



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**CENTRO DE GEOCIENCIAS**

**TECTÓNICA DE LA PORCIÓN CENTRAL DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL Y SU  
RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE CALOR EN LA CORTEZA SUPERIOR: CASO DE  
ESTUDIO SEMIGRABEN DE SANTIAGO PAPASQUIARO**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**DOCTOR EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**PRESENTA:**  
**JUAN CARLOS CASTILLO REYNOSO**

**TUTOR**  
**DR. LUCA FERRARI (CENTRO DE GEOCIENCIAS, UNAM)**

**COMITÉ EVALUADOR**  
**DR. ANGEL FRANCISCO NIETO SAMANIEGO (CENTRO DE GEOCIENCIAS, UNAM)**  
**DR. GILLES LEVRESSE (CENTRO DE GEOCIENCIAS, UNAM)**  
**DR. JOSE JORGE ARANDA GÓMEZ (CENTRO DE GEOCIENCIAS, UNAM)**  
**DR. PABLO DÁVILA HARRIS (IPICYT)**

**JURIQUILLA, QRO., MÉXICO**

**ENERO 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

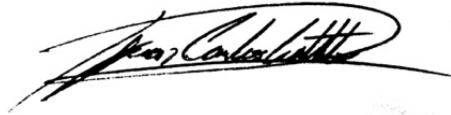
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

### **Declaración de ética**

“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 firmar al alcance que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Toda la actividad de, o referencias a, la obra de otros autores aparecerá debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales”.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Carlos Castillo Reynoso', with a large, sweeping flourish at the end.

Juan Carlos Castillo Reynoso

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Dr. Luca Ferrari por la tutoría y las enseñanzas de toda índole durante mi etapa de posgrado. Extiendo mis agradecimientos por el financiamiento del proyecto de doctorado al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), lo cual brindó los recursos necesarios a través del proyecto PAPIIT IV100117.

Mi especial gratitud para los colegas y amigos que estuvieron en las jornadas de campo: Sandra Juárez, Mónica Ramírez y Alexis del Pilar.

A los miembros del comité tutorial; la Dra. Teresa Orozco y Marina Manea.

Gracias a mi amiga Andrea Billarent y al Dr. Gilles Levresse por su discusión e importantes aportaciones para la publicación de uno de los artículos de este trabajo.

A las personas que aportaron a la obtención de datos: el Dr. Carlos Ortega con los datos U-Pb en el LEI del CGEO, al ingeniero Juan “juanito” por el apoyo con la elaboración de láminas delgadas en el taller de laminación del CGEO y a la M. C. Geysler Fernández del Instituto de Geología de la UNAM por el apoyo brindado para usar el espectrómetro de rayos gamma portátil.

A mis amigos Sandra, Mónica, Andrea y Carlos, por hacer este proceso ameno y lleno de aprendizaje.

A los investigadores Ángel Nieto, Jorge Aranda, Pablo Dávila y Gilles Levresse quienes fungieron como sinodales y cuyos comentarios mejoraron la tesis.

A las personas que de manera anónima estuvieron en momentos difíciles y que me levantaron para que este proyecto llegara a su fin.

A mi familia por siempre mostrarme su cariño y admiración.

# CONTENIDO

<b>Resumen</b>	<b>i</b>
<b><i>Abstract</i></b>	<b>iii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Hipótesis	2
1.3 Región de estudio	3
1.4 Generación de calor en la corteza continental	5
<b>2. Metodología</b>	<b>8</b>
2.1 Cartografía geológica	8
2.2 Geocronología U-Pb en zircón	8
2.3 Espectrometría de rayos gamma <i>in-situ</i>	9
2.4 Isotopía de He en aguas superficiales	10
2.5 Sondeos magnetotelúricos	11
<b>3. Marco geológico</b>	<b>13</b>
3.1 Sierra Madre Occidental	13
3.2 Estratigrafía regional del área de estudio	14
3.3 Estratigrafía del Semigraben de Santiago Papasquiaro	15
3.4 Eventos de deformación y estructura regional	17
<b>4. Resultados</b>	<b>23</b>
4.1 Estratigrafía	23
4.1.1 Grupo Garame (Cretácico Superior)	23
4.1.2 Lavas e ignimbritas félsicas (Ypresiano)	24
4.1.3 Andesitas (Eoceno)	24
4.1.4 Sucesión vulcanosedimentaria (Priaboniano)	24
4.1.5 Sucesión piroclástica superior (Priaboniano-Rupeliano)	25
4.1.6 Lavas riolíticas (Rupeliano)	26
4.1.7 Formación Santiago (Oligoceno–Mioceno tardío)	26
4.1.8 Lavas basálticas (Tortoniano)	30

4.1.9 Unidades intrusivas intermedias	31
4.2 Estructura del área de estudio	37
4.2.1 Geología estructural	37
4.2.2 Perfiles magnetotelúricos	40
4.3 Producción de calor	45
4.3.1 Estimación de densidad	45
4.3.2 Contenido de radioelementos (U, Th y K) y producción de calor	45
4.4 Isotopos de Helio	53
<b>5. Discusión</b>	<b>59</b>
5.1 Evolución geológica	59
5.2 Estructura regional: implicaciones para las manifestaciones termales	60
5.3 Producción de calor	62
5.4 implicaciones de los isotopos de gases nobles	64
<b>6. Conclusiones</b>	<b>69</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>71</b>
<b>Anexos</b>	<b>85</b>
Anexo 1	85
Anexo 2	102
Anexo 3	104
Anexo 4	128
Anexo 5	136

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Contexto tectónico regional de la SMO y localización del área de estudio.

Figura 2.1. Localización de las muestras obtenidas para fechamiento U-Pb y muestras de aguas termales. Además, se presentan los puntos en los que se midieron concentraciones de radioelementos y la localización de los sondeos MT con sus respectivas líneas de sección.

Figura 2.2. Espectrómetro portátil de rayos gamma con el cuál se realizaron mediciones *in-situ* de radioelementos (U, Th y K).

Figura 3.1. Mapa geológico regional del centro y sureste de la SMO, el cual muestra la distribución de las unidades presentadas en la Tabla 1. Este mapa fue tomado de Ferrari et al. (2018) y cuenta con una versión interactiva (<https://terradigitalis.igg.unam.mx/html/mapas/numero4/ferrari2/>).

Figura 3.2. Edades de deformación extensional en la SMO. Modificado de Ferrari et al. (2018a).

Figura 3.3. Resumen de los eventos de extensión y magmatismo en la SMO. Modificada de Ferrari et al. (2017). La convergencia relativa y dirección entre las placas Farallón y Norte América están basadas en Müller et al. (2016).

Figura 4.1 Mapa geológico del área de estudio. Modificado de Castillo-Reynoso et al. (2022).

Figura 4.2. Fotografías de afloramientos representativos de las distintas unidades litológicas.

Figura 4.3. Fotomicrografías de muestras representativas de las distintas unidades litoestratigráficas.

Figura 4.4. Columna estratigráfica del área de estudio. Se muestran las edades U-Pb en zircón obtenidas en este trabajo para las rocas volcánicas. La columna de la derecha muestra los diagramas de densidad de probabilidad de las edades U-Pb de zircones detríticos y los principales eventos magmáticos del occidente de. Modificada de Castillo-Reynoso et al. (2022).

Figura 4.5. Edades U-Pb en zircones de las muestras de rocas ígneas. Se muestra el diagrama de concordia de Tera-Wasserburg y la edad por promedio ponderado.

Figura 4.6. Orientación de las estructuras de acuerdo con la posición estratigráfica de las unidades a las que afectan (Eoceno-Oligoceno, Eoceno y Cretácico Superior).

Figura 4.7. Mapa estructural. Los datos estructurales incluyen principalmente los obtenidos en este trabajo y están complementadas por los datos de Loza-Aguirre et al., 2012 y datos de las

cartas geológico-mineras 1:50000 Tepehuanes (G13-C37), Llano Prieto (G13-C58) y San Nicolás de Presidio (G13-C38).

Figura 4.8. Fotografías de estructuras que afectan al Grupo Garame.

Figura 4.9. Fotografías de las estructuras que afectan las rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno.

Figura 4.10. Secciones geológico-estructurales.

Figura 4.11. Fotografías panorámicas de las principales estructuras del área de estudio.

Figura 4.12. Perfiles magnetotelúricos y modelos digitales de elevación del estudio. Las imágenes se obtuvieron con el software Leapfrog.

Figura 4.13. Perfiles magnetotelúricos del área de estudio. Exageración vertical = 3. La localización de los sondeos se muestra en la figura 4.7.

Figura 4.14. Histogramas con los contenidos de radioelementos en las rocas del área de estudio. Los datos fueron medidos *in-situ* mediante un espectrómetro de rayos gamma.

Figura 4.15. Relaciones entre U, Th y K con la producción de calor, así como relaciones entre los contenidos de estos radioelementos.

Figura 4.16. Distribución geográfica de los datos de producción de calor en la región de Santiago Papasquiari. Se incluye la localización de las muestras de aguas termales y sismos históricos.

Figura 4.17. Columna estratigráfica del área de estudio con los datos de producción de calor para cada unidad litoestratigráfica (diagramas de densidad de probabilidad de la derecha).

Figura 4.18. Diagrama R/Ra Vs  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$  para la composición isotópica de helio de muestras de gases disueltos en las muestras de agua de las manifestaciones termales de Santiago Papasquiari. En la figura se muestran los miembros finales ASW, manto y corteza, así como los porcentajes de contribución del aire y del manto.

Figura 5.1. Perfil cortical esquemático de la SMO a través de las estructuras del SGSP y el GS.



## Índice de tablas

Tabla 1.1. Características de los principales radioelementos naturales de larga vida.

Tabla 3.1. Unidades litológicas descritas a nivel regional en la SMO.

Tabla 3.2. Sismos registrados en el semigraben de Santiago Papasquiario y el Graben de Santiaguillo.

Tabla 4.1. Edades U-Pb en zircones de muestras fechadas en este trabajo.

Tabla 4.4. Resultados del análisis cinemático de fallas en el área de estudio. Los datos se muestran en los diagramas de la Figura 3.19 y fueron obtenidos con el software *Faultkin* (Marrett y Allmendinger, 1990; Allmendinger *et al.*, 2012).

Tabla 4.5. Densidades promedio de los diferentes grupos de roca, estos valores fueron utilizados para el cálculo de la producción de calor. La densidad de los esquistos fue tomada de Smithson (1971).

Tabla 4.6. Concentraciones de  $^4\text{He}$  y  $^{20}\text{Ne}$  y relaciones isotópicas  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ . La relación R/Ra representa las relaciones isotópicas de helio, donde R es la relación  $^3\text{He}/^4\text{He}$  determinadas en las muestras y Ra representa la relación de la atmósfera ( $1.39 \times 10^{-6}$ ). Rc/Ra es el valor corregido para la contaminación atmosférica usando la ecuación de la relación  $^4\text{He}/^{4\text{He}/^{20}\text{Ne}}\text{Ne}$  de aire normalizado de Hilton (1996). A, C y M representan los componentes atmosférico, cortical y mantélico, respectivamente.

## RESUMEN

En el centro y sureste de la provincia ígnea silícica Sierra Madre Occidental (SMO), dentro de cuencas extensionales, se encuentran varias zonas con manifestaciones termales donde las temperaturas en aguas superficiales alcanzan hasta 74°C. Estas cuencas extensionales se desarrollaron desde el Eoceno tardío hasta el Oligoceno coetáneamente con actividad magmática que produjo grandes volúmenes de rocas silícicas de la SMO en su porción central (p. Ej. Durango, Sinaloa y Zacatecas) y cuyo pico volcánico culminó hace ~30 Ma. Por lo tanto, la actividad hidrotermal actual no se puede asociar a vulcanismo reciente o cámaras magmáticas en proceso de enfriamiento y/o adelgazamiento cortical, como ocurre en zonas geotérmicas convencionales. La hipótesis que se propone para explicar el origen del termalismo en la porción centro-oriental de la SMO es que las aguas termales son calentadas por una corteza superior enriquecida en elementos radiogénicos y por lo tanto productora de calor, además de una posible convección a lo largo de fallas profundas.

En este trabajo se estudió el área hidrotermal del Semigraben de Santiago Papasquiario, ubicado al norte de la ciudad de Durango, sobre el borde oriental de la SMO. En esta región, se cruzan porciones de dos sistemas de fallas regionales: el sistema de fallas con orientación NO-SE San Luis-Tepehuanes, representado en el área de estudio por los grábenes de Santiaguillo y Tepehuanes y el sistema de fallas NNO-SSE del Graben Río Chico-Otinapa, representado en el área de estudio por el Semigraben de Santiago Papasquiario. En este trabajo se detalló la estratigrafía regional, con base en trabajo de campo y geocronología U-Pb en zircones y se obtuvieron datos estructurales y perfiles magnetotélúricos para caracterizar la estructura regional en el área de estudio. Para determinar la posible asociación de una corteza radiogénica con la fuente termal, se realizaron mediciones de contenidos de radioelementos *in-situ* en todas las unidades litoestratigráficas usando un espectrómetro portátil de rayos gamma. Además, se analizaron isótopos de He y Ne en aguas termales para determinar el origen de la composición de isótopos de gases disueltos.

Las nuevas edades muestran que el área de estudio registra cuatro eventos volcánicos representados por: 1) una sucesión vulcanosedimentaria continental del Cretácico Tardío-Paleoceno (Grupo Garame) asociada al Arco Magmático Mexicano, 2) ignimbritas y lavas riolíticas del Ypresiano, 3) extenso vulcanismo silícico del Priaboniano-Rupeliano conformado por ignimbritas silícicas y en menor medida domos riolíticos asociados al pulso principal de la gran provincia silícica de la

SMO y 4) pequeños volúmenes de lavas basálticas del Mioceno tardío. Además, se reconocen los eventos de sedimentación que acompañan o sobreyacen los eventos volcánicos: 1) en el Cretácico Tardío (Coniaciano-Santoniano)-Paleoceno dentro del Grupo Garame, 2) en el Priaboniano asociado al inicio de la tectónica extensional, 3) en el Ypresiano, registrado en areniscas intercaladas con rocas del pulso volcánico principal y 4) en el Oligoceno tardío- Mioceno temprano en rocas sedimentarias que conforman el relleno de las estructuras de graben y semigraben, las cuales se encuentran intercaladas a la cima con basaltos de ~12-11 Ma. En este trabajo también se reconocieron y fecharon cuerpos intrusivos de composición intermedia con edades del Cretácico Superior (~66 Ma) y del Eoceno Tardío (~39 Ma).

De manera general, las unidades volcánicas se encuentran enriquecidas en radioelementos, es decir, los valores medidos y su producción de calor resultante sobrepasan los valores esperados para una corteza continental superior y para rocas ígneas silíceas. Además, los valores de producción de calor son comparables con rocas graníticas conocidas como “granitos productores de calor”.

La caracterización de los isótopos de He y Ne en las aguas termales muestra una componente cortical importante (79.4 – 96.1%) y una componente menor de origen mantélico (1.9 – 9.4%). Estos componentes difieren de los sistemas hidrotermales asociados a zonas geotérmicas con volcanismo reciente (P. Ej. Los Humeros o Los Azufres, en México) y también difiere del sistema no convencional del Graben de Juchipila, en el sur de la SMO.

La caracterización de la estructura regional muestra que los sistemas de fallas que se cruzan en el área de estudio se desarrollaron de manera contemporánea y que estos sistemas NO-SE y NNO-SSE se desarrollaron posteriormente al depósito de cuencas continentales y fallamiento del Cretácico Tardío-Paleoceno. La interacción de los sistemas de fallas juega un papel importante en el ascenso y calentamiento por convección de las aguas termales.

En conclusión, los datos obtenidos muestran que las rocas del Eoceno-Oligoceno se encuentran enriquecidas en radioelementos debido al continuo reciclaje de la corteza continental y evidentemente al voluminoso magmatismo silíceo. Las rocas mapeadas y caracterizadas en el área de estudio representan la expresión superficial de la corteza continental a nivel local, por lo que se infiere que, si las rocas volcánicas en superficie son productoras de calor, entonces las rocas asociadas a profundidad también lo son y contribuyen al calentamiento de las aguas que se infiltran a través de las fallas profundas, principalmente en las zonas de intersección de los sistemas de fallas.

## *ABSTRACT*

In the central and southeastern Sierra Madre Occidental silicic igneous province (SMO), several thermal springs with surficial water temperatures up to 74 °C are found within extensional basins developed from the late Eocene to Oligocene. The emplacement of large volumes of silicic rocks in the central SMO (Durango, Sinaloa, and Zacatecas states) culminated ~30 Ma ago and waned shortly after. Therefore, the current hydrothermal activity cannot be associated with recent volcanism or cooling magmatic chambers and/or crustal thinning as in conventional geothermal sites. In this work we test the hypothesis that the heat source the thermal springs is related to a radiogenic heat-producing upper crust, which may be accompanied by convection through deeply rooted faults.

To determine the origin of the heat source that generates the thermal springs we studied the hydrothermal area of the Santiago Papasquiario Half-graben, located north of Durango city, on the eastern boundary of the SMO where two regional fault systems intersect: the NW-SE San Luis-Tepehuanes fault system, represented in the study area by the Santiaguillo and Tepehuanes grabens, and the NNW-SSE fault system of the Río Chico-Otinapa Graben, represented by the Santiago Papasquiario Half-Graben. We reconstruct and refine the regional stratigraphy based on field work and zircon U-Pb geochronology, coupled with structural studies and magnetotelluric profiles to characterize the regional structure. To determine the likely association of a radiogenic crust with the hot springs, in-situ radioelement content measurements were obtained in all lithostratigraphic units using a portable gamma ray spectrometer. In addition, we carried out an isotopic study of He and Ne dissolved gases.

The new U-Pb ages show four volcanic events which are represented by: 1) a Late Cretaceous-Paleocene continental volcanosedimentary succession (Garama Group) which is associated with the Mexican Magmatic Arc, 2) Ypresian rhyolitic ignimbrites and lavas, 3) widespread Priabonian-Rupelian silicic volcanism which consist of silicic ignimbrites and lesser rhyolitic domes, associated with the Oligocene flare-up of the SMO, and 4) small volumes of late Miocene basaltic lavas. Detrital zircon U-Pb ages document several sedimentation events accompanying or separating the volcanic pulses: 1) Late Cretaceous (Coniacian-Santonian)-Paleocene sedimentation of the Garama Group, 2) Priabonian sedimentation associated with the beginning of extensional tectonics, 3) Ypresian sandstones interbedded with rocks of the main volcanic pulse and, 4) Late

Oligocene-Early Miocene sedimentary rocks that make up the fill of the graben and half-graben structures, which are interbedded at the top with ~12-11 Ma basalts. Were also dated intrusive bodies of intermediate composition with ages of Late Cretaceous (~66 Ma) and Late Eocene (~39 Ma) In general, the volcanic units are enriched in heat producing elements (U, Th and K), with measured values and their resulting heat production exceeding the expected values for an upper continental crust and for silicic igneous rocks. Furthermore, the heat production values are in the range of granitic rocks called “high heat producing granites”.

The He and Ne isotopic composition from thermal springs shows a major radiogenic crustal input (79.4 – 96.1%) and a minor mantle input (1.9 – 9.4%). These results differ from the hydrothermal systems associated with recent volcanism (e.g., Los Humeros or Los Azufres geothermal sites, in Mexico). These results also differ from the unconventional system in the Juchipila Graben, south of the SMO, where the geological setting is basically the same as the study region.

The regional structure shows that the study area is characterized by fault systems interaction, where NW-SE and NNW-SSE fault systems developed coevally after the Late Cretaceous-Paleocene deposition of continental basins and subsequent faulting, which is observed in the Garame Group west of Santiago Papasquiaro. The interacting fault systems plays an important role for the fluids ascent and convective heating.

In conclusion, results show that the Eocene-Oligocene rocks are enriched in heat producing elements due to the continuous crustal recycling and voluminous silicic magmatism. The mapped rocks represent the surficial expression of the continental crust in the study area, hence it is inferred that, if the outcropping volcanic rocks are heat producers, then the associated plutonic rocks at depth are also high heat producing rocks. These rocks contribute to the heating of the waters that are infiltrated through deep rooted faults that bound tectonic domain boundaries.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Los sitios geotérmicos convencionales se encuentran en regiones con un flujo de calor alto debido a la actividad tectónica asociada a magmatismo reciente. Estas zonas se encuentran en ambientes tectónicos de zonas de subducción o en regiones con extensión litosférica (Moeck, 2014). Otro tipo de sitios geotérmicos son aquellos en los que las anomalías térmicas no se encuentran asociadas a actividad tectónica o a actividad volcánica reciente y a pesar de ello se caracterizan por un flujo de calor alto y manifestaciones termales superficiales, estos sitios son asociados a lo que se denomina yacimientos geotérmicos no convencionales, como los sistemas geotérmicos mejorados (EGS por sus siglas en inglés), sistemas magmáticos con fluidos supercríticos o los sistemas geopresurizados (Procesi, 2015).

México es uno de los países con mayor potencial geotérmico en el mundo (Prol *et al.*, 2018; Archer, 2020; Lund y Toth, 2021) y se han estudiado ampliamente sitios geotérmicos convencionales asociados a calderas y complejos de domos del Pleistoceno superior y Holoceno (en la Faja Volcánica Trans-Mexicana Los Azufres, Los Humeros, La Primavera y Domo de San Pedro, Tres Vírgenes en Baja California) (Gutiérrez-Negrín, 2019). Además, se encuentra el campo Cerro Prieto, el cual está asociado a una situación excepcional de límite de placas divergente tierra adentro en una cuenca *pull-apart*, en el límite entre las placas de Norteamérica y Pacífico (Gutiérrez-Negrín, 2019). En las provincias volcano-tectónicas activas de México, el flujo de calor promedio excede los  $100 \text{ mWm}^{-2}$  (Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019; Carrillo-de la Cruz *et al.*, 2021).

Ejemplos de reservorios geotérmicos no asociados a volcanismo reciente (p. Ej. Soultz-sous-Forest, Francia; Queensland, Australia; Fenton Hill, EUA) se han documentado en regiones con ocurrencia de batolitos graníticos que se encuentran a profundidades de hasta  $\sim 3.5 \text{ km}$ , los cuales están afectados por fallas corticales y están sobreyacidos por sucesiones sedimentarias con baja conductividad térmica (capa sello). Estas rocas graníticas tienen edades del Precámbrico y Paleozoico y se caracterizan por sus altos contenidos de radioelementos y por lo tanto una alta producción de calor ( $>5 \text{ } \mu\text{Wm}^{-3}$ ) debido a las reacciones exotérmicas del decaimiento radiactivo de los elementos uranio, torio y potasio (Rummel, 1992; Siégel *et al.*, 2014; Norbeck *et al.*, 2018).

El flujo de calor resulta de la transferencia de calor desde el interior del planeta más el calor producido por elementos productores de calor (U, Th y K), este último factor puede ser significativo principalmente en regiones con rocas félsicas jóvenes, como es el caso de la Sierra Madre Occidental (Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019).

En la provincia ígnea silícica de la Sierra Madre Occidental (SMO) se ha reportado la presencia de manto astenosférico a profundidades anómalamente someras, ya que el manto litosférico es delgado o se encuentra completamente removido (Ferrari *et al.*, 2018a y referencias en este trabajo). El emplazamiento del voluminoso vulcanismo silícico de la SMO fue acompañado por extensión cortical principalmente desde el Eoceno hasta el Mioceno temprano (Ferrari *et al.*, 2007, 2013, 2018a), incluso hasta el Mioceno tardío en el Graben de Juchipila (González-Cervantes *et al.*, 2019) y Cuaternario en el Campo Volcánico Durango (Aranda-Gómez *et al.*, 2007) ésta tectónica extensional dio lugar a la formación de grábenes con dirección predominante N-S (Ferrari *et al.*, 2018a), de las cuales las principales estructuras en la porción suroriental son: los grábenes de Tlaltenango y Juchipila, en Jalisco y Zacatecas y en los grábenes de Mezquital, Santiaguillo y Río Chico-Otinapa en Durango. Dentro de estas cuencas extensionales se encuentran manifestaciones termales (Hiriart Le Bert, 2011; Dávalos-Elizondo y Briceño-Prieto, 2013; Ferrari *et al.*, 2018a) con temperaturas de aguas termales entre 35 °C y 74 °C (Torres-Rodríguez *et al.*, 1993).

## 1.2 Hipótesis

La SMO se caracteriza por grandes volúmenes de rocas volcánicas silícicas, cuyo último pico magmático culminó en el lapso entre ~24-18 Ma (Ferrari *et al.*, 2007, 2018a; Bryan *et al.*, 2008; McDowell y McIntosh, 2012). La mayor parte de esta provincia volcánica se caracteriza por un flujo de calor alto (Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019; Carrillo-de la Cruz *et al.*, 2021) y la presencia de manifestaciones termales dentro de cuencas extensionales rellenas por sucesiones sedimentarias, probablemente de baja conductividad térmica (Ferrari *et al.*, 2018b). En este contexto, se plantea que la SMO se encuentra en condiciones geológicas similares a las de los sitios geotérmicos no convencionales asociados a granitos productores de calor (granitos con alto contenido de U, Th y K; p. Ej. granitos de Queensland Australia, Siegel *et al.*, 2014).

En ausencia de volcanismo reciente en muchos sitios de la SMO, la hipótesis para explicar las manifestaciones termales y el alto flujo de calor anómalo en la SMO es que existe transferencia de calor desde el manto hacia la corteza superior a través de fallas corticales, lo cual es potencializado por la presencia de rocas productoras de calor que podrían representar entre 10 a 20 km de espesor en la corteza superior como lo muestran interpretaciones de la configuración de la corteza continental en regiones geológicamente similares (p. Ej. Saleeby *et al.*, 2003; Paterson *et al.*, 2011; Lipman y Bachmann, 2015). Estas rocas volcánicas y su contraparte intrusiva, por ser predominantemente de composición silícica pueden tener altos contenidos de radioelementos (Rybach y Buntebarth, 1981; Bea, 2012; Artemieva *et al.*, 2017a; Hasterok y Webb, 2017).

En el Graben de Juchipila, al norte del estado de Jalisco y sur de Zacatecas, Billarent-Cedillo *et al.* (2021) presentan la primera evaluación de la posible fuente de calor para las manifestaciones termales en la parte sureste de la SMO. Estos autores concluyen, con base en isótopos de He y datos geoquímicos de aguas termales, que la anomalía térmica que calienta las aguas se debe a la circulación de agua meteórica a través de fallas y también mencionan que el decaimiento radiactivo en el área podría alterar el gradiente geotérmico y contribuir al calentamiento del agua.

Para confirmar la posible fuente de calor de las manifestaciones termales de la SMO en el borde oriental del centro de la SMO, en el presente trabajo se documentó la estratigrafía de las rocas expuestas en superficie, acompañada de geocronología U-Pb en zircones, así como la estructura del Semigraben de Santiago Papasquiario, Durango (Figura 1.1) que se complementó con la medición *in-situ* de radioelementos en las unidades litológicas y mediciones de isótopos de He y Ne en aguas termales.

### **1.3 Región de estudio**

El área de estudio se enmarca regionalmente en el borde oriental de la porción central de la SMO (Figura 1.1) y se ubica en el Semigraben de Santiago Papasquiario (SGSP) (Loza-Aguirre *et al.*, 2012), una estructura de orientación NNO-SSE al norte del Graben Río Chico Otinapa (GRCO) (Aranda-Gómez *et al.*, 1997; Henry y Aranda-Gómez, 2000) que corta el sistema San Luis-Tepehuanes (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005) en su porción más septentrional. El SGSP se desarrolló desde el Eoceno tardío hasta el Cuaternario (Loza-



Aguirre *et al.*, 2012) y está localmente caracterizado por sismicidad de baja magnitud en zonas de falla (Nieto-Samaniego *et al.*, 2012), estas zonas de falla funcionaron como conductos para el emplazamiento del volcanismo máfico de intraplaca en el GRCO en el Mioceno tardío y Cuaternario (Henry y Aranda-Gómez, 1992). En el SGSP se han reportado temperaturas máximas en aguas termales, de hasta 74 °C (Torres-Rodríguez *et al.*, 1993), 54 °C por encima del promedio de la temperatura media anual de la región (Dávalos-Elizondo y Briceño-Prieto, 2013), es por ello por lo que el área de estudio representa una zona ideal para el entendimiento del origen del termalismo dentro de las cuencas de la SMO.

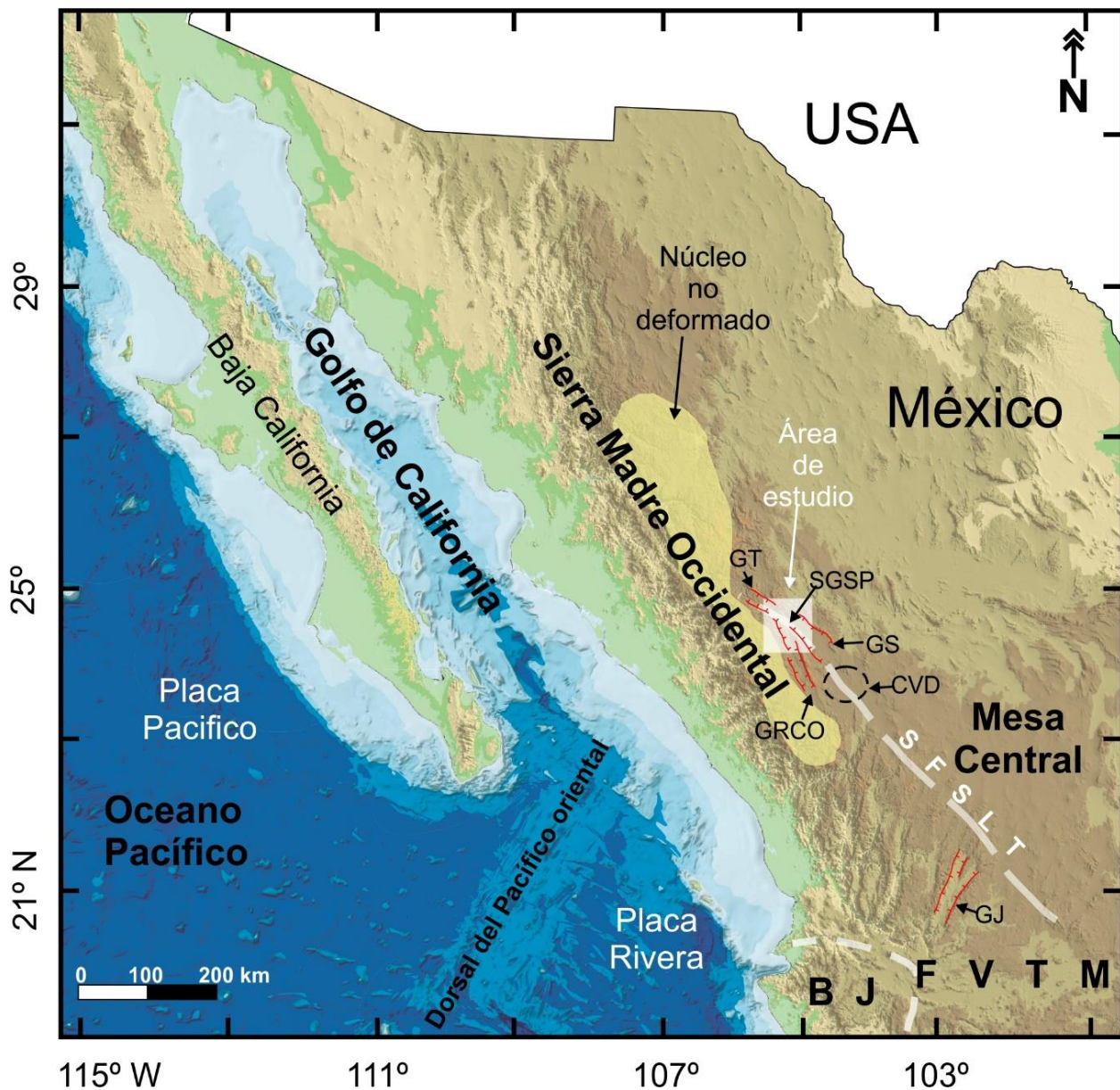


Figura 1.1 Contexto tectónico y localización del área de estudio. BJ–Bloque Jalisco, FVTM–Faja Volcánica Transmexicana, GT–Graben Tepehuanes, SGSP–Semigraben Santiago Papasquiario, GS–Graben Santiaguillo, CVD–Campo volcánico Durango, GRCO–Graben Río Chico-Otinapa, GJ–Graben de Juchipila, SFSLT–Sistema de fallas San Luis-Tepehuanes.

#### 1.4 Generación de calor en la corteza continental

Una de las causas de los procesos geológicos en la Tierra es el calor interno del planeta, que se atribuye a dos fuentes: el calor primordial residual desde la formación de la Tierra y el calor asociado a la energía de los procesos de decaimiento radiactivo del potasio, torio y uranio, también llamados elementos productores de calor (*Heat Producing Elements*, HPEs) (p. Ej. Sammon *et al.*, 2021). El calor de origen radiogénico constituye 40% de la energía interna de la Tierra (McDonough *et al.*, 2020; Bellini *et al.*, 2022). El 99% de esta energía se debe a los isótopos  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  (Schmucker, 1969; Huang *et al.*, 2013) (Tabla 1.1). En los continentes, entre el 30 % y 40% del calor perdido, es de origen radiogénico (Pollack y Chapman, 1977; Artemieva y Mooney, 2001) y llega en casos extremos hasta el 75% (Hasterok y Gard, 2016), sin embargo, el calor producido en la corteza superior no tiene un efecto significativo en la corteza media-inferior, el resto del calor se debe a la transferencia de energía desde el manto (Jaupart *et al.*, 2016).

Tabla 1.1. Características de los principales radioelementos naturales de larga vida. En la cadena de decaimiento de  $^{238}\text{U}$  también se encuentra el  $^{234}\text{U}$  (0.01%). Los isótopos de vida corta  $^{227}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Th}$  y  $^{234}\text{Th}$  también ocurren en las series de decaimiento del  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ . K=captura de electrones. Tomada de Pasquale *et al.* (2017).

Isótopo	Abundancia del isótopo (%)	Mecanismo de decaimiento	Vida media (años)	Isótopo hija final	Generación de calor ( $\mu\text{W kg}^{-1}$ )
$^{238}\text{U}$	99.28	$8\alpha + 6\beta^-$ $5.4 \times 10^{-5} \%$ de fisión	$4.47 \times 10^9$	$^{206}\text{Pb}$	91.7
$^{235}\text{U}$	0.71	$7\alpha + 4\beta^-$	$7.04 \times 10^8$	$^{207}\text{Pb}$	575
$^{232}\text{Th}$	100	$6\alpha + 4\beta^-$	$1.40 \times 10^{10}$	$^{208}\text{Pb}$	25.6
$^{40}\text{K}$	0.0118	$89.3\% \beta^-$	$1.25 \times 10^9$	$^{40}\text{Ca}$	30
		10.7% K		$^{40}\text{Ar}$	
		0.001 $\beta^-$		$^{40}\text{Ar}$	

A escala global, la corteza continental está conformada principalmente por rocas metamórficas de grado medio-bajo (corteza superior y media) y granulitas (corteza inferior) y en menor medida intrusiones graníticas asociadas a la fusión de la corteza y a diferenciación magmática de magmas provenientes del manto, cuyo volumen es variable en zonas de subducción y zonas con extensión litosférica (Hawkesworth y Kemp, 2006; Hawkesworth *et al.*, 2020; Touret *et al.*, 2022). Los procesos magmáticos promueven la redistribución de elementos productores de calor a través de la fusión parcial que segrega los elementos radiogénicos incompatibles hacia partes más someras de la corteza (Jaupart *et al.*, 2016). Dado que los principales isótopos radiactivos generadores de calor corresponden a elementos litófilos, la corteza superior concentra entre el 30% y 45% de los radioelementos (Rudnick y Gao, 2003; Huang *et al.*, 2013), de los cuales el isótopo  $^{238}\text{U}$  es el que genera la mayor cantidad de calor (Tabla 1.1). La composición química de las rocas es un factor determinante en el contenido de radioelementos, siendo las rocas ígneas de composición silícica las que generan mayor cantidad de calor por decaimiento radiactivo (Bea, 2012; Artemieva *et al.*, 2017b; Hasterok y Webb, 2017; Hasterok *et al.*, 2018) (Figura 1.2).

Tanto el contenido de HPEs como su producción de calor resultante varían vertical y horizontalmente en función del tipo de roca, la historia geológica y procesos secundarios de alteración (Arshavskaya *et al.*, 1987; Ketcham, 1996; Pribnow y Winter, 1997; Clauser *et al.*, 1997; Brady *et al.*, 2006; He *et al.*, 2008; Bea, 2012; Mareschal y Jaupart, 2013; Jaupart *et al.*, 2016; Hasterok y Webb, 2017; Hasterok *et al.*, 2018; Veikkolainen y Kukkonen, 2019a)

La energía irradiada durante el proceso de decaimiento radiactivo se convierte en calor por absorción. De acuerdo con Rybach (1988) el calor radiogénico (A) producido por cualquier roca se puede calcular mediante la concentración (c) de uranio (ppm), torio (ppm) y potasio (%) con la ecuación:

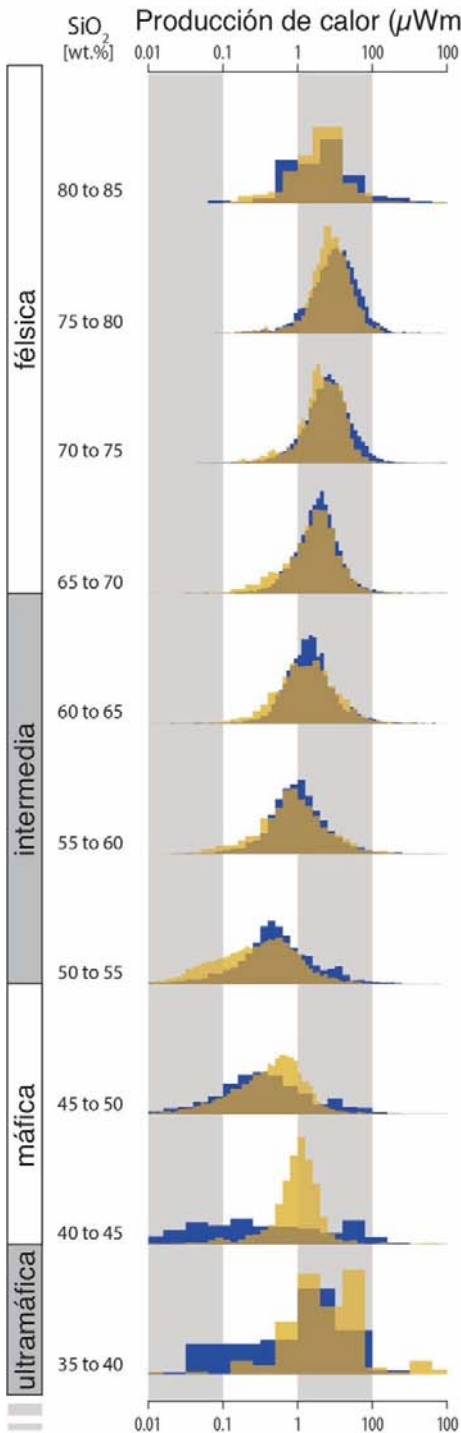
$$A = \rho(9.67_{c_U} + 2.56_{c_{Th}} + 2.89_{c_K}) \times 10^{-5} \quad (Ec.1)$$

Las unidades de A son:  $\mu\text{W m}^{-3}$

La densidad ( $\rho$ ) está dada en  $\text{kg m}^{-3}$

La producción de calor en cada tipo de roca es variable, sin embargo, varios estudios muestran una correlación directa entre la producción de calor y el contenido de  $\text{SiO}_2$  (Figura

1.2) así como una correlación inversa con el contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y con la densidad de la roca (Hasterok y Webb, 2017; Hasterok *et al.*, 2018; Veikkolainen y Kukkonen, 2019). Hasterok *et al.* (2018) mencionan que existe una ligera evidencia de disminución de la producción de calor con el aumento en el grado metamórfico, aunque sugieren que las variaciones de los tipos de protolitos de rocas metamórficas de alto grado pueden producir distintas cantidades



de calor. La relación directa entre el aumento de la producción de calor y el incremento en el contenido de sílice y álcalis se observa para rocas análogas plutónicas y volcánicas (Hasterok y Webb, 2017).

Resultados en rocas plutónicas muestran que el enriquecimiento de radioelementos y consecuentemente el calor radiogénico generado por estos elementos se debe a múltiples eventos de fusión parcial y a que las fuentes de las cuales se produjeron los magmas eran originalmente ricas en HPEs (Bea, 2012; Cuney, 2014; Ballouard *et al.*, 2018).

En la corteza superior, las abundancias promedio de HPEs es de  $\sim 4$  ppm,  $\sim 14$  ppm y  $\sim 2\%$  para U, Th y K respectivamente (Wollenberg y Smith, 1987) y el calor radiogénico producido en la corteza continental superior tiene un valor promedio de  $1.65 \mu\text{Wm}^{-3}$  (Rudnick y Gao, 2003), mientras que las rocas con mayor cantidad de producción de calor (granitos-riolitas) generan en promedio  $2.45 \mu\text{Wm}^{-3}$  (Rybach, 1976). Las rocas con una producción de calor  $> 5 \mu\text{Wm}^{-3}$  son consideradas como rocas con alta producción de calor (Jaupart *et al.*, 2016).

Figura 1.2. Producción de calor en rocas plutónicas (azul) y volcánicas (amarillo) respecto a la composición química representada por el porcentaje de  $\text{SiO}_2$ . Hasterok y Webb, 2017.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Cartografía geológica

En este trabajo se obtuvo un mapa geológico-estructural con base en observaciones de campo realizadas en los alrededores de los grábenes de Santiaguillo, Tepehuanes y el Semigraben de Santiago Papasquiari. Las observaciones de campo fueron complementadas con mapas producidos en trabajos previos (CRM, 1998, Luevano-Pinedo *et al.*, 2002, Loza-Aguirre *et al.*, 2012; Nieto-Samaniego *et al.*, 2012). Con base en las estructuras medidas y las observaciones de campo se interpretó la distribución de las unidades litoestratigráficas con base en la morfología de la topografía usando mapas topográficos escala 1:50000 y ortofotos tomadas de INEGI e imágenes de satélite de *Google Earth*. Además, el mapa geológico se utilizó para construir secciones geológico-estructurales.

### 2.2 Geocronología U-Pb en zircón

En el presente estudio se fecharon 21 muestras por el método U-Pb en zircones. Estas muestras corresponden a ignimbritas y lavas de composición riolítica, intrusivos dioríticos y areniscas representativas de las unidades litológicas regionales y locales (Figura 2.1). La pulverización y separación mineral de las muestras se realizó mediante métodos estándar. Los zircones fueron montados y pulidos en resina epóxica. Posteriormente se seleccionaron puntos en cada zircón para ablación láser después de haber hecho su reconocimiento por medio de catodoluminiscencia para caracterizar núcleos y bordes de los cristales. En este trabajo se asume que los resultados obtenidos para los bordes de los cristales de zircón representan edades de cristalización y la edad más cercana al emplazamiento de las rocas volcánicas. Algunos puntos de ablación se localizaron en los núcleos de algunos cristales para obtener información adicional sobre posibles edades heredadas. Los zircones fueron analizados mediante la técnica LA-ICPMS (*Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias de la UNAM, siguiendo la metodología descrita en Solari *et al.* (2018). Los diagramas de concordia, promedios ponderados y diagramas de densidad de probabilidad fueron graficados usando el complemento para Excel *Isoplot v.4.1* (Ludwig, 2008).

### 2.3 Espectrometría de rayos gamma *in-situ*

Durante las jornadas de campo se obtuvieron datos de contenido de radioelementos (U, Th y K) en roca total, los cuales fueron medidos *in-situ* usando un espectrómetro de rayos gamma portátil modelo *Super Spec RS 125* (Figura 2.1), el cual cuenta con un detector de alta sensibilidad a base de yoduro de sodio. Se obtuvieron un total de 232 mediciones a lo largo de los principales caminos en el área de estudio (Figura 2.2) con el fin de obtener datos representativos para cada una de las unidades litoestratigráficas. Adicionalmente, se obtuvieron mediciones fuera del área de estudio en rocas volcánicas e intrusivas de la SMO a lo largo del transecto Durango-Mazatlán y en el Bloque Jalisco, el cual se asume que representa la corteza superior debajo de la extensa cubierta ignimbrítica de la SMO. El tiempo de exposición para cada medición puntual fue de 5 minutos.



Figura 2.1. Localización de las muestras obtenidas para fechamiento U-Pb y muestras de aguas termales. Además, se presentan los puntos en los que se midieron concentraciones de radioelementos y la localización de los sondeos MT con sus respectivas líneas de sección.

El contenido de radioelementos medido *in-situ* fue utilizado para calcular la producción de calor (A) actual en cada punto de medición, la producción de calor se obtuvo utilizando la ecuación propuesta por Rybach (1988):

$$A = \rho(9.52C_U + 2.56C_{Th} + 3.48C_{K_2O}) \times 10^{-5}$$

Donde “ $\rho$ ” es densidad en  $\text{Kgm}^{-3}$  y  $C_U$ ,  $C_{Th}$  y  $C_{K_2O}$  son las concentraciones de uranio (ppm), torio (ppm) y potasio (%) respectivamente.

Las densidades fueron medidas en 73 muestras representativas de los distintos tipos de rocas que componen la columna estratigráfica usando una balanza analítica modelo WAS 160/X RADWAG en el laboratorio de Edafología del Centro de Geociencias. Esta balanza se basa en el principio de empuje hidrostático y permite medir en muestras de aproximadamente 5 cm de longitud, la masa y el volumen de agua (destilada) desplazado por la muestra al sumergirla en un vaso de precipitados que se encuentra sobre la balanza.

#### **2.4 Isotopía de He en aguas superficiales**

Se colectaron 5 muestras (Figura 2.2) de agua superficial en manifestaciones termales (42 °C-74 °C) en botellas de vidrio de ~121 ml para analizar isótopos de helio y neón (Capasso e Inguaggiato, 1998; Inguaggiato y Rizzo, 2004). Las botellas fueron llenadas y selladas bajo el agua con tapas de caucho para evitar la contaminación por aire durante el proceso de muestreo. Durante el tiempo de almacenamiento, las botellas fueron sumergidas en agua para prevenir contaminación por aire. El análisis de gases disueltos está basado en la partición de equilibrio de gases entre las fases de agua y gas colectadas (Capasso e Inguaggiato, 1998; Inguaggiato y Rizzo, 2004).

Las concentraciones isotópicas de  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  y  $^{20}\text{Ne}$  fueron medidas en el laboratorio del *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* – Palermo (INGV-Pa), Italia. El He y Ne fueron purificados de la mezcla de gases en una línea de ultra alto vacío de acero inoxidable y posteriormente fueron criogénicamente separados e ingresados a un espectrómetro de masas de gases nobles de tubo de vuelo dividido (GVI Helix® SFT) para los isótopos de helio y en un espectrómetro de masas con multicolector (Thermo® Helix MC) para los isótopos de neón. Los métodos de extracción de gases y análisis isotópicos son descritos en detalle en Inguaggiato y Rizzo (2004). El error analítico fue de menos del 3% determinado en masa única. La concentración de He y Ne disueltos está expresada en  $\text{cm}^3/\text{g}$  a 0 °C y 1 atm

(STP). Las relaciones isotópicas de He son reportadas como  $R/R_a$ , donde  $R$  es la relación  $^3\text{He}/^4\text{He}$  determinada en la muestra y  $R_a$  es la relación atmosférica ( $1.39 \times 10^{-6}$ ). Los valores  $R/R_a$  fueron corregidos para la contaminación atmosférica ( $R_c/R_a$ ) usando la ecuación de  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$  de aire normalizado de Hilton (1996).

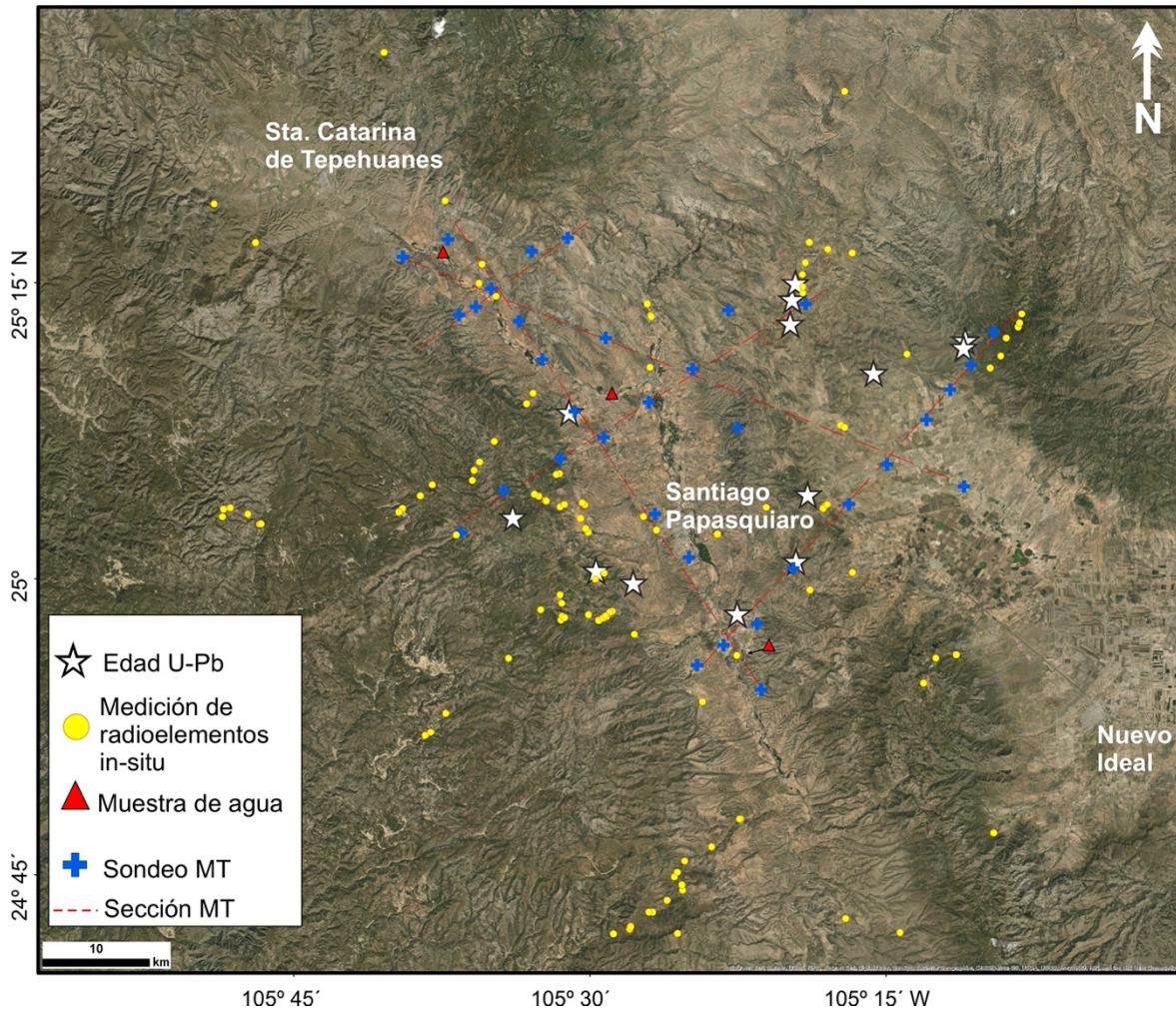


Figura 2.2. Espectrómetro portátil de rayos gamma con el cual se realizaron mediciones *in-situ* de radioelementos (U, Th y K).

## 2.5 Sondeos magnetotelúricos

Los métodos geofísicos permiten inferir algunas de las características físicas del sustrato por debajo de las unidades litológicas aflorantes. Estos métodos, específicamente los métodos magnetotelúricos, brindan información acerca de estructuras regionales, anomalías térmicas, zonas con fracturas interconectadas y por lo tanto permeables, zonas porosas y zonas



impermeables. Para evaluar e interpretar el sustrato en el área de Santiago Papasquiari se obtuvieron perfiles magnetoteléuticos basados en 36 sondeos distribuidos en cinco secciones, tres de ellas perpendiculares a la estructura principal (orientación NNW-SSE), una paralela al semigraben de Santiago Papasquiari y una semi-paralela a los grábenes de Santiaguillo y Tepehuanes (Figura 2.2). Los sondeos fueron realizados en marzo del 2019 por el equipo del Dr. Fernando Corbo del Centro de Geociencias. En cada sitio se realizó la adquisición de un sondeo eléctrico vertical y un sondeo magnetoteléutico de amplio espectro.

### 3 MARCO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 Sierra Madre Occidental

La Sierra Madre Occidental (SMO) alberga una de las provincias ígneas silíceas más grandes del mundo y la más grande del Cenozoico (Ferrari *et al.*, 2005). Esta provincia se caracteriza por voluminosos depósitos piroclásticos de composición predominantemente silícica, los cuales se extienden en México desde la parte sur de la Mesa Central hasta parte de Chihuahua (Ferrari *et al.*, 2005), aunque también se han reconocido ignimbritas correlacionables con la SMO al sur de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Guerrero, Michoacán y Oaxaca) (Moran-Zenteno *et al.*, 1999). La SMO limita al este con la Sierra Madre Oriental y la Mesa Central, al oeste con el Golfo de California y al sur con el Bloque Jalisco y la Faja Volcánica Transmexicana. De acuerdo con las revisiones más recientes de la estratigrafía regional y tectónica de la SMO, esta provincia se formó por distintos episodios tectono-magmáticos del Cretácico-Cenozoico relacionados con: 1) la subducción de la Placa Farallón debajo de Norteamérica y 2) la apertura del Golfo de California (Ferrari *et al.*, 2018, 2013, 2007, 2002a). Estos episodios magmáticos están representados principalmente por dos conjuntos volcánicos (McDowell y Keizer, 1977): 1) el Complejo Volcánico Inferior (CVI) (recientemente renombrado como Arco Magmático Mexicano del Cretácico – Eoceno; Valencia-Moreno *et al.*, 2021) y 2) el Supergrupo Volcánico Superior (SVS). El CVI está formado por rocas volcánicas y plutónicas del Cretácico Superior–Paleoceno y rocas andesíticas y dacítico-riolíticas del Eoceno, mientras que el SVS consta principalmente de ignimbritas silíceas emplazadas en dos pulsos principales: 1) un pulso ocurrido desde el Eoceno tardío hasta el Oligoceno temprano (43 – 29 Ma) y distribuido en toda la provincia, el cual ha sido asociado a un periodo previo a extensión litosférica (Ferrari *et al.*, 2018a) y 2) un pulso del Mioceno temprano (24 a ~18 Ma), distribuido en la porción suroeste de la SMO (Bryan *et al.*, 2008; Ferrari *et al.*, 2007, 2002a; McDowell y McIntosh, 2012), el cual, con base en sus relaciones estratigráficas y estructurales y sus características geoquímicas, ha sido interpretado como un evento volcánico sinextensional (Ferrari *et al.*, 2018a).

También se ha documentado volcanismo basáltico significativamente menos voluminoso intercalado con los pulsos ignimbríticos, este volcanismo ocurrió en dos pulsos principales: 1) en el Oligoceno—Mioceno temprano, con un pico principal de edades entre 32 y 22 Ma y

2) en el Mioceno tardío con un pico principal de edades entre 15 y 11 Ma; el cual es particularmente voluminoso en la parte sur de la SMO (Ferrari *et al.*, 2013, 2018a; Henry y Aranda-Gómez, 2000) donde el volcanismo se traslapa con el de la FVTM.

De acuerdo con Ferrari *et al.* (2018a), el origen del intenso volcanismo silícico se atribuye a la fusión parcial de la corteza como consecuencia del ascenso de la astenosfera, atestiguado por la presencia de basaltos de intraplaca, procesos detonados por la remoción del *slab* subducido a través de roll-back, fragmentación y *detachment* al tiempo de que se formaba una *slab window* a partir del Eoceno.

### 3.2 Estratigrafía regional del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el borde oriental de la porción central de la SMO, cuya estratigrafía y estructura es similar a la de la porción sureste. En la Tabla 3.1 se presenta una síntesis de la estratigrafía con base en los datos asentados en Ferrari *et al.* (2018b).

Tabla 3.1. Unidades litológicas descritas a nivel regional en la SMO.		
Unidad litológica	Edad	Descripción
<b><i>Sucesiones sedimentarias</i></b>		
Depósitos superficiales	Cuaternario	Depósitos aluviales y lacustres recientes, generalmente aún en etapa de erosión.
Depósitos lacustres, areniscas y conglomerados	Neógeno	Depósitos vulcanosedimentarios y lacustres que rellenan cuencas endorreicas de la Mesa Central. En la mayoría de los casos se encuentran en erosión activa.
Depósitos lacustres, areniscas y conglomerados	Eoceno al Mioceno temprano	Depósitos clásticos y lacustres que rellenan las principales cuencas tectónicas.
<b><i>Volcanismo post-ignimbrítico</i></b>		
Basaltos superiores	Cuaternario	Lavas basálticas y conos cineríticos principalmente de afinidad intraplaca del Campo Volcánico Durango.
Volcanismo bimodal de la FVTM	Plioceno al Cuaternario	Flujos de lava y conos cineríticos, domos de lava silícica y flujos piroclásticos asociados en el oeste de la FVTM.
Basaltos medios	Mioceno medio-tardío (14-9 Ma)	Flujos de lavas máficas fisurales y pequeños volcanes en escudo asociadas a fallas extensionales. Afinidad intraplaca en la SMO (p. Ej. Graben Río Chico-Otinapa) y firma de subducción en la FVTM (Altos de Jalisco).

Basaltos inferiores	Oligoceno al Mioceno temprano (32 a 19 Ma)	Lavas máficas sobreyaciendo o intercaladas con ignimbritas de la SMO. Generalmente muestran afinidad geoquímica intraplaca.
<b><i>Intrusiones Paleoceno-Oligoceno</i></b>		
Intrusiones	Eoceno-Oligoceno	Intrusiones hipabisales de composición intermedia.
<b><i>Rocas volcánicas de la SMO</i></b>		
Ignimbritas silíceas superiores	Oligoceno tardío al Mioceno temprano (24 a 19 Ma)	Depósitos voluminosos de tobas e ignimbritas del segundo pulso ignimbrítico de la SMO.
Ignimbritas silíceas inferiores	Eoceno tardío a Oligoceno (43 a 29 Ma)	Depósitos voluminosos de tobas e ignimbritas del primer pulso ignimbrítico de la SMO.
Lavas andesíticas	Paleoceno (?) a Eoceno	Flujos de lava andesítica (Complejo Volcánico Inferior).
<b><i>Basamento</i></b>		
Sucesiones sedimentarias marinas (Sierra Madre Oriental)	Cretácico (Berriasiano-Santoniano)	Calizas, lutitas y areniscas plegadas de la Sierra Madre Oriental.
Sucesiones sedimentarias marinas (Sierra Madre Oriental)	Jurásico Tardío	Areniscas y lutitas plegadas de la Sierra Madre Oriental.
Sucesiones vulcanosedimentarias y metasedimentarias (Terreno Guerrero)	Triásico al Cretácico Inferior	Sucesiones de areniscas y lutitas marinas, localmente intercaladas con rocas volcánicas. Estas rocas presentan metamorfismo de grado bajo a medio.
Rocas precámbricas y Paleozoicas	Mesoproterozoico, Neoproterozoico y Paleozoico	Rocas metamórficas de basamento, principalmente asociadas a terrenos de Norteamérica.

### 3.3 Estratigrafía del Semigraben de Santiago Papasquiario

El presente estudio se restringe a la región donde el sistema regional de fallas San Luis-Tepehuanes cruza la porción norte del Graben Río Chico-Otinapa, caracterizado por una estructura denominada Semigraben de Santiago Papasquiario (SGSP). En el área de estudio el Sistema San Luis-Tepehuanes bordea la parte occidental de la Mesa Central separándola de la SMO (Nieto-Samaniego *et al.*, 2007, 2005) (Figura 1.1). En la región de estudio, las rocas más antiguas están representadas por afloramientos aislados de esquistos paleozoicos reportados en el sureste del Graben de Santiaguillo y en Santa María del Oro, Durango (Araujo-Mendieta y Arenas-Partida, 1986; Iriondo *et al.*, 2003). Estas rocas se encuentran

sobreyacidas discordantemente por rocas del CVI (Armenta-Román y Meza-Guereca, 2000), reportadas en esta región en pocos afloramientos del Paleoceno al Eoceno temprano que consisten en rocas intrusivas y andesitas correlacionables con afloramientos de rocas de la misma edad reportados en Sinaloa (Henry *et al.*, 2003; Montoya-Lopera *et al.*, 2019). Al suroeste de Santiago Papasquiario la unidad litológica más antigua está representada por depósitos aluviales y fluvio-lacustres del Cretácico Tardío-Paleógeno, los cuales han sido caracterizados principalmente por su contenido de icnofósiles y horizontes carbonáceos con alto contenido de uranio (GEOCA, 1961; Eguiluz y de Antuñano y Hernández-Ocaña, 2020; Guzmán-Lugo *et al.*, 2021). El Paleoceno-Eoceno temprano está dominado por escasos afloramientos de lavas y rocas intrusivas de composición andesítica. Al noroeste de Santiago Papasquiario y en el hombro oriental del Graben de Santiaguillo, Loza-Aguirre *et al.* (2012) reportaron edades U-Pb de 51.76 Ma y 56.4 Ma para una ignimbrita y una riolita, respectivamente, las cuales son correlacionables con las de la secuencia volcánica Durango (McDowell y Keizer, 1977) y la secuencia del Eoceno de Nazas, Durango (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991). Todas estas rocas ígneas se pueden agrupar dentro del Complejo Volcánico Inferior (McDowell y Keizer, 1977). La mayor parte de la región está cubierta por rocas predominantemente piroclásticas de composición silícica y domos de lava emplazados desde ~46 Ma, principalmente en dos episodios volcánicos: entre ~36 a ~28 Ma y ~24 a ~20 Ma (Ferrari *et al.*, 2007; McDowell y McIntosh, 2012; Ferrari *et al.*, 2018a).

En la parte central de la SMO el primer pulso ignimbrítico puede ser dividido en dos sucesiones caracterizadas en las zonas de Nazas, Santiago Papasquiario y Nuevo Ideal, una del Eoceno tardío y otra del Oligoceno (~32–29 Ma), separados por discordancias angulares y erosionales (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991; Loza-Aguirre *et al.*, 2012; Nieto-Samaniego *et al.*, 2012). El volcanismo predominantemente silícico también está acompañado por pequeños volúmenes de lavas máficas, parcialmente con afinidad geoquímica de intraplaca, emplazadas desde los 33 Ma (Ferrari *et al.*, 2018a, 2018b). Estas lavas basálticas han sido asociadas al inicio del adelgazamiento litosférico ocurrido en la región que eventualmente culminó en la apertura del Golfo de California (Ferrari *et al.*, 2013, Duque-Trujillo *et al.*, 2014; Ferrari *et al.*, 2018a). El segundo pulso ignimbrítico de la SMO está representado por sucesiones expuestas al suroeste de Santiago Papasquiario, correlacionables con la secuencia El Salto-Espinazo del Diablo (~24–23.45 Ma) y sucesiones ligeramente más jóvenes que se

encuentran en Nayarit y Jalisco (McDowell y Keizer, 1977, Ferrari *et al.*, 2002b, 2007; McDowell y McIntosh, 2012;) (Figura 3.1)

Posteriormente al emplazamiento de los depósitos ignimbríticos fueron extravasadas rocas basálticas de intraplaca en el Mioceno medio-tardío (~12-11 Ma) en el Graben Río Chico-Otinapa correspondientes a la Formación Metates de Córdoba (1988) (McDowell y Keizer, 1977; Henry y Aranda-Gómez, 2000b; Iriondo *et al.*, 2004). En el área de estudio, estos basaltos se encuentran intercalados en la cima de sucesiones sedimentarias depositadas desde Oligoceno-Mioceno hasta el Cuaternario asociadas al relleno de cuencas extensionales (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005; Loza-Aguirre *et al.*, 2012), las cuales corresponden a la Formación Santiago (Loza-Aguirre *et al.*, 2012).

Finalmente, la unidad más joven en la región está representada por lavas y piroclastos de basaltos alcalinos del Campo Volcánico Durango del Plioceno tardío al Pleistoceno temprano (Smith, 1989; Aranda-Gómez *et al.*, 2005).

### **3.4 Eventos de deformación y estructura regional**

La SMO ha sido afectada predominantemente por una tectónica extensional desde finales del Eoceno hasta el Plioceno, a excepción del núcleo de la provincia (Figura 3.2), en donde no se encuentran cuencas extensionales (Stewart, 1978; Henry y Aranda-Gómez, 1992; Stewart 1998; Ferrari *et al.*, 2007, 2018a) y donde la corteza alcanza su máximo espesor (profundidad de la discontinuidad de Mohorovicic a 55 km; Bonner y Herrin, 1999). La deformación extensional que afecta a las secuencias volcánicas se ha dividido en dos eventos principales, uno del Oligoceno tardío (McDowell y Keizer, 1977; Swanson *et al.*, 1978, McDowell y Clabaugh, 1979, Luhr *et al.*, 2001) y otro del Mioceno temprano (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991, Luhr *et al.*, 2001, McDowell y McIntosh, 2012), documentado por una discordancia angular en Nayarit y Sinaloa (Ferrari *et al.*, 2013; 2018a). La extensión de la SMO fue acompañada por volcanismo, y a su vez estuvo asociada a cambios en la dirección y velocidad de la subducción (Figura 3.3) (Ferrari *et al.*, 2018a). El primer evento extensional fue precedido o fue en parte contemporáneo con el pulso ignimbrítico del Oligoceno (Luhr *et al.*, 2001), el cual es predominantemente riolítico; mientras que el segundo evento fue sincrónico con el volcanismo del Mioceno temprano, el cual fue de composición bimodal (Ferrari *et al.*, 2013; Ferrari *et al.*, 2018a).

