	0.2940	0.0375	3.5905	0.6515	0.0851	0.0078	-0.22	526.3	46.5	1488.3	127.3	3354.9	185.5	64.6
02_Rt-06	3.07	0.50	0.163	0.3118	0.0247	3.8050	0.4274	0.0869	0.0081	-0.09	536.9	48.1	1590.3	84.4	3501.5	132.8	66.2
02_Rt-07	4.81	1.40	0.292	0.4895	0.0228	8.6199	0.8591	0.1249	0.0113	0.15	757.7	64.4	2303.2	82.9	4221.7	70.6	67.1
02_Rt-08	3.08	0.19	0.062	0.7366	0.0157	49.5233	6.9365	0.4474	0.0638	0.76	2313.5	298.1	3964.9	151.2	4804.6	29.7	41.6
02_Rt-09	2.56	0.43	0.168	0.6907	0.0269	24.9132	2.8105	0.2251	0.0249	-0.09	1297.6	133.8	3290.7	110.8	4674.5	47.9	60.6
02_Rt-10	4.28	0.08	0.019	0.4839	0.0206	7.6306	0.7784	0.1148	0.0103	0.56	699.7	59.5	2181.4	92.1	4194.1	62.4	67.9
02_Rt-11	3.13	0.07	0.021	0.4916	0.0277	8.3239	0.8941	0.1192	0.0110	0.23	724.7	63.2	2263.4	87.8	4196.7	80.8	68.0
02_Rt-12	2.61	0.26	0.099	0.6108	0.0211	19.7466	2.0430	0.2272	0.0215	0.21	1315.1	112.9	3053.9	99.5	4518.9	52.1	56.9
02_Rt-13	2.67	0.71	0.267	0.6047	0.0215	14.8621	1.6939	0.1712	0.0160	0.18	1027.5	94.2	2767.4	90.9	4507.0	52.9	62.9
02_Rt-14	3.03	0.01	0.003	0.2168	0.0248	1.7807	0.2270	0.0612	0.0061	0.31	382.3	37.3	1031.6	89.7	2903.7	181.5	62.9
02_Rt-15	3.27	0.13	0.040	0.6235	0.0243	19.1966	2.3218	0.2158	0.0222	0.41	1254.6	116.8	3014.3	116.9	4550.1	58.4	58.4
02_Rt-16	2.57	0.04	0.016	0.2831	0.0209	2.9972	0.3278	0.0748	0.0071	-0.17	464.7	42.3	1398.0	80.5	3365.8	136.4	66.8
02_Rt-17	4.00	0.74	0.184	0.4425	0.0281	6.5610	0.8476	0.1062	0.0102	0.15	650.0	59.4	2017.4	116.0	4064.9	95.0	67.8
02_Rt-18	3.46	0.09	0.025	0.5120	0.0168	12.0875	1.3437	0.1348	0.0181	0.15	805.6	105.0	2580.4	101.8	4280.2	47.6	68.8
02_Rt-19	3.32	0.30	0.090	0.6462	0.0204	25.9131	2.9105	0.2706	0.0264	0.47	1571.2	151.3	3307.2	103.3	4608.5	47.4	52.5
02_Rt-20	3.92	0.12	0.031	0.5581	0.0473	16.4392	2.2313	0.1569	0.0349	0.66	989.1	217.7	2885.2	138.6	4401.2	119.2	65.7
02_Rt-21	3.85	0.06	0.016	0.4924	0.0280	10.6568	1.4243	0.1469	0.0150	0.56	880.8	84.0	2451.2	129.1	4227.5	87.7	64.1
02_Rt-22	3.59	0.71	0.199	0.3867	0.0195	5.6654	0.5396	0.1054	0.0096	0.07	645.5	55.7	1925.4	88.9	3846.2	72.3	66.5
02_Rt-23	2.91	0.09	0.029	0.4359	0.0264	6.9466	0.9711	0.1143	0.0123	0.59	695.3	70.3	2092.4	118.5	4017.3	105.4	66.8
Rutilo/ esquistos pelíticos de Grt-Rt -Phe (MPS-05a)																	
05a_Rt-01	1.28	0.47	0.366	0.5401	0.0315	13.1058	1.6050	0.1606	0.0180	0.36	954.4	99.5	2670.3	115.6	4348.1	74.1	64.3
05a_Rt-03a	0.64	0.11	0.173	0.6209	0.0453	26.3991	3.3360	0.2957	0.0290	0.12	1677.1	150.5	3302.8	118.1	4495.9	93.3	49.2
05a_Rt-03b	0.92	0.43	0.465	0.7073	0.0360	43.6673	5.4646	0.4347	0.0492	0.52	2297.5	217.8	3811.6	117.0	4666.2	58.0	39.7
05a_Rt-05	0.74	0.01	0.018	0.5661	0.0345	13.9347	1.6653	0.1772	0.0189	0.12	1047.4	103.2	2725.0	105.8	4412.5	78.7	61.6
05a_Rt-07a	1.14	0.08	0.069	0.4464	0.0306	7.2750	0.8359	0.1109	0.0105	0.24	676.9	60.9	2132.9	113.2	4060.1	96.8	68.3
05a_Rt-07b	1.35	0.08	0.062	0.4080	0.0334	5.8416	0.7319	0.1006	0.0100	0.65	616.9	58.5	1934.9	109.1	3914.4	131.5	68.1

Punto	Relaciones isotópicas										Edades Aparentes (Ma)						% Disc.
	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	
05a_Rt-08	0.91	0.05	0.060	0.6279	0.0468	30.6056	3.0327	0.2978	0.0446	0.04	1653.4	232.1	3516.7	96.7	4497.3	103.9	53.0
05a_Rt-09	1.28	0.01	0.010	0.3926	0.0297	6.2572	0.6662	0.1087	0.0102	-0.06	663.9	59.3	2009.6	91.8	3854.8	109.4	67.0
05a_Rt-10a	1.49	0.00	0.003	0.2968	0.0387	3.5203	0.5139	0.0861	0.0091	0.23	531.7	54.0	1583.7	116.0	3405.5	225.5	66.4
05a_Rt-10b	1.76	0.03	0.017	0.4434	0.0257	7.7301	0.9635	0.1146	0.0124	0.42	705.3	67.5	2163.2	105.8	4050.8	89.5	67.4
05a_Rt-11	0.85	0.17	0.202	0.5903	0.0398	17.9559	2.1812	0.2117	0.0231	0.15	1229.2	121.9	2935.3	115.8	4411.7	71.3	58.1
05a_Rt-12	2.02	0.16	0.078	0.4528	0.0350	7.3795	0.8442	0.1227	0.0114	0.00	744.5	65.5	2125.0	83.7	4046.4	95.7	65.0
05a_Rt-13b	1.33	0.02	0.016	0.3103	0.0397	4.3196	0.7022	0.0946	0.0124	0.39	579.9	73.7	1633.4	148.1	3505.6	208.1	64.5
05a_Rt-14	1.21	0.29	0.242	0.5510	0.0302	13.1784	1.2951	0.1794	0.0160	-0.08	1061.7	87.3	2683.3	95.3	4358.5	79.7	60.4
05a_Rt-15	1.12	0.00	0.002	0.4897	0.0616	10.6312	1.7026	0.1581	0.0216	0.10	941.6	119.4	2470.1	143.8	4131.9	199.5	61.9
05a_Rt16	0.92	0.04	0.047	0.6356	0.0371	19.3222	2.3659	0.2317	0.0257	0.56	1348.7	129.0	3071.2	125.8	4487.9	82.2	56.1
Rutilo/ esquist pelítico de Grt-Rt-Phe-Ky? (MPS-06b)																	
06b_Rt-01	0.87	1.04	1.189	0.6090	0.0540	17.1000	1.5000	0.2000	0.0170	0.44	1172.0	91.0	2908.0	85.0	4490.0	140.0	59.7
06b_Rt-02	1.88	1.33	0.707	0.5070	0.0340	10.1000	0.7200	0.1418	0.0096	0.35	853.0	54.0	2442.0	66.0	4240.0	94.0	65.1
06b_Rt-03	1.18	0.05	0.042	0.7590	0.0360	83.2000	6.1000	0.7880	0.0490	0.71	3730.0	180.0	4515.0	67.0	4870.0	83.0	17.4
06b_Rt-04	1.12	0.51	0.460	0.7450	0.0510	35.9000	3.6000	0.3440	0.0290	0.61	1890.0	140.0	3616.0	93.0	4830.0	120.0	47.7
06b_Rt-05	1.45	7.30	5.034	0.7630	0.0410	99.3000	8.8000	0.9330	0.0790	0.78	4220.0	260.0	4659.0	87.0	4877.0	94.0	9.4
06b_Rt-06	1.61	1.04	0.644	0.5160	0.0440	10.2100	0.9100	0.1400	0.0120	0.35	841.0	67.0	2443.0	83.0	4240.0	130.0	65.6
06b_Rt-07a	1.31	0.94	0.715	0.7590	0.0280	86.0000	11.0000	0.8160	0.1000	0.97	3700.0	370.0	4420.0	140.0	4869.0	64.0	16.3
06b_Rt-07b	1.52	1.38	0.908	0.7250	0.0320	56.1000	5.2000	0.5430	0.0490	0.90	2800.0	200.0	4077.0	94.0	4790.0	75.0	31.3
06b_Rt-08a	0.99	0.56	0.564	0.4740	0.0500	8.3100	0.9900	0.1260	0.0130	0.51	759.0	74.0	2208.0	110.0	4110.0	170.0	65.6
06b_Rt-08b	0.85	2.55	2.996	0.6870	0.0490	30.2000	4.8000	0.3070	0.0390	0.87	1700.0	190.0	3390.0	150.0	4690.0	120.0	49.9
06b_Rt-09a	1.54	0.52	0.339	0.4790	0.0400	7.3000	0.6600	0.1110	0.0082	0.38	678.0	47.0	2178.0	82.0	4160.0	130.0	68.9
06b_Rt-09b	1.53	1.37	0.896	0.5050	0.0510	8.0700	0.8600	0.1113	0.0077	0.17	679.0	44.0	2236.0	99.0	4180.0	150.0	69.6
06b_Rt-10	0.71	0.31	0.431	0.7900	0.0370	98.2000	9.2000	0.9140	0.0940	0.93	4120.0	310.0	4651.0	97.0	4939.0	83.0	11.4
06b_Rt-11	2.72	4.16	1.529	0.5340	0.0260	12.9800	0.7600	0.1765	0.0100	0.44	1047.0	57.0	2676.0	56.0	4329.0	73.0	60.9
06b_Rt-12a	1.75	3.36	1.917	0.6860	0.0280	48.5000	3.6000	0.5030	0.0330	0.80	2620.0	140.0	3940.0	76.0	4703.0	65.0	33.5
06b_Rt-12b	1.23	1.54	1.252	0.7460	0.0560	52.6000	5.1000	0.5020	0.0500	0.76	2610.0	210.0	4024.0	100.0	4840.0	130.0	35.1
06b_Rt-13	0.81	0.87	1.074	0.6920	0.0570	27.7000	2.6000	0.2800	0.0240	0.58	1590.0	120.0	3395.0	110.0	4710.0	140.0	53.2
06b_Rt-14	0.97	1.28	1.320	0.7090	0.0520	26.3000	3.2000	0.2580	0.0310	0.82	1470.0	160.0	3340.0	120.0	4750.0	120.0	56.0
06b_Rt-15	1.87	1.99	1.062	0.7160	0.0410	40.1000	2.6000	0.4050	0.0260	0.41	2200.0	110.0	3761.0	66.0	4767.0	95.0	41.5
06b_Rt-16	1.31	0.63	0.484	0.5650	0.0400	15.2400	1.1000	0.1920	0.0180	0.46	1126.0	99.0	2820.0	73.0	4420.0	110.0	60.1
Rutilo/ esquist pelítico de Grt-Rt -Phe (MPS-09)																	
09_Rt-01	15.08	0.28	0.018	0.3902	0.0153	7.5710	0.8797	0.1365	0.0128	0.59	832.6	78.3	2158.2	103.3	3871.2	56.2	61.4
09_Rt-02	11.07	0.35	0.031	0.5367	0.0213	14.0428	1.3908	0.1885	0.0169	-0.14	1112.2	92.3	2756.6	101.0	4337.8	57.9	59.7
09_Rt-03	11.06	0.23	0.020	0.1396	0.0069	1.3006	0.1363	0.0689	0.0058	-0.43	429.4	34.9	838.1	59.2	2195.7	89.5	48.8
09_Rt-04	20.16	0.66	0.033	0.1696	0.0185	1.9599	0.2588	0.0835	0.0071	0.06	516.6	42.3	1099.3	81.8	2573.3	173.5	53.0
09_Rt-05	8.02	0.03	0.004	0.4550	0.0166	6.3724	0.6274	0.1053	0.0094	-0.14	644.8	54.4	2018.9	82.5	4109.7	53.4	68.1
09_Rt-06	44.97	0.65	0.014	0.0822	0.0036	0.7223	0.0684	0.0658	0.0053	-0.35	410.8	32.2	549.5	40.5	1241.3	80.5	25.2
09_Rt-07	5.10	0.03	0.006	0.2132	0.0143	2.5457	0.2629	0.0848	0.0073	0.07	524.3	43.6	1288.6	75.9	2916.6	120.9	59.3
09_Rt-08	2.82	0.24	0.084	0.6451	0.0203	26.0975	2.9159	0.2903	0.0297	0.39	1632.5	146.3	3324.1	110.4	4607.8	44.5	50.9
09_Rt-10	8.52	0.06	0.007	0.2905	0.0103	4.0725	0.3989	0.0941	0.0083	0.14	579.4	48.7	1646.2	74.7	3417.0	59.1	64.8
09_Rt-11	38.91	0.02	0.000	0.1852	0.0121	1.8871	0.2033	0.0702	0.0062	-0.21	437.2	37.3	1072.2	67.4	2683.6	108.3	59.2