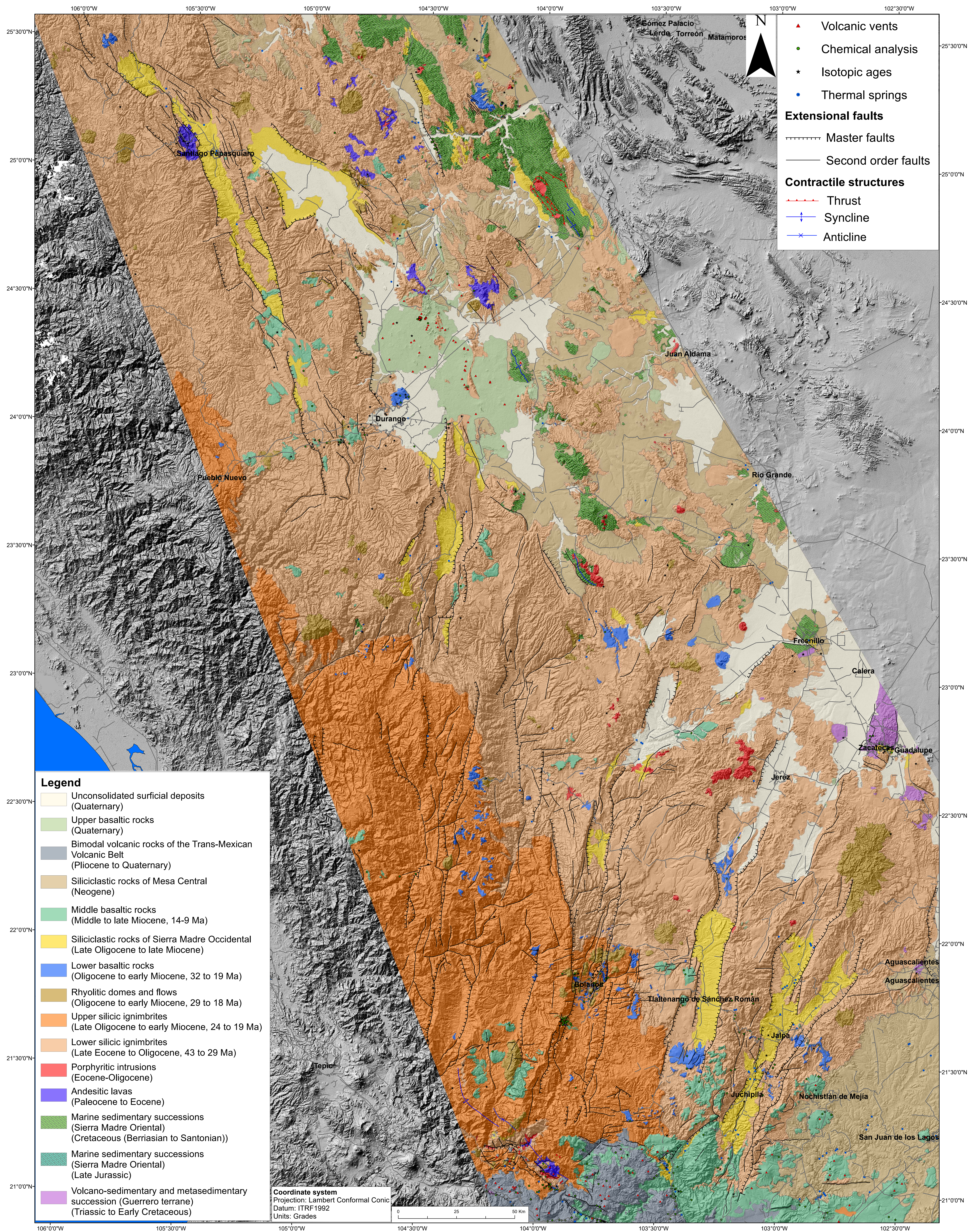


Figura 3.1. Mapa geológico regional del centro y sureste de la SMO, el cual muestra la distribución de las unidades presentadas en la Tabla 1. Este mapa fue tomado de Ferrari. *et al.*, 2018b y cuenta con una versión interactiva (<https://terradigitalis.igg.unam.mx/html/mapas/numero4/ferrari2/>).

---

El evento de extensión se desarrolló en sus inicios en una región amplia, desde Durango y Chihuahua hasta el centro de Sonora y posteriormente, la región afectada por extensión se concentró en un rift estrecho (Ferrari *et al.*, 2018a) hacia el occidente de la provincia volcánica. La extensión inició a finales del Eoceno-Oligoceno temprano en Rodeo y Santiago Papasquiario, Durango, en donde la edad de la deformación va de ~34 a ~24 Ma (Luhr *et al.*, 2001; Loza-Aguirre *et al.*, 2012), incluso esta extensión temprana ha sido reportada en la mesa central, en el Semigraben de Matancillas (Suárez-Arias, 2019). Esta extensión es ligeramente más joven en el occidente de Durango y de Chihuahua, en donde la extensión va de 29 Ma a ~24 Ma (Enríquez y Rivera, 2001; McDowell, 2007; Ferrari *et al.*, 2013; Murray *et al.*, 2013, 2015) y en la porción central de Sonora, en donde la extensión inició en el lapso entre ~27 a 25 Ma (Gans, 1997; McDowell *et al.*, 1997; González León *et al.*, 2000; González-León *et al.*, 2010; Calmus *et al.*, 2015). Además, en Sonora se desarrollaron complejos de núcleos metamórficos en los cuales se ha documentado una extensión de hasta 100% desde el Oligoceno tardío hasta el Mioceno temprano (~26 a ~18 Ma) (Wong y Gans, 2008; Wong *et al.*, 2010). Durante el Mioceno temprano la extensión se concentró en la porción occidental de la SMO, en Sinaloa, Nayarit y el oeste de Jalisco y Zacatecas formando estructuras de graben y semigraben (Henry y Aranda-Gómez, 2000b; Roldán-Quintana *et al.*, 2004; Ferrari *et al.*, 2002, 2013; Aranda-Gómez *et al.*, 2015) para finalmente dar lugar en el Mioceno tardío al inicio de la apertura del Golfo de California (Ferrari *et al.*, 2018a y referencias en este trabajo) (Figura 3.3).

Una característica de la SMO es que su núcleo no se encuentra afectado por cuencas extensionales (Figura 3.2) (Henry, 1989; Henry y Aranda-Gómez, 1992; Ferrari *et al.*, 2007; Henry y Aranda-Gómez, 2000a). Este núcleo representa un límite fisiográfico entre lo que Henry y Aranda-Gómez (2000) definieron como la provincia “Basin and Range”, al este y la “Provincia Extensional del Golfo” al oeste. De acuerdo con Ferrari *et al.* (2018a) la presencia de un núcleo no extendido se debe a la existencia de una corteza inferior en la que se emplazaron grandes cantidades de magmas provenientes del manto por el fenómeno de *underplating* durante el Oligoceno temprano, ya que estos procesos pueden promover que la



parte de la corteza invadida sea más rígida que las zonas aledañas y a su vez facilita la extensión de la corteza superior (Liu y Furlong, 1994).

Se ha interpretado que el inicio del fallamiento normal se dio en el Eoceno tardío en el este de Durango (Luhr *et al.*, 2001; Loza-Aguirre *et al.*, 2012;) y Zacatecas (Suárez-Arias, 2019). En el Oligoceno tardío la extensión estuvo activa en ambos lados de la SMO y para el Mioceno temprano se concentró principalmente en oeste de la provincia hasta la región que posteriormente sería el Golfo de California (Ferrari *et al.*, 2013; Duque-Trujillo *et al.*, 2014; Ferrari *et al.*, 2018a), aunque también se ha documentado deformación extensional durante el Mioceno en el oriente de la SMO; en la región de Rodeo (ca. 24 Ma; Luhr *et al.*, 2001), en el Mioceno temprano-medio en el Graben Río Chico-Otinapa y en el Graben de Santiaguillo (McDowell y Keizer, 1977; Aranda-Gómez *et al.*, 2007; Loza-Aguirre *et al.*, 2012; Nieto-Samaniego *et al.*, 2012), en el Plio-Cuaternario en el Graben Río Chico-Otinapa (Loza-Aguirre *et al.*, 2012) y el CVD (Aranda-Gómez *et al.*, 2007).

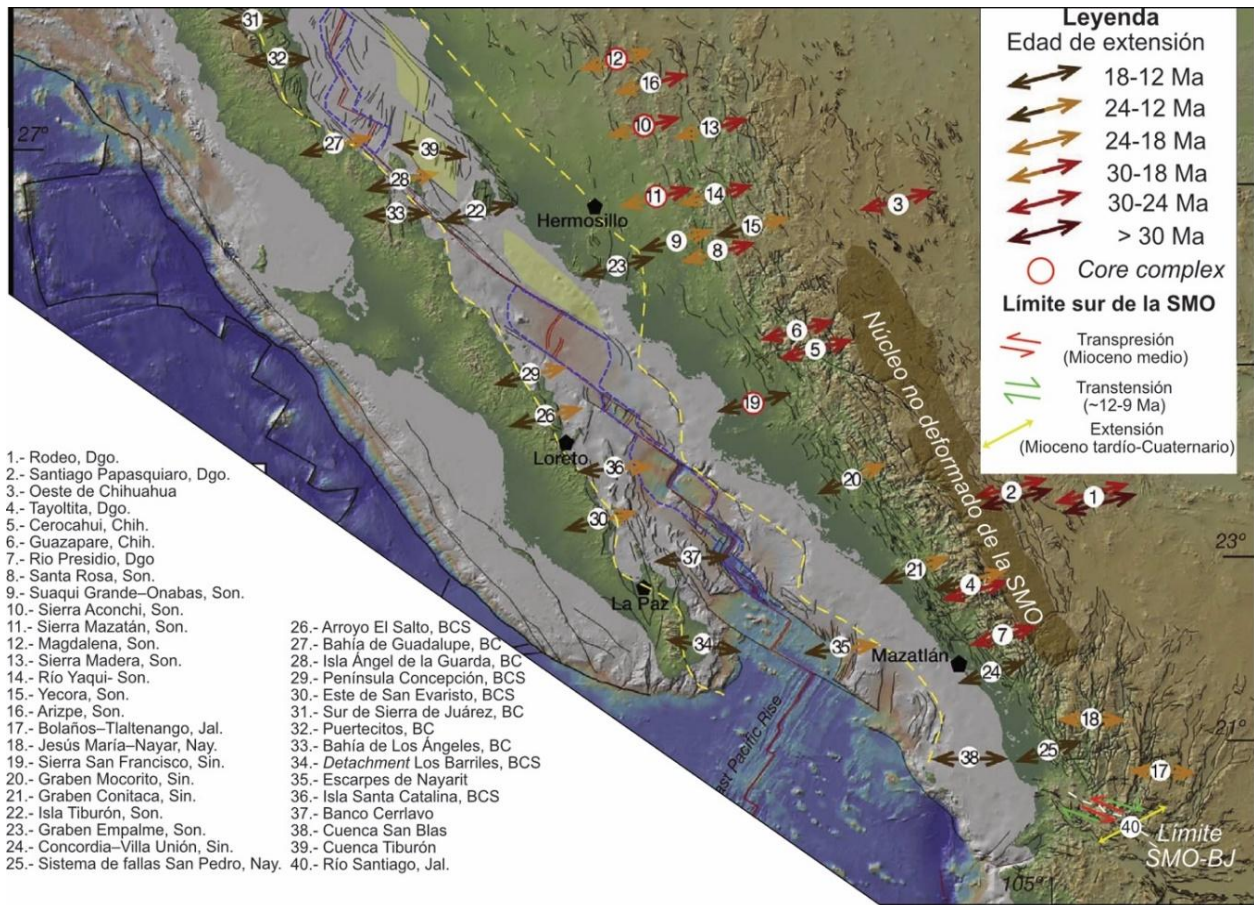


Figura 3.2. Edades de deformación extensional en la SMO. Modificado de Ferrari *et al.* (2018a).

De acuerdo con Loza-Aguirre *et al.* (2012), la deformación extensional temprana de la SMO que dio origen al SGSP inició en el Eoceno tardío-Oligoceno temprano y fue caracterizada por fallas con orientación dominante NNW, las cuales bascularon gradualmente las rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno. Durante el Mioceno temprano-medio la deformación se propagó hacia el sur para dar lugar a la formación del Graben Río Chico-Otinapa de manera sincrónica con la actividad de las fallas con orientación NW del Sistema San Luis-Tepahuanes (SFSLT), al oriente de Santiago Papasquiario (Loza-Aguirre *et al.*, 2012), representado por el Graben de Santiaguillo.

Las fallas regionales están asociadas a actividad reciente evidenciada por sismicidad registrada a profundidades de hasta 20 km en el hombro occidental del Graben de Santiaguillo (Nieto-Samaniego *et al.*, 2012; Servicio Sismológico Nacional, 2022) (Tabla 3.2).

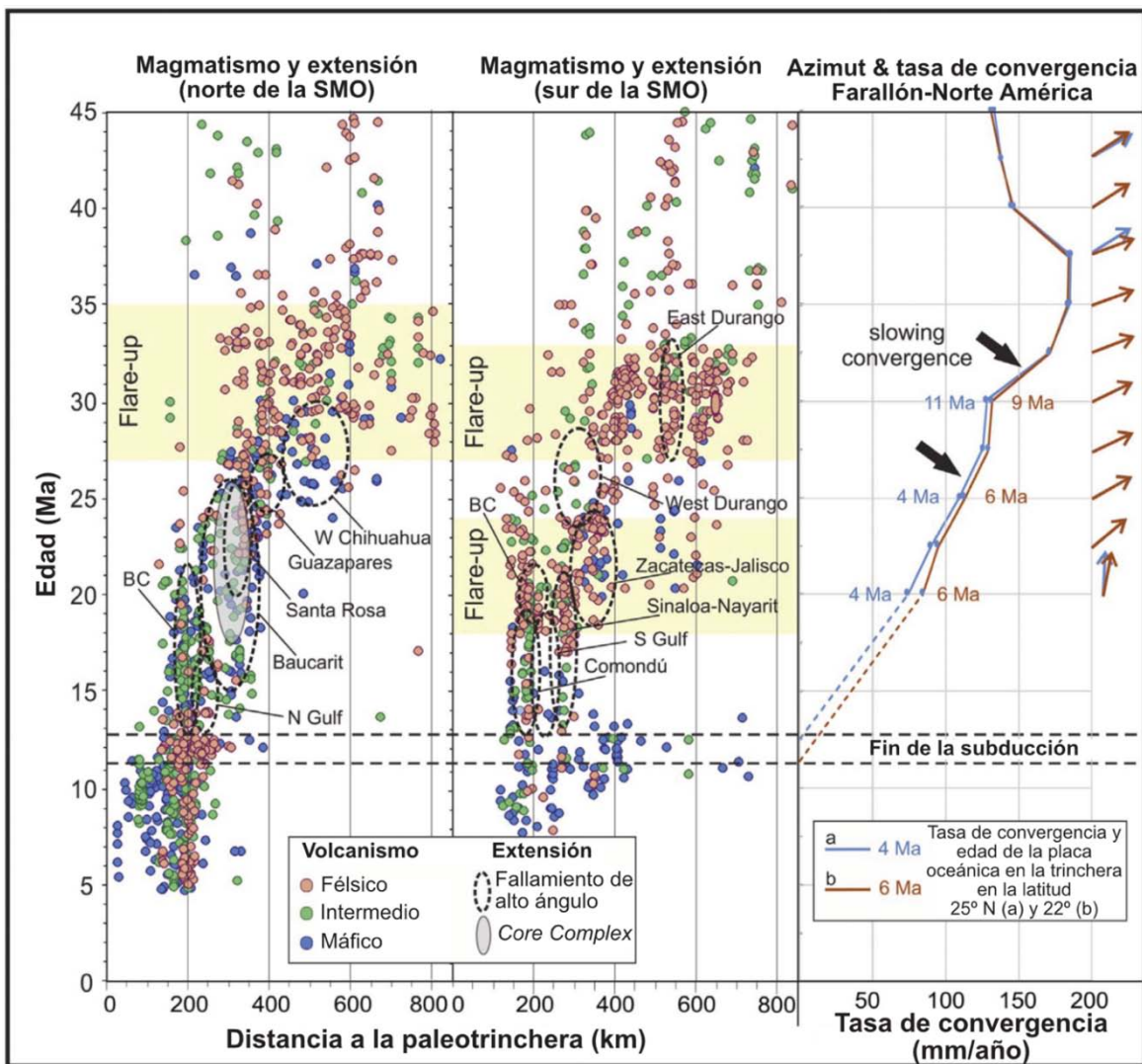


Figura 3.3. Resumen de los eventos de extensión y magmatismo en la SMO. Modificado de Ferrari *et al.* (2018a). La convergencia relativa y dirección entre las placas Farallón y Norteamérica están basadas en Müller *et al.* (2016).

Tabla 3.2. Sismos registrados en el semigraben de Santiago Papasquiario y el Graben de Santiaguillo.						
Longitud (oeste)	Latitud (norte)	Localidad	Magnitud	Profundidad (Km)	Fecha	Referencia
105.04	25	Santiago Ppasquiario	4.1	11	23/09/2022	
104.8840	24.4957	Canatlán, Dgo.	4.10	24.90	02/10/2014	SSN
105.1370	24.8922	Nuevo Ideal, Dgo	3.70	31.30	23/11/2015	
105.4020	24.8465	Llano Prieto, Dgo	2.90	5.00	22/08/2018	
105.2300	25.0500	E de Santiago Papasquiario, Dgo.	4.50	20.00	29/07/2003	
105.5340	25.1048	NW Santiago Papasquiario, Dgo	3.00	8.00	15/11/2020	
105.0700	25.3523	Vargas, Ciénega, Dgo.	3.70	5.00	14/05/2019	
104.7900	24.5003	Laguna de Santiaguillo, Dgo	2.6	0.038	15/04/2006	Nieto-Samaniego <i>et al.</i> , 2012
105.3192	24.6616		1.7	0.02	15/04/2006	
105.1107	24.8270		1.8	2.31	20/04/2006	
105.2372	24.5528		1.9	2.97	14/07/2006	
105.0223	24.9273		1.3	3	11/08/2006	
105.4642	25.0080		0.9	0.01	03/09/2006	
106.0102	26.0625		2.5	2.72	03/11/2006	
105.1765	25.6580		2.3	2.98	06/11/2006	

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estratigrafía

#### 4.1.1 Grupo Garame (Cretácico Superior)

La unidad más antigua del área de estudio es el Grupo Garame, conformado por una sucesión de depósitos aluviales, fluviales y lacustres bien expuesta en un área al suroeste de Santiago Papasquiaro (Figura 4.1). Esta unidad se compone de varias formaciones informales. La formación de la base, llamada Formación Aguajito (Eguiluz y de Antuñano y Hernández-Ocaña, 2020) consiste en conglomerados masivos, soportados por matriz y pobremente clasificados. Los clastos de esta formación corresponden principalmente a rocas andesíticas con texturas porfídicas y en menor cantidad roca faneríticas de composición félsica. La Formación Aguajito está cubierta por La Formación Los Adobes, la cual consiste en areniscas, limolitas y conglomerados que también se caracteriza por abundantes troncos fósiles (Figura 4.2A). En contacto transicional entre esas dos unidades está cubierta por intercalaciones de lutitas y limolitas con tobas de la Formación Los Rodeos y una sucesión de areniscas y conglomerados con intercalaciones de limolitas, llamada Formación Rancho Viejo (Figura 4.2B) La unidad de la cima, llamada Formación Ratia (GEOCA, 1961; Eguiluz y de Antuñano y Hernández-Ocaña, 2020), se conforma de capas de caliza recristalizada y lutita con cambios laterales de facies de arenisca, limolita con intercalaciones de toba. Las observaciones petrográficas de muestras de areniscas del Grupo Garame muestran que los principales componentes son líticos de origen volcánico, los cuales exhiben texturas felsítica, *lathwork* o microlítica, además se observan cristales de feldespatos y cuarzo monocristalino (Figura 4.3A, B y C).

En este trabajo se obtuvieron edades U-Pb en zircón para una toba intercalada en la parte media de la Formación Los Rodeos (muestra SP-21) y edades de zircones detríticos para una arenisca de grano fino de la Formación Ratia (muestra SP-30). La muestra SP-21 arrojó una edad de  $84.78 \pm 0.67$  Ma (Tabla 4.1, Figura 4.4), mientras que la edad máxima de depósito interpretada para la muestra SP-30 es de  $\sim 87$  Ma (Tabla 4.1, Figura 4.5). Guzmán-Lugo *et al.* (2021) reportan edades detríticas similares para una muestra del Grupo Garame. Las edades obtenidas son correlacionables con las edades más antiguas reportadas para la

sucesión volcánica de la Formación Tarahumara en Chihuahua (McDowell *et al.*, 2001), la cual es ligeramente más joven en Sinaloa (~77 — 69 Ma; Montoya-Lopera *et al.*, 2019).

#### **4.1.2 Lavas e ignimbritas félsicas (Ypresiano)**

Al oeste y sureste de Santiago Papasquiaro se encuentran afloramientos aislados de ignimbritas y lavas riolíticas (Figura 4.1), con cristales de cuarzo, feldespatos y biotita (Figura 4.3D). Loza-Aguirre *et al.* (2012), reportaron una edad U-Pb en zircones de 51.75 Ma para una ignimbrita y una edad obtenida por el mismo método de 56.4 Ma para una riolita localizada en el hombro oriental del Graben de Santiaguillo. En el presente trabajo se obtuvo una edad U-Pb en zircón de  $51.76 \pm 0.49$  Ma para una riolita con biotita (muestra SP-07) (Tabla 4.1, Figura 4.5) que aflora al sureste de Santiago Papasquiaro. Tanto las edades de Loza-Aguirre *et al.* (2012), como la edad obtenida en este trabajo muestran que esta unidad se puede correlacionar con la base de la sucesión volcánica de Nazas, aproximadamente 120 km al este del área de estudio (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991).

#### **4.1.3 Andesitas (Eoceno)**

En los bordes del Graben de Tepehuanes y al norte del Graben de Santiaguillo afloran andesitas afaníticas a porfídicas cortadas por diques de diorita (Figura 4.1). En los bordes del Semigraben de Santiago Papasquiaro derrames de lavas andesíticas se encuentran subyaciendo una sucesión de rocas piroclásticas o una sucesión vulcanosedimentaria, descritas más adelante.

#### **4.1.4 Sucesión vulcanosedimentaria (Priaboniano)**

Las rocas del Eoceno temprano están sobreyacidas por una sucesión vulcanosedimentaria que consiste en brechas piroclásticas, ignimbritas líticas, areniscas y lavas andesíticas. En este trabajo se incluye dentro de esta unidad a otras unidades definidas en trabajos previos como la Andesita Cazadero de Loza-Aguirre *et al.* (2012) y la Andesita Coneto y la Formación Los Castillo de Nieto-Samaniego *et al.* (2012). Esta sucesión aflora en la base de los hombros occidentales del SGSP y del Graben de Santiaguillo (Figura 4.1). La base de esta unidad no se encuentra expuesta. La parte inferior consiste en brechas piroclásticas y conglomerados soportados por matriz y pobremente clasificados con andesitas intercaladas

(Figura 4.2H). La parte media está caracterizada por ignimbritas líticas, capas de arenisca y horizontes de peperita (Figuras 4.2 y 4.3D, E, F).

La cima de la sucesión se compone de capas de arenisca intercaladas con ignimbritas y con lavas félsicas, las cuales subyacen una sucesión piroclástica del Priaboniano-Rupeliano. El espesor máximo es de ~250 m en el SGSP mientras que en el Graben de Santiaguillo es de ~100 m (Nieto-Samaniego *et al.*, 2012).

Se analizaron dos muestras de arenisca intercaladas con peperita por el método U-Pb en zircones detríticos, los resultados muestran que el pico principal de edades es de ~38.6 Ma (Tabla 4.1, Figura 4.4); de estas muestras, hay un solo zircón con una edad de ~30.6 Ma, esta edad se encuentra fuera de la desviación estándar del pico principal y por esta razón fue excluida para la interpretación de la edad máxima de depósito. También se obtuvo una edad U-Pb en zircón de  $36.89 \pm 0.32$  Ma para una dacita masiva que se encuentra sobreyaciendo capas de arenisca con horizontes de peperita intercalados (Figuras 4.3 G y 4.5, Tabla 4.1).

#### **4.1.5 Sucesión piroclástica superior (Priaboniano-Rupeliano)**

La mayor parte del área de estudio se encuentra cubierta por una sucesión de depósitos de flujos piroclásticos relacionados al primer pulso ignimbrítico de la SMO. Esta unidad incluye principalmente ignimbritas con una amplia variedad de texturas y componentes, además de brechas piroclásticas. Los depósitos individuales varían en espesor desde ~30 cm hasta decenas de metros resultando en un espesor acumulado de ~600m. La base de esta unidad consiste en ignimbritas intercaladas con depósitos masivos de conglomerado y arenisca (Figura 4.2E), mientras que la cima se compone de una sucesión de tobas de flujo de ceniza con líticas de origen volcánico y cristaloclastos de biotita. Las rocas piroclásticas exhiben estructura reomórfica, estratificada o masiva y algunos depósitos presentan estratificación cruzada (Figura 4.2G y H). Estas rocas comúnmente se componen de cristales de cuarzo y feldespato y en menor medida biotita y anfíbol. También se componen de líticos representados por fragmentos de rocas piroclásticas, clastos porfídicos andesíticos y félsicos y clastos faneríticos holocristalinos cuarzo-feldespáticos (Figuras 4.3J, K y L). En la Figura 4.1 se incluyen en la misma unidad todas las unidades piroclásticas del Eoceno tardío-Rupeliano definidas por Loza-Aguirre *et al.* (2012) con base en su edad y posición

estratigráfica. En este trabajo se obtuvieron ocho edades U-Pb en zircón para esta unidad que se encuentran comprendidas entre  $\sim 34$  y  $\sim 31$  Ma (Figura 4.5, Tabla 4.1)

#### **4.1.6 Lavas riolíticas (Rupeliano)**

Un conjunto de flujos de lava y domos de composición riolítica sobreyacen o se encuentran intercalados con la sucesión piroclástica descrita en la sección anterior. Estas lavas comúnmente se encuentran asociadas con fallas normales. Las riolitas muestran textura porfirica y se componen de fenocristales de cuarzo, feldespato, biotita y anfíbol (Figuras 4.2F y 4.3M). Se obtuvieron edades U-Pb en zircón para dos muestras de riolitas, las cuales arrojaron edades por promedio ponderado de  $33.88 \pm 0.38$  Ma y  $33.47 \pm 0.36$  Ma (Figura 4.5, Tabla 4.1).

#### **4.1.7 Formación Santiago (Oligoceno-Mioceno tardío)**

Esta unidad fue definida por Loza-Aguirre *et al.* (2012) como una sucesión de depósitos epiclásticos de arenas medias a gruesas, gravas y conglomerados que afloran en los bordes oriental, occidental y norte del SGSP y representa el relleno temprano de la cuenca (Figura 4.2J). En este trabajo, la Formación Santiago se dividió en dos miembros con base en las observaciones de campo: 1) miembro inferior, el cual consiste predominantemente de conglomerado y arenisca gruesa, ambos con estructura masiva a ligeramente estratificada y contiene clastos de hasta 1 m de diámetro; 2) miembro superior, dominado por arenisca con intercalaciones de conglomerado, los cuales se encuentran mejor estratificados que los del miembro inferior y algunas veces se observan con estratificación cruzada. Los clastos de esta unidad litológica corresponden a líticos volcánicos félsicos de origen piroclástico, andesitas, dacitas y riolitas porfídicas y en menor proporción clastos de rocas félsicas holocristalinas porfídicas. Los componentes corresponden a todas las unidades que afloran en los hombros del SGSP. Para esta unidad se obtuvieron edades U-Pb en zircons detríticos para una muestra de arenisca. Los resultados muestran un pico principal de edades de 33.2 Ma y un pico menor más joven de  $\sim 21.3$  Ma (Figura 4.4).

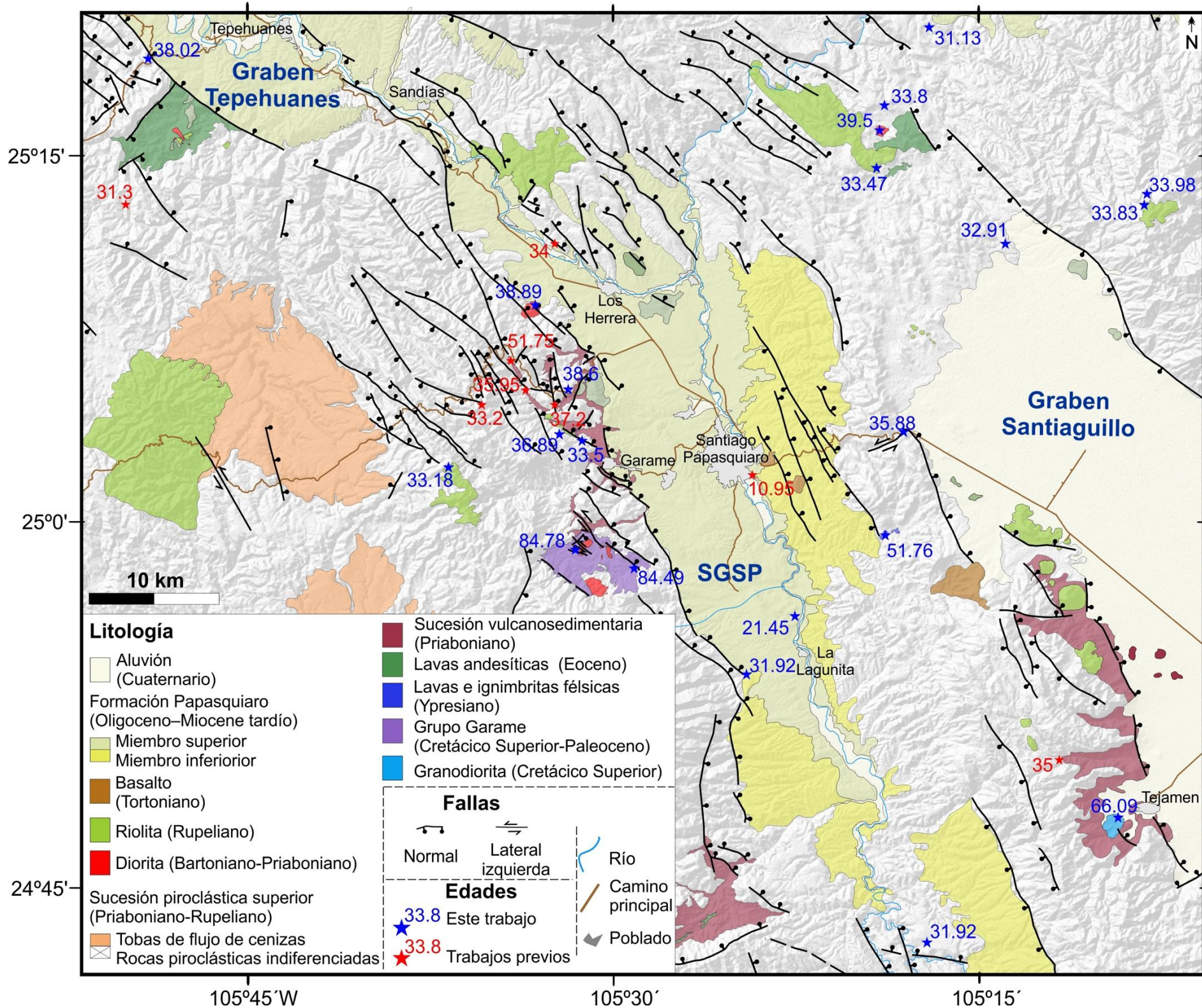
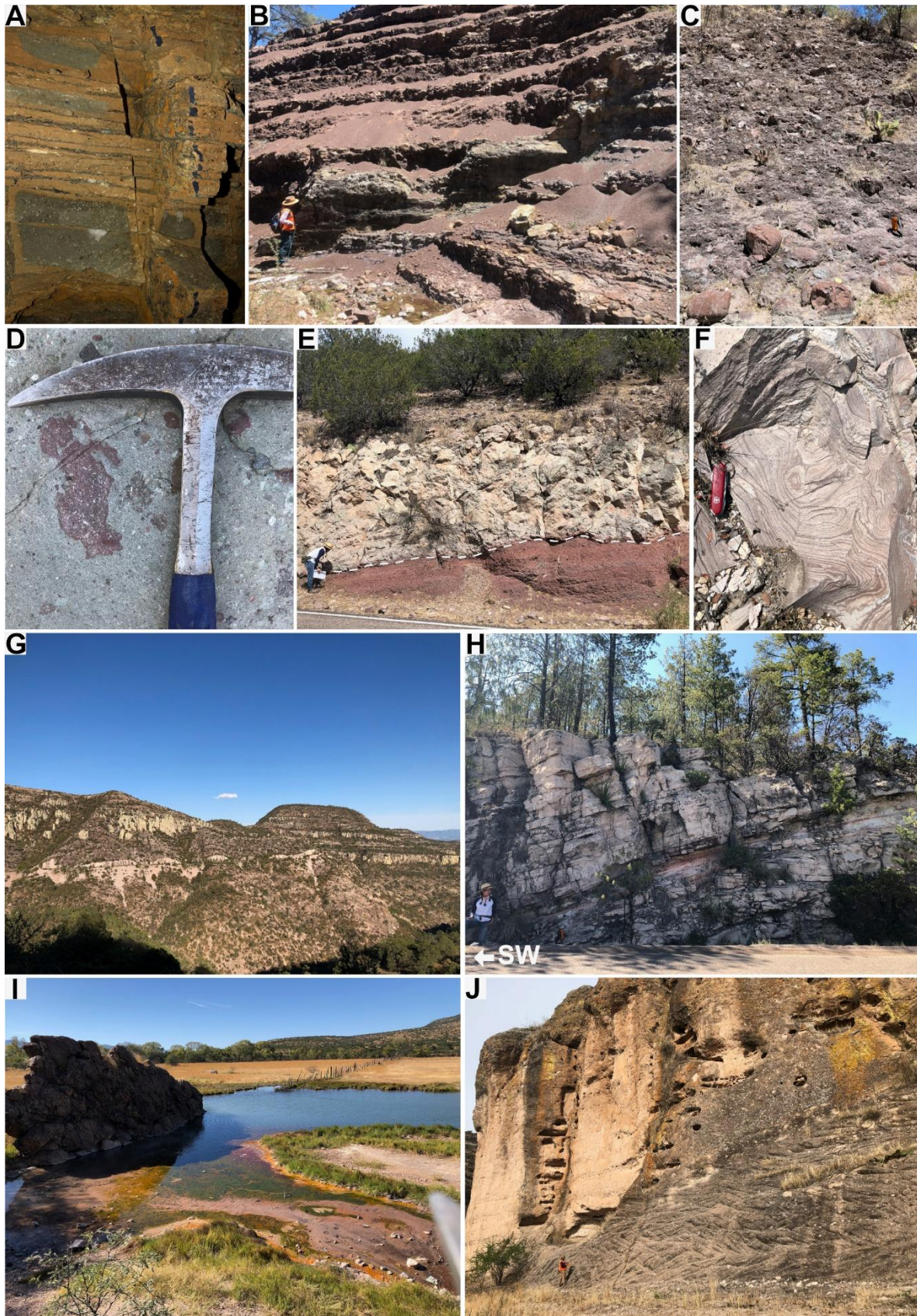




Figura 4.1. Mapa geológico del área de estudio. Modificado de Castillo-Reynoso *et al.* (2022)



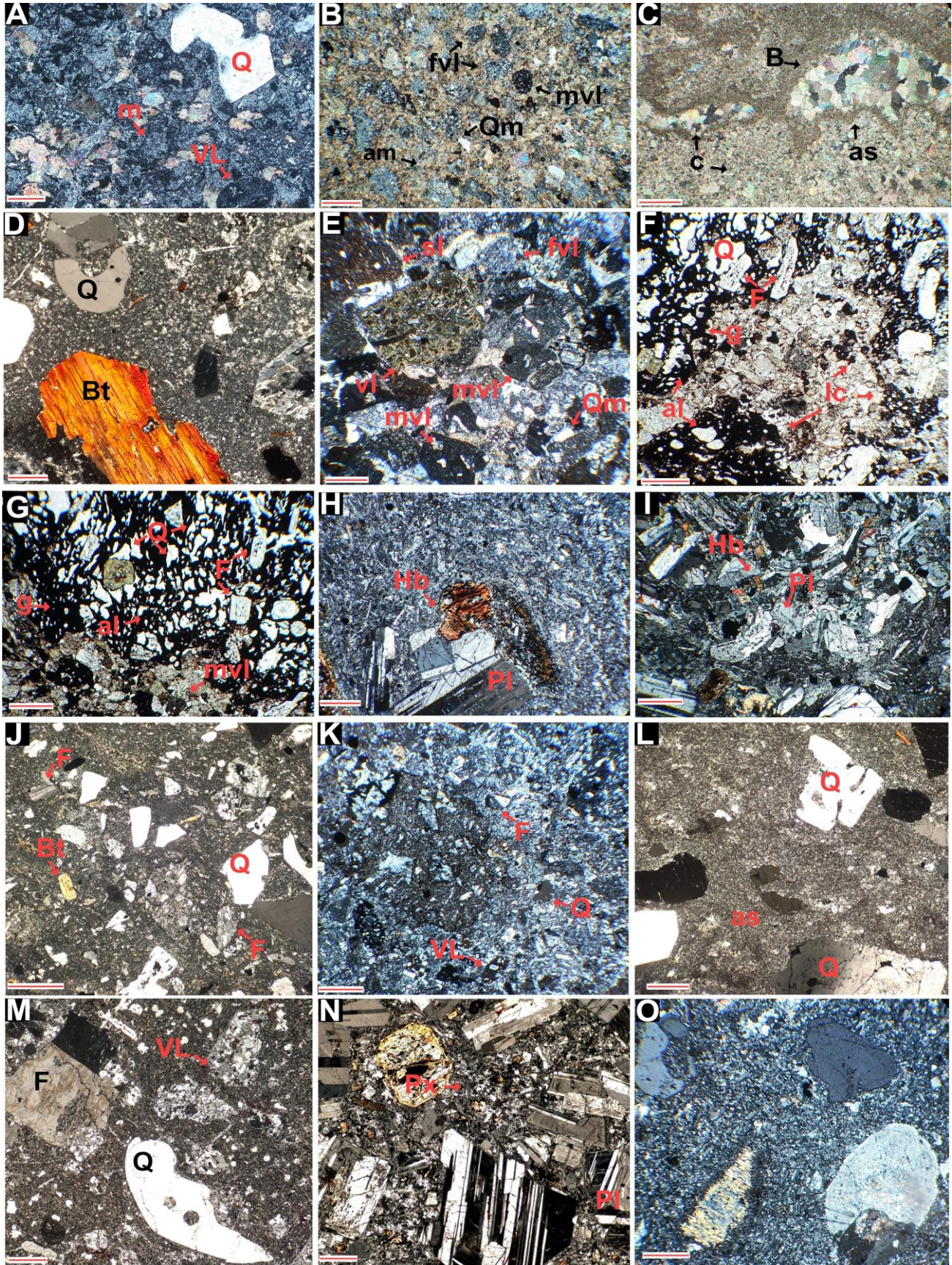


Figura 4.2. Fotografías de afloramientos representativos de las distintas unidades litológicas. A) Limolita alterada del Grupo Garame (Formación Los Adobes). (105.524565° O, 24.965385° N). B) Areniscas y conglomerados de la Formación Los Rodeos al suroeste de Garame. (105.523836° O, 24.979461° N). C) Conglomerado polimíctico matriz-soportado de la sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano basculado hacia el oeste. Esta unidad contiene clastos de hasta 60 cm de diámetro. Fotografía tomada al suroeste de La Lagunita. (105.422276° O, 24.741721° N). D) Peperita de la sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano, las partes rojizas corresponden a clastos aislados de lava. Fotografía tomada al noroeste de Garame. (105.525624° O, 25.060827° N). E) Contacto entre capas rojas e ignimbrita riolítica (arriba) de la sucesión piroclástica del Priaboniano-Rupeliano. Fotografía tomada al noroeste de Garame. (105.523976° O, 25.094581° N). F) Riolita reomórfica que sobreyace la sucesión ignimbrítica al oeste de Los Herrera. (105.810448° O, 25.052550° N). G) Vista panorámica de la sucesión piroclástica, al noreste de Santiago Papasquiario. Vista hacia el oeste. H) Tobas de flujos de ceniza basculadas en el hombro oeste del SGSP. (105.522515° O, 25.098182° N). I) Vista de manifestaciones termales cerca de Los Herrera. (105.473056° O, 25.154444° N) J) Afloramiento de depósitos siliciclásticos de la Formación Santiago en el poblado de Santiago Papasquiario (105.443843° O, 25.041434° N).

---

Figura 4.3. Fotomicrografías de muestras representativas de las distintas unidades litoestratigráficas. Grupo Garame: A) Toba de flujo de ceniza (SP21), B) Arenisca lítica, C) Caliza recristalizada (Formación. Ratia). D) Riolita del Ypresiano. Sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano: E) Arenisca lítica con abundante líticos microlíticos, F) y G) peperita, H) Andesita intercalada en la sucesión vulcanosedimentaria, I) Dacita que sobreyace capas de peperitas. Sucesión piroclástica superior: J) Ignimbrita rica en cristales, K) ignimbrita lítica, L) Toba de flujo de cenizas. M) Riolita del Rupeliano que aflora al noreste del Graben de Santiaguillo. N) Diorita (SP03). O) Granodiorita que aflora en el poblado de Tejamen. Símbolos: al—lava amigdaloides, am—matriz arcillosa, B—bioclasto recristalizado, Bt—biotita, C—calcita, F—feldespato, fvl—lítico volcánico felsítico, g—matriz vitrea, Hb—hornblenda, Ic—clasto aislado de lava, m—matriz, mvl—lítico volcánico microlítico, ms—carpetas microbianas, Pl—plagioclasa, Px—píroxeno, Q—cuarzo, Qm—cuarzo monocristalino, sl—lítico sedimentario. Las líneas rojas equivalen a 0.5 mm. Las fotomicrografías F y G fueron tomadas con luz plana polarizada y el resto fueron tomadas con nícoles cruzados.

---

#### 4.1.8 Lavas basálticas (Tortoniano)

Cerca de Santiago Papasquiario se encuentran escasos afloramientos de flujos de lava basáltica y algunos diques basálticos asociados, estos últimos se encuentran cortando la sucesión piroclástica del Priaboniano-Rupeliano (Figura 4.1). Las lavas y diques están asociados con fallas normales con orientación NNE. La edad de esta unidad fue establecida por Iriondo *et al.* (2004), quienes obtuvieron una edad Ar-Ar por isócrona de  $10.63 \pm 0.05$  Ma y una edad de *plateau* de  $10.95 \pm 0.02$  Ma. Con base en la edad y posición estratigráfica de esta unidad, es posible correlacionarla con la Formación Metates (Córdoba, 1963), cuyos afloramientos se encuentran al oeste de la ciudad de Durango en el Graben Río Chico-Otinapa (McDowell y Keizer, 1977).

#### 4.1.9 Unidades intrusivas intermedias

En el área de estudio se encuentran varios cuerpos intrusivos de composición intermedia. Al oeste de Santiago Papasquiaro se encuentran cortando la sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano (Loza-Aguirre *et al.*, 2012) y al Grupo Garame (GEOCA, 1961, Guzmán-Lugo *et al.*, 2021) (Figura 4.1). Al noreste del área de estudio, otro cuerpo diorítico se encuentra emplazado en lavas andesíticas. En el hombro occidental del Graben de Santiaguillo, en el poblado de Tejamen, aflora un cuerpo granodiorítico que subyace la unidad vulcanosedimentaria del Priaboniano (Figura 4.1). Las observaciones petrográficas muestran que estos intrusivos tienen textura holocristalina porfírica y se compone de fenocristales principalmente de feldespatos y en menor proporción anfíbol, biotita y cuarzo (Figuras 4.3N y 4.3O). En el presente trabajo se obtuvieron edades U-Pb en zircón de dos muestras de intrusivos, los resultados arrojaron edades de  $39.5 \pm 0.37$  Ma y  $38.89 \pm 0.47$  Ma (Figura 4.5, Tabla 4.1). Además, se obtuvo una edad por el mismo método de  $66.09 \pm 0.91$  Ma (Figura 4.5, Tabla 4.1) para la granodiorita expuesta en el poblado de Tejamen (Figura 4.5, Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Edades U-Pb en zircones de muestras fechadas en este trabajo.					
Muestra	Long (O)	Lat (N)	Tipo de roca	Edad	Observaciones
SP-06	105.376069	24.935569	Arenisca	21.30	N = 77. Cristales en el rango de 19.5 - 36.1 Ma. Dos zircones más antiguos (90.1 Ma, 129.8 Ma). Pico de edad en el PDP en 21.3 Ma y 33.2 Ma
SPB-D	105.284915	25.128143	Toba	31.13 ± 0.78	MSWD = 2.2, n= 10. Cristales en el rango de 27.6 - 34.9 Ma. Posible antecristal (un zircón de 42.9 Ma)
SPB-K	105.405136	24.896393	Toba	31.92 ± 0.71	MSWD = 1.5, n = 7. Cristales en el rango de 27.3 - 41 Ma. Un posible xenocristal de 95.1 Ma
SPB-P	105.284001	24.713231	Ignimbrita	31.92 ± 0.83	MSWD = 2.6, n = 10. Cristales en el rango de 30.1 - 37 Ma
SP-05	105.320270	25.241576	Riolita-dacita	33.47 ± 0.36	MSWD = 1.12, n=21. Cristales en el rango de 31.9 - 35 Ma. Posibles antecristales (cinco cristales con edades de 37 a 44.1 Ma)

SP-09	105.137265	25.216329	Riolita	33.83 ± 0.38	MSWD = 1.15, n = 24. Cristales en el rango de 31.4 - 37.7 Ma
SP-04	105.232298	25.189832	Toba	32.91 ± 0.27	MSWD = 1.4, n = 28. Cristales en el rango de 31.6 - 35 Ma. Posibles antecristales (dos zircons de 39.1 Ma 55.5 Ma)
SPB-O	105.817360	25.31675	Ignimbrita	33.02 ± 0.53	MSWD = 2.0, n = 14. Cristales en el rango de 29 - 34.8 Ma
SP-02	105.612883	25.037211	Ignimbrita	33.18 ± 0.32	MSWD = 1.5, n = 27. Cristales en el rango de 30.2 - 37.6 Ma
SPB-G	105.525624	25.060827	Arenisca	33.5	N = 12. Principales picos de edad en 33.5 Ma, 37 Ma y 45.3 Ma. Zircons más antiguos de ~57 Ma, ~77 Ma and ~98 Ma. Un zircón de 486.7 Ma
SP20	105.314831	25.284420	Ignimbrita	33.80 ± 0.51	MSWD = 1.2, n = 14. Cristales en el rango de 30.4 - 35.3 Ma
SP-08	105.135486	25.223872	Ignimbrita	33.98 ± 0.40	MSWD = 1.3, n = 25. Cristales en el rango de 31.3 - 36.6 Ma. Posibles antecristales (tres zircons con edades de 50 a 52 Ma)
SP-01	105.301805	25.061333	Arenisca	37.60	N = 73. Cristales en el rango de 33.3 a 41.1 Ma. Un zircón de 752 Ma. Pico principal de 37.6 Ma
SPB-I	105.528510	25.088336	Peperita	30.50	N = 14. Los zircons más jóvenes tienen edades de ~30.5 Ma. Pico principal de 38.6 Ma
SPB-E	105.534388	25.064103	Dacita	36.89 ± 0.32	MSWD = 1.04, n = 14. Cristales en el rango de 33.6 - 39.8 Ma
SP-03	105.553520	25.148025	Diorita	38.89 ± 0.47	MSWD = 1.4, n = 26. Cristales en el rango de 36.6 a 45.3 Ma
SP19	105.318252	25.267215	Diorita	39.50 ± 0.37	MSWD = 1.03, n = 11. Cristales en el rango de 37.6 a 54.1 Ma. Dos posibles xenocristales (87.9 Ma y 314.7 Ma)
SP-07	105.314286	24.990784	Riolita-Dacita	51.76 ± 0.49	MSWD = 1.3, n = 24. Cristales en el rango de 49.5 a 56.1 Ma. Un posible xenocristal (153.7 Ma)

SPB-L	105.156044	24.798446	Granodiorita	66.09 ± 0.91	MSWD = 2.6, n = 9. Cristales en el rango de 62.3 - 70.3 Ma
SP21	105.525119	24.981247	Toba	84.78 ± 0.67	MSWD = 1.05, n = 10. Zircons con edades más antiguas de ~102 Ma, ~116 Ma y ~154 Ma
SP30	105.486025	24.968210	Arenisca	87.00	N = 82. Zircons con edades de 82 - 104 Ma. Cuatro zircons con edades de 487 Ma, 1110 Ma, 1285 Ma, 1580 Ma. Pico principal en ~ 87 Ma

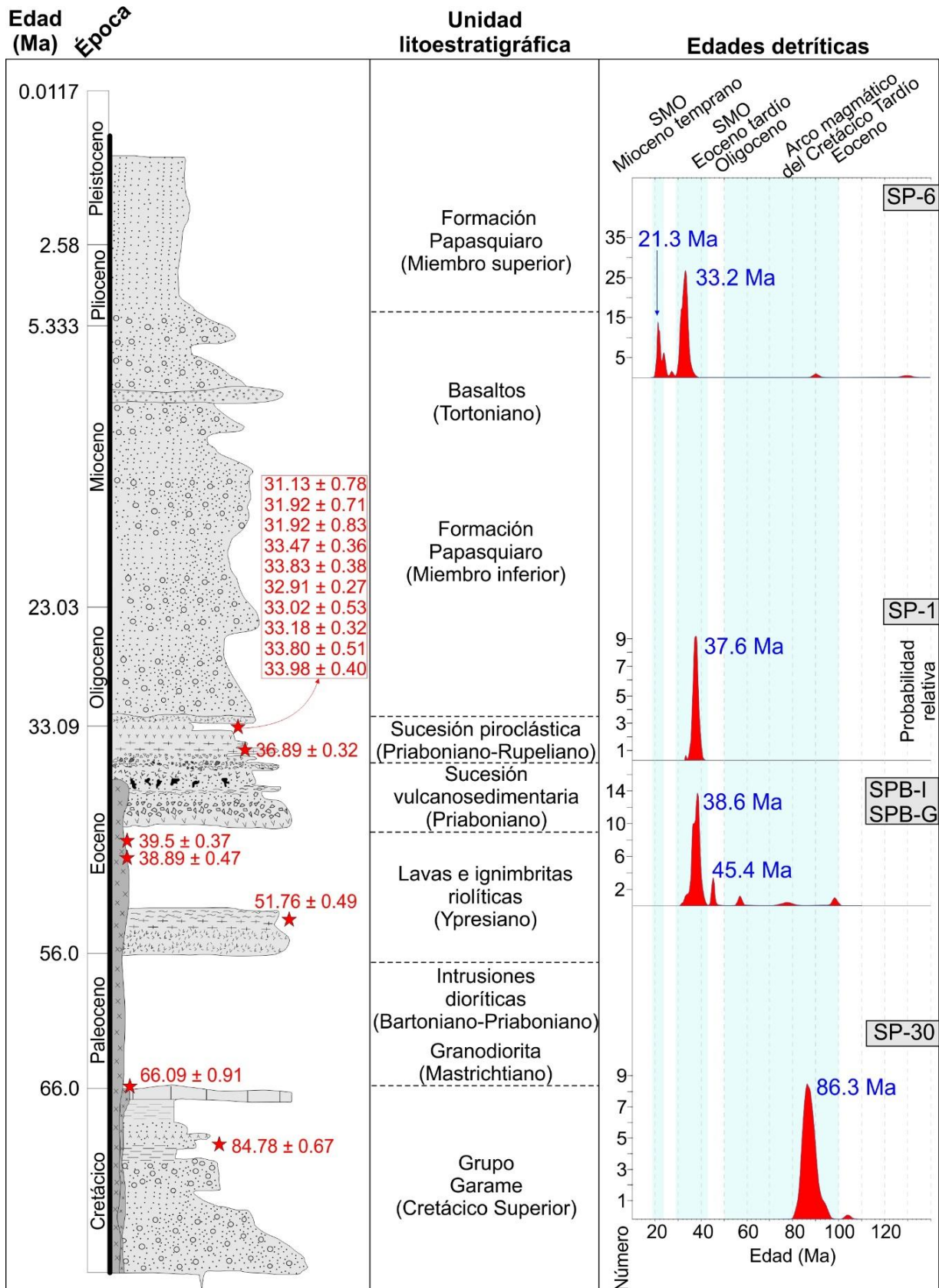
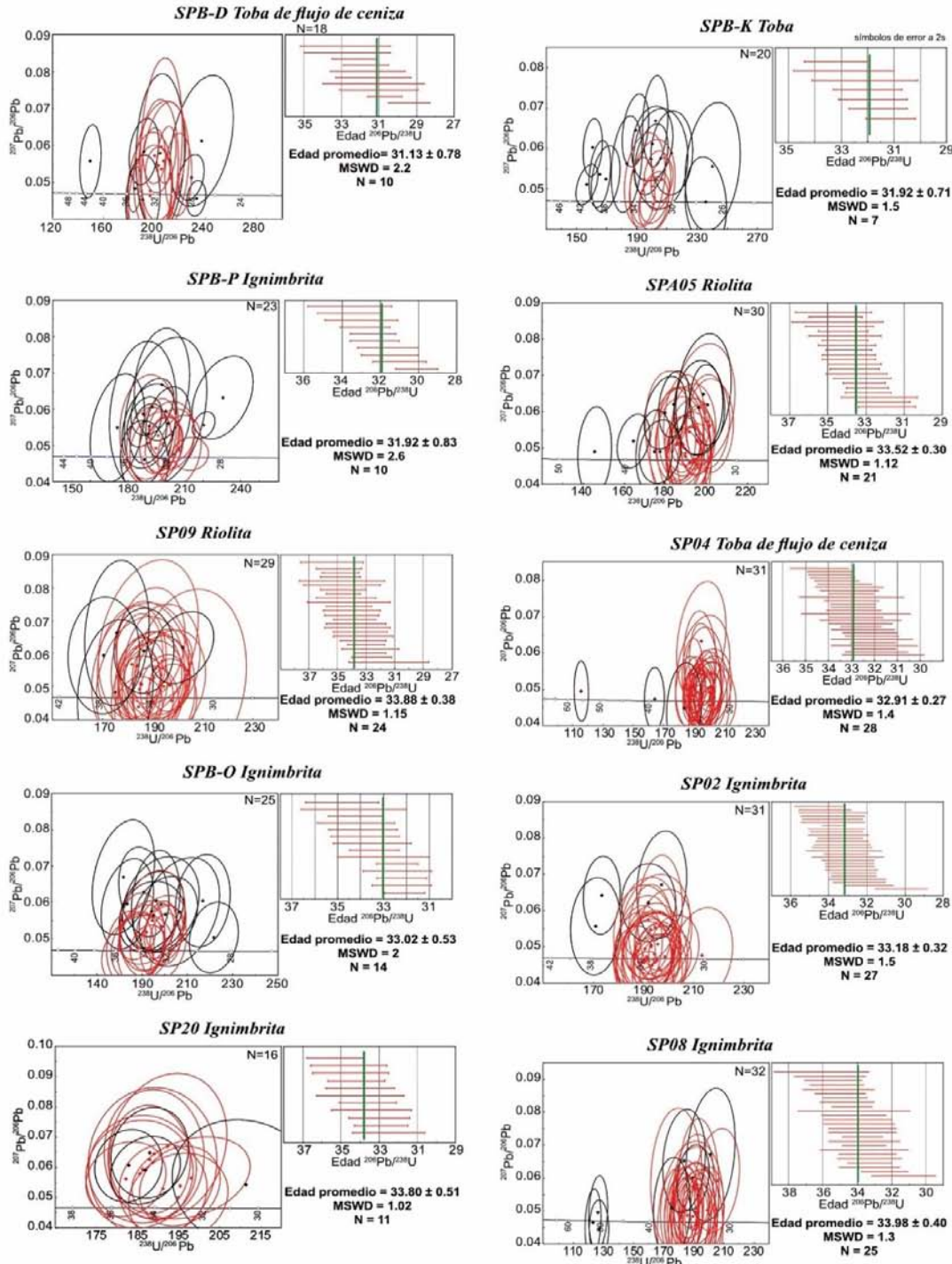


Figura 4.4. Columna estratigráfica del área de estudio. Se muestran las edades U-Pb en zircones obtenidas en este trabajo para las rocas volcánicas (estrellas rojas). La columna de la derecha muestra los diagramas de densidad de probabilidad de las edades U-Pb de zircones detríticos y los principales eventos magmáticos del occidente de México (campos de color azul cielo). Modificada de Castillo-Reynoso *et al.* (2022).





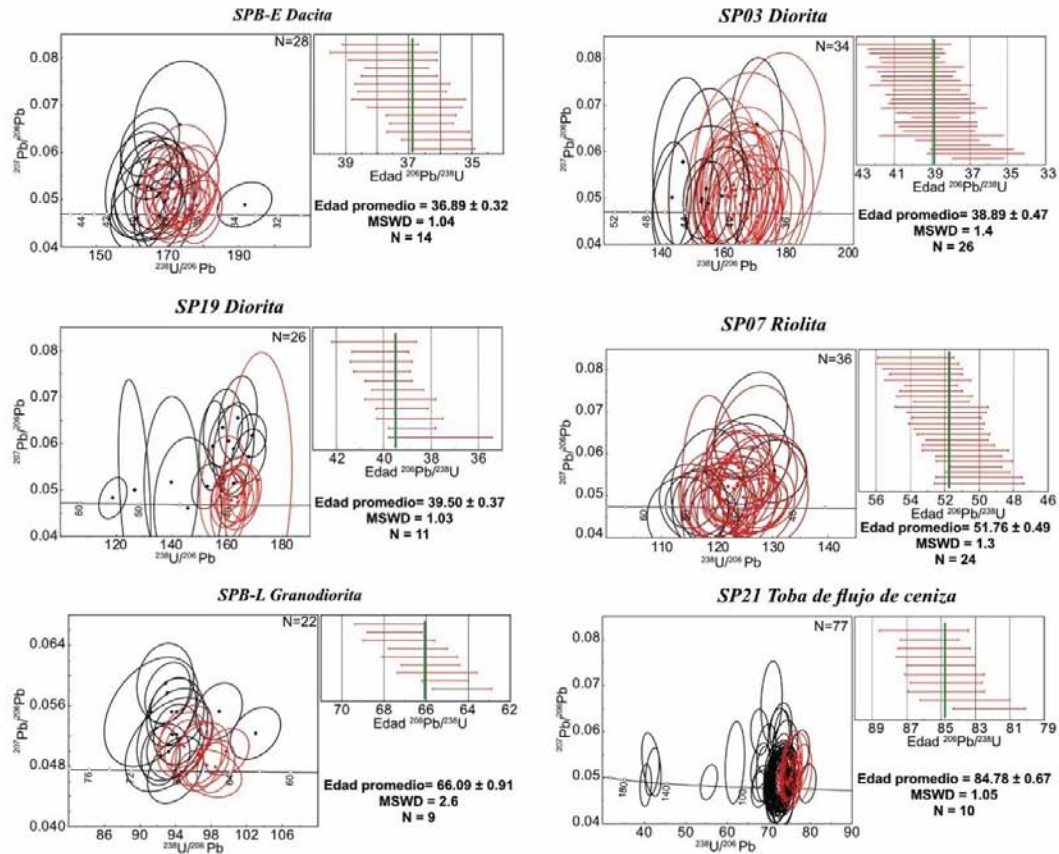


Figura 4.5. Edades U-Pb en zircones de las muestras de rocas ígneas. Se muestra el diagrama de concordia de Tera-Wasserburg y la edad por promedio ponderado. Los círculos en rojo en los diagramas de concordia representan las edades usadas para el cálculo de la edad por promedio ponderado. La tabla de resultados de los análisis de zircones se muestra en el Anexo 3 o en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650522000839?via%3Dihub>. Modificado de Castillo-Reynoso *et al.* (2022).

## 4.2 Estructura del área de estudio

### 4.2.1 Geología estructural

Las principales orientaciones de las fallas y fracturas en el área de estudio son NNO-SSE y NO-SE (Figuras 4.6 y 4.7), sin embargo, se observan variaciones de las orientaciones principales de las estructuras en distintos niveles estratigráficos (Figura 4.8).

Las rocas del Grupo Garame se encuentran basculadas principalmente hacia el NO y en menor medida hacia el NE con inclinaciones entre 3° y 25° (Figura 4.7). Al oeste del poblado de Garame también se encuentran estratos con inclinaciones de hasta 50° (Figura 4.8A). Dentro de la sucesión del Grupo Garame hay fallas normales y laterales, algunas son vetas-falla de cuarzo y sulfuros asociados (Figura 4.8), estas estructuras tienen orientaciones principales ONO-ESE (Figura 4.8B), la mayoría de las estructuras tienen rumbos entre N100° y N130° o entre N20° y N30° (Figura 4.6 y 4.7). Esta sucesión sedimentaria se encuentra afectada por fallas cuyos planos comúnmente exhiben dos familias de estrías (Figuras 4.8C y 4.8D). La primera familia está representada por estrías horizontales-subhorizontales con cinemática predominantemente dextral y en menor medida sinistral. La segunda familia de estrías se caracteriza por estrías al echado y oblicuas con cinemática normal. Las estrías con cinemática normal se sobreponen a las de cinemática lateral (Figura 4.8C). La mineralización de sulfuros se encuentra asociada principalmente a fallas con orientación NO-SE y se observa con texturas de brecha, *stockwork* y diseminados en los bordes de las vetas dentro de las rocas encajonantes (Figuras 4.8E, 4.8F y 4.8G).

Tabla 4.4. Resultados del análisis cinemático de fallas en el área de estudio. Los datos se muestran en los diagramas de la Figura 4.7 y fueron obtenidos con el software <i>Faultkin</i> (Marrett y Allmendinger, 1990; Allmendinger <i>et al.</i> , 2012).				
Estación	Ejes cinemáticos (tren/plunge)			Observaciones
	1	2	3	
Los Adobes	015/12	106/02	204/78	Dos familias de fallas: 1) Laterales-normales NE-SW y 2) normales y laterales OSO-ENE
Garame	225/7	318/22	120/67	Fallas normales con estrías predominantemente en dirección del echado además de estrías oblicuas (normales con componente lateral) con orientaciones NNO-SSE a NNE-SSO
La Ciénega	225/24	130/10	19/64	Fallas normales y laterales con orientación predominante NO-SE
Tepehuanes2	94/29	185/01	277/61	
Tepehuanes3	33/25	302/02	207/65	Fallas normales NO-SE

Papasquiario1	90/07	189/54	355/35	Fallas laterales con componente normal con orientación NE-SO
Papasquiario2	71/02	162/08	329/82	Fallas normales N-S
Papasquiario3	72/04	341/11	184/79	Fallas normales con componente lateral con dirección ESE-ONO y NE-SO

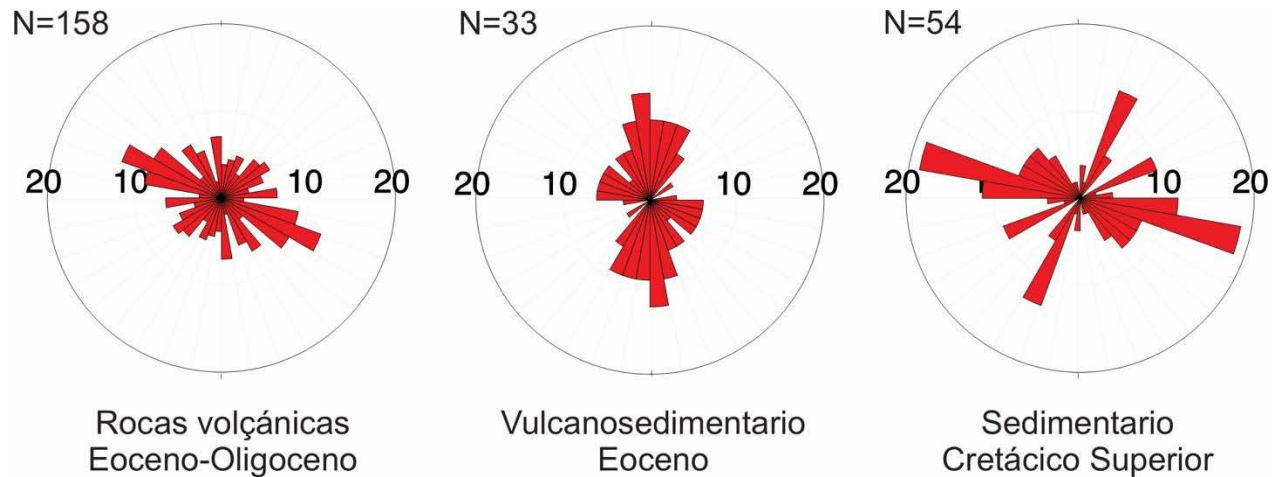


Figura 4.6. Diagramas frecuencia de la orientación de las estructuras de acuerdo con la posición estratigráfica de las unidades a las que afectan (Eoceno-Oligoceno, Eoceno y Cretácico Superior). En la Figura 4.7 la estación estructural Los Adobes corresponde a las rocas sedimentarias del Cretácico Superior, la estación Garame a la sucesión vulcanosedimentaria del Eoceno y el resto de las estaciones a las rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno.

En la sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano (37.8 Ma – 33.9: GSA Geological Time Scale, v5.0) los estratos se encuentran basculados principalmente hacia el NO y en menor medida hacia el NE con inclinaciones que varían de 4° a 32° debido a fallas normales con orientación preferencial entre N160° y N180°. Las fallas muestran cinemática normal con componente ya sea sinistral o dextral (Figuras 4.6 y 4.7).

En las sucesiones superiores de la columna estratigráfica (rocas volcánicas del Priaboniano-Rupeliano: 33.9 – 27.82 Ma) la orientación de los estratos es variable, sin embargo, se observa una inclinación dominante hacia el SO con buzamientos entre 0° a ~30°, en algunos puntos se midieron inclinaciones de hasta 69° (Figura 4.7). Las fallas y fracturas que afectan estas rocas tienen orientaciones que oscilan principalmente entre N110° a N130°, sin embargo, en esta unidad se observa mayor variación en los rumbos de las estructuras (Figuras 4.6 y 4.7). En esta unidad es común observar sistemas conjugados de fallas normales (Figura 4.9C). Los planos de fallas estriados muestran una cinemática predominantemente normal con componente lateral sinistral o

dextral (Figura 4.9). Al este de Santiago Papasquiario, sobre la carretera hacia Durango, se observan planos de falla con dos familias de estrías; la familia dominante y más joven corresponde a estrías en dirección del echado de los planos de falla con cinemática normal, las cuales se sobreponen a estrías subhorizontales con cinemática predominantemente sinistral (Figura 4.9D).

Las rocas de la formación Santiago se encuentran afectadas por fallas normales con saltos menores a 1 m. Esta unidad se encuentra ligeramente basculada hacia el oeste o al este, con inclinaciones que varían de 5° a 10° (Figura 4.7).