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Relaciones isotópicas							Edades Aparentes (Ma)						% Disc.	
			Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		±2σ
09_Rt-12	19.63	0.00	0.000	0.0709	0.0030	0.7019	0.0659	0.0655	0.0054	-0.36	408.7	32.5	540.4	37.7	969.1	81.0	24.4
09_Rt-13	24.84	22.38	0.901	0.0899	0.0069	0.7464	0.0837	0.0574	0.0048	0.29	359.7	29.2	561.7	47.9	1444.5	146.4	36.0
09_Rt-14	16.03	0.00	0.000	0.2161	0.0179	2.5558	0.3540	0.0659	0.0084	-0.32	414.2	50.0	1232.3	99.7	2876.7	143.9	66.4
09_Rt-15	15.61	0.00	0.000	0.1000	0.0057	0.9331	0.0926	0.0656	0.0055	0.13	409.5	33.2	670.1	52.9	1606.4	110.8	38.9
09_Rt-16	23.96	0.39	0.016	0.2314	0.0091	2.6277	0.2548	0.0816	0.0068	-0.32	505.3	40.3	1299.8	71.3	3073.5	61.4	61.1
09_Rt-17	77.34	1.63	0.021	0.0930	0.0051	0.8044	0.0940	0.0614	0.0051	0.67	384.2	31.2	593.4	50.4	1454.0	102.0	35.2
09_Rt-18	17.96	0.11	0.006	0.4073	0.0182	7.3163	0.7970	0.1281	0.0108	0.31	776.2	61.6	2122.1	98.2	3929.6	65.4	63.4
09_Rt-19	30.39	0.02	0.001	0.0854	0.0046	0.7569	0.0826	0.0629	0.0052	-0.65	392.9	31.6	565.8	45.1	1353.8	114.7	30.6
09_Rt-20	3.44	3.81	1.107	0.3741	0.0374	5.9507	1.0149	0.1145	0.0141	0.76	694.7	80.3	1889.0	139.4	3733.4	144.4	63.2
09_Rt-21	9.53	0.28	0.029	0.1140	0.0073	1.0667	0.1234	0.0660	0.0057	0.62	412.0	34.7	736.9	57.4	1845.7	112.0	44.1
Rutilo/ esquistos pelíticos de Grt-Rt -Phe (MPS-15)																	
15_Rt-01	52.28	0.04	0.001	0.0523	0.0022	0.4509	0.0598	0.0594	0.0053	-0.72	372.0	31.7	376.4	37.5	393.4	69.4	1.2
15_Rt-02	83.97	0.00	0.000	0.0500	0.0017	0.3919	0.0460	0.0542	0.0046	-0.68	340.1	28.3	334.9	30.6	342.1	57.0	-1.5
15_Rt-03	58.67	0.00	0.000	0.0533	0.0016	0.4692	0.0483	0.0631	0.0051	0.17	394.6	31.0	391.7	33.2	394.5	58.3	-0.7
15_Rt-04	59.47	0.10	0.002	0.0522	0.0024	0.3924	0.0506	0.0553	0.0045	-0.79	347.1	27.6	335.0	32.4	448.7	74.1	-3.6
15_Rt-06	60.24	0.01	0.000	0.0533	0.0021	0.4074	0.0446	0.0558	0.0045	-0.15	350.2	27.2	346.1	29.7	455.2	65.8	-1.2
15_Rt-07	77.44	0.29	0.004	0.0514	0.0014	0.3708	0.0410	0.0534	0.0043	-0.25	335.3	26.5	319.2	27.1	322.6	50.0	-5.1
15_Rt-08	55.18	0.01	0.000	0.0531	0.0023	0.4007	0.0433	0.0557	0.0045	-0.37	349.1	27.5	341.1	29.9	445.9	82.1	-2.3
15_Rt-10	50.67	0.61	0.012	0.0460	0.0037	0.3314	0.0634	0.0513	0.0045	-0.71	322.7	27.7	292.2	38.5	553.2	89.6	-10.4
15_Rt-11	54.29	0.03	0.000	0.0528	0.0021	0.3870	0.0403	0.0523	0.0043	-0.11	328.6	26.5	331.3	28.6	365.1	77.8	0.8
15_Rt-12	69.08	0.13	0.002	0.0466	0.0020	0.3596	0.0490	0.0546	0.0045	-0.75	342.8	27.7	312.8	32.3	292.7	62.0	-9.6
15_Rt-13	86.73	0.04	0.000	0.0523	0.0014	0.4116	0.0409	0.0565	0.0045	-0.36	354.0	27.6	349.3	28.3	365.3	58.4	-1.4
15_Rt-14	46.71	0.15	0.003	0.0520	0.0024	0.4049	0.0566	0.0570	0.0051	0.02	357.0	30.7	346.3	35.7	457.4	66.9	-3.1
15_Rt-15	49.10	0.15	0.003	0.0500	0.0027	0.3885	0.0523	0.0575	0.0050	-0.42	360.5	30.1	331.2	33.8	465.2	83.7	-8.9
15_Rt-16	70.43	0.00	0.000	0.0533	0.0020	0.4224	0.0506	0.0588	0.0050	-0.38	368.2	30.3	356.9	31.3	385.4	60.8	-3.2
15_Rt-17	39.27	0.01	0.000	0.0493	0.0038	0.3619	0.0495	0.0538	0.0047	-0.20	337.9	28.8	311.1	33.7	496.4	120.8	-8.6
15_Rt-19	65.80	0.01	0.000	0.0508	0.0020	0.3465	0.0425	0.0502	0.0042	-0.15	315.5	25.6	301.0	28.2	369.7	62.8	-4.8
15_Rt-21	81.96	0.30	0.004	0.0520	0.0018	0.3477	0.0377	0.0481	0.0039	-0.50	303.0	24.0	305.6	27.2	359.1	59.4	0.9
15_Rt-22	52.69	0.01	0.000	0.0518	0.0023	0.3902	0.0508	0.0553	0.0045	-0.75	346.7	27.5	333.0	33.3	441.8	74.5	-4.1
15_Rt-23	51.48	0.04	0.001	0.0501	0.0035	0.3840	0.0550	0.0553	0.0047	-0.64	346.6	28.4	328.3	35.5	432.9	114.8	-5.6
15_Rt-24	65.78	0.07	0.001	0.0520	0.0021	0.4430	0.0562	0.0604	0.0053	-0.44	379.4	32.2	370.7	35.5	441.6	65.2	-2.3
15_Rt-25	54.49	0.02	0.000	0.0514	0.0022	0.5090	0.0587	0.0695	0.0061	-0.53	433.0	36.5	418.8	36.0	362.7	69.5	-3.4
15_Rt-26	74.25	0.14	0.002	0.0523	0.0023	0.4591	0.0582	0.0614	0.0055	-0.40	383.8	33.3	382.4	35.8	411.1	68.4	-0.4
15_Rt-27	49.34	0.00	0.000	0.0520	0.0023	0.5393	0.0647	0.0693	0.0060	-0.38	431.6	36.2	435.4	39.7	424.5	83.6	0.9
15_Rt-28	63.37	0.06	0.001	0.0507	0.0024	0.4673	0.0625	0.0642	0.0056	-0.39	401.3	33.7	386.8	36.2	398.0	89.9	-3.7
15_Rt-29	52.66	0.02	0.000	0.0511	0.0024	0.4765	0.0649	0.0651	0.0057	-0.10	406.2	34.0	393.9	36.3	358.5	77.4	-3.1
15_Rt-30	48.81	0.01	0.000	0.0507	0.0020	0.4487	0.0512	0.0614	0.0053	-0.11	384.1	31.8	375.3	33.7	402.6	78.5	-2.4
Rutilo/ esquistos pelíticos de Grt-Rt -Phe (MPS-15)																	
17a_Rt-01	115.24	0.09	0.001	0.0514	0.0045	0.4033	0.1915	0.0549	0.0123	-0.88	344.8	76.1	342.9	96.7	392.5	123.7	-0.6
17a_Rt-02	153.95	0.07	0.000	0.0536	0.0011	0.4855	0.0515	0.0636	0.0052	-0.55	397.4	31.5	401.1	33.1	374.8	37.2	0.9
17a_Rt-03	126.39	0.01	0.000	0.0535	0.0012	0.4773	0.0466	0.0630	0.0050	-0.52	393.5	30.3	395.4	30.9	359.8	47.5	0.5
17a_Rt-04	142.40	0.05	0.000	0.0540	0.0018	0.3721	0.0388	0.0510	0.0042	-0.45	320.5	25.6	320.6	27.4	398.4	55.8	0.0

Punto	U (ppm)	Th (ppm)	Relaciones isotópicas						Edades Aparentes (Ma)						% Disc.		
			Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ
17a_Rt-05	153.59	0.00	0.000	0.0532	0.0012	0.3837	0.0356	0.0539	0.0043	-0.34	338.5	26.5	330.8	25.4	348.1	43.2	-2.3
17a_Rt-06	156.45	0.03	0.000	0.0531	0.0012	0.3690	0.0360	0.0527	0.0042	-0.49	331.2	25.6	321.0	25.8	335.7	41.8	-3.2
17a_Rt-07	217.98	5.46	0.025	0.0507	0.0010	0.3729	0.0411	0.0557	0.0046	-0.44	349.5	28.3	321.4	28.6	291.9	35.3	-8.7
17a_Rt-08	115.89	0.62	0.005	0.0532	0.0014	0.3353	0.0359	0.0481	0.0040	-0.46	302.6	24.5	293.0	26.2	386.3	49.5	-3.3
17a_Rt-09	153.21	0.00	0.000	0.0534	0.0010	0.3922	0.0367	0.0565	0.0045	-0.46	354.0	27.4	336.8	26.3	354.3	38.7	-5.1
17a_Rt-10	154.55	0.10	0.001	0.0502	0.0017	0.3106	0.0772	0.0472	0.0095	-0.88	297.0	59.4	274.4	49.2	247.4	55.8	-8.3
17a_Rt-11	141.51	0.07	0.001	0.0516	0.0016	0.3752	0.0426	0.0552	0.0047	-0.54	346.2	28.4	322.9	29.0	321.3	52.9	-7.2
17a_Rt-12	139.75	1.78	0.013	0.0525	0.0013	0.3716	0.0430	0.0542	0.0044	-0.72	340.2	26.8	321.7	29.1	346.4	39.0	-5.8
17a_Rt-13	173.62	1.37	0.008	0.0517	0.0011	0.3867	0.0416	0.0561	0.0046	-0.68	351.9	27.9	332.7	28.6	315.1	39.1	-5.8
17a_Rt-14	160.59	0.01	0.000	0.0529	0.0011	0.4568	0.0442	0.0600	0.0050	-0.81	375.8	30.1	381.4	30.2	338.6	42.2	1.5
17a_Rt-15	129.17	0.01	0.000	0.0538	0.0012	0.5192	0.0506	0.0671	0.0053	-0.65	418.4	32.3	425.4	32.5	359.6	42.3	1.6
17a_Rt-16	149.75	0.50	0.003	0.0533	0.0014	0.4880	0.0486	0.0632	0.0050	-0.53	394.7	30.6	402.8	31.7	365.9	52.6	2.0
17a_Rt-17	102.68	0.04	0.000	0.0517	0.0020	0.4379	0.0513	0.0580	0.0047	-0.56	363.1	28.6	367.9	33.0	352.3	61.3	1.3
17a_Rt-18	138.94	0.07	0.001	0.0522	0.0012	0.4835	0.0486	0.0629	0.0050	-0.61	393.0	30.5	399.8	31.8	320.6	45.6	1.7
17a_Rt-19	154.75	0.01	0.000	0.0532	0.0012	0.4964	0.0501	0.0630	0.0050	-0.40	393.6	30.3	410.2	32.2	366.1	42.8	4.0
17a_Rt-20	129.43	1.47	0.011	0.0457	0.0016	0.4381	0.0508	0.0616	0.0052	-0.06	385.4	31.3	348.8	31.7	408.0	57.1	-10.5
17a_Rt-21	149.09	0.00	0.000	0.0507	0.0015	0.4373	0.0484	0.0599	0.0048	-0.51	374.7	29.4	369.3	31.5	348.9	56.3	-1.5

Anexo 3. Química de elementos traza de circones y rutilos
 Concentraciones de elementos están dadas en partes por millón (ppm)

a = núcleo, b = borde

Circón

	P	Sc	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U	
MPS-08																							
08_Zrn-01a	378.8	70.8	6.6	1878.7	4.7	0.0	10.9	0.2	3.3	6.0	0.2	36.2	13.4	168.1	63.4	298.8	478.6	94.0	9575.4	119.2	166.7	525.7	
08_Zrn-01b	418.1	141.4	4.0	1154.6	5.1	0.1	7.1	0.1	2.1	3.7	0.3	20.2	7.6	103.0	39.1	192.6	369.1	77.6	10459.2	92.0	68.1	474.5	
08_Zrn-02a	605.7	117.6	13.0	576.3	0.7	0.0	2.7	0.0	0.8	2.1	0.4	11.5	4.0	51.8	18.6	90.7	156.2	30.2	9249.0	40.2	59.8	156.8	
08_Zrn-02b	346.1	137.9	11.6	746.5	0.8	0.0	2.9	0.1	1.1	2.4	0.5	15.8	5.4	67.4	24.4	115.6	200.5	39.4	9140.8	41.4	87.5	199.5	
08_Zrn-03	423.7	117.7	12.0	886.4	2.0	0.0	4.3	0.0	0.8	2.2	0.1	14.5	5.2	69.9	27.4	139.8	262.1	53.0	10542.4	75.2	99.5	340.9	
08_Zrn-04	503.8	67.3	6.5	1113.5	7.4	1.4	19.5	0.6	4.4	5.2	0.1	27.8	9.1	106.6	39.4	180.4	295.3	57.8	10332.7	55.5	95.8	259.5	
08_Zrn-05a	1843.7	113.4	9.5	732.4	1.7	10.5	51.3	5.5	29.9	11.0	1.9	30.9	7.9	79.6	24.7	105.4	169.0	32.5	8972.8	20.3	62.5	87.4	
08_Zrn-05b	480.7	114.9	4.3	591.6	3.0	0.0	13.0	0.1	0.8	2.1	0.4	11.1	3.8	51.5	19.1	92.5	188.8	39.1	9974.5	31.4	95.9	206.9	
08_Zrn-06	628.4	96.2	6.2	1618.6	4.4	0.0	26.7	0.0	1.2	3.4	1.0	23.0	9.4	131.7	51.9	268.0	549.5	115.2	10471.9	72.7	135.4	330.3	
08_Zrn-07a	670.1	108.2	590.2	1789.0	14.2	2.2	19.9	0.9	6.5	6.2	0.8	37.9	12.7	157.6	59.1	290.7	552.8	116.2	9765.0	217.9	454.4	1218.7	
08_Zrn-07b	206.1	156.3	8.4	652.1	3.7	0.1	5.0	0.1	0.7	1.6	0.3	9.1	3.7	52.8	19.8	107.3	268.2	61.5	12775.9	126.5	67.4	836.5	
08_Zrn-08	1004.6	160.3	3.9	2193.3	1.5	0.0	2.3	0.2	3.3	9.1	0.3	49.0	16.4	201.0	73.6	342.0	570.0	110.9	10421.2	47.3	102.5	260.8	
08_Zrn-09	140.8	65.8	42.0	3085.9	35.5	0.1	18.7	0.2	1.8	3.7	0.3	27.0	11.9	192.0	87.2	517.5	1215.6	254.5	18340.8	330.3	368.2	1594.9	
08_Zrn-10a	130.6	82.2	6.7	929.9	2.3	0.0	6.1	0.1	1.9	4.9	0.2	23.8	7.6	89.1	31.3	141.5	226.5	44.5	10347.7	20.1	45.5	131.4	
08_Zrn-10b	159.4	77.0	4.0	461.4	3.1	0.0	5.7	0.0	0.6	1.6	0.1	9.5	3.2	42.0	15.8	75.3	138.7	28.9	10971.4	21.0	29.8	131.0	
08_Zrn-11a	263.7	80.0	7.7	578.2	3.3	0.0	6.0	0.0	0.5	1.4	0.1	9.6	3.5	48.5	18.9	94.3	185.1	37.0	10486.2	33.3	51.0	169.3	
08_Zrn-73	292.3	105.7	495.3	1297.7	5.7	0.3	37.4	0.3	3.5	6.5	1.9	32.7	9.9	114.9	41.1	196.1	373.0	78.4	8438.9	181.6	373.7	730.2	
08_Zrn-12a	562.5	182.8	37.0	556.3	1.7	0.0	6.7	0.1	1.2	2.7	0.8	14.9	4.9	54.6	19.2	85.1	150.9	29.2	9747.9	5.0	11.4	28.8	
08_Zrn-12b	786.9	324.3	41.4	1584.6	13.5	0.0	1.4	0.1	0.5	1.8	0.3	12.8	6.0	110.1	52.4	324.8	808.0	176.0	12128.9	16.9	250.7	336.3	
08_Zrn-13	39.3	78.0	2.7	818.7	5.8	0.0	12.9	0.0	0.6	2.4	0.1	15.1	5.4	70.3	27.1	136.5	251.8	48.9	11719.7	79.2	105.3	417.9	
08_Zrn-14a	256.9	97.0	15.1	405.9	2.7	0.0	11.7	0.0	0.5	0.7	0.3	5.8	2.0	27.3	12.1	68.5	177.4	41.0	12078.7	36.0	101.0	217.3	
08_Zrn-14b	1508.1	481.1	5.1	1809.3	2.6	0.0	4.7	0.0	0.2	1.8	0.3	15.3	8.3	132.9	59.4	322.5	703.6	146.7	13615.1	17.1	26.8	211.7	
08_Zrn-14b_2	577.0	692.5	5.9	2394.2	9.0	0.5	6.5	0.5	3.1	2.6	1.2	11.5	6.8	129.0	69.2	426.2	999.4	222.1	13167.8	16.6	86.3	1828.0	
08_Zrn-15	534.7	106.0	14.2	903.8	2.4	0.0	6.1	0.1	1.7	3.8	0.4	21.3	6.9	87.2	30.9	139.4	235.3	45.8	10130.4	11.6	34.4	82.9	
08_Zrn-72	278.8	94.2	4.2	1418.8	3.1	0.0	7.1	0.2	4.3	6.5	0.5	35.0	11.4	136.3	47.5	220.8	367.4	70.8	10004.6	46.2	94.5	227.3	
08_Zrn-16a	806.5	141.5	6.1	1530.5	2.9	0.0	5.5	0.0	1.5	5.0	0.1	30.7	10.6	137.8	51.3	245.2	423.3	84.4	11427.0	38.7	94.8	179.2	
08_Zrn-16b	906.6	154.6	10.4	1833.4	2.0	0.0	3.1	0.1	2.3	5.9	0.2	34.3	12.6	160.8	60.2	286.4	488.9	95.7	10555.3	39.0	65.7	185.1	
08_Zrn-17a	-142.7	89.2	65.2	691.4	8.5	0.2	23.8	0.1	0.7	1.1	0.3	6.9	2.8	42.2	19.4	122.2	359.4	92.1	13577.9	129.2	205.6	828.0	
08_Zrn-17b	443.9	75.2	8.1	631.4	8.3	0.0	26.0	0.0	0.6	1.1	0.2	6.6	2.7	41.0	17.6	104.1	284.9	67.2	14326.7	113.4	131.0	445.0	
08_Zrn-18	1216.3	307.5	2.3	1042.9	1.3	0.0	1.8	0.0	0.2	0.6	0.1	8.9	4.1	75.6	34.1	201.5	542.3	117.7	12723.5	32.4	15.5	265.4	
08_Zrn-19	395.5	86.2	9.3	965.6	4.9	0.0	34.7	0.0	0.6	2.2	0.4	13.5	5.6	74.9	30.4	160.5	356.8	77.8	12834.6	69.3	126.4	289.1	
08_Zrn-20a	148.2	111.9	14.3	698.8	3.9	0.0	6.5	0.1	1.0	2.5	0.5	14.6	5.2	65.3	23.7	110.4	207.7	41.6	10869.5	8.9	53.2	66.1	
08_Zrn-20b	131.4	112.8	9.7	495.9	2.4	0.0	5.5	0.0	0.5	1.3	0.2	8.8	3.3	43.3	16.4	83.1	176.7	35.9	11180.6	12.8	17.0	110.4	

08_Zrn-21a	970.4	122.2	11.1	2793.5	13.3	0.0	78.3	0.3	5.1	9.5	1.3	48.5	18.0	232.0	89.5	459.0	899.2	182.5	12414.3	137.0	515.3	618.0
08_Zrn-21b	447.3	83.4	3.1	757.9	9.0	0.0	42.0	0.1	0.5	0.9	0.2	5.7	3.1	48.5	22.3	135.3	358.1	83.9	14547.4	67.1	103.8	285.4
08_Zrn-22	483.1	63.4	7.2	483.1	3.6	0.4	7.4	0.1	0.8	0.9	0.2	6.9	2.7	37.3	13.8	71.6	155.5	34.0	10910.3	181.9	67.8	782.5
08_Zrn-23a	1001.4	152.0	6.0	954.0	2.9	0.0	4.9	0.1	1.3	3.7	0.4	19.0	6.4	82.9	31.7	150.3	302.4	61.6	8789.8	21.4	56.8	117.0
08_Zrn-23b	605.9	93.3	5.9	654.1	3.4	0.0	6.1	0.0	0.4	1.8	0.2	9.3	4.2	53.1	21.4	108.1	208.4	42.8	11078.1	50.7	79.4	297.1
08_Zrn-24a	142.1	71.2	11.5	1091.3	3.3	0.0	6.3	0.0	1.6	3.9	0.5	23.8	7.9	100.7	37.8	171.8	293.7	57.2	8790.4	31.1	57.8	128.8
08_Zrn-24b	1156.5	415.1	2.3	975.1	1.9	0.0	0.9	0.0	0.2	0.8	0.3	7.9	4.3	73.7	31.5	191.0	547.2	124.6	13967.8	19.1	30.6	261.2
08_Zrn-25a	417.0	88.9	5.9	685.6	6.0	0.0	4.5	0.0	0.3	1.0	0.1	6.8	3.4	47.6	21.3	119.0	263.0	54.7	13514.0	90.6	89.0	694.8
08_Zrn-25b	598.6	344.2	41.9	1528.0	8.1	1.2	18.6	1.3	8.1	6.2	2.0	17.2	6.3	81.0	40.5	309.2	1133.5	290.4	13846.2	21.1	375.8	461.3
08_Zrn-27a	685.3	126.6	7.0	1793.0	5.3	0.6	28.9	0.6	8.3	20.3	8.6	94.9	24.6	211.2	57.9	250.0	475.5	98.1	10125.9	37.6	150.7	351.5
08_Zrn-27b	-186.0	231.1	4.3	975.9	6.7	1.7	9.6	0.5	2.1	0.8	0.2	4.4	2.1	41.5	26.3	216.9	787.8	203.6	11941.2	43.9	128.6	522.6
08_Zrn-28a	953.8	116.7	4.7	1556.0	3.1	0.0	32.6	0.1	2.5	4.8	1.0	28.5	10.1	131.0	50.3	249.7	505.0	104.8	10606.8	55.0	130.6	236.6
08_Zrn-28b	1144.8	194.4	6.2	719.7	2.5	0.1	8.6	0.0	0.3	0.9	0.3	6.5	2.9	49.5	21.5	123.2	336.2	74.5	12274.0	9.7	34.7	181.4
08_Zrn-29a	973.2	317.1	6.6	866.0	1.5	0.0	6.0	0.0	0.9	1.9	0.5	12.4	4.8	70.5	29.2	157.0	340.2	72.7	11751.6	9.5	36.5	137.1
08_Zrn-29b	1135.1	459.1	9.4	2287.9	3.8	0.0	27.6	0.2	2.1	7.2	3.2	50.2	16.9	208.7	79.0	393.3	664.1	134.5	8697.8	25.4	230.2	273.7
08_Zrn-30	444.1	78.2	9.9	510.4	4.7	0.0	89.2	0.0	0.2	0.9	0.2	6.2	2.2	33.6	14.7	87.9	235.1	50.5	11857.4	98.2	305.2	626.3
08_Zrn-31a	2362.2	416.6	18.4	2901.8	9.8	0.2	17.0	0.7	8.0	11.9	2.4	70.3	22.3	280.5	97.5	444.5	755.3	152.3	9400.6	19.3	210.9	231.7
08_Zrn-31b	1750.6	501.0	23.6	3471.9	8.8	0.6	10.4	0.6	5.9	9.0	2.7	49.1	17.0	224.7	101.8	679.9	1876.0	439.0	12063.8	58.3	156.9	1387.3
08_Zrn-32	900.2	163.0	17.0	1224.6	2.8	0.0	2.5	0.0	0.6	2.5	0.1	15.8	6.6	96.2	39.0	202.6	424.6	87.2	13165.4	66.2	72.2	552.1
08_Zrn-33a	2845.1	120.5	20.7	897.8	1.6	2.8	18.6	1.6	11.6	7.4	0.7	26.4	7.5	85.8	29.5	138.4	225.7	44.7	9668.4	26.8	58.6	102.4
08_Zrn-33b	-25.5	153.5	16.6	1187.8	1.4	0.0	7.5	0.1	1.9	3.5	0.4	21.7	8.1	100.4	39.2	182.2	331.3	69.4	11311.9	31.3	53.0	101.8
08_Zrn-34	505.5	72.0	9.7	585.5	3.8	0.0	7.3	0.0	0.4	2.0	0.0	11.3	3.7	47.7	19.1	97.9	190.3	39.5	11090.2	46.9	47.6	182.6
08_Zrn-35	337.3	130.4	6.4	1308.4	1.2	0.0	3.1	0.2	2.5	6.1	0.5	34.5	10.4	124.4	44.2	196.5	316.9	62.9	10450.3	28.8	60.9	164.3
08_Zrn-36a	575.5	559.3	14.4	1998.0	9.0	0.3	3.1	0.3	0.9	1.0	0.7	6.0	3.3	74.5	51.3	485.6	2071.4	535.7	12104.0	34.1	146.0	839.7
08_Zrn-36b	493.5	74.7	8.6	512.0	2.9	0.0	5.1	0.0	0.9	1.0	0.1	8.2	3.3	42.2	16.8	82.5	155.4	32.0	10387.0	29.1	26.7	112.4
08_Zrn-37a	557.9	104.3	8.6	886.1	2.7	0.0	8.4	0.0	0.8	2.3	0.2	15.4	6.3	77.5	28.9	137.8	242.3	48.1	11137.8	101.5	150.8	424.7
08_Zrn-37b	1353.8	231.4	4.7	1193.7	1.9	0.0	5.4	0.0	0.8	2.1	0.3	18.3	7.3	105.5	39.5	188.2	380.5	77.0	12944.7	41.2	103.6	332.0
08_Zrn-38	600.1	75.6	4.1	446.7	2.3	0.0	4.8	0.0	0.5	1.2	0.1	7.0	2.7	37.0	14.6	73.1	146.8	29.9	10919.4	28.8	39.2	151.9
08_Zrn-39a	742.7	87.0	10.8	929.1	2.0	0.0	6.5	0.1	1.4	3.5	0.3	19.1	6.7	82.0	30.9	150.5	267.3	54.5	9668.6	32.3	46.2	151.7
08_Zrn-39b	549.0	95.0	11.1	819.8	1.6	0.0	5.2	0.1	1.3	3.3	0.4	17.0	5.9	71.6	26.6	129.1	232.6	47.3	9361.7	21.6	33.7	122.9
08_Zrn-40a	795.2	190.1	5.4	1004.1	3.0	0.0	16.1	0.0	0.7	2.5	0.6	15.6	6.1	80.4	32.2	169.3	353.8	76.5	11977.8	14.3	122.9	173.3
08_Zrn-40b	685.3	281.3	3.5	1169.8	5.0	0.0	5.0	0.1	0.7	1.7	0.5	12.1	5.5	81.8	35.2	198.4	479.4	113.9	12580.0	22.2	124.2	449.9
08_Zrn-41	1032.8	82.3	11.1	429.5	1.2	0.0	3.2	0.0	0.8	1.6	0.1	10.0	3.2	40.8	14.7	68.6	114.3	23.7	9520.1	11.1	15.1	53.5
08_Zrn-42a	913.7	100.2	5.7	1390.1	7.7	0.0	11.8	0.1	1.5	4.2	0.2	29.1	9.7	125.3	49.5	227.3	383.6	77.1	10962.1	49.2	112.5	248.3
08_Zrn-42b	518.8	128.5	3.7	655.9	1.9	0.0	11.6	0.0	0.4	1.4	0.3	9.0	3.5	49.3	20.3	110.4	257.8	59.5	12994.0	18.1	95.6	225.7
08_Zrn-43	883.1	212.4	11.0	737.4	2.6	0.2	12.7	0.4	4.3	6.9	0.9	26.3	6.9	69.9	23.6	108.3	185.4	39.1	9859.1	74.8	163.1	404.4
08_Zrn-44	1309.6	337.2	6.2	1240.8	1.9	0.6	15.6	0.7	4.9	6.0	2.2	25.7	9.2	110.0	40.3	196.0	438.2	96.4	12453.3	73.2	116.9	622.1
08_Zrn-45	782.9	102.5	26.8	599.1	2.8	0.0	6.2	0.0	0.6	1.6	0.4	11.3	4.5	53.5	20.1	97.1	195.9	39.5	11958.8	22.0	63.0	183.7
08_Zrn-46a	171.7	87.0	13.0	889.4	2.1	0.0	4.2	0.1	2.6	5.1	0.5	25.4	7.6	86.8	30.5	136.5	215.0	41.9	10539.9	15.9	40.7	77.2
08_Zrn-46b	344.5	243.7	3.5	729.8	2.3	0.3	4.6	0.3	2.4	2.5	1.1	10.5	4.0	53.2	21.1	118.0	282.6	64.9	12468.9	19.4	41.0	343.3
08_Zrn-47	1007.6	97.8	8.3	1878.1	4.0	0.1	39.1	0.3	4.5	8.8	2.4	45.2	14.8	178.1	63.6	294.8	506.2	99.8	10101.8	21.1	72.8	91.6
08_Zrn-48	605.8	91.4	12.9	1271.7	2.2	0.0	7.3	0.1	1.6	4.0	0.3	24.3	8.4	106.1	41.2	200.0	354.5	72.8	10082.3	71.0	107.0	376.6
08_Zrn-49	663.0	84.5	6.4	884.3	3.9	0.0	8.6	0.1	1.4	3.2	0.2	17.8	6.5	81.8	29.3	138.2	231.7	46.5	9329.4	48.9	83.1	229.7
08_Zrn-50	981.9	105.6	29.7	1265.2	2.4	0.1	13.8	0.3	5.1	8.2	2.0	35.2	11.1	123.1	42.7	195.5	331.3	66.5	8856.5	23.4	52.0	79.6
08_Zrn-51	3465.4	263.2	6.1	2747.0	3.2	0.0	12.7	0.1	2.7	6.0	0.7	43.3	17.8	243.7	92.0	473.0	857.3	170.7	12645.0	41.7	206.7	406.1