Los análisis cinemáticos (Figura 4.7) muestran los siguientes resultados: 1) extensión NNE-SSO en la zona en la que aflora el Grupo Garamé; 2) extensión NE-SO resultante para las fallas al noroccidente de Santiago Papasquiario, en donde se encuentra la mayor cantidad de estructuras del SGSP; este resultado también se observa en el Graben de Tepehuanes; 3) transurrencia con eje de extensión E-O asociado a fallas laterales al noreste del SGSP, estas fallas corresponden a planos que se encuentran reactivados como fallas normales y 4) extensión ENE-WSW en la porción nororiental del SGSP, en la zona de acomodo entre el Graben de Santiaguillo y el SGSP.

Los resultados obtenidos en los análisis cinemáticos son consistentes con las estructuras mayores y análisis obtenidos en trabajos previos de la región (p. Ej. Loza-Aguirre *et al.*, 2012 y Nieto-Samaniego *et al.*, 2012). Sin embargo, las estructuras que afectan el Grupo Garamé tienen una dirección de extensión oblicua a la extensión ENE-OSO que caracteriza la extensión a nivel regional en la SMO.

En las secciones geológico-estructurales de la Figura 4.10 se observa que la zona en la que se concentra la mayor deformación es la porción norte del SGSP (sección A-A') en esta región es donde se encuentra la intersección de los sistemas de fallas regionales y se observa de oeste a este: 1) una zona poco afectada por fallas en la que los estratos se encuentran horizontales, 2) la zona que corresponde al SGSP caracterizado por fallas normales con buzamiento hacia el este y un basculamiento que aumenta gradualmente hacia el oriente (de 8° hasta 25°) y 3) una zona de acomodo antitética (tipo los descritos en Faults y Varga, 1998) en la porción oriental de la sección, esta región se localiza geográficamente al noreste de Santiago Papasquiario (Figura 4.7).

En las secciones B-B' y C-C' se observa una estructura de horst que separa el SGSP (fallas con buzamiento al este) del Graben de Santiaguillo, además se observa que ambas secciones muestran la zona en la que el espesor de los sedimentos que rellenan la cuenca del SGSP alcanzan su máximo espesor (~300 m).

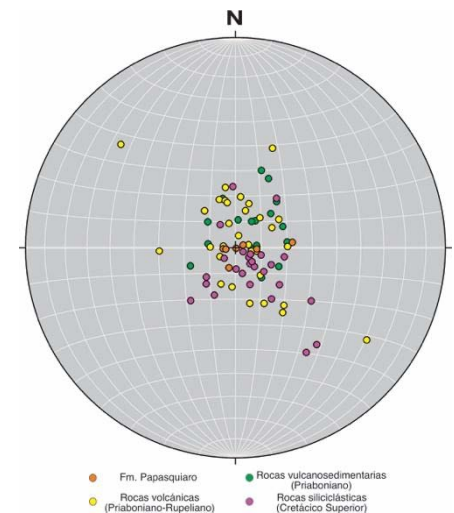
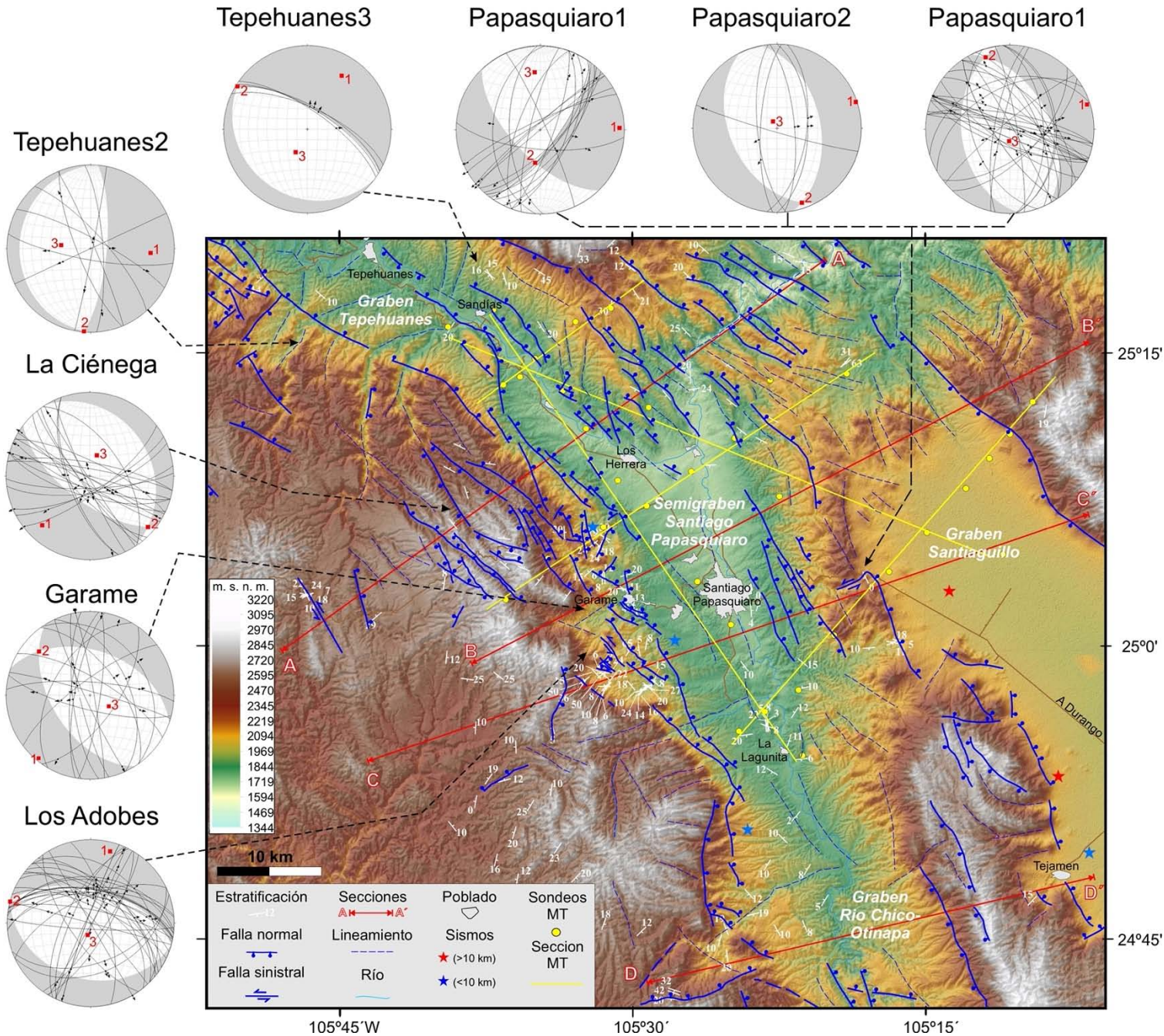
En el sur del área de estudio (sección D-D', Figura 4.10) se observa que la estructura pasa a ser un graben en donde la depresión se encuentra limitada por fallas normales con buzamiento al este y al oeste, a diferencia de la región norte, en la que se encuentra una falla maestra y fallas sintéticas con buzamiento hacia el oriente. Además, en esta sección se interpreta que la sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano que subyace el paquete ignimbrítico Eoceno-Oligoceno se encuentra a la base de la columna estratigráfica en el SGSP y en el Graben de Santiaguillo.

Las nuevas observaciones estratigráficas y estructurales, en combinación con las edades U-Pb en zircones detríticos muestran un evento de deformación de edad Cretácico Tardío-Paleoceno (entre ~84 Ma y ~52 Ma) caracterizado por fallas normales con componente lateral con dirección ONO-ESE que afectan las rocas del Grupo Garame. El límite temporal inferior de esta fase se interpreta con base en la edad de una toba fechada dentro del Grupo Garame y el límite temporal superior corresponde a rocas volcánicas del Ypresiano (~56–52 Ma) fechadas en este trabajo y en el trabajo de Loza-Aguirre *et al.*, (2022). Estas estructuras perpendiculares a la estructura principal regional son burdamente correlacionables con estructuras reportadas a nivel regional (p. Ej. en la región de San Dimas y Tayoltita, Durango; Henry, 1986; Horner y Enríquez, 1999, Montoya-Lopera *et al.*, 2019). El inicio del desarrollo de las estructuras de graben y semigraben NO-SE se acota temporalmente por el depósito de la Sucesión Vulcanosedimentaria del Priaboniano y la edad de 38.6 Ma obtenida en depósitos con peperitas representa la edad de la extensión acompañada de vulcanismo y sedimentación, tanto en el SGSP como en el Graben de Santiaguillo. La extensión continuó hasta ~21 Ma (edad máxima de depósito de en la Formación Papasquiario). En las estructuras oligocénicas se observan cambios en la cinemática de las fallas con base en el análisis de las estrías de falla, estas fallas se localizan en zonas de interacción de sistemas de fallas con distintas orientaciones. Finalmente, las fallas que afectaron a la Formación Papasquiario fueron producto de la reactivación de estructuras con orientación NO-SE a los 11 Ma (edad de basaltos asociados a fallas con la misma orientación que limitan el graben).

#### 4.2.2 Perfiles magnetotelúricos

A escala regional, el área de estudio se encuentra en la intersección de dos grandes estructuras: 1) el sistema del Semigraben de Santiago Papasquiario y 2) el sistema de fallas San Luis-Tepehuanes;

Figura 4.7. Mapa estructural. Los datos estructurales incluyen principalmente los obtenidos en este trabajo y están complementadas por los datos de Loza-Aguirre et al., 2012 y datos de las cartas geológico-mineras 1:50000 Tepehuanes (G13-C37), Llano Prieto (G13-C58) y San Nicolás de Presidio (G13-C38). Las secciones asociadas a los sondeos MT se muestran en las Figuras 4.12 y 4.13. La localización y características de los sismos se presentan en la Tabla 2.2. La orientación de los ejes cinemáticos resultantes para cada estación estructural se muestra con números de color rojo en cada diagrama y los datos se encuentran en la Tabla 4.4. También se muestra un estereograma con los polos de la estratificación en las distintas unidades estratigráficas. DEM construido con base en imágenes de INEGI



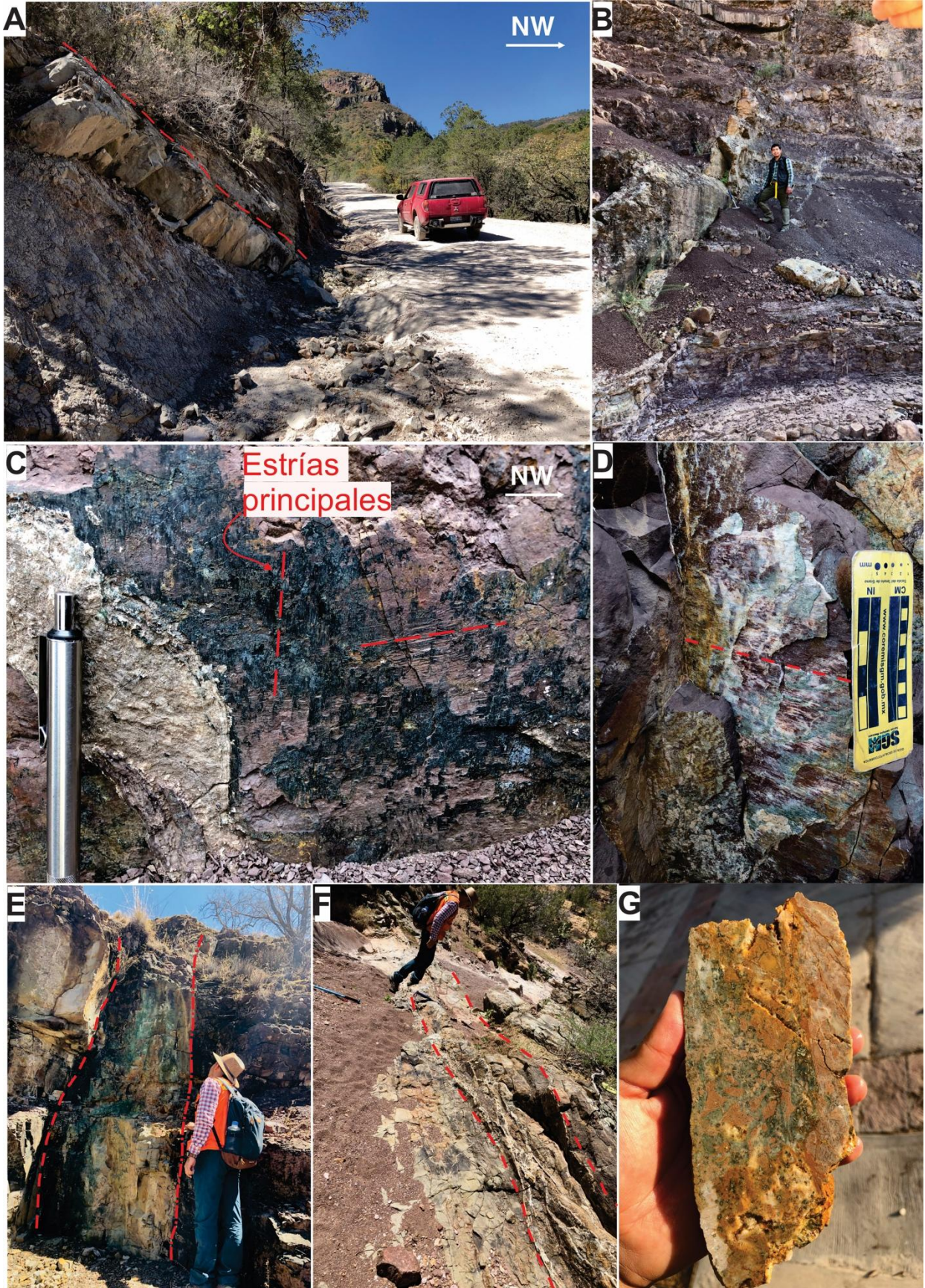


Figura 4.8. Fotografías de estructuras que afectan al Grupo Garame. A) Estratos basculados 50° hacia el NO, localizados al oeste de Garame. B) Espejo de falla normal con rumbo NO-SE afectando areniscas y limolita cerca del poblado de Los Adobes. C) Plano de falla con estrías en dos orientaciones. Las estrías verticales (de cinemática normal) se superponen a las estrías horizontales (de cinemática lateral izquierda). D) Escalones congruentes en falla lateral izquierda. E) Veta-falla de cuarzo y sulfuros. F) Arreglo anastomosado de veta-falla. G) Brecha hidrotermal.

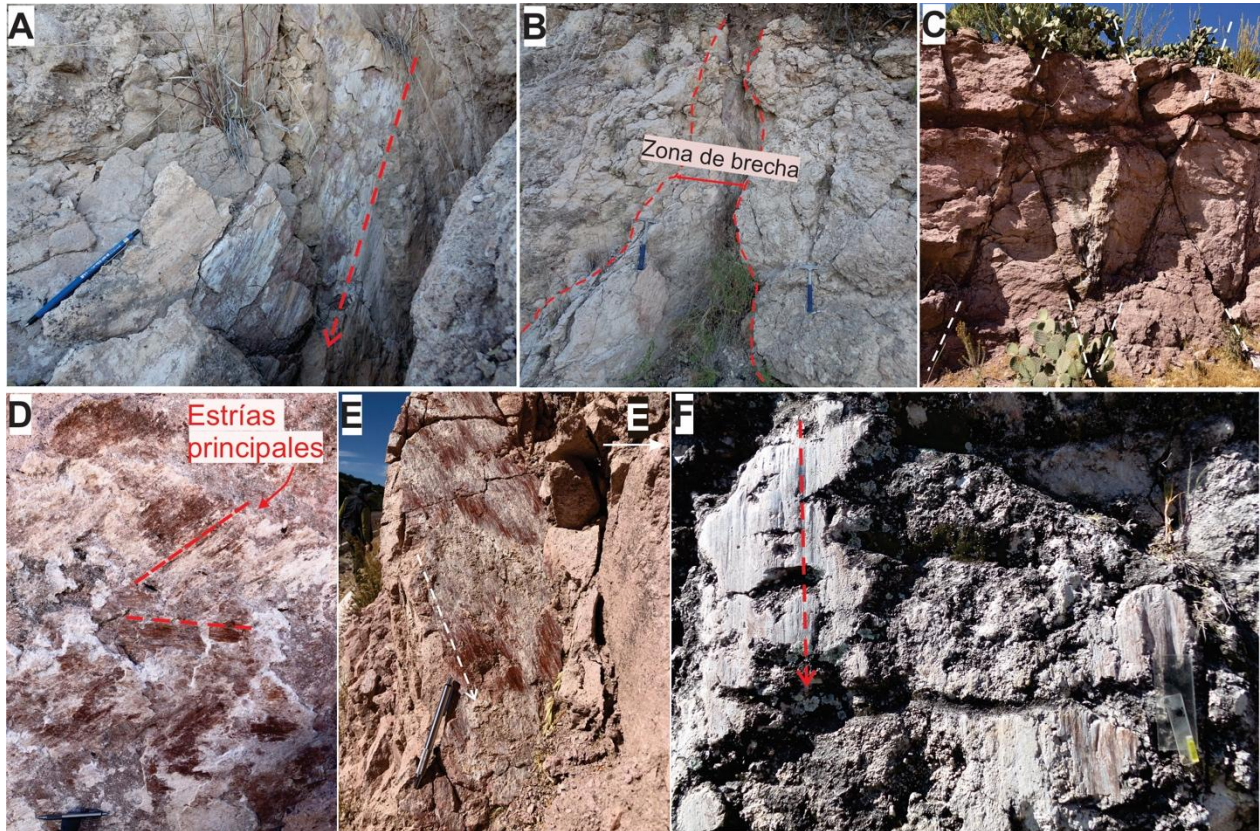


Figura 4.9. Fotografías de las estructuras que afectan las rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno. A) y B) Zona de falla al NO de Sandías en el límite entre el Graben de Tepehuanes y el Semigraben de Santiago Papasquiario. C) sistema conjugado de fallas normales al oeste de Santiago Papasquiario. D) y E) Planos de falla al este de Santiago Papasquiario, sobre la carretera hacia Durango; D) muestra un plano en el que se exhiben dos familias de estrías, las estrías oblicuas (~45°) corresponden a una cinemática normal y se superponen a las estrías horizontales, las cuales corresponden a una cinemática lateral izquierda y E) muestra un plano de falla con estrías bien desarrolladas con cinemática normal-sinistral. F) Plano de falla normal con estrías verticales

conformado en el área por los grábenes de Santiaguillo y Tepehuanes (Figura 4.7). Dentro de ambos sistemas se observan estructuras de graben y semigraben, así como zonas de relevo y zonas de acomodo (*fault-domain boundaries*; Schlische y Withjack, 2009). Para inferir la estructura regional a profundidad se elaboraron modelos digitales de elevación y se construyeron secciones



geológico-estructurales apoyadas por perfiles magnetoteléuticos perpendiculares y oblicuos a las estructuras principales (NO-SE), los cuales fueron visualizados en el software *Leapfrog* (Seequent) (Figuras 4.12 y 4.13).

El Perfil A, localizado al sur del poblado de Sandías, al noroeste de Santiago Papasquiario (Figura 4.7) muestra zonas conductivas o bajos resistivos (resistividad menor a  $5 \Omega\text{m}$ ) en los bordes del perfil, a profundidades hasta de 500 m que se extienden hasta la superficie ( $\sim 1800$  msnm) en el borde oeste y entre 300 y 900 m de profundidad desde la superficie ( $\sim 2100$  msnm) en el borde oriental. Además, en la parte central del perfil se observa una zona conductiva de  $\sim 200$  m de espesor (Figura 4.12).

El perfil B muestra una zona conductiva en la porción central, la cual corresponde a la cuenca del semigraben de Santiago Papasquiario. Esta zona conductiva se encuentra desde la superficie ( $\sim 2000$  msnm) y llega a una profundidad máxima de 1300 m por debajo de la superficie (Figuras 4.12 y 4.13).

El Perfil C se localiza al sur del SGSP y corta también la porción norte del Graben de Santiaguillo. Las zonas más conductivas se localizan en los bordes occidental y oriental de las estructuras principales. En el sur del SGSP, las zonas conductivas se encuentran en la porción occidental, desde la superficie hasta una profundidad de hasta 800 m respecto a la superficie ( $\sim 1900$  msnm) y a  $\sim 250$  m en el oriente. Dentro del Graben de Santiaguillo se observa una zona conductiva en el hombro oriental del graben entre el nivel superficial (2500 msnm) y hasta 400 m de profundidad. Además, en el occidente se observan zonas menos conductivas ( $\sim 6$  a  $11 \Omega\text{m}$ ) en los bordes del graben, entre 300 y 1000 m debajo de la superficie ( $\sim 2100$  msnm) y entre 500 y 1000 m de profundidad respecto a la superficie en el borde oriental (Figura 4.12).

El perfil D se localiza desde el poblado de Sandías (Figura 4.7) hasta el borde oeste del Graben de Santiaguillo. En este perfil se observa, en la porción central, una zona conductiva entre los 800 y 1300 m de profundidad por debajo de la superficie (1800 msnm). Esta zona conductiva corresponde a la porción oriental del SGSP (Figuras 4.12 y 4.13).

El perfil E corta de manera longitudinal al SGSP. Este perfil muestra varias anomalías conductivas que llegan a profundidades de hasta 2800 m por debajo de la superficie. La principal anomalía se encuentra entre Santiago Papasquiario y el poblado de Garame. La distribución de estas anomalías conductivas corresponde con orientación OSO–ESE de fallas que afectan las rocas del Grupo

Garame, al este de Santiago Papasquiari y cuyos afloramientos se encuentran bordeados por altos topográficos con la misma orientación. (Figura 4.13).

### **4.3 Producción de calor**

#### **4.3.1 Estimación de densidad**

La estimación de la producción de calor se basa en la ecuación de Rybach (1988) (Ec. 1, sección 1.4), en la cual se incluyen los siguientes parámetros: contenido de U, Th y K y densidad de la roca. Los contenidos de U, Th y K se obtuvieron mediante un espectrómetro de rayos gamma portátil y debido a que las muestras analizadas en este trabajo exhiben una amplia variación de texturas y composición de los minerales y líticas, se realizaron mediciones de densidad de muestras representativas de los distintos grupos litológicos reconocidos en las unidades litoestratigráficas, para ello se definieron 10 grupos de rocas con base en sus características composicionales y texturales. Para cada grupo de rocas se obtuvo el promedio (media aritmética) de la densidad de muestras representativas, este promedio fue utilizado para el cálculo individual puntual de producción de calor. La tabla 4.5 muestra los resultados de la densidad de cada grupo y la explicación del tipo de rocas que conforma cada grupo. Los promedios se usaron siempre y cuando se tuvieran al menos dos muestras representativas, en el caso de los esquistos usó el valor de densidad establecido en Smithson (1971).

#### **4.3.2 Contenido de radioelementos (U, Th y K) y producción de calor**

Los contenidos de radioelementos en las unidades litológicas se presentan en la Figura 4.14. Los valores de potasio varían de ~2% a ~14%, aunque los valores se concentran principalmente entre 2% y 6 %. Los valores de uranio y torio varían respectivamente de ~2 ppm hasta ~15 ppm y de ~5 ppm a ~55 ppm. En la parte media del Grupo Garame, dentro de la Formación Los Adobes, se encuentran estratos con alto contenido de U y Th, los cuales llegan hasta 1255 ppm de U y hasta 316 ppm de Th (Anexo 5).

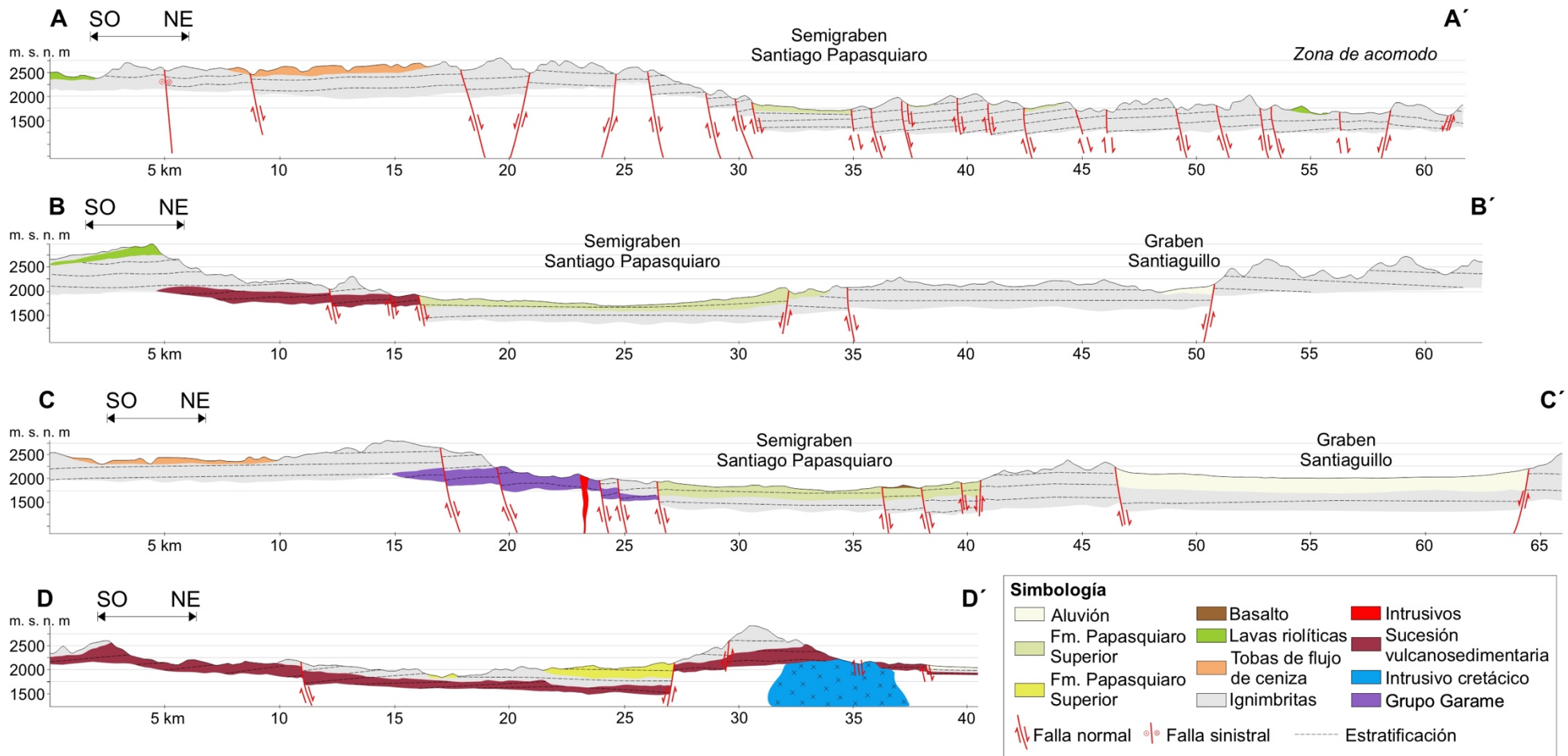


Figura 4.10. Secciones geológico-estructurales. A-A' revela la geometría de las estructuras en la zona de intersección de sistemas de fallas que a su vez es la sección en donde se encuentra mayor cantidad de estructuras. B-B' se ubica en la porción central del SGSP y el norte del GS. C-C' corta unidad más antigua reconocida en el área de estudio (Grupo Garame). D-D' es la sección más al sur del área de estudio, construida a través de una zona de graben y el hombro occidental del GS. La localización de las líneas de sección se muestra en la Figura. 4.7. En la Figura 4.11 se muestran fotografías panorámicas de los principales rasgos morfológicos del área de estudio. Exageración vertical 2:1.

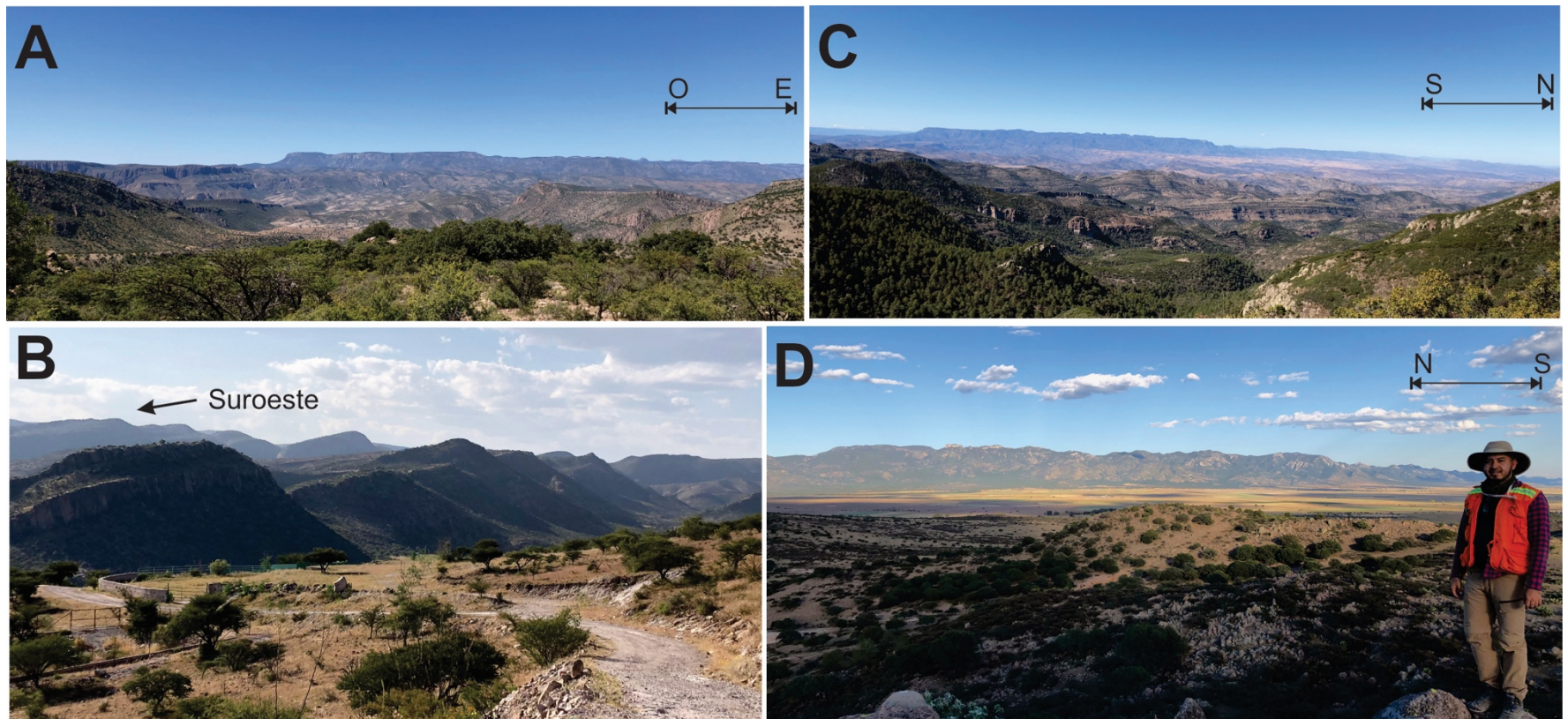
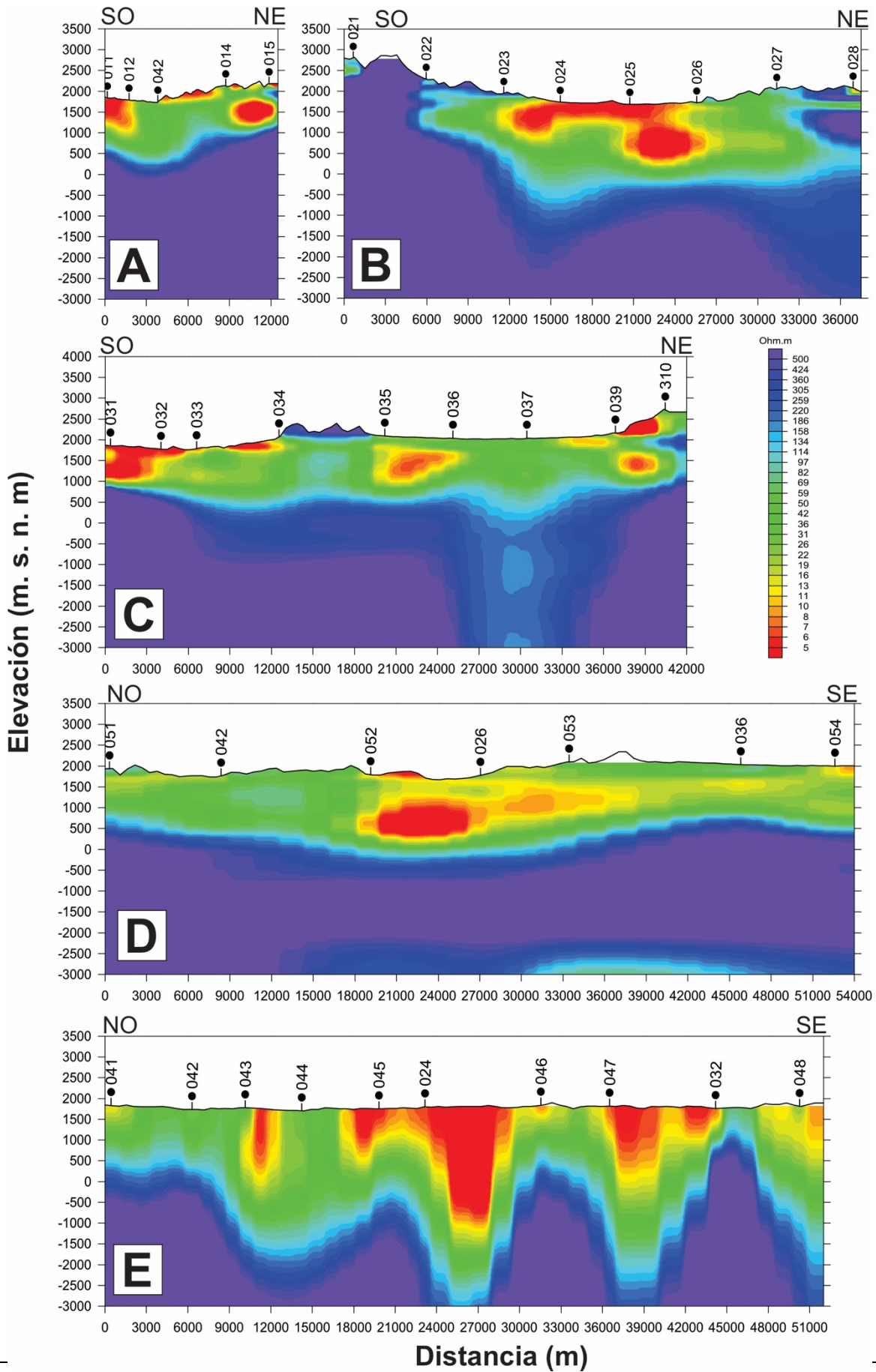


Figura 4.11. Fotografías panorámicas de las principales estructuras del área de estudio. A) Vista de sur a norte de la zona de acomodo que se muestra en la sección A-A' de la Figura 3.12. B) Bloques basculados hacia SO al este del SGSP, en primer plano se observan bloques basculados hacia el SO y en segundo plano se observa la cuenca del SGSP. Vista de la porción oriental de la sección B-B'. C) Vista hacia el oeste de bloques basculados al SO en el hombro sur del Graben de Tepehuanes. D) Vista hacia el oriente de la porción norte del Graben de Santiaguillo, en donde se traslapan los sistemas San Luis Tepehuanes y el norte del sistema del Graben Rio Chico-Otinapa.



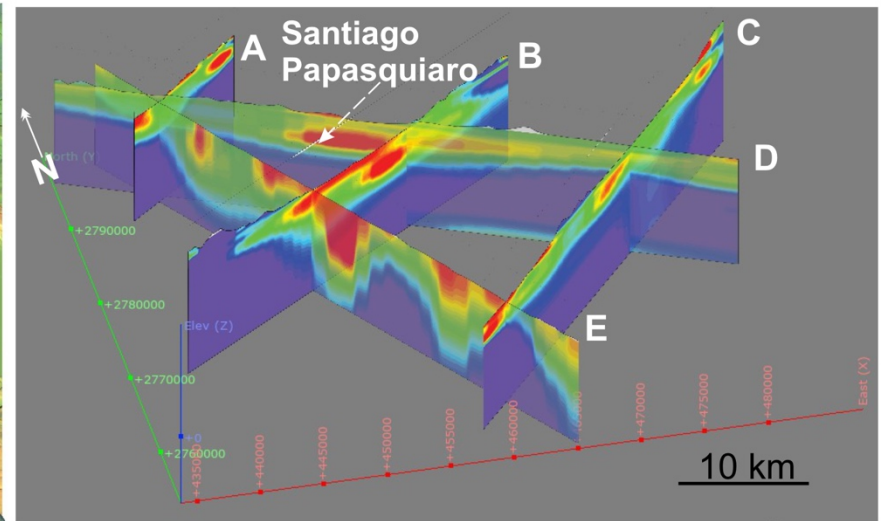
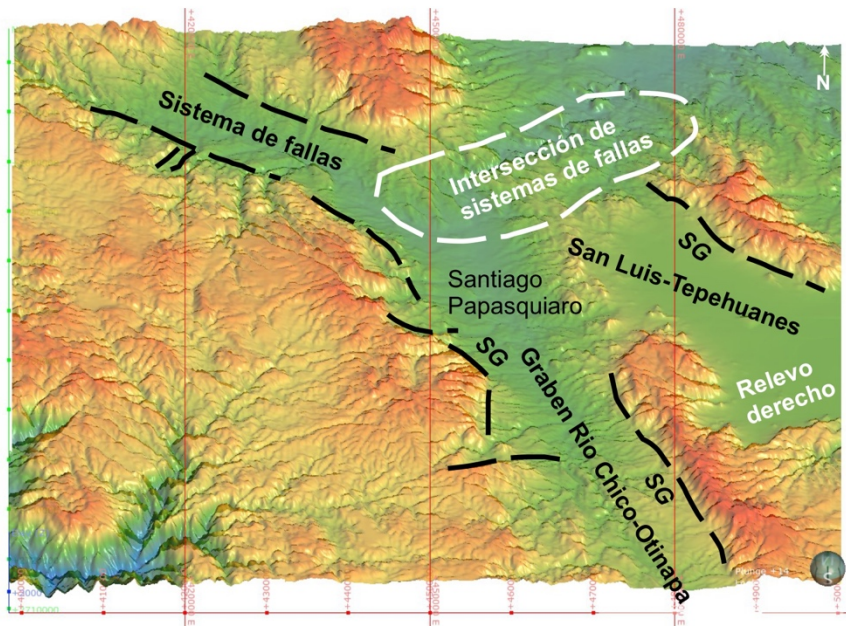
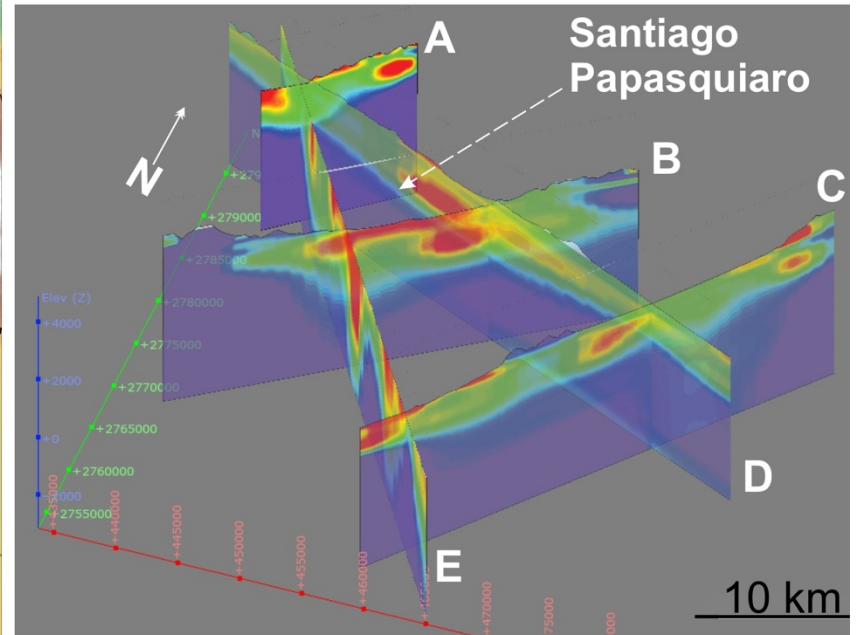
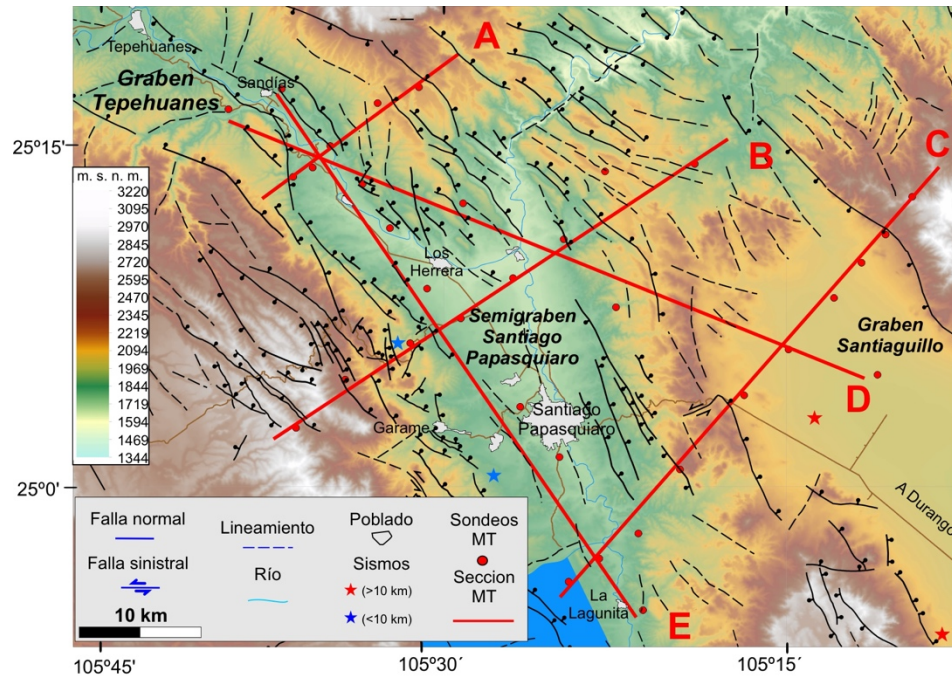


Figura 4.12. Perfiles magnetotelúricos obtenidos adentro del área de estudio. Exageración vertical = 3. La localización de los sondeos se muestra en la figura 4.7.

Figura 4.13. Perfiles magnetotelúricos obtenidos en el área de estudio. A) y B), perfiles MT en vista tridimensional desde perspectivas distintas. C) Modelo digital de elevación y perfiles MT en vista 3D. D) Perfiles MT y mapa estructural. E) Modelo digital de elevación con las principales estructuras regionales. SG–Zona de semigraben, G–Zona de graben. Las imágenes se obtuvieron con el software *Leapfrog*.

Tabla 4.5. Densidades promedio de los diferentes grupos de roca, estos valores fueron utilizados para el cálculo de la producción de calor. La densidad de los esquistos fue tomada de Smithson (1971).			
Tipo de roca	Descripción	Densidad Promedio (Kgm <sup>-3</sup> )	Desviación estándar
<i>Rocas sedimentarias</i>			
Areniscas	Areniscas de grano fino a grueso, limolitas y lutitas. Son rocas textural y composicionalmente inmaduras. Los principales componentes son líticos volcánicos, cuarzo y feldespato. Este grupo incluye muestras de peperitas.	2550.7	37.6
Conglomerados	Conglomerados pobremente clasificados y soportados por matriz. Los clastos se componen de líticos piroclásticos y clastos volcánicos porfídicos. La matriz se compone de arenas de finas a gruesas.	2367.7	130.3
Calizas	Calizas de grano fino, recristalizadas. Presentan laminación paralela. Algunos horizontes contienen fósiles (equinodermos), carpetas de algas y chert.	2555.4	168.6
<i>Rocas volcánicas</i>			
Lavas riolíticas	Rocas porfídicas holocristalinas a hipocristalinas. Algunas muestras presentan estructura reomórfica. Los fenocristales consisten en cuarzo, feldespato, anfíbol y biotita.	2438.9	129.4
Lavas andesíticas	Rocas porfídicas holocristalinas a hipocristalinas. Los fenocristales son de feldespato, anfíbol y biotita. Los fenocristales ferromagnesianos están alterados por epidota y arcillas.	2484.5	244.2
<i>Rocas piroclásticas</i>			
Tobas	Depósitos compuestos por ceniza volcánica. Presentan textura y componentes variables. Este grupo incluye tobas soldadas y no soldadas. Los componentes son líticos volcánicos, espículas de vidrio, fragmentos de pómez y cristales de cuarzo, feldespato y biotita.	2461.3	45.2
Ignimbritas	Ignimbritas con textura, estructura y componentes variables. Este grupo incluye brechas piroclásticas con matriz vítrea. Comúnmente presentan estructura reomórfica y textura eutaxítica. La matriz y las <i>fiammes</i> de pómez comúnmente se encuentran devitrificadas. El grado de soldamiento es variable, desde pobremente	2330	214.6

	soldadas a altamente soldadas Los líticos son fragmentos volcánicos con texturas piroclástica, fanerítica y afanítica.		
<i>Rocas intrusivas</i>			
Dioritas-granodioritas	Rocas holocristalinas porfídicas. Contienen fenocristales de feldespato, cuarzo, anfíbol y biotita. Estas rocas están pervasivamente alteradas por arcillas.	2589.42	62.37
Granitos	Rocas holocristalinas porfídicas a faneríticas. Los fenocristales corresponden a feldespato, cuarzo, anfíbol, biotita y muscovita.	2549.7	32.9
<i>Rocas metamórficas</i>			
Esquisto	Roca foliada de grano fino. Se compone de minerales de muscovita y cuarzo.	2750-2980 Promedio=2800	

La producción de calor, dada la relación directa con las concentraciones de radioelementos, aumenta principalmente en función de los contenidos de uranio y torio, mientras que la relación con el potasio muestra mayor dispersión (Figura 4.15). Los contenidos de uranio se encuentran por encima del valor de la corteza superior (2.7 ppm; Rudnick y Gao, 2003). Además, la relación Th/U se distribuye principalmente entre los valores de 2 a 4, este último representa el valor de la relación Th/U de la corteza superior continental. En las relaciones Th/U sobresalen algunos datos que corresponden al Grupo Garame y a la Sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano (Figura 4.15). Los valores con alto uranio y baja relación Th/U de la Sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano corresponden a lavas félsicas que sobreyacen depósitos siliciclásticos. Los contenidos de radioelementos y por lo tanto las relaciones entre ellos, así como la producción de calor asociada presentan una alta variabilidad en todas las unidades, por lo que no es posible diferenciar las unidades litoestratigráficas por su producción de calor, a excepción del Grupo Garame, en el cual se obtuvieron valores de uranio de hasta 1255 ppm.

Los puntos en los que se obtuvieron los datos de los valores de radioelementos se ubicaron en un mapa para mostrar la distribución de calor producido por las rocas en superficie. La distribución geográfica de los valores de radioelementos en el área de estudio se muestra en la Figura 4.16. Los valores por debajo de  $4 \mu\text{Wm}^{-3}$  son los más comunes y se distribuyen en toda el área. Algunos sitios tienen valores de producción de calor en el rango de 6 a  $8 \mu\text{Wm}^{-3}$ , estos datos se localizan al oeste de Santiago Papasquiario, mientras que los valores más altos (de hasta  $310 \mu\text{Wm}^{-3}$ ) corresponden a estratos con un espesor total de  $\sim 5$  m de limolitas y lutitas con alto contenido de materia orgánica, además de la presencia de minerales secundarios de tobernita y B-uranófano



(Guzmán-Lugo, *et al.*, 2021). Estas rocas están expuestas únicamente al suroeste de Santiago Papasquiuro y forman parte del Grupo Garame (Figura 4.16).

Los diagramas de densidad de probabilidad de la producción de calor calculada para las rocas de cada unidad litoestratigráfica (Figura 4.17) muestran que las rocas piroclásticas y lavas riolíticas del Priaboniano-Rupeliano tienen los valores más altos, mientras que los valores más bajos corresponden a las rocas de la sucesión vulcanosedimentaria del Priaboniano. Por otro lado, las intrusiones dioríticas tienen distribuciones similares a las rocas volcánicas sobreyacentes, aunque se tienen pocos datos de estas intrusiones.

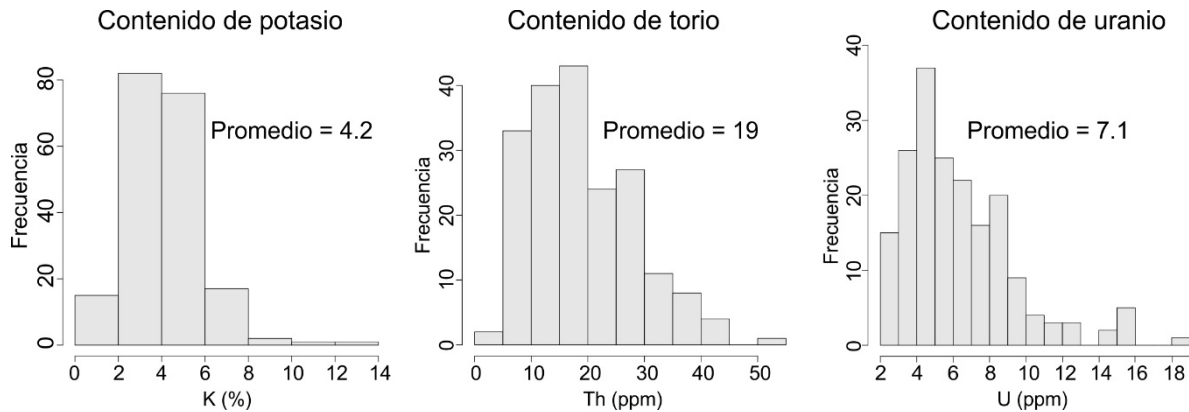


Figura 4.14. Histogramas con los contenidos de radioelementos en las rocas del área de estudio. Los datos fueron medidos *in-situ* mediante un espectrómetro de rayos gamma. El promedio mostrado se refiere a la media aritmética.

Para obtener información acerca de la magnitud de la producción de calor en el área de estudio respecto a rocas conocidas por ser altamente productoras de calor, en la Figura 4.17 también se incluyen diagramas de densidad de probabilidad de la producción de calor en rocas de otras partes del mundo, incluyendo: granitos productores de calor de Queensland, al este de Australia (Siégel *et al.*, 2014); el Escudo Árábigo (Abbadly y Al-Ghamdi, 2018); Soultz sous-Forest, en Francia (Rummel, 1992); rocas del suroeste de Inglaterra (Beamish y Busby, 2016); la Provincia Guangdong, en China (Kuang y Wuang, 2020) y rocas volcánicas y plutónicas de México (Hasterok y Webb, 2017). Además, los datos obtenidos en este trabajo se compararon con los valores de producción de calor en la corteza superior continental ( $1.65 \mu\text{Wm}^{-3}$ ; Rudnick y Gao, 2003) y el valor promedio de granitos-riolitas ( $2.45 \mu\text{Wm}^{-3}$ ; Rybach, 1976).

En general, las rocas del área de estudio exceden el valor promedio en la corteza continental superior, así como el valor esperado para riolitas y granitos. Las rocas volcánicas de la región de Santiago Papasquiaro, se encuentran dentro del rango de los valores reportados para granitos productores de calor reportados en distintas partes del mundo y son comparables a pesar de que los procesos de emplazamiento son distintos o que los datos de producción de calor reportados en la literatura fueron obtenidos con base en métodos diferentes a los usados en el presente trabajo; por ejemplo, en las bases de datos de granitos productores de calor alrededor del mundo (Rummel, 1992; Siégel *et al.*, 2014; Beamish y Busby, 2016; Abbady y Al-Ghamdi, 2018; Kuang y Wuang, 2020) o las bases de datos de rocas plutónicas y volcánicas de México (Hasterok y Webb, 2017), la densidad y el contenido de radioelementos usadas para los cálculos de producción de calor se obtuvieron usando la velocidad sísmica o mediante análisis químicos de laboratorio en roca total, respectivamente.

#### 4.4 Isotopos de He

En la Tabla 4.6 se presentan los resultados obtenidos en esta investigación para las concentraciones de  $^4\text{He}$  y  $^{20}\text{Ne}$ , así como las relaciones isotópicas de  $^3\text{He}/^4\text{He}$  y  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ , la localización de las muestras de aguas termales se presenta en la Figura 4.16. Los resultados muestran que las concentraciones de  $^4\text{He}$  varían entre  $2.95 \times 10^{-7}$  y  $6.56 \times 10^{-6}$   $\text{cm}^3/\text{g}$ , mientras que los valores de la relación  $R_c/R_a$  se encuentran en el rango de 0.18 a 0.72.

Tabla 4.6. Concentraciones de $^4\text{He}$ y $^{20}\text{Ne}$ y relaciones isotópicas $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ . La relación $R/R_a$ representa las relaciones isotópicas de helio, donde $R$ es la relación $^3\text{He}/^4\text{He}$ determinadas en las muestras y $R_a$ representa la relación de la atmósfera ( $1.39 \times 10^{-6}$ ). $R_c/R_a$ es el valor corregido para la contaminación atmosférica usando la ecuación de la relación $^4\text{He}/^{4\text{He}/^{20}\text{Ne}}\text{Ne}$ de aire normalizado de Hilton (1996). A, C y M representan los componentes atmosférico, cortical y mantélico, respectivamente.									
Muestra	T (°C)	$^{20}\text{Ne}$	$^4\text{He}$	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	R/Ra	Rc/Ra	A	C	M
		cm <sup>3</sup> (STP)/g		Ne			%		
San1	68.8	1.91E-07	6.56E-06	34.04	0.26	0.25	0.8	96.1	3.2
San2	69.1	2.20E-07	6.39E-06	28.67	0.26	0.26	0.9	95.9	3.2
San3	63.9	2.38E-07	4.33E-06	18.01	0.26	0.25	1.5	95.5	3.1
Her	74.3	1.43E-07	2.03E-06	14.09	0.72	0.72	1.9	88.8	9.4
AC	42.3	2.05E-07	2.95E-07	1.42	0.34	0.18	18.7	79.4	1.9

(Straub *et al.*, 2011a; Sandoval-Velasquez *et al.*, 2021). La relación R/Ra versus la relación  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$  para cada muestra se presenta en la Figura 4.18, en la cual se muestran datos de gases disueltos y libres de gases de campos geotérmicos en México para comparación: Los Azufres (Pinti *et al.*, 2013), Los Humeros (Pinti *et al.*, 2017); además de los datos de manantiales termales del graben de Juchipila (Billarent-Cedillo *et al.*, 2021).

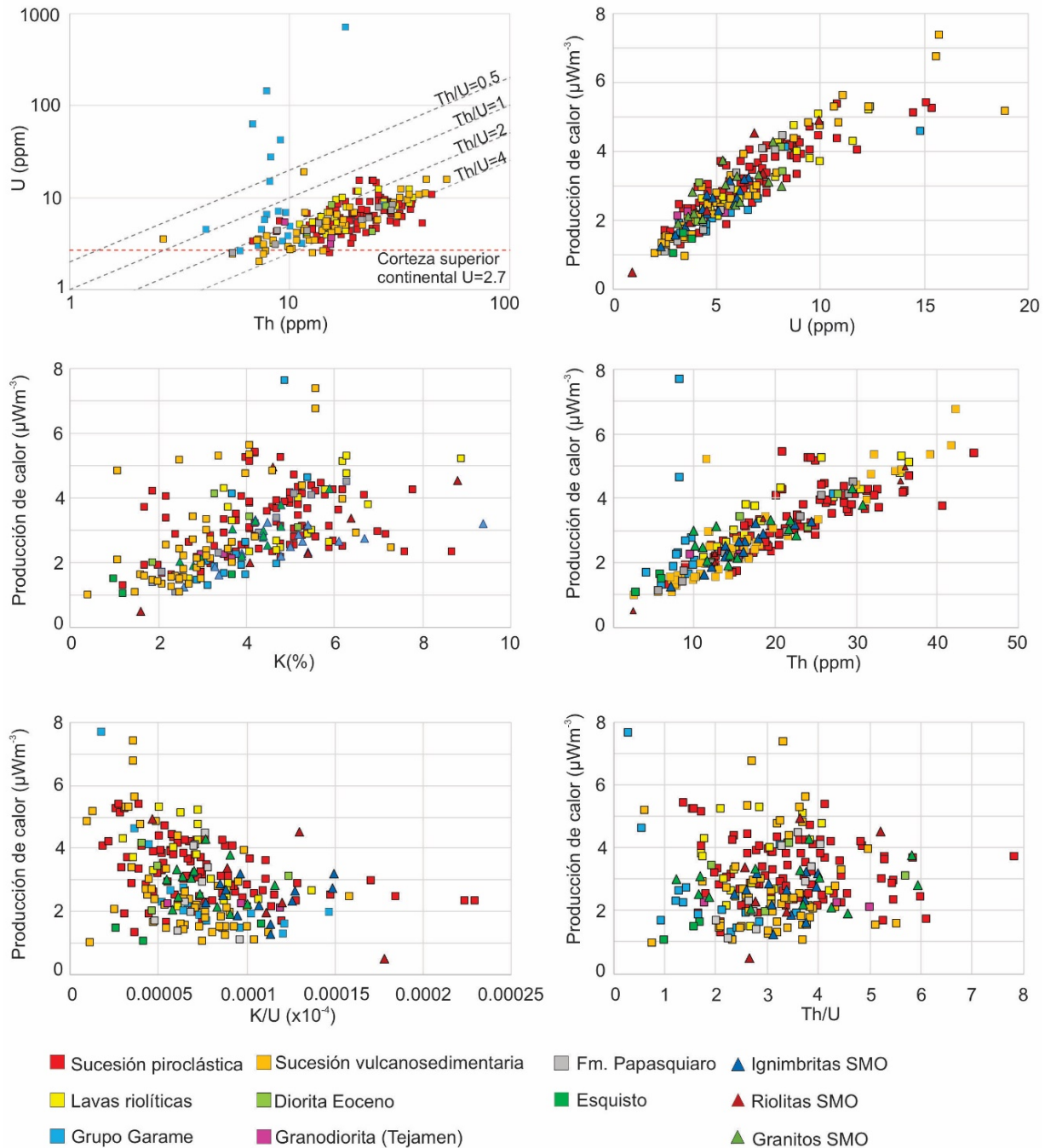


Figura 4.15. Relaciones entre U, Th y K con la producción de calor, así como relaciones entre los contenidos de estos radioelementos. Los valores de  $U=2.7$  y  $Th/U=4$  corresponden a los valores establecidos para la corteza continental superior (Rudnick y Gao, 2003). Por cuestiones de mejor visibilidad de los datos, los gráficos no contienen los datos mayores a  $8 \mu Wm^{-3}$  de producción de calor o mayores a 20 ppm de uranio, estos datos son mencionados en el texto. En el Anexo 5 se presentan todos los datos usados para la construcción de los gráficos.

---

Las manifestaciones termales del área de Santiago Papasquiario exhiben una composición principalmente cortical (79.4%—96.1%), con contribuciones menores de composición mantélica (1.9%—9.4%) y atmosférica (0.8%—18.7%). El comportamiento de las aguas termales del área de estudio difiere de las del Graben de Juchipila, localizado 300 km al suroeste, pero dentro de la misma provincia geológica y el mismo ambiente tectónico, donde el helio y los miembros finales son: ASW de 23 —72 %, componente cortical de 25%—63% y componente mantélico de 0.7%—14% (Billarent-Cedillo *et al.*, 2021) (Figura 4.18).

También se calculó la tasa de producción de helio radiogénico en el fluido ( ${}^4He_{prod}$  en  $cm^3STP/g/año$ ) con base en la ecuación de Newell *et al.* (2005):

$${}^4He_{rad} = {}^4He_{prod} \frac{(1 - \varphi)}{\varphi}$$

Donde  $\varphi$  es la porosidad (10% como promedio en una corteza superior fracturada) y  ${}^4He_{prod}$  es la tasa de producción de helio en la roca ( $cm^3STP/g/año$ ) el cual puede ser calculado con la ecuación de Torgersen *et al.* (1995):

$${}^4He_{prod} = (0.2355 \times 10^{-12}) \times [U] \times \left( 1 + 0.123 \left( \frac{[Th]}{[U]} - 4 \right) \right)$$

Donde [U] y [Th] son las concentraciones de uranio y torio en la roca en ppm. Se usaron los promedios de concentraciones de [U] y [Th] de las rocas del Rupeliano (7 y 22 ppm, respectivamente). Se obtuvo un valor de  ${}^4He_{rad}$  de  $1.3 \times 10^{-11} cm^3STP/g/año$ . Asumiendo que el  ${}^4He_{rad}$  medido en el área de estudio se acumuló en el acuífero con el tiempo (34 Ma), entonces se tendría un valor de  $4.5 \times 10^{-4} cm^3STP/g$  disuelto en el agua. El valor medio de  ${}^4He$  medido en el área de estudio  $4.3 \times 10^{-6} cm^3STP/g$ , lo cual es más bajo que el valor estimado.

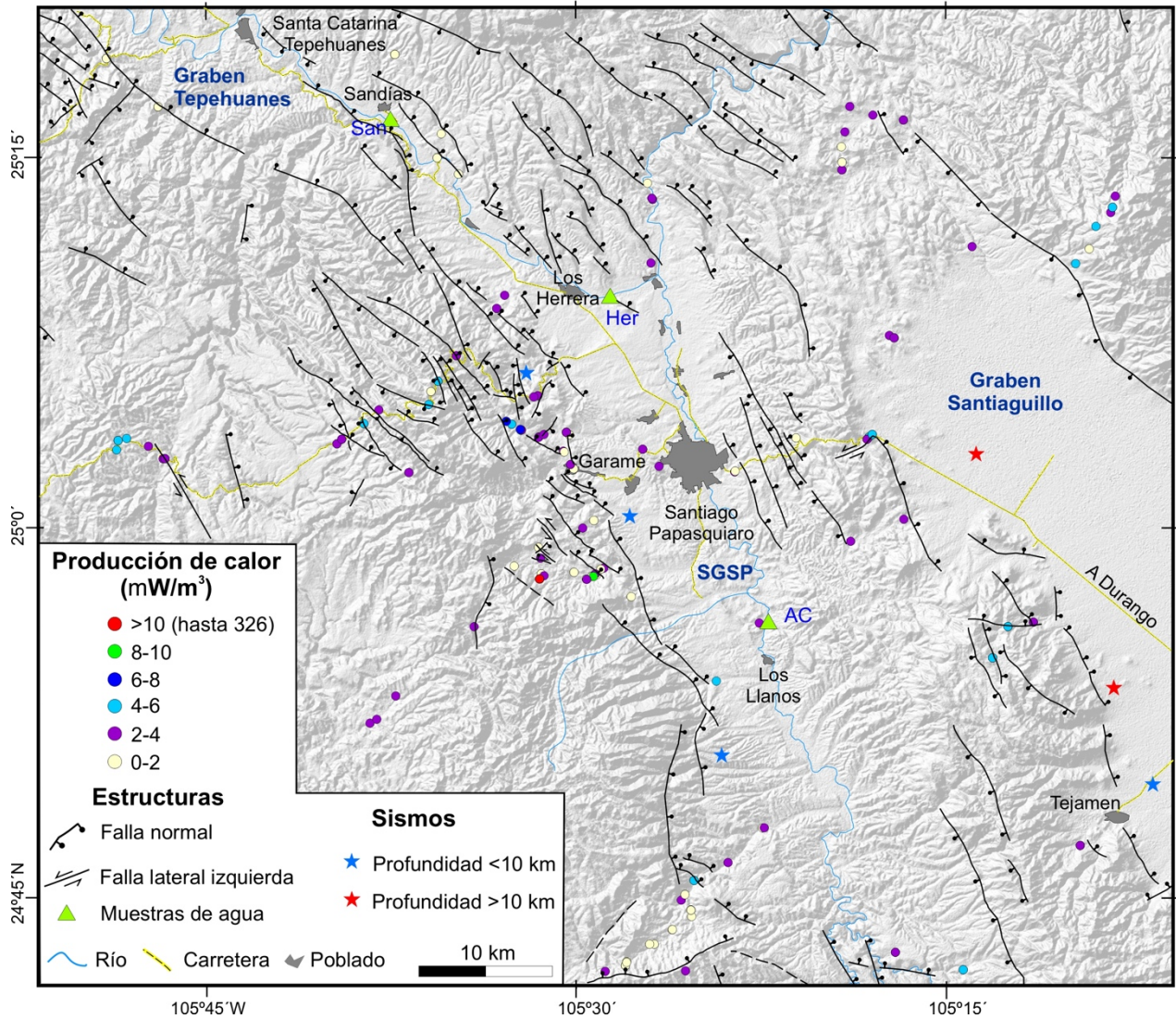


Figura 4.16. Distribución geográfica de los datos de producción de calor en la región de Santiago Papasquiario. Se incluye la localización de las muestras de aguas termales y sismos históricos. SGSP—Semigraben de Santiago Papasquiario. Los datos de sismicidad son tomados de Nieto-Samaniego *et al.* (2012) y la base de datos de sismos del Servicio Sismológico Nacional (Tabla 3.2). Modificado de Castillo-Reynoso *et al.* (2022).