08_Zrn-52a	784.6	127.9	4.1	1114.1	1.6	0.0	9.6	0.1	1.2	2.9	0.8	19.9	7.3	93.0	36.8	187.7	373.7	80.8	12974.6	84.9	138.9	391.4
08_Zrn-52b	107.4	80.5	6.0	292.7	1.4	0.2	4.2	0.1	0.9	0.8	0.1	2.6	1.0	14.4	7.1	48.6	195.4	57.6	14899.7	212.2	101.9	1509.4
08_Zrn-53	-377.9	75.0	8.8	571.3	4.4	0.0	34.1	0.0	0.6	2.2	0.3	8.7	3.5	45.5	18.0	96.8	206.4	45.6	10395.6	45.2	83.1	189.3
08_Zrn-54a	938.3	107.3	12.6	1321.5	3.6	0.0	8.0	0.2	2.8	5.4	0.7	27.9	9.9	118.7	43.7	210.6	380.6	74.1	9161.8	34.0	77.4	167.7
08_Zrn-54b	1032.3	97.5	11.8	1071.3	3.9	0.0	8.6	0.1	1.4	2.9	0.3	20.4	7.1	93.3	35.1	170.7	320.9	63.6	9332.8	39.8	70.9	175.4
08_Zrn-55	851.5	372.1	11.4	1595.5	4.0	0.1	1.9	0.0	0.8	1.5	0.4	14.2	6.6	97.3	45.1	289.8	805.0	188.7	13335.3	17.9	142.7	156.4
08_Zrn-56	1097.7	263.4	17.2	1605.5	5.8	0.1	5.9	0.3	2.1	2.7	0.7	17.4	7.2	109.3	49.7	289.7	742.5	181.5	10579.5	41.8	238.1	386.4
08_Zrn-57	-295.7	72.7	6.8	783.3	7.4	0.0	9.6	0.0	0.8	2.1	0.1	12.5	5.0	68.7	26.4	126.9	235.9	49.2	11574.6	103.9	171.1	457.6
08_Zrn-58	1602.4	121.8	4.3	2035.7	1.9	0.0	4.9	0.3	5.4	9.5	1.3	57.2	17.7	208.3	72.5	316.6	495.9	93.3	9046.7	26.9	66.9	174.5
08_Zrn-59	1260.3	213.9	14.7	969.4	3.2	0.0	14.6	0.2	4.1	6.8	1.0	32.7	8.7	92.0	31.6	144.4	250.0	54.9	9229.2	98.0	254.8	514.7
08_Zrn-60a	501.3	296.7	4.6	1304.6	6.0	0.0	10.5	0.0	0.4	1.2	0.5	11.3	4.9	79.5	39.2	279.6	951.6	239.1	12910.8	13.2	127.7	169.8
08_Zrn-60b	1225.8	99.8	11.0	1023.0	1.9	0.0	6.1	0.2	3.6	6.7	0.5	30.3	9.1	100.5	34.4	151.9	238.5	45.4	10071.6	33.5	66.9	172.8
08_Zrn-61a	2839.3	122.9	37.1	3340.5	12.3	0.4	9.2	0.5	6.8	16.2	5.2	108.5	37.7	451.5	120.8	403.8	529.4	102.2	12037.4	114.9	183.1	1450.5
08_Zrn-61b	1940.0	415.4	8.9	3172.5	4.4	0.0	16.5	0.3	6.1	12.7	4.0	79.2	26.4	314.7	113.7	518.6	844.9	164.2	9715.8	27.3	272.5	346.8
08_Zrn-62	1049.6	111.0	7.1	929.8	3.9	0.4	12.7	0.2	1.9	3.0	0.6	16.7	6.3	77.2	30.7	153.5	318.9	68.7	12749.1	106.6	170.1	544.6
08_Zrn-63	3716.1	132.0	3.9	655.3	1.7	10.5	27.8	2.2	7.7	2.8	0.6	9.5	3.0	43.3	19.5	110.9	277.8	68.0	10380.6	21.8	125.0	239.0
08_Zrn-64a	548.6	94.6	5.3	950.6	5.1	0.0	31.5	0.1	1.5	4.1	0.5	20.7	6.9	83.2	31.0	145.1	255.9	51.6	12279.8	82.2	162.1	333.5
08_Zrn-64b	1641.7	578.3	24.3	1356.7	5.8	0.3	2.2	0.2	1.0	1.3	0.3	9.0	4.7	84.4	41.3	276.3	826.8	210.4	13003.9	26.6	74.4	547.6
08_Zrn-65	5573.8	73.5	2.1	978.5	3.9	48.7	131.4	16.8	86.5	23.8	4.0	41.0	9.2	95.3	32.0	148.9	259.0	50.7	11713.5	85.2	115.3	407.9
08_Zrn-66a	11127.3	96.8	5.2	1029.6	3.1	9.3	38.0	3.9	19.9	8.3	0.6	27.6	7.9	95.4	34.2	164.6	285.1	57.3	9569.4	77.1	132.9	328.8
08_Zrn-66b	3462.0	420.5	21.0	4007.2	8.2	1.8	20.8	1.5	9.7	10.2	2.9	40.6	16.9	256.0	130.5	875.5	2554.4	612.9	11151.6	42.0	280.7	996.5
08_Zrn-67a	852.3	88.6	5.0	1349.2	2.0	0.0	4.0	0.3	4.3	6.7	0.7	37.5	11.3	130.6	46.2	205.6	336.0	65.9	9378.7	19.5	43.5	95.6
08_Zrn-67b	1149.0	428.9	34.4	1227.9	5.5	0.1	2.2	0.1	0.8	1.3	0.3	8.6	4.2	73.1	37.1	250.1	896.1	238.8	13320.2	15.8	113.8	268.1
08_Zrn-68	402.7	180.7	3.3	369.9	0.8	0.0	7.2	0.0	0.4	0.7	0.2	4.3	1.8	28.2	11.4	68.2	191.8	43.6	10653.6	40.2	77.7	231.4
08_Zrn-69	1546.8	174.7	8.2	1863.4	1.0	0.1	3.0	0.3	5.4	12.8	0.9	69.7	20.5	205.1	63.2	245.2	336.4	63.0	11250.5	43.7	85.5	210.4
08_Zrn-70	1219.6	271.0	4.6	1769.9	3.6	0.3	15.6	0.5	3.8	9.0	1.2	53.4	16.2	177.1	59.0	256.1	440.7	89.4	10906.7	142.0	219.6	646.3
08_Zrn-71b	1478.1	271.4	1.5	705.5	3.7	0.0	2.6	0.0	0.3	0.6	0.2	4.6	2.6	43.2	22.2	142.2	450.7	107.0	12380.3	47.8	79.2	340.4
08_Zrn-74a	-13.8	93.6	3.2	1749.9	7.0	0.0	13.8	0.3	5.6	11.5	0.6	52.8	16.4	191.1	62.5	270.5	402.4	74.0	11096.3	46.6	99.2	283.1
08_Zrn-74b	319.3	89.5	5.8	874.2	6.9	0.0	10.2	0.1	2.5	4.7	0.3	24.0	7.8	90.5	30.8	134.9	219.5	41.3	10398.2	32.9	53.5	205.1
08_Zrn-75	3546.2	412.7	6.6	2320.7	2.7	0.0	2.6	0.0	0.5	2.5	0.4	21.2	10.5	167.9	74.8	423.8	950.9	205.8	12548.3	19.5	63.6	270.2
08_Zrn02 (2)	632.3	141.0	5.3	600.4	7.2	0.1	4.7	0.1	0.5	0.6	0.1	5.7	2.7	42.0	18.4	104.2	237.1	51.8	11099.9	91.7	108.2	507.7
08_Zrn04 (2)	3768.0	524.4	11.7	2014.9	2.5	0.0	3.6	0.1	2.0	3.2	0.7	25.3	11.7	157.0	65.6	359.0	813.1	177.1	14643.6	20.2	7.5	98.1
08_Zrn05 (2)	4264.2	882.4	188.3	468.8	1.5	0.4	-0.2	0.0	0.3	-1.2	-0.2	-3.4	2.0	27.5	18.0	47.2	28.4	50.6	35309.6	35.4	6.1	13.0
08_Zrn06 (2)	2718.2	301.3	5.4	1542.7	3.9	0.0	23.1	0.1	1.5	3.5	0.7	27.2	10.1	134.9	52.0	260.9	521.7	110.3	11015.9	18.8	135.5	153.4
08_Zrn07 (2)	2513.0	157.4	14.8	1062.7	2.0	0.0	4.3	0.2	3.1	5.9	0.5	31.0	9.0	103.9	35.4	160.0	246.3	50.0	9066.2	14.0	14.2	27.2
08_Zrn11 (2)	840.6	514.8	8.7	2391.4	18.1	0.4	35.7	0.2	1.8	4.3	1.6	37.4	14.7	197.9	79.8	404.0	742.8	156.2	12868.4	32.2	767.4	861.8
08_Zrn12 (2)	1350.7	559.2	300.4	1535.4	7.4	1.4	6.0	0.4	1.7	0.3	0.2	4.8	2.9	68.5	45.1	363.8	1201.8	320.7	14470.7	34.7	-735.0	-57849.4
08_Zrn14 (2)	789.4	388.5	11.3	997.1	10.6	0.0	1.2	0.1	0.7	1.2	0.5	9.5	4.4	66.3	29.2	156.4	360.5	85.4	13089.6	28.8	-3815.7	5054.6
08_Zrn15 (2)	691.9	107.0	4.8	732.2	10.4	0.0	8.3	0.0	0.4	0.7	0.2	6.9	3.5	51.5	22.3	127.2	301.2	62.7	13733.8	149.8	1309.9	2689.7
08_Zrn16 (2)	-907.5	378.3	9.5	1126.3	5.3	1.3	2.2	0.5	1.7	0.9	0.4	6.8	2.1	49.1	30.9	253.3	870.0	242.6	14003.6	18.6	534.6	1276.5
08_Zrn17 (2)	1037.5	164.1	8.0	1154.8	1.7	1.1	12.0	0.8	5.7	7.1	0.9	32.4	9.8	111.8	39.4	175.4	281.1	56.5	8279.6	28.2	251.1	261.8
08_Zrn18 (2)	964.3	132.9	1.5	906.3	3.0	0.0	5.5	0.1	2.1	3.6	0.4	22.2	7.2	85.3	29.6	142.4	239.4	48.9	8203.0	29.8	160.4	280.2
MPS-09																						
09_Zrn-01	-234.3	145.3	3.4	293.9	0.8	0.0	0.4	0.0	0.1	0.3	0.2	5.1	2.6	33.2	8.4	23.3	21.2	3.3	14431.6	9.9	1.1	187.6
09_Zrn-02	-593.8	114.1	16.8	1654.2	4.4	0.0	18.7	0.5	7.3	11.0	1.2	47.5	14.0	163.8	57.1	255.2	412.7	80.0	9642.0	47.3	137.1	191.2

09_Zrn-03a	212.1	107.0	5.9	522.8	2.1	0.0	10.3	0.1	1.2	2.7	0.2	12.5	4.0	49.8	17.8	81.6	141.2	28.2	9637.6	19.7	37.4	87.1
09_Zrn-03b	-489.2	100.9	5.7	518.4	2.4	0.0	12.1	0.0	0.9	2.4	0.2	11.2	3.9	48.4	17.5	83.1	149.1	28.4	10869.1	32.4	53.9	155.3
09_Zrn-04a	-190.0	94.2	4.2	674.7	3.5	0.0	12.4	0.1	1.7	2.9	0.1	14.0	5.0	61.7	22.7	106.1	185.4	35.7	11537.6	44.8	101.5	238.9
09_Zrn-04b	-60.8	109.4	2.8	100.0	0.7	0.0	0.7	0.0	0.1	0.2	0.2	4.0	1.5	13.6	2.8	9.1	11.4	1.7	12981.1	24.3	3.4	628.5
09_Zrn-05a	129.6	150.9	21.9	515.6	1.5	0.0	2.3	0.1	1.0	2.4	0.2	11.7	4.3	51.3	18.7	87.7	158.6	32.1	7852.2	4.6	7.2	24.2
09_Zrn-05b	-291.6	98.1	7.0	944.8	4.8	0.0	13.8	0.1	1.0	2.6	0.1	16.9	6.5	84.4	32.8	159.4	280.4	52.8	12188.8	31.1	43.2	178.3
09_Zrn-06	684.2	152.0	2.4	89.6	0.9	0.1	2.4	0.2	1.6	1.1	0.5	7.1	1.8	13.3	3.1	10.4	18.8	2.9	13843.1	19.7	8.0	465.0
09_Zrn-07a	-218.5	116.5	25.7	674.3	1.9	0.0	4.6	0.1	1.1	3.2	0.2	15.1	5.2	62.1	22.6	103.5	178.2	34.7	10947.5	20.7	44.8	81.6
09_Zrn-07b	-290.3	92.4	10.9	548.4	2.0	0.0	4.5	0.0	0.8	1.9	0.1	10.7	4.1	49.6	18.2	87.5	147.4	29.3	10377.8	22.0	35.9	75.3
09_Zrn-08a	576.9	87.6	9.0	807.8	3.4	0.0	8.2	0.1	2.0	3.5	0.3	21.2	6.8	76.7	28.2	127.4	214.1	42.3	9916.1	33.3	65.4	144.1
09_Zrn-08b	547.1	102.8	3.8	109.7	0.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.1	1.7	0.8	11.7	3.2	8.4	7.6	1.3	13266.2	6.0	0.6	131.4
09_Zrn-09a	814.4	98.1	9.5	549.5	3.4	0.0	11.5	0.1	0.8	2.1	0.1	11.4	3.9	48.0	17.8	87.4	158.0	31.2	10444.4	29.1	81.5	139.3
09_Zrn-10a	8.9	102.9	4.9	706.5	4.9	0.0	8.0	0.1	1.3	2.6	0.2	16.4	5.6	66.9	24.1	111.9	186.9	37.0	9311.6	14.7	45.9	78.5
09_Zrn-10b	-702.1	89.5	3.8	432.1	4.1	0.0	5.8	0.0	0.6	2.1	0.2	10.6	3.4	40.8	14.3	64.3	103.6	21.6	10207.4	26.6	31.7	201.4
09_Zrn-11a	-267.3	95.2	15.1	573.3	4.7	0.0	8.6	0.1	0.7	1.7	0.1	10.4	3.8	48.0	19.0	95.0	192.5	37.6	10633.5	82.5	106.4	533.1
09_Zrn-11b	-395.7	121.2	2.5	138.4	0.7	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.2	3.5	1.6	17.2	4.1	14.0	16.6	2.8	14581.6	18.6	1.5	373.8
09_Zrn-12	-988.3	99.7	13.6	752.4	2.2	0.0	8.2	0.0	0.7	1.7	0.0	10.5	4.2	59.5	24.1	126.7	256.7	51.7	12118.1	125.8	171.2	471.9
09_Zrn-13	-589.3	115.6	2.6	103.5	1.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.4	6.0	2.7	15.1	23.9	4.6	14240.0	3.0	1.9	27.9
09_Zrn-14	45.7	85.7	11.2	327.0	1.5	0.0	4.2	0.0	0.2	0.4	0.1	2.9	1.4	20.7	9.4	54.0	148.7	34.7	12702.0	90.6	93.0	540.9
09_Zrn-15	-936.5	77.2	20.0	706.8	6.0	0.1	10.6	0.1	1.2	1.8	0.3	8.7	3.8	52.3	22.0	118.4	257.1	52.8	11006.6	163.9	250.0	996.3
09_Zrn-17	-2169.6	139.4	4.9	631.9	2.4	0.0	32.7	0.0	0.8	2.4	0.8	12.2	4.4	54.6	20.7	102.3	197.6	39.3	9395.3	34.0	117.3	168.7
09_Zrn-18	-2838.6	121.5	15.2	2201.6	3.5	0.0	20.7	0.1	3.0	8.0	0.4	48.2	17.8	210.8	78.6	363.1	642.0	114.5	12580.1	200.4	518.9	967.9
09_Zrn-19	-1211.8	80.3	7.7	2810.6	18.6	0.0	31.6	0.4	5.2	13.6	1.8	70.1	23.8	284.8	102.7	449.8	683.0	117.2	8257.1	74.0	161.0	392.3
09_Zrn-20	-365.3	86.9	9.0	643.1	3.0	0.0	8.9	0.1	0.7	1.9	0.1	11.0	4.2	53.1	20.9	104.7	197.9	39.1	11104.9	45.5	115.3	234.6
09_Zrn-21	-1132.8	105.7	6.4	844.7	3.0	0.0	5.5	0.1	1.4	3.2	0.2	17.9	6.1	74.8	27.7	133.7	230.4	44.2	10907.8	32.5	56.7	134.9
09_Zrn-22	-1145.4	98.9	23.7	2513.4	6.6	0.2	17.2	0.7	9.9	15.6	1.0	69.2	22.2	252.7	89.1	397.6	627.2	118.4	9945.7	177.6	563.1	733.6
09_Zrn-23a	-440.4	85.8	10.7	578.6	2.1	0.0	2.6	0.0	0.9	2.3	0.4	12.7	4.2	53.3	19.5	91.0	159.3	31.6	8347.9	8.7	14.4	46.5
09_Zrn-23b	909.7	95.0	8.5	1487.2	2.9	0.0	5.9	0.4	5.1	10.0	0.8	41.6	13.1	145.5	51.2	224.0	349.3	66.7	9818.7	30.5	53.2	153.7
09_Zrn-24	-628.0	114.9	5.5	1224.2	3.5	0.0	18.7	0.1	0.8	3.4	0.2	18.7	7.7	100.5	40.2	205.5	377.1	75.8	11837.9	101.3	150.9	323.3
09_Zrn-25	605.1	99.4	3.7	138.1	2.5	0.0	2.1	0.0	0.4	1.8	0.9	10.0	2.3	18.4	4.7	15.9	18.2	3.6	9877.2	46.2	4.3	346.9
09_Zrn-26	-1100.4	101.3	11.4	1117.5	3.0	0.0	42.3	0.2	2.7	4.9	1.0	25.5	8.1	99.3	36.8	182.2	346.8	72.4	9706.1	38.6	125.0	134.6
09_Zrn-27	-1078.9	121.6	3.2	720.0	6.0	0.3	8.2	0.3	2.2	3.2	0.6	16.5	5.3	65.3	24.6	116.9	225.2	50.0	10493.1	79.1	54.9	414.3
09_Zrn-28	-547.1	92.7	10.6	869.6	4.4	0.0	12.5	0.1	1.1	2.6	0.1	16.8	6.3	77.3	29.9	141.9	247.3	48.2	11441.6	43.0	77.8	189.1
09_Zrn-29	-917.8	115.0	6.4	945.2	1.4	0.0	7.9	0.1	2.9	6.4	0.7	30.1	8.6	97.2	32.5	140.5	213.8	40.6	9117.7	52.6	74.3	238.2
09_Zrn-30	-2501.5	104.0	12.2	851.7	2.5	2.3	12.4	1.1	6.6	4.4	0.5	18.9	6.3	78.4	28.2	134.4	229.4	44.3	9014.0	22.5	44.9	108.0
09_Zrn-31	-1713.8	125.6	7.0	1867.5	3.6	0.1	33.3	0.4	5.9	10.7	2.3	42.1	12.9	156.3	59.3	290.7	562.1	114.1	8810.8	92.6	303.1	333.8
09_Zrn-32	-2075.0	122.6	7.4	1899.1	4.8	0.0	5.0	0.1	2.5	5.7	0.2	33.9	12.3	161.3	62.5	310.3	548.5	108.2	11523.5	150.1	188.0	617.7
09_Zrn-33	-5024.3	128.2	5.1	1186.2	1.9	3.7	27.6	1.7	8.2	5.7	0.8	26.5	8.7	104.5	39.7	189.7	337.7	66.6	10474.2	90.5	149.2	324.8
09_Zrn-34	218.9	97.6	13.0	914.5	4.5	0.0	10.6	0.1	1.2	3.2	0.1	17.8	6.6	80.6	30.9	146.2	257.9	49.1	12210.0	56.5	112.9	244.9
09_Zrn-35	-370.5	100.8	5.8	364.5	1.5	0.0	20.8	0.0	0.4	0.8	0.2	5.0	1.9	26.6	10.6	59.7	149.0	33.5	10511.4	35.1	91.1	137.8
09_Zrn-36	-128003.2	98.5	9.7	1853.4	3.2	12.6	78.3	14.6	129.5	68.3	8.1	147.8	29.1	220.1	65.3	265.2	380.3	70.6	8525.0	55.1	100.4	183.4
09_Zrn-37	-646.5	76.4	12.8	1133.0	22.5	0.0	14.4	0.1	2.2	4.5	0.2	25.7	8.8	108.6	40.4	189.0	320.0	58.6	9456.8	76.5	126.8	305.1
09_Zrn-38	28.9	85.2	2.7	791.7	4.6	0.0	9.3	0.0	0.5	1.4	0.2	9.9	3.9	56.6	24.4	138.2	325.0	72.0	11784.6	53.4	65.7	211.1
09_Zrn-40	-1383.5	72.2	17.3	1346.7	15.9	0.0	21.6	0.1	0.7	2.3	0.2	18.8	7.9	107.9	44.8	230.3	422.4	85.8	11997.6	128.5	221.2	822.8
09_Zrn-41	-8950.2	104.2	5.4	1300.1	2.5	4.1	19.1	2.6	15.4	10.1	1.0	37.3	11.3	129.9	44.9	200.4	330.6	60.4	9316.0	29.0	59.3	132.1

09_Zrn-42	-2460.6	90.0	18.2	551.7	1.8	0.0	4.0	0.0	0.7	1.9	0.1	12.1	4.0	48.5	18.4	88.7	154.2	30.1	10423.3	17.8	23.6	73.6
09_Zrn-44a	-2898.7	126.6	5.2	967.0	2.0	0.0	45.3	0.0	1.8	3.9	1.0	21.4	7.2	87.1	32.3	151.6	284.3	55.8	9871.8	73.3	222.2	408.2
09_Zrn-44b	2280.1	100.0	0.1	35.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	3.6	0.8	2.5	3.8	0.6	11909.2	1.3	0.1	24.2
09_Zrn-45	-759.1	85.2	7.1	745.4	5.6	0.0	24.1	0.1	0.6	1.6	0.2	9.1	4.0	55.4	23.9	128.0	290.8	60.7	10784.7	156.5	311.1	659.1
09_Zrn-46a	-10859.7	312.8	7.8	1635.6	3.1	0.0	3.4	0.1	1.2	2.9	0.1	24.1	9.5	135.2	54.8	282.9	585.5	117.9	11799.7	153.6	157.0	900.7
09_Zrn-46b	-2668.1	111.6	4.0	99.4	0.6	0.0	0.5	0.0	0.0	0.2	0.2	3.4	1.5	13.0	2.8	8.6	10.5	1.7	12352.9	14.4	1.5	306.3
09_Zrn-47	-3696.5	94.1	5.9	873.5	2.4	0.1	4.3	0.1	1.5	3.3	0.3	18.3	6.4	79.0	30.0	140.5	242.7	45.9	9187.6	23.1	44.3	124.4
09_Zrn-48	-2949.0	103.8	14.4	668.1	3.0	0.0	15.5	0.1	0.7	2.2	0.2	12.4	4.3	55.1	21.8	106.2	204.8	40.2	10226.1	72.8	125.1	206.4
09_Zrn-49	-7370.0	94.1	15.0	713.8	3.6	0.0	18.7	0.1	1.0	2.4	0.2	13.9	4.8	61.1	23.7	116.2	214.3	43.0	9579.8	105.3	166.1	280.8
09_Zrn-50	-13123.4	107.9	6.5	969.4	2.2	0.0	5.7	0.1	2.0	4.8	0.3	24.5	7.8	93.3	32.8	149.1	240.2	47.1	10400.4	23.0	70.5	108.4
09_Zrn-51	8195.8	107.4	6.0	1163.9	1.8	0.0	3.7	0.1	1.1	3.2	0.1	21.4	7.9	102.9	39.2	191.3	336.2	64.0	11093.9	45.2	94.4	204.3
09_Zrn-52a	68402.3	113.2	6.5	1797.7	4.3	0.1	5.2	0.2	2.3	5.3	1.0	32.7	11.9	154.0	60.4	302.4	584.7	124.3	10270.7	77.8	105.4	452.6
09_Zrn-52b	7234.0	76.3	2.3	302.9	5.2	0.0	0.7	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9	0.5	12.8	8.1	66.2	250.6	63.2	11493.8	70.2	3.9	471.3
09_Zrn-53	4723.5	137.4	16.8	653.2	1.6	0.0	18.6	0.1	1.1	2.1	0.7	12.8	4.3	54.7	21.2	108.3	210.7	44.8	8295.2	28.3	61.0	79.8
09_Zrn-54a	-163.1	77.2	7.5	639.5	6.8	0.0	13.6	0.0	1.4	3.0	0.1	16.3	5.3	61.6	22.5	102.7	175.0	33.7	10659.8	11.4	71.1	74.4
09_Zrn-54b	2764.8	66.5	4.0	2403.5	70.9	0.0	19.3	0.1	1.6	5.6	0.1	38.6	15.6	211.0	82.5	389.6	634.4	114.7	13024.2	105.3	476.7	729.8
09_Zrn-55a	6862.6	167.4	38.8	1156.1	1.4	0.2	7.1	0.2	3.0	4.5	0.4	26.0	8.8	106.9	40.3	182.6	307.7	60.1	10290.8	28.5	76.7	75.6
09_Zrn-55b	-1798.5	117.1	3.8	278.5	1.9	0.0	0.6	0.0	0.3	0.3	0.1	3.0	1.3	20.9	8.7	45.3	92.3	18.3	12480.0	23.1	16.6	146.1
09_Zrn-56	-1431.6	79.8	6.8	749.6	3.1	0.0	12.7	0.0	0.6	1.5	0.2	11.0	4.1	58.5	24.5	126.2	279.3	60.3	11020.9	157.0	113.7	916.1
09_Zrn-57	1626.7	85.6	5.7	421.2	3.2	0.0	14.8	0.0	0.9	2.1	0.2	10.2	3.3	39.2	14.0	66.8	119.8	23.8	10579.8	23.4	65.4	135.8
09_Zrn-58	2570.4	90.3	7.0	1920.8	3.2	0.0	8.4	0.4	6.8	10.8	0.3	52.8	16.5	182.9	67.3	292.7	444.9	82.2	9865.8	66.5	176.2	286.5
09_Zrn-59a	1176.9	125.7	9.5	1246.0	1.7	0.1	11.0	0.4	5.7	9.3	0.8	39.4	12.2	131.4	43.5	183.4	280.0	52.7	9150.7	84.5	128.4	364.5
09_Zrn-59b	1171.2	119.9	5.4	1319.5	1.9	0.0	13.9	0.2	4.7	8.3	0.4	40.2	12.1	132.7	45.1	197.9	311.1	56.1	10092.3	114.3	213.3	695.6
09_Zrn-60a	1349.6	71.1	5.6	2111.1	41.6	0.0	19.7	0.1	1.9	5.8	0.2	39.1	15.1	189.4	72.9	341.3	538.8	92.0	12057.5	42.4	183.8	384.6
09_Zrn-60b	-479.7	93.5	1.4	84.7	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	2.4	1.1	10.9	2.4	7.3	8.3	1.4	13915.2	13.1	1.1	264.6
09_Zrn-61	1703.6	99.1	10.1	1075.6	2.8	0.0	5.3	0.1	1.0	3.0	0.0	18.8	7.0	90.1	36.1	170.8	307.2	61.9	11054.7	86.3	91.7	272.7
09_Zrn-62a	-701.9	138.0	10.7	229.6	2.0	0.0	9.2	0.0	1.1	2.9	0.3	12.1	2.9	26.8	7.4	29.2	39.8	7.0	12339.6	66.5	115.1	182.1
09_Zrn-62b	111.6	113.0	8.7	144.5	0.9	0.0	7.4	0.1	0.9	2.6	0.2	10.9	2.2	18.0	4.7	17.7	23.0	4.3	11653.1	29.2	98.3	73.7
09_Zrn-63a	1065.2	131.6	9.1	1248.2	1.4	0.0	6.1	0.2	4.4	7.9	0.7	37.8	11.7	128.2	43.5	185.8	293.9	52.7	10275.1	29.2	113.1	149.2
09_Zrn-64	891.9	167.9	11.5	608.2	6.3	0.7	9.8	0.3	1.8	1.2	0.5	6.5	2.7	39.8	18.6	121.6	347.7	74.3	7690.4	63.5	137.3	517.6
09_Zrn-65	792.1	90.8	6.7	591.2	1.2	0.0	8.2	0.1	1.2	2.5	0.7	13.2	4.0	49.5	19.0	95.4	183.9	37.2	9474.3	22.4	93.2	116.3
09_Zrn-66	661.2	112.1	6.6	1062.6	1.6	0.0	5.3	0.1	1.8	4.4	0.4	26.0	8.0	98.0	36.4	165.4	282.0	56.0	9917.1	23.8	48.8	83.9
09_Zrn-67a	-254.4	58.3	465.6	497.3	4.1	0.0	19.8	0.0	0.2	0.7	0.2	6.9	2.2	31.8	14.7	84.6	211.9	47.8	6908.3	52.7	101.8	203.3
09_Zrn-67b	1314.6	170.0	18.9	1903.5	12.4	0.1	80.3	0.2	3.1	6.0	1.3	32.6	12.1	153.3	63.1	324.4	668.3	136.4	12498.5	169.2	663.2	967.3
09_Zrn-68a	632.9	229.4	5.8	697.4	3.3	0.0	23.0	0.0	0.6	1.9	0.6	12.5	4.5	60.9	23.3	116.6	233.8	49.2	11059.6	26.4	67.9	113.3
09_Zrn-68b	795.5	190.1	4.1	865.7	6.1	0.0	20.1	0.0	0.4	1.3	0.3	11.5	5.1	70.6	28.8	147.8	284.5	58.2	13585.4	65.3	152.8	321.1
09_Zrn-69a	418.2	92.8	6.1	602.2	3.3	0.0	10.6	0.0	0.6	1.9	0.2	10.6	4.3	52.8	20.6	102.9	197.6	39.1	10285.0	16.7	59.8	64.7
09_Zrn-69b	685.0	81.7	8.0	1464.3	12.8	0.0	16.1	0.1	2.8	5.9	0.2	28.6	10.6	135.7	50.0	242.7	424.5	82.0	10689.1	54.4	294.6	198.4
09_Zrn-70a	267.3	98.9	16.5	704.1	2.5	0.0	6.6	0.1	1.6	2.9	0.3	16.4	5.4	64.3	23.8	111.7	198.8	39.8	9054.8	16.5	40.3	62.2
09_Zrn-70b	89.9	74.8	0.3	125.2	1.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8	0.5	7.6	3.5	19.6	50.3	11.0	12675.2	29.4	0.6	229.0
09_Zrn-71	559.2	100.7	5.1	871.7	1.5	0.0	3.5	0.1	1.7	4.0	0.2	20.2	7.1	82.3	30.0	137.1	227.0	43.5	9319.5	10.8	43.2	56.2
09_Zrn-72a	864.8	149.3	27.5	1008.8	1.1	0.0	2.1	0.0	0.9	2.4	0.1	17.4	6.5	85.5	33.2	160.5	298.4	58.8	9806.9	50.7	53.9	193.6
09_Zrn-72b	129.5	82.6	3.1	90.7	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.2	2.2	1.0	10.9	2.6	8.5	10.8	1.8	11100.8	16.7	1.6	399.0
09_Zrn-73	223.8	63.7	1.6	1595.3	14.2	0.0	10.6	0.1	3.0	6.2	0.7	33.5	12.6	152.4	55.4	250.6	381.7	65.9	11202.2	67.2	95.0	341.6
09_Zrn-74	626.6	108.1	4.3	997.1	1.3	0.0	7.1	0.1	1.6	4.1	0.3	21.5	7.5	91.3	33.5	156.9	266.9	51.1	10109.8	28.1	95.0	122.5