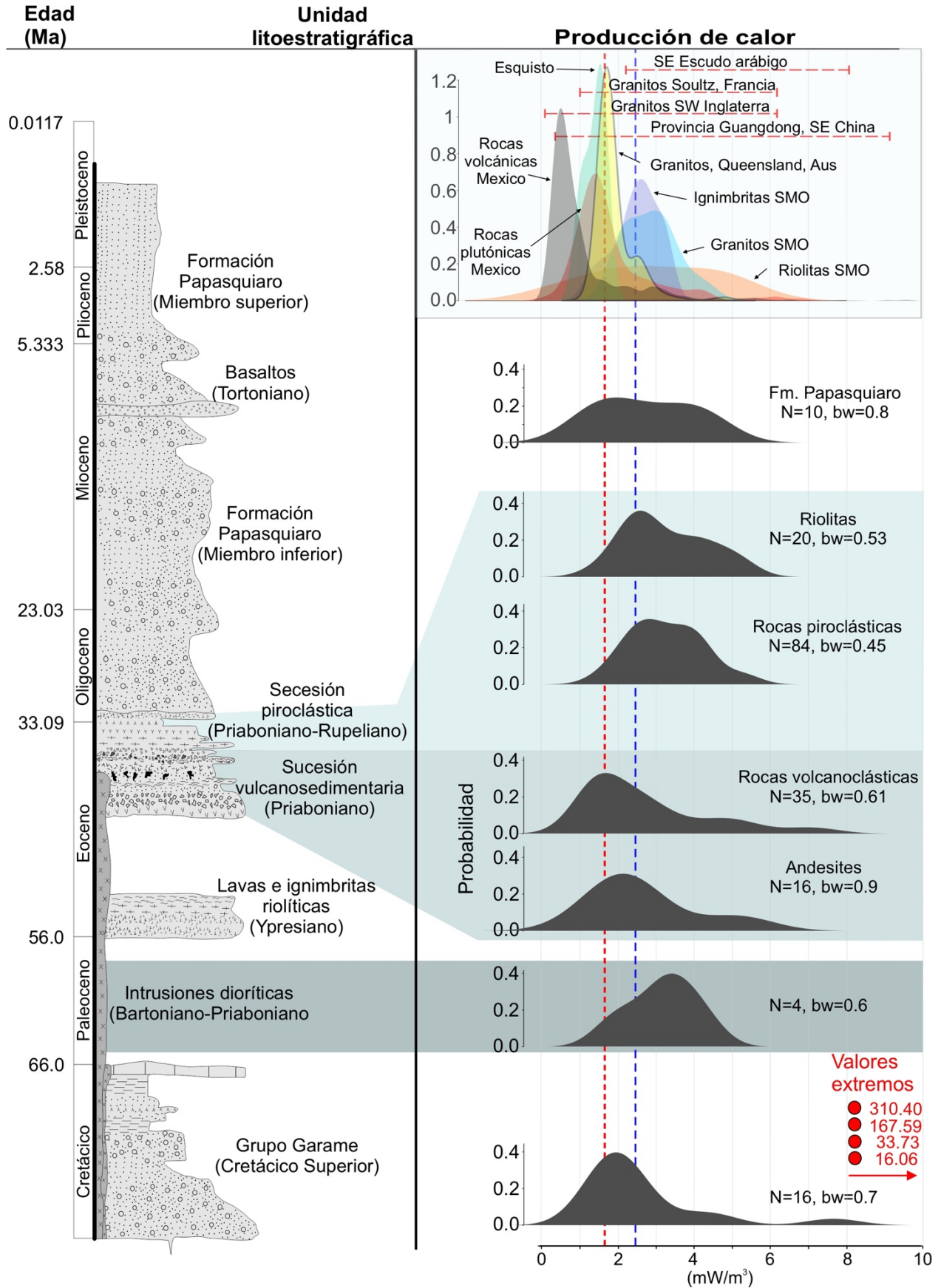


Figura 4.17. Columna estratigráfica del área de estudio con los datos de producción de calor para cada unidad litoestratigráfica (diagramas de densidad de probabilidad de la derecha). Los círculos rojos representan los datos más altos de producción de calor calculados, los cuales se encuentran en capas ricas en materia orgánica del Grupo Garame. La línea punteada roja representa el valor promedio de producción de calor en la corteza superior continental (Rudnick y Gao, 2003). La línea punteada azul representa el valor promedio en granitos-riolitas (Rybach, 1976). Los diagramas de densidad de probabilidad coloreados (parte superior) muestran la distribución de datos de producción de calor en otras partes de México incluyendo: rocas volcánicas y plutónicas de México (Hasterok y Webb, 2017) y datos obtenidos para el presente trabajo para rocas de la SMO fuera del área de estudio. También se incluye el rango de valores de producción de calor en regiones en las que se han reportado rocas graníticas productoras de calor (Rummel, 1992; Beamish y Busby, 2018; Abbady y Al-Ghamdi, 2018; Kuang y Wang, 2020). Modificado de Castillo-Reynoso *et al.* (2022).

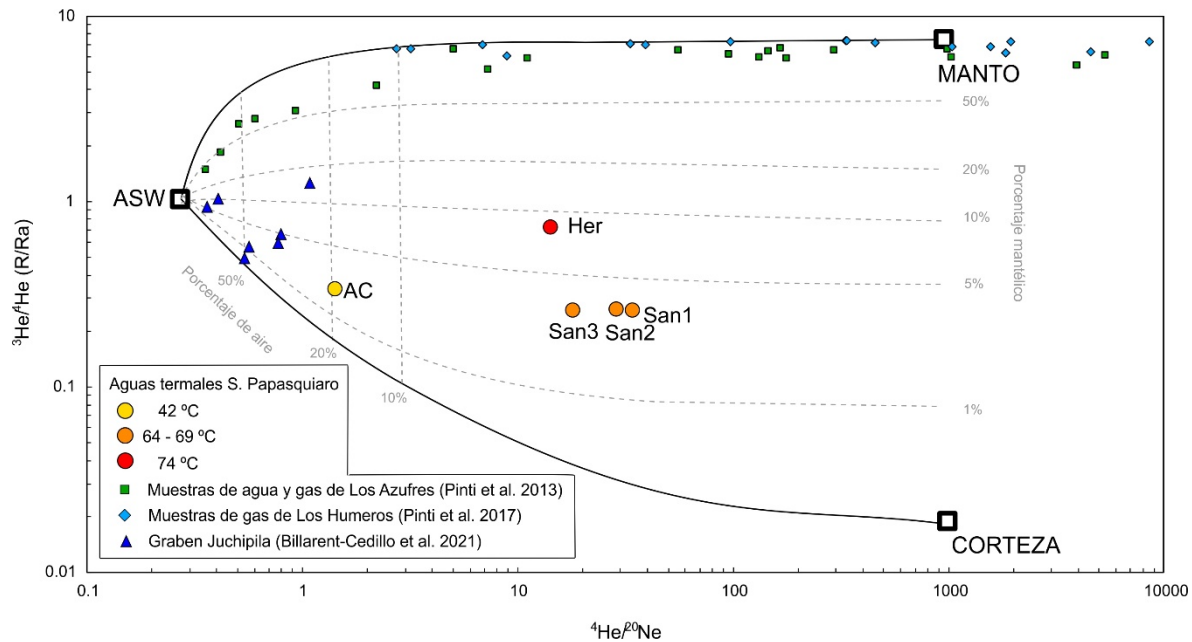


Figura 4.18. Diagrama R/Ra Vs  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$  para la composición isotópica de helio de muestras de gases disueltos en las muestras de agua de las manifestaciones termales de Santiago Papasquiario. En la figura se muestran los miembros finales ASW, manto y corteza, así como los porcentajes de contribución del aire y del manto.

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 Evolución geológica

El trabajo cartográfico y las nuevas edades U-Pb permitieron refinar la estratigrafía regional en el área de Santiago Papasquiaro además de proveer información importante para la interpretación del origen del calor asociado a las manifestaciones termales.

La evolución geológica del área de estudio inició con el depósito de una sucesión vulcanosedimentaria dominada por rocas siliciclásticas con depósitos tobáceos intercalados (Grupo Garame), los cuales fueron depositados en ambientes aluviales y fluvio-lacustres. Con base en las edades U-Pb en zircones de un depósito de tobas en la parte media de la sucesión y zircones detríticos de la parte superior (~85 Ma y ~86.3 Ma, respectivamente), la edad de depósito es Cretácico Superior (Coniaciano-Santoniano). La unidad volcánica cenozoica más antigua está representada por lavas e ignimbritas riolíticas del Ypresiano (~56–52 Ma). La estratigrafía muestra un hiatus volcánico de ~10 Ma entre las rocas del Ypresiano y la unidad sobreyacente, la cual consiste en depósitos vulcanosedimentarios con peperitas (38.6 Ma) hacia la cima. Estas peperitas podrían representar la base de una cuenca extensional en la que se mezclaron sedimentos con derrames de lava y en el presente trabajo se establecieron como la unidad asociada al inicio del fallamiento extensional que creó las depresiones topográficas en el Semigraben de Santiago Papasquiaro desde el Priaboniano, infiriendo que, para que se depositara esta sucesión tuvo que haberse creado previa o contemporáneamente la cuenca de depósito. Las variaciones en los espesores de las sucesiones piroclásticas del Eoceno tardío-Oligoceno temprano y la presencia de domos de lava riolítica coronando los depósitos de ignimbritas, a su vez alineados con las estructuras NNO-SSE, sugieren que el desarrollo de la extensión fue acompañado por el emplazamiento de ignimbritas como ha sido documentado en estructuras de graben caldera dentro de la SMO (p. Ej. Aguirre-Díaz *et al.*, 2021), estas ignimbritas tienen edades U-Pb en zircón que varían de 39.5 a ~31 Ma. Enseguida del emplazamiento de estas rocas volcánicas continuó la sedimentación continental dentro de SGSP al menos hasta ~21 Ma, seguido de erosión y redepósito y el emplazamiento de pequeños volúmenes de flujos de lavas basálticas en el Mioceno medio.

La sucesión vulcanosedimentaria del Grupo Garame son depósitos continentales asociados al Arco Magmático Mexicano del Cretácico-Eoceno (Valencia-Moreno *et al.*, 2021) y es correlacionable, por su posición estratigráfica y edad, con la porción más antigua de la Formación Tarahumara en



Chihuahua (~90 Ma; McDowell *et al.*, 2001), la cual llega a ser más joven en Sinaloa (~77–69 Ma; Montoya-Lopera *et al.*, 2019). En la latitud en la que se encuentra el área de estudio, depósitos sedimentarios marinos de la misma edad están bien documentados en la Sierra Madre Oriental (Formaciones Caracol y San Felipe), donde se han reportado edades máximas de depósito de ~85 Ma, 82 Ma y ~76 Ma (Velasco-Tapia *et al.*, 2016; Juárez-Arriaga *et al.*, 2019).

Los líticos de las areniscas analizadas bajo el microscopio petrográfico así como los zircones detríticos del Grupo Garame permiten interpretar que las fuentes de los sedimentos corresponden a rocas ígneas del Cretácico Superior reportados a nivel regional principalmente como intrusivos granodioríticos en la región de Nazas (~87 Ma, Aguirre y McDowell, 1991) y hacia Mazatlán, Sinaloa; además, la presencia de depósitos tobáceos del Santoniano reflejan volcanismo contemporáneo con la edad de los intrusivos.

Lo anterior indica que el Arco Magmático Mexicano de la SMO era la principal región emergida de México durante el Cretácico Tardío y que los productos de su erosión se depositaban en cuencas continentales hacia el este y oeste, así como en cuencas marinas hacia el Golfo de México.

## **5.2 Estructura regional: implicaciones para las manifestaciones termales**

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten reconstruir la historia tectónica del área de estudio y establecer límites temporales de la deformación. En el área de estudio se reconocen tres eventos de deformación:

- 1) Fase del Campaniano-Paleoceno, caracterizado por una familia de fallas con orientación ONO-ESE con cinemática lateral evidenciada por estrías oblicuas, el cual es perpendicular a la estructura del SGSP. Este sistema de fallas únicamente afecta las rocas del Grupo Garame al oeste de Santiago Papasquiario y se interpreta como un evento de fallamiento previo al desarrollo de la cuenca extensional del SGSP. Las observaciones de campo sugieren reactivación de las fallas laterales en el Grupo Garame como fallas normales. Además de las observaciones de campo, este sistema es consistente con bajos resistivos observados en el perfil magnetotelúrico paralelo al SGSP (Figuras 4.12E y 4.13). Estas estructuras se encuentran asociadas a vetas-falla epitermales, las cuales son correlacionables con sistemas mineralizados de estructuras perpendiculares a la orientación principal de fallas normales en la porción central de la SMO que han sido previamente reportadas al oeste de Durango, en la región de San Dimas y Tayoltita (Henry, 1986; Horner

y Enríquez, 1999; Montoya-Lopera *et al.*, 2019). Con base en la información disponible y edades de mineralización epitermal a nivel regional, se interpreta que las vetas emplazadas en el Grupo Garame tienen una edad del Eoceno Tardío-Oligoceno temprano.

- 2) Extensión OSO-ESE que inició en el Priaboniano (~37 Ma; Castillo-Reynoso *et al.*, 2022) la cual se caracteriza por fallas normales con orientación NNO-ESE. La edad máxima de esta fase de deformación se interpreta con base en la edad de zircones detríticos en depósitos de peperitas, se infiere que el depósito de esta sucesión vulcanosedimentaria se depositó de manera contemporánea con la formación de la cuenca extensional con base en que esta unidad se encuentra espacialmente asociada a fallas normales del occidente del SGSP. Esta fase extensional continuó probablemente hasta el Oligoceno tardío-Mioceno Temprano, acompañada hasta el Rupeliano por el emplazamiento de rocas piroclásticas y derrames de lavas félsicas. La edad máxima de depósito de 21 Ma interpretada para la parte superior de la Formación Santiago marca la edad mínima para esta fase de deformación. En las zonas en las que se cruzan sistemas de fallas con distintas geometrías, las estrías sobre los planos de falla muestran una cinemática con desplazamientos normales oblicuos, los cuales fueron posteriormente reactivadas como fallas normales de manera local al noreste y noroeste de Santiago Papasquiario, durante el Oligoceno-Mioceno. En el SGSP y en el Graben de Santiaguillo, la base de la columna estratigráfica cenozoica es la Sucesión Vulcanosedimentaria del Priaboniano, lo cual sugiere que ambas cuencas comparten su evolución al menos desde el depósito de esta unidad (38.6 Ma).
- 3) Reactivación de fallas normales en el Mioceno Tardío-Cuaternario interpretado con base en fallas normales que cortan la Formación Santiago y derrames de lavas basálticas (ca. 11 Ma, Iriando *et al.*, 2002), las cuales fueron emplazadas a través de las fallas normales (Loza-Aguirre *et al.*, 2012). Algunos derrames de lava basáltica al sur del Graben Río Chico-Otinapa (12.7 Ma; McDowell y Keizer, 1977) también se encuentran asociados a este evento de extensión (Henry y Aranda-Gómez, 2000). Además, Nieto-Samaniego *et al.* (2012) documentaron sismicidad en el Graben de Santiaguillo, lo cual es interpretado por los autores como evidencia de deformación activa.

Las zonas fracturadas que caracterizan las regiones de intersección de dominios de fallas propician la permeabilidad secundaria necesaria para la acumulación o flujo de fluidos, por ejemplo, hidrocarburos o aguas subterráneas (Faulds y Varga, 1998). Las manifestaciones termales se

encuentran asociadas principalmente a zonas donde interactúan múltiples trazas de falla (Curewitz y Karson, 1997; Faulds *et al.*, 2002, Faulds *et al.*, 2008) y a fallas con cinemática tanto normal como de desplazamiento lateral (Keegan-Treloar *et al.*, 2022). Las características estructurales reconocidas en el área concuerdan con las mencionadas: se encuentran en las zonas de intersección entre los sistemas San Luis-Tepehuanes y Graben Rio Chico Otinapa (Figuras 4.16 y 5.1) y las fallas son principalmente de tipo normal con una componente de desplazamiento lateral.

En el SGSP la estructura principal corresponde a fallas normales con orientación NNO-SSE y en su porción norte se encuentra una zona de acomodo al noroeste del Graben de Santiaguillo (Sección A-A', Figura 4.10). Esta zona corresponde a las manifestaciones termales con la máxima temperatura de agua superficial registrada (74 °C). A nivel regional se observan estructuras de graben y semigraben, así como zonas de relevo y zonas de acomodo, además, en la porción central del SGSP se encuentran estructuras perpendiculares más antiguas. Esta configuración estructural del área de estudio propicia la circulación de fluidos desde la superficie hacia la corteza superior, para posteriormente ascender como fluidos calientes.

### 5.3 Producción de calor

En ausencia de magmatismo activo o reciente, el decaimiento radiactivo en rocas con altas concentraciones de HPEs se ha sugerido como una fuente de calor alternativa para zonas con anomalías térmicas en la corteza superior (Siégel *et al.*, 2014; Jaupart y Mareschal, 2015; Artemieva *et al.*, 2017a; Gard *et al.*, 2019; Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019).

En general, el contenido alto de sílice en las rocas ígneas tiene una relación directa con la cantidad de elementos incompatibles, entre ellos los elementos productores de calor, por lo tanto, si aumenta el contenido de sílice aumenta el contenido de U, Th y K y su producción de calor asociada (Hasterok y Webb, 2017; Hasterok *et al.*, 2018). Sin embargo, a escala local los contenidos de elementos mayores (incluyendo silicio) y elementos traza pueden variar por procesos de alteración o cambios en la composición química de un mismo cuerpo rocoso y con ello la producción de calor resultante del decaimiento radiactivo de los elementos traza U, Th y K puede verse afectada por las variaciones de estos factores, por lo que la producción de calor no puede relacionarse de manera significativa con la composición de las rocas (Jaupart *et al.*, 2016). Por esta razón, las mediciones *in-situ* de U, Th y K brindan una buena aproximación del contenido en distintas rocas y permiten estimar el calor producido asociado al decaimiento de los elementos radiactivos que contienen.

Con base en estudios previos, se han definido como rocas con alta producción de calor, aquellas con un valor mayor a  $5\mu\text{Wm}^{-3}$  aunque estas rocas muestran un amplio rango de valores de producción de calor, entre 2 y  $9\mu\text{Wm}^{-3}$  (p. Ej. Peterson *et al.*, 2002; Kromkhun, 2010; Jaupart *et al.*, 2016; Abbady y Al-Ghamdi, 2018; Shan *et al.*, 2021). En este contexto, varias de las rocas silíceas cenozoicas que afloran en el área de estudio se encuentran en el rango de los granitos productores de calor reportados alrededor del mundo (Singh *et al.*, 2014; Beamish y Busby, 2016; Artemieva *et al.*, 2017a; Abbady y Al-Ghamdi, 2018) (Figura 4.17).

La presencia de minerales secundarios de U precipitados en lutitas del Grupo Garame puede ser interpretado como un enriquecimiento debido a la precipitación de estos minerales a partir de fluidos asociados a los magmas félsicos que produjeron las rocas del área de estudio y que están caracterizadas por alto contenido de HPEs, principalmente U y Th (depósitos relacionados a procesos hidrotermales; Cuney, 2009). Dado que la estratigrafía de la región de Santiago Papasquiaro es representativa del magmatismo félsico de la SMO es posible que toda esta provincia volcánica pueda estar caracterizada por una alta producción de calor. Sin embargo, como se ha observado en sistemas geotérmicos extensionales (Moeck, 2014), las condiciones para la acumulación de calor y la formación de acuíferos termales en estos sistemas se encuentran restringidas a depresiones tectónicas en donde el agua meteórica se infiltra a través de zonas con permeabilidad secundaria (fallas y fracturas) seguido de un ascenso por convección a través de fallas al calentarse a profundidad. Además, estas depresiones son rellenadas en parte con sedimentos de baja permeabilidad y conductividad térmicas (principalmente sedimentos finos bien consolidados). En estas situaciones las manifestaciones termales tienden a localizarse principalmente en zonas de intersección de fallas, tal como ocurre en el área de estudio, en donde las manifestaciones termales se localizan en el cruce de los sistemas de fallas regionales del SGSP y del sistema San Luis-Tepehuanes.

Las relaciones vulcano-plutónicas propuestas en arcos continentales, muestran que la corteza superior está dominada por rocas de composición granítica mientras que en la corteza media-inferior se encuentran intrusiones metamorfoseadas en facies de granulitas de composición máfica a intermedia, en conjunto estas rocas plutónicas pueden llegar a representar hasta 20 veces el volumen de rocas volcánicas asociadas que se encuentran en la superficie (1:2 a 1:20, Paterson *et al.*, 2011; Lipman y Bachmann, 2015). Con base en lo anterior, una de las implicaciones de los resultados obtenidos sobre la producción de calor en las rocas expuestas en el área de estudio es

que se puede inferir que la contraparte plutónica de las rocas riolíticas puede también estar enriquecida en HPEs y por lo tanto tener alta producción de calor, similar o incluso mayor, ya que se ha documentado que las rocas plutónicas, por su mayor densidad, están más enriquecidas en HPEs que rocas volcánicas de la misma edad dentro de la misma provincia geológica (Gard *et al.*, 2019). En la SMO, se interpreta que el espesor de la sucesión ignimbrítica sobrepasa los 1000 m (McDowell y Clabaugh, 1979; Ferrari *et al.*, 2002; Aguirre-Díaz y Labarthe-Hernández, 2003; Bryan y Ferrari, 2013), por lo tanto, si existe más de un kilómetro de rocas volcánicas con valores de producción de calor por encima de lo esperado para la corteza continental o para rocas riolíticas, debajo de la SMO puede haber de 10 hasta 20 km de rocas plutónicas (p. Ej. Crisp, 1984; Bryan *et al.*, 2008; Paterson *et al.*, 2011; Lipman y Bachmann, 2015) de las cuales las de composición granítica podrían ser una importante fuente de calor radiogénico.

Por su carácter de elementos incompatibles, el U y Th (principales elementos productores de calor) se presentan en mayores concentraciones en la corteza continental (Bea, 2012), además, las rocas graníticas muestran concentraciones de radioelementos que exceden los promedios en la corteza continental (Bea, 2012; Artemieva *et al.*, 2017b; Hasterok y Webb, 2017) debido a que son los productos magmáticos más enriquecidos en elementos incompatibles. El enriquecimiento de U-Th en la corteza superior dentro del área de estudio es el resultado de los grandes volúmenes de rocas silícicas producidas durante los pulsos ignimbríticos de la SMO, lo cual es parte del reciclaje de episodios magmáticos previos (Bryan *et al.*, 2008; Ferrari *et al.*, 2018).

El flujo de calor en la SMO es contrastante con el de la provincia geológica vecina del *Basin and Range* (Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019) y excede el valor promedio en los continentes ( $65.3 \text{ mWm}^{-2}$ ; Jaupart *et al.*, 2007), esta característica puede ser atribuida a la presencia de rocas cristalinas graníticas enriquecidas en HPEs (Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019). Los datos obtenidos en este trabajo corroboran que al menos en el área de estudio las rocas de la SMO son altamente productoras de calor, lo cual puede contribuir de manera importante al flujo de calor alto observado en toda la provincia ígnea.

#### **5.4 Implicaciones de los isótopos de gases nobles**

La composición isotópica de gases nobles, especialmente de He y Ne, representa una guía para identificar las fuentes de estos en sistemas hidrotermales (Torgersen y Jenkins, 1982; Kennedy y van Soest, 2006; Kulongoski *et al.*, 2013; Newell *et al.*, 2015; Menzies *et al.*, 2016). La

composición de He disuelto en el agua subterránea es una mezcla de He proveniente de distintos reservorios terrestres: atmósfera, corteza y manto, cada uno representado por un miembro isotópico final (Sano y Wakita, 1985). Cuando fluidos con firmas mantélicas (enriquecidos en  $^3\text{He}$ ) son inyectados en la corteza, la composición isotópica original es diluida por la adición de helio radiogénico ( $^4\text{He}$ ), lo cual disminuye la relación  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ; el grado en el que la relación  $^3\text{He}/^4\text{He}$  es disminuida depende de: 1) el flujo helio mantélico hacia de la corteza, 2) la tasa de producción de helio radiogénico en la corteza, el cual es proporcional a las concentraciones de U y Th y 3) el tiempo de residencia o tasa de flujo dentro de la corteza (Kennedy y Van Soest, 2006).

En el área de Santiago Papasquiario, las manifestaciones termales exhiben una componente de He principalmente cortical (79.4–96.1%), lo cual es contrastante con resultados en el Graben de Juchipila en donde el ambiente geológico es básicamente el mismo, pero la componente de He cortical menor (25–63%; Billarent-Cedillo *et al.*, 2021). La contribución predominantemente cortical en el área de estudio puede ser explicada por las concentraciones anómalas de U y Th en las unidades silíceas y vulcanosedimentarias del Eoceno-Oligoceno. La ocurrencia de mineralización secundaria de U en el Grupo Garame indica que existen rocas con contenido de U anómalamente alto a profundidad y que la circulación de fluidos pudo haber lixiviado HPEs y redepositarlos en rocas con baja permeabilidad como las lutitas. Los minerales secundarios de uranio presentes en el Grupo Garame podría también tener un efecto en la producción de He radiogénico, incrementando localmente la contribución cortical.

En el escenario en el que la estructura de la corteza en el área de estudio es similar a la configuración propuesta por Lipman y Bachman (2015), en donde la corteza superior es predominantemente granítica y su contraparte extrusiva riolítica, estas rocas volcánicas y plutónicas con alta producción de calor pueden ser fuentes tanto de la anomalía térmica como del helio radiogénico ( $^4\text{He}$ ) medido en las aguas termales.

Lo anterior puede ser comprobado de la siguiente manera: Obteniendo el valor de  $^4\text{He}$  radiogénico acumulado en el acuífero en el tiempo con base en las ecuaciones de Newell *et al.* (2015) y calculando la tasa de acumulación de helio radiogénico en el fluido ( $^4\text{He}_{rad}$  en  $\text{cm}^3\text{STP/g/año}$ ) dado por la ecuación de Newell *et al.* (2015):

$$4He_{rad} = 4He_{prod} \times \frac{(1-\varphi)}{\varphi} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde  $\phi$  es la porosidad (10%, como un promedio de la corteza superior; Hasterok y Webb, 2017; Chen *et al.*, 2020) y  ${}^4\text{He}_{\text{prod}}$  es la tasa de producción de helio radiogénico en la roca ( $\text{cm}^3\text{STP/g/año}$ ), la cual puede ser calculada por la siguiente ecuación (Torgersen *et al.*, 1995):

$${}^4\text{He}_{\text{rad}} = (0.2355 \times 10^{-12}) \times [U] \times \left( 1 + 0.123 \left( \frac{[\text{Th}]}{[U]} - 4 \right) \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

donde [U] y [Th] son las concentraciones de U y Th en la roca en ppm. Para el caso de estudio usamos el promedio de las concentraciones de [U] y [Th] de las rocas del Oligoceno temprano (7 y 22 ppm, respectivamente), tendríamos una tasa de producción de  ${}^4\text{He}$  de  $1.3 \times 10^{-11} \text{ cm}^3\text{STP/g/año}$  y asumiendo que se acumuló con el tiempo (34 Ma, con base en el pico principal del vulcanismo) el valor esperado de  ${}^4\text{He}$  acumulado es de  $4.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^3\text{STP/g}$ , sin embargo, el valor medio medido en el área de estudio es menor ( $4.3 \times 10^{-6} \text{ cm}^3\text{STP/g}$ ). Las diferencias de los valores pueden atribuirse a varios procesos hidrológicos en el área, tales como la mezcla de aguas de diferentes fuentes, la pérdida de  ${}^4\text{He}$  en el tiempo, o menor disolución de  ${}^4\text{He}_{\text{prod}}$  en el agua subterránea.

Si bien los fluidos analizados muestran una contribución de origen cortical dominante, también muestran una señal significativa de helio mantélico (hasta 9.4%). Para determinar si esta señal mantélica también proviene de las rocas del Oligoceno temprano con alto contenido de U y Th se aplicó el modelo de “*magma aging*” de Torgersen y Jenkins (1982) y Kennedy y van Soest (2006). Este modelo considera que el aporte de  ${}^3\text{He}$  proviene de cuerpos ígneos ricos en volátiles hospedados en la corteza, los cuales se encuentran en equilibrio químico con el agua subterránea. Se calculó el valor máximo de  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  que podría encontrarse dentro de la corteza actualmente usando la ecuación de Newell *et al.* (2015):

$$\left( \frac{{}^3\text{He}}{{}^4\text{He}} \right)_{\text{fin}} = \frac{{}^3\text{He}_{\text{init}}}{({}^4\text{He}_{\text{init}} + {}^4\text{He}_{\text{rad}} \times t)} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde los subíndices *fin* e *init* se refieren a las concentraciones o relaciones final (en la actualidad) e inicial dadas en  $\text{cm}^3\text{STP/g}$ ,  $t$  es el tiempo desde el evento magmático o emplazamiento (años) y  ${}^4\text{He}_{\text{rad}}$  está definido en la Ec.3. Los valores usados de  ${}^4\text{He}_{\text{init}}$  y  ${}^3\text{He}_{\text{init}}$  son  $6.7 \times 10^{-7} \text{ cm}^3\text{STP/g}$  y  $7.42 \times 10^{-12} \text{ cm}^3\text{STP/g}$ , respectivamente, los cuales son representativos del manto en zonas de subducción (Torgersen *et al.*, 1995). Con base en la Ec. 4, el principal evento volcánico silíceo (~34 Ma) en el área de estudio produjo una relación de  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  de  $1.64 \times 10^{-8}$  ( $\text{Rc/Ra}=0.01$ ), esta composición calculada muestra una relación Rc/Ra menor a las medidas en el área de estudio

( $R_c/R_a = 0.18 - 0.72$ ), por lo que se requiere una fuente diferente para el  $^3\text{He}$ . A pesar de la ausencia de volcanismo intraplaca reciente significativo, el área de Santiago Papasquiario se encuentra en un ambiente tectónico similar a la del Campo Volcánico Durango, localizado ~100 km al SSE (Figura 1.1): una corteza adelgazada por fallamiento extensional, la intersección de dos sistemas regionales de fallas y una astenosfera en niveles someros como ocurre en la mayor parte de la porción sur de la provincia de la Mesa Central (Ferrari *et al.*, 2018). Con base en lo anterior se propone que el origen del  $^3\text{He}$  es el manto astenosférico somero presente debajo de la corteza adelgazada en el borde occidental de la Mesa Central (Figura 5.1).

Dado que el área de estudio se caracteriza por ser una región en donde se cruzan sistemas de fallas regionales, se interpreta que el  $^3\text{He}$  puede ser transportado a través de una zona fracturada profunda en la intersección de los dos sistemas regional de fallas: el sistema con dirección NNO-SSE del SGSP y el sistema con orientación NO-SE San Luis-Tepehuanes (Figura 5.2). La relación  $^3\text{He}/^4\text{He}$  medida en el área de estudio puede ser explicada por la dilución de  $^3\text{He}$  debido a la alta concentración de  $^4\text{He}$  derivado de las rocas con alta concentración de U y Th, al menos a escala local en la corteza superior. La contribución de  $^4\text{He}$  medida en las muestras del área de estudio podrían estar asociadas a reservorios fósiles representados por magmas “envejecidos” del Oligoceno y probablemente del Cretácico Tardío-Paleoceno (con base en la presencia de edades de zircones heredados y en la granodiorita expuesta al este de Santiago Papasquiario, fechada en este trabajo en 66 Ma).

En resumen, nuestros datos muestran un alto contenido de  $^3\text{He}$  en ambiente cortical lo cual podría representar flujo desde el manto sublitosférico hacia la superficie a través de los sistemas de fallas altamente permeables, promoviendo procesos de convección tal como se observa en la provincia *Basin and Range* (Kennedy y van Soest, 2006, 2007). A pesar de que el principal evento extensional en el área de estudio ocurrió en Eoceno-Oligoceno, la actividad sísmica de baja magnitud registrada en la región (Nieto-Samaniego *et al.*, 2012; Servicio Sismológico Nacional, 2022) indica que la intersección de los sistemas de fallas se encuentra moderadamente activo en la actualidad, lo cual lo hace propicio para el ascenso del helio mantélico a las tasas de flujo estimadas. El presente estudio muestra que las rocas productoras de calor juegan un papel importante en la fuente de calor y mecanismo de calentamiento de aguas subterráneas lo cual pueden añadir calor a los fluidos que ascienden desde la corteza inferior o el manto superior. Además, es notable que los datos muestran una importante contribución de helio radiogénico, lo cual es contrastante con otras



regiones en las que se han reportado manantiales termales dentro del continente y que están asociados a zonas de falla, en donde las firmas de helio son principalmente enriquecidas en helio mantélico ( $^3\text{He}$ ) (p. Ej. Graben de Juchipila al sur de la SMO; Billarent-Cedillo *et al.*, 2021 o Cuatro Ciénegas, Coahuila; Wolaver *et al.*, 2013)

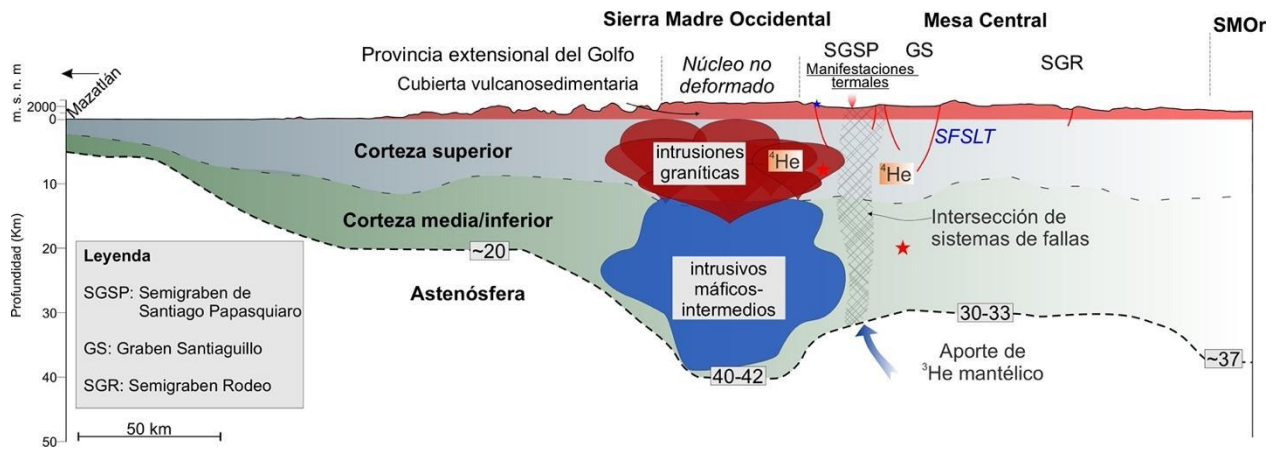


Figura 5.1. Perfil cortical esquemático de la SMO a través de las estructuras del Semigraben de Santiago Papasquiario y el Graben de Santiaguillo. El espesor de la corteza es inferido con base en los perfiles corticales de Nieto-Samaniego *et al.* (2007) y Ferrari *et al.* (2018a). En el esquema se muestran con estrellas los sismos registrados (azul <10km y rojo >10 km), la localización de los epicentros se muestra en la Figura 4.9. Para la discusión de los datos de isótopos de He ver el capítulo 3.4. La estructura cortical del núcleo de la SMO está interpretada con base en los perfiles corticales del sur del Campo Volcánico de Rocky Mountain (Lipman y Bachmann, 2015), la Sierra Nevada (Saleeby *et al.*, 2003) y la propuesta por Bryan *et al.* (2008). SFSLT–Sistema de fallas San Luis-Tepehuanes.

## 6 CONCLUSIONES

Los principales resultados obtenidos en este trabajo pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

- 1) En el área de estudio se encuentra registro estratigráfico de cuatro episodios volcánicos representados por: 1) una sucesión vulcanosedimentaria continental del Cretácico Tardío-Paleoceno (Grupo Garame) asociada al Arco Magmático Mexicano; 2) ignimbritas y lavas riolíticas del Ypresiano; 3) extenso volcanismo silícico del Priaboniano-Rupeliano conformado por ignimbritas silícicas y en menor medida domos riolíticos asociados al pulso principal de gran provincia silícica de la SMO y 4) pequeños volúmenes de lavas basálticas del Mioceno tardío.
- 2) Se reconocieron varias sucesiones sedimentarias para las cuales se obtuvieron edades máximas de depósito de U-Pb en zircones detríticos: 1) Cretácico Tardío (Coniaciano-Santoniano)-Paleoceno dentro del Grupo Garame, 2) Priaboniano asociada al inicio de la tectónica extensional, 3) Ypresiano en areniscas intercaladas con rocas del pulso volcánico principal y 4) Oligoceno tardío- Mioceno temprano en rocas sedimentarias que conforman el relleno de las estructuras de graben y semigraben, las cuales se encuentran intercaladas a la cima con basaltos de ~12-11 Ma.
- 3) Las rocas del Grupo Garame representan depósitos continentales del Coniaciano-Santoniano, edades escasamente reportadas para sucesiones continentales en la región, que son contemporáneas con depósitos vulcanosedimentarios marinos de la Sierra Madre Oriental.
- 4) Se documentó un sistema de fallas E-O que afecta al Grupo Garame y se encuentra asociado a vetas epitermales. Este sistema es perpendicular a la estructura regional principal y se desarrolló previo a la tectónica extensional que inició en el Eoceno tardío. Este sistema de fallas puede haber controlado el desarrollo de cuencas continentales a nivel regional ya que es correlacionable con sistemas de fallas reportadas en San Dimas y Tayoltita, al oeste de Durango. Se puede acotar la edad de esta fase de deformación entre 84 Ma y 52 Ma. Estas estructuras se encuentran asociadas a vetas epitermales, las cuales pudieron haberse formado de manera sincrónica al volcanismo del Eoceno u Oligoceno.
- 5) Los valores de producción de calor muestran un incremento entre las unidades litoestratigráficas inferiores del Eoceno y las unidades superiores del Priaboniano-

- Ypresiano. La mayoría de las unidades litoestratigráficas son comparables con rocas con alta producción de calor reportadas alrededor del mundo (granitos productores de calor).
- 6) La fuente de calor en el área de estudio puede estar relacionada con una corteza félsica granítica y su cubierta volcánica, ambas enriquecidas en radioelementos debido a procesos de reciclaje cortical asociados a la evolución tectono-magmática de la SMO. De acuerdo con lo anterior, la anomalía térmica que caracteriza el área de estudio puede ser asociada a las rocas volcánicas y su contraparte plutónica caracterizadas por su alta producción de calor, lo cual puede contribuir considerablemente al aumento del gradiente geotérmico.
  - 7) Los isótopos de gases nobles muestran un mayor aporte radiogénico cortical y mantélico secundario relacionado al ascenso de fluidos provenientes del manto, que son transportados a través de zonas fracturadas en la intersección de estructuras regionales de escala cortical (SGSP y SFSLT). Se interpretó que la señal mantélica de los fluidos se encuentra diluida a través del tiempo debido a cuerpos magmáticos enriquecidos en radioelementos (U, Th y K) emplazados en la corteza superior. La diferencia entre la composición isotópica de He de dos regiones con el mismo contexto geológico y tectónico dentro de la SMO (SGSP y el Graben de Juchipila) permitió interpretar que las rocas del área de estudio contienen mayor cantidad de radioelementos, lo cual es consistente con la hipótesis de una fuente de calor de origen radiogénico para las manifestaciones termales.
  - 8) Los sedimentos que rellenan las depresiones tectónicas del SGSP juegan el papel de capa sello para el calor producido por las rocas subyacentes y las manifestaciones se restringen a las zonas donde se cruzan los sistemas de fallas.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abbadly, A.G.E., Al-Ghamdi, A.H., 2018, Heat production rate from radioactive elements of granite rocks in north and southeastern Arabian shield Kingdom of Saudi Arabia: *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 11(4), 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2018.03.002>
- Aguirre-Díaz, G.J., Labarthe-Hernández, G., 2003, Fissure ignimbrites: Fissure-source origin for voluminous ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and its relationship with Basin and Range faulting: *Geology* 31(9), 773–776. <https://doi.org/10.1130/G19665.1>
- Aguirre-Díaz, G.J., McDowell, F.W., 1991, The volcanic section at Nazas, Durango, Mexico, and the possibility of widespread Eocene volcanism within Sierra Madre Occidental: *Journal of Geophysical Research* 96, 13373–13388.
- Aguirre-Díaz, G.J., Tristán-González, M., Gutiérrez-Palomares, I., Martí, J., López-Martínez, M., Labarthe-Hernández, G., Nieto-Obregón, J., 2021, Graben type calderas: The Bolaños case, Sierra Madre Occidental, Mexico: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 417, 107315. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107315>
- Allmendinger, R.W., Cardozo, N.C., Fisher, D., 2012, *Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors*: Cambridge, England, Cambridge University Press, 289 p.
- Aranda-Gómez, J.J., Henry, C.D., Ferrari, L., McDowell, F.W., Valencia-Moreno, M., 2015, La evolución vulcanotectónica del noroeste de México durante el Cenozoico: Una sección a lo largo de la autopista MEX 40 a través del campo volcánico de la Sierra Madre Occidental y datos acerca del magmatismo asociado a la extensión en la parte meridional: *Centro de Geociencias, Guías de excursiones geológicas de México* 1–84.
- Aranda-Gómez, J.J., Henry, C.D., Luhr, J.F., McDowell, F.W., 1997, Cenozoic volcanism and tectonics in NW Mexico—a transect across the Sierra Madre Occidental volcanic field and observations on extension related magmatism in the southern Basin and Range and Gulf of California tectonic provinces: *Magmatism and Tectonics in the central and Northwestern Mexico—A selection of the 1997 IAVCEI General Assembly Excursions, Mexico*, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 41.
- Aranda-Gómez, J.J., Luhr, J.F., Housh, T.B., Valdez-moreno, G., Chávez-cabello, G., 2005, El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México : una revisión:

- Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 57(3), 187–225.
- Aranda-Gómez, J.J., Luhr, J.F., Housh, T.B., Valdez-Moreno, G., Chávez-Cabello, G., 2007, Late Cenozoic intraplate-type volcanism in central and northern Mexico: A review: Geological Society of America, Special Paper 422, 93–128.
- Araujo-Mendieta, J., Arenas-Partida, R., 1986, Estudio Tectónico-Sedimentario en el Mar Mexicano, Estados de Chihuahua y Durango: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 47, 43–71.
- Archer, R., 2020, Geothermal energy: Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet, Elsevier, 431–445. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102886-5.00020-7>
- Armenta-Román, R., Meza-Guereca, R., 2000, Informe técnico de la carta geológica-minera Donato Guerra G13-D62, Durango: Servicio Geológico Mexicano 62.
- Arshavskaya, N.I., Galdin, N.E., Karus, E.W., Kuznetsov, O.L., Lubimova, E.A., Milanovski, S.Y., Nartikoev, V.D., Samaskko, S.A., Smirnova, E. V., 1987, Geothermic Investigations: en Kozlovsky, Y.A. (ed.), The SuperDeeo Well of the Kola Peninsula, New York, Springer, Berlin, Heidelberg, 387–393. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-71137-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-642-71137-4_24)
- Artemieva, I.M., Mooney, W.D., 2001, Thermal thickness and evolution of Precambrian lithosphere: A global study: Journal of Geophysical Research: Solid Earth 106(B8), 16387–16414. <https://doi.org/10.1029/2000JB900439>
- Artemieva, I.M., Thybo, H., Jakobsen, K., Sørensen, N.K., Nielsen, L.S.K., 2017, Heat production in granitic rocks: Global analysis based on a new data compilation GRANITE2017: Earth-Science Reviews 172, 1–26. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2017.07.003>
- Ballard, J.R., Palin, J.M., Campbell, I.H., 2002, Relative oxidation states of magmas inferred from Ce(IV)/Ce(III) in zircon: application to porphyry copper deposits of northern Chile: Contributions to Mineralogy and Petrology 2002 144:3 144(3), 347–364. <https://doi.org/10.1007/S00410-002-0402-5>
- Ballouard, C., Poujol, M., Zeh, A., 2018, Multiple crust reworking in the French Armorican Variscan belt: implication for the genesis of uranium-fertile leucogranites: International Journal of Earth Sciences 107(7), 2317–2336. <https://doi.org/10.1007/S00531-018-1600-3/FIGURES/11>
- Bea, F., 2012, The sources of energy for crustal melting and the geochemistry of heat-producing elements: Lithos 153, 278–291. <https://doi.org/10.1016/J.LITHOS.2012.01.017>
- Beamish, D., Busby, J., 2016, The Cornubian geothermal province: heat production and flow in

- SW England: estimates from boreholes and airborne gamma-ray measurements: *Geothermal Energy* 2016 4:1 4(1), 1–25. <https://doi.org/10.1186/S40517-016-0046-8>
- Bellini, G., Inoue, K., Mantovani, F., Serafini, A., Strati, V., Watanabe, H., 2022, Geoneutrinos and geoscience: an intriguing joint-venture: *Rivista del Nuovo Cimento* 45(1), 1–105. <https://doi.org/10.1007/S40766-021-00026-7/FIGURES/36>
- Benson, B.B., Krause, D., 1980, Isotopic fractionation of helium during solution: A probe for the liquid state: *Journal of Solution Chemistry* 9(12), 895–909. <https://doi.org/10.1007/BF00646402>
- Billarent-Cedillo, A., Levresse, G., Ferrari, L., Inguaggiato, C., Inguaggiato, S., Hernández-Pérez, E., Hernández-Espriú, A., Corbo Camargo, F., Carrera Hernández, J., Arias-Paz, A., 2021, Deciphering origins and pathways of low-enthalpy geothermal waters in the unconventional geothermal system of Juchipila graben (Central Mexico): *Geothermics* 94, 102076. <https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2021.102076>
- Bonner, J.L., Herrin, E.T., 1999, Surface wave studies of the Sierra Madre Occidental of northern Mexico: *Bulletin of the Seismological Society of America* 89(5), 1323–1337. <https://doi.org/10.1785/BSSA0890051323>
- Brady, R.J., Ducea, M.N., Kidder, S.B., Saleeby, J.B., 2006, The distribution of radiogenic heat production as a function of depth in the Sierra Nevada Batholith, California: *Lithos* 86(3–4), 229–244. <https://doi.org/10.1016/J.LITHOS.2005.06.003>
- Bryan, S.E., Ferrari, L., 2013, Large igneous provinces and silicic large igneous provinces: Progress in our understanding over the last 25 years: *GSA, Bulletin* 125(7/8), 1053–1078. <https://doi.org/10.1130/B30820.1>
- Bryan, S.E., Ferrari, L., Reiners, P.W., Allen, C.M., Petrone, C.M., Ramos-rosique, A., Campbell, I.H., 2008, New insights into crustal contributions to large-volume rhyolite generation in the mid-Tertiary Sierra Madre Occidental province, Mexico, revealed by U-Pb geochronology: *Journal of Petrology* 49(1), 47–77. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm070>
- Calmus, T., Bernet, M., Lugo-Zazueta, R., Hardwick, E., Mendivil-Quijada, H., Calmus, T., Bernet, M., Lugo-Zazueta, R., Hardwick, E., Mendivil-Quijada, H., 2015, Termocronología de trazas de fisión en apatito de rocas plutónicas Laramídicas del noroeste de México: diferenciando extensión Basin and Range versus rifting del Golfo de California: *Revista mexicana de ciencias geológicas* 32(3), 529–541.

- Capasso, G., Inguaggiato, S., 1998, A simple method for the determination of dissolved gases in natural waters. An application to thermal waters from Vulcano Island: *Applied Geochemistry* 13(5), 631–642. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(97\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(97)00109-1)
- Carrillo-de la Cruz, J.L., Prol-Ledesma, R.M., Gabriel, G., 2021, Geostatistical mapping of the depth to the bottom of magnetic sources and heat flow estimations in Mexico: *Geothermics* 97, 102225. <https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2021.102225>
- Castillo-Reynoso, J.C., Ferrari, L., Billarent-Cedillo, A., Levresse, G., Inguaggiato, C., 2022, Unraveling the origin of geothermal heat in absence of recent volcanism: The Santiago Papasquiario hydrothermal area, Central-Eastern Sierra Madre Occidental, México: *Geothermics* 104, 102432. <https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2022.102432>
- Chen, J., Kuang, X., Zheng, C., 2020, An empirical porosity–depth model for Earth’s crust: *Hydrogeology Journal* 28(7), 2331–2339. <https://doi.org/10.1007/S10040-020-02214-X/FIGURES/6>
- Clauser, C., Giese, P., Huenges, E., Kohl, T., Lehmann, H., Rybach, L., Šafanda, J., Wilhelm, H., Windloff, K., Zoth, G., 1997, The thermal regime of the crystalline continental crust: Implications from the KTB: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 102(B8), 18417–18441. <https://doi.org/10.1029/96JB03443>
- Consejo de Recursos Minerales, 1998, Carta geológica-minera y geoquímica Tepehuanaes G13-C37, 1:50000: 108 p.
- Córdoba, D.A., 1963, Geología de la región entre Río Chico y Llano Grande, municipio de Durango, estado de Durango: *Boletín del Instituto de Geología, UNAM* 71(1), 1–22.
- Crisp, J.A., 1984, Rates of magma emplacement and volcanic output: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 20(3–4), 177–211. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(84\)90039-8](https://doi.org/10.1016/0377-0273(84)90039-8)
- Cuney, M., 2014, Felsic magmatism and uranium deposits: *Bulletin de la Societe Geologique de France* 185(2), 75–92. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.185.2.75>
- Cuney, M., 2009, The extreme diversity of uranium deposits: *Miner Deposita* 44(3), 3–9.
- Curewitz, D., Karson, J.A., 1997, Structural settings of hydrothermal outflow: Fracture permeability maintained by fault propagation and interaction: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 79(3–4), 149–168. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(97\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(97)00027-9)
- Dávalos-Elizondo, E., Briceño-Prieto, S., 2013, Factibilidad Geotérmica en el Estado de Durango. Revisión Bibliográfica y Reconocimiento de Campo.

- Dilles, J.H., Kent, A.J.R., Wooden, J.L., Tosdal, R.M., Koleszar, A., Lee, R.G., Farmer, L.P., 2015, ZIRCON COMPOSITIONAL EVIDENCE FOR SULFUR-DEGASSING FROM ORE-FORMING ARC MAGMAS: *Economic Geology* 110(1), 241–251. <https://doi.org/10.2113/ECONGEO.110.1.241>
- Duque-Trujillo, J., Ferrari, L., Norini, G., López-Martínez, M., 2014, Miocene faulting in the southwestern Sierra Madre Occidental, Nayarit, Mexico: Kinematics and segmentation during the initial rifting of the southern Gulf of California: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 31(3), 283–302.
- Eguiluz y de Antuñano, S., Hernández-Ocaña, M.I., 2020, Icnofósiles en una sucesión fluvio-lacustre en la Sierra Madre Occidental, Durango, México: *Paleontología Mexicana* 9(1), 17–30.
- Enríquez, E., Rivera, R., 2001, Timing of magmatic and hydrothermal activity in the San Dimas District, Durango, Mexico: *New Mines and Mineral Discoveries in Mexico and Central America*, Society of Economic Geologists Special Publication, n. 8, 33–38.
- Faulds, J.E., Coolbaugh, M., Bouchot, V., Moeck, I., Oguz, K., Cedex, O., 2008, Characterizing structural controls of geothermal reservoirs in the Great Basin, USA, and Western Turkey: developing successful exploration strategies in extended terranes: world geothermal congress, 25–29.
- Faulds, J.E., Olson, E.L., Harlan, S.S., McIntosh, W.C., 2002, Miocene extension and fault-related folding in the Highland Range, southern Nevada: a three-dimensional perspective: *Journal of Structural Geology* 24(4), 861–886. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(01\)00116-X](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(01)00116-X)
- Faulds, J.E., Varga, R.J., 1998, The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes: *Special Paper of the Geological Society of America* 323, 1–45. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2323-X.1>
- Ferrari, L., Castillo-Reynoso, J.C., Orozco-Esquivel, T., Silva-Fragoso, A., 2018a, Digital geologic map and geochronologic, geochemical and geothermal database of the south-eastern part of the Sierra Madre Occidental, Mexico: *terra digitalis* 2(2), 1–6.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Orozco-Esquivel, T., Bryan, S.E., Duque-Trujillo, J., Lonsdale, P., Solari, L., 2013, Late Oligocene to Middle Miocene rifting and synextensional magmatism in the southwestern Sierra Madre Occidental, Mexico: The beginning of the Gulf of California rift: *Geosphere* 9(5), 1161–1200. <https://doi.org/10.1130/GES00925.1>



- Ferrari, L., López-Martínez, M., Rosas-Elguera, J., 2002, Ignimbrite flare-up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico: Implications for the late subduction history of the Farallon plate: *Tectonics* 21(4), 1–25. <https://doi.org/10.1029/2001TC001302>
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Bryan, S.E., López-Martínez, M., Silva-Fragoso, A., 2018b, Cenozoic magmatism and extension in western Mexico: Linking the Sierra Madre Occidental silicic large igneous province and the Comondú Group with the Gulf of California rift: *Earth-Science Reviews* 183, 115–152. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.006>
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S., 2007, Magmatism and tectonics of the Sierra Madre Occidental and its relation with the evolution of the western margin of North America: *Geological Society of America Special pa*(1), 1–39. [https://doi.org/10.1130/2007.2422\(01\)](https://doi.org/10.1130/2007.2422(01)).
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S., 2005, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* LVII(3), 343–378.
- Gans, P., 1997, Large-magnitude Oligo-Miocene extension in southern Sonora: Implications for the tectonic evolution of northwest Mexico: *Tectonics* 16, 388–408.
- Gard, M., Hasterok, D., Hand, M., Cox, G., 2019, Variations in continental heat production from 4 Ga to the present: Evidence from geochemical data: *Lithos* 342–343, 391–406. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.05.034>
- GEOCA, S.A., 1961, Informe de avance de los trabajos geológico-radiométricos sistemáticos y de reconocimiento llevados a cabo en la Sierra de Garame, Municipio de Santiago Papasquiaro, Durango II, periodo 1º-31 de enero, Brigada 4, Servicio Geológico Mexicano, consulta de i.
- González-Cervantes, N., Aranda-Gómez, J.J., Carranza-Castañeda, O., Ortega-Obregón, C., 2019, Edad y origen de la paleocuenca continental de Teocaltiche, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 36(3), 393–410. <https://doi.org/10.22201/CGEO.20072902E.2019.3.1391>
- González-León, C.M., Valencia, V.A., López-Martínez, M., Bellon, H., Valencia-Moreno, M., Calmus, T., 2010, Arizpe sub-basin: A sedimentary and volcanic record of Basin and Range extension in north-central Sonora, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 27(2), 292–312.
- González León, C.M., McIntosh, W.C., Lozano-Santacruz, R., Valencia-Moreno, M., Amaya-Martínez, R., Rodríguez-Castaneda, J.L., 2000, Cretaceous and Tertiary sedimentary,

- magmatic, and tectonic evolution of north-central Sonora (Arizpe and Bacanuchi Quadrangles), Northwest Mexico: *Bulletin of the Geological Society of America* 112(4), 600–610. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112<600:CATSMA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112<600:CATSMA>2.0.CO;2)
- Gutiérrez-Negrín, 2019, Current status of geothermal-electric production in Mexico: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 249(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/249/1/012017>
- Guzmán-Lugo, A., Doria-Alvarado, H., Enriquez-Olmos, J., Ramírez-Gutierrez, J.G., 2021, Llano Prieto G13-C58, escala 1:50,000, Estado de Durango: 80 p.
- Hasterok, D., Gard, M., 2016, Utilizing thermal isostasy to estimate sub-lithospheric heat flow and anomalous crustal radioactivity: *Earth and Planetary Science Letters* 450, 197–207. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2016.06.037>
- Hasterok, D., Gard, M., Webb, J., 2018, On the radiogenic heat production of metamorphic, igneous, and sedimentary rocks: *Geoscience Frontiers* 9, 1777–1794. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.10.012>
- Hasterok, D., Webb, J., 2017, On the radiogenic heat production of igneous rocks: *Geoscience Frontiers* 8, 919–940. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.03.006>
- Hawkesworth, C.J., Cawood, P.A., Dhuime, B., 2020, The Evolution of the Continental Crust and the Onset of Plate Tectonics: *Frontiers in Earth Science* 8. <https://doi.org/10.3389/FEART.2020.00326>
- Hawkesworth, C.J., Kemp, A.I.S., 2006, Evolution of the continental crust: *Nature* 2006 443:7113 443(7113), 811–817. <https://doi.org/10.1038/nature05191>
- He, L., Hu, S., Huang, S., Yang, W., Wang, J., Yuan, Y., Yang, S., He, L., Hu, S., Huang, S., Yang, W., Wang, J., Yuan, Y., Yang, S., 2008, Heat flow study at the Chinese Continental Scientific Drilling site: Borehole temperature, thermal conductivity, and radiogenic heat production: *JGRB* 113(B2), B02404. <https://doi.org/10.1029/2007JB004958>
- Henry, C.D., 1989, Late Cenozoic Basin and Range structure in western Mexico adjacent to the Gulf of California: *Geological Society of America Bulletin* 101(9), 1147–1156. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<1147:LCBARS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<1147:LCBARS>2.3.CO;2)
- Henry, C.D., 1986, East-northeast-trending structures in western Mexico: Evidence for oblique convergence in the late Mesozoic: *Geology* 14(4), 314–317.
- Henry, Christopher D., Aranda-Gomez, J.J., 2000, Plate interactions control middle-late Miocene,

- proto-Gulf and Basin and Range extension in the southern Basin and Range: *Tectonophysics* 318(1–4), 1–26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00304-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00304-2)
- Henry, Christopher D, Aranda-Gomez, J.J., 2000, Plate interactions control middle–late Miocene, proto-Gulf and Basin and Range extension in the southern Basin and Range: *Tectonophysics* 318(1–4), 1–26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00304-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00304-2)
- Henry, C.D., Aranda-Gomez, J.J., 1992, The real southern Basin and Range: Mid- to late Cenozoic extension in Mexico: *Geology* 20(8), 701. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0701:TRSBAR>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0701:TRSBAR>2.3.CO;2)
- Henry, C.D., McDowell, F.W., Silver, L.T., 2003, Geology and geochronology of granitic batholith complex, Sinaloa, México: Implications for Cordilleran magmatism and tectonics: en Johnson, S.E., Paterson, S.R., Fletcher, J.M., Girty, G.H., Kimbrough, D.L., Martín-Barajas, A. (eds.), *Tectonic evolution of northwestern Mexico and the Southwestern USA*, Geological Society of America, 0. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2374-4.237>
- Hilton, D.R., 1996, The helium and carbon isotope systematics of a continental geothermal system: results from monitoring studies at Long Valley caldera (California, U.S.A.): *Chemical Geology* 127(4), 269–295. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00134-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00134-4)
- Hiriart Le Bert, G., 2011, Evaluación de la energía geotérmica en México. Informe preparado para la CRE y el IDB: 164 p.
- Hooker, P.J., O’Nions, R.K., Oxburgh, E.R., 1985, Helium isotopes in North Sea gas fields and the Rhine rift: *Nature* 318(6043), 273–275. <https://doi.org/10.1038/318273a0>
- Horner, J.T., Enríquez, E., 1999, Epithermal precious metal mineralization in a strike-slip corridor: The San Dimas district, Durango, Mexico: *Economic Geology y Bulletin of the Society of Economig Geologists* 94, 1375–1380.
- Huang, Yu, Chubakov, Viacheslav, Mantovani, Fabio, Rudnick, Roberta L, McDonough, William F, Huang, Y, Chubakov, V, Mantovani, F, Rudnick, R L, McDonough, W F, 2013, A reference Earth model for the heat-producing elements and associated geoneutrino flux: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 14(6), 2003–2029. <https://doi.org/10.1002/GGGE.20129>
- Inguaggiato, S., Rizzo, A., 2004, Dissolved helium isotope ratios in ground-waters: A new technique based on gas-water re-equilibration and its application to Stromboli volcanic system: *Applied Geochemistry* 19(5), 665–673. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2003.10.009>

- Iriondo, A., Kunk, M.J., Winick, J.A., Consejo de Recursos Minerales, 2004, 40Ar/39Ar dating studies of minerals and rocks in various areas in Mexico: USGS/CRM Scientific Collaboration (Part II), CRM: Denver, Colorado, 46 p.
- Iriondo, A., Kunk, M.J., Winick, J.A., CRM, 2003, 40Ar/39Ar Dating Studies of Minerals and Rocks in various areas in Mexico: USGS/CRM Scientific Collaboration (Part I).
- Jaupart, C., Mareschal, J.-C., 2015, Heat Flow and Thermal Structure of the Lithosphere: Treatise on Geophysics, Elsevier, 217–253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53802-4.00114-7>
- Jaupart, C., Mareschal, J.-C., Iarotsky, L., 2016, Radiogenic heat production in the continental crust: *Lithos* 262, 398–427. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.07.017>
- Jaupart, C., Mareschal, J.C., 2007, Heat Flow and Thermal Structure of the Lithosphere: Treatise on Geophysics 6, 217–251. <https://doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00104-8>
- Juárez-Arriaga, E., Lawton, T.F., Ocampo-Díaz, Y.Z.E., Stockli, D.F., Solari, L., 2019, Sediment provenance, sediment-dispersal systems, and major arc-magmatic events recorded in the Mexican foreland basin, North-Central and Northeastern Mexico: *International Geology Review* 61(17), 2118–2142. [https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1581848/SUPPL\\_FILE/TIGR\\_A\\_1581848\\_SM5384.ZIP](https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1581848/SUPPL_FILE/TIGR_A_1581848_SM5384.ZIP)
- Keegan-Treloar, R., Irvine, D.J., Solórzano-Rivas, S.C., Werner, A.D., Banks, E.W., Currell, M.J., 2022, Fault-controlled springs: A review: *Earth-Science Reviews* 104058. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2022.104058>
- Kennedy, B.M., van Soest, M.C., 2007, Flow of mantle fluids through the ductile lower crust: helium isotope trends: *Science* 318(5855), 1433–1436.
- Kennedy, B. Mac, van Soest, M.C., 2006, A helium isotope perspective on the Dixie Valley, Nevada, hydrothermal system: *Geothermics* 35(1), 26–43. <https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2005.09.004>
- Ketcham, R.A., 1996, Distribution of heat-producing elements in the upper and middle crust of southern and west central Arizona: Evidence from the core complexes: *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth* 101(6), 13611–13632. <https://doi.org/10.1029/96JB00664>
- Kromkhun, K., 2010, Petrogenesis of high heat producing granite: implication for Mt Painter Province, South Australia: University of Adelaide, 362 p.
- Kuang, J., Wang, S., 2020, Granite intrusion in Huizhou, Guangdong Province and its Geothermal

- Implications: *Earth Science-Journal of China* 45, 1466–1480.
- Kulongoski, J.T., Hilton, D.R., Barry, P.H., Esser, B.K., Hillemonds, D., Belitz, K., 2013, Volatile fluxes through the Big Bend section of the San Andreas Fault, California: helium and carbon-dioxide systematics: *Chemical Geology* 339, 92–102.
- Lipman, P.W., Bachmann, O., 2015, Ignimbrites to batholiths: Integrating perspectives from geological, geophysical, and geochronological data: *Geosphere* 11(3), 705–743. <https://doi.org/10.1130/GES01091.1>
- Liu, M., Furlong, K.P., 1994, Intrusion and underplating of mafic magmas: thermal-rheological effects and implications for Tertiary tectonomagmatism in the North American Cordillera: *Tectonophysics* 237(3), 175–187. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90253-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90253-4)
- Loza-Aguirre, I., Nieto-Samaniego, Á.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Ortega-Obregón, C., 2012, Cenozoic volcanism and extension in northwestern Mesa Central, Durango, México: *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana* 64(2), 243–263.
- Lu, Y.-J., Loucks, R.R., Fiorentini, M., McCuaig, T.C., Evans, N.J., Yang, Z.-M., Hou, Z.-Q., Kirkland, C.L., Parra-Avila, L.A., Kobussen, A., 2016, Zircon Compositions as a Pathfinder for Porphyry Cu ± Mo ± Au Deposits.: <https://doi.org/10.5382/SP.19.13>
- Ludwig, K.L., 2008, Isoplot 3.7. A geochronological toolkit for Microsoft Excel: Berkeley Geochronology Center Special Publication (4), 77.
- Luevano-Pinedo, J.A., Millan-Quezada, L., Meza-Guereca, R., 2002, Carta geológico-minera Santiago Papasquiaro G13-C48 escala 1:50000, Servicio Geológico Mexicano, informe técnico: 47 p.
- Luhr, J.F., Henry, C.D., Housh, T.B., Aranda-Gómez, J.J., McIntosh, W.C., 2001, Early extension and associated mafic alkalic volcanism from the southern Basin and Range Province: Geology and petrology of the Rodeo and Nazas volcanic fields, Durango (Mexico): *Geological Society of America Bulletin* 113, 760–773.
- Lund, J.W., Toth, A.N., 2021, Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review: *Geothermics* 90, 101915. <https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2020.101915>
- Mareschal, J.C., Jaupart, C., 2013, Radiogenic heat production, thermal regime and evolution of continental crust: *Tectonophysics* 609, 524–534. <https://doi.org/10.1016/J.TECTO.2012.12.001>

- Marrett, R., Allmendinger, R.W., 1990, Kinematic analysis of fault-slip data: *Journal of Structural Geology* 12(8), 973–986.
- McDonough, W.F., Šrámek, O., Wipperfurth, S.A., 2020, Radiogenic Power and Geoneutrino Luminosity of the Earth and Other Terrestrial Bodies Through Time: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 21(7), e2019GC008865. <https://doi.org/10.1029/2019GC008865>
- McDowell, F., McIntosh, W.C., 2012, Timing of intense magmatic episodes in the northern and central Sierra Madre Occidental, western Mexico: *Geosphere* 8(6), 1505–1526. <https://doi.org/10.1130/GES00792.1>
- McDowell, F.W., 2007, Geologic transect across the northern Sierra Madre Occidental volcanic field, Chihuahua and Sonora, Mexico., *Digital map and Chart Series*. Geological Society of America: 70 p.
- McDowell, F.W., Clabaugh, S.E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico: *GSA, Bulletin* 180, 113–124. <https://doi.org/10.1130/SPE180-p113>
- McDowell, F.W., Keizer, R.P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, Mexico: *GSA, Bulletin* 88, 1479–1487. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88<1479:TOMVIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88<1479:TOMVIT>2.0.CO;2)
- McDowell, F.W., Roldán-Quintana, J., Connelly, J.N., 2001, Duration of Late Cretaceous-early Tertiary magmatism in East-central Sonora, Mexico: *Bulletin of the Geological Society of America* 113(4), 521–531. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2001\)113<0521:DOLCET>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113<0521:DOLCET>2.0.CO;2)
- McDowell, F.W., Roldán-Quintana, J.J., Amaya-Martínez, R., 1997, Inter-relationship of sedimentary and volcanic deposits associated with Tertiary extension in Sonora, Mexico: *GSA, Bulletin* 109, 1349–1360.
- Menzies, C.D., Teagle, D.A.H., Niedermann, S., Cox, S.C., Craw, D., Zimmer, M., Cooper, M.J., Erzinger, J., 2016, The fluid budget of a continental plate boundary fault: Quantification from the Alpine Fault, New Zealand: *Earth and Planetary Science Letters* 445, 125–135. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2016.03.046>
- Moeck, I.S., 2014, Catalog of geothermal play types based on geologic controls: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37, 867–882. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.032>

- Montoya-Lopera, P., Ferrari, L., Levrresse, G., Abdullin, F., Mata, L., 2019, New insights into the geology and tectonics of the San Dimas mining district, Sierra Madre Occidental, Mexico: *Ore Geology Reviews* 105. <https://doi.org/10.1016/J.OREGEOREV.2018.12.020>
- Moran-Zenteno, D.J., Tolson, G., Martiny, B., Martínez-Serrano, R.G., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macías, C., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M.S., Solis-Pichardo, G., 1999, Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of South American Earth Sciences* 12, 513–535.
- Müller, R.D., Seton, M., Zahirovic, S., Williams, S.E., Matthews, K.J., Wright, N.M., Shephard, G.E., Maloney, K.T., Barnett-Moore, N., Hosseinpour, M., Bower, D.J., Cannon, J., 2016, Ocean Basin Evolution and Global-Scale Plate Reorganization Events Since Pangea Breakup: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 44(1), 107–138. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060115-012211>
- Murray, B.P., Busby, C.J., De Los Angeles Verde Ramírez, M., 2015, Extension and magmatism in the Cerocahui basin, northern Sierra Madre Occidental, western Chihuahua, Mexico: *International Geology Review* 57(5–8), 893–918. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.941022>
- Murray, B.P., Busby, C.J., Ferrari, L., Solari, L.A., 2013, Synvolcanic crustal extension during the mid-Cenozoic ignimbrite flare-up in the northern Sierra Madre Occidental, Mexico: Evidence from the Guazapares mining district region, Western Chihuahua: *Geosphere* 9(5), 1201–1235. <https://doi.org/10.1130/GES00862.1>
- Newell, D.L., Jessup, M.J., Hilton, D.R., Shaw, C.A., Hughes, C.A., 2015, Mantle-derived helium in hot springs of the Cordillera Blanca, Peru: Implications for mantle-to-crust fluid transfer in a flat-slab subduction setting: *Chemical Geology* 417, 200–209. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMGEO.2015.10.003>
- Nieto-Samaniego, Á.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Camprubí, A., 2007, Mesa Central of México: Stratigraphy, structure, and Cenozoic tectonic evolution: *Special Paper 422: Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México*, Geological Society of America, 41–70. [https://doi.org/10.1130/2007.2422\(02\)](https://doi.org/10.1130/2007.2422(02))
- Nieto-Samaniego, Á.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Camprubí, A., 2005, La Mesa Central de México: estratigrafía , estructura y evolución tectónica cenozoica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 57(3), 285–318.