09_Zrn-75	96.2	90.4	2.3	236.1	0.8	0.0	7.0	0.0	0.2	0.4	0.1	2.7	1.0	15.5	6.6	39.3	106.4	31.1	9919.1	50.1	47.4	273.4
09_Zrn-76	13.0	75.4	8.4	667.9	3.5	0.0	8.2	0.0	0.9	1.8	0.1	11.8	4.5	58.5	22.3	108.3	197.3	38.4	9754.8	61.0	89.9	285.7
09_Zrn-77	390.6	91.7	8.3	702.6	2.1	0.0	4.7	0.0	0.4	1.3	0.1	10.5	4.6	56.7	23.3	115.1	220.7	43.7	10887.5	93.1	118.4	441.5

Rutilos

	Si	P	Sc	V	Cr	Fe	Y	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	log (Cr/Nb)
MPS-01																	
01_Rt-01	5000	12	9.52	6760	1268	631	1.57	1732	1244	36.57	75.8	85.8	45.28	1.034	0.971	3.767	0.008299
01_Rt-02	2600	-62	9.99	5444	1510	1292	3.1	732	2360	25.51	50.8	58.1	26.46	1.99	1.75	17.2	-0.19394
01_Rt-03a	1700	1	6.35	6014	769	1167	0.146	5280	813	22.6	147.4	165.5	19.47	1.34	0.06	10.69	-0.02416
01_Rt-03b	-2500	-39	7.97	6002	760.6	1939	0.587	4996	606.2	18.2	140.2	157.7	18.86	1.86	0.86	9.99	0.09854
01_Rt-04	-200	-30	13.47	2522	602	1661	0.513	1517	2175	30.01	66.1	75.14	99.1	0.985	0.372	21.75	-0.55786
01_Rt-05	4800	16	4.4	1824	735	1670	8.9	320	909	0.85	11.9	11.5	23.4	3.91	7.9	3.77	-0.09228
01_Rt-06	4700	37	422.9	135.7	95.9	2649	3.4	37.57	3602	0.146	2.84	3.21	41	12.08	1.07	8.59	-1.57473
01_Rt-07a	1200	-11	4.65	1272	411	1914	1.09	36.59	2433	0.59	1.74	2	48.8	0.717	0.814	0.709	-0.7723
01_Rt-07b	9700	-96	3.8	1266	352.5	2442	12.4	1610	2580	0.27	50.2	56.5	47.2	0.668	1.75	9.5	-0.86446
01_Rt-08	-1500	-44	97.6	3910	1736	532	5.08	724.1	1371	0.186	29.51	33.74	156.1	1.196	1.36	14.67	0.102512
01_Rt-09	2300	-7	4.04	1712	443	2860	1.66	40.7	2202	0.64	2.17	2.34	61.8	1.89	2.55	1.74	-0.69641
01_Rt-10	2500	0	1.79	1520	551	1657	1.4	219	1187	0.257	6.9	7.5	57.4	0.67	0.605	1.02	-0.3333
MPS-02																	
02_Rt-01	-700	-27	6.59	1065	122	3941	0.1	37.4	1326	0.321	3.51	3.96	734	0.313	0.0127	4.287	-1.03618
02_Rt-02	-300	-11	7.76	1190	306.2	4180	0.241	25.6	1849	0.241	1.492	1.69	55.4	1.57	1.26	5.25	-0.78093
02_Rt-03	-300	17	2.16	1271	443.9	4019	0.158	23.86	4208	0.173	1.559	1.739	125.7	0.707	0.1426	3.12	-0.97679
02_Rt-04	98000	8	6.21	1110	92	17200	28	670	1151	0.42	19.5	23	202	8.1	1.43	9.5	-1.09729
02_Rt-05	2800	-61	3.23	1116	348.6	3501	2.77	310	1701	0.277	7.7	8.8	63.4	0.685	0.59	7.4	-0.68838
02_Rt-06	-100	-30	1.55	1291	88.7	2872	0.21	38	886	0.247	1.591	1.83	125.5	0.498	0.595	3.788	-0.99951
02_Rt-07	4300	-23	3.3	1134	266.9	5830	3.5	102	1480	0.273	3.4	3.9	103.1	1.97	1.67	6.17	-0.74391
02_Rt-08	-2200	273	3.44	982	81	3750	12.94	34.3	814.6	0.252	1.48	1.64	54.3	6.8	0.5	3.992	-1.00246
02_Rt-09	2800	21	0.79	1075	241.8	3770	0.18	27.97	2020	0.79	1.677	1.91	86.8	2.97	0.623	3.419	-0.9219
02_Rt-10	600	-31	3.89	1034	320.4	4030	0.74	92	1920	0.281	4.9	5.8	493	1.64	0.098	5.31	-0.77761
02_Rt-11	14600	-20	1.73	1179	331.7	3020	0.196	25.98	1568	0.223	1.339	1.574	49	1.16	0.0778	3.872	-0.6746
02_Rt-12	800	-25	10.24	1144	330.6	3640	0.518	24.04	2659	0.154	1.322	1.515	46.5	2.34	0.301	3.217	-0.90542
02_Rt-13	1700	30	5.96	1257	335.9	7600	6.9	24.22	1630	0.37	1.35	1.61	48.9	1.7	0.87	3.29	-0.68598
02_Rt-14	-1600	-57	1.5	864	97.6	3342	0.106	26.46	1312	0.198	1.414	1.548	72.6	0.193	0.0124	3.735	-1.12848
02_Rt-15	3400	-21	1.74	1178	297.8	3660	0.255	25.26	2380	0.28	1.383	1.775	75.6	2.41	0.129	4.08	-0.90265
02_Rt-16	1300	-13	3.95	1148	350	3931	0.107	24.27	3480	0.175	1.428	1.582	36.97	0.341	0.0491	3.217	-0.99751
02_Rt-17	4200	-27	6.46	1242	152.5	3820	1.73	33.75	2224	0.357	3.29	3.81	645	1.11	0.9	4.986	-1.16386
02_Rt-18	1100	-40	6.47	1150	225.4	4370	0.162	27.9	2471	0.157	1.49	1.78	64.1	2.34	0.115	4.51	-1.03992

	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>Sc</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>Y</i>	<i>Zr</i>	<i>Nb</i>	<i>Mo</i>	<i>Hf</i>	<i>Ta</i>	<i>W</i>	<i>Pb</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	<i>log (Cr/Nb)</i>
02_Rt-19	21300	19	7.62	1117	271	11000	1.73	35.5	2184	0.21	1.8	2	68.4	3.25	0.397	4.08	-0.90628
02_Rt-20	1300	19	8.93	1175	260.1	6830	0.392	26.35	1872	0.13	1.622	1.74	72.4	2.76	0.167	5.2	-0.85717
02_Rt-21	800	41	5.66	1148	293.2	7500	0.112	25.72	1401	0.272	1.47	1.71	43	1.62	0.0748	4.848	-0.67927
02_Rt-22	3900	11	8.19	1154	357	5330	6.2	98	1635	0.289	2.9	3.3	50	0.922	1.13	5.4	-0.66085
02_Rt-23	28300	-10	82.2	555.1	47.9	23500	0.754	36.7	1169	0.133	1.206	1.309	3.78	0.683	0.1011	3.674	-1.38748
MPS-04d																	
04d_Rt-01	18600	9	1.46	1067	268.7	2392	0.256	39.3	795	0.55	2.14	2.5	32.9	1.09	0.054	2.242	-0.4711
04d_Rt-02	20400	-2	3.36	1048	273.6	2268	0.583	43.4	458	0.82	2.34	2.67	26.84	1.45	0.0339	1.969	-0.22375
04d_Rt-03	40200	-18	3.8	1010	310.4	2149	0.356	40.5	1357	0.44	2.33	2.51	41.73	1.549	0.036	1.503	-0.64066
04d_Rt-04a	39200	7	4.09	1078	271.6	2110	1.71	47.2	932	0.471	2.54	2.74	39.58	2.26	0.099	1.625	-0.53549
04d_Rt-04b	5500	9	3	1090	279	2185	0.9	40.75	920	0.38	2.27	2.523	31.26	1.035	0.44	1.694	-0.51818
04d_Rt-05	23300	-7	2.75	1147	285.9	2652	0.144	41.3	1991	0.45	2.2	2.55	54.7	1.133	0.0276	1.892	-0.84286
04d_Rt-06	49000	-14	3.93	1117	253.5	2240	0.297	41.32	982	0.46	2.28	2.48	46	1.67	0.0284	1.87	-0.58813
04d_Rt-07a	2400	-28	4.16	1007	293.5	3620	1.15	69.6	995	0.45	3.13	3.33	37.6	2.07	1.249	2.62	-0.53021
04d_Rt-07b	6900	-13	3.37	1006	294.4	3630	3.49	41.29	1495	0.56	2.34	2.54	68	1.94	3.15	2.68	-0.7057
04d_Rt-08	14200	-39	3.03	1101	272.4	2624	0.189	43.1	1638	0.409	2.36	2.75	57.8	1.85	0.038	2.096	-0.77911
04d_Rt-09a	4500	-18	3.39	1027	291.4	2693	0.154	44.3	1347	0.61	2.25	2.694	47.97	0.895	0.065	1.414	-0.66488
04d_Rt-09b	11600	46	2.59	1000	301.1	2757	0.336	40.78	1267	1.43	2.23	2.57	50.2	1.25	0.202	1.491	-0.62407
04d_Rt-10a	1600	-4	2.11	1138	261.4	2590	0.15	46.8	991	0.54	2.342	2.67	37.81	1.1	0.0152	1.943	-0.57877
04d_Rt-10b	38300	7	3.49	1136	267.3	2762	0.44	73	1206	0.4	3.06	3.56	41	1.84	0.063	1.367	-0.65435
04d_Rt-11	4400	-28	3.37	1124	307.7	3600	1.39	50.9	1830	0.54	2.59	2.89	44.5	1.34	3.19	2.833	-0.77432
04d_Rt-12	6500	-19	2.02	1003	277.4	2281	0.308	40.45	797	0.522	2.197	2.53	37.95	0.793	0.0292	2.247	-0.45835
04d_Rt-13	900	-9	1.94	1093	268.1	2364	0.11	39.95	1080	0.46	2.242	2.522	35.1	0.275	0.0042	1.602	-0.60513
04d_Rt-14a	20600	39	4.96	1148	284.8	6350	5.16	44.1	1420	0.32	2.43	2.63	62.4	3.06	4.05	2.598	-0.69775
04d_Rt-14b	29300	6	5.78	1132	292.7	3060	4.77	76	1760	0.39	3.17	3.83	49.8	1.91	6.4	2.5	-0.77909
04d_Rt-15	22900	42	3.85	1144	292.4	2020	0.446	45.3	1004	0.47	2.41	2.77	39.9	1.48	0.024	1.346	-0.53576
04d_Rt-16	5200	33	3.63	993	285.5	2203	1.62	1303	1442	0.35	36.1	40.6	59.4	1.282	0.447	10.4	-0.70336
MPS-05a																	
05a_Rt-01	-1200	13	2.93	843	334.5	3415	0.221	38.3	1944	0.36	2.018	2.352	61.9	0.602	0.616	1.636	-0.7643
05a_Rt-02	-2100	2	2.37	896	266.7	3335	0.2	61	2110	0.338	2.87	3.23	71.4	0.486	0.179	2.089	-0.89826
05a_Rt-03a	-1900	-15	4.45	825	252.5	3054	0.279	36.49	2247	0.67	2.151	2.405	63.5	0.682	0.124	0.817	-0.94934
05a_Rt-03b	11700	-11	3.28	855	257	4280	1.11	38.53	2294	0.36	2.062	2.44	60.4	1.41	0.413	1.171	-0.95066
05a_Rt-04	100000	30	5.8	1148	267.3	10700	4.49	39.3	2596	0.35	1.96	2.43	94.3	18.8	118	20.9	-0.98731
05a_Rt-05	-700	-18	2.9	816	255.5	3892	0.064	38.41	3290	0.408	2.382	2.621	91.4	0.499	0.0137	0.955	-1.1098
05a_Rt-06	12300	18	3.22	922	259.3	3320	0.93	153	2546	0.335	4.55	5.21	69.2	0.83	0.384	1.559	-0.99206
05a_Rt-07a	1300	23	5.04	1225	237.1	3033	0.184	40.56	2189	0.357	2.383	2.668	86.6	0.438	0.09	1.494	-0.96531
05a_Rt-07b	-400	-2	2.26	1029	253	3241	0.117	36.01	2127	0.508	2.043	2.437	74.1	0.393	0.046	1.745	-0.92465