- Nieto-Samaniego, A.F., Barajas-Gea, C.I., Gómez-González, J.M., Rojas, A., Alaniz-Álvarez, S.A., Xu, S., 2012, Geología, evolución estructural (Eoceno al actual) y eventos sísmicos del Graben de Santiaguillo, Durango, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29(1), 115–130.
- Nieto-Samaniego, Á.F., Barajas-Gea, C.I., Gómez-González, J.M., Rojas, A., Alaniz-Álvarez, S.A., Xu, S., 2012, Geología, evolución estructural (Eoceno al actual) y eventos sísmicos del Graben de Santiaguillo, Durango, México: *Revista mexicana de ciencias geológicas* 29(1), 115–130.
- Norbeck, J.H., McClure, M.W., Horne, R.N., 2018, Field observations at the Fenton Hill enhanced geothermal system test site support mixed-mechanism stimulation: *Geothermics* 74, 135–149. <https://doi.org/10.1016/J.GEOTHERMICS.2018.03.003>
- Pasquale, V., Verdoya, M., Chiozzi, P., 2017, *Geothermics: Heat Flow in the Lithosphere*, 2nd ed: Genova, Italia, Springer briefs in earth sciences, 138 p.
- Paterson, S.R., Okaya, D., Memeti, V., Economos, R., Miller, R.B., 2011, Magma addition and flux calculations of incrementally constructed magma chambers in continental margin arcs: Combined field, geochronologic, and thermal modeling studies: *Geosphere* 7(6), 1439–1468. <https://doi.org/10.1130/GES00696.1>
- Peterson, T.D., Van Breemen, O., Sandeman, H., Cousens, B., 2002, Proterozoic (1.85–1.75 Ga) igneous suites of the Western Churchill Province: granitoid and ultrapotassic magmatism in a reworked Archean hinterland: *Precambrian Research* 119(1–4), 73–100. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(02\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00118-3)
- Pinti, D.L., Castro, M.C., Lopez-Hernandez, A., Han, G., Shouakar-Stash, O., Hall, C.M., Ramírez-Montes, M., 2017, Fluid circulation and reservoir conditions of the Los Humeros Geothermal Field (LHGF), Mexico, as revealed by a noble gas survey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 333–334, 104–115. <https://doi.org/10.1016/J.JVOLGEORES.2017.01.015>
- Pinti, D.L., Castro, M.C., Shouakar-Stash, O., Tremblay, A., Garduño, V.H., Hall, C.M., Hélie, J.F., Ghaleb, B., 2013, Evolution of the geothermal fluids at Los Azufres, Mexico, as traced by noble gas isotopes,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 249, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.JVOLGEORES.2012.09.006>
- Pollack, H.N., Chapman, D.S., 1977, On the regional variation of heat flow, geotherms, and



- lithospheric thickness: *Tectonophysics* 38(3–4), 279–296. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(77\)90215-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(77)90215-3)
- Pribnow, D.F.C., Winter, H.R., 1997, Radiogenic heat production in the upper third of continental crust from KTB: *Geophysical Research Letters* 24(3), 349–352. <https://doi.org/10.1029/96GL03929>
- Procesi, M., 2015, The conventional geothermal resources: features and current uses: en Sharma-Chandra, U., Prasad, R., Sivakumar, S. (eds.), *Energy Science and Technology: Vol. 9 Geothermal and ocean energy*, Houston, TX., USA, Stadium Press LLC.
- Prol-Ledesma, R.M., Morán-Zenteno, D.J., 2019, Heat flow and geothermal provinces in Mexico: *Geothermics* 78, 183–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.12.009>
- Roldán-Quintana, J., Mora-Klepeis, G., Calmus, T., Valencia-Moreno, M., Lozano-Santacruz, R., 2004, El graben de Empalme, Sonora, México: magmatismo y tectónica extensional asociados a la ruptura inicial del Golfo de California: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21(3), 320–334.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2003, Composition of the continental crust: en Heinrich, D.H., Karl, K.T. (eds.), *Treatise on Geochemistry*, Oxford, Pergamon, 1–64.
- Rummel, F., 1992, Physical properties of the rock in the granitic section of borehole GPK1, Soultz-sous-Forest. *Geothermal Energy in Europe: The Soultz Hot Dry Rock Project*: 199–216.
- Rybach, L., 1988, Determination of heat production rate: en Hänel, R., Rybach, L., Stegena, I. (eds.), *Terrestrial handbook of heat-flow density determination*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 125–142.
- Rybach, L., 1976, Radioactive heat production: A physical property determined by the chemistry of rocks: en Strens R. G. (ed.), *The Physics and Chemistry of minerals and rocks*, London, UK, Wiley & Sons, 309–318.
- Rybach, L., Buntebarth, G., 1981, Heat-generating radioelements in granitic magmas: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 10(4), 395–404.
- Saleeby, J., Ducea, M., Clemens-Knott, D., 2003, Production and loss of high-density batholithic root, southern Sierra Nevada, California: *Tectonics* 22(6), 1064. <https://doi.org/10.1029/2002TC001374>
- Sammon, L.G., McDonough, W.F., Mooney, W.D., 2022, The composition of the deep continental crust inferred from geochemical and geophysical data: *Earth and Planetary Science Letters*

- 593(1), 117684. <https://doi.org/10.1002/ESSOAR.10507582.1>
- Sandoval-Velasquez, A., Rizzo, A.L., Frezzotti, M.L., Saucedo, R., Aiuppa, A., 2021, The composition of fluids stored in the central Mexican lithospheric mantle: Inferences from noble gases and CO<sub>2</sub> in mantle xenoliths: *Chemical Geology* 576, 120270. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMGEO.2021.120270>
- Sano, Y., Wakita, H., 1985, Geographical distribution of He<sup>3</sup>/He<sup>4</sup> ratios in Japan: implications for arc tectonics and incipient magmatism.: *Journal of Geophysical Research* 90(B10), 8729–8741. <https://doi.org/10.1029/JB090iB10p08729>
- Schlische, R.W., Withjack, M.O., 2009, Origin of fault domains and fault-domain boundaries (transfer zones and accommodation zones) in extensional provinces: Result of random nucleation and self-organized fault growth: *Journal of Structural Geology* 31(9), 910–925. <https://doi.org/10.1016/J.JSG.2008.09.005>
- Schmucker, U., 1969, Geophysical aspects of structure and composition of the Earth: en Wedepohl, K.H. (ed.), *Handbook of geochemistry*, Berlin, Springer-Verlag, 134–226.
- Servicio Sismológico Nacional, 2022, Servicio Sismológico Nacional Catálogo de Sismos. UNAM. Instituto de Geofísica.
- Shan, Y., Zheng, J., Hu, S., Yeh, E.-C., 2021, Hard classification of polyphase fault-slip data: improvement and application: *Journal of Structural Geology* 104415. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104415>
- Siégel, C., Schrank, C.E., Bryan, S.E., Beardsmore, G.R., Purdy, D.J., 2014, Heat-producing crust regulation of subsurface temperatures: A stochastic model re-evaluation of the geothermal potential in southwestern Queensland, Australia: *Geothermics* 51, 182–200. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.01.005>
- Singh, H.K., Kumar, Y., Chandrasekharam, D., Gurav, T., Singh, B., 2014, High-heat-producing granites of East Dharwar Craton around Gugi, Karnataka, and their possible influence on the evolution of Rajapur thermal springs, Deccan Volcanic Province, India: *Geothermal Energy* 2014 2:1 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/S40517-014-0002-4>
- Smith, R.D., 1989, Extension-related magmatism of the Durango volcanic field, Durango, Mexico: Saint Louis, Missouri, Washington University, 290 p.
- Smith, S.P., Kennedy, B.M., 1983, The solubility of noble gases in water and in NaCl brine: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47(3), 503–515. <https://doi.org/10.1016/0016->

7037(83)90273-9

- Smithson, S.B., 1971, Densities of metamorphic rocks: *Geophysics* 36(4), 690–694. <https://doi.org/10.1190/1.1440205>
- 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: *International Journal of Earth Sciences* 107(3), 845–861. <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1517-2>
- Stewart, J.H., 1978, Basin and Range structure in western North America, a review: en Smith, R.B., Eaton, G.P. (eds.), *Cenozoic tectonics and regional geophysics of the western cordillera*, *Geol.Soc. Am. Mem.*, 152, 1–13.
- Stewart, J.H., Anderson, R.E., Beard, L.S., Billingsley, G.H., Cather, S.M., Dilles, J.H., Dokka, R.K., Faulds, J.E., Grose, J.E., Henry, C.D., Janecke, S.U., Miller, D.M., Richard, S.M., Roldan-Quintana, J., Scott, R.B., Sears, J.W., Williams, V.S., 1998, Map showing cenozoic tilt domains and associated structural features, western North America: en Faulds, J.E., Stewart, J.H. (eds.), *Accommodation zones and transfer zones: regional segmentation of the Basin and Range province*, *Geological Society of America Special paper* 323.
- Straub, S.M., Gomez-Tuena, A., Stuart, F.M., Zellmer, G.F., Espinasa-Perena, R., Cai, Y., Iizuka, Y., 2011, Formation of hybrid arc andesites beneath thick continental crust: *Earth and Planetary Science Letters* 303(3–4), 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.01.013>
- Suárez-Arias, A.M., 2019, *Edad, cinemática y fases de actividad del semigraben de Matancillas, Ojuelos, Jal., México: UNAM*, 110 p.
- Swanson, E.R., Keizer, R.P., Lyons, J.I., Clabaugh, S.E., 1978, Tertiary volcanism and caldera development near Durango City, Sierra Madre Occidental, Mexico: *Bulletin of the Geological Society of America* 89(7), 1000–1012. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1978\)89<1000:TVACDN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1978)89<1000:TVACDN>2.0.CO;2)
- Torgersen, T., Drenkard, S., Stute, M., Schlosser, P., Shapiro, A., 1995, Mantle helium in ground waters of eastern North America: Time and space constraints on sources : *Geology* 23(8), 675–678.
- Torgersen, T., Jenkins, W.J., 1982, Helium isotopes in geothermal systems: Iceland, The Geysers, Raft River and Steamboat Springs: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46(5), 739–748. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(82\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90025-4)

- Torres-Rodriguez, V., Venegas-Salgado, S., Herrera-Franco, J., González-Partida, E., 1993, Manifestaciones Termales de la República Mexicana: en Torres-Rodriguez, V. (ed.), Geotermia en México, UNAM, Coordinación de la Investigación Científica, Programa Universitario de Energía, 1–79.
- Touret, J.L.R., Santosh, M., Huizenga, J.M., 2022, Composition and evolution of the continental crust: Retrospect and prospect: *Geoscience Frontiers* 13(5), 101428. <https://doi.org/10.1016/J.GSF.2022.101428>
- Valencia-Moreno, M., López-Martínez, M., Orozco-Esquivel, T., Ferrari, L., Calmus, T., Noury, M., Mendivil-Quijada, H., 2021, The Cretaceous-Eocene Mexican Magmatic Arc: Conceptual framework from geochemical and geochronological data of plutonic rocks: *Earth-Science Reviews* 220, 103721. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103721>
- Veikkolainen, T., Kukkonen, I.T., 2019, Highly varying radiogenic heat production in Finland, Fennoscandian Shield: *Tectonophysics* 750, 93–116. <https://doi.org/10.1016/J.TECTO.2018.11.006>
- Velasco-Tapia, F., Martínez-Paco, M., Iriondo, A., Ocampo-Díaz, Y.Z.E., Cruz-Gámez, E.M., Ramos-Ledezma, A., Andaverde, J.A., Ostrooumov, M., Masuch, D., 2016, Altered volcanic ash layers of the Late Cretaceous San Felipe Formation, Sierra Madre Oriental (Northeastern Mexico): UPb geochronology, provenance and tectonic setting: *Journal of South American Earth Sciences* 70, 18–35. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2016.04.010>
- Wolaver, B.D., Crossey, L.J., Karlstrom, K.E., Banner, J.L., Cardenas, M.B., Gutiérrez Ojeda, C., Sharp, J.M., 2013, Identifying origins of and pathways for spring waters in a semiarid basin using He, Sr, and C isotopes: Cuatrociénegas Basin, Mexico: *Geosphere* 9(1), 113–125. <https://doi.org/10.1130/GES00849.1>
- Wollenberg, H.A., Smith, A.R., 1987, Radiogenic heat production of crustal rocks: An assessment based on geochemical data: *Geophysical Research Letters* 14(3), 295–298. <https://doi.org/10.1029/GL014I003P00295>
- Wong, M.S., Gans, P.B., 2008, Geologic, structural, and thermochronologic constraints on the tectonic evolution of the Sierra Mazatán core complex, Sonora, Mexico: New insights into metamorphic core complex formation: *Tectonics* 27(4). <https://doi.org/10.1029/2007TC002173>
- Wong, M.S., Gans, P.B., Scheier, J., 2010, The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronology of core complexes

and other basement rocks in Sonora, Mexico: Implications for Cenozoic tectonic evolution of northwestern Mexico: *Journal of Geophysical Research* 115(B7), B07414.  
<https://doi.org/10.1029/2009JB007032>

**Anexo 1. Edades reportadas a nivel regional**

Clave	X	Y	Locality	Rock Type	Emplacement	Material dated	Method	Age (Ma)	Error(+)	Epoch/Age	Reference
<b>DGO-100</b>	-104.63	24.40	Durango volcanic field	Alkali basalt	Lava	wr	K-Ar	0.287	0.061	Pleistocene, Middle	Aranda-Gomez et al. (1997)
<b>TEQ 45b</b>	-103.89	20.91	V. Tequila	Rhyolite, obsidian		Glass	Ar-Ar	0.604	0.003	Pleistocene, Middle	Lewis-Kennedi et al. (2005)
<b>624</b>	-103.84	20.92	S. Martin, Jal.	Dacite	Volcanic	wr	K-Ar	0.63	0.03	Pleistocene, Middle	Nixon et al. (1987)
<b>DGO-141</b>	-104.63	24.55	Durango volcanic field	Alkali basalt	Lava	wr	K-Ar	0.791	0.091	Pleistocene-Calabrian	Aranda-Gomez et al. (1997)
<b>RGS 15</b>	-103.71	20.91	La Ollita, Santa Rosa area, Jal.	Alkali basalt	Lava	gms	K-Ar	0.88	0.03	Pleistocene, Calabrian	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>Ped Jal 4/79</b>	-104.17	21.07	Mesa Palomas, Jal.	Alkali basalt	Lava	wr	K-Ar	1.095	0.35	Pleistocene, Calabrian	Damon et al. (1979)
<b>TEQ 29</b>	-103.98	20.91	V. Tequila	Rhyolite	Volcaniclastic, pumice	Hbl	Ar-Ar	1.121	0.149	Pleistocene, Calabrian	Lewis-Kennedi et al. (2005)
<b>ETZ-30</b>	-104.01	20.99	Tepic-Zacoalco	Silicic	Volcaniclastic, tuff	gms	Ar-Ar	1.5	0.02	Pleistocene, Calabrian	Frey et al. (2007)
<b>HOS-7</b>	-104.05	21.02	Tepic-Zacoalco	Rhyolite	Volcaniclastic, tuff	gms	Ar-Ar	1.84	0.01	Pleistocene, Gelasian	Frey et al. (2007)
<b>H90-9</b>	-104.78	24.00	Rio Chico-Otinapa, Dgo.	Hawaiite	Lava	wr	K-Ar	2.3	0.2	Pleistocene-Gelasian	Aranda-Gomez et al. (1997)
<b>H90-15a</b>	-105.14	24.35	Rio Chico-Otinapa, Dgo.	Hawaiite	Lava	wr	K-Ar	2.3	0.2	Pleistocene-Gelasian	Aranda-Gomez et al. (1997)
<b>H90-13</b>	-105.14	24.35	Rio Chico-Otinapa, Dgo.	Hawaiite	Lava	wr	K-Ar	2.5	0.2	Pleistocene-Gelasian	Aranda-Gomez et al. (1997)
<b>Ped Jal 3/79</b>	-104.08	21.13	El Sombrero, Jal.	Alkali basalt	Lava	wr	K-Ar	2.8	0.1	Pliocene, late	Damon et al. (1979)
<b>TQ-308</b>	-103.96	21.05	Hostotipaquillo, Jal.	Basalt	Volcanic	gms	K-Ar	3.19	0.26	Pliocene, late	Moore et al. (1994)
<b>Mas-530</b>	-103.96	21.05		Basalt	Volcanic	gms	K-Ar	3.26	0.18	Pliocene, late	Moore et al. (1994)
<b>ETZ-22</b>	-104.09	20.96	Tepic-Zacoalco	Rhyolite	Lava flow	gms	Ar-Ar	3.4	0.04	Pliocene, late	Frey et al. (2007)
<b>ETZ-23A</b>	-104.14	20.94	Tepic-Zacoalco	Rhyolite	Lava flow	gms	Ar-Ar	3.52	0.01	Pliocene, late	Frey et al. (2007)
<b>Ped Jal 23</b>	-103.72	20.97	Mesa Mistemeque, Jal.	Basalt	Lava	wr	K-Ar	3.72	0.06	Pliocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>CM-4</b>	-103.95	21.04	Huajacatlan, Cinco Minas, Jal.	Basalt	Volcanic	gms	K-Ar	3.77	0.1	Pliocene, early	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>Ped Jal 24</b>	-103.72	20.97	Mesa Mistemeque, Jal.	Basalt	Lava	wr	K-Ar	3.97	0.09	Pliocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>Ped Jal 21/80</b>	-103.74	20.90	Achio, Jal.		Volcaniclastic, tuff	Plg	K-Ar	4.69	0.17	Pliocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>Ped Jal 1/78</b>	-103.41	20.97		Basalt	Volcanic	Amph	K-Ar	4.87	0.1	Pliocene, early	Damon et al. (1979)

<b>TEQ 9</b>	-103.72	20.91	V. Tequila area, Flows >1Ma	Andesitic (hbl)	Volcaniclastic, ash-flow tuff	gms	Ar-Ar	5.137	0.047	Pliocene, early	Lewis-Kennedi et al. (2005)
<b>G-35</b>	-104.20	21.43	El Trapiche area, Nay.		Volcaniclastic, ash	Zrn	U-Pb	5.5	0.05	Miocene, late	Carranza-Castaneda et al. (2013)
<b>Muestra-6</b>	-103.13	21.38	Juchipila graben, Zac.		Volcaniclastic, ash	Zrn	U-Pb	5.59	0.11	Miocene, late	Carranza-Castaneda et al. (2013)
<b>JUCH-3</b>	-103.04	21.56	Juchipila graben, Zac.		Volcaniclastic, ash	Zrn	U-Pb	6.53	0.11	Miocene, late	Carranza-Castaneda et al. (2013)
<b>ZAC-JALP-38</b>	-103.03	21.64	Juchipila graben, Zac.		Volcaniclastic, ash	Zrn	U-Pb	6.95	0.27	Miocene, late	Carranza-Castaneda et al. (2013)
<b>Ped Jal 17</b>	-103.72	20.99	Mistemeque, Jal.	Basalt	Lava	wr	K-Ar	8.52	0.18	Miocene, late	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>A-28</b>	-103.40	21.03	S. Cristobal, Jal.	Basalt	Lava flow	gms	K-Ar	9.61	0.28	Miocene, late	Moore et al. (1994)
<b>C3</b>	-103.17	21.02	Mesa Barduces, Jal.	Basalt (ol-px)	Lava	wr	K-Ar	10	1	Miocene, late	Castillo-Hernandez & Romero-Rios (1991)
<b>Ped Jal 8/79</b>	-103.41	21.01	San Cristobal Barranca, Jal.	Basaltic andesite	Lava flow	gms	K-Ar	10.05	0.32	Miocene, late	Damon et al. (1979)
<b>IL 89 8</b>	-103.41	21.04	S. Cristobal, Jal.	Ignimbrite (fayalite-ferroaugite)	volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	10.17	0.04	Miocene, late	Moore et al. (1994)
<b>PR 67</b>	-103.61	21.17	Mesa Chinacatihua, Zac.	Basalt	Lava flow	wr	K-Ar	10.2	0.4	Miocene, late	Rossotti et al. (2002)
<b>61-180</b>	-103.40	21.03	S. Cristobal Barranca, Jal.	Basalt	Lava flow	gms	K-Ar	10.23	0.34	Miocene, late	Moore et al. (1994)
<b>A-30</b>	-103.43	21.05	S. Cristobal Barranca, Jal.	Basalt	Lava flow	gms	K-Ar	10.25	0.82	Miocene, late	Moore et al. (1994)
<b>Ped Zac 2</b>	-102.83	21.43	C. San Miguel, Zac.	Basaltic andesite	Lava	gms	K-Ar	10.52	0.22	Miocene, late	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>Ped Nay 12/78</b>	-104.34	21.42	La Manga Larga, Nay.	Basalt	Dike	wr	K-Ar	10.92	0.33	Miocene, late	Damon et al. (1979)
<b>SP-405</b>	-105.40	25.03	Santiago Papasquiaro, CRM, 1:50000 map	Basalt	Lava	gms	Ar-Ar	10.95	0.02	Miocene, late	Iriondo et al. (2004)
<b>Ped Zac 1</b>	-102.77	21.33	Mesa Toyahua, Zac	Andesite	Lava	wr	K-Ar	10.96	0.57	Miocene, late	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>A-81</b>	-103.49	21.18	Garcia de la Cadena, Jal.	Basaltic andesite	Lava flow	gms	K-Ar	10.99	0.23	Miocene, late	Moore et al. (1994)
<b>Ped Nay 3/78</b>	-103.99	21.30	Mina Zapopan, La Yesca, Nay.	Basalt	Dike	wr	K-Ar	11.48	0.24	Miocene, late	Damon et al. (1979)
<b>H96-9</b>	-104.87	23.93	Metates, Dgo.	Alkali basalt	Lava	Hbl	Ar-Ar	11.59	0.05	Miocene, late	Henry & Aranda-Gomez (2000)

<b>H96-6</b>	-104.85	23.95	Rio Chico-Otinapa	Alkali basalt	Lava	Plg	Ar-Ar	11.6	0.07	Miocene, late	Henry & Aranda-Gomez (2000)
<b>RK-12</b>	-104.87	23.92	Durango volc. seq., south of highway 40 at Km. 35, Dgo.	Basalt	Lava	Amph	K-Ar	11.7	0.3	Miocene, middle	McDowell & Keizer (1977)
<b>H96-8</b>	-104.86	23.94	Rio Chico-Otinapa	Alkali basalt	Lava	Hbl	Ar-Ar	11.9	0.5	Miocene, middle	Henry & Aranda-Gomez (2000)
<b>RK-24</b>	-104.86	23.93	Durango volc. seq., Metates Fm., Dgo.	Alkali basalt	Lava	Amph	K-Ar	12.4	0.4	Miocene, middle	McDowell & Keizer (1977)
<b>RK-13</b>	-105.07	23.87	Durango volc. seq., Metates Fm., Dgo.	Alkali basalt	Lava	Plg	K-Ar	12.6	1.3	Miocene, middle	McDowell & Keizer (1977)
<b>RGS 12</b>	-103.71	20.91	Presa Santa Rosa, Jal., Subestacion	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	13.6	0.1	Miocene, middle	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>Mas 714</b>	-103.71	20.91	Santa Rosa dam, Jal.	Ignimbrite gouge	volcaniclastic, ignimbrite	gouge	K-Ar	14.5	0.4	Miocene, middle	Moore et al. (1994)
<b>Mas 712</b>	-103.71	20.91	Santa Rosa dam, Jal.	Ignimbrite gouge	volcaniclastic, ignimbrite	gouge	K-Ar	15.2	2.5	Miocene, middle	Moore et al. (1994)
<b>Ped Jal 22/80</b>	-103.72	20.91	La Cortina, Santa Rosa, Jal.		Volcaniclastic, tuff	Plg	K-Ar	16.9	0.5	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>PDY-4</b>	-104.08	21.13	Rio Santiago, near Paso de la Yesca	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Bt	K-Ar	17.7	0.5	Miocene, early	Bryan et al. (2008)
<b>*D</b>	-104.43	21.81	El Sordo, (P.H. Aguamilpa), Nay.	quartz monzonite	Plutonic		K-Ar	18.3	1.4	Miocene, early	Soto & Ortega (1982)
<b>HLP-07</b>	21.1882 94	- 104.18939	Río Santiago Shear Zone	Granite	Hypabyssal	zrn	U-Pb	18.35	0.24	Miocene, early	Castillo-Reynoso (2018)
<b>AR-148</b>	-103.80	21.76	Bolanos graben, intra-graben	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	Ar-Ar	18.4	0.4	Miocene, early	Ramos-Rosique (2003)
<b>RS-14</b>	21.2754 41	- 104.06848	Río Santiago Shear Zone	Dacite	Lava	zrn	U-Pb	18.61	0.2	Miocene, early	Castillo-Reynoso (2018)
<b>AR-107</b>	-103.89	21.69	Bolanos graben, Graben west wall at San Martin Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	Ar-Ar	18.7	0.9	Miocene, early	Ramos-Rosique (2003)
<b>RS-04</b>	21.1777 29	- 104.25343	Río Santiago Shear Zone	Ignimbrite	volcaniclastic, ignimbrite	zrn	U-Pb	19.18	0.26	Miocene, early	Castillo-Reynoso (2018)
<b>HOS-3</b>	-104.20	21.02		Silicic	Volcaniclastic, tuff	Plg	Ar-Ar	19.3	0.3	Miocene, early	Frey et al. (2007)
<b>RGS 10</b>	-103.97	21.12	El Tunel, San Pedro Analco, Jal.	porphyry, qtz-fsp	Dike	Fsp	K-Ar	19.5	0.5	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>Barr 04</b>	-104.19	21.02	Tequila - Tepic Road	Tonalite	Plutonic	Bt	Ar-Ar	19.65	0.11	Miocene, early	Duque-Trujillo et al. (2015)
<b>RS-07</b>	21.1201 58	- 104.16068	Río Santiago Shear Zone	Rhyolite	Lava	zrn	U-Pb	19.7	0.26	Miocene, early	Castillo-Reynoso (2018)
<b>AR-148</b>	-103.80	21.76	Bolanos graben, intra-graben	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	19.71	0.25	Miocene, early	Ramos-Rosique (2003)



<b>Barr 04</b>	-104.19	21.02	Tequila - Tepic Road	Tonalite	Plutonic	Hbl	Ar-Ar	19.8	0.48	Miocene, early	Duque-Trujillo et al. (2015)
<b>Ped Jal 3</b>	-103.76	21.87	Veta Rica, Bolanos district, Jal.	Basalt	Lava	wr	K-Ar	19.86	0.4	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>Z403-33</b>	-103.89	21.69	Bolanos graben, drill-core sample at San Marin Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	K-Fsp	Ar-Ar	19.9	0.6	Miocene, early	Ramos-Rosique (2003)
<b>PDY-4</b>	-104.08	21.13	Rio Santiago, near Paso de la Yesca	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	20	0.8	Miocene, early	Bryan et al. (2008)
<b>CM 6</b>	-103.94	21.05	Cerro Pizalayo, Cinco Minas, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	20.2	0.5	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>Na-41</b>	-104.30	25.43	Nazas area, Dgo.	Alkali basalt	Lava flow	wr	K-Ar	20.3	0.4	Miocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>10</b>	-104.63	23.94	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	20.3		Miocene, early	Swanson (1974)
<b>SMO2</b>	-104.08	22.67	Atengo half graben		volcaniclastic, ignimbrite	gms	Ar-Ar	20.4	0.2	Miocene, early	Perrin et al. (2013)
<b>HLP-16</b>	21.1784 56	- 104.19724	Río Santiago Shear Zone	Ignimbrite	volcaniclastic, ignimbrite	zrn	U-Pb	20.65	0.31	Miocene, early	Castillo-Reynoso (2018)
<b>TSS 1</b>	-104.20	21.58	Sierra Los Pajaritos		volcaniclastic, ignimbrite	Bt	Ar-Ar	20.7	0.2	Miocene, early	Ferrari et al. (2002)
<b>Ped Jal 10</b>	-103.23	21.12	Cerro El Mexicano, Jal.	Basalt	Lava	wr	K-Ar	20.89	0.44	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>W4</b>	-103.48	21.32	C. Las Tetillas	Andesite	Lava	wr	K-Ar	21	1	Miocene, early	Castillo-Hernandez & Romero-Rios (1991)
<b>AR-391</b>	-104.13	23.13	El Salto 1: 250 000 (F13-2)	Basalt	Lava flow	wr	K-Ar	21	2	Miocene, early	Sole et al. (2007)
<b>TS 46</b>	-104.75	22.34	Mesa del Nayar area, Nay.		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	21	0.2	Miocene, early	Ferrari et al. (2002)
<b>n.r.</b>	-103.78	21.85	Distrito Minero Bolanos, Jal.	Basalt	Dike		K-Ar	21.03		Miocene, early	Lyons (1988)
<b>Ped Jal 6</b>	-103.71	21.86	San Martin Bolanos, Jal.	Basaltic	Dike	wr	K-Ar	21.03	0.44	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>ESC-4</b>	-104.18	22.09	S de Sta. Teresa		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	21.2	0.3	Miocene, early	Ferrari et al. (2002)
<b>TS 21</b>	-104.51	22.25	Jesus Maria, Nay.	Basalt	Lava	Plg	Ar-Ar	21.3	0.3	Miocene, early	Ferrari et al. (2002)
<b>UAKA 82-02</b>	-103.87	21.62	Bolanos graben, Corral Blanco		volcaniclastic, ignimbrite	Bt	K-Ar	21.3	0.5	Miocene, early	Scheubel et al. (1988)
<b>PR 103</b>	-103.45	21.12	Los Jacalitos, Jal.	Basaltic andesite	Lava flow	gms	Ar-Ar	21.8	0.3	Miocene, early	Rossotti et al. (2002)
<b>A-60</b>	-103.35	21.51	C. San Vicente, Teul, Zac.	Basaltic andesite	Lava	gms	K-Ar	21.81	1.04	Miocene, early	Moore et al. (1994)
<b>Na-55 a</b>	-104.19	25.21	Nazas area, Dgo.	Alkali basalt	Lava flow	wr	K-Ar	22.1	0.4	Miocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)

<b>Ped Jal 4</b>	-103.71	21.86	Bolanos district, Jal.		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	22.23	0.46	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>R-14</b>	-104.50	25.12	Nazas area, Dgo.	Alkali basalt	Lava flow	wr	K-Ar	22.4	0.4	Miocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Ped Jal 19/80</b>	-103.96	21.13	San Pedro Anasco, Jal.	Latite	Lava flow	Plg	K-Ar	22.54	0.47	Miocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>Barr 04</b>	-104.19	21.02	Tequila - Tepic Road	Tonalite	Plutonic	Zrn	U-Pb	22.67	0.4	Miocene, early	Duque-Trujillo et al. (2015)
<b>AR-146</b>	-103.88	21.70	Bolanos graben, Graben west wall at San Martin Bolanos, Jal.	Rhyolite	Lava dome	wr	Ar-Ar	22.8	0.4	Miocene, early	Ramos-Rosique (2003)
<b>IL 89 10</b>	-103.45	21.25	El Tambor, N of Garcia de la Cadena		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	22.92	0.05	Miocene, early	Moore et al. (1994)
<b>IL 89 12</b>	-103.45	21.25	El Tambor, N of Garcia de la Cadena		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	22.92	0.05	Miocene, early	Moore et al. (1994)
<b>IL 89 1</b>	-103.47	21.28	N of El Tambor, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	22.99	0.05	Miocene, early	Moore et al. (1994)
<b>NAY 21</b>	-104.58	22.24	6 km west of Jesus Maria, Nayarit	Basalt	Dike	gms	Ar-Ar	23.01	0.24	Miocene, early	Duque-Trujillo et al (2014) RMCg
<b>n.r.</b>	-103.75	21.88	Distrito Minero Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ash flow tuff		K-Ar	23.23		Oligocene, late	Lyons (1988)
<b>Ped Jal 1</b>	-103.71	21.86	La Carbonera, Bolanos, Jal.		volcaniclastic, ignimbrite	Plg	K-Ar	23.23	0.52	Oligocene, late	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>H90-32b</b>	-104.47	25.08	Rodeo half graben, Dgo., upper lava	Hawaiite	Lava flow	Plg	K-Ar	23.3	3	Oligocene, late	Luhr et al. (2001)
<b>AR-102</b>	-103.76	21.84	Bolanos graben, Cerro aguila at Bolanos, Jal.	Rhyolite	Lava dome	San	Ar-Ar	23.3	1.4	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>AR-103</b>	-103.77	21.86	Bolanos graben, roadcut at Bolanos, Jal.	Rhyolite	Lava dome	Zrn	U-Pb	23.34	0.2	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>AR-107</b>	-103.89	21.69	Bolanos graben, Graben west wall at San Martin Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	23.39	0.51	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>3-71-4</b>	-105.42	23.76	Espinazo-El Salto volc. seq., W of El Salto, Dgo.		volcaniclastic, ignimbrite	Plg	K-Ar	23.4	0.5	Oligocene, late	McDowell & Keizer (1977)
<b>AL-15</b>	-103.77	21.79	Bolanos graben, arroyo Carboneras	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	23.5	0.3	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>TS 22</b>	-104.46	22.29	E of Jesus Maria, Nay.		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	23.5	0.4	Oligocene, late	Ferrari et al. (2002)

<b>79-02</b>	-104.32	22.43	Las Canoas, Nay.		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	23.51	0.5	Oligocene, late	Clark et al. (1981)
<b>SPA-02</b>	21.1625 93	- 103.97515	Río Santiago Shear Zone	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	zrn	U-Pb	23.53	0.47	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>AL-18</b>	-103.76	21.83	Bolanos graben, Cerro aguila at Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	23.6	0.6	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>Ped Jal 15</b>	-103.83	21.01	P. La Cuna, Jal.		volcaniclastic, ignimbrite	Plg	K-Ar	23.6	0.5	Oligocene, late	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>UAKA 82-01</b>	-103.90	21.67	Bolanos graben, El Rosario, base of the sequence in the Arroyo Rosario-Cinco Senores section	Andesite	Lava flow	Plg	K-Ar	23.7	0.6	Oligocene, late	Scheubel et al. (1988)
<b>FM291</b>	-103.03	21.44	Juchipila region	Basaltic andesite	Lava	wr	K-Ar	23.7	1.4	Oligocene, late	Webber et al. (1994)
<b>H90-30b</b>	-104.48	25.09	Rodeo half graben, Dgo., cut by fault	Hawaiite	Lava flow	Plg	Ar-Ar	23.8	0.7	Oligocene, late	Luhr et al. (2001)
<b>H90-33</b>	-104.47	25.08	Rodeo half graben, Dgo., lower lava	Hawaiite	Lava flow	Plg	Ar-Ar	23.8	0.5	Oligocene, late	Luhr et al. (2001)
<b>IL 89 14</b>	-103.45	21.25	El Tambor, N of Garcia de la Cadena		volcaniclastic, ash flow tuff	San	Ar-Ar	23.8	0.05	Oligocene, late	Moore et al. (1994)
<b>3-71-3</b>	-105.38	23.75	Espinazo-El Salto volc. seq., SE of El Salto, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	Anorthoclase	Ar-Ar	23.88	0.06	Oligocene, late	McDowell & McIntosh (2012)
<b>BOL-2</b>	-103.77	21.79	Rio Carboneras, Bolanos graben	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	23.9	0.5	Oligocene, late	Bryan et al. (2008)
<b>AL-15</b>	-103.77	21.79	Bolanos graben, arroyo Carboneras	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	23.9	0.05	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>3-71-2</b>	-105.37	23.79	Espinazo-El Salto volc. seq., El Salto Durango, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	24	0.05	Oligocene, late	McDowell & McIntosh (2012)
<b>SPA-33a</b>	21.1484 74	- 104.07928	Río Santiago Shear Zone	Sandstone		zrn	U-Pb	24.03	0.18	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>H90-29A</b>	-104.49	25.11	Rodeo half graben, Dgo., ring basalt	Hawaiite	Ring intrusion	Plg	Ar-Ar	24.1	0.6	Oligocene, late	Luhr et al. (2001)
<b>SL-29</b>	-104.20	25.26	Nazas area, Dgo.	Alkali basalt	Lava flow	wr	K-Ar	24.3	0.5	Oligocene, late	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>AR-106</b>	-103.84	21.87	Bolanos graben, Graben west wall at Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	24.3	0.2	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)

<b>SL-29</b>	-104.20	25.27	Rodeo half graben, Dgo.	Hawaiite	Lava	wr	Ar-Ar	24.37	0.07	Oligocene, late	Aranda-Gomez et al. (2003)
<b>TS-16</b>	-104.23	22.63	East of Las Canoas, Zacatecas. Basaltic lava flow underlying 23.5 Ma ignimbrite	Basalt, microporphyritic	Lava flow	Plg	Ar-Ar	24.38	0.75	Oligocene, late	Ferrari et al. (2013)
<b>AR-106</b>	-103.84	21.87	Bolanos graben, Graben west wall at Bolanos, Jal.	Rhyolite	Lava dome	Zrn	U-Pb	24.48	0.12	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>AR-146</b>	-103.88	21.70	Bolanos graben, Graben west wall at San Martin Bolanos, Jal.	Rhyolite	Lava dome	Zrn	U-Pb	24.51	0.28	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>SOM-3</b>	-103.47	23.47	Sombrerete District, Zac.		Volcaniclastic, crystal tuff	San+Qz	K-Ar	24.6	0.3	Oligocene, late	Tuta et al. (1988)
<b>CM 3</b>	-103.90	21.04	Cerro El Abra, Cinco Minas, Jal.	Andesite	Lava	gms	K-Ar	24.7	0.6	Oligocene, late	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>HR460</b>	-103.17	21.51	Juchipila region		volcaniclastic, ignimbrite		FT	24.9	2.7	Oligocene, late	Webber et al. (1994)
<b>BOL-9-15</b>	-103.76	21.83	Graben de Bolanos, Ign. Alacran		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	25.2	0.3	Oligocene, late	Gutierrez-Palomares (2008)
<b>BQ483</b>	-103.32	21.46	Juchipila region		volcaniclastic, ignimbrite		FT	25.2	2.2	Oligocene, late	Webber et al. (1994)
<b>AR-224</b>	-103.71	21.85	Bolanos graben, intra-graben	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	25.29	0.23	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>HR467</b>	-103.18	21.50	Juchipila region		volcaniclastic, ignimbrite		FT	25.3	2.4	Oligocene, late	Webber et al. (1994)
<b>AR-105</b>	-103.83	21.87	Bolanos graben, Graben west wall at Bolanos, Jal.	Rhyolite	Lava dome	Zrn	U-Pb	25.34	0.14	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>AR-102</b>	-103.76	21.84	Bolanos graben, Cerro aguila at Bolanos, Jal.	Rhyolite	Lava dome	Zrn	U-Pb	25.43	0.19	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)
<b>SOM-6</b>	-103.48	23.43	Sombrerete District, Zac.		Volcaniclastic, crystal tuff	San+Qz	K-Ar	25.6	0.3	Oligocene, late	Tuta et al. (1988)
<b>LP476</b>	-103.01	21.51	Juchipila region		volcaniclastic, ignimbrite	zr	FT	25.9	2.5	Oligocene, late	Webber et al. (1994)
<b>SA 5</b>	-103.13	23.55	Sain Alto, Zac.	Rhyolite	Volcanic	San	K-Ar	26	2	Oligocene, late	Murillo-Muneton & Torres-Vargas (1987)
<b>SPA-18c</b>	21.123274	-103.97641	Río Santiago Shear Zone	Ignimbrite	volcaniclastic, ignimbrite	zrn	U-Pb	26.17	0.37	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>Z403-33</b>	-103.89	21.69	Bolanos graben, drill-core sample at San Marin Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	26.2	0.24	Oligocene, late	Ramos-Rosique (2003)

<b>SPA-31</b>	21.0889 93	- 103.97274	Río Santiago Shear Zone	Subvolcanic granite	Hypabyssal	zrn	U-Pb	26.45	0.22	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>RS-08</b>	21.1842 96	- 104.07921	Río Santiago Shear Zone	Latite	Lava	zrn	U-Pb	26.53	0.59	Oligocene, late	Castillo-Reynoso (2018)
<b>RGS 11</b>	-103.97	21.10	Curva Blanca, San Pedro Analco, Jal.	Granodiorite	Plutonic	Hbl	K-Ar	26.6	0.6	Oligocene, late	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>CTO-02</b>	-102.84	21.59	Sierra de Nochistlan		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	26.6	0.7	Oligocene, late	Nieto-Samaniego et al. (1999)
<b>SPA-07</b>	21.2370 64	-104.0887	Río Santiago Shear Zone	Ignimbrite	volcaniclastic, ignimbrite	zrn	U-Pb	26.65	0.22	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>CM 2</b>	-103.93	21.04	Cerro El Abra, Cinco Minas, Jal.	Diorite (micro-)	Dike	gms	K-Ar	26.7	0.6	Oligocene, late	Nieto-Obregon et al. (1985)
<b>SPA-28</b>	21.0920 28	- 103.97262	Río Santiago Shear Zone	Subvolcanic granite	Hypabyssal	zrn	U-Pb	26.7	0.21	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>CO-1</b>	-104.77	24.97	Durango 1: 250 000 (G13-11)	Andesite	Lava flow	wr	K-Ar	27	2	Oligocene, late	Sole et al. (2007)
<b>IL-RSF</b>	-102.52	22.43	Guadalupe graben; SW of Genaro Codina, Zac.	Rhyolite	Lava flow	San	K-Ar	27	0.07	Oligocene, late	Loza-Aguirre et al. (2008)
<b>AR-390'</b>	-104.65	23.29	El Salto 1: 250 000 (F13-2)	Rhyolite	Lava flow	San	K-Ar	27	1	Oligocene, late	Sole et al. (2007)
<b>IL 89 5</b>	-103.51	21.40	S of Teul, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	27.11	0.05	Oligocene, late	Moore et al. (1994)
<b>SPA-05</b>	21.2045 57	- 104.10547	Río Santiago Shear Zone	Granite	Dike	zrn	U-Pb	27.21	0.33	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>SS-227</b>	-102.94	23.12	Sierra de Valdecanas, Zac.	Rhyodacite	volcaniclastic, ignimbrite	wr	K-Ar	27.5	1.2	Oligocene, late	Lang et al. (1988)
<b>H90-18</b>	-104.28	23.53	Sierra Mezquital, Dgo.		volcaniclastic, ash flow tuff	K-Fsp	K-Ar	27.5	1	Oligocene, late	Aranda-Gomez et al. (1997)
<b>SPA-22</b>	21.1158 7	-103.9697	Río Santiago Shear Zone	Granite	Dike	zrn	U-Pb	27.52	0.31	Oligocene, late	García-Arriola (2016), Castillo-Reynoso (2018)
<b>H90-36</b>	-104.55	25.10	Rodeo half graben, Dgo.		volcaniclastic, ash flow tuff	K-Fsp	K-Ar	27.6	1	Oligocene, late	Aranda-Gomez et al. (1997)
<b>SS-149</b>	-102.93	23.06	Sierra de Valdecanas, Zac.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	wr	K-Ar	27.7	0.6	Oligocene, late	Lang et al. (1988)
<b>TS 15</b>	-104.22	22.63	N of Sta. Lucia, Zac.	Rhyolite	Volcanic	San	Ar-Ar	27.9	0.2	Oligocene, late	Ferrari et al. (2002)
<b>74-63</b>	-105.75	24.57	Basis, Dgo.	Rhyolite	Volcaniclastic, tuff	wr	K-Ar	27.9	0.6	Oligocene, late	Clark et al. (1979)
<b>AR-371</b>	-104.34	23.25	El Salto 1: 250 000 (F13-2)	Andesitic	Volcaniclastic, tuff	Plg	K-Ar	28	2	Oligocene, late	Sole et al. (2007)
<b>AR-387</b>	-104.75	23.19	El Salto 1: 250 000 (F13-2)	Dacitic	volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	28	1	Oligocene, late	Sole et al. (2007)
<b>TS 11</b>	-103.99	22.66	Rio Atengo		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	28	2	Oligocene, late	Ferrari et al. (2002)
<b>IL-M01</b>	-102.34	22.10	Guadalupe graben; 2 km al		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	28	0.8	Oligocene, late	Loza-Aguirre et al. (2008)

			norte de Garabato, Ags.								
<b>SA 6</b>	-103.20	23.71	E. Zapata, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	28	2	Oligocene, late	Murillo-Muneton & Torres-Vargas (1987)
<b>Ped Jal 16</b>	-102.78	21.08	Mesa El Mirador, Jal.		volcaniclastic, ignimbrite	Plg	K-Ar	28	1.2	Oligocene, late	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>2</b>	-105.79	24.64	Tayoltita	Rhyolite	Volcanic	Fsp	K-Ar	28.3		Oligocene, early	Smith & Hall (1974)
<b>REM-2</b>	-104.35	24.04	Cerro de los Remedios, Dgo	Rhyolite		San + Qz	K-Ar	28.3	0.3	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
<b>n.r.</b>	-104.53	23.70		Rhyolite	Volcaniclastic, tuff	Fsp	K-Ar	28.3	0.5	Oligocene, early	Fife et al. (1972)
<b>RK-4</b>	-104.67	23.83	Durango volc. seq., 16 km S of Durango, Dgo.		volcaniclastic, ignimbrite	Plg	K-Ar	28.3	0.6	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>AR-131</b>	-103.88	21.68	Bolanos graben, Graben west wall at San Martin Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	28.39	0.26	Oligocene, early	Ramos-Rosique (2003)
<b>n.r.</b>	-104.85	23.87		Rhyolite	Volcaniclastic, tuff	Fsp	K-Ar	28.5	3.1	Oligocene, early	Fife et al. (1972)
<b>JL 1</b>	-104.59	24.12	Durango volc. seq., Caleras basalt, Mesa Caleras, Dgo.	Basalt	Volcanic	wr	K-Ar	28.6	0.5	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>TS 10</b>	-103.99	22.67	W of Huejuquilla, Jal.		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	28.6	0.3	Oligocene, early	Ferrari et al. (2002)
<b>4</b>	-104.93	23.91	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	28.6		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyodacite	Lava flow		K-Ar	28.7	1.1	Oligocene, early	Kapusta. (2005)
<b>PH528-8</b>	-103.88	21.68	Bolanos graben, drill-core sample at San Marin Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	28.7	0.3	Oligocene, early	Ramos-Rosique (2003)
<b>8</b>	-104.74	24.04	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	28.7		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>Na-4</b>	-104.19	25.21	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	K-Ar	28.8	1.9	Oligocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>5</b>	-104.97	23.94	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	28.9		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>OJA-153 C</b>	-104.72	23.67	El Salto 1: 250 000 (F13-2)	Rhyolite	Lava flow	San + Qtz	K-Ar	29	2	Oligocene, early	Sole et al. (2007)
<b>6</b>	-104.73	24.00	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	29		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>SL-56</b>	-104.33	25.47	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	K-Ar	29.1	1.8	Oligocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Ped Zac 3</b>	-103.18	21.77	Cerro Caballos, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	29.15	0.6	Oligocene, early	Nieto-Obregon et al. (1981)

<b>SMO7</b>	-103.94	22.61	Atengo half graben		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	29.2	0.5	Oligocene, early	Perrin et al. (2013)
<b>9</b>	-104.58	24.11	NE of Durango city	Basalt	Lava flow	wr	K-Ar	29.3		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>2</b>	-105.79	24.64	Tayoltita	Rhyolite	Volcanic	Fsp	K-Ar	29.3		Oligocene, early	Smith & Hall (1974)
<b>BOL-4</b>	-103.76	21.83	Cerro aguila, Bolanos graben	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	29.3	1.1	Oligocene, early	Bryan et al. (2008)
<b>AL-18</b>	-103.76	21.83	Bolanos graben, Cerro aguila at Bolanos, Jal.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	29.3	1.1	Oligocene, early	Ramos-Rosique (2003)
<b>SL-53b</b>	-104.32	25.51	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	K-Ar	29.3	1.2	Oligocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>JL BR SI</b>	-104.59	24.11	Durango volc. seq., Mesa Caleras, Dgo.	Basalt	Volcanic	wr	K-Ar	29.5	0.6	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>Na-33</b>	-104.39	25.49	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	K-Ar	29.5	0.6	Oligocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>RS-05</b>	21.1900 64	- 104.24393	Río Santiago Shear Zone	Sandstone		zrn	U-Pb	29.53	0.49	Oligocene, late	Castillo-Reynoso (2018)
<b>OCH-5</b>	-103.92	24.03	Ochoa District, Dgo.		Volcaniclastic, crystal tuff	San + Qz	K-Ar	29.6	0.4	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
<b>SOM-6</b>	-103.48	23.43	Sombrerete District, Zac.		Volcaniclastic, crystal tuff	wr	K-Ar	29.7	0.3	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
<b>JL BM LB</b>	-104.62	24.08	Durango volc. seq., Mesa Caleras, Dgo.	Basalt	Volcanic	wr	K-Ar	29.8	0.6	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>RK-1</b>	-104.85	23.95	Durango volc. seq., Río Chico, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	29.9	0.1	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>RK-11</b>	-104.85	23.93	Durango volc. seq., Río Chico, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.06	0.09	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyolite	Volcaniclastic, tuff		K-Ar	30.1	0.8	Oligocene, early	Kapusta. (2005)
<b>ES 2</b>	-103.77	21.17	Río Chico, Jal.		volcaniclastic, ignimbrite	Bt	K-Ar	30.1	0.8	Oligocene, early	Ferrari et al. (2002)
<b>SOM-3</b>	-103.47	23.47	Sombrerete District, Zac.		Volcaniclastic, crystal tuff	wr	K-Ar	30.1	0.4	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
<b>3-71-1</b>	-104.98	23.92	Durango volc. seq., Río Mimbres, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.14	0.12	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>SOM-1</b>	-103.47	23.47	Sombrerete District, Zac.		Volcaniclastic, tuff	San+Qz+Plg	K-Ar	30.2	0.4	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
<b>RK-15</b>	-104.95	23.93	Durango volc. seq., El Soldado, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.23	0.09	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>12</b>	-104.68	24.04	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	30.3		Oligocene, early	Swanson (1974)

77.4	-104.57	24.35	Durango-Mazatlan Rio Chico Fm. Soldado Mb.	Rhyolite (fayalite)	volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	30.4	0.9	Oligocene, early	Magonthier (1988)
RK-14	-105.01	23.91	Durango volc. seq., Rio Mimbres, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.41	0.13	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
2-71-2	-104.98	23.91	Durango volc. seq., Garavito Fm., Rio Mimbres, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.42	0.09	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
RK-2	-104.77	23.98	Rodeo/Nazas-Durango city-El Palmito		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.47	0.09	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
n.r.	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyodacite	Lava		K-Ar	30.5	1	Oligocene, early	Kapusta. (2005)
74-67	-105.15	24.22	Promontorio, Dgo.	Rhyolite	Lava	San	K-Ar	30.5	0.6	Oligocene, early	Clark et al. (1979)
RK-23	-104.83	23.99	Durango volcanic sequence	Rhyolite	Lava dome	Bt	K-Ar	30.7	0.5	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
JL-RD-A	-104.65	24.63	Durango volc. seq., 5 km NE of Durango, Dgo.	Rhyolite	Dike	Plg	K-Ar	30.7	0.7	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
13	-104.80	24.26	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	30.7		Oligocene, early	Swanson (1974)
Na 33	-104.39	25.49	Rodeo-Nazas		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.79	0.07	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
Na 4	-104.19	25.21	Rodeo-Nazas		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.79	0.06	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
14	-104.66	24.19	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	30.8		Oligocene, early	Swanson (1974)
SL 53b	-104.39	25.51	San Pedro del Gallo area		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	30.81	0.06	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
M-11	-104.51	25.00	Rodeo graben, Dgo.	Rhyolite	volcaniclastic, ash flow tuff	San	Ar-Ar	30.82	0.08	Oligocene, early	Luhr et al. (2001)
M-13	-104.47	25.02	Rodeo graben, Dgo.	Rhyolite	volcaniclastic, ash flow tuff	San	Ar-Ar	30.82	0.08	Oligocene, early	Luhr et al. (2001)
CZ-30	-102.53	22.77			volcaniclastic, pumice tuff	zrn	U-Pb	30.84	0.47	Oligocene, early	Escalona-Alcazar et al. (2016)
OJA-53	-104.42	23.76	Sierra del Registro, SE of Boca del Mezquital. Basalt interlayered in ignimbrite	Basalt	Lava	Plg	K-Ar	31	2	Oligocene, early	Sole et al. (2007)
OCH-1	-103.92	24.03	Ochoa District, Dgo.	Rhyolite		wr	K-Ar	31	0.4	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
REM-2	-104.35	24.04	Cerro de los Remedios, Dgo	Rhyolite		gms	K-Ar	31	0.4	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)



<b>TS 5</b>	-103.99	22.66	W of Huejuquilla, Jal.		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	31	0.7	Oligocene, early	Ferrari et al. (2002)
<b>RK-20</b>	-104.74	24.07	Durango volc. seq., 7.5 km NW of Durango, Dgo.		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	31	0.7	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>RK-3</b>	-104.70	23.91	Durango volc. seq., Garavito Fm., 15 km S of Durango, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	31.01	0.09	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>IR-585</b>	-104.03	24.56	Ignacio Ramirez, CRM, 1:50000 map	Andesite? vitrophyre	Volcanic	Plg	Ar-Ar	31.06	0.05	Oligocene, early	Iriondo et al. (2004)
<b>OCH-5</b>	-103.92	24.03	Ochoa District, Dgo.		Volcaniclastic, crystal tuff	gms	K-Ar	31.1	0.3	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyolite	Volcaniclastic, tuff		K-Ar	31.2	0.8	Oligocene, early	Kapusta. (2005)
<b>RK-10</b>	-104.67	23.83	Durango volc. seq., 27 km S of Durango, Dgo.		volcaniclastic, ignimbrite	Plg	K-Ar	31.2	1.5	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>7</b>	-104.70	24.00	Durango area		Volcaniclastic, tuff	Fsp	K-Ar	31.2		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>11</b>	-104.41	24.01	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	31.2		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>RK-17</b>	-104.76	23.96	Durango volc. seq., Guadalupe Victoria dam, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	31.27	0.18	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>78-11</b>	-105.83	25.22	El Tovar, Dgo.	Andesite	Lava	wr	K-Ar	31.3	0.6	Oligocene, early	Clark et al. (1979)
<b>Mazdu 7</b>	-104.75	23.96	Durango city area, south end of dam	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	Ar-Ar	31.34	0.08	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>K-LP-T</b>	-104.63	24.12	Durango volc. seq., 25 km E of Durango, Dgo.		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	31.4	0.7	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>Mazdu 9</b>	-104.85	24.03	Durango city area, N of railroad trestle	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	Ar-Ar	31.46	0.07	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>Mazdu 8</b>	-104.85	24.03	Durango city area, C. Minitas	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	Ar-Ar	31.47	0.08	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>RK-6</b>	-104.66	23.96	Durango city area, S of La Ferreria	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	31.47	0.1	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyodacite	Lava		K-Ar	31.5	1.1	Oligocene, early	Kapusta. (2005)
<b>77.9</b>	-104.42	24.59	Durango-Mazatlan Rio Chico Fm. Saltilo Mb.	Rhyolite (fayalite)	volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	31.5	1	Oligocene, early	Magonthier (1988)
<b>TS 56</b>	-103.72	22.89	Sierra Valparaiso, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	San	Ar-Ar	31.5	0.3	Oligocene, early	Ferrari et al. (2002)

<b>Mazdu 15</b>	-104.85	23.93	Durango volcanic sequence		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	31.51	0.07	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Quartz monzonite, feldspar-rich fraction	Plutonic		K-Ar	31.6	0.7	Oligocene, early	Lang et al. (1988)
<b>Mazdu 10</b>	-104.72	24.12	Durango city area, W of Chupaderos	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	Ar-Ar	31.62	0.08	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>2-71-1</b>	-104.67	24.04	Durango city area, small quarry at north edge of Durango City	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	Ar-Ar	31.67	0.09	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>RK-5</b>	-104.67	23.92	Durango city area, 2 km S of La Ferreria	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	Ar-Ar	31.67	0.08	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>JL-JE-A</b>	-104.40	24.01	Durango city area, 25 km E of Durango city, Sierra Registro	Rhyolitic	Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	Ar-Ar	31.69	0.09	Oligocene, early	McDowell et al. (2005)
<b>15</b>	-104.40	23.99	Durango area		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	31.8		Oligocene, early	Swanson (1974)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Quartz monzodiorite	Plutonic		K-Ar	32.1	1.3	Oligocene, early	Lang et al. (1988)
<b>JL-JE-A</b>	-104.63	24.12	Durango volc. seq., 25 km E of Durango, Dgo.		volcaniclastic, ignimbrite	Fsp	K-Ar	32.1	1.9	Oligocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Granodiorite	Plutonic		K-Ar	32.2	0.7	Oligocene, early	Lang et al. (1988)
<b>NI-23</b>	-104.22	25.00	Laguna de Santiaguillo area, Dgo., NW of Las Palmas	Rhyolite	Volcanic	San	K-Ar	32.2	0.8	Oligocene, early	Nieto-Samaniego et al. (2012)
<b>Na-81a</b>	-104.27	25.16	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	K-Ar	32.2	0.7	Oligocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>CN-21</b>	-104.98	24.79	Laguna de Santiaguillo area, Dgo., W of Guatimape		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	32.2	0.8	Oligocene, early	Nieto-Samaniego et al. (2012)
<b>RK-22</b>	-104.42	23.77	Durango volc. seq., 42 km SE of Durango, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	32.23	0.08	Oligocene, early	McDowell & McIntosh (2012)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Quartz monzonite, feldspar-rich fraction	Plutonic		K-Ar	32.3	0.7	Oligocene, early	Lang et al. (1988)

<b>SOM-1</b>	-103.47	23.47	Sombrerete District, Zac.		Volcaniclastic, tuff	Bt	Ar-Ar	32.3	0.5	Oligocene, early	Tuta et al. (1988)
<b>M-12</b>	-104.47	25.02	Rodeo graben, Dgo.	Rhyolite	volcaniclastic, ash flow tuff	San	Ar-Ar	32.54	0.08	Oligocene, early	Luhr et al. (2001)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Granodiorite	Plutonic		K-Ar	32.7	1.2	Oligocene, early	Lang et al. (1988)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyolite	Volcaniclastic, tuff		K-Ar	32.7	1.3	Oligocene, early	Kapusta. (2005)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Granodiorite, feldspar-rich fraction	Plutonic		K-Ar	33	0.7	Oligocene, early	Lang et al. (1988)
<b>Pas-wb</b>	-105.59	25.08	Santiago Papasquiario area, Dgo.,		volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	33.2	0.5	Oligocene, early	Loza-Aguirre et al. (2012)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Quartz trachyte	Lava		K-Ar	33.5	0.8	Oligocene, early	Lang et al. (1988)
<b>SL-6</b>	-104.19	25.30	Nazas area, Dgo.	Rhyolite	Lava dome	Plg	K-Ar	34	0.8	Eocene, late	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Pas-nc</b>	-105.54	25.19	Santiago Papasquiario area, Dgo.,		volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	34	0.5	Eocene, late	Loza-Aguirre et al. (2012)
<b>Ped Nay 4/79</b>	-104.30	21.51	La Soyatera, Nay.	Rhyolite	volcaniclastic, ignimbrite	Hbl	K-Ar	34.06	0.73	Eocene, late	Damon et al. (1979)
<b>Ped Zac 5</b>	-103.09	21.76	Cerro Grande, Zac.	Andesite	Volcanic	wr	K-Ar	34.4	0.7	Eocene, late	Nieto-Obregon et al. (1981)
<b>NI-27</b>	-105.20	24.84	Laguna de Santiaguillo area, Dgo., W of Villahermosa	Andesite	Volcanic	San	Ar-Ar	35	0.6	Eocene, late	Nieto-Samaniego et al. (2012)
<b>PHC-85-2</b>	-104.45	21.61	El Cajon	Granite	Plutonic	Orthoclase	K-Ar	35	2	Eocene, late	Murillo-Muneton & Torres-Vargas (1987)
<b>CN-19</b>	-104.99	24.76	Laguna de Santiaguillo area, Dgo., SW of El Molino			San	K-Ar	35.6	0.9	Eocene, late	Nieto-Samaniego et al. (2012)
<b>CZ-09</b>	-102.55	22.77			volcaniclastic, pumice tuff	zrn	U-Pb	35.77	0.54	Eocene, late	Escalona-Alcazar et al. (2016)
<b>Caz-1</b>	-105.56	25.09	Santiago Papasquiario area, Dgo., West of El Cazadero	Andesite	Volcanic	Zrn	U-Pb	35.95	0.45	Eocene, late	Loza-Aguirre et al. (2012)
<b>UAKA 79-21</b>	-102.55	22.75	Cerro La Virgen, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	36.8	0.8	Eocene, late	Clark et al. (1981)
<b>n.r.</b>	-102.56	22.74	Graben de Guadalupe,		Volcaniclastic, tuff	San	K-Ar	36.8		Eocene, late	Ponce & Clark (1988)

			Zacatecas area, Zac.								
<b>ZA-2</b>	-102.43	22.75	Distrito Minero de Zacatecas	Rhyolite	Volcaniclastic, ignimbrite	wr	K-Ar	37.1	0.9	Eocene, late	Tristan-Gonzalez et al. (2012)
<b>And-cl</b>	-105.54	25.08	Santiago Papasquiario area, Dgo., West of El Cazadero	Andesite	Volcanic	Zrn	U-Pb	37.2	0.3	Eocene, late	Loza-Aguirre et al. (2012)
<b>CZ-08</b>	-102.55	22.77			volcaniclastic, pumice tuff	zrn	U-Pb	37.64	0.36	Eocene, late	Escalona-Alcazar et al. (2016)
<b>S-2</b>	-102.82	23.13	Fresnillo area, Zac.	Rhyolitic- trachytic	volcaniclastic, ignimbrite	wr	K-Ar	38.3	0.8	Eocene, late	Lang et al. (1988)
<b>16</b>	-104.63	24.74		Andesite	Lava	Pg	K-Ar	38.8		Eocene, late	Damon (1975)
<b>CN-24</b>	-104.82	24.67	Laguna de Santiaguillo area, Dgo., E of Altamira		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	38.8	1	Eocene, late	Nieto-Samaniego et al. (2012)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyolitic- trachytic	Volcaniclastic, tuff		K-Ar	40.1	1.1	Eocene, late	Kapusta. (2005)
<b>PLCC- 022</b>	-104.77	24.98	Laguna de Santiaguillo area, Dgo., S of Coneto de Comonfort	Andesite	Lava	Zrn	U-Pb	40.15	0.35	Eocene, late	Nieto-Samaniego et al. (2012)
<b>SL-46</b>	-104.31	25.50	Nazas area, Dgo.	Andesite	Lava flow	Plg	K-Ar	40.3	1	Eocene, late	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>ZB-1</b>	-102.56	22.78	Distrito Minero de Zacatecas	Rhyolite	Lava flow	wr	K-Ar	40.5	0.9	Eocene, late	Tristan-Gonzalez et al. (2012)
<b>TOM- 02</b>	-102.41	21.89	Cerro el Picacho, Ags.	Rhyolite	Lava	San	K-Ar	40.6	1	Eocene, late	Nieto-Samaniego et al. (1996)
<b>SL-70-2</b>	-104.19	25.25	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	Plg	K-Ar	41.3	1	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>SL-31</b>	-104.20	25.26	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	K-Fsp	K-Ar	41.4	0.9	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Na-100</b>	-104.21	25.14	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	Bt	K-Ar	41.9	0.7	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Na-5</b>	-104.19	25.21	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	Plg	K-Ar	42	1	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>n.r.</b>	-102.89	23.13	Fresnillo Silver district	Rhyolitic- trachytic	Volcaniclastic, tuff		K-Ar	42.2	1.1	Eocene, middle	Kapusta. (2005)
<b>IL-M43</b>	-102.39	22.56	Guadalupe graben; SE of Minillas, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	42.3	1.6	Eocene, middle	Loza-Aguirre et al. (2008)
<b>M-14</b>	-104.48	25.08	Rodeo graben, Dgo.	Rhyolite	volcaniclastic, ash flow tuff	San	Ar-Ar	42.4	0.1	Eocene, middle	Luhr et al. (2001)
<b>SL 31b</b>	-104.20	25.26	Nazas area		Volcaniclastic, tuff	San	Ar-Ar	43.19	0.07	Eocene, middle	McDowell & McIntosh (2012)
<b>IL-Bufa</b>	-102.56	22.78	Cerro La Bufa		volcaniclastic, pumice tuff	zrn	U-Pb	43.53	0.73	Eocene, middle	Escalona-Alcazar et al. (2016)

<b>SL-22</b>	-104.16	25.32	Nazas area, Dgo.	Andesite	Lava dome	Hbl	K-Ar	44.4	0.9	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Na-83</b>	-104.27	25.15	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	Plg	K-Ar	45.1	1.3	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>SL-41</b>	-104.15	25.35	Nazas area, Dgo.	Andesite	Lava dome	Bt	K-Ar	45.2	0.6	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>SL-22</b>	-104.16	25.32	Nazas area, Dgo.	Andesite	Lava dome	Bt	K-Ar	45.2	0.7	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Na-13</b>	-104.28	25.14	Nazas area, Dgo.	Andesite	Lava flow	Plg	K-Ar	45.5	3.8	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>SL-41</b>	-104.15	25.35	Nazas area, Dgo.	Andesite	Lava dome	Hbl	K-Ar	45.7	1.5	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>Na-102</b>	-104.19	25.21	Nazas area, Dgo.		Volcaniclastic, tuff	Plg	K-Ar	45.9	1.1	Eocene, middle	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>UAKA 79-29</b>	-103.74	23.66	San Martin, Zacatecas	Granodiorite	Plutonic	Bt	K-Ar	46.2	1	Eocene, middle	Damon et al. (1983a); Damon et al. (1981a)
<b>n.r.</b>	-102.42	22.70	Graben de Guadalupe, Zacatecas area, Zac.		volcaniclastic, ignimbrite	Bt	K-Ar	46.8		Eocene, middle	Ponce & Clark (1988)
<b>74-54</b>	-104.57	25.38	Nazas area vicinity	Granodiorite	Plutonic	Hbl	K-Ar	47.2	1.1	Eocene, middle	Clark et al. (1979)
<b>CTO-01</b>	-102.41	21.90	Presa Los Arquitos, Ags.		volcaniclastic, ignimbrite	San	K-Ar	47.2	1.2	Eocene, middle	Nieto-Samaniego et al. (1996)
<b>BFA</b>	-103.15	21.65	Juchipila region	Basaltic andesite	Lava	Fsp	K-Ar	48.1	2.6	Eocene, early	Webber et al. (1994)
<b>IL-M41</b>	-102.39	22.56	Guadalupe graben; NW of Palmira, Zac.	Rhyolite	Lava flow	San	Ar-Ar	48.91	0.09	Eocene, early	Loza-Aguirre et al. (2008)
<b>n.r.</b>	-104.56	25.39		Granodiorite	Plutonic	Bt	K-Ar	49		Eocene, early	Clark et al. (1980)
<b>Na-13b</b>	-104.28	25.14	Nazas area, Dgo.	Andesite	Lava flow	Plg	K-Ar	49.8	1.2	Eocene, early	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)
<b>PLNCC-019</b>	-104.11	25.22	Nazas	Monzonite	Plutonic	Zrn	U-Pb	50.1	0.3	Eocene, early	Cuellar-Cardenas et al. (2012)
<b>RK-18</b>	-104.41	23.99	Sierra El Registro	Andesite	Lava	Plg	K-Ar	51.6	1.3	Eocene, early	McDowell & Keizer (1977)
<b>Fres-b</b>	-105.57	25.11	Santiago Papasquiario area, Dgo., Road Santiago-Papasquiario-Los Altares, Dgo.		volcaniclastic, ignimbrite	Zrn	U-Pb	51.75	0.34	Eocene, early	Loza-Aguirre et al. (2012)
<b>UAKA 79-28</b>	-103.74	23.38	La Colorada, Zacatecas	Dacite, porphyry brecciated	Lava	Orthoclase	K-Ar	53.6	1.1	Eocene, early	Damon et al. (1983a); Damon et al. (1981a)
<b>Gm-26</b>	-104.79	24.93	Santiago Papasquiario area, Dgo., north of Nuevo Ideal	Rhyolite	Lava	Zrn	U-Pb	56.4	0.5	Paleocene, late	Loza-Aguirre et al. (2012)
<b>PLFMI-014</b>	-102.72	22.80	Zona Francisco I. Madero, Zac.	Monzonite, porphyry	Hypabyssal	Zrn	U-Pb	68.7	0.5	Cretaceous, late	Cuellar-Cardenas et al. (2012)

<b>n.r.</b>	-102.59	22.77	Zacatecas mining district	Microdiorite			K-Ar	74.3		Cretaceous, late	Ranson (1975)
<b>77-117</b>	-104.12	23.75	La Parrilla, Dgo.	Quartz diorite	Plutonic	Hbl	K-Ar	79.2	1.8	Cretaceous, late	Clark et al. (1979)
<b>74-79</b>	-104.12	23.75	La Parrilla, Dgo.	Quartz diorite	Plutonic	Hbl	K-Ar	87.4	2	Cretaceous, late	Clark et al. (1979)
<b>Na-44</b>	-104.13	25.25	Nazas area, Dgo.	Diorite	Plutonic	Hbl	K-Ar	87.5	1.8	Cretaceous, late	Aguirre-Diaz & McDowell (1991)

<b>Anexo 2. Descripciones petrográficas</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
SP02	Ignimbrita	Ignimbrita devitrificada. Matriz vítrea. Contiene cristaloclastos de cuarzo con extinción ondulante y feldespato con maclas polisintéticas y zonación radial. Se observan clastos de pómez devitrificada y esferulitas. También se observan cristaloclastos de biotita cloritizada.
SP03	Diorita-Granodiorita	Holocristalina con textura porfirica. Se compone de fenocristales de feldespato y piroxeno inmersos en una mesostasis cuarzo-feldespática.
SP04	Toba de flujo de ceniza	Se compone de cristaloclastos de cuarzo con golfos de corrosión y feldespato en matriz felsítica y vítrea. Se observan zonas con devitrificación que forman esferulitas.
SP05	Lava félsica	Holocristalina. Se observa un mosaico de cuarzo y feldespato con variaciones en el tamaño de grano. Se encuentra alterada por arcillas.
SP06	Arenisca tobácea	Se observa un mosaico de cuarzo y feldespato con variaciones en el tamaño de grano. Se encuentra alterada por arcillas.
SP07	Riolita-Dacita	Textura porfirica. Fenocristales de cuarzo, feldespato y biotita.
SP08	Ignimbrita cristalina	Se compone de cristaloclastos de cuarzo, feldespato y biotita en una matriz vítrea.
SP09	Riolita	Textura porfirica con estructura reomórfica. Fenocristales de cuarzo y feldespatos alterados a arcillas, inmersos en una mesostasis vítrea-felsítica criptocristalina.
SP11	Ignimbrita lítica	La mesostasis/matriz es un mosaico felsítico en parte vítreo, hay fenocristales de feldespato >>> cuarzo euhedrales a subhedrales, contiene abundantes líticos porfíricos compuestos por fenocristales de feldespato.
SP13	Andesita	Holocristalina, textura porfirica, matriz compuesta por cristales de feldespato euhedrales a subhedrales. Fenocristales de feldespato y menos de 5% de anfíbol alterado a biotita.
SP17	Riolita	Porfirica, mesostasis vítrea a criptocristalina. Fenocristales de cuarzo >>feldespato con esferulitas y menos del 5% de anfíbol.
SP19	Andesita	Porfirica con fenocristales de feldespato, mesostasis criptocristalina felsítica. Tiene fantasmas con óxidos en el borde en forma de probables anfíboles, los cuales están rellenos/reemplazados por minerales gris de bajo orden (zeolita, cuarzo o feldespato). También se observan cristales de biotita (1%).
SP20	Ignimbrita cristalina	Mesostasis vítrea devitrificada. Cristaloclastos de cuarzo, feldespato y biotita.
SP21	Toba de flujo de ceniza	Matriz vítrea y ceniza. Cristaloclastos de cuarzo, algunos de ellos con golfos de corrosión. Ligeramente devitrificada.
SP25	Litarenita	Los clastos están mal clasificados, varían en tamaño de 1.5 mm a 0.25 mm y son angulosos a subangulosos. Matriz soportados, matriz muy fina cuarzo-feldespática, probablemente de origen volcánico (ceniza). Clastos predominantemente volcánicos con textura felsítica, lathwork y vítreos, además de cuarzo monocristalino y feldespato. En algunas partes de la lámina se observa cemento de calcita.
SP29	Caliza recristalizada	Se encuentra muy recristalizada. Se observan fragmentos de "chert" redondeados y como cemento, probablemente originados por procesos diagenéticos. También hay equinodermos recristalizados a calcita.
Rat	Caliza	Wackestone (?) con laminaciones formadas por probables carpetas de algas (estromatolitos). También se observan estilolitas.
SP31	Arenisca	Clastos de cuarzo monocristalino de 0.05 mm a 0.15 mm, subangulosos, matriz parece sílicea muy fina. Los clastos están soportados por matriz/cemento.
SP35	Andesita/latita	Textura porfirica. Matriz es un mosaico felsítico probablemente producto de devitrificación. Contiene fenocristales de cuarzo <<feldespato y anfíbol.

<b>SPB-A</b>	Arenisca	Clastos mal clasificados, soportados por cemento de calcita, angulosos a subredondeados. Tamaño de los clastos varía de 0.5 mm a 0.05 mm. Los clastos son de cuarzo monocristalino, líticos felsíticos dominantes en la lámina, ocasionales líticos con textura lathwork y ocasionales feldespatos. También se observan óxidos.
<b>SPB-B</b>	Arenisca tobácea/ volcaniclastica	Mal clasificada. Tamaño de los clastos de 1.5 mm a 0.1 mm. Los clastos están soportados por la matriz, la cual está compuesta de arcillas, probablemente de alteración. Los clastos son de cuarzo monocristalino, feldespato y líticos volcánicos. Se observan formas subangulosas a subredondeadas. Los líticos volcánicos presentan texturas felsíticas (pueden ser clastos de ignimbritas/tobas), líticos vítreos y en menor proporción líticos con textura microlítica y lathwork. También se observan ocasionales cristales de anfíbol.
<b>SPB-C</b>	Andesita	Textura porfírica. Holocristalina. Fenocristales de feldespato (plagioclasas) inmersos en matriz de plagioclasa acicular de grano muy fino. También se observan fenocristales de anfíbol (Hbl) alterados a arcillas.
<b>SPB-D</b>	Toba de flujo de ceniza	Matriz vítrea. Cristaloclastos muy finos de cuarzo, líticos volcánicos alterados a arcillas y biotita.
<b>SPB-E</b>	<b>Andesita/Dacita</b>	Textura porfírica a glomeroporfírica. Holocristalina. Fenocristales euhedrales de feldespato y <10% de cuarzo, inmersos en una mesostasis de grano fino de feldespato. También se observan fenocristales de anfíbol (~10%).
<b>SPB-F1</b> <b>SPB-F2</b>	Peperitas	Se observa una mezcla de lava con sedimentos ( <i>soft sediments</i> ). Los clastos se componen de líticos volcánicos felsíticos, microlíticos y lathwork. Además de clastos redondeados a angulosos de feldespato y cuarzo monocristalino subangulosos a angulosos. La matriz es de arcillas. Se observan fragmentos de lava en contacto con la parte clástica o mezclados con los sedimentos como clastos aislados con formas irregulares fluidales. La lava es porfírica con una mesostasis vítrea oxidada que contiene fenocristales de feldespato.
<b>SPB-G</b>	Arenisca tobácea	Soportada por matriz probablemente de origen volcánico (ceniza) alterada a arcillas. Los clastos están muy mal clasificados, tienen tamaños que van desde 1 mm hasta 0.05 mm y están soportados por la matriz. Los granos son subredondeados a subangulosos. Los clastos se componen de feldespato, cuarzo monocristalino y líticos volcánicos. Los líticos son felsíticos, microlíticos, vítreos y líticos perlíticos. También hay clastos alterados a epidota de minerales ferromagnesianos.
<b>SPB-I</b>	Peperita?	Se observa una mezcla de lava con vesículas rellenas de cuarzo con formas irregulares y mesostasis vítrea con roca con textura clástica de granos redondeados de feldespato << cuarzo y líticos felsíticos y microlíticos. Las partes de lava tienen fenocristales euhedrales de feldespato y epidota (alteración). También hay fragmentos de lava aislados entre las partes con textura clástica. La epidota probablemente también reemplaza cristales de anfíbol euhedral. La matriz se observa de grano muy fino y probablemente de origen vítreo.
<b>SPB-J</b>	Arenisca tobácea	Mal clasificada, principalmente grano-soportada, la matriz es de ceniza (vítrea) alterada a arcillas, hay cemento de cuarzo poco desarrollado. Los granos son predominantemente subangulosos. Se compone de clastos de feldespato > cuarzo monocristalino y líticos volcánicos con textura felsítica y microlítica. Clastos alterados a clorita-epidota, probablemente de hornblenda.
<b>SPB-L</b>	Granodiorita subvolcánica.	Textura porfírica holocristalina. Fenocristales desde 1.5 mm a 0.5 mm, inmersos en una mesostasis cuarzo-feldespática. Los fenocristales son de feldespato, cuarzo y anfíbol. El anfíbol se encuentra cloritizado.
<b>SPB-M</b>	Andesita	Porfírica. Mesostasis criptocristalina. Fenocristales de feldespato, anfíbol y biotita. La biotita se encuentra como fenocristales, pero también reemplaza a los anfíboles.
<b>SPB-N</b>	Toba de flujo de ceniza	Matriz de ceniza, algunos líticos se preservaron en la lámina y son de origen volcánico (probables fragmentos de ignimbritas). Se observan cristaloclastos de biotita.
<b>SPB-O</b>	Ignimbrita cristalina	Matriz vítrea, cristaloclastos de cuarzo, feldespato y biotita. En la matriz se observan espículas de vidrio.
<b>SPB-P</b>	Ignimbrita cristalina	La matriz es un mosaico cuarzo-feldespático de grano fino. Cristaloclastos de cuarzo y feldespato. Se observa textura de rompecabezas y golfos de corrosión,
<b>SPB-R</b>	Toba de flujo de ceniza	Ceniza y lapilli de cuarzo y feldespato más biotita (<5%).
<b>DM-7A</b>	Riolita	Textura porfírica, mesostasis vítrea con horizontes irregulares de cuarzo con bordes poligonales, radiales. La parte central de las zonas con cuarzo son de grano más fino en el centro y se hace grano más grueso y con bordes poligonales hacia la periferia.



CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/		<sup>207</sup> Pb/		<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>208</sup> Pb/		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup>		Best age		Disc %
				<sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>38</sup> U	±2s abs	<sup>232</sup> Th	±2s abs		<sup>38</sup> U	±2s	<sup>35</sup> U	±2s	Pb	±2s	(Ma)	±2s	
<i>Sample: SP06</i>																					
SP6_Zrn_01	314.00	333.00	1.06	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	33.70	1.30	33.20	5.70	550.00	120.00	33.70	1.30	-1.51
SP6_Zrn_02	378.00	251.00	0.66	0.06	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	28.50	1.40	34.50	8.60	630.00	240.00	28.50	1.40	17.39
SP6_Zrn_03	262.00	187.80	0.72	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	31.50	1.20	31.90	6.30	510.00	130.00	31.50	1.20	1.25
SP6_Zrn_04	744.00	518.00	0.70	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.12	31.00	0.86	34.20	3.80	480.00	120.00	31.00	0.86	9.36
SP6_Zrn_05	102.60	76.20	0.74	0.07	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.15	21.40	1.90	26.30	8.40	1620.00	320.00	21.40	1.90	18.63
SP6_Zrn_06	232.00	197.00	0.85	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	32.50	1.60	31.10	5.20	450.00	160.00	32.50	1.60	-4.50
SP6_Zrn_07	191.00	164.30	0.86	0.07	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	34.70	2.20	49.00	13.00	1120.00	290.00	34.70	2.20	29.18
SP6_Zrn_08	125.80	41.40	0.33	0.07	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	21.30	1.30	27.90	7.60	1260.00	210.00	21.30	1.30	23.66
SP6_Zrn_09	142.40	77.10	0.54	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	33.60	1.90	42.20	7.20	1100.00	190.00	33.60	1.90	20.38
SP6_Zrn_10	520.00	398.00	0.77	0.05	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	31.60	1.10	36.50	5.30	640.00	170.00	31.60	1.10	13.42
SP6_Zrn_11	210.90	53.50	0.25	0.05	0.01	0.13	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.11	129.80	4.50	126.00	14.00	510.00	130.00	129.80	4.50	-3.02
SP6_Zrn_12	244.00	177.00	0.73	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	32.40	1.60	34.10	6.80	760.00	170.00	32.40	1.60	4.99
SP6_Zrn_13	382.60	229.60	0.60	0.07	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	26.60	1.10	38.50	4.60	1040.00	150.00	26.60	1.10	30.91
SP6_Zrn_14	641.00	339.00	0.53	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.26	33.80	1.10	46.80	5.10	800.00	140.00	33.80	1.10	27.78
SP6_Zrn_15	16.63	8.94	0.54	0.32	0.17	0.11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.19	30.40	5.50	99.00	38.00	3130.00	440.00	30.40	5.50	69.29
SP6_Zrn_16	570.00	262.00	0.46	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	31.26	0.86	31.70	3.60	470.00	130.00	31.26	0.86	1.39
SP6_Zrn_17	178.00	114.00	0.64	0.05	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	23.80	1.50	23.80	6.40	960.00	190.00	23.80	1.50	0.00
SP6_Zrn_18	81.60	45.00	0.55	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	32.60	2.20	36.00	11.00	1240.00	200.00	32.60	2.20	9.44
SP6_Zrn_19	150.00	109.10	0.73	0.07	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	32.70	3.20	45.00	12.00	1150.00	240.00	32.70	3.20	27.33
SP6_Zrn_20	452.00	355.00	0.79	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	34.70	2.50	35.00	11.00	1110.00	450.00	34.70	2.50	0.86
SP6_Zrn_21	163.00	102.10	0.63	0.07	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	23.50	1.90	32.50	7.50	1240.00	230.00	23.50	1.90	27.69
SP6_Zrn_22	374.00	290.00	0.78	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.08	30.30	1.70	30.00	5.50	690.00	210.00	30.30	1.70	-1.00
SP6_Zrn_23	397.00	257.00	0.65	0.05	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	20.56	1.00	21.90	5.10	900.00	200.00	20.56	1.00	6.12
SP6_Zrn_24	153.00	83.60	0.55	0.06	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.23	31.40	1.80	33.80	8.40	1040.00	370.00	31.40	1.80	7.10
SP6_Zrn_25	305.80	162.80	0.53	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	33.70	1.50	33.60	6.10	540.00	160.00	33.70	1.50	-0.30
SP6_Zrn_26	208.00	119.90	0.58	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16	32.40	1.50	33.90	5.60	570.00	140.00	32.40	1.50	4.42
SP6_Zrn_27	300.00	140.00	0.47	0.07	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	21.20	1.10	28.80	4.40	950.00	180.00	21.20	1.10	26.39
SP6_Zrn_28	478.00	315.00	0.66	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.22	32.30	1.20	31.60	3.60	465.00	100.00	32.30	1.20	-2.22
SP6_Zrn_29	283.00	206.00	0.73	0.08	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	35.20	1.90	59.00	9.70	1320.00	160.00	35.20	1.90	40.34
SP6_Zrn_30	2290.00	2390.00	1.04	0.04	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	32.32	1.00	30.70	3.20	240.00	120.00	32.32	1.00	-5.28
SP6_Zrn_31	205.80	95.70	0.47	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	26.60	1.60	38.80	7.60	1110.00	170.00	26.60	1.60	31.44
SP6_Zrn_32	349.00	270.00	0.77	0.08	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	23.50	1.20	39.90	5.40	1210.00	170.00	23.50	1.20	41.10
SP6_Zrn_33	535.00	247.00	0.46	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.36	33.70	1.10	32.40	4.70	360.00	120.00	33.70	1.10	-4.01
SP6_Zrn_34	504.00	419.00	0.83	0.04	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.21	32.86	1.00	31.00	3.80	380.00	110.00	32.86	1.00	-6.00
SP6_Zrn_35	423.00	315.00	0.74	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.31	32.60	1.20	34.10	6.00	680.00	130.00	32.60	1.20	4.40
SP6_Zrn_36	479.00	322.00	0.67	0.04	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	32.99	1.00	30.70	4.60	520.00	130.00	32.99	1.00	-7.46
SP6_Zrn_37	358.00	292.00	0.82	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	24.20	1.50	22.10	6.50	670.00	240.00	24.20	1.50	-9.50
SP6_Zrn_38	994.00	389.00	0.39	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	21.14	0.46	21.20	2.30	332.00	100.00	21.14	0.46	0.28
SP6_Zrn_39	228.00	131.00	0.57	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	33.20	1.40	39.30	6.00	840.00	140.00	33.20	1.40	15.52
SP6_Zrn_40	141.50	87.20	0.62	0.05	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	31.50	1.90	32.90	9.60	1130.00	230.00	31.50	1.90	4.26

SP6_Zrn_41	475.00	405.00	0.85	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.15	21.27	0.98	22.80	3.40	640.00	160.00	21.27	0.98	6.71
SP6_Zrn_42	534.00	359.00	0.67	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	34.30	1.40	35.20	4.90	320.00	130.00	34.30	1.40	2.56
SP6_Zrn_43	421.00	404.00	0.96	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	26.81	1.00	30.70	3.80	610.00	130.00	26.81	1.00	12.67
SP6_Zrn_44	100.00	54.00	0.54	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	36.10	2.30	38.00	9.40	820.00	150.00	36.10	2.30	5.00
SP6_Zrn_45	225.00	74.80	0.33	0.09	0.02	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	31.60	2.40	62.00	13.00	1530.00	210.00	31.60	2.40	49.03
SP6_Zrn_46	3880.00	159.00	0.04	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.72	90.10	2.60	90.10	5.50	182.00	58.00	90.10	2.60	0.00
SP6_Zrn_47	174.00	99.90	0.57	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	34.70	1.80	37.50	7.90	770.00	210.00	34.70	1.80	7.47
SP6_Zrn_48	290.00	211.00	0.73	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	33.10	1.40	32.00	7.20	670.00	170.00	33.10	1.40	-3.44
SP6_Zrn_49	358.00	230.00	0.64	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	21.48	0.83	21.30	3.90	650.00	180.00	21.48	0.83	-0.85
SP6_Zrn_50	203.60	137.60	0.68	0.06	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	31.70	1.90	38.00	14.00	1310.00	220.00	31.70	1.90	16.58
SP6_Zrn_51	560.00	380.00	0.68	0.07	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	38.90	2.70	57.00	11.00	920.00	290.00	38.90	2.70	31.75
SP6_Zrn_52	293.00	247.00	0.84	0.05	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.11	23.90	1.20	23.80	5.50	1060.00	330.00	23.90	1.20	-0.42
SP6_Zrn_53	171.20	115.80	0.68	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	32.20	2.80	37.80	7.80	610.00	150.00	32.20	2.80	14.81
SP6_Zrn_54	216.90	139.80	0.64	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.39	31.90	1.40	39.20	8.60	1130.00	180.00	31.90	1.40	18.62
SP6_Zrn_55	97.00	55.70	0.57	0.05	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	33.70	2.60	32.00	12.00	1290.00	430.00	33.70	2.60	-5.31
SP6_Zrn_56	223.10	178.60	0.80	0.07	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	19.52	0.90	25.70	4.90	1280.00	190.00	19.52	0.90	24.05
SP6_Zrn_57	146.40	100.30	0.69	0.09	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	26.20	1.90	50.00	13.00	1560.00	250.00	26.20	1.90	47.60
SP6_Zrn_58	517.00	213.00	0.41	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04	33.20	1.30	36.70	6.00	510.00	150.00	33.20	1.30	9.54
SP6_Zrn_59	304.00	206.00	0.68	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	34.10	1.70	40.90	6.90	660.00	130.00	34.10	1.70	16.63
SP6_Zrn_60	1105.00	1141.00	1.03	0.07	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.27	31.93	0.93	45.80	5.30	770.00	170.00	31.93	0.93	30.28
SP6_Zrn_61	84.40	45.30	0.54	0.08	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.27	20.40	1.50	28.50	9.60	1910.00	340.00	20.40	1.50	28.42
SP6_Zrn_62	444.00	358.00	0.81	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	33.19	0.94	41.90	5.40	740.00	130.00	33.19	0.94	20.79
SP6_Zrn_63	495.00	304.00	0.61	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	33.87	1.00	33.30	3.70	420.00	110.00	33.87	1.00	-1.71
SP6_Zrn_64	308.00	218.00	0.71	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	22.10	1.10	22.60	4.50	800.00	160.00	22.10	1.10	2.21
SP6_Zrn_65	406.90	171.50	0.42	0.06	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	28.60	1.20	34.40	5.20	680.00	170.00	28.60	1.20	16.86
SP6_Zrn_66	93.10	86.10	0.92	0.07	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.11	30.90	2.10	44.20	9.30	1330.00	200.00	30.90	2.10	30.09
SP6_Zrn_67	679.00	363.00	0.53	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.24	33.53	0.87	35.00	3.50	450.00	150.00	33.53	0.87	4.20
SP6_Zrn_68	347.00	325.00	0.94	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	32.00	1.60	37.80	7.00	780.00	160.00	32.00	1.60	15.34
SP6_Zrn_69	340.00	261.00	0.77	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	33.20	1.30	38.70	5.30	610.00	140.00	33.20	1.30	14.21
SP6_Zrn_70	279.00	147.00	0.53	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	34.00	1.30	37.00	5.90	650.00	130.00	34.00	1.30	8.11
SP6_Zrn_71	173.50	101.50	0.59	0.09	0.05	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	30.70	2.30	57.00	29.00	1770.00	710.00	30.70	2.30	46.14
SP6_Zrn_72	148.00	52.30	0.35	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	33.70	2.20	38.00	14.00	970.00	240.00	33.70	2.20	11.32
SP6_Zrn_73	95.00	82.00	0.86	0.06	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	21.70	2.60	32.00	19.00	1830.00	370.00	21.70	2.60	32.19
SP6_Zrn_74	337.00	210.00	0.62	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.22	34.56	1.10	44.70	5.20	700.00	150.00	34.56	1.10	22.68
SP6_Zrn_75	174.30	135.00	0.77	0.06	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	23.30	1.50	26.70	6.60	1080.00	170.00	23.30	1.50	12.73
SP6_Zrn_76	473.00	236.20	0.50	0.08	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	34.30	1.20	55.00	10.00	1330.00	200.00	34.30	1.20	37.64
SP6_Zrn_77	111.00	93.00	0.84	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.15	32.90	3.10	35.00	12.00	1390.00	220.00	32.90	3.10	6.00
SP6_Zrn_78	199.00	117.00	0.59	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	34.80	1.70	41.00	10.00	770.00	180.00	34.80	1.70	15.12
SP6_Zrn_79	173.50	81.90	0.47	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.25	33.60	2.50	38.00	10.00	880.00	350.00	33.60	2.50	11.58
SP6_Zrn_80	205.00	202.40	0.99	0.11	0.02	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	1.70	68.00	14.00	1780.00	220.00	30.00	1.70	55.88
SP6_Zrn_81	459.00	289.00	0.63	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	30.90	1.10	31.80	5.30	530.00	120.00	30.90	1.10	2.83
SP6_Zrn_82	296.00	128.60	0.43	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	35.80	1.50	27.80	5.10	500.00	160.00	35.80	1.50	-28.78
SP6_Zrn_83	638.50	334.10	0.52	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	28.00	1.20	31.60	5.10	720.00	120.00	28.00	1.20	11.39
SP6_Zrn_84	251.60	187.90	0.75	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	33.00	1.30	32.30	6.60	800.00	130.00	33.00	1.30	-2.17
SP6_Zrn_85	195.50	99.40	0.51	0.08	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	31.20	2.10	52.00	12.00	1440.00	340.00	31.20	2.10	40.00

SP6_Zrn_86	279.00	72.10	0.26	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	31.60	1.40	33.90	7.40	600.00	170.00	31.60	1.40	6.78
SP6_Zrn_87	217.00	171.00	0.79	0.11	0.02	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.38	34.50	1.60	78.00	11.00	1750.00	240.00	34.50	1.60	55.77
SP6_Zrn_88	311.20	241.70	0.78	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.26	23.40	1.20	25.10	4.90	820.00	220.00	23.40	1.20	6.77
SP6_Zrn_89	99.70	54.10	0.54	0.06	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	21.50	1.90	25.00	10.00	1510.00	200.00	21.50	1.90	14.00
SP6_Zrn_90	533.00	413.00	0.77	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	25.90	1.40	29.10	4.70	366.00	80.00	25.90	1.40	11.00
SP6_Zrn_91	381.80	185.60	0.49	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	21.20	1.10	20.80	4.10	620.00	180.00	21.20	1.10	-1.92
SP6_Zrn_92	194.50	136.40	0.70	0.08	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18	20.60	1.70	32.00	10.00	1540.00	410.00	20.60	1.70	35.63
SP6_Zrn_93	324.00	130.00	0.40	0.05	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13	21.91	1.00	23.50	5.20	900.00	260.00	21.91	1.00	6.77
SP6_Zrn_94	1312.00	625.00	0.48	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	22.04	0.60	22.10	2.00	400.00	120.00	22.04	0.60	0.27
SP6_Zrn_95	310.80	171.20	0.55	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	27.20	1.40	30.20	5.70	840.00	180.00	27.20	1.40	9.93
SP6_Zrn_96	171.10	81.10	0.47	0.07	0.03	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.32	34.60	2.60	53.00	14.00	1350.00	290.00	34.60	2.60	34.72
SP6_Zrn_97	378.00	245.00	0.65	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	34.20	1.40	36.30	5.70	510.00	110.00	34.20	1.40	5.79
SP6_Zrn_98	498.00	311.00	0.62	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.22	27.51	1.00	31.20	4.60	480.00	110.00	27.51	1.00	11.83

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>38</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>38</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>35</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age (Ma)	Disc %	
				±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs		±2s abs								
<i>Sample: SP05</i>																					
SP5_Zrn_01	710.00	341.00	0.48	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	33.90	1.40	34.50	4.60	60.00	270.00	33.90	1.40	1.74
SP5_Zrn_02	420.30	174.20	0.41	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	36.80	1.50	38.30	7.20	70.00	360.00	36.80	1.50	3.92
SP5_Zrn_03	203.00	107.70	0.53	0.07	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	39.00	2.20	59.00	14.00	1020.00	450.00	39.00	2.20	33.90
SP5_Zrn_04	340.00	245.00	0.72	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	33.50	1.60	34.80	6.30	60.00	370.00	33.50	1.60	3.74
SP5_Zrn_05	515.00	180.00	0.35	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	34.10	1.20	36.40	5.10	80.00	270.00	34.10	1.20	6.32
SP5_Zrn_06	324.70	103.70	0.32	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	36.70	1.70	60.00	10.00	1090.00	340.00	36.70	1.70	38.83
SP5_Zrn_07	248.60	144.70	0.58	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	34.10	1.90	36.90	9.50	80.00	510.00	34.10	1.90	7.59
SP5_Zrn_08	401.50	191.00	0.48	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	34.10	1.40	54.10	7.40	920.00	300.00	34.10	1.40	36.97
SP5_Zrn_09	1250.00	755.00	0.60	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	39.10	1.50	43.10	4.80	190.00	250.00	39.10	1.50	9.28
SP5_Zrn_10	263.00	91.10	0.35	0.07	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	32.40	1.80	44.30	9.00	470.00	450.00	32.40	1.80	26.86
SP5_Zrn_11	1150.00	650.00	0.57	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	36.30	1.70	37.90	5.50	30.00	290.00	36.30	1.70	4.22
SP5_Zrn_12	830.00	207.00	0.25	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.44	34.50	2.40	38.00	13.00	50.00	740.00	34.50	2.40	9.21
SP5_Zrn_13	430.10	171.20	0.40	0.09	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	35.60	1.30	69.60	7.40	1480.00	230.00	35.60	1.30	48.85
SP5_Zrn_14	454.00	279.00	0.61	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16	32.90	1.20	36.30	5.20	290.00	310.00	32.90	1.20	9.37
SP5_Zrn_15	348.00	178.00	0.51	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.40	33.90	1.40	32.40	6.50	30.00	370.00	33.90	1.40	-4.63
SP5_Zrn_16	413.00	287.00	0.69	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	32.10	1.40	39.00	7.20	310.00	370.00	32.10	1.40	17.69
SP5_Zrn_17	301.00	112.80	0.37	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	32.80	1.60	42.40	7.30	370.00	380.00	32.80	1.60	22.64
SP5_Zrn_18	434.30	182.50	0.42	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	33.10	1.10	33.10	5.50	-110.00	300.00	33.10	1.10	0.00
SP5_Zrn_19	368.00	138.00	0.38	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	34.70	2.00	37.50	9.30	80.00	490.00	34.70	2.00	7.47
SP5_Zrn_20	330.00	121.40	0.37	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	34.40	1.80	39.50	7.40	180.00	370.00	34.40	1.80	12.91
SP5_Zrn_21	675.00	485.00	0.72	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.28	32.12	1.10	42.30	6.30	770.00	330.00	32.12	1.10	24.07
SP5_Zrn_22	630.00	454.00	0.72	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	35.80	1.60	45.30	5.80	430.00	290.00	35.80	1.60	20.97
SP5_Zrn_23	637.00	394.00	0.62	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.24	33.90	1.20	35.10	6.10	70.00	360.00	33.90	1.20	3.42
SP5_Zrn_24a	569.70	308.10	0.54	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	32.93	1.10	36.50	5.40	250.00	280.00	32.93	1.10	9.78
SP5_Zrn_24b	491.20	185.10	0.38	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	33.60	1.30	32.90	5.50	-60.00	320.00	33.60	1.30	-2.13

SP5_Zrn_25	488.00	250.30	0.51	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	33.60	1.40	38.90	5.20	430.00	280.00	33.60	1.40	13.62
SP5_Zrn_26	252.00	87.70	0.35	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	44.10	2.10	45.70	9.30	50.00	400.00	44.10	2.10	3.50
SP5_Zrn_27	553.00	242.00	0.44	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	31.90	1.50	38.20	7.20	340.00	410.00	31.90	1.50	16.49
SP5_Zrn_28	663.00	324.00	0.49	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	34.90	1.10	46.00	5.20	610.00	240.00	34.90	1.10	24.13
SP5_Zrn_29	332.80	125.60	0.38	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	34.00	1.50	40.90	7.80	340.00	390.00	34.00	1.50	16.87
SP5_Zrn_30	570.00	263.00	0.46	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.25	34.20	1.30	36.80	5.00	180.00	300.00	34.20	1.30	7.07
SP5_Zrn_31	228.00	84.80	0.37	0.07	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	38.70	3.00	57.00	12.00	540.00	460.00	38.70	3.00	32.11
SP5_Zrn_32	301.90	138.30	0.46	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.26	34.60	1.40	39.40	7.90	180.00	380.00	34.60	1.40	12.18
SP5_Zrn_33	224.30	81.60	0.36	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	32.30	2.00	42.40	9.00	410.00	480.00	32.30	2.00	23.82
SP5_Zrn_34	285.10	91.90	0.32	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	32.80	1.80	49.00	7.40	800.00	310.00	32.80	1.80	33.06
SP5_Zrn_35	315.00	134.00	0.43	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.25	33.20	1.50	40.50	7.20	200.00	330.00	33.20	1.50	18.02

**CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>**

**CORRECTED AGES (Ma)**

Spot name	U		Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age (Ma)	Disc %	
	(ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>		±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs		±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs					
<i>Sample: SP09</i>																					
SP9_Zrn_01	72.90	51.00	0.70	0.06	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	34.20	2.90	48.00	14.00	1520.00	250.00	34.20	2.90	28.75
SP9_Zrn_02	222.70	127.90	0.57	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	33.70	2.10	37.70	8.30	830.00	190.00	33.70	2.10	10.61
SP9_Zrn_03	170.00	103.00	0.61	0.19	0.03	0.15	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20	37.30	2.70	143.00	22.00	2880.00	170.00	37.30	2.70	73.92
SP9_Zrn_04	98.00	53.20	0.54	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	34.70	2.70	37.00	11.00	1130.00	360.00	34.70	2.70	6.22
SP9_Zrn_05	148.20	94.40	0.64	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	34.00	1.90	37.50	8.30	1020.00	210.00	34.00	1.90	9.33
SP9_Zrn_06	161.90	100.10	0.62	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	34.70	3.00	40.00	12.00	1230.00	290.00	34.70	3.00	13.25
SP9_Zrn_07	253.00	159.00	0.63	0.07	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	37.70	2.60	48.00	12.00	850.00	290.00	37.70	2.60	21.46
SP9_Zrn_08	305.60	265.90	0.87	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	34.80	1.40	32.60	5.40	540.00	130.00	34.80	1.40	-6.75
SP9_Zrn_09	167.80	127.90	0.76	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	34.00	2.00	45.10	10.00	990.00	200.00	34.00	2.00	24.61
SP9_Zrn_10	268.60	148.40	0.55	0.16	0.03	0.13	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.50	36.70	3.00	121.00	24.00	2450.00	200.00	36.70	3.00	69.67
SP9_Zrn_11	201.00	140.00	0.70	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	33.40	1.90	39.80	6.20	850.00	160.00	33.40	1.90	16.08
SP9_Zrn_12	301.00	270.00	0.90	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	35.20	1.30	30.40	5.90	780.00	200.00	35.20	1.30	-15.79
SP9_Zrn_13a	145.00	66.50	0.46	0.15	0.02	0.13	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	40.10	2.10	121.00	12.00	2432.00	100.00	40.10	2.10	66.86
SP9_Zrn_13b	155.20	106.20	0.68	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	33.20	2.10	40.00	10.00	1070.00	160.00	33.20	2.10	17.00
SP9_Zrn_14	365.20	313.20	0.86	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	33.00	1.30	35.20	5.40	670.00	140.00	33.00	1.30	6.25
SP9_Zrn_15	85.40	54.10	0.63	0.05	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	31.40	2.80	34.00	14.00	1050.00	290.00	31.40	2.80	7.65
SP9_Zrn_16	331.00	291.00	0.88	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	34.60	1.20	37.10	6.40	680.00	140.00	34.60	1.20	6.74
SP9_Zrn_17	116.00	59.70	0.51	0.07	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	36.60	2.20	50.00	13.00	1260.00	190.00	36.60	2.20	26.80
SP9_Zrn_18	286.00	249.00	0.87	0.12	0.02	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	36.80	1.40	92.00	16.00	2010.00	250.00	36.80	1.40	60.00
SP9_Zrn_19	226.00	121.90	0.54	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	34.80	1.30	36.40	7.90	710.00	170.00	34.80	1.30	4.40
SP9_Zrn_20	359.00	345.00	0.96	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	32.60	1.40	32.70	6.50	820.00	210.00	32.60	1.40	0.31
SP9_Zrn_21	120.10	89.40	0.74	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	35.40	2.20	42.00	10.00	1110.00	160.00	35.40	2.20	15.71
SP9_Zrn_22	152.20	116.00	0.76	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.47	33.60	2.30	39.00	13.00	1030.00	220.00	33.60	2.30	13.85
SP9_Zrn_23	239.00	211.00	0.88	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	33.20	1.60	37.80	6.80	840.00	140.00	33.20	1.60	12.17
SP9_Zrn_24	145.40	75.50	0.52	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	34.60	1.60	37.30	8.30	700.00	160.00	34.60	1.60	7.24
SP9_Zrn_25	247.30	190.30	0.77	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	33.60	1.50	56.30	9.70	1390.00	120.00	33.60	1.50	40.32
SP9_Zrn_26	244.00	191.00	0.78	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	33.80	1.50	32.80	6.30	540.00	150.00	33.80	1.50	-3.05
SP9_Zrn_27	132.00	115.00	0.87	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	36.70	2.50	37.00	13.00	1050.00	250.00	36.70	2.50	0.81

SP9_Zrn_28	212.30	110.30	0.52	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	32.70	2.00	35.30	8.90	1090.00	160.00	32.70	2.00	7.37
SP9_Zrn_29	113.60	58.60	0.52	0.13	0.02	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	37.60	2.20	94.00	15.00	2140.00	160.00	37.60	2.20	60.00
SP9_Zrn_30	518.00	568.00	1.10	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	32.70	1.10	35.10	4.50	700.00	230.00	32.70	1.10	6.84
SP9_Zrn_31	168.10	129.90	0.77	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.27	34.70	1.80	44.30	7.80	1080.00	190.00	34.70	1.80	21.67
SP9_Zrn_32	107.30	69.50	0.65	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	34.40	2.10	34.40	9.30	1150.00	310.00	34.40	2.10	0.00
SP9_Zrn_33	197.00	142.00	0.72	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.37	34.20	1.60	35.20	7.00	620.00	140.00	34.20	1.60	2.84
SP9_Zrn_34	188.00	161.00	0.86	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	34.90	1.60	41.40	9.20	990.00	160.00	34.90	1.60	15.70
SP9_Zrn_35	609.00	445.00	0.73	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	31.80	1.60	41.90	5.60	830.00	130.00	31.80	1.60	24.11

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U	Th	CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>										CORRECTED AGES (Ma)					Best age (Ma)	Disc %		
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>38</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>35</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb			±2s	
<i>Sample: SP04</i>																					
SP20_Zr_02	49.90	33.90	0.68	0.118	####	0.0960	####	0.0057	0.0007	#####	####	####	36.50	4.10	89.0	32.0	1340.0	850.0	36.5	4.1	59.0
SP20_Zr_03	192.30	136.00	0.71	0.059	####	0.0354	####	0.0047	0.0003	#####	####	####	30.40	2.10	35.0	11.0	330.0	430.0	30.4	2.1	13.1
SP20_Zr_04	166.00	118.90	0.72	0.073	####	0.0550	####	0.0055	0.0003	#####	####	####	35.40	1.90	56.0	11.0	610.0	400.0	35.4	1.9	36.8
SP20_Zr_05	155.70	95.50	0.61	0.078	####	0.0560	####	0.0055	0.0003	#####	####	####	35.10	1.90	55.0	9.8	860.0	420.0	35.1	1.9	36.2
SP20_Zr_07	70.60	46.62	0.66	0.083	####	0.0540	####	0.0050	0.0004	#####	####	####	32.40	2.70	52.0	17.0	1040.0	610.0	32.4	2.7	37.7
SP20_Zr_08	128.60	143.00	1.11	0.059	####	0.0450	####	0.0053	0.0004	#####	####	####	34.00	2.30	44.0	14.0	50.0	590.0	34.0	2.3	22.7
SP20_Zr_09	242.00	219.00	0.90	0.061	####	0.0457	####	0.0055	0.0002	#####	####	####	35.20	1.30	49.3	6.8	730.0	330.0	35.2	1.3	<del>28.6</del>
SP20_Zr_10	154.00	156.00	1.01	0.058	####	0.0430	####	0.0054	0.0003	#####	####	####	34.60	2.00	44.0	11.0	490.0	460.0	34.6	2.0	21.4
SP20_Zr_11	203.00	206.00	1.01	0.061	####	0.0470	####	0.0053	0.0003	#####	####	####	34.00	1.80	46.0	13.0	90.0	540.0	34.0	1.8	<del>26.1</del>
SP20_Zr_12	71.90	77.90	1.08	0.086	####	0.0570	####	0.0053	0.0007	#####	####	####	34.10	4.60	55.0	41.0	830.0	710.0	34.1	4.6	38.0
SP20_Zr_13	222.00	222.00	1.00	0.071	####	0.0475	####	0.0053	0.0002	#####	####	####	34.20	1.40	46.7	9.1	680.0	380.0	34.2	1.4	<del>26.8</del>
SP20_Zr_14	380.00	298.00	0.78	0.062	####	0.0459	####	0.0053	0.0002	#####	####	####	34.20	1.50	45.4	10.0	590.0	370.0	34.2	1.5	24.7
SP20_Zr_15	311.90	181.50	0.58	0.057	####	0.0436	####	0.0054	0.0002	#####	####	####	34.40	1.30	43.1	6.4	580.0	280.0	34.4	1.3	20.2
SP20_Zr_16	423.00	426.00	1.01	0.041	####	0.0308	####	0.0049	0.0007	#####	####	####	31.20	4.30	30.7	44.0	-110.0	500.0	31.2	4.3	<del>1.6</del>
SP20_Zr_18	254.20	261.10	1.03	0.067	####	0.0440	####	0.0054	0.0003	#####	####	####	34.50	2.00	44.0	10.0	570.0	380.0	34.5	2.0	21.6
SP20_Zr_19	378.00	213.00	0.56	0.051	####	0.0380	####	0.0051	0.0002	#####	####	####	32.90	1.40	41.0	7.2	260.0	270.0	32.9	1.4	19.8
SP20_Zr_20	90.60	102.80	1.13	0.306	####	0.2310	####	0.0056	0.0012	#####	####	####	35.90	7.80	207.0	68.0	3200.0	320.0	35.9	7.8	82.7
SP20_Zr_21	138.00	181.00	1.31	0.075	####	0.0550	####	0.0055	0.0003	#####	####	####	35.40	1.90	53.0	11.0	1110.0	360.0	35.4	1.9	33.2
SP20_Zr_23	183.90	99.10	0.54	0.063	####	0.0382	####	0.0052	0.0002	#####	####	####	33.60	1.50	37.6	8.6	250.0	480.0	33.6	1.5	10.6
SP20_Zr_24	248.00	142.00	0.57	0.057	####	0.0425	####	0.0055	0.0002	#####	####	####	35.30	1.50	42.0	7.4	470.0	320.0	35.3	1.5	16.0
SP20_Zr_25	178.00	180.30	1.01	0.074	####	0.0470	####	0.0048	0.0004	#####	####	####	30.70	2.30	46.0	22.0	940.0	320.0	30.7	2.3	33.3
SP20_Zr_27	109.80	79.20	0.72	0.106	####	0.0700	####	0.0051	0.0003	#####	####	####	32.90	2.00	67.0	19.0	1250.0	400.0	32.9	2.0	50.9
SP20_Zr_28	383.00	324.00	0.85	0.051	####	0.0354	####	0.0051	0.0003	#####	####	####	33.00	1.60	35.1	8.2	120.0	400.0	33.0	1.6	6.0
SP20_Zr_29	245.00	242.00	0.99	0.074	####	0.0540	####	0.0053	0.0002	#####	####	####	34.00	1.50	53.0	11.0	1030.0	410.0	34.0	1.5	35.8
SP20_Zr_30	589.20	354.00	0.60	0.079	####	0.0565	####	0.0053	0.0002	#####	####	####	33.90	1.10	55.6	7.4	1060.0	230.0	33.9	1.1	39.0
SP20_Zr_31	298.00	267.00	0.90	0.079	####	0.0590	####	0.0053	0.0003	#####	####	####	34.10	2.10	58.0	10.0	1130.0	350.0	34.1	2.1	41.2
SP20_Zr_32	155.00	182.00	1.17	0.061	####	0.0480	####	0.0052	0.0003	#####	####	####	33.40	2.10	46.0	13.0	370.0	540.0	33.4	2.1	<del>27.4</del>
SP20_Zr_33	84.10	84.80	1.01	0.081	####	0.0600	####	0.0052	0.0005	#####	####	####	33.30	3.50	58.0	19.0	740.0	570.0	33.3	3.5	42.6
SP20_Zr_34	184.00	169.00	0.92	0.055	####	0.0394	####	0.0051	0.0003	#####	####	####	32.50	1.90	38.9	7.2	420.0	350.0	32.5	1.9	16.5
SP20_Zr_35	135.00	149.00	1.10	0.101	####	0.0760	####	0.0055	0.0003	#####	####	####	35.00	1.70	74.0	11.0	1410.0	290.0	35.0	1.7	°

Spot name	CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>											CORRECTED AGES (Ma)									
	U	Th	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 2s$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 2s$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>	$\pm 2s$	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	$\pm 2s$	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup>		Best age		Disc		
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>		abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	<sup>38</sup> U	<sup>35</sup> U	Pb	$\pm 2s$	(Ma)	$\pm 2s$	%	
<i>Sample: SP04</i>																					
SP4_Zrn_01	177.00	136.30	0.77	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	35.00	1.80	33.30	7.50	-170.00	410.00	35.00	1.80	-5.11
SP4_Zrn_02	501.00	288.00	0.57	0.11	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	34.53	1.10	82.40	9.10	1710.00	240.00	34.53	1.10	58.09
SP4_Zrn_03	721.30	645.10	0.89	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	32.05	1.00	32.30	3.90	20.00	230.00	32.05	1.00	0.77
SP4_Zrn_04	645.00	369.00	0.57	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	33.83	1.00	36.40	4.80	270.00	270.00	33.83	1.00	7.06
SP4_Zrn_05	176.00	108.30	0.62	0.07	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.34	34.90	2.10	52.00	11.00	590.00	460.00	34.90	2.10	32.88
SP4_Zrn_06	733.00	360.00	0.49	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.28	33.01	0.99	32.10	3.40	-40.00	200.00	33.01	0.99	-2.83
SP4_Zrn_07	682.00	304.00	0.45	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	32.93	1.00	34.80	4.20	110.00	240.00	32.93	1.00	5.37
SP4_Zrn_08	465.00	181.00	0.39	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	32.90	1.20	34.20	5.00	230.00	290.00	32.90	1.20	3.80
SP4_Zrn_09	550.00	273.00	0.50	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.28	55.50	1.90	58.00	8.10	220.00	300.00	55.50	1.90	4.31
SP4_Zrn_10	319.00	222.00	0.70	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	33.10	1.30	34.40	5.20	170.00	270.00	33.10	1.30	3.78
SP4_Zrn_11	317.00	197.00	0.62	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	31.60	1.80	32.20	5.70	80.00	340.00	31.60	1.80	1.86
SP4_Zrn_12	483.00	233.00	0.48	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.16	32.00	1.90	34.60	5.80	190.00	360.00	32.00	1.90	7.51
SP4_Zrn_13	629.00	337.00	0.54	0.04	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	33.53	1.10	29.00	3.70	-260.00	250.00	33.53	1.10	-15.62
SP4_Zrn_14	480.00	255.00	0.53	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	32.50	1.40	34.40	4.90	150.00	290.00	32.50	1.40	5.52
SP4_Zrn_15	906.00	1141.00	1.26	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	33.95	0.97	35.00	4.10	110.00	250.00	33.95	0.97	3.00
SP4_Zrn_16	855.00	683.00	0.80	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	33.65	1.00	35.80	3.70	190.00	230.00	33.65	1.00	6.01
SP4_Zrn_17	309.00	241.70	0.78	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.23	32.60	1.80	37.80	7.10	250.00	390.00	32.60	1.80	13.76
SP4_Zrn_18	249.00	133.30	0.54	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.26	33.10	1.50	42.10	7.90	410.00	370.00	33.10	1.50	21.38
SP4_Zrn_19	482.00	293.00	0.61	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	32.80	1.20	32.40	5.10	30.00	300.00	32.80	1.20	-1.23
SP4_Zrn_20	848.00	559.00	0.66	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	39.10	1.30	39.40	5.90	90.00	280.00	39.10	1.30	0.76
SP4_Zrn_21	680.00	540.00	0.79	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	32.10	1.20	33.70	3.20	230.00	190.00	32.10	1.20	4.75
SP4_Zrn_22	756.00	358.00	0.47	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.41	32.92	1.00	33.70	4.80	20.00	300.00	32.92	1.00	2.31
SP4_Zrn_23	903.00	455.00	0.50	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.30	33.00	1.20	32.90	4.60	0.00	270.00	33.00	1.20	-0.30
SP4_Zrn_24	582.00	313.00	0.54	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	32.57	0.90	37.00	4.20	260.00	250.00	32.57	0.90	11.97
SP4_Zrn_25	804.00	396.00	0.49	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	32.00	0.98	32.90	3.70	30.00	240.00	32.00	0.98	2.74
SP4_Zrn_26	742.00	425.00	0.57	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	33.95	1.00	39.10	5.80	320.00	290.00	33.95	1.00	13.17
SP4_Zrn_27	503.00	275.00	0.55	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	31.90	1.40	32.90	5.30	-10.00	320.00	31.90	1.40	3.04
SP4_Zrn_28	174.50	91.60	0.52	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	32.80	2.40	39.50	9.10	180.00	460.00	32.80	2.40	16.96
SP4_Zrn_29	432.60	213.70	0.49	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	32.20	1.20	34.50	5.50	230.00	300.00	32.20	1.20	6.67
SP4_Zrn_30	255.00	120.00	0.47	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	34.40	1.30	36.40	5.60	270.00	300.00	34.40	1.30	5.49
SP4_Zrn_31	134.50	66.20	0.49	0.07	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	33.00	2.30	44.10	8.90	400.00	450.00	33.00	2.30	25.17
SP4_Zrn_32	255.00	144.00	0.56	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	32.10	1.80	31.30	7.40	90.00	480.00	32.10	1.80	-2.56
SP4_Zrn_33	368.00	208.30	0.57	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.44	32.60	1.40	37.00	8.70	40.00	420.00	32.60	1.40	11.89
SP4_Zrn_34	401.00	289.00	0.72	0.79	0.03	14.09	0.52	0.13	0.00	0.39	0.02	0.58	789.00	21.00	#####	35.00	4933.00	73.00	789.00	21.00	71.36
SP4_Zrn_35	573.00	282.00	0.49	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	33.30	1.20	35.00	4.40	200.00	260.00	33.30	1.20	4.86

Spot name	CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>											CORRECTED AGES (Ma)							
	U	Th	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 2s$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 2s$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>	$\pm 2s$	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	$\pm 2s$	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup>	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup>		Best age		Disc
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>		abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	abs	<sup>38</sup> U	<sup>35</sup> U	Pb	$\pm 2s$	(Ma)	$\pm 2s$

<i>Sample: SP02</i>																					
SP2_Zrn_01	425.00	250.70	0.59	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	30.20	1.40	32.10	7.00	170.00	410.00	30.20	1.40	5.92
SP2_Zrn_02	302.00	211.00	0.70	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	33.40	1.20	38.70	7.20	280.00	350.00	33.40	1.20	13.70
SP2_Zrn_03	200.00	144.60	0.72	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.25	33.80	1.80	37.40	8.70	250.00	420.00	33.80	1.80	9.63
SP2_Zrn_04	363.00	229.00	0.63	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.31	32.90	1.30	35.50	5.30	140.00	290.00	32.90	1.30	7.32
SP2_Zrn_05	357.00	194.00	0.54	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.25	32.40	1.40	32.80	4.80	60.00	270.00	32.40	1.40	1.22
SP2_Zrn_06	393.00	206.00	0.52	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	33.50	1.60	41.10	6.80	420.00	360.00	33.50	1.60	18.49
SP2_Zrn_07	294.00	231.00	0.79	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	33.60	1.40	33.90	6.50	60.00	340.00	33.60	1.40	0.88
SP2_Zrn_08	200.00	112.50	0.56	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	37.60	1.80	44.20	8.60	400.00	360.00	37.60	1.80	14.93
SP2_Zrn_09	163.00	74.00	0.45	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	33.80	1.70	35.30	8.60	-50.00	450.00	33.80	1.70	4.25
SP2_Zrn_10	322.00	197.00	0.61	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.08	31.90	1.30	33.30	5.30	40.00	290.00	31.90	1.30	4.20
SP2_Zrn_11	379.00	232.00	0.61	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	33.30	1.50	35.60	5.30	150.00	320.00	33.30	1.50	6.46
SP2_Zrn_12	220.10	152.70	0.69	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	32.60	1.40	46.20	8.20	800.00	340.00	32.60	1.40	29.44
SP2_Zrn_13	192.10	140.50	0.73	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	33.00	1.90	38.90	8.10	430.00	410.00	33.00	1.90	15.17
SP2_Zrn_14	299.00	225.70	0.75	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	33.80	1.60	33.40	6.20	-90.00	320.00	33.80	1.60	-1.20
SP2_Zrn_15	419.00	221.00	0.53	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	33.30	1.40	36.00	5.40	220.00	310.00	33.30	1.40	7.50
SP2_Zrn_16	226.00	153.00	0.68	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	32.70	1.20	41.10	8.80	400.00	390.00	32.70	1.20	20.44
SP2_Zrn_17	283.00	163.00	0.58	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	32.80	1.40	30.90	5.30	-60.00	320.00	32.80	1.40	-6.15
SP2_Zrn_18	196.00	66.50	0.34	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	33.30	1.60	35.30	6.80	140.00	400.00	33.30	1.60	5.67
SP2_Zrn_19	62.70	41.54	0.66	0.29	0.06	0.25	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.08	44.00	4.40	225.00	38.00	3370.00	340.00	44.00	4.40	80.44
SP2_Zrn_20	4661.00	1858.00	0.40	0.05	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	33.73	0.64	33.47	1.30	39.00	100.00	33.73	0.64	-0.78
SP2_Zrn_21	503.00	313.00	0.62	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	34.50	1.30	35.20	4.70	110.00	270.00	34.50	1.30	1.99
SP2_Zrn_22	251.00	185.40	0.74	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	1.40	35.60	7.00	120.00	370.00	34.20	1.40	3.93
SP2_Zrn_23	255.00	182.00	0.71	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	33.60	1.50	34.30	6.10	50.00	320.00	33.60	1.50	2.04
SP2_Zrn_24	252.90	121.90	0.48	0.07	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.30	33.50	1.50	44.20	6.40	740.00	330.00	33.50	1.50	24.21
SP2_Zrn_25	177.00	107.90	0.61	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.27	33.80	1.70	32.50	8.50	-190.00	440.00	33.80	1.70	-4.00
SP2_Zrn_26	452.00	184.00	0.41	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	37.10	1.30	50.60	6.90	980.00	300.00	37.10	1.30	26.68
SP2_Zrn_27a	253.00	135.80	0.54	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	32.50	1.50	36.50	7.10	190.00	380.00	32.50	1.50	10.96
SP2_Zrn_27b	134.00	81.30	0.61	0.11	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	32.70	2.40	70.00	16.00	1570.00	430.00	32.70	2.40	53.29
SP2_Zrn_28	0.11	0.05	0.45	no value	NAN	no value	NAN	no value	NAN	no value	NAN	NaN	no value	NAN	no value	NAN	no value	NAN	no value	NAN	#####
SP2_Zrn_29	291.00	123.80	0.43	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.22	35.30	1.40	53.00	10.00	600.00	410.00	35.30	1.40	33.40
SP2_Zrn_30	316.10	212.30	0.67	0.10	0.02	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.43	32.20	2.50	70.00	15.00	1480.00	480.00	32.20	2.50	54.00
SP2_Zrn_32	449.00	293.00	0.65	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	33.10	1.20	34.00	4.60	170.00	300.00	33.10	1.20	2.65
SP2_Zrn_33	164.00	99.00	0.60	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	33.20	2.00	31.70	8.00	-210.00	440.00	33.20	2.00	-4.73
SP2_Zrn_34	308.00	215.00	0.70	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	32.90	1.30	32.50	5.90	-20.00	340.00	32.90	1.30	-1.23
SP2_Zrn_35	317.20	292.80	0.92	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	32.70	1.20	30.30	5.40	-120.00	330.00	32.70	1.20	-7.92
SP2_Zrn_36	1320.00	890.00	0.67	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	33.00	1.40	32.30	4.40	120.00	270.00	33.00	1.40	-2.17

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th			<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age (Ma)	Disc %	
				±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs				
<i>Sample: SP08</i>																					
SP8_Zrn_01	156.10	95.10	0.61	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	35.10	2.10	37.10	9.10	1150.00	200.00	35.10	2.10	5.39
SP8_Zrn_02	194.00	173.00	0.89	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	33.30	1.80	32.40	7.10	960.00	250.00	33.30	1.80	-2.78

SP8_Zrn_03	350.20	197.40	0.56	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	34.30	1.20	34.80	5.80	630.00	170.00	34.30	1.20	1.44
SP8_Zrn_04	270.00	191.00	0.71	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	33.90	1.60	43.30	5.60	760.00	140.00	33.90	1.60	21.71
SP8_Zrn_05	243.00	225.00	0.93	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13	33.60	1.30	35.20	7.50	770.00	170.00	33.60	1.30	4.55
SP8_Zrn_06	253.00	152.10	0.60	0.08	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	37.50	1.30	64.30	7.50	1350.00	120.00	37.50	1.30	41.68
SP8_Zrn_07	157.00	128.00	0.82	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	36.60	2.10	39.50	9.80	930.00	170.00	36.60	2.10	7.34
SP8_Zrn_08	114.60	61.90	0.54	0.09	0.02	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.43	37.50	2.30	67.00	14.00	1600.00	240.00	37.50	2.30	44.03
SP8_Zrn_09	168.00	104.00	0.62	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	34.00	2.00	41.40	8.80	940.00	220.00	34.00	2.00	17.87
SP8_Zrn_10	152.30	88.90	0.58	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	33.60	2.10	36.30	6.60	760.00	180.00	33.60	2.10	7.44
SP8_Zrn_11	148.30	108.00	0.73	0.07	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04	32.00	2.10	45.00	10.00	1210.00	160.00	32.00	2.10	28.89
SP8_Zrn_12	325.70	199.50	0.61	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13	34.70	1.30	37.00	6.30	910.00	180.00	34.70	1.30	6.22
SP8_Zrn_13	102.90	72.00	0.70	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	35.60	2.10	36.10	9.50	820.00	190.00	35.60	2.10	1.39
SP8_Zrn_14	217.70	150.00	0.69	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04	35.20	1.60	37.30	8.00	720.00	150.00	35.20	1.60	5.63
SP8_Zrn_15	188.60	147.00	0.78	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	34.20	1.90	32.80	8.50	720.00	170.00	34.20	1.90	-4.27
SP8_Zrn_16	65.50	37.10	0.57	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	34.20	3.30	34.00	13.00	1420.00	320.00	34.20	3.30	-0.59
SP8_Zrn_17	150.00	111.00	0.74	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	33.40	1.70	32.30	8.70	770.00	140.00	33.40	1.70	-3.41
SP8_Zrn_18	121.20	61.10	0.50	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.16	33.30	1.90	39.00	12.00	1180.00	250.00	33.30	1.90	14.62
SP8_Zrn_19	180.00	146.00	0.81	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	31.30	1.90	39.30	8.20	880.00	180.00	31.30	1.90	20.36
SP8_Zrn_20	109.00	76.00	0.70	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	35.00	2.20	30.80	10.00	1040.00	210.00	35.00	2.20	-13.64
SP8_Zrn_21	144.00	72.00	0.50	0.06	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.19	36.10	2.80	45.00	13.00	1270.00	290.00	36.10	2.80	19.78
SP8_Zrn_22	380.00	410.00	1.08	0.08	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	34.40	1.70	57.00	14.00	1170.00	220.00	34.40	1.70	39.65
SP8_Zrn_23	206.00	158.00	0.77	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	35.00	1.50	39.50	7.30	860.00	150.00	35.00	1.50	11.39
SP8_Zrn_24a	107.00	57.60	0.54	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	33.90	2.10	34.80	9.40	1270.00	250.00	33.90	2.10	2.59
SP8_Zrn_24b	199.00	122.80	0.62	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.25	33.70	2.00	40.80	7.40	870.00	150.00	33.70	2.00	17.40
SP8_Zrn_25	235.00	189.00	0.80	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	34.60	1.60	36.90	7.20	820.00	180.00	34.60	1.60	6.23
SP8_Zrn_26	144.20	117.10	0.81	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	33.70	2.00	35.60	8.70	890.00	160.00	33.70	2.00	5.34
SP8_Zrn_27	251.00	189.00	0.75	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	50.90	2.10	52.90	9.60	680.00	120.00	50.90	2.10	3.78
SP8_Zrn_28	97.50	71.00	0.73	0.05	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	33.60	2.60	32.00	12.00	1010.00	220.00	33.60	2.60	-5.00
SP8_Zrn_29	311.20	195.90	0.63	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13	32.40	1.40	34.60	7.40	920.00	220.00	32.40	1.40	6.36
SP8_Zrn_30a	196.00	143.00	0.73	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	50.60	2.10	47.80	7.70	580.00	140.00	50.60	2.10	-5.86
SP8_Zrn_30b	212.50	174.10	0.82	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	52.20	1.90	51.20	9.00	750.00	200.00	52.20	1.90	-1.95
SP8_Zrn_31	265.00	161.00	0.61	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	33.30	1.30	35.20	6.70	700.00	150.00	33.30	1.30	5.40
SP8_Zrn_32	110.20	51.80	0.47	0.10	0.02	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	41.40	2.80	80.00	19.00	1740.00	370.00	41.40	2.80	48.25
SP8_Zrn_33	206.10	105.70	0.51	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	35.40	1.70	36.60	7.70	780.00	210.00	35.40	1.70	3.28
SP8_Zrn_34	302.00	173.00	0.57	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	33.70	1.20	33.80	6.70	640.00	170.00	33.70	1.20	0.30
SP8_Zrn_35	145.70	69.00	0.47	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	35.00	2.20	48.10	9.40	1140.00	150.00	35.00	2.20	27.23

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U	Th	Th/U	<sup>207</sup> Pb/		<sup>207</sup> Pb/		<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>208</sup> Pb/		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup>		Best age		Disc
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>		<sup>206</sup> Pb	±2s	<sup>235</sup> U	±2s	<sup>38</sup> U	±2s	<sup>232</sup> Th	abs		<sup>38</sup> U	±2s	<sup>35</sup> U	±2s	Pb	±2s	(Ma)	±2s	%
<i>Sample: SP01</i>																					
SP1_Zrn_01	642.00	397.00	0.62	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	37.78	1.10	41.30	3.50	230.00	190.00	37.78	1.10	8.52
SP1_Zrn_02	1062.00	1064.00	1.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	35.20	0.91	38.50	3.20	250.00	190.00	35.20	0.91	8.57
SP1_Zrn_03	875.00	494.00	0.56	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	36.85	0.86	37.00	4.10	40.00	220.00	36.85	0.86	0.41
SP1_Zrn_04	1392.00	377.70	0.27	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	33.30	0.78	35.00	2.40	90.00	160.00	33.30	0.78	4.86