	Si	P	Sc	V	Cr	Fe	Y	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	log (Cr/Nb)
05a_Rt-08	53800	-48	7.68	874	385.6	3350	0.29	37.59	2240	0.321	2.122	2.53	82.7	1.668	0.28	1.297	-0.76411
05a_Rt-09	-1300	24	3.12	922	360.3	3136	0.176	40.14	2100	0.332	2.273	2.53	76.3	0.387	0.0202	1.681	-0.76556
05a_Rt-10a	2600	-5	2	729	252.8	3000	0.093	41.61	1689	0.53	2.272	2.67	82	0.252	0.0124	1.951	-0.82485
05a_Rt-10b	-2700	12	2.06	719	268	3069	0.153	41.69	2022	0.46	2.364	2.7	89.2	0.553	0.0397	2.34	-0.87765
05a_Rt-11	-1200	-22	2.24	850	222.1	3409	0.166	37.62	1916	0.381	2	2.32	69.7	0.692	0.138	1.086	-0.93585
05a_Rt-12	1700	-16	2.18	823	232.7	3078	0.157	41.06	1662	0.53	2.191	2.53	83.8	0.627	0.188	2.651	-0.85383
05a_Rt-13a	2100	7	2.47	1107	297.3	3406	0.272	60	3581	0.457	2.85	3.18	89.4	0.419	0.036	1.77	-1.08081
05a_Rt-13b	15100	-12	2.56	1116	265.8	3269	0.323	42.45	3868	0.507	2.388	2.72	98.8	0.347	0.078	1.783	-1.16293
05a_Rt-14	-200	4	1.1	1017	278.7	3355	0.196	36.22	1642	0.34	2.007	2.232	69.7	0.768	0.393	1.558	-0.77024
05a_Rt-15	28100	-47	4.55	1055	208.6	3286	0.209	47.7	1896	0.437	2.55	2.84	77.6	1.37	0.015	1.479	-0.95852
05a_Rt16	19700	-12	4.73	871	256	3930	0.156	38.29	2138	0.426	2.253	2.65	86.1	0.857	0.0596	1.225	-0.92177
MPS-06b																	
06b_Rt-01	700	19	6.24	1801	362.4	2667	0.354	20.03	1395	0.41	1.194	1.369	42.85	0.549	1.037	0.872	-0.58539
06b_Rt-02	300	-11	6.31	1714	562.2	3168	3.44	26.96	2802	0.54	1.745	1.951	121.5	0.631	1.33	1.88	-0.69758
06b_Rt-03	1200	-38	5.26	1859	396.5	2465	1.28	28.1	1237	0.79	1.418	1.75	54.2	3.61	0.05	1.177	-0.49413
06b_Rt-04	800	-30	6.61	1898	304	2893	1.21	23.27	1155	0.51	1.267	1.369	57.2	1.359	0.514	1.117	-0.57971
06b_Rt-05	41200	-19	27.7	256.4	166	645000	4.71	1.28	975.4	1.95	0.08	0.059	1.59	4.34	7.3	1.45	-0.76907
06b_Rt-06	-600	-13	6.26	2024	317.7	1835	4.9	23.73	782	0.246	1.28	1.359	35.17	0.597	1.037	1.609	-0.39119
06b_Rt-07a	49300	18	8.75	1871	501	6260	1.46	25.63	2340	0.338	1.451	1.595	62.2	4.29	0.94	1.314	-0.66938
06b_Rt-07b	47900	7	9	1892	635	6480	1.06	26.3	2802	0.95	1.568	1.726	73	3.22	1.38	1.52	-0.64469
06b_Rt-08a	-500	39	6.57	2177	126.3	1767	0.5	16.51	606	0.239	1.52	1.75	326	0.316	0.558	0.99	-0.68107
06b_Rt-08b	-2500	259	6.21	2140	275.4	2300	3.4	21.2	1624	0.8	1.542	1.807	215	0.92	2.55	0.851	-0.77062
06b_Rt-09a	800	12	5.08	1852	248.9	2369	0.69	32.7	984	0.224	1.65	1.78	119	0.415	0.52	1.535	-0.59697
06b_Rt-09b	-800	1	5.15	1901	327.6	3117	0.45	23.79	2431	0.53	1.401	1.625	68.4	0.416	1.367	1.526	-0.87044
06b_Rt-10	7600	-6	6.74	1940	302.7	3000	1.42	22.46	1013	0.49	1.381	1.534	118.1	2.3	0.306	0.71	-0.5246
06b_Rt-11	4400	-5	2.89	729	295.9	3692	1.2	38.78	3037	0.303	2.242	2.56	98.3	1.441	4.16	2.72	-1.0113
06b_Rt-12a	5700	-44	5.5	1738	362.5	8140	7.38	40.7	1488	0.8	1.78	2.03	80.5	3.34	3.36	1.753	-0.61329
06b_Rt-12b	4700	-11	4.52	1684	377	2839	2.27	27.8	1457	0.34	1.36	1.67	49.9	1.96	1.54	1.23	-0.58712
06b_Rt-13	2100	55	6.76	1924	331	3270	1.1	33.5	836	0.267	1.61	1.76	85.9	0.819	0.87	0.81	-0.40238
06b_Rt-14	1200	-1	6.35	1921	136.6	2877	2.4	19.26	761	1.21	1.232	1.428	122	0.869	1.278	0.968	-0.74593
06b_Rt-15	10700	10	8.54	2413	366	4450	2.14	33.4	2363	1.22	1.59	1.7	103.3	2.54	1.99	1.874	-0.80998
06b_Rt-16	3800	17	7.59	1935	406.9	3093	0.367	29.2	2376	0.36	1.66	1.89	76.8	0.745	0.633	1.308	-0.76636
MPS-08																	
08_Rt-01	29700	-3	49.7	2115	912	30150	40.2	850	1365	0.41	19.9	23	82.1	4.54	0.336	1.56	-0.17514
08_Rt-02	9900	5	5.09	1882	1540	2450	2.58	450	1512	0.21	12.5	14.4	83.7	1.93	0.6	1.14	0.007969
08_Rt-03	2200	3	4.51	1874	1734	1611	0.57	240	1253	0.096	7.4	8.3	68.3	1.002	0.0543	0.634	0.141098
08_Rt-04	300	22	18.93	3118	1561	1414	0.44	27.01	1529	0.128	1.688	1.82	69.7	0.853	0.08	0.264	0.008995

	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>Sc</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>Y</i>	<i>Zr</i>	<i>Nb</i>	<i>Mo</i>	<i>Hf</i>	<i>Ta</i>	<i>W</i>	<i>Pb</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	<i>log (Cr/Nb)</i>
08_Rt-05	700	-33	20.8	2604	513.8	1990	0.396	29.12	1083	0.2	1.739	1.9	65.1	1.19	0.0189	0.391	-0.32383
08_Rt-06a	3400	9	50.7	4404	1738	5730	11	28.63	834	2.38	1.731	1.756	75.3	20.9	29	2.56	0.318884
08_Rt-06b	9900	-10	58	4353	1703	9750	39.8	4770	957	0.347	119	137	91.9	25.3	10.5	3.88	0.250303
08_Rt-07	-100	14	7.51	2638	1914	1755	0.537	33.1	1220	0.208	1.79	1.97	70.8	2.35	0.122	0.173	0.195582
08_Rt-08	2100	-8	17.23	1967	867	2376	6.2	31.93	1346	0.24	1.952	2.17	101.5	18.6	21.4	2.54	-0.19103
08_Rt-09a	16900	7	39.04	3538	643	3070	31.9	41.7	1241	0.215	1.8	2.25	63.7	34.6	119.6	19.73	-0.28556
08_Rt-09b	400	-17	32.2	3526	529.6	1206	1.52	28.11	1256	0.154	1.632	1.97	68.4	1.25	1.75	0.54	-0.37504
08_Rt-10	-1900	-33	2	1021	427.2	2586	0.34	26.68	1697	0.087	1.559	1.791	56.7	0.73	0.38	0.301	-0.59905
08_Rt-11	-400	-14	5.31	1314	611	2881	0.411	35.4	1429	0.196	2.34	2.56	202	0.92	0.0097	0.63	-0.36899
08_Rt-12	1800	-43	3.63	1807	287.8	2374	1.47	25.64	2157	0.271	1.411	1.538	73.5	3.17	0.444	0.696	-0.87476
08_Rt-13	-300	-57	22.63	3733	533.3	2270	2.22	30.27	1196	0.41	2.12	2.56	234.6	4.37	1.41	0.354	-0.35076
08_Rt-14a	1200	-40	17.07	3734	802	1750	1.29	32.29	882	0.167	2.16	2.344	155.6	4.37	0.09	0.355	-0.04129
08_Rt-14b	2400	16	15.85	3594	919	1162	0.689	32.87	1245	0.237	1.958	2.208	121.9	4.65	0.249	0.685	-0.13185
08_Rt-15a	11200	-32	41.3	1623	675	5230	158	111	2420	0.29	3.9	4.41	101.8	27.4	148	28.6	-0.55451
08_Rt-15b	3300	48	4.33	1723	425.6	2985	0.577	31.09	2505	0.135	3.35	3.75	685	1.167	0.432	0.262	-0.76981
08_Rt-16	100	15	2.02	786	757	2631	0.505	26.2	1568	0.287	1.613	1.76	65.3	0.844	0.221	0.298	-0.31625
08_Rt-17	2900	-45	12.82	1910	546	2570	0.81	28.34	1796	0.54	1.614	1.91	59	10.16	1	1.376	-0.51711
08_Rt-18	4400	21	40.1	4130	971	1101	5.5	1180	1384	0.32	29.9	34.3	94	4.74	5.3	2.08	-0.15392
08_Rt-19a	7200	-17	4.93	933	441	2990	21.3	7700	1821	0.171	191	221	69.9	1.43	0.75	19.2	-0.61587
08_Rt-19b	600	-30	1.61	985	538.1	3040	0.503	30.28	1713	0.087	1.595	1.806	58.8	1.14	0.139	0.667	-0.50289
08_Rt-20	1100	7	2	1745	513.4	2835	0.76	31.1	3116	0.184	1.72	1.88	54.67	2.85	0.196	0.175	-0.78314
08_Rt-21	300	-41	2.22	1158	1512	1964	0.92	38.8	1164	0.54	1.99	2.29	72.1	1.374	0.199	0.773	0.113599
08_Rt-22	13000	-54	6.97	914	693	3370	11.4	106	1720	0.2	3.55	3.98	99.7	23.5	32.6	5.78	-0.3948
08_Rt-23	-800	14	2.09	2240	1495	5150	0.87	22.03	2017	0.178	1.385	1.59	79.9	5.56	1.4	0.171	-0.13006
08_Rt-24	31100	-1	7.2	1714	581.2	17000	6.2	33.14	4120	0.169	1.91	2.109	93.7	6.44	11.8	2.42	-0.85057
08_Rt-25	13200	20	128.3	3720	849	161100	87.1	22.62	772	0.36	1.276	1.42	44.4	29.95	5.38	1.412	0.04129
MPS-09																	
09_Rt-01	900	-53	2.32	845	319.3	5600	0.79	386.5	3019	27.19	16.56	18.8	461.3	5.18	0.326	17.48	-0.97566
09_Rt-02	1600	1350	1.46	397.6	286.1	7610	10	316.5	3589	25.6	15.75	17.8	535.2	3.63	0.421	12.73	-1.09846
09_Rt-03	200	32	2.11	574.1	522	4780	1.6	328.3	3523	23.56	15.84	17.65	609.2	0.38	0.248	12.95	-0.82924
09_Rt-04	4800	-2	4.72	522.2	283.9	6240	5.65	5700	5063	21.05	152	163	785	1.267	0.493	16.7	-1.25124
09_Rt-05	1800	10	2.02	539.1	149.3	5277	6.47	332	3992	21.8	15.74	18.22	665.5	1.98	0.0397	8.39	-1.42713
09_Rt-06	800	43	2.91	547.5	297.1	7410	1.83	411.4	6474	30.13	18.31	20.75	529.2	0.643	0.72	50.17	-1.33827
09_Rt-07	1700	32	2.48	585	335.5	6055	0.178	347.4	4077	28.54	16.13	18.3	615	0.523	0.033	5.622	-1.08465
09_Rt-08	-4700	-41	2.41	545.7	381	5890	6.7	268.9	4070	20.25	14.23	16.15	672	2.96	0.294	3.339	-1.02867
09_Rt-09	-400	18	4.94	502.9	451.6	6003	34.2	342.3	4781	20.43	17.24	19.55	677.1	2.128	2.7	14.05	-1.02476
09_Rt-10	-800	-2	2.37	549.6	268.8	4822	1.22	294.4	3525	24.58	14.27	16.27	615	0.488	0.0638	9.16	-1.11773

	Si	P	Sc	V	Cr	Fe	Y	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	log (Cr/Nb)
09_Rt-11	1000	-15	3.94	552	185.3	7156	0.38	810	6638	26.33	28	31.4	501.1	0.304	0.0208	41.79	-1.55416
09_Rt-12	1400	7	2.11	567.5	457.3	5523	0.095	395.1	3690	28.82	17.55	19.78	733	0.277	0.00122	21.59	-0.90683
09_Rt-13	7300	3	6.69	541.3	443.1	5753	4.18	18400	4529	25.62	466	528	669	3.02	21	27.9	-1.0095
09_Rt-14	-600	10	2.27	553.5	309.7	5242	0.076	360.4	3209	29.83	16.37	18.66	598.7	0.326	0.0022	16.8	-1.01543
09_Rt-15	3000	-12	1.57	441.1	349.9	4932	4.68	348.8	3277	34.4	16.23	18.22	608.5	1.352	0.0048	16.66	-0.97153
09_Rt-16	5300	24	3.05	486	740	5730	6.9	8800	4039	27.59	214	243	675	1.165	1.76	36.2	-0.73704
09_Rt-17	51800	25	34.7	623	610.7	4371	45.7	158600	3238	23.25	3930	4450	613.6	1.131	1.89	85.6	-0.72445
09_Rt-18	9500	56	4.4	605	295.7	14340	21.1	382.2	3202	27.8	16.38	18.59	557	4.03	0.08	19.22	-1.03457
09_Rt-19	1100	30	2.98	606.9	471.1	6720	0.159	394.3	6264	25.64	16.55	18.71	456.8	0.338	0.012	34.11	-1.12374
09_Rt-20	2600	174	2.45	638	283.7	6640	4.94	1230	4558	29.5	38.1	44.1	754	0.78	4.2	4.51	-1.20591
09_Rt-21	1800	18	1.98	604	354.3	5520	0.159	331.6	3411	28.2	16.42	18.52	580	0.26	0.38	9.91	-0.98351
MPD-15																	
15_Rt-01	-700	32	4.98	626.1	252.6	4740	0.37	490	1005	6.01	17.9	20.4	30.2	0.263	0.0352	56.55	-0.59973
15_Rt-02	-1400	-10	4.51	612	196.5	7170	0.077	246.5	2052	4.51	11.58	13.42	184.7	0.273	0.0033	92.2	-1.01881
15_Rt-03	400	-18	5.2	656	350.5	7280	0.062	289.2	1356	6.38	12.47	14.48	39.77	0.109	0.0032	63.58	-0.58757
15_Rt-04	1600	24	5.29	653	340.6	4890	0.2	375	1382	5.72	14.9	16.5	48.02	0.237	0.086	65.5	-0.60826
15_Rt-05	2700	1540	6.43	633.3	413.4	6960	440	620	963	6.31	21.6	25.2	31.72	94	2720	225	-0.36726
15_Rt-06	-400	-8	6.31	718	435.7	4164	0.079	292.5	1602	5.14	13.23	15.01	69.4	0.175	0.0128	66.43	-0.56547
15_Rt-07	1700	-25	5.8	680	542.3	14780	3.4	2510	1984	4.92	68	78	160	0.297	0.6	87.9	-0.5633
15_Rt-08	-200	-28	3.93	726	211.2	9310	0.11	282	1171	6.01	12.52	14.12	32.44	0.187	0.0128	61.09	-0.74386
15_Rt-09	1600	-26	5.21	579.7	259.2	7580	0.236	262.9	936	6.05	11.91	13.56	32.33	0.762	2.74	56.28	-0.55764
15_Rt-10	5000	-39	4.59	772	173	9740	1.72	239	1049	6.68	11.33	13.04	42	0.812	0.704	56.92	-0.78273
15_Rt-11	500	-17	5.17	635	299.7	5126	0.109	235	1278	5.81	10.84	12.5	46.18	0.149	0.058	60.4	-0.62984
15_Rt-12	3200	5	3.44	638	382.2	4840	1.94	720	2134	4.8	23.7	26	163.4	0.548	0.156	78.9	-0.7469
15_Rt-13	900	-19	5.58	474.7	332.4	5482	0.156	260.2	2037	4.62	12.18	13.98	167.8	0.198	0.036	97.1	-0.78733
15_Rt-14	900	5	4.18	845	489.2	4960	0.429	193.5	1734	4.67	9.53	10.94	117.2	0.347	0.169	53.67	-0.54956
15_Rt-15	2100	10	4.29	774	381.9	4790	0.124	239.1	1134	5.66	10.63	12.24	44	0.321	0.153	55.92	-0.47266
15_Rt-16	1900	29	5.61	693.6	516.9	6270	0.087	277.5	1946	4.92	12.61	14.24	131.7	0.386	0.0066	81.49	-0.57574
15_Rt-17	0	6	4.3	589	358.9	4800	0.067	178.9	662	5.2	8.11	9.09	21.89	0.199	0.0141	45.21	-0.26588
15_Rt-18	3100	-22	7	586	215.1	7350	4	2250	1251	6.36	60	69	38.13	0.33	0.54	64.8	-0.76462
15_Rt-19	-1200	11	4.92	692.8	378.8	4719	0.089	235.2	1723	5.61	10.79	12.24	91.1	0.271	0.0111	76.5	-0.65788
15_Rt-20	1000	6	4.7	703	469.4	4600	0.244	224.7	1291	5.65	10.3	11.92	48.35	1.76	2.8	62.1	-0.43938
15_Rt-21	-300	-7	5.64	827	385.6	4230	0.362	264.6	1887	4.05	12.01	13.9	112.5	0.263	0.34	96.4	-0.68963
15_Rt-22	1200	6	4.07	636.9	462.7	4340	0.085	241.3	1228	5.64	11.21	12.69	40.42	0.241	0.0122	62.59	-0.4239
15_Rt-23	1600	-12	5.4	716.6	281.5	8800	0.203	260.2	1253	5.53	11.83	13.66	39.04	0.353	0.051	61.14	-0.64847
15_Rt-24	1000	21	3.52	519	286.5	4894	0.291	229	1822	4.27	11	12.69	161.1	0.334	0.0814	78.9	-0.80342
15_Rt-25	-2000	-7	4.61	686	550.8	5390	0.178	261.5	1299	5.69	11.32	13.06	52.63	0.204	0.0153	65.49	-0.37262