SP1_Zrn_05	784.00	459.00	0.59	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	37.92	1.10	39.40	3.40	150.00	190.00	37.92	1.10	3.76
SP1_Zrn_06	568.00	494.00	0.87	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	37.30	1.70	49.40	8.40	740.00	370.00	37.30	1.70	24.49
SP1_Zrn_07	158.50	118.20	0.75	0.08	0.02	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	38.10	2.40	66.00	13.00	1100.00	460.00	38.10	2.40	42.27
SP1_Zrn_08	237.00	195.60	0.83	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	36.40	1.30	46.40	7.20	470.00	350.00	36.40	1.30	21.55
SP1_Zrn_09	585.00	234.00	0.40	0.11	0.02	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	43.50	1.80	93.00	19.00	1680.00	400.00	43.50	1.80	53.23
SP1_Zrn_10	198.30	139.60	0.70	0.08	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	39.20	2.10	73.00	11.00	1430.00	290.00	39.20	2.10	46.30
SP1_Zrn_11	1230.00	714.00	0.58	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.24	37.04	1.00	36.40	3.00	-30.00	170.00	37.04	1.00	-1.76
SP1_Zrn_12	1227.00	266.00	0.22	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	38.00	1.50	38.30	4.40	50.00	240.00	38.00	1.50	0.78
SP1_Zrn_13	2520.00	1350.00	0.54	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	37.20	0.90	38.60	4.20	160.00	250.00	37.20	0.90	3.63
SP1_Zrn_14	468.00	390.00	0.83	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	37.62	1.10	48.80	6.20	670.00	260.00	37.62	1.10	22.91
SP1_Zrn_15	648.00	358.00	0.55	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	37.76	0.97	42.10	4.80	230.00	240.00	37.76	0.97	10.31
SP1_Zrn_16	1210.00	1130.00	0.93	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	37.59	0.94	39.30	3.20	150.00	180.00	37.59	0.94	4.35
SP1_Zrn_17	642.00	481.00	0.75	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	38.23	1.10	38.10	4.70	-10.00	230.00	38.23	1.10	-0.34
SP1_Zrn_18	351.00	174.00	0.50	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	39.10	1.40	37.90	7.00	-20.00	360.00	39.10	1.40	-3.17
SP1_Zrn_19	972.00	631.00	0.65	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	36.22	0.91	37.50	4.00	70.00	220.00	36.22	0.91	3.41
SP1_Zrn_20	1110.00	819.00	0.74	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	37.10	1.00	37.40	3.70	60.00	210.00	37.10	1.00	0.80
SP1_Zrn_21	690.00	610.00	0.88	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	36.95	1.10	36.40	4.50	-40.00	240.00	36.95	1.10	-1.51
SP1_Zrn_22	1185.00	719.00	0.61	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	37.90	1.00	42.50	4.10	260.00	220.00	37.90	1.00	10.82
SP1_Zrn_23	8740.00	#####	1.24	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	39.82	0.81	43.10	2.00	211.00	120.00	39.82	0.81	7.61
SP1_Zrn_24	811.00	261.00	0.32	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	37.40	1.20	40.00	4.20	150.00	230.00	37.40	1.20	6.50
SP1_Zrn_25	610.00	427.00	0.70	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	39.20	1.30	40.00	4.30	70.00	220.00	39.20	1.30	2.00
SP1_Zrn_26	642.00	462.00	0.72	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.48	39.20	1.50	38.30	7.70	-20.00	440.00	39.20	1.50	-2.35
SP1_Zrn_27	1150.00	870.00	0.76	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	38.47	1.10	40.40	3.30	160.00	180.00	38.47	1.10	4.78
SP1_Zrn_28	309.00	192.00	0.62	0.07	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	39.80	2.00	56.90	7.60	810.00	300.00	39.80	2.00	30.05
SP1_Zrn_29	314.00	219.00	0.70	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	37.90	1.90	49.70	7.30	630.00	330.00	37.90	1.90	23.74
SP1_Zrn_30	344.00	241.00	0.70	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	37.10	1.20	38.80	5.10	170.00	260.00	37.10	1.20	4.38
SP1_Zrn_31	681.00	271.00	0.40	0.04	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	38.80	1.10	35.90	3.80	-200.00	190.00	38.80	1.10	-8.08
SP1_Zrn_32	748.00	415.00	0.55	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	38.15	0.90	38.80	3.40	70.00	180.00	38.15	0.90	1.68
SP1_Zrn_33	655.00	464.00	0.71	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	40.15	1.00	52.50	4.80	610.00	190.00	40.15	1.00	23.52
SP1_Zrn_34	276.00	197.00	0.71	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	37.40	1.60	40.00	7.20	130.00	330.00	37.40	1.60	6.50
SP1_Zrn_35	354.90	291.00	0.82	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	37.70	1.30	40.50	5.30	220.00	280.00	37.70	1.30	6.91
SP1_Zrn_36	406.00	247.90	0.61	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	36.00	1.40	35.20	5.00	10.00	280.00	36.00	1.40	-2.27
SP1_Zrn_37	1760.00	1160.00	0.66	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	37.16	1.10	37.60	3.50	90.00	220.00	37.16	1.10	1.17
SP1_Zrn_38	733.00	339.90	0.46	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	37.00	1.00	46.90	4.90	500.00	240.00	37.00	1.00	21.11
SP1_Zrn_39	1186.00	537.00	0.45	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	36.00	0.92	40.70	3.40	260.00	190.00	36.00	0.92	11.55
SP1_Zrn_40	230.00	148.00	0.64	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	37.70	1.70	38.70	7.70	120.00	370.00	37.70	1.70	2.58
SP1_Zrn_41	791.00	529.00	0.67	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	36.40	1.20	37.00	4.10	40.00	240.00	36.40	1.20	1.62
SP1_Zrn_42	643.00	425.00	0.66	0.09	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	38.50	1.30	69.00	10.00	1230.00	350.00	38.50	1.30	44.20
SP1_Zrn_43	1110.00	504.00	0.45	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	37.98	1.00	39.40	4.40	120.00	230.00	37.98	1.00	3.60
SP1_Zrn_44	539.00	191.00	0.35	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.20	38.46	1.10	40.50	4.30	160.00	210.00	38.46	1.10	5.04
SP1_Zrn_45	688.00	322.10	0.47	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	36.01	1.00	37.00	4.00	60.00	230.00	36.01	1.00	2.68
SP1_Zrn_46	369.00	332.00	0.90	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	36.40	1.30	39.80	5.50	210.00	260.00	36.40	1.30	8.54
SP1_Zrn_47a	1120.00	567.00	0.51	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	39.71	1.20	51.40	7.30	550.00	300.00	39.71	1.20	22.74
SP1_Zrn_47b	1214.00	818.00	0.67	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	37.48	1.10	41.20	3.50	210.00	210.00	37.48	1.10	9.03
SP1_Zrn_48	1459.00	1190.00	0.82	0.06	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	34.11	0.97	39.70	3.90	370.00	240.00	34.11	0.97	14.08

SP1_Zrn_49	268.80	175.10	0.65	0.07	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	38.10	1.40	54.10	7.70	740.00	310.00	38.10	1.40	29.57
SP1_Zrn_50	548.00	314.00	0.57	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	39.00	1.30	37.60	4.10	50.00	240.00	39.00	1.30	-3.72
SP1_Zrn_51	992.20	396.00	0.40	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	38.60	1.20	41.40	2.90	180.00	160.00	38.60	1.20	6.76
SP1_Zrn_52	329.00	210.00	0.64	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	39.60	1.30	43.50	6.40	330.00	280.00	39.60	1.30	8.97
SP1_Zrn_53	1440.00	950.00	0.66	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	38.70	1.30	40.80	3.50	160.00	200.00	38.70	1.30	5.15
SP1_Zrn_54	512.00	372.00	0.73	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	37.00	1.30	40.10	4.20	280.00	240.00	37.00	1.30	7.73
SP1_Zrn_55	505.00	422.00	0.84	0.04	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	38.60	1.30	37.30	4.30	-30.00	230.00	38.60	1.30	-3.49
SP1_Zrn_56	1960.00	1310.00	0.67	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	37.19	1.10	36.80	3.50	30.00	210.00	37.19	1.10	-1.06
SP1_Zrn_57	258.30	40.00	0.15	0.08	0.01	1.41	0.11	0.12	0.00	0.02	0.00	0.49	752.00	21.00	902.00	39.00	1220.00	140.00	752.00	21.00	16.63
SP1_Zrn_58	2128.00	1071.00	0.50	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	37.70	0.84	39.50	2.10	150.00	120.00	37.70	0.84	4.56
SP1_Zrn_59	475.00	167.70	0.35	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	34.80	1.10	38.60	4.20	160.00	230.00	34.80	1.10	9.84
SP1_Zrn_60	738.00	566.00	0.77	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	36.30	1.20	37.10	4.10	50.00	230.00	36.30	1.20	2.16
SP1_Zrn_61	2640.00	744.00	0.28	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	37.03	0.82	39.20	2.60	150.00	150.00	37.03	0.82	5.54
SP1_Zrn_62	1620.00	1120.00	0.69	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	36.97	0.92	38.80	2.50	170.00	160.00	36.97	0.92	4.72
SP1_Zrn_63	397.00	241.00	0.61	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16	38.70	1.70	41.90	6.40	320.00	290.00	38.70	1.70	7.64
SP1_Zrn_64	262.00	95.50	0.36	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	38.10	1.50	40.70	7.60	20.00	350.00	38.10	1.50	6.39
SP1_Zrn_65	283.00	245.00	0.87	0.07	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	39.70	1.70	58.90	8.60	740.00	320.00	39.70	1.70	32.60
SP1_Zrn_66	2320.00	1830.00	0.79	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.26	36.84	1.00	39.30	3.40	180.00	220.00	36.84	1.00	6.26
SP1_Zrn_67	305.00	250.00	0.82	0.12	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	44.70	1.50	108.00	11.00	1790.00	220.00	44.70	1.50	58.61
SP1_Zrn_68	452.00	206.60	0.46	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	37.60	1.40	41.70	8.90	230.00	460.00	37.60	1.40	9.83
SP1_Zrn_69	151.20	106.50	0.70	0.08	0.01	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	52.50	2.60	87.00	14.00	880.00	380.00	52.50	2.60	39.66
SP1_Zrn_70	2160.00	1590.00	0.74	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	38.11	0.89	37.90	2.50	40.00	150.00	38.11	0.89	-0.55
SP1_Zrn_71	382.00	293.00	0.77	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	41.10	1.90	43.30	7.10	70.00	320.00	41.10	1.90	5.08
SP1_Zrn_72	1390.00	960.00	0.69	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	37.32	1.10	37.50	3.40	80.00	190.00	37.32	1.10	0.48
SP1_Zrn_73	1131.00	849.00	0.75	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.13	38.52	0.98	37.10	3.70	-30.00	210.00	38.52	0.98	-3.83
SP1_Zrn_74	349.00	329.00	0.94	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	38.00	1.40	41.60	6.80	170.00	340.00	38.00	1.40	8.65
SP1_Zrn_75	2760.00	1130.00	0.41	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	38.34	0.91	39.10	3.20	100.00	190.00	38.34	0.91	1.94
SP1_Zrn_76	1490.00	850.00	0.57	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.26	38.10	0.81	38.90	3.80	130.00	200.00	38.10	0.81	2.06
SP1_Zrn_77	1280.00	880.00	0.69	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	37.96	1.10	38.40	3.50	50.00	180.00	37.96	1.10	1.15
SP1_Zrn_78	388.00	332.00	0.86	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	36.80	1.50	37.50	5.40	20.00	290.00	36.80	1.50	1.87
SP1_Zrn_79	564.00	236.00	0.42	0.13	0.01	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.20	43.10	1.70	117.00	12.00	2110.00	190.00	43.10	1.70	63.16
SP1_Zrn_80	297.00	267.00	0.90	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	38.30	1.50	52.90	6.80	670.00	270.00	38.30	1.50	27.60
SP1_Zrn_81	3210.00	1411.00	0.44	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	36.78	0.81	37.30	2.50	40.00	150.00	36.78	0.81	1.39

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>				CORRECTED AGES (Ma)													
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>38</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>35</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
<i>Sample: SP03</i>																					
SP3_Zrn_01	189.00	123.00	0.65	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	38.60	1.90	41.60	8.90	80.00	420.00	38.60	1.90	7.21
SP3_Zrn_02	119.80	70.10	0.59	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	39.90	2.60	43.50	8.30	280.00	370.00	39.90	2.60	8.28
SP3_Zrn_03	227.50	115.10	0.51	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	41.90	1.60	43.50	6.40	160.00	310.00	41.90	1.60	3.68
SP3_Zrn_04	127.70	64.60	0.51	0.04	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.33	39.30	2.20	37.00	10.00	-250.00	450.00	39.30	2.20	-6.22
SP3_Zrn_05	147.00	67.60	0.46	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.13	39.60	2.10	43.00	10.00	-70.00	440.00	39.60	2.10	7.91
SP3_Zrn_06	226.00	151.00	0.67	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	40.70	1.90	43.60	7.10	230.00	310.00	40.70	1.90	6.65

SP3_Zrn_07	214.00	124.00	0.58	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	38.80	2.10	42.40	8.70	140.00	380.00	38.80	2.10	8.49
SP3_Zrn_08	152.40	82.00	0.54	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	36.90	2.20	38.50	9.30	10.00	460.00	36.90	2.20	4.16
SP3_Zrn_09	372.00	764.00	2.05	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	42.40	1.30	45.00	6.20	90.00	290.00	42.40	1.30	5.78
SP3_Zrn_10	221.00	141.30	0.64	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	40.00	1.70	39.50	7.00	-40.00	330.00	40.00	1.70	-1.27
SP3_Zrn_11	110.50	57.70	0.52	0.05	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	40.50	2.50	44.00	13.00	60.00	560.00	40.50	2.50	7.95
SP3_Zrn_12	148.00	86.00	0.58	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	39.80	2.10	44.40	9.00	310.00	390.00	39.80	2.10	10.36
SP3_Zrn_13	221.00	173.80	0.79	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	39.80	1.90	39.10	7.80	-90.00	350.00	39.80	1.90	-1.79
SP3_Zrn_14	267.00	184.00	0.69	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	38.20	1.70	41.90	7.40	170.00	350.00	38.20	1.70	8.83
SP3_Zrn_15	184.80	67.80	0.37	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	39.10	2.10	42.90	9.20	110.00	420.00	39.10	2.10	8.86
SP3_Zrn_16	176.30	119.50	0.68	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	38.90	2.80	45.00	11.00	130.00	490.00	38.90	2.80	13.56
SP3_Zrn_17	175.00	96.50	0.55	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	38.10	1.60	52.80	9.20	700.00	350.00	38.10	1.60	27.84
SP3_Zrn_18	9.00	18.49	2.05	0.80	0.10	11.90	1.30	0.11	0.01	0.10	0.01	0.17	665.00	48.00	#####	99.00	4940.00	250.00	665.00	48.00	74.15	
SP3_Zrn_19	186.30	78.80	0.42	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	45.30	1.60	48.10	9.10	140.00	380.00	45.30	1.60	5.82
SP3_Zrn_20	335.90	255.00	0.76	0.04	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	36.60	1.40	36.60	6.20	-40.00	300.00	36.60	1.40	0.00
SP3_Zrn_21	275.50	146.30	0.53	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	37.40	1.50	37.40	6.00	70.00	290.00	37.40	1.50	0.00
SP3_Zrn_22	168.00	72.50	0.43	0.06	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.12	36.70	2.60	47.00	13.00	410.00	580.00	36.70	2.60	21.91
SP3_Zrn_23	258.20	177.80	0.69	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	40.40	2.00	44.60	7.80	180.00	370.00	40.40	2.00	9.42
SP3_Zrn_24	260.80	122.00	0.47	0.05	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.12	42.50	3.60	45.00	12.00	50.00	540.00	42.50	3.60	5.56
SP3_Zrn_25	159.00	91.10	0.57	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	40.30	2.00	43.10	8.70	60.00	370.00	40.30	2.00	6.50
SP3_Zrn_26	212.00	123.70	0.58	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	38.70	2.10	37.60	7.50	-50.00	370.00	38.70	2.10	-2.93
SP3_Zrn_27	115.40	54.70	0.47	0.06	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.08	42.10	2.70	48.00	16.00	-150.00	570.00	42.10	2.70	12.29
SP3_Zrn_28	156.90	72.80	0.46	0.06	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	44.30	2.30	56.00	13.00	380.00	470.00	44.30	2.30	20.89
SP3_Zrn_29	134.90	71.40	0.53	0.05	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	38.50	3.30	45.00	14.00	-80.00	590.00	38.50	3.30	14.44
SP3_Zrn_30	151.20	73.90	0.49	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	39.60	2.70	42.30	9.30	100.00	410.00	39.60	2.70	6.38
SP3_Zrn_31	210.00	122.60	0.58	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	39.00	2.30	38.20	8.10	20.00	390.00	39.00	2.30	-2.09
SP3_Zrn_32	254.80	124.10	0.49	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.80	2.20	40.40	6.50	90.00	340.00	38.80	2.20	3.96
SP3_Zrn_33	304.00	208.00	0.68	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	40.20	1.60	42.60	8.20	150.00	350.00	40.20	1.60	5.63
SP3_Zrn_34	253.00	130.00	0.51	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	39.30	1.80	40.60	7.60	300.00	330.00	39.30	1.80	3.20
SP3_Zrn_35	570.80	458.50	0.80	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.12	38.80	1.30	40.40	5.10	50.00	260.00	38.80	1.30	3.96

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U	Th	Th/U	<sup>207</sup> Pb/±2s		<sup>207</sup> Pb/±2s		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/±2s		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age		Disc	
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>		<sup>206</sup> Pb	abs	<sup>235</sup> U	abs	abs	<sup>232</sup> Th	abs	Rho	<sup>38</sup> U	±2s	<sup>35</sup> U	±2s	Pb	±2s	(Ma)	±2s	%	
<i>Sample: SPI9</i>																					
SP19_Zr_01	925.00	504.00	0.54	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	39.6	1.50	50.40	6.50	660.00	260.00	39.60	1.50	21.43
SP19_Zr_02	804.00	550.00	0.68	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	39.2	1.30	54.30	5.80	670.00	220.00	39.20	1.30	27.81
SP19_Zr_04	235.60	302.00	1.28	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	40.4	1.80	44.70	7.80	360.00	310.00	40.40	1.80	9.62
SP19_Zr_05	4588.00	8540.00	1.86	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.34	39.58	0.90	43.40	2.10	190.00	130.00	39.58	0.90	8.80
SP19_Zr_07	449.90	162.00	0.36	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	39.3	1.50	40.50	4.70	150.00	230.00	39.30	1.50	2.96
SP19_Zr_09	519.00	184.70	0.36	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.26	87.9	3.00	94.00	8.40	330.00	190.00	87.90	3.00	6.49
SP19_Zr_10	614.00	257.00	0.42	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	40.11	1.30	39.30	5.70	50.00	290.00	40.11	1.30	-2.06
SP19_Zr_12	238.00	96.80	0.41	0.05	0.02	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	37.6	2.20	40.00	16.00	380.00	310.00	37.60	2.20	6.00
SP19_Zr_13	1780.00	380.00	0.21	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.24	38.8	1.00	41.10	3.30	230.00	190.00	38.80	1.00	5.60
SP19_Zr_14	526.00	490.00	0.93	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	41.5	1.10	52.50	6.60	480.00	260.00	41.50	1.10	20.95

SP19_Zr_15	482.00	217.00	0.45	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	40	1.50	47.60	5.10	360.00	250.00	40.00	1.50	15.97
SP19_Zr_16	825.00	236.30	0.29	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	38.9	1.40	40.80	3.90	140.00	200.00	38.90	1.40	4.66
SP19_Zr_17	1430.00	1280.00	0.90	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	39.23	1.10	39.60	2.80	30.00	160.00	39.23	1.10	0.93
SP19_Zr_18	710.00	367.00	0.52	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	40.15	1.20	41.10	4.20	90.00	210.00	40.15	1.20	2.31
SP19_Zr_21	667.00	195.20	0.29	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	40.07	1.20	42.50	3.10	200.00	190.00	40.07	1.20	5.72
SP19_Zr_22	818.00	260.70	0.32	0.06	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	38.3	1.10	46.60	3.70	430.00	210.00	38.30	1.10	17.81
SP19_Zr_23	316.00	77.20	0.24	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.23	44.1	3.00	43.30	11.00	130.00	350.00	44.10	3.00	-1.85
SP19_Zr_24	1370.00	2370.00	1.73	0.06	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.35	38.08	0.96	49.90	3.10	570.00	160.00	38.08	0.96	23.69
SP19_Zr_25	965.00	333.00	0.35	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	39.8	1.00	40.60	3.80	60.00	200.00	39.80	1.00	1.97
SP19_Zr_26	927.00	544.00	0.59	0.05	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	54.1	1.80	55.30	3.80	70.00	160.00	54.10	1.80	2.17
SP19_Zr_28	710.00	526.00	0.74	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	39.4	1.10	43.30	3.90	220.00	200.00	39.40	1.10	9.01
SP19_Zr_29	1150.00	920.00	0.80	0.05	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	42	1.30	45.40	3.40	250.00	180.00	42.00	1.30	7.49
SP19_Zr_31	734.00	448.00	0.61	0.05	0.01	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.44	50.7	1.90	53.70	19.00	190.00	300.00	50.70	1.90	5.59
SP19_Zr_32	189.40	109.00	0.58	0.07	0.00	0.44	0.03	0.05	0.00	0.02	0.00	-0.15	314.7	11.00	367.00	20.00	730.00	160.00	314.70	11.00	14.25
SP19_Zr_34	108.10	44.20	0.41	0.05	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	46	2.60	49.00	15.00	20.00	430.00	46.00	2.60	6.12
SP19_Zr_35	491.00	311.00	0.63	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	40.5	1.50	54.20	5.70	690.00	240.00	40.50	1.50	25.28

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>38</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th			<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>38</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>35</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age (Ma)		Disc %	
				±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs				
<i>Sample: SP07</i>																						
SP7_Zrn_01	400.00	297.00	0.74	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	53.80	1.60	50.80	6.90	-40.00	260.00	53.80	1.60	-5.91	
SP7_Zrn_02	389.00	283.00	0.73	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	50.30	2.20	56.00	10.00	300.00	400.00	50.30	2.20	10.18	
SP7_Zrn_03	299.00	192.00	0.64	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	51.90	2.20	58.00	11.00	200.00	400.00	51.90	2.20	10.52	
SP7_Zrn_04	384.40	235.40	0.61	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.25	49.50	1.80	58.00	6.40	390.00	230.00	49.50	1.80	14.66	
SP7_Zrn_05	236.00	153.00	0.65	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	52.60	2.20	57.00	12.00	100.00	410.00	52.60	2.20	7.72	
SP7_Zrn_06	414.00	379.00	0.92	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	52.20	1.60	57.00	6.90	310.00	270.00	52.20	1.60	8.42	
SP7_Zrn_07	373.00	246.00	0.66	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	50.60	1.90	52.30	6.00	150.00	230.00	50.60	1.90	3.25	
SP7_Zrn_08	263.00	170.60	0.65	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	53.30	2.30	54.60	9.70	160.00	310.00	53.30	2.30	2.38	
SP7_Zrn_09	256.00	198.00	0.77	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	54.90	1.90	55.60	9.10	-20.00	300.00	54.90	1.90	1.26	
SP7_Zrn_10	329.00	225.90	0.69	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	51.50	2.10	53.80	8.50	30.00	320.00	51.50	2.10	4.28	
SP7_Zrn_11	187.90	138.20	0.74	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	50.00	2.50	56.00	10.00	210.00	380.00	50.00	2.50	10.71	
SP7_Zrn_12	186.10	148.50	0.80	0.06	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	50.80	2.50	66.00	12.00	680.00	370.00	50.80	2.50	23.03	
SP7_Zrn_13	254.10	150.10	0.59	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	53.60	2.40	58.00	10.00	200.00	300.00	53.60	2.40	7.59	
SP7_Zrn_14	325.60	223.30	0.69	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.45	51.80	2.00	62.00	10.00	440.00	340.00	51.80	2.00	16.45	
SP7_Zrn_15	398.00	356.00	0.89	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.29	56.10	2.80	53.30	9.80	20.00	340.00	56.10	2.80	-5.25	
SP7_Zrn_16	185.00	89.10	0.48	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	52.20	2.70	51.80	9.50	0.00	350.00	52.20	2.70	-0.77	
SP7_Zrn_17	586.00	730.00	1.25	0.06	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.18	51.70	1.80	66.00	5.70	530.00	200.00	51.70	1.80	21.67	
SP7_Zrn_18	325.00	228.50	0.70	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	51.90	2.30	59.70	9.40	220.00	350.00	51.90	2.30	13.07	
SP7_Zrn_19	248.00	149.00	0.60	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	51.20	2.50	62.90	9.20	500.00	300.00	51.20	2.50	18.60	
SP7_Zrn_20	98.50	43.50	0.44	0.06	0.01	0.19	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	-0.17	153.70	5.20	174.00	26.00	330.00	320.00	153.70	5.20	11.67	
SP7_Zrn_21	481.20	370.10	0.77	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	51.30	1.80	57.60	7.20	250.00	280.00	51.30	1.80	10.94	
SP7_Zrn_22	308.00	187.00	0.61	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	50.10	1.90	50.60	8.00	60.00	320.00	50.10	1.90	0.99	
SP7_Zrn_23	202.00	123.00	0.61	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	53.00	2.50	54.40	8.50	90.00	320.00	53.00	2.50	2.57	

SP7_Zrn_24	348.00	214.00	0.61	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.25	51.20	2.10	53.60	5.70	190.00	240.00	51.20	2.10	4.48
SP7_Zrn_25	411.00	294.00	0.72	0.04	0.02	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	53.70	2.20	53.00	25.00	-300.00	750.00	53.70	2.20	-1.32
SP7_Zrn_26	399.00	362.00	0.91	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	52.80	1.80	50.70	8.30	-110.00	300.00	52.80	1.80	-4.14
SP7_Zrn_27	739.00	584.00	0.79	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	50.20	1.50	51.90	5.40	190.00	230.00	50.20	1.50	3.28
SP7_Zrn_28	233.30	146.80	0.63	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.28	50.00	2.60	54.00	12.00	310.00	490.00	50.00	2.60	7.41
SP7_Zrn_29	602.00	565.00	0.94	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	52.80	1.50	54.80	5.50	150.00	230.00	52.80	1.50	3.65
SP7_Zrn_30	185.00	156.00	0.84	0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	50.90	2.20	71.00	11.00	740.00	320.00	50.90	2.20	28.31
SP7_Zrn_31	219.00	147.00	0.67	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.38	55.40	2.40	56.10	9.40	60.00	330.00	55.40	2.40	1.25
SP7_Zrn_32	370.00	246.00	0.66	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	55.50	1.90	57.50	6.40	110.00	250.00	55.50	1.90	3.48
SP7_Zrn_33	201.00	136.20	0.68	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	54.30	2.50	60.00	11.00	150.00	380.00	54.30	2.50	9.50
SP7_Zrn_34	428.00	353.00	0.82	0.06	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	51.90	2.00	58.90	7.90	320.00	280.00	51.90	2.00	11.88
SP7_Zrn_35	298.00	181.90	0.61	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	53.80	2.10	54.20	7.70	230.00	270.00	53.80	2.10	0.74
SP7_Zrn_36	273.00	195.00	0.71	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	53.10	2.10	54.90	7.80	180.00	230.00	53.10	2.10	3.28

**CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>**

**CORRECTED AGES (Ma)**

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>38</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th			<sup>206</sup> Pb/ <sup>38</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>35</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age		Disc %
				±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	±2s abs	(Ma)	±2s		
<i>Sample: SP21</i>																					
SP21_Zr_01	235.00	133.00	0.57	0.05	0.00	0.17	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.21	158.30	4.40	155.00	11.00	70.00	180.00	158.30	4.40	-2.13
SP21_Zr_02	606.00	85.50	0.14	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.31	93.80	2.40	94.30	5.30	90.00	150.00	93.80	2.40	0.53
SP21_Zr_04	296.60	47.70	0.16	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.33	88.90	2.70	90.20	8.40	110.00	220.00	88.90	2.70	1.44
SP21_Zr_05	519.00	115.20	0.22	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	88.20	2.40	90.50	7.20	190.00	190.00	88.20	2.40	2.54
SP21_Zr_06	547.00	153.10	0.28	0.08	0.01	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.16	87.90	2.60	118.00	7.70	1080.00	170.00	87.90	2.60	25.51
SP21_Zr_07	395.40	85.80	0.22	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.25	85.30	2.30	87.80	9.50	250.00	220.00	85.30	2.30	2.85
SP21_Zr_08	435.10	123.30	0.28	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.23	86.80	2.40	96.20	6.60	300.00	190.00	86.80	2.40	9.77
SP21_Zr_09	602.00	231.00	0.38	0.05	0.00	0.12	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.11	115.00	3.30	116.60	6.60	170.00	150.00	115.00	3.30	1.37
SP21_Zr_10	354.00	79.80	0.23	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.15	90.10	2.40	90.80	9.10	40.00	230.00	90.10	2.40	0.77
SP21_Zr_11	400.00	91.70	0.23	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	88.80	2.40	86.30	6.90	0.00	180.00	88.80	2.40	-2.90
SP21_Zr_12	329.00	72.70	0.22	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	87.40	2.80	89.60	8.60	120.00	230.00	87.40	2.80	2.46
SP21_Zr_13	549.00	163.70	0.30	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.20	88.50	2.50	107.00	8.70	560.00	190.00	88.50	2.50	17.29
SP21_Zr_14	316.20	64.10	0.20	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.03	88.80	2.50	91.60	7.70	170.00	200.00	88.80	2.50	3.06
SP21_Zr_15	284.40	63.90	0.22	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	87.70	2.50	98.00	9.00	390.00	220.00	87.70	2.50	10.51
SP21_Zr_16	304.00	167.00	0.55	0.05	0.01	0.17	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04	152.00	5.10	158.00	12.00	230.00	190.00	152.00	5.10	3.80
SP21_Zr_17	349.00	80.50	0.23	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	88.90	2.80	89.00	10.00	60.00	240.00	88.90	2.80	0.11
SP21_Zr_18	247.00	130.50	0.53	0.05	0.01	0.18	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.67	153.10	6.90	166.00	19.00	360.00	210.00	153.10	6.90	7.77
SP21_Zr_19	366.00	90.50	0.25	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	89.00	2.60	90.40	7.30	210.00	200.00	89.00	2.60	1.55
SP21_Zr_20	334.00	58.20	0.17	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	83.60	2.60	92.00	8.70	330.00	230.00	83.60	2.60	9.13
SP21_Zr_21	362.60	58.80	0.16	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.10	88.40	2.70	89.90	7.70	190.00	200.00	88.40	2.70	1.67
SP21_Zr_22	223.00	63.80	0.29	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	87.00	2.60	88.40	7.70	190.00	210.00	87.00	2.60	1.58
SP21_Zr_23	409.00	129.60	0.32	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.44	86.00	2.60	89.60	5.90	220.00	160.00	86.00	2.60	4.02
SP21_Zr_24	425.00	145.80	0.34	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	84.70	2.20	87.90	7.70	120.00	190.00	84.70	2.20	3.64
SP21_Zr_25	297.10	102.40	0.34	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.21	86.70	2.90	103.20	8.40	470.00	210.00	86.70	2.90	15.99
SP21_Zr_26	434.00	109.00	0.25	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	88.20	2.70	96.10	8.10	280.00	210.00	88.20	2.70	8.22
SP21_Zr_27	202.80	85.90	0.42	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	88.80	3.20	93.00	11.00	270.00	230.00	88.80	3.20	4.52

SP21_Zr_28	418.00	115.70	0.28	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	87.20	2.70	93.00	9.50	280.00	240.00	87.20	2.70	6.24
SP21_Zr_29	566.00	89.40	0.16	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	87.90	2.50	88.60	8.50	60.00	200.00	87.90	2.50	0.79
SP21_Zr_30	395.00	162.60	0.41	0.07	0.01	0.13	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.12	90.60	2.60	123.00	12.00	730.00	240.00	90.60	2.60	26.34
SP21_Zr_31	401.60	146.60	0.37	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	88.00	2.80	91.80	6.30	300.00	170.00	88.00	2.80	4.14
SP21_Zr_32	366.00	79.40	0.22	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	89.00	2.70	85.60	8.40	0.00	220.00	89.00	2.70	-3.97
SP21_Zr_33	489.00	113.90	0.23	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.11	86.50	2.50	88.50	8.30	130.00	220.00	86.50	2.50	2.26
SP21_Zr_34	415.00	91.30	0.22	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.12	88.50	2.40	86.10	6.60	120.00	190.00	88.50	2.40	-2.79
SP21_Zr_35	400.00	227.00	0.57	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	87.40	2.60	91.80	7.40	230.00	190.00	87.40	2.60	4.79
SP21_Zr_36	202.70	51.40	0.25	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	87.20	2.60	83.00	8.80	-30.00	220.00	87.20	2.60	-5.06
SP21_Zr_37	226.00	70.20	0.31	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	89.50	2.30	90.80	7.80	160.00	190.00	89.50	2.30	1.43
SP21_Zr_38	229.90	41.10	0.18	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	87.00	2.40	91.90	7.10	200.00	190.00	87.00	2.40	5.33
SP21_Zr_39	236.00	59.20	0.25	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.25	86.80	2.50	92.90	7.30	340.00	190.00	86.80	2.50	6.57
SP21_Zr_40	233.60	43.10	0.18	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.28	88.50	2.50	92.80	8.70	170.00	210.00	88.50	2.50	4.63
SP21_Zr_41	346.00	86.60	0.25	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.33	87.80	2.10	86.00	6.60	130.00	180.00	87.80	2.10	-2.09
SP21_Zr_42	632.00	171.40	0.27	0.07	0.01	0.04	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.09	95.40	8.50	45.00	24.00	560.00	240.00	95.40	8.50	#####
SP21_Zr_43	344.00	71.50	0.21	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	87.00	2.50	84.30	6.40	60.00	180.00	87.00	2.50	-3.20
SP21_Zr_44	595.00	73.70	0.12	0.05	0.00	0.11	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	94.20	2.60	103.10	6.80	210.00	170.00	94.20	2.60	8.63
SP21_Zr_45	78.60	77.40	0.98	0.10	0.02	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	83.10	4.10	152.00	22.00	1390.00	330.00	83.10	4.10	45.33
SP21_Zr_46	739.00	280.00	0.38	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	89.40	2.50	93.50	6.60	120.00	180.00	89.40	2.50	4.39
SP21_Zr_47	321.00	69.00	0.21	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.21	87.60	2.70	84.30	8.40	30.00	240.00	87.60	2.70	-3.91
SP21_Zr_48	508.00	130.30	0.26	0.06	0.00	0.11	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.09	92.20	2.40	107.50	7.60	500.00	160.00	92.20	2.40	14.23
SP21_Zr_49	286.80	76.00	0.26	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.13	89.50	2.60	92.50	9.00	120.00	220.00	89.50	2.60	3.24
SP21_Zr_50	327.00	97.60	0.30	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.07	86.60	2.90	91.50	8.60	230.00	210.00	86.60	2.90	5.36
SP21_Zr_51	854.00	255.20	0.30	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.08	87.60	2.20	89.80	6.30	200.00	160.00	87.60	2.20	2.45
SP21_Zr_52	817.00	174.00	0.21	0.05	0.00	0.10	0.12	0.01	0.01	0.01	0.00	0.63	86.30	65.00	96.00	80.00	360.00	150.00	86.30	65.00	10.10
SP21_Zr_53	610.00	198.00	0.32	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.07	90.00	2.40	95.30	8.40	260.00	190.00	90.00	2.40	5.56
SP21_Zr_54	676.00	230.00	0.34	0.06	0.00	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.41	94.50	2.50	116.00	8.10	640.00	170.00	94.50	2.50	18.53
SP21_Zr_55	533.20	169.80	0.32	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	87.30	2.50	88.90	8.10	110.00	210.00	87.30	2.50	1.80
SP21_Zr_56	284.10	78.30	0.28	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	84.70	2.10	93.00	11.00	310.00	220.00	84.70	2.10	8.92
SP21_Zr_57	323.60	80.70	0.25	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	87.40	2.30	90.90	9.20	150.00	220.00	87.40	2.30	3.85
SP21_Zr_58	1624.00	560.90	0.35	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.13	85.68	1.70	87.70	5.20	136.00	140.00	85.68	1.70	2.30
SP21_Zr_59	507.00	114.90	0.23	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.10	88.40	2.10	91.90	7.50	220.00	180.00	88.40	2.10	3.81
SP21_Zr_60	390.00	102.00	0.26	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.30	87.30	2.10	92.70	7.30	210.00	170.00	87.30	2.10	5.83
SP21_Zr_61	561.00	101.90	0.18	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	85.40	2.10	89.30	6.00	170.00	160.00	85.40	2.10	4.37
SP21_Zr_62	406.00	105.90	0.26	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.15	87.50	2.40	94.40	9.40	250.00	190.00	87.50	2.40	7.31
SP21_Zr_63	762.00	280.00	0.37	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.11	87.50	2.40	100.90	12.00	370.00	200.00	87.50	2.40	13.28
SP21_Zr_64	173.00	105.00	0.61	0.05	0.01	0.12	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	-0.04	103.40	3.20	113.00	15.00	280.00	250.00	103.40	3.20	8.50
SP21_Zr_65	649.00	183.80	0.28	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	85.00	2.00	95.10	7.70	300.00	180.00	85.00	2.00	10.62
SP21_Zr_66	408.50	73.30	0.18	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.17	92.70	2.30	98.00	9.50	240.00	220.00	92.70	2.30	5.41
SP21_Zr_67	1083.00	266.00	0.25	0.06	0.00	0.38	0.03	0.04	0.00	0.02	0.00	-0.23	282.10	9.00	323.00	18.00	600.00	120.00	282.10	9.00	12.66
SP21_Zr_68	531.00	132.40	0.25	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	87.60	2.00	85.50	7.60	30.00	190.00	87.60	2.00	-2.46
SP21_Zr_69	748.00	371.00	0.50	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20	90.30	2.30	89.70	6.80	100.00	160.00	90.30	2.30	-0.67
SP21_Zr_70	1262.00	1018.00	0.81	0.05	0.00	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	80.90	1.80	82.60	5.90	180.00	150.00	80.90	1.80	2.06
SP21_Zr_71	536.00	135.50	0.25	0.07	0.04	0.46	0.48	0.05	0.01	0.02	0.02	0.87	298.00	51.00	385.00	200.00	1220.00	480.00	298.00	51.00	22.60
SP21_Zr_72	377.20	122.20	0.32	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	84.80	2.30	90.00	9.50	140.00	220.00	84.80	2.30	5.78

SP21_Zr_73	418.00	107.30	0.26	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	88.30	2.20	92.70	8.00	160.00	180.00	88.30	2.20	4.75
SP21_Zr_74	467.00	128.90	0.28	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	93.90	2.60	94.50	6.60	90.00	160.00	93.90	2.60	0.63
SP21_Zr_75	580.60	247.90	0.43	0.06	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	83.10	2.30	95.00	6.90	400.00	170.00	83.10	2.30	12.53
SP21_Zr_76	397.50	135.30	0.34	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	82.20	2.10	88.10	7.90	270.00	170.00	82.20	2.10	6.70
SP21_Zr_77	351.70	122.20	0.35	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	87.10	2.20	91.30	8.90	190.00	220.00	87.10	2.20	4.60
SP21_Zr_78	345.00	115.00	0.33	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	89.00	2.60	91.70	9.90	140.00	230.00	89.00	2.60	2.94
SP21_Zr_79	660.00	960.00	1.45	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	89.50	1.90	92.60	6.90	170.00	170.00	89.50	1.90	3.35
SP21_Zr_80	402.00	93.40	0.23	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	89.60	2.30	88.90	7.50	60.00	170.00	89.60	2.30	-0.79
SP21_Zr_81	409.00	76.90	0.19	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.31	87.30	2.50	92.50	8.40	130.00	190.00	87.30	2.50	5.62

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U	Th	Th/U	<sup>207</sup> Pb/		<sup>207</sup> Pb/		<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>208</sup> Pb/		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup>		Best age		Disc
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>		<sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>38</sup> U	±2s abs	<sup>232</sup> Th	±2s abs		<sup>38</sup> U	±2s	<sup>35</sup> U	±2s	Pb	±2s	(Ma)	±2s	
<i>Sample: SP30</i>																					
SP30_Zr_01	246.50	151.10	0.61	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	86.40	2.60	95.00	12.00	260.00	240.00	86.40	2.60	9.05
SP30_Zr_02	541.00	504.00	0.93	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	84.80	2.00	85.10	7.00	70.00	170.00	84.80	2.00	0.35
SP30_Zr_03	800.00	412.00	0.52	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	90.30	2.20	94.30	7.50	180.00	170.00	90.30	2.20	4.24
SP30_Zr_04	665.00	531.00	0.80	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.25	87.40	1.80	91.00	6.90	180.00	150.00	87.40	1.80	3.96
SP30_Zr_05	320.20	180.70	0.56	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	88.00	2.40	86.00	7.50	130.00	210.00	88.00	2.40	-2.33
SP30_Zr_06	140.60	60.10	0.43	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.35	89.60	3.20	98.00	13.00	200.00	250.00	89.60	3.20	8.57
SP30_Zr_07	488.00	265.00	0.54	0.06	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.37	87.80	2.00	99.00	7.50	470.00	180.00	87.80	2.00	11.31
SP30_Zr_08	395.80	254.00	0.64	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	84.40	2.40	90.20	8.20	200.00	200.00	84.40	2.40	6.43
SP30_Zr_09	238.00	105.90	0.44	0.07	0.06	0.14	0.45	0.02	0.00	0.01	0.02	0.17	97.00	24.00	134.00	170.00	880.00	350.00	97.00	24.00	27.61
SP30_Zr_10	1016.00	773.00	0.76	0.07	0.00	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.19	84.40	2.10	116.40	8.20	850.00	130.00	84.40	2.10	27.49
SP30_Zr_11	485.50	314.00	0.65	0.06	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	87.10	2.40	100.00	8.10	360.00	180.00	87.10	2.40	12.90
SP30_Zr_14	478.00	397.00	0.83	0.06	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	79.70	2.40	98.30	11.00	490.00	200.00	79.70	2.40	18.92
SP30_Zr_15	359.70	176.20	0.49	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	87.30	2.00	87.90	8.40	90.00	210.00	87.30	2.00	0.68
SP30_Zr_16	274.70	104.40	0.38	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	86.10	2.30	92.30	8.70	330.00	200.00	86.10	2.30	6.72
SP30_Zr_17	259.00	169.00	0.65	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	84.20	2.40	87.20	8.00	200.00	200.00	84.20	2.40	3.44
SP30_Zr_18	467.00	325.00	0.70	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	84.70	2.20	88.60	8.30	200.00	200.00	84.70	2.20	4.40
SP30_Zr_19	212.00	146.00	0.69	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	93.90	2.90	96.00	12.00	130.00	250.00	93.90	2.90	2.19
SP30_Zr_21	1029.00	645.00	0.63	0.06	0.01	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	87.80	2.60	100.50	19.00	400.00	220.00	87.80	2.60	12.64
SP30_Zr_24	442.00	154.00	0.35	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	86.50	1.90	83.90	8.10	80.00	200.00	86.50	1.90	-3.10
SP30_Zr_25	414.00	178.90	0.43	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	85.80	2.00	87.80	7.00	150.00	160.00	85.80	2.00	2.28
SP30_Zr_26	225.80	93.50	0.41	0.07	0.01	0.13	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.16	88.30	2.50	121.00	12.00	820.00	220.00	88.30	2.50	27.02
SP30_Zr_27	341.00	198.00	0.58	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.34	87.50	2.40	92.20	6.90	170.00	150.00	87.50	2.40	5.10
SP30_Zr_28	307.00	148.00	0.48	0.07	0.01	0.13	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.10	90.50	2.60	118.00	18.00	670.00	270.00	90.50	2.60	23.31
SP30_Zr_29	309.00	171.70	0.56	0.05	0.00	0.12	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	103.90	3.10	112.00	9.70	310.00	190.00	103.90	3.10	7.23
SP30_Zr_30	201.00	95.30	0.47	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	86.80	2.90	107.00	10.00	510.00	230.00	86.80	2.90	18.88
SP30_Zr_31	280.30	104.60	0.37	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	88.50	2.40	93.00	8.30	230.00	190.00	88.50	2.40	4.84
SP30_Zr_32	178.00	98.00	0.55	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.09	90.30	3.10	90.00	12.00	110.00	290.00	90.30	3.10	-0.33
SP30_Zr_33	543.00	390.00	0.72	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	94.80	2.30	94.80	8.00	130.00	190.00	94.80	2.30	0.00
SP30_Zr_34	114.40	50.74	0.44	0.06	0.02	0.11	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.10	87.60	4.20	100.00	28.00	310.00	370.00	87.60	4.20	12.40
SP30_Zr_35	589.00	386.00	0.66	0.06	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.21	78.30	2.10	88.80	11.00	380.00	220.00	78.30	2.10	11.82

SP30_Zr_36	597.00	205.00	0.34	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.34	88.50	2.00	89.80	7.00	140.00	170.00	88.50	2.00	1.45
SP30_Zr_37	265.00	164.00	0.62	0.05	0.01	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	86.90	3.50	94.00	15.00	250.00	270.00	86.90	3.50	7.55
SP30_Zr_38	252.00	189.00	0.75	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	91.30	2.70	106.00	11.00	460.00	240.00	91.30	2.70	13.87
SP30_Zr_39	406.00	270.00	0.67	0.05	0.01	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	88.40	2.30	99.00	18.00	370.00	260.00	88.40	2.30	10.71
SP30_Zr_40	138.10	72.20	0.52	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.22	88.30	3.00	110.00	12.00	590.00	230.00	88.30	3.00	19.73
SP30_Zr_41	313.50	249.60	0.80	0.06	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.31	88.50	2.60	99.30	8.30	390.00	180.00	88.50	2.60	10.88
SP30_Zr_42	550.00	391.00	0.71	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20	84.80	1.80	85.80	7.40	210.00	170.00	84.80	1.80	1.17
SP30_Zr_43	304.00	150.00	0.49	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.33	87.80	2.70	97.00	8.70	320.00	190.00	87.80	2.70	9.48
SP30_Zr_44	353.80	189.90	0.54	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	90.90	2.00	95.10	8.40	260.00	200.00	90.90	2.00	4.42
SP30_Zr_47	138.00	94.00	0.68	0.04	0.01	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	91.50	4.50	91.00	14.00	60.00	290.00	91.50	4.50	-0.55
SP30_Zr_48	281.00	159.60	0.57	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.22	89.00	2.60	87.70	9.10	50.00	220.00	89.00	2.60	-1.48
SP30_Zr_49	238.00	157.90	0.66	0.06	0.04	0.11	0.12	0.01	0.00	0.00	0.01	0.30	88.50	8.00	101.00	77.00	360.00	390.00	88.50	8.00	12.38
SP30_Zr_50	780.00	640.00	0.82	0.05	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.52	82.90	3.20	81.00	10.00	150.00	200.00	82.90	3.20	-2.35
SP30_Zr_51	344.00	193.00	0.56	0.06	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	86.30	2.30	99.00	8.80	420.00	190.00	86.30	2.30	12.83
SP30_Zr_52	474.00	207.00	0.44	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	92.10	2.40	91.90	7.30	80.00	190.00	92.10	2.40	-0.22
SP30_Zr_54	724.00	499.00	0.69	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	89.70	1.90	92.90	7.60	160.00	180.00	89.70	1.90	3.44
SP30_Zr_55	318.00	209.00	0.66	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.09	88.30	2.60	93.90	8.80	250.00	180.00	88.30	2.60	5.96
SP30_Zr_56	697.00	363.00	0.52	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	85.70	2.00	85.60	6.60	120.00	160.00	85.70	2.00	-0.12
SP30_Zr_57	386.60	188.60	0.49	0.05	0.00	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	86.40	2.40	92.00	8.70	270.00	210.00	86.40	2.40	6.09
SP30_Zr_58	507.00	290.00	0.57	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	89.90	1.90	91.80	8.00	120.00	180.00	89.90	1.90	2.07
SP30_Zr_60	1186.00	742.00	0.63	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	84.00	1.80	87.90	6.20	200.00	150.00	84.00	1.80	4.44
SP30_Zr_61	1264.00	646.00	0.51	0.06	0.00	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	87.10	2.10	102.10	6.40	479.00	140.00	87.10	2.10	14.69
SP30_Zr_62	780.00	702.00	0.90	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	87.10	2.50	91.40	6.60	210.00	170.00	87.10	2.50	4.70
SP30_Zr_64	46.70	24.10	0.52	0.08	0.01	2.50	0.16	0.22	0.00	0.07	0.01	0.19	#####	26.00	#####	48.00	1302.00	130.00	1285.00	26.00	-0.94
SP30_Zr_65	475.00	268.90	0.57	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.30	86.50	2.70	89.30	8.70	190.00	200.00	86.50	2.70	3.14
SP30_Zr_66	484.00	197.00	0.41	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.09	85.80	2.20	89.10	7.00	190.00	170.00	85.80	2.20	3.70
SP30_Zr_67	558.00	457.00	0.82	0.06	0.01	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.48	86.10	1.90	110.00	10.00	650.00	200.00	86.10	1.90	21.73
SP30_Zr_68	625.00	394.00	0.63	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	86.70	2.90	89.90	10.00	250.00	230.00	86.70	2.90	3.56
SP30_Zr_70	279.00	146.00	0.52	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	89.10	2.30	87.10	7.80	60.00	190.00	89.10	2.30	-2.30
SP30_Zr_71	432.00	269.00	0.62	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	85.00	2.10	84.70	7.80	120.00	200.00	85.00	2.10	-0.35
SP30_Zr_72	2060.00	778.00	0.38	0.05	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.26	88.50	1.70	86.70	4.50	78.00	110.00	88.50	1.70	-2.08
SP30_Zr_73	191.00	115.90	0.61	0.06	0.01	0.11	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.24	84.20	2.70	107.00	17.00	480.00	270.00	84.20	2.70	21.31
SP30_Zr_74	176.00	69.00	0.39	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.19	87.50	2.70	90.00	12.00	160.00	270.00	87.50	2.70	2.78
SP30_Zr_75	382.00	86.00	0.23	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	85.40	2.50	84.40	7.60	60.00	180.00	85.40	2.50	-1.18
SP30_Zr_75	619.00	278.00	0.45	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	83.90	1.70	92.10	10.00	340.00	230.00	83.90	1.70	8.90
SP30_Zr_76	1280.00	669.00	0.52	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	87.46	1.40	86.60	7.60	48.00	200.00	87.46	1.40	-0.99
SP30_Zr_77	269.00	98.20	0.37	0.06	0.10	0.11	1.80	0.01	0.02	0.00	0.07	0.27	89.10	91.00	101.00	350.00	410.00	620.00	89.10	91.00	11.78
SP30_Zr_78	423.00	149.00	0.35	0.05	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	89.30	1.80	104.00	11.00	440.00	250.00	89.30	1.80	14.13
SP30_Zr_79	110.40	17.78	0.16	0.06	0.01	0.65	0.07	0.08	0.00	0.03	0.00	0.22	487.00	11.00	515.00	41.00	640.00	230.00	487.00	11.00	5.44
SP30_Zr_80	251.00	177.80	0.71	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.28	83.80	1.70	103.00	13.00	540.00	270.00	83.80	1.70	18.64
SP30_Zr_81	44.70	18.50	0.41	0.08	0.01	2.04	0.20	0.19	0.00	0.05	0.01	0.28	#####	23.00	#####	65.00	1120.00	180.00	1110.00	23.00	1.07
SP30_Zr_82	213.00	152.00	0.71	0.07	0.01	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.19	90.30	2.50	123.00	20.00	750.00	280.00	90.30	2.50	26.59
SP30_Zr_83	287.00	224.00	0.78	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.22	86.50	2.10	107.90	11.00	540.00	240.00	86.50	2.10	19.83
SP30_Zr_84	340.60	128.00	0.38	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	89.10	2.10	94.70	10.00	190.00	230.00	89.10	2.10	5.91
SP30_Zr_85	225.60	88.30	0.39	0.06	0.01	0.12	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.25	88.50	2.60	113.00	14.00	610.00	250.00	88.50	2.60	21.68



SP30_Zr_87	449.00	160.00	0.36	0.06	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.22	82.60	1.50	103.00	11.00	540.00	230.00	82.60	1.50	19.81
SP30_Zr_88	285.00	134.00	0.47	0.05	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.25	89.00	2.30	97.00	13.00	240.00	290.00	89.00	2.30	8.25
SP30_Zr_89	224.00	115.30	0.51	0.07	0.01	0.11	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.12	77.10	1.90	109.00	14.00	810.00	280.00	77.10	1.90	29.27
SP30_Zr_90	2107.00	692.00	0.33	0.05	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	86.20	1.20	87.70	7.50	112.00	200.00	86.20	1.20	1.71
SP30_Zr_91	627.00	730.00	1.16	0.05	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	85.90	1.60	91.10	8.80	260.00	210.00	85.90	1.60	5.71
SP30_Zr_93	416.00	366.00	0.88	0.06	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	84.40	1.70	98.50	11.00	470.00	240.00	84.40	1.70	14.31
SP30_Zr_95	447.90	258.40	0.58	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	84.60	1.70	101.00	11.00	440.00	270.00	84.60	1.70	16.24
SP30_Zr_96	646.00	232.60	0.36	0.06	0.01	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.24	84.10	1.60	110.50	12.00	760.00	230.00	84.10	1.60	23.89
SP30_Zr_97	480.00	177.00	0.37	0.06	0.01	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.15	85.70	1.90	114.30	12.00	760.00	220.00	85.70	1.90	25.02
SP30_Zr_98	75.10	48.40	0.64	0.10	0.01	3.53	0.31	0.26	0.00	0.07	0.01	-0.04	#####	20.00	#####	66.00	1580.00	170.00	1580.00	#####	1.69
SP30_Zr_99	278.40	158.00	0.57	0.06	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	85.70	1.90	104.60	11.00	510.00	240.00	85.70	1.90	18.07
SP30_Zr_100	646.80	230.60	0.36	0.06	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	82.00	1.80	95.70	10.00	490.00	210.00	82.00	1.80	14.32
SP30_Zr_101	485.00	243.00	0.50	0.07	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	76.20	1.70	108.30	11.00	840.00	200.00	76.20	1.70	29.64
SP30_Zr_102	303.00	167.00	0.55	0.05	0.01	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	92.40	3.10	97.00	15.00	200.00	280.00	92.40	3.10	4.74

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U	Th	CORRECTED RATIOS <sup>2</sup>									CORRECTED AGES (Ma)						Best age (Ma)	Disc %		
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>38</sup> U	±2s abs	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±2s abs	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>38</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup> <sup>35</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb			±2s	
<i>Sample: SPB-D</i>																					
SPB-D_Zm-01	103.90	64.50	0.62	0.06	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.11	31.30	2.70	38.00	10.00	1240.00	260.00	31.30	2.70	17.63
SPB-D_Zm-02	79.50	89.90	1.13	0.16	0.04	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.28	35.10	2.90	120.00	25.00	2670.00	220.00	35.10	2.90	70.75
SPB-D_Zm-03	156.40	99.90	0.64	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	33.70	1.90	32.50	7.00	1170.00	280.00	33.70	1.90	-3.69
SPB-D_Zm-04	1030.00	870.00	0.84	0.05	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	31.70	1.20	36.20	3.50	460.00	120.00	31.70	1.20	12.43
SPB-D_Zm-05	360.00	293.00	0.81	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	33.60	1.60	41.60	5.00	860.00	150.00	33.60	1.60	19.23
SPB-D_Zm-06	604.00	439.00	0.73	0.06	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.27	32.30	1.20	39.20	4.30	690.00	130.00	32.30	1.20	17.60
SPB-D_Zm-07	81.60	55.10	0.68	0.06	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	31.50	2.40	41.00	12.00	1240.00	210.00	31.50	2.40	23.17
SPB-D_Zm-08	457.00	231.00	0.51	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.55	34.50	2.40	56.60	8.90	1280.00	180.00	34.50	2.40	39.05
SPB-D_Zm-09	736.00	669.00	0.91	0.06	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	30.70	0.92	37.60	3.90	640.00	110.00	30.70	0.92	18.35
SPB-D_Zm-10	1401.00	1261.00	0.90	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	27.62	0.69	27.00	2.20	360.00	110.00	27.62	0.69	-2.30
SPB-D_Zm-11	240.00	264.00	1.10	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.00	2.10	36.70	8.20	940.00	200.00	31.00	2.10	15.53
SPB-D_Zm-12	835.00	1160.00	1.39	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	28.10	1.10	31.50	2.60	540.00	120.00	28.10	1.10	10.79
SPB-D_Zm-13	366.20	250.40	0.68	0.09	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18	29.20	1.50	53.70	9.00	1380.00	190.00	29.20	1.50	45.62
SPB-D_Zm-14	146.10	133.00	0.91	0.24	0.03	0.18	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	36.00	2.20	164.00	16.00	3120.00	110.00	36.00	2.20	78.05
SPB-D_Zm-15	179.00	144.30	0.81	0.05	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	31.60	2.00	36.00	10.00	1150.00	210.00	31.60	2.00	12.22
SPB-D_Zm-16	207.00	188.00	0.91	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	32.70	2.30	32.20	7.50	730.00	170.00	32.70	2.30	-1.55
SPB-D_Zm-17	159.80	141.30	0.88	0.13	0.02	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	32.00	2.70	83.00	13.00	2150.00	180.00	32.00	2.70	61.45
SPB-D_Zm-18	316.00	247.00	0.78	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	33.80	1.50	55.30	6.80	1140.00	150.00	33.80	1.50	38.88
SPB-D_Zm-19	497.00	316.00	0.64	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	34.85	0.83	35.80	3.60	440.00	110.00	34.85	0.83	2.65
SPB-D_Zm-20	125.80	124.00	0.99	0.07	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	30.10	1.90	44.00	11.00	1510.00	220.00	30.10	1.90	31.59
SPB-D_Zm-21	98.00	52.50	0.54	0.08	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	31.80	2.60	48.00	11.00	1250.00	200.00	31.80	2.60	33.75
SPB-D_Zm-22	192.60	141.46	0.73	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	42.90	1.90	51.70	7.30	610.00	130.00	42.90	1.90	17.02
SPB-D_Zm-23	96.00	88.20	0.92	0.06	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	31.30	2.00	39.00	12.00	1290.00	360.00	31.30	2.00	19.74
SPB-D_Zm-24	235.00	104.90	0.45	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.13	34.90	1.70	50.30	6.30	1020.00	160.00	34.90	1.70	30.62
SPB-D_Zm-25	365.00	215.00	0.59	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	32.20	1.70	47.70	6.80	880.00	110.00	32.20	1.70	32.49

SPB-D_Zm-26	73.90	59.33	0.80	0.12	0.02	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	31.10	2.70	71.00	13.00	2200.00	230.00	31.10	2.70	56.20
SPB-D_Zm-27	88.10	78.10	0.89	0.11	0.03	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	31.50	3.20	65.00	15.00	2090.00	200.00	31.50	3.20	51.54
SPB-D_Zm-28	203.20	143.20	0.70	0.13	0.02	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	32.00	1.60	90.00	12.00	2200.00	180.00	32.00	1.60	64.44
SPB-D_Zm-29	104.90	95.80	0.91	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	32.80	2.40	32.80	8.90	1120.00	200.00	32.80	2.40	0.00
SPB-D_Zm-30	147.00	83.00	0.56	0.11	0.03	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	41.40	3.40	91.00	20.00	1910.00	310.00	41.40	3.40	54.51
SPB-D_Zm-31	451.40	257.90	0.57	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	29.40	1.10	32.60	5.70	760.00	210.00	29.40	1.10	9.82
SPB-D_Zm-32	251.00	229.00	0.91	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	32.80	1.70	44.80	8.40	920.00	240.00	32.80	1.70	26.79
SPB-D_Zm-33	256.30	251.10	0.98	0.08	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	25.00	1.70	41.70	7.80	1260.00	210.00	25.00	1.70	40.05
SPB-D_Zm-34	176.10	117.10	0.66	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.10	2.30	35.40	7.70	880.00	260.00	27.10	2.30	23.45
SPB-D_Zm-35	95.00	45.50	0.48	0.09	0.02	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	33.40	2.70	57.00	14.00	1470.00	350.00	33.40	2.70	41.40

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age (Ma)	Disc %	
				±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs		±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs			±2s
<i>Sample: SPB-G</i>																					
SPB-G_Zm-01	197.00	73.90	0.38	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	35.50	1.90	33.80	7.00	680.00	170.00	35.50	1.90	-5.03
SPB-G_Zm-02	231.00	112.10	0.49	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	33.50	1.80	39.50	6.60	900.00	200.00	33.50	1.80	15.19
SPB-G_Zm-03	224.20	155.90	0.70	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	40.60	1.80	43.00	6.80	810.00	180.00	40.60	1.80	5.58
SPB-G_Zm-04	80.80	87.90	1.09	0.06	0.01	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	77.70	4.70	93.00	16.00	860.00	190.00	77.70	4.70	16.45
SPB-G_Zm-05	526.10	526.00	1.00	0.09	0.02	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	32.10	1.50	62.60	8.90	1470.00	180.00	32.10	1.50	48.72
SPB-G_Zm-06	412.50	346.40	0.84	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	32.50	1.20	59.30	6.90	1327.00	88.00	32.50	1.20	45.19
SPB-G_Zm-07	5323.00	5980.00	1.12	0.05	0.00	0.10	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.44	98.30	2.20	101.20	3.30	210.00	51.00	98.30	2.20	2.87
SPB-G_Zm-08	1107.00	972.00	0.88	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	36.39	1.00	39.20	2.40	295.00	76.00	36.39	1.00	7.17
SPB-G_Zm-09	420.00	450.00	1.07	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	38.20	1.60	38.90	4.30	460.00	140.00	38.20	1.60	1.80
SPB-G_Zm-10	447.00	354.00	0.79	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	37.60	1.40	45.90	6.10	560.00	130.00	37.60	1.40	18.08
SPB-G_Zm-11	269.00	220.00	0.82	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	31.50	1.60	39.80	5.90	770.00	190.00	31.50	1.60	20.85
SPB-G_Zm-12	388.00	182.00	0.47	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16	57.00	1.80	63.40	6.80	472.00	96.00	57.00	1.80	10.09
SPB-G_Zm-13	1064.00	538.00	0.51	0.05	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	45.30	1.30	47.80	2.50	346.00	85.00	45.30	1.30	5.23
SPB-G_Zm-14	269.00	69.40	0.26	0.06	0.00	0.19	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.26	147.40	4.20	172.00	14.00	484.00	89.00	147.40	4.20	14.30
SPB-G_Zm-15	613.00	208.00	0.34	0.05	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	45.30	1.20	50.00	4.30	433.00	90.00	45.30	1.20	9.40
SPB-G_Zm-16	350.00	297.10	0.85	0.07	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	31.70	1.50	45.10	6.80	870.00	140.00	31.70	1.50	29.71
SPB-G_Zm-17	414.00	122.00	0.29	0.06	0.00	0.65	0.03	0.08	0.00	0.03	0.00	0.38	486.70	11.00	509.00	21.00	577.00	65.00	486.70	11.00	4.38
SPB-G_Zm-18	158.90	65.42	0.41	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	37.20	2.70	48.90	8.80	1100.00	210.00	37.20	2.70	23.93
SPB-G_Zm-19	520.00	447.00	0.86	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	37.00	1.20	39.00	4.70	400.00	110.00	37.00	1.20	5.13
SPB-G_Zm-20	338.00	142.00	0.42	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	36.90	1.70	42.20	5.60	550.00	120.00	36.90	1.70	12.56
SPB-G_Zm-21	845.00	375.30	0.44	0.06	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	35.54	1.10	43.10	4.20	570.00	140.00	35.54	1.10	17.54

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age (Ma)	Disc %	
				±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs		±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs			±2s
<i>Sample: SPB-K</i>																					
SPB-K_Zm-01	106.10	94.50	0.89	0.06	0.01	0.12	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	-0.20	96.30	3.50	120.00	14.00	790.00	120.00	96.30	3.50	19.75
SPB-K_Zm-02	87.90	37.04	0.42	0.06	0.01	0.11	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.02	95.10	5.10	109.00	17.00	900.00	180.00	95.10	5.10	12.75

SPB-K_Zm-03	222.00	187.00	0.84	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	33.60	2.00	58.40	9.90	1310.00	210.00	33.60	2.00	42.47
SPB-K_Zm-04	220.00	213.00	0.97	0.09	0.01	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	30.00	1.70	57.20	7.50	1600.00	130.00	30.00	1.70	47.55
SPB-K_Zm-05	201.80	282.80	1.40	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	34.90	1.60	58.60	7.80	1240.00	170.00	34.90	1.60	40.44
SPB-K_Zm-06	182.90	213.00	1.16	0.13	0.02	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	32.10	2.10	85.20	9.70	2090.00	150.00	32.10	2.10	62.32
SPB-K_Zm-07	50.30	42.60	0.85	0.12	0.05	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.14	29.10	3.70	59.00	21.00	2350.00	370.00	29.10	3.70	50.68
SPB-K_Zm-08	543.00	282.50	0.52	0.07	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	30.10	1.60	37.90	5.50	830.00	180.00	30.10	1.60	20.58
SPB-K_Zm-09	435.00	257.00	0.59	0.06	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	32.20	1.50	39.40	4.50	650.00	100.00	32.20	1.50	18.27
SPB-K_Zm-10	342.00	227.00	0.66	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	38.80	1.30	44.20	5.30	670.00	150.00	38.80	1.30	12.22
SPB-K_Zm-11	188.90	188.00	1.00	0.24	0.03	0.19	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.46	35.90	3.70	172.00	18.00	3195.00	96.00	35.90	3.70	79.13
SPB-K_Zm-12	77.40	94.00	1.21	0.10	0.03	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	32.80	2.90	51.00	14.00	1740.00	170.00	32.80	2.90	35.69
SPB-K_Zm-13	348.00	220.40	0.63	0.10	0.02	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	35.10	2.00	70.00	10.00	1690.00	220.00	35.10	2.00	49.86
SPB-K_Zm-15	181.90	139.20	0.77	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	32.90	1.90	36.60	6.50	800.00	210.00	32.90	1.90	10.11
SPB-K_Zm-16	449.00	287.00	0.64	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	27.30	1.30	27.20	5.60	610.00	200.00	27.30	1.30	-0.37
SPB-K_Zm-17	401.00	341.00	0.85	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	31.80	1.30	32.60	3.30	393.00	84.00	31.80	1.30	2.45
SPB-K_Zm-18	303.00	307.00	1.01	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	32.10	1.80	44.00	5.30	900.00	140.00	32.10	1.80	27.05
SPB-K_Zm-19	180.00	126.80	0.70	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.11	32.10	2.00	34.50	6.30	880.00	180.00	32.10	2.00	6.96
SPB-K_Zm-20	432.10	415.30	0.96	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	37.90	1.70	42.40	5.10	426.00	93.00	37.90	1.70	10.61
SPB-K_Zm-21	672.00	576.00	0.86	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	40.90	1.60	44.60	3.10	363.00	84.00	40.90	1.60	8.30
SPB-K_Zm-22	299.00	181.70	0.61	0.09	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	33.40	1.70	61.40	9.60	1400.00	190.00	33.40	1.70	45.60
SPB-K_Zm-23	686.00	543.00	0.79	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.12	32.00	1.30	31.70	3.60	470.00	140.00	32.00	1.30	-0.95
SPB-K_Zm-24	1329.10	1072.60	0.81	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	31.13	0.93	34.80	2.90	356.00	91.00	31.13	0.93	10.55
SPB-K_Zm-25	924.00	900.00	0.97	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	40.00	1.30	51.10	4.80	640.00	110.00	40.00	1.30	21.72
SPB-K_Zm-26	651.00	361.00	0.55	0.05	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	31.60	1.10	35.10	4.00	480.00	110.00	31.60	1.10	9.97
SPB-K_Zm-27	326.40	290.90	0.89	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	31.20	2.20	38.20	7.10	630.00	120.00	31.20	2.20	18.32
SPB-K_Zm-28	279.70	170.30	0.61	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	35.10	1.60	41.70	6.90	860.00	240.00	35.10	1.60	15.83
SPB-K_Zm-29	725.00	625.00	0.86	0.15	0.01	0.12	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	37.80	1.20	112.60	6.90	2332.00	82.00	37.80	1.20	66.43
SPB-K_Zm-30	141.20	97.39	0.69	0.19	0.02	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	36.70	3.00	126.00	15.00	2660.00	110.00	36.70	3.00	70.87
SPB-K_Zm-31	238.00	142.10	0.60	0.06	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	26.70	1.70	31.60	7.20	1130.00	150.00	26.70	1.70	15.51
SPB-K_Zm-32	1400.00	1100.00	0.79	0.08	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	41.16	1.00	64.60	5.20	1127.00	72.00	41.16	1.00	36.28
SPB-K_Zm-33	722.00	321.00	0.44	0.08	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	34.20	1.10	59.10	4.60	1277.00	86.00	34.20	1.10	42.13
SPB-K_Zm-34	386.00	823.00	2.13	0.13	0.02	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	33.80	1.80	87.00	12.00	2000.00	190.00	33.80	1.80	61.15
SPB-K_Zm-35	8420.00	3830.00	0.45	0.08	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	30.56	0.58	50.80	3.10	1180.00	110.00	30.56	0.58	39.84
SPB-K_Zm-36	324.40	348.80	1.08	0.07	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	31.70	1.10	45.00	6.00	900.00	130.00	31.70	1.10	29.56
SPB-K_Zm-37	431.40	434.20	1.01	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	34.00	1.30	46.50	5.00	870.00	120.00	34.00	1.30	26.88
SPB-K_Zm-38	92.20	75.80	0.82	0.13	0.02	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.25	35.30	2.50	96.00	12.00	2040.00	150.00	35.30	2.50	63.23
SPB-K_Zm-39	760.00	547.00	0.72	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.22	33.20	1.20	35.10	4.90	530.00	130.00	33.20	1.20	5.41
SPB-K_Zm-40	94.90	98.90	1.04	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.37	24.90	2.10	21.90	8.60	1270.00	330.00	24.90	2.10	-13.70