	Si	P	Sc	V	Cr	Fe	Y	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	log (Cr/Nb)
15_Rt-26	3600	2	4.06	620	451.4	5730	0.172	244.6	2067	4.45	11.69	13.7	190.4	0.381	0.159	88.6	-0.66078
15_Rt-27	1000	-26	5.1	632.3	458.2	7300	0.063	264.2	1221.9	5.77	11.66	13.27	38.12	0.172	0.0019	59.18	-0.42598
15_Rt-28	500	12	2.46	681	369.2	4893	0.144	251.5	2108	4.95	12.45	14.16	192.8	0.273	0.0753	76.1	-0.75661
15_Rt-29	1400	-3	3.71	1213	378.6	4990	0.117	218.1	1793	6.02	10.62	12.33	95.8	0.364	0.0204	64.22	-0.6754
15_Rt-30	-600	5	6.69	689	303.1	6920	0.054	234.6	1276	5.72	11.09	12.43	64.3	0.123	0.0061	59.3	-0.62426
MPS-17a																	
17a_Rt-01	1500	288	3.8	539.1	287.2	9590	3.65	250.8	3881	24.1	12.52	14.16	483	1.2	0.086	152	-1.13076
17a_Rt-02	3500	19	5	532.2	241	7280	0.308	267.6	4221	25.74	13.61	15.32	492.8	0.357	0.079	191.8	-1.2434
17a_Rt-03	2100	-4	3.68	563.3	375.4	9640	0.081	288.9	4506	27.06	14.31	16.5	513	0.162	0.0052	156.9	-1.0793
17a_Rt-04	1100	-6	4.79	522	358.9	7012	0.305	251.5	3721	23.83	12.93	14.51	486.6	0.355	0.049	177.3	-1.01569
17a_Rt-05	1200	10	3.33	597.7	336.9	8510	0.058	276.4	4009	27.6	13.36	15.3	420.5	0.206	0.00052	189.8	-1.07554
17a_Rt-06	2500	-29	4.54	548	279.3	7310	0.279	266.4	4093	25.75	13.65	15.14	403	0.319	0.035	195.1	-1.16597
17a_Rt-07	13100	-5	11.3	554	409	8140	46	29900	3831	26.5	750	850	379.1	0.529	2.79	258	-0.97159
17a_Rt-08	2300	25	5.87	674	317.1	7330	1.29	237.3	4317	27.14	11.79	13.6	408.9	0.423	0.93	146.7	-1.13399
17a_Rt-09	100	34	3.95	616.1	460.9	13310	0.056	293.5	3790	26.6	14.15	16.48	504.3	0.166	0.0033	191.1	-0.91503
17a_Rt-10	1700	460	4.01	508.1	262.6	8910	11.2	255.3	4395	26.11	13.69	15.53	447.9	2.33	0.219	195	-1.22366
17a_Rt-11	1900	-17	4.52	525.1	270.6	8550	0.46	263.4	3807	24.29	13.54	15.03	474.4	0.644	0.0399	171.2	-1.14826
17a_Rt-12	5000	-6	6.38	628.4	306.4	14530	1.11	284	3881	24.8	14.44	16.1	514.7	0.828	2.137	173.8	-1.10265
17a_Rt-13	5900	12	11.61	560.2	502.3	10570	15.5	14700	3871	25.87	375	426	466.8	0.646	1.89	219.1	-0.88686
17a_Rt-14	2900	30	4.42	483.8	439.3	8380	0.066	255.9	3813	25.46	13.22	15.21	491	0.235	0.0049	197.4	-0.93851
17a_Rt-15	1300	-51	3.53	634	273.1	8630	1.03	266.3	3917	26.7	11.87	13.66	419.3	0.327	0.008	158.8	-1.15663
17a_Rt-16	2600	2	4.36	520.8	469.1	7360	0.109	256.6	4086	26	12.22	13.8	395.7	0.291	0.31	184	-0.94003
17a_Rt-17	400	-9	5.25	686	260.1	7760	0.408	192.6	3647	23.73	9.42	10.38	395.7	0.465	0.0414	124.6	-1.1468
17a_Rt-18	-700	-8	6.65	652	311.9	11820	0.168	253.7	3664	26.8	13.05	14.83	443	0.335	0.0069	167.8	-1.06994
17a_Rt-19	100	-8	4.45	536.2	416.5	8000	0.08	273.5	4080	26.52	13.63	15.65	461.3	0.409	0.0136	188	-0.99105
17a_Rt-20	200	25	3.62	541	302.5	9350	0.09	283.6	4489	26.43	14.22	16.03	424.5	0.232	0.024	155.4	-1.17142
17a_Rt-21	1000	5	3.96	532	500.6	7520	0.058	255.9	3992	25.79	12.31	14.29	438.5	0.453	0.0016	178.7	-0.9017
MPS-18a																	
18a_Rt-01	1300	60	6.3	2345	761	1028	0.401	331.9	1116	4.17	12.88	14.44	21.16	0.9	0.144	6.439	-0.16628
18a_Rt-02	-400	-16	3.6	1813	235.7	3230	0.682	292.2	1583	8.69	11.66	12.47	48.7	1.045	1.053	0.78	-0.82712
18a_Rt-03	1700	-13	7.83	2321	567.9	1783	0.342	312	1536	5.36	12.23	13.96	71	0.448	0.0148	4.84	-0.43212
18a_Rt-04	1100	14	10.9	1821	539.7	1530	54	6630	1418	1.59	164.8	191	36.3	3.46	0.8	23.6	-0.41952
18a_Rt-05	-400	14	6.1	1323	324.8	3153	0.305	313	3857	4.67	12.44	14.57	102.5	1.036	0.814	5.17	-1.07463
18a_Rt-06	600	-23	6.66	2574	523	1950	0.33	220.5	1870	4.16	10.81	12.45	83.5	1.61	0.69	1.02	-0.55334
18a_Rt-07	-1300	3	7.22	1818	361.3	2238	0.104	312.1	2163	4.26	12.5	14.13	63.3	0.547	0.0169	4.796	-0.77719
18a_Rt-08	2000	-1	3.67	1986	208	2066	0.208	335.7	1496	3.99	13.25	15.1	51.9	0.651	0.0322	12.46	-0.85687
18a_Rt-09	3500	29	11.94	1670	661	2127	9.9	7560	2312	3.63	192	220	81.3	0.375	0.88	16.3	-0.54379

	Si	P	Sc	V	Cr	Fe	Y	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	log (Cr/Nb)
18a_Rt-10	700	-37	6.02	1829	608	1605	1.56	272	1427	2.69	11.32	12.71	100.2	3.36	1.98	2.16	-0.37052
18a_Rt-11	2400	33	1.99	1550	328.6	5160	0.564	312.8	713	10.44	11	12.39	53.9	6.37	1.4	1.38	-0.33642
18a_Rt-12	1600	-8	4.56	3740	492	992	1.06	4260	1049	4.01	102	116	35.2	1.157	0.0335	4.39	-0.32881
18a_Rt-13	8300	15	12.6	1162	422	2649	101	24500	2631	6.26	608	694	78.9	5.6	28.6	54.9	-0.79481
18a_Rt-14	-1400	-17	3.68	1086	340.8	4210	0.25	337.1	2736	13.74	13.22	15.01	91.6	0.485	1.196	15.87	-0.90462
18a_Rt-15	-400	-14	15.79	1657	724	1582	0.444	305.5	1301	3.63	11.65	13.36	113.4	3.48	1.399	4.52	-0.25454
18a_Rt-16	1700	-1	2.5	2782	614	2290	0.155	314.7	834	5.87	9.36	10.46	32.92	1.122	0.014	6.34	-0.133
18a_Rt-17	-1000	22	10.69	3861	619.5	924	0.17	268.9	1258	2.3	11.89	13.9	95.5	0.698	0.006	1.903	-0.30764
18a_Rt-18	13500	37	3.88	2222	246.3	1864	1.12	258	1000	8.23	10.76	12	40.5	2.13	0.0652	0.639	-0.60854
18a_Rt-19	-200	-27	2.38	2783	629.7	816	0.92	324.2	1629	2.64	13.28	15.11	23.12	0.53	0.0107	5.63	-0.41279
18a_Rt-20	-1500	-26	3.92	762	316.9	7030	0.232	334	7240	8.5	15.06	17.24	405.7	0.644	0.076	67.92	-1.35882
18a_Rt-21	900	-33	5.98	3201	545	2740	0.93	277.4	894	4.48	10.69	12.15	49.8	1.45	0.903	2.043	-0.21494
18a_Rt-22	5100	32	7.4	2569	400	1594	3.87	17500	964	3.96	419	476	43.33	2.88	0.219	34.2	-0.38202
MPS-19a																	
19_Rt-01	2000	196	3.57	1538	769	1190	1.25	65	683	0.234	2.69	2.82	75.5	1.795	0.048	0.74	0.051506
19_Rt-02	3100	29	4.44	1509	917	2800	4.88	527	772	0.202	13.8	16.3	31.9	1.55	1.034	2.68	0.074752
19_Rt-03	13300	21	3.64	1194	299.1	2595	2.02	24.71	2527	0.208	1.414	1.56	43	1.428	0.231	0.328	-0.92679
19_Rt-04	7600	930	2.53	1447	947	2190	6.7	123	1404	0.155	3.7	4.2	33.7	2.82	0.25	0.43	-0.17102
19_Rt-05	2300	-2	1.6	1562	575	1322	0.31	29.7	932	0.25	1.6	1.74	32.5	0.795	0.056	0.467	-0.20975
19_Rt-06	3400	2752	4.62	1348	830.8	2442	15.11	1740	1329	0.291	41.2	46.9	55	4.43	1.423	4.19	-0.20403
19_Rt-07	400	28	5.5	1509	322.8	1646	5.12	477	1937	0.194	14.2	16.8	41.5	2.49	2.8	3.58	-0.7782
19_Rt-08	2500	370	4.66	1379	1014	1531	3.01	227	980	0.289	7	8	58.5	1.32	0.352	0.84	0.014812
19_Rt-09	15300	65	3.66	1293	370.3	2603	0.63	26.22	2378	1.11	1.371	1.573	27.34	1.54	0.457	0.442	-0.80766
19_Rt-10	5900	206	5.11	1382	803.7	1964	2.66	140.4	664.5	0.202	4.42	4.9	32.5	1.349	0.0906	0.906	0.082599
19_Rt-11	100	1650	2.05	1422	1115	1696	7.38	169	874	0.172	5.38	6.43	93.3	1.96	0.161	1.25	0.105763
19_Rt-12	4400	-8	3.87	1470	541.5	4270	2.05	43.2	705	0.225	1.63	2	19.05	5.13	0.658	0.787	-0.11459
19_Rt-13	8300	148	3.78	1338	906	2078	1.68	127	703	0.175	4.39	5.11	26.82	1.092	0.0132	0.598	0.110173
19_Rt-14	100	4830	3.01	1503	998	1455	18.9	282	773	0.181	8.43	9.8	41	5.02	0.094	1.97	0.110951
19_Rt-15	7500	7	4.52	1635	602.4	909	6.24	692	1103	0.245	17.9	20.1	85.9	0.805	0.166	3.59	-0.26269
19_Rt-16	-500	1235	3.86	1400	1043	965	7.98	266	596	0.265	8.09	8.94	27.3	1.668	0.06	2.52	0.243038
19_Rt-17	2000	14	2.19	1592	1142	1212	2.47	368	1001	0.199	9.2	10.9	39.7	0.7	0.079	1.1	0.057232
19_Rt-18	3400	12	2.34	1704	950	1329	0.6	42	1092	0.193	1.53	1.88	22.61	0.983	0.08	0.303	-0.0605
19_Rt-19	3500	700	3.03	1441	1113	812	4.88	102	977	0.306	3.62	4.24	50.3	1.98	1.579	0.956	0.056601
19_Rt-20	2600	323	3.46	1483	932	1532	3.46	259	698	0.233	7.8	8.7	48.2	1.042	0.065	1.71	0.12556
19_Rt-21	11500	0	4.57	1385	835	2310	0.71	107	648	0.169	3.79	4.24	34	1.92	0.0215	0.892	0.110111
19_Rt-22	14900	-15	3.58	1539	455	4960	0.62	41.2	2508	0.182	2.13	2.39	67.4	3.925	0.368	0.791	-0.74132
19_Rt-23	12900	960	4.03	1421	699	3800	6.23	244	720	0.359	7.25	8.35	43.1	3.1	0.226	1.52	-0.01286

	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>Sc</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>Y</i>	<i>Zr</i>	<i>Nb</i>	<i>Mo</i>	<i>Hf</i>	<i>Ta</i>	<i>W</i>	<i>Pb</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	<i>log (Cr/Nb)</i>
19_Rt-24	400	42	2.94	1475	1330	1139	2.17	450	1177	0.247	12.4	13.9	38.5	0.422	0.072	1.52	0.053075
19_Rt-25	25500	327	1.88	1677	703	1369	1.51	67.2	1166	0.239	2.38	2.85	75.7	0.915	0.0369	0.702	-0.21974
19_Rt-26	15300	39	5.36	1458	654.8	2550	6.17	2170	370	0.38	59	67.1	180.1	4.35	0.254	4.32	0.247907
19_Rt-27	-1000	17	3.28	1381	557	1205	0.72	145	454	0.378	5.1	6.3	113.8	0.681	0.072	0.74	0.088799
19_Rt-28	2100	240	5.41	1843	1107	1918	3.62	191	794	0.22	5.65	6.84	23.15	1	0.0292	1.35	0.144327
19_Rt-29	5800	-1	3.04	1440	540.9	1771	0.615	51	637	0.189	2.096	2.34	19.81	0.99	0.0334	0.517	-0.07102
19_Rt-30	9700	1900	3.99	1356	971	2007	7.34	87.6	690	0.169	3.11	3.64	26	3.14	0.091	0.649	0.14837