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/±2s		<sup>207</sup> Pb/±2s		<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> ±2s		<sup>208</sup> Pb/±2s			<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup> ±2s		<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup> ±2s		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±2s		Best age (Ma)	Disc %	
				<sup>206</sup> Pb	abs	<sup>235</sup> U	abs	<sup>38</sup> U	abs	<sup>232</sup> Th	abs	Rho	<sup>38</sup> U	±2s	<sup>35</sup> U	±2s	Pb	±2s			
<i>Sample: SPB-P</i>																					
SPB-P_Zm-01	182.90	172.40	0.94	0.09	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	32.30	2.60	52.80	9.50	1240.00	290.00	32.30	2.60	38.83
SPB-P_Zm-02	289.00	207.00	0.72	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.08	32.00	1.60	38.20	5.30	860.00	160.00	32.00	1.60	16.23

SPB-P_Zm-03	338.00	312.00	0.92	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	31.00	1.40	32.10	5.10	690.00	140.00	31.00	1.40	3.43
SPB-P_Zm-04	419.00	323.00	0.77	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	33.70	1.40	38.20	4.70	660.00	140.00	33.70	1.40	11.78
SPB-P_Zm-05	191.00	174.00	0.91	0.12	0.02	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	35.00	2.80	91.30	9.80	2140.00	120.00	35.00	2.80	61.66
SPB-P_Zm-06	315.00	260.00	0.83	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	33.60	1.70	36.30	5.80	740.00	150.00	33.60	1.70	7.44
SPB-P_Zm-07	162.00	103.80	0.64	0.07	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	34.80	2.40	55.00	8.10	1030.00	190.00	34.80	2.40	36.73
SPB-P_Zm-08	390.00	305.00	0.78	0.11	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	44.20	2.70	96.20	8.20	1730.00	100.00	44.20	2.70	54.05
SPB-P_Zm-09	225.00	235.00	1.04	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	32.50	1.80	47.70	7.30	1210.00	170.00	32.50	1.80	31.87
SPB-P_Zm-10	207.30	324.10	1.56	0.19	0.02	0.15	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	38.70	2.40	143.00	14.00	2750.00	99.00	38.70	2.40	72.94
SPB-P_Zm-11	95.20	98.90	1.04	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.13	34.20	2.60	42.00	12.00	1300.00	200.00	34.20	2.60	18.57
SPB-P_Zm-12	573.00	465.00	0.81	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	32.40	1.20	34.90	4.20	650.00	150.00	32.40	1.20	7.16
SPB-P_Zm-13	345.00	493.00	1.43	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	33.10	1.50	47.50	5.10	1050.00	150.00	33.10	1.50	30.32
SPB-P_Zm-14	275.00	170.00	0.62	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	33.60	2.10	39.60	6.40	740.00	160.00	33.60	2.10	15.15
SPB-P_Zm-15	794.00	697.00	0.88	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	32.30	1.30	34.40	4.30	427.00	90.00	32.30	1.30	6.10
SPB-P_Zm-16	294.00	210.00	0.71	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	33.60	2.20	38.70	8.90	790.00	210.00	33.60	2.20	13.18
SPB-P_Zm-17	427.10	290.40	0.68	0.06	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	34.10	1.30	41.00	3.80	680.00	130.00	34.10	1.30	16.83
SPB-P_Zm-18	398.30	335.00	0.84	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	32.80	1.30	36.70	5.70	720.00	150.00	32.80	1.30	10.63
SPB-P_Zm-19	187.00	176.00	0.94	0.08	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	35.70	1.90	60.00	10.00	1460.00	150.00	35.70	1.90	40.50
SPB-P_Zm-20	228.30	117.90	0.52	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	36.90	2.50	42.90	8.90	1030.00	280.00	36.90	2.50	13.99
SPB-P_Zm-21	231.00	230.00	1.00	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.32	34.10	1.80	33.30	6.70	1140.00	220.00	34.10	1.80	-2.40
SPB-P_Zm-22	869.00	784.00	0.90	0.07	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	32.10	1.20	47.70	4.40	1020.00	100.00	32.10	1.20	32.70
SPB-P_Zm-23	283.00	364.00	1.29	0.07	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	32.50	2.00	45.90	8.50	1120.00	180.00	32.50	2.00	29.19
SPB-P_Zm-24	1240.00	1050.00	0.85	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	30.10	1.10	30.70	2.60	320.00	84.00	30.10	1.10	1.95
SPB-P_Zm-25	440.00	645.00	1.47	0.07	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	30.90	1.40	48.10	4.90	1060.00	110.00	30.90	1.40	35.76
SPB-P_Zm-26	115.40	115.90	1.00	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	32.10	2.90	41.00	10.00	1390.00	210.00	32.10	2.90	21.71
SPB-P_Zm-27	214.90	210.40	0.98	0.06	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	33.00	1.90	34.50	5.60	920.00	180.00	33.00	1.90	4.35
SPB-P_Zm-28	436.00	325.00	0.75	0.06	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	33.30	1.60	43.00	4.20	620.00	130.00	33.30	1.60	22.56
SPB-P_Zm-29	273.00	114.60	0.42	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	27.90	1.60	37.50	5.10	900.00	190.00	27.90	1.60	25.60
SPB-P_Zm-30	406.90	479.70	1.18	0.05	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	31.60	1.60	36.30	4.80	590.00	130.00	31.60	1.60	12.95
SPB-P_Zm-31	224.00	244.00	1.09	0.19	0.02	0.15	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	37.10	1.90	143.00	11.00	2758.00	83.00	37.10	1.90	74.06
SPB-P_Zm-32	429.40	723.40	1.68	0.05	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	31.50	1.50	34.80	4.50	600.00	150.00	31.50	1.50	9.48
SPB-P_Zm-33	203.00	216.00	1.06	0.10	0.02	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	33.30	1.60	69.70	9.00	1860.00	140.00	33.30	1.60	52.22
SPB-P_Zm-34	6400.00	7500.00	1.17	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	29.19	0.67	34.70	1.80	429.00	74.00	29.19	0.67	15.88
SPB-P_Zm-35	252.00	225.00	0.89	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20	35.30	2.10	56.50	8.10	1310.00	120.00	35.30	2.10	37.52

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age (Ma)	Disc %	
				±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs		±2s	abs	±2s	abs					
<i>Sample: SPB-E</i>																					
SPB-E_Zm-01	771.00	846.00	1.10	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	37.20	1.40	37.70	4.20	620.00	120.00	37.20	1.40	1.33
SPB-E_Zm-02	2460.00	1400.00	0.57	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.28	36.80	1.50	40.10	3.80	334.00	76.00	36.80	1.50	8.23
SPB-E_Zm-03	764.00	874.00	1.14	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	37.80	1.70	40.40	4.80	580.00	120.00	37.80	1.70	6.44
SPB-E_Zm-04	674.00	515.00	0.76	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	39.70	1.90	45.00	7.20	530.00	140.00	39.70	1.90	11.78
SPB-E_Zm-05	1520.00	829.00	0.55	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.33	36.61	1.10	40.20	4.30	441.00	87.00	36.61	1.10	8.93
SPB-E_Zm-06	1315.00	733.00	0.56	0.12	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.30	39.47	1.10	99.70	5.90	1964.00	78.00	39.47	1.10	60.41

SPB-E_Zm-07	1500.00	1240.00	0.83	0.06	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	38.50	1.30	46.90	3.40	624.00	97.00	38.50	1.30	17.91
SPB-E_Zm-08	1716.00	1390.00	0.81	0.08	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	37.60	1.20	67.20	6.90	1240.00	180.00	37.60	1.20	44.05
SPB-E_Zm-09	664.00	535.00	0.81	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.13	39.20	1.90	41.80	5.80	570.00	110.00	39.20	1.90	6.22
SPB-E_Zm-10	700.00	742.00	1.06	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.26	37.10	2.20	51.70	8.60	1020.00	250.00	37.10	2.20	28.24
SPB-E_Zm-11	1110.00	1080.00	0.97	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.11	37.50	1.40	41.80	4.00	527.00	100.00	37.50	1.40	10.29
SPB-E_Zm-12	2100.00	3190.00	1.52	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	37.38	0.99	38.50	2.70	323.00	78.00	37.38	0.99	2.91
SPB-E_Zm-13	571.00	456.00	0.80	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	39.00	1.50	49.00	5.20	750.00	130.00	39.00	1.50	20.41
SPB-E_Zm-14	595.00	501.00	0.84	0.06	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	38.90	1.60	51.20	4.70	880.00	140.00	38.90	1.60	24.02
SPB-E_Zm-15	2270.00	3980.00	1.75	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05	36.60	1.00	37.50	2.70	252.00	66.00	36.60	1.00	2.40
SPB-E_Zm-16	680.00	506.00	0.74	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	38.30	1.40	38.00	5.00	500.00	130.00	38.30	1.40	-0.79
SPB-E_Zm-17	463.00	436.00	0.94	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	37.00	1.80	42.40	7.50	730.00	160.00	37.00	1.80	12.74
SPB-E_Zm-18	590.00	545.00	0.92	0.10	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	44.30	1.90	95.10	9.30	1760.00	97.00	44.30	1.90	53.42
SPB-E_Zm-19	742.00	799.00	1.08	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	37.20	1.50	42.60	4.80	570.00	100.00	37.20	1.50	12.68
SPB-E_Zm-20	428.00	380.00	0.89	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	39.20	2.00	44.00	7.30	790.00	140.00	39.20	2.00	10.91
SPB-E_Zm-21	455.00	544.00	1.20	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	38.00	1.50	39.90	7.80	740.00	180.00	38.00	1.50	4.76
SPB-E_Zm-22	1191.00	1194.00	1.00	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	35.91	1.00	36.30	4.00	282.00	68.00	35.91	1.00	1.07
SPB-E_Zm-23	935.00	807.00	0.86	0.07	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	36.10	1.30	53.10	4.50	900.00	110.00	36.10	1.30	32.02
SPB-E_Zm-24	797.00	541.00	0.68	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	37.30	1.20	42.30	5.60	690.00	120.00	37.30	1.20	11.82
SPB-E_Zm-25	1911.00	1164.00	0.61	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	33.60	1.10	35.10	2.60	292.00	62.00	33.60	1.10	4.27
SPB-E_Zm-26	432.00	367.00	0.85	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.22	38.30	1.90	41.70	6.50	730.00	160.00	38.30	1.90	8.15
SPB-E_Zm-27	770.00	773.00	1.00	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	36.40	1.30	41.70	4.60	520.00	110.00	36.40	1.30	12.71
SPB-E_Zm-28	532.00	396.00	0.74	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	37.00	1.80	58.30	8.10	1260.00	180.00	37.00	1.80	36.54
SPB-E_Zm-29	1250.00	1180.00	0.94	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	36.13	1.10	37.60	3.90	440.00	110.00	36.13	1.10	3.91
SPB-E_Zm-30	1260.00	1160.00	0.92	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	38.50	1.30	41.40	4.50	488.00	100.00	38.50	1.30	7.00
SPB-E_Zm-31	1260.00	1598.00	1.27	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	39.80	1.50	39.10	4.90	430.00	150.00	39.80	1.50	-1.79
SPB-E_Zm-32	406.00	422.00	1.04	0.09	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	36.80	1.90	68.30	8.60	1390.00	150.00	36.80	1.90	46.12
SPB-E_Zm-33	528.00	571.00	1.08	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	39.10	1.80	43.70	6.50	900.00	220.00	39.10	1.80	10.53
SPB-E_Zm-34	849.00	839.00	0.99	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	37.90	1.20	41.40	6.40	398.00	84.00	37.90	1.20	8.45
SPB-E_Zm-35	791.00	517.00	0.65	0.07	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.17	39.10	1.60	58.70	5.50	1090.00	130.00	39.10	1.60	33.39

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U		Th		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age		Disc	
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>	Th/U	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	(Ma)	±2s	%	
<i>Sample: SPB-I</i>																						
SPB-I_Zm-01	754.00	638.00	0.85	0.05	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.33	37.80	1.30	45.70	4.70	590.00	150.00	37.80	1.30	17.29	
SPB-I_Zm-02	833.00	552.00	0.66	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	38.20	1.30	43.40	3.50	450.00	100.00	38.20	1.30	11.98	
SPB-I_Zm-03	267.00	151.80	0.57	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	37.20	1.90	33.70	7.40	710.00	120.00	37.20	1.90	-10.39	
SPB-I_Zm-04	230.00	193.00	0.84	0.06	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21	39.90	2.40	48.00	11.00	930.00	140.00	39.90	2.40	16.88	
SPB-I_Zm-05	296.00	248.00	0.84	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	38.70	2.20	39.60	9.00	870.00	200.00	38.70	2.20	2.27	
SPB-I_Zm-06	1010.00	930.00	0.92	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	39.40	1.80	48.20	7.00	730.00	180.00	39.40	1.80	18.26	
SPB-I_Zm-07	849.00	729.00	0.86	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.23	38.50	1.30	38.10	3.80	456.00	98.00	38.50	1.30	-1.05	
SPB-I_Zm-08	3160.00	3040.00	0.96	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	39.06	0.95	40.00	2.10	231.00	46.00	39.06	0.95	2.35	
SPB-I_Zm-09	382.00	254.00	0.66	0.10	0.02	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	37.10	2.50	75.00	12.00	1550.00	190.00	37.10	2.50	50.53	
SPB-I_Zm-10	742.00	728.00	0.98	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	38.50	1.30	47.10	5.30	680.00	120.00	38.50	1.30	18.26	

SPB-I_Zm-11	419.00	587.00	1.40	0.71	0.04	3.16	0.19	0.03	0.00	0.06	0.01	0.67	206.00	13.00	#####	47.00	4737.00	25.00	206.00	13.00	85.72
SPB-I_Zm-12	710.00	557.00	0.78	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	38.20	2.10	42.90	5.30	500.00	110.00	38.20	2.10	10.96
SPB-I_Zm-13	409.00	382.00	0.93	0.10	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	36.70	2.10	77.00	10.00	1740.00	170.00	36.70	2.10	52.34
SPB-I_Zm-14	459.00	358.00	0.78	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.23	38.00	2.20	41.90	6.00	600.00	120.00	38.00	2.20	9.31
SPB-I_Zm-15	776.00	405.00	0.52	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	35.70	1.30	43.70	5.00	750.00	130.00	35.70	1.30	18.31
SPB-I_Zm-16	361.00	274.00	0.76	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	40.00	3.20	52.40	7.60	780.00	190.00	40.00	3.20	23.66
SPB-I_Zm-17	536.00	557.00	1.04	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	38.40	2.10	40.40	7.60	700.00	220.00	38.40	2.10	4.95
SPB-I_Zm-18	1520.00	753.00	0.50	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	36.50	1.20	40.00	3.90	500.00	110.00	36.50	1.20	8.75
SPB-I_Zm-19	227.00	222.00	0.98	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	38.00	2.20	51.60	8.70	1050.00	140.00	38.00	2.20	26.36
SPB-I_Zm-20	1150.00	691.00	0.60	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.24	39.60	1.20	42.80	4.10	490.00	130.00	39.60	1.20	7.48
SPB-I_Zm-21	899.00	647.00	0.72	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	38.30	1.50	42.00	3.50	416.00	97.00	38.30	1.50	8.81
SPB-I_Zm-22	270.70	156.90	0.58	0.08	0.02	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	37.80	1.80	63.00	11.00	1140.00	140.00	37.80	1.80	40.00
SPB-I_Zm-23	879.00	536.40	0.61	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.26	35.00	1.30	43.60	4.80	680.00	140.00	35.00	1.30	19.72
SPB-I_Zm-24	1220.00	1150.00	0.94	0.09	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	37.00	1.40	72.80	5.80	1370.00	110.00	37.00	1.40	49.18
SPB-I_Zm-25	385.00	393.70	1.02	0.20	0.02	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.49	39.60	2.80	151.00	17.00	2800.00	110.00	39.60	2.80	73.77
SPB-I_Zm-26	643.00	700.00	1.09	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	38.30	1.50	41.10	3.90	480.00	120.00	38.30	1.50	6.81
SPB-I_Zm-27	234.00	170.40	0.73	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.10	38.80	2.10	53.40	7.30	1000.00	150.00	38.80	2.10	27.34
SPB-I_Zm-28	418.00	349.00	0.83	0.11	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	41.60	1.80	90.40	8.50	1710.00	130.00	41.60	1.80	53.98
SPB-I_Zm-29	1870.00	895.00	0.48	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.42	37.00	1.70	45.70	6.90	500.00	180.00	37.00	1.70	19.04
SPB-I_Zm-30	1025.00	573.00	0.56	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.22	30.53	0.99	29.70	3.40	420.00	130.00	30.53	0.99	-2.79
SPB-I_Zm-31	711.00	243.80	0.34	0.06	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.35	36.70	1.40	42.70	4.70	600.00	140.00	36.70	1.40	14.05
SPB-I_Zm-32	784.00	262.90	0.34	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	36.10	1.30	38.90	3.60	470.00	110.00	36.10	1.30	7.20
SPB-I_Zm-33	389.00	318.00	0.82	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	39.50	2.30	40.50	6.30	570.00	170.00	39.50	2.30	2.47
SPB-I_Zm-34	335.00	244.00	0.73	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	35.30	1.40	51.90	8.00	990.00	170.00	35.30	1.40	31.98
SPB-I_Zm-35	401.00	319.00	0.80	0.08	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	40.20	2.00	72.10	9.30	1370.00	150.00	40.20	2.00	44.24

CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>

## CORRECTED AGES (Ma)

Spot name	U	Th	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th			<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		Best age		Disc	
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>		±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	±2s	abs	Rho	±2s	±2s	±2s	±2s	±2s	(Ma)	±2s	±2s	±2s	%
<i>Sample: SPB-L</i>																						
SPB-L_Zm-01	949.00	277.00	0.29	0.05	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	68.50	2.40	75.10	6.50	448.00	85.00	68.50	2.40	8.79	
SPB-L_Zm-02	1154.00	561.00	0.49	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	68.90	1.50	83.10	4.50	546.00	77.00	68.90	1.50	17.09	
SPB-L_Zm-03	2100.00	842.00	0.40	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	67.50	1.30	71.90	3.90	271.00	55.00	67.50	1.30	6.12	
SPB-L_Zm-04	1303.00	342.00	0.26	0.05	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	67.30	1.70	73.60	4.30	320.00	69.00	67.30	1.70	8.56	
SPB-L_Zm-05	1098.00	322.00	0.29	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	66.30	1.80	69.20	4.20	286.00	77.00	66.30	1.80	4.19	
SPB-L_Zm-06	1325.00	388.00	0.29	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	69.40	1.40	72.80	4.40	292.00	73.00	69.40	1.40	4.67	
SPB-L_Zm-07	1250.00	670.00	0.54	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.63	65.50	1.90	65.10	4.30	325.00	87.00	65.50	1.90	-0.61	
SPB-L_Zm-08	1590.00	626.00	0.39	0.05	0.00	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.29	68.10	1.80	78.80	5.20	407.00	84.00	68.10	1.80	13.58	
SPB-L_Zm-09	989.00	276.00	0.28	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.09	67.70	1.70	72.40	4.60	384.00	73.00	67.70	1.70	6.49	
SPB-L_Zm-10	2440.00	1095.00	0.45	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	65.09	1.10	65.90	3.60	224.00	76.00	65.09	1.10	1.23	
SPB-L_Zm-11	1710.00	581.00	0.34	0.05	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.25	68.10	1.50	74.70	4.60	368.00	71.00	68.10	1.50	8.84	
SPB-L_Zm-12	1110.00	228.00	0.21	0.06	0.00	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	68.50	1.70	79.30	4.90	532.00	83.00	68.50	1.70	13.62	
SPB-L_Zm-13	2521.00	1332.00	0.53	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	64.30	1.40	67.70	3.20	191.00	41.00	64.30	1.40	5.02	
SPB-L_Zm-14	2008.00	482.00	0.24	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	65.80	1.40	66.80	3.00	214.00	44.00	65.80	1.40	1.50	

SPB-L_Zm-15	563.00	168.20	0.30	0.05	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	68.80	2.90	73.50	6.40	460.00	110.00	68.80	2.90	6.39
SPB-L_Zm-16	2030.00	1210.00	0.60	0.06	0.01	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.26	69.00	1.90	85.20	6.20	650.00	150.00	69.00	1.90	19.01
SPB-L_Zm-17	6770.00	1274.00	0.19	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	57.34	1.10	79.60	4.60	750.00	120.00	57.34	1.10	27.96
SPB-L_Zm-18	1257.00	170.90	0.14	0.05	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	66.40	1.40	69.00	5.00	252.00	69.00	66.40	1.40	3.77
SPB-L_Zm-19	1227.00	174.00	0.14	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	68.20	1.80	68.30	4.70	265.00	70.00	68.20	1.80	0.15
SPB-L_Zm-20	1607.50	246.00	0.15	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	62.30	1.40	68.80	3.30	288.00	64.00	62.30	1.40	9.45
SPB-L_Zm-21	2190.00	494.00	0.23	0.05	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	64.90	1.40	75.90	3.90	433.00	58.00	64.90	1.40	14.49
SPB-L_Zm-22	987.00	396.00	0.40	0.05	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	70.30	3.30	81.20	7.80	457.00	94.00	70.30	3.30	13.42
SPB-L_Zm-23	1034.00	277.00	0.27	0.05	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	68.80	1.40	72.30	4.40	293.00	72.00	68.80	1.40	4.84
SPB-L_Zm-24	860.00	246.00	0.29	0.09	0.01	0.12	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.17	60.80	1.80	109.00	12.00	1270.00	180.00	60.80	1.80	44.22
SPB-L_Zm-25	603.20	520.00	0.86	0.20	0.02	0.17	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.07	41.90	2.60	160.00	16.00	2840.00	120.00	41.90	2.60	73.81

**CORRECTED RATIOS<sup>2</sup>**

**CORRECTED AGES (Ma)**

Spot name	U	Th	Th/U	<sup>207</sup> Pb/		<sup>207</sup> Pb/		<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>208</sup> Pb/		Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>2</sup>		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup>		Best age (Ma)	Disc %	
	(ppm) <sup>1</sup>	(ppm) <sup>1</sup>		<sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>38</sup> U	±2s abs	<sup>232</sup> Th	±2s abs		<sup>38</sup> U	±2s	<sup>35</sup> U	±2s	Pb	±2s			
<i>Sample: SPB-O</i>																					
SPB-O_Zm-01	460.00	335.00	0.73	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	33.90	1.50	35.80	6.00	740.00	170.00	33.90	1.50	5.31
SPB-O_Zm-02	93.90	50.30	0.54	0.50	0.06	0.76	0.10	0.01	0.00	0.03	0.00	0.57	72.20	6.20	566.00	58.00	4240.00	110.00	72.20	6.20	87.24
SPB-O_Zm-03	369.00	287.00	0.78	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	33.00	2.00	38.60	7.60	660.00	180.00	33.00	2.00	14.51
SPB-O_Zm-04	381.00	387.00	1.02	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.15	34.20	1.70	36.60	5.50	710.00	150.00	34.20	1.70	6.56
SPB-O_Zm-05	860.00	399.00	0.46	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	32.40	1.50	36.80	4.60	570.00	120.00	32.40	1.50	11.96
SPB-O_Zm-06	443.00	449.00	1.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.20	34.80	1.60	34.90	6.50	650.00	160.00	34.80	1.60	0.29
SPB-O_Zm-07	327.00	252.00	0.77	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	32.80	1.50	42.00	7.70	1020.00	190.00	32.80	1.50	21.90
SPB-O_Zm-08	738.00	630.00	0.85	0.09	0.01	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	34.50	1.20	66.40	6.00	1440.00	120.00	34.50	1.20	48.04
SPB-O_Zm-09	340.00	310.00	0.91	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	31.20	2.20	39.60	8.10	880.00	160.00	31.20	2.20	21.21
SPB-O_Zm-10	257.00	331.00	1.29	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	34.30	2.30	34.10	5.50	610.00	150.00	34.30	2.30	-0.59
SPB-O_Zm-11	1026.00	479.00	0.47	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.12	32.08	0.88	34.30	3.90	440.00	130.00	32.08	0.88	6.47
SPB-O_Zm-12	414.00	327.00	0.79	0.07	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.53	32.70	3.00	49.00	16.00	910.00	320.00	32.70	3.00	33.27
SPB-O_Zm-13	340.00	257.00	0.76	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.34	32.90	1.90	40.60	6.00	890.00	180.00	32.90	1.90	18.97
SPB-O_Zm-14	183.80	150.20	0.82	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	32.40	2.20	42.10	7.50	960.00	140.00	32.40	2.20	23.04
SPB-O_Zm-15	117.40	69.80	0.59	0.09	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.03	32.30	2.90	60.00	12.00	1650.00	270.00	32.30	2.90	46.17
SPB-O_Zm-16	280.00	246.00	0.88	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.45	33.70	1.60	44.90	7.80	930.00	150.00	33.70	1.60	24.94
SPB-O_Zm-17	178.70	156.70	0.88	0.08	0.03	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	34.10	3.50	64.00	17.00	1470.00	320.00	34.10	3.50	46.72
SPB-O_Zm-18	990.00	539.00	0.54	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	33.40	1.10	33.80	3.60	490.00	110.00	33.40	1.10	1.18
SPB-O_Zm-19	285.00	214.60	0.75	0.08	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.49	37.00	4.30	59.00	11.00	1060.00	250.00	37.00	4.30	37.29
SPB-O_Zm-20	358.00	218.00	0.61	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	29.00	1.10	31.10	4.80	690.00	140.00	29.00	1.10	6.75
SPB-O_Zm-21	175.70	106.90	0.61	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	35.40	2.20	50.00	8.90	1060.00	190.00	35.40	2.20	29.20
SPB-O_Zm-22	322.60	298.00	0.92	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.26	33.80	1.50	36.80	7.00	760.00	190.00	33.80	1.50	8.15
SPB-O_Zm-23	1055.00	583.00	0.55	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	32.40	0.92	37.00	3.70	470.00	120.00	32.40	0.92	12.43
SPB-O_Zm-24	579.70	538.70	0.93	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	32.20	1.30	34.70	5.30	500.00	120.00	32.20	1.30	7.20
SPB-O_Zm-25	455.00	350.00	0.77	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	29.60	1.40	38.00	6.40	840.00	150.00	29.60	1.40	22.11
SPB-O_Zm-26	271.00	926.00	3.42	0.39	0.06	0.52	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.76	59.50	6.40	419.00	76.00	3840.00	200.00	59.50	6.40	85.80
SPB-O_Zm-27	926.00	720.00	0.78	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	32.20	1.10	35.60	4.30	380.00	100.00	32.20	1.10	9.55
SPB-O_Zm-28	282.00	296.10	1.05	0.13	0.02	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16	35.90	2.20	90.90	9.80	2060.00	150.00	35.90	2.20	60.51

SPB-O_Zm-29	372.60	227.20	0.61	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	35.00	1.80	44.20	7.20	840.00	150.00	35.00	1.80	20.81
SPB-O_Zm-30	205.40	225.00	1.10	0.10	0.03	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.14	33.90	2.70	68.00	20.00	1980.00	350.00	33.90	2.70	50.15
SPB-O_Zm-31	424.00	315.00	0.74	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	33.50	1.70	37.00	4.90	680.00	140.00	33.50	1.70	9.46
SPB-O_Zm-32	1170.00	608.00	0.52	0.05	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.12	34.20	1.20	37.10	3.80	460.00	130.00	34.20	1.20	7.82
SPB-O_Zm-33	307.00	234.10	0.76	0.06	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	32.10	1.90	38.60	5.70	820.00	140.00	32.10	1.90	16.84
SPB-O_Zm-34	569.00	552.00	0.97	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.08	33.10	2.00	40.60	5.90	520.00	160.00	33.10	2.00	18.47
SPB-O_Zm-35	240.00	182.40	0.76	0.40	0.04	0.49	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00	0.13	57.70	5.50	403.00	35.00	3930.00	120.00	57.70	5.50	85.68



**Anexo 5. Contenido de radioelementos, relaciones de elementos y valores de producción de calor.**

ID	Point	Coordinates		Radioelements measurements (In-situ Gamma ray)			Th/U	K/U (x10-4)	Rock Type	Density (kgm <sup>3</sup> )	Heat production (μW m <sup>-3</sup> )	Litostratigraphic unit
		X	Y	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)						
100	USPB4	-105.4869	24.968819	4.8	10.2	3.1	2.125	0.000065	Ash flow tuff	2461.33	2.03	Garame Group
81	USP67	-105.4812	24.972702	6.80	9.70	4.40	1.426	0.000065	Limestone	2609.91	2.74	Garame Group
68	USP54	-105.5253	24.986643	3.30	9.40	4.00	2.848	0.000121	Lithic ignimbrite	2330.01	1.62	Garame Group
70	USP56	-105.5238	24.979462	6.50	8.00	3.40	1.231	0.000052	Quartz vein	2449.40	2.31	Garame Group
69	USP55	-105.5417	24.974102	4.50	7.50	3.30	1.667	0.000073	Sandstone	2550.65	1.88	Garame Group
83	USP69	-105.4860	24.968210	2.60	6.00	3.14	2.308	0.000121	Sandstone	2550.65	1.30	Garame Group
84	USP6b	-105.4882	24.967153	8.30	27.20	3.70	3.277	0.000045	Sandstone	2550.65	4.12	Garame Group
86	USP71	-105.5246	24.965385	1255.00	316.00	10.20	0.252	0.000001	Sandstone	2550.65	326.28	Garame Group
87	USP71b	-105.5246	24.965385	62.60	6.90	4.60	0.110	0.000007	Sandstone	2550.65	16.06	Garame Group
97	USPB1	-105.4930	24.965224	3	7.3	2.9	2.433	0.000097	Sandstone	2550.65	1.46	Garame Group
107	USPB11	-105.5215	24.967479	5.7	7.8	3.8	1.368	0.000067	Sandstone	2550.65	2.23	Garame Group
82	USP68	-105.4831	24.971994	3.90	12.00	3.00	3.077	0.000077	Sandstone and ash flow tuff	2550.70	2.00	Garame Group
85	USP70	-105.5013	24.969882	4.50	4.20	3.50	0.933	0.000078	Sandstone and ash flow tuff	2550.70	1.68	Garame Group
99	USPB3	-105.4891	24.967144	3.8	9.9	3.9	2.605	0.000103	Shales and sandstone	2550.70	1.92	Garame Group
101	USPB5	-105.5246	24.965385	142	8	5.1	0.056	0.000004	Shales and sandstone	2550.70	35.46	Garame Group
102	USPB6	-105.5246	24.965385	27.5	8.3	4.9	0.302	0.000018	Shales and sandstone	2550.70	7.65	Garame Group
103	USPB7	-105.5246	24.965385	14.8	8.2	5.4	0.554	0.000036	Shales and sandstone	2550.70	4.61	Garame Group
104	USPB8	-105.5246	24.965385	42.4	9.2	4.7	0.217	0.000011	Shales and sandstone	2550.70	11.31	Garame Group
105	USPB9	-105.5246	24.965385	717.9	18.2	7.4	0.025	0.000001	Shales and sandstone	2550.70	176.17	Garame Group
98	USPB2	-105.4926	24.965013	7	9	4	1.286	0.000057	Siltstone	2550.70	2.64	Garame Group
106	USPB10	-105.5234	24.968749	3.2	11.5	4.7	3.594	0.000147	Siltstone	2550.70	1.95	Garame Group
165	USPB67	-105.1591	24.785463	3.6	15.7	3.5	4.361	0.000097	Granodiorite	2589.42	2.24	Late Cretaceous Granodiorite
166	USPB68	-105.1591	24.785463	3.1	15.5	3.7	5.000	0.000119	Granodiorite	2589.42	2.13	Late Cretaceous Granodiorite
167	USPB69	-105.1591	24.785463	5.4	9.6	3	1.778	0.000056	Granodiorite	2589.42	2.24	Late Cretaceous Granodiorite
15	USP9b	-105.5257	25.089110	5.00	18.20	2.20	3.640	0.000044	Andesite	2484.50	2.53	Volcanosedimentary succession
16	USP10a	-105.5257	25.089110	4.60	16.20	3.10	3.522	0.000067	Andesite	2484.50	2.39	Volcanosedimentary succession
62	USP48	-105.3206	25.257204	3.40	12.50	2.90	3.676	0.000085	Andesite	2484.50	1.85	Volcanosedimentary succession
71	USP57	-105.4626	24.953382	4.10	10.90	3.70	2.659	0.000090	Andesite	2484.50	1.98	Volcanosedimentary succession

72	USP58	-105.4288	24.748475	3.60	15.60	3.20	4.333	0.000089	Andesite	2484.50	2.12	Volcanosedimentary succession
89	USP73	-105.4349	24.728565	4.30	14.20	3.10	3.302	0.000072	Andesite	2484.50	2.19	Volcanosedimentary succession
121	USPB25	-105.4348	24.728684	3.9	12.2	3	3.128	0.000077	Andesite	2484.50	1.96	Volcanosedimentary succession
122	USPB26	-105.4218	24.737453	3.4	10.9	1.6	3.206	0.000047	Andesite	2484.50	1.64	Volcanosedimentary succession
135	USPB39	-105.7824	25.284170	4.6	11.9	7.3	2.587	0.000159	Andesite	2484.50	2.48	Volcanosedimentary succession
136	USPB40	-105.7824	25.284170	6.8	11.9	6.5	1.750	0.000096	Andesite	2484.50	2.93	Volcanosedimentary succession
137	USPB41	-105.7824	25.284170	4.3	11.8	13.8	2.744	0.000321	Andesite	2484.50	2.96	Volcanosedimentary succession
157	USPB59	-105.5044	25.062626	2	7.4	1.5	3.700	0.000075	Andesite	2484.50	1.07	Volcanosedimentary succession
158	USPB60	-105.5044	25.062626	3.5	7.3	1.9	2.086	0.000054	Andesite	2484.50	1.46	Volcanosedimentary succession
171	USPB73	-105.2080	24.933200	10	32	4	3.200	0.000040	Andesite	2484.50	4.75	Volcanosedimentary succession
172	USPB74	-105.2080	24.933200	10.7	39.1	3.4	3.654	0.000032	Andesite	2484.50	5.31	Volcanosedimentary succession
173	USPB75	-105.2080	24.933200	12.3	32.3	4.1	2.626	0.000033	Andesite	2484.50	5.32	Volcanosedimentary succession
49	USP35b	-105.5433	25.069759	9.40	34.80	4.60	3.702	0.000049	Andesite	2484.50	4.83	Volcanosedimentary succession
50	USP36	-105.5433	25.069759	11.10	41.70	4.10	3.757	0.000037	Andesite	2484.50	5.63	Volcanosedimentary succession
77	USP63	-105.4201	24.761869	8.70	30.00	5.30	3.448	0.000061	Ash flow tuff	2461.33	4.38	Volcanosedimentary succession
73	USP59	-105.4259	24.700704	18.90	11.70	2.50	0.619	0.000013	Conglomerate	2367.70	5.18	Volcanosedimentary succession
75	USP61	-105.4201	24.761869	4.80	14.80	2.60	3.083	0.000054	Conglomerate	2367.70	2.19	Volcanosedimentary succession
76	USP62	-105.4201	24.761869	4.30	16.80	1.10	3.907	0.000026	Conglomerate	2367.70	2.08	Volcanosedimentary succession
88	USP72	-105.4223	24.741917	2.90	9.90	2.50	3.414	0.000086	Conglomerate	2367.70	1.46	Volcanosedimentary succession
67	USP53	-105.4954	24.999753	6.90	19.90	3.10	2.884	0.000045	Conglomerates and sandstones	2367.70	3.02	Volcanosedimentary succession
110	USPB14	-105.5217	25.062961	6.5	16.6	2.8	2.554	0.000043	Conglomerates and sandstones	2367.70	2.70	Volcanosedimentary succession
51	USP37	-105.5470	25.071745	15.70	52.30	5.60	3.331	0.000036	Dacite	2438.90	7.39	Volcanosedimentary succession
53	USP39	-105.5372	25.065813	10.90	35.60	1.10	3.266	0.000010	Dacite	2438.90	4.85	Volcanosedimentary succession
52	USP38	-105.5376	25.066344	15.60	42.40	5.60	2.718	0.000036	Felsic lava	2438.90	6.74	Volcanosedimentary succession
47	USP34b	-105.5085	25.051641	5.20	17.50	2.50	3.365	0.000048	Ignimbrite	2330.01	2.40	Volcanosedimentary succession
117	USPB21	-105.4665	24.704371	2.5	12.8	2.5	5.120	0.000100	Ignimbrite	2330.01	1.52	Volcanosedimentary succession
116	USPB20	-105.4665	24.704371	2.6	14.4	1.7	5.538	0.000065	Lithic ignimbrite	2330.01	1.57	Volcanosedimentary succession
119	USPB23	-105.4470	24.718800	3.4	8.5	3	2.500	0.000088	Lithic ignimbrite	2330.01	1.50	Volcanosedimentary succession
161	USPB63	-105.5064	25.064410	6.9	15.4	3.2	2.232	0.000046	Lithic ignimbrite	2330.01	2.71	Volcanosedimentary succession
162	USPB64	-105.5064	25.064410	5.6	14.8	3.6	2.643	0.000064	Lithic ignimbrite	2330.01	2.42	Volcanosedimentary succession
163	USPB65	-105.5064	25.064410	5.7	17.7	3.7	3.105	0.000065	Lithic ignimbrite	2330.01	2.62	Volcanosedimentary succession
156	USPB58	-105.5285	25.088336	4.1	15.8	2.9	3.854	0.000071	Peperites	2367.70	2.12	Volcanosedimentary succession

43	USP32	-105.5015	25.039724	2.40	5.60	2.50	2.333	0.000104	Pyroclastic breccia	2367.70	1.09	Volcanosedimentary succession
45	USP33	-105.5037	25.042697	5.00	21.70	4.20	4.340	0.000084	Pyroclastic breccia	2367.70	2.79	Volcanosedimentary succession
123	USPB27	-105.4223	24.741721	2.6	7.9	2.3	3.038	0.000088	Pyroclastic breccia	2367.70	1.25	Volcanosedimentary succession
124	USPB28	-105.4223	24.741721	3.4	13.1	2.6	3.853	0.000076	Pyroclastic breccia	2367.70	1.77	Volcanosedimentary succession
125	USPB29	-105.4223	24.741721	3.5	2.7	0.4	0.771	0.000011	Pyroclastic breccia	2367.70	0.99	Volcanosedimentary succession
54	USP40	-105.5368	25.065992	6.30	31.30	6.20	4.968	0.000098	Rhyolite	2438.90	3.94	Volcanosedimentary succession
90	USP74	-105.4657	24.706895	2.80	10.40	2.60	3.714	0.000093	Rhyolite	2438.90	1.52	Volcanosedimentary succession
118	USPB22	-105.4657	24.706446	3.8	8	2.4	2.105	0.000063	Rhyolite	2438.90	1.59	Volcanosedimentary succession
44	USP32b	-105.5037	25.042697	2.60	7.90	2.10	3.038	0.000081	Sandstone	2550.65	1.33	Volcanosedimentary succession
48	USP35	-105.5248	25.061357	5.70	25.40	3.10	4.456	0.000054	Sandstone	2550.65	3.32	Volcanosedimentary succession
74	USP60	-105.4263	24.752275	2.40	7.70	2.70	3.208	0.000113	Sandstone	2550.65	1.33	Volcanosedimentary succession
108	USPB12	-105.5080	25.051093	3.1	7.7	2	2.484	0.000065	Sandstone	2550.65	1.43	Volcanosedimentary succession
159	USPB61	-105.5064	25.064410	2.7	10.2	2.3	3.778	0.000085	Sandstone	2550.65	1.53	Volcanosedimentary succession
160	USPB62	-105.5064	25.064410	3.4	7.2	2.5	2.118	0.000074	Sandstone	2550.65	1.52	Volcanosedimentary succession
109	USPB13	-105.5254	25.060877	7.9	18.9	2.8	2.392	0.000035	Volcaniclastic deposit	2550.70	3.40	Volcanosedimentary succession
63	USP49	-105.3183	25.267215	4.20	24.00	5.20	5.714	0.000124	Diorite	2589.42	3.09	Eocene Diorite
19	USP11b	-105.5535	25.148025	4.10	12.20	1.90	2.976	0.000046	Granodiorite	2589.42	1.99	Eocene Diorite
20	USP12	-105.5535	25.148025	8.20	15.70	4.10	1.915	0.000050	Granodiorite	2589.42	3.43	Eocene Diorite
65	USP51	-105.2993	25.278646	8.10	27.80	3.30	3.432	0.000041	Intermediate intrusion	2589.42	4.14	Eocene Diorite
25	USP16	-105.5911	25.266017	7.10	16.30	5.30	2.296	0.000075	Ash flow tuff	2461.33	3.14	Pyroclastic succession
27	USP18a	-105.2323	25.189832	4.90	12.80	3.00	2.612	0.000061	Ash flow tuff	2461.33	2.21	Pyroclastic succession
58	USP44	-105.7790	25.046465	3.40	14.00	7.60	4.118	0.000224	Ash flow tuff	2461.33	2.33	Pyroclastic succession
59	USP45	-105.7778	25.046704	4.40	16.00	4.30	3.636	0.000098	Ash flow tuff	2461.33	2.41	Pyroclastic succession
80	USP66	-105.3739	24.797284	3.30	6.90	1.20	2.091	0.000036	Ash flow tuff	2461.33	1.31	Pyroclastic succession
94	USP79	-105.6392	24.867915	5.10	15.80	4.80	3.098	0.000094	Ash flow tuff	2461.33	2.60	Pyroclastic succession
141	USPB44	-105.6583	25.059681	6.6	32.2	5.8	4.879	0.000088	Ash flow tuff	2461.33	4.07	Pyroclastic succession
142	USPB45	-105.6583	25.059681	6.7	22.8	5.2	3.403	0.000078	Ash flow tuff	2461.33	3.45	Pyroclastic succession
143	USPB46	-105.6583	25.059681	5.3	31.1	5.4	5.868	0.000102	Ash flow tuff	2461.33	3.66	Pyroclastic succession
144	USPB47	-105.6615	25.056546	3.9	17.4	3	4.462	0.000077	Ash flow tuff	2461.33	2.27	Pyroclastic succession
145	USPB48	-105.6615	25.056546	4.5	18.3	3.3	4.067	0.000073	Ash flow tuff	2461.33	2.49	Pyroclastic succession
146	USPB49	-105.6615	25.056546	4.7	14.6	3.8	3.106	0.000081	Ash flow tuff	2461.33	2.35	Pyroclastic succession
150	USPB53	-105.7777	25.046560	4.6	24.1	5.1	5.239	0.000111	Ash flow tuff	2461.33	3.03	Pyroclastic succession

151	USPB54	-105.7777	25.046560	4.1	22.5	7	5.488	0.000171	Ash flow tuff	2461.33	2.98	Pyroclastic succession
152	USPB54B	-105.7777	25.046560	3.2	19.2	5.9	6.000	0.000184	Ash flow tuff	2461.33	2.46	Pyroclastic succession
164	USPB66	-105.4051	24.896393	7.3	28.6	6.7	3.918	0.000092	Ash flow tuff	2461.33	4.09	Pyroclastic succession
174	USPB76	-105.2183	24.912140	7.8	26.3	4.1	3.372	0.000053	Ash flow tuff	2461.33	3.84	Pyroclastic succession
175	USPB77	-105.2183	24.912140	8.9	28.5	5.2	3.202	0.000058	Ash flow tuff	2461.33	4.33	Pyroclastic succession
176	USPB78	-105.2183	24.912140	9.9	26.1	5.7	2.636	0.000058	Ash flow tuff	2461.33	4.45	Pyroclastic succession
177	USPB79	-105.6224	25.319502	4.2	15.8	6.2	3.762	0.000148	Ash flow tuff	2461.33	2.51	Pyroclastic succession
178	USPB80	-105.6224	25.319502	5.6	15	7.2	2.679	0.000129	Ash flow tuff	2461.33	2.87	Pyroclastic succession
179	USPB81	-105.6224	25.319502	5.5	13.7	6	2.491	0.000109	Ash flow tuff	2461.33	2.67	Pyroclastic succession
64	USP50	-105.3148	25.284420	6.70	12.10	4.00	1.806	0.000060	Biotite-bearing ignimbrite	2330.01	2.53	Pyroclastic succession
115	USPB19	-105.4517	25.232571	2.5	15.3	3	6.120	0.000120	Biotite-bearing ignimbrite	2330.01	1.71	Pyroclastic succession
120	USPB24	-105.4501	24.718799	4.2	8.8	2.3	2.095	0.000055	Biotite-bearing ignimbrite	2330.01	1.64	Pyroclastic succession
192	USPB93	-105.2997	25.062902	11.8	20.2	2.2	1.712	0.000019	Conglomerates and sandstones	2367.70	4.07	Pyroclastic succession
193	USPB94	-105.2997	25.062902	15.4	24.1	4	1.565	0.000026	Conglomerates and sandstones	2367.70	5.26	Pyroclastic succession
194	USPB95	-105.2997	25.062902	14.5	25.1	4.1	1.731	0.000028	Conglomerates and sandstones	2367.70	5.13	Pyroclastic succession
21	USP13	-105.5481	25.156931	6.00	17.10	5.60	2.850	0.000093	Crystal rich ignimbrite	2330.01	2.80	Pyroclastic succession
33	USP23	-105.1531	25.188210	5.50	9.10	1.70	1.655	0.000031	Crystal rich ignimbrite	2330.01	1.90	Pyroclastic succession
37	USP26	-105.1355	25.223872	6.40	21.30	4.10	3.328	0.000064	Crystal rich ignimbrite	2330.01	3.02	Pyroclastic succession
91	USP75	-105.4802	24.700385	10.80	44.60	4.20	4.130	0.000039	Crystal rich ignimbrite	2330.01	5.40	Pyroclastic succession
93	USP78	-105.6217	24.886390	5.00	12.50	3.60	2.500	0.000072	Crystal rich ignimbrite	2330.01	2.15	Pyroclastic succession
129	USPB33	-105.2849	25.411788	6.2	32.8	4.6	5.290	0.000074	Crystal rich ignimbrite	2330.01	3.70	Pyroclastic succession
130	USPB34	-105.2849	25.411788	9.5	36.5	5.1	3.842	0.000054	Crystal rich ignimbrite	2330.01	4.70	Pyroclastic succession
131	USPB35	-105.2849	25.411788	7.4	35.8	5	4.838	0.000068	Crystal rich ignimbrite	2330.01	4.18	Pyroclastic succession
183	USPB84	-105.8174	25.316750	4.5	20.6	3.9	4.578	0.000087	Crystal rich ignimbrite	2330.01	2.54	Pyroclastic succession
184	USPB85	-105.8174	25.316750	4.2	16.8	2.9	4.000	0.000069	Crystal rich ignimbrite	2330.01	2.17	Pyroclastic succession
185	USPB86	-105.8174	25.316750	5.7	18.9	2.7	3.316	0.000047	Crystal rich ignimbrite	2330.01	2.61	Pyroclastic succession
189	USPB90	-105.2840	24.713231	6.6	29.2	4.5	4.424	0.000068	Crystal rich ignimbrite	2330.01	3.57	Pyroclastic succession
190	USPB91	-105.2840	24.713231	6.3	24.5	4.7	3.889	0.000075	Crystal rich ignimbrite	2330.01	3.24	Pyroclastic succession
191	USPB92	-105.2840	24.713231	7	28.9	4.7	4.129	0.000067	Crystal rich ignimbrite	2330.01	3.66	Pyroclastic succession
139	USPB42B	-105.6433	25.070282	6.3	20.5	3.5	3.254	0.000056	Ignimbrite eutaxitica	2330.01	2.90	Pyroclastic succession
140	USPB43	-105.6433	25.070282	10.8	25.7	5.5	2.380	0.000051	Ignimbrite eutaxitica	2330.01	4.37	Pyroclastic succession
6	USP4a	-105.5808	25.116132	4.20	14.20	4.80	3.381	0.000114	Ignimbrite	2330.01	2.17	Pyroclastic succession

7	USP4b	-105.5808	25.116132	3.80	13.40	8.70	3.526	0.000229	Ignimbrite	2330.01	2.35	Pyroclastic succession
8	USP5a	-105.5994	25.083142	7.80	28.60	5.00	3.667	0.000064	Ignimbrite	2330.01	3.84	Pyroclastic succession
9	USP5b	-105.5994	25.083142	8.70	29.80	5.30	3.425	0.000061	Ignimbrite	2330.01	4.14	Pyroclastic succession
10	USP6	-105.6129	25.037211	7.20	27.10	3.80	3.764	0.000053	Ignimbrite	2330.01	3.52	Pyroclastic succession
11	USP7	-105.6129	25.037211	9.10	25.60	4.70	2.813	0.000052	Ignimbrite	2330.01	3.93	Pyroclastic succession
12	USP8a	-105.6333	25.079533	8.80	26.60	5.00	3.023	0.000057	Ignimbrite	2330.01	3.94	Pyroclastic succession
13	USP8b	-105.5980	25.091907	7.30	29.50	5.20	4.041	0.000071	Ignimbrite	2330.01	3.80	Pyroclastic succession
14	USP9a	-105.5980	25.091907	4.50	12.80	2.00	2.844	0.000044	Ignimbrite	2330.01	1.92	Pyroclastic succession
26	USP17	-105.4493	25.178766	4.60	25.00	4.20	5.435	0.000091	Ignimbrite	2330.01	2.85	Pyroclastic succession
38	USP27	-105.1385	25.212806	5.60	18.90	5.10	3.375	0.000091	Ignimbrite	2330.01	2.78	Pyroclastic succession
40	USP29	-105.3512	25.060562	4.50	11.70	3.20	2.600	0.000071	Ignimbrite	2330.01	1.96	Pyroclastic succession
57	USP43	-105.7890	25.054941	3.60	19.70	4.60	5.472	0.000128	Ignimbrite	2330.01	2.35	Pyroclastic succession
66	USP52	-105.4879	25.004912	2.80	14.80	2.10	5.286	0.000075	Ignimbrite	2330.01	1.67	Pyroclastic succession
78	USP64	-105.3972	24.773852	6.90	19.40	2.40	2.812	0.000035	Ignimbrite	2330.01	2.88	Pyroclastic succession
79	USP65	-105.3727	24.797376	8.60	26.50	4.90	3.081	0.000057	Ignimbrite	2330.01	3.89	Pyroclastic succession
92	USP77	-105.2784	25.005631	7.40	15.30	3.20	2.068	0.000043	Ignimbrite	2330.01	2.81	Pyroclastic succession
95	USP80	-105.6346	24.870604	4.40	19.00	5.10	4.318	0.000116	Ignimbrite	2330.01	2.52	Pyroclastic succession
96	USP81	-105.5688	24.933174	5.30	20.60	5.30	3.887	0.000100	Ignimbrite	2330.10	2.83	Pyroclastic succession
138	USPB42	-105.6433	25.070282	8.9	18.1	3.5	2.034	0.000039	Ignimbrite	2330.01	3.34	Pyroclastic succession
153	USPB55	-105.5932	25.098835	8.1	32.7	6.2	4.037	0.000077	Ignimbrite	2330.01	4.25	Pyroclastic succession
154	USPB56	-105.5932	25.098835	8.6	31.3	5.6	3.640	0.000065	Ignimbrite	2330.01	4.23	Pyroclastic succession
155	USPB57	-105.5932	25.098835	8.4	31.6	6	3.762	0.000071	Ignimbrite	2330.01	4.23	Pyroclastic succession
168	USPB70	-105.1908	24.936191	7.3	22.8	3.8	3.123	0.000052	Ignimbrite	2330.01	3.29	Pyroclastic succession
169	USPB71	-105.1908	24.936191	6.2	23.2	4.1	3.742	0.000066	Ignimbrite	2330.01	3.09	Pyroclastic succession
170	USPB72	-105.1908	24.936191	5.6	25	4.8	4.464	0.000086	Ignimbrite	2330.01	3.12	Pyroclastic succession
180	USPB82	-105.2787	25.275257	7.4	16.5	5.4	2.230	0.000073	Ignimbrite	2330.01	3.06	Pyroclastic succession
181	USPB83	-105.2787	25.275257	6.6	19.7	5.9	2.985	0.000089	Ignimbrite	2330.01	3.12	Pyroclastic succession
182	USPB83B	-105.2787	25.275257	4.8	18.3	5	3.813	0.000104	Ignimbrite	2330.01	2.56	Pyroclastic succession
3	USP2	-105.3032	25.059749	8.40	16.80	4.20	2.000	0.000050	Lithic ignimbrite	2330.01	3.21	Pyroclastic succession
4	USP2b	-105.3032	25.059749	15.40	24.40	4.80	1.584	0.000031	Lithic ignimbrite	2330.01	5.26	Pyroclastic succession
5	USP3	-105.3032	25.059650	8.70	27.10	4.10	3.115	0.000047	Lithic ignimbrite	2330.01	3.88	Pyroclastic succession
32	USP22	-105.1622	25.178275	9.50	27.30	3.90	2.874	0.000041	Lithic ignimbrite	2330.01	4.05	Pyroclastic succession

112	USPB16	-105.4487	25.222402	8.5	36.1	1.9	4.247	0.000022	Lithic ignimbrite	2330.01	4.19	Pyroclastic succession
113	USPB17	-105.4487	25.222402	5.2	40.7	1.7	7.827	0.000033	Lithic ignimbrite	2330.01	3.72	Pyroclastic succession
114	USPB18	-105.4487	25.222402	8.9	23.5	5.2	2.640	0.000058	Lithic ignimbrite	2330.01	3.80	Pyroclastic succession
31	USP21	-105.3143	24.990784	5.50	29.10	6.10	5.291	0.000111	Rhyolite	2438.90	3.61	Pyroclastic succession
1	USP1a	-105.3018	25.061333	7.40	21.50	2.20	2.905	0.000030	Sandstone	2550.65	3.40	Pyroclastic succession
2	USP1b	-105.3018	25.061333	15.10	21.00	4.20	1.391	0.000028	Sandstone	2550.65	5.41	Pyroclastic succession
34	USP24a	-105.1485	25.203468	9.00	20.90	7.80	2.322	0.000087	Sandstone	2550.65	4.24	Pyroclastic succession
55	USP41	-105.8104	25.052550	8.90	27.20	5.20	3.056	0.000058	Reomophic ignimbrite	2330.01	4.02	Rhyolite lavas and domes
22	USP14a	-105.5794	25.238755	6.00	16.30	5.40	2.717	0.000090	Rhyolite	2438.90	2.87	Rhyolite lavas and domes
23	USP14b	-105.5938	25.249715	6.90	15.00	5.50	2.174	0.000080	Rhyolite	2438.90	3.01	Rhyolite lavas and domes
24	USP15	-105.5938	25.249715	5.40	12.90	4.80	2.389	0.000089	Rhyolite	2438.90	2.47	Rhyolite lavas and domes
28	USP18b	-105.3203	25.241576	6.10	14.00	4.00	2.295	0.000066	Rhyolite	2438.90	2.63	Rhyolite lavas and domes
29	USP19	-105.3203	25.241576	4.40	15.10	4.70	3.432	0.000107	Rhyolite	2438.90	2.36	Rhyolite lavas and domes
35	USP24b	-105.1373	25.216329	9.50	16.40	6.80	1.726	0.000072	Rhyolite	2438.90	3.81	Rhyolite lavas and domes
36	USP25	-105.1373	25.216329	12.30	25.80	8.90	2.098	0.000072	Rhyolite	2438.90	5.22	Rhyolite lavas and domes
60	USP46	-105.2882	25.129803	5.10	11.30	3.10	2.216	0.000061	Rhyolite	2438.90	2.15	Rhyolite lavas and domes
61	USP47	-105.3201	25.246667	3.16	8.50	2.70	2.690	0.000085	Rhyolite	2438.90	1.49	Rhyolite lavas and domes
111	USPB15	-105.4482	25.221612	4.7	14.5	4.1	3.085	0.000087	Rhyolite	2438.90	2.34	Rhyolite lavas and domes
126	USPB30	-105.2849	25.128143	5.3	16.7	4.7	3.151	0.000089	Rhyolite	2438.90	2.67	Rhyolite lavas and domes
127	USPB31	-105.2849	25.128143	3.9	14.9	3.9	3.821	0.000100	Rhyolite	2438.90	2.17	Rhyolite lavas and domes
128	USPB32	-105.2849	25.128143	4.3	18.2	5.9	4.233	0.000137	Rhyolite	2438.90	2.64	Rhyolite lavas and domes
132	USPB36	-105.6740	25.444766	11.6	20.8	3.5	1.793	0.000030	Rhyolite	2438.90	4.29	Rhyolite lavas and domes
133	USPB37	-105.6740	25.444766	7.8	18.4	3.7	2.359	0.000047	Rhyolite	2438.90	3.27	Rhyolite lavas and domes
134	USPB38	-105.6740	25.444766	10	17.5	3.6	1.750	0.000036	Rhyolite	2438.90	3.72	Rhyolite lavas and domes
147	USPB50	-105.8094	25.058869	8	30.7	5.8	3.838	0.000073	Rhyolite	2438.90	4.27	Rhyolite lavas and domes
148	USPB51	-105.8094	25.058869	8.7	35.5	6.3	4.080	0.000072	Rhyolite	2438.90	4.77	Rhyolite lavas and domes
149	USPB52	-105.8094	25.058869	9.9	36.6	6.2	3.697	0.000063	Rhyolite	2438.90	5.11	Rhyolite lavas and domes
56	USP42	-105.8037	25.060255	12.40	35.60	6.30	2.871	0.000051	Vitrophyre	2291.70	5.30	Rhyolite lavas and domes
186	USPB87	-105.2382	24.701540	8.2	29.6	6.3	3.610	0.000077	Aluvial deposit	2550.65	4.48	Papasquiario Fm.
187	USPB88	-105.2382	24.701540	7.2	29.2	5.1	4.056	0.000071	Aluvial deposit	2550.65	4.11	Papasquiario Fm.
188	USPB89	-105.2382	24.701540	7.8	25.8	5.5	3.308	0.000071	Aluvial deposit	2550.65	4.07	Papasquiario Fm.
41	USP30	-105.3927	25.037650	4.40	12.10	3.00	2.750	0.000068	Conglomerate	2367.70	1.97	Papasquiario Fm.

42	USP31	-105.3924	25.038147	2.50	5.60	2.40	2.240	0.000096	Conglomerate	2367.70	1.10	Papasquiaro Fm.
46	USP34	-105.4438	25.041434	3.10	8.70	1.90	2.806	0.000061	Conglomerate	2367.70	1.38	Papasquiaro Fm.
17	USP10b	-105.4548	25.052923	5.20	13.80	3.40	2.654	0.000065	Conglomerates and sandstones	2367.70	2.29	Papasquiaro Fm.
18	USP11a	-105.4548	25.052923	4.40	8.90	2.10	2.023	0.000048	Conglomerates and sandstones	2367.70	1.70	Papasquiaro Fm.
39	USP28	-104.7776	24.536606	5.70	21.40	4.30	3.754	0.000075	Conglomerates and sandstones	2367.70	2.94	Papasquiaro Fm.
30	USP20	-105.3761	24.935569	6.00	23.20	4.70	3.867	0.000078	Sandstone	2550.65	3.39	Papasquiaro Fm.
213	DM17	-105.8459	23.462398	5.40	21.70	3.70	4.019	0.000069	Granite	2544.30	3.05	SMO Granites
214	DM18	-105.8390	23.442663	7.00	19.40	4.20	2.771	0.000060	Granite	2544.30	3.33	SMO Granites
215	DM19	-105.8904	23.416553	7.70	29.50	5.90	3.831	0.000077	Granite	2544.30	4.31	SMO Granites
218	DM22A	-104.8663	21.122954	3.10	14.20	2.80	4.581	0.000090	Granite	2544.30	1.92	SMO Granites
219	DM22B	-104.8663	21.122954	3.60	15.30	3.00	4.250	0.000083	Granite	2544.30	2.13	SMO Granites
221	DM23	-104.1890	21.013124	3.90	14.40	3.90	3.692	0.000100	Granite	2544.30	2.23	SMO Granites
223	UPB1	-101.6995	22.523681	5.9	11	3.6	1.864	0.000061	Granite	2544.30	2.46	SMO Granites
224	UPB2	-101.6995	22.523681	6.1	10.2	4.5	1.672	0.000074	Granite	2544.30	2.54	SMO Granites
225	UPB3	-101.6995	22.523681	8.1	9.9	4.4	1.222	0.000054	Granite	2544.30	3.00	SMO Granites
216	DM20	-105.9854	23.326525	7.50	12.70	4.80	1.693	0.000064	Granodiorite	2589.42	3.12	SMO Granites
217	DM21	-106.1076	23.233354	4.30	11.60	2.50	2.698	0.000058	Granodiorite	2589.42	2.05	SMO Granites
226	ULT1	-102.1165	22.762317	3.8	22.6	4.4	5.947	0.000116	Granodiorite	2589.42	2.83	SMO Granites
227	ULT2	-102.1165	22.762317	6	21.9	4.2	3.650	0.000070	Granodiorite	2589.42	3.31	SMO Granites
228	ULT3	-102.1165	22.762317	5.3	30.8	4.8	5.811	0.000091	Granodiorite	2589.42	3.78	SMO Granites
199	DM4	-104.8987	23.973902	4.80	16.30	6.10	3.396	0.000127	ASh flow tuff	2461.33	2.67	SMO Ignimbrites
200	DM5	-105.0222	23.961176	5.60	22.40	5.40	4.000	0.000096	Ash flow tuff	2461.33	3.19	SMO Ignimbrites
201	DM6	-105.1446	23.921669	4.50	17.90	6.70	3.978	0.000149	Ash flow tuff	2461.33	2.76	SMO Ignimbrites
204	DM8	-105.2771	23.845559	3.50	12.10	3.30	3.457	0.000094	Ash flow tuff	2461.33	1.87	SMO Ignimbrites
205	DM9	-105.3095	23.826831	5.80	13.80	5.00	2.379	0.000086	Crystal rich ignimbrite	2330.01	2.52	SMO Ignimbrites
196	DM2A	-104.7143	24.061058	4.30	16.00	5.40	3.721	0.000126	Ignimbrite	2330.01	2.35	SMO Ignimbrites
198	DM3	-104.7838	23.999592	6.10	18.50	5.20	3.033	0.000085	Ignimbrite	2330.01	2.88	SMO Ignimbrites
208	DM12	-105.5594	23.737347	5.10	14.10	3.90	2.765	0.000076	Ignimbrite	2330.01	2.29	SMO Ignimbrites
209	DM13	-105.6610	23.615358	4.50	13.90	4.80	3.089	0.000107	Ignimbrite	2330.01	2.22	SMO Ignimbrites
220	DM24	-104.2248	21.020580	3.00	11.30	3.40	3.767	0.000113	Ignimbrite	2330.01	1.62	SMO Ignimbrites
222	USP76	-105.2900	24.006385	6.50	24.50	4.50	3.769	0.000069	Ignimbrite	2330.01	3.27	SMO Ignimbrites
197	DM2B	-104.7143	24.061058	6.00	15.50	5.30	2.583	0.000088	Lithic ignimbrite	2330.01	2.69	SMO Ignimbrites

212	DM16	-105.8217	23.486097	6.30	17.60	9.40	2.794	0.000149	Lithic ignimbrite	2330.01	3.21	SMO Ignimbrites
211	DM15	-105.8100	23.506030	2.30	7.20	2.60	3.130	0.000113	Sandstone	2550.70	1.26	SMO Ignimbrites
210	DM14	-105.7704	23.531474	0.90	2.40	1.60	2.667	0.000178	Felsic lava	2438.90	0.49	SMO Rhyolites
195	DM1	-104.6917	24.067404	7.20	18.50	6.40	2.569	0.000089	Rhyolite	2438.90	3.37	SMO Rhyolites
202	DM7A	-105.1954	23.870051	9.90	36.10	4.60	3.646	0.000046	Rhyolite	2438.90	4.94	SMO Rhyolites
203	DM7B	-105.1954	23.870051	6.80	35.40	8.80	5.206	0.000129	Rhyolite	2438.90	4.54	SMO Rhyolites
206	DM10	-105.5128	23.759861	4.50	12.50	5.40	2.778	0.000120	Rhyolite	2438.90	2.28	SMO Rhyolites
207	DM11	-105.5744	23.847715	3.70	12.50	4.10	3.378	0.000111	Rhyolite	2438.90	1.99	SMO Rhyolites
229	UEs1	-104.6436	24.774178	3.4	5.8	3.7	1.706	0.000109	Schist	2700	1.62	Santiaguillo Schist
230	UEs2	-104.6436	24.774178	2.9	2.9	1.2	1.000	0.000041	Schist	2700	1.06	Santiaguillo Schist
231	UEs3	-104.6436	24.774178	3.8	6	1	1.579	0.000026	Schist	2700	1.49	Santiaguillo Schist