



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES

UNIDAD MORELIA

ERUPCIONES PLINIANAS ASOCIADAS A LA
ACTIVIDAD POST-CALDERA DE LA PRIMAVERA,
JALISCO, MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

DOCTOR EN FILOSOFÍA (PH.D.),
EN EL ÁREA DE VULCANOLOGÍA

PRESENTA:

DELPHINE ROSELYNE NATHALIE SOURISSEAU

TUTOR:

DR. JOSÉ LUIS MACIAS VAZQUEZ

ESCUELA
NACIONAL
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

UNIDAD MORELIA

COMITÉ TUTORIAL:

DR. JOSÉ LUIS ARCE SALDANA
DR. GIOVANNI SOSA CEBALLOS

Morelia, Michoacán, MÉXICO, 2020

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

Delphine Roselyne Nathalie SOURISSEAU

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Delphine Roselyne Nathalie SOURISSEAU". The signature is fluid and cursive, with a distinct upward flourish at the end.

A ma famille qui a toujours cru en moi, qui m'a toujours aidé et encouragé à poursuivre mes études.

A mis amigos Zareth, Marcela y Erick que siempre me apoyaron.

A Francisco que ha estado a mi lado en los mejores y peores momentos del doctorado.

Agradezco a mi asesor, el Dr. José Luis Macias por haberme propuesto el proyecto de tesis doctoral y por todo el apoyo que me ha brindado durante el doctorado.

Gracias a mis sinodales, el Dr. José Luis Arce Saldaña y el Dr. Giovanni Sosa Ceballos, por tomarse el tiempo de revisar este trabajo y darme su opinión para mejorar el trabajo final.

Quiero agradecer a mis amigos Francisco, Zareth y Erick y profesores M.C. Felipe García Tenorio, Dr. Ricardo Saucedo, y Dr. Avellán por sus consejos y por su compañía durante mi trabajo de campo.

Agradezco a la Técnica Irma Fabiola Mendola López y a su alumno Omar López Arévalo por haberme ayudado en el laboratorio de partículas finas por realizar los análisis de granulometría. Gracias al Dr. Juan Pablo Bernal Uruchurtu por realizar los fechamientos U/Th. Muchas gracias a la M.C.G. Gabriela Solís por realizar los análisis de isótopos y al laboratorio ACTLABS por realizar los análisis químicos de elementos mayores y trazas. También quiero agradecer al M.C. Guillermo Cisneros para ayudarme a utilizar el software ArcGis.

Muchas gracias al Instituto de Geofísica de la UNAM-Unidad Michoacán, por darme acceso a un espacio de trabajo y por proporcionarme el material requerido para la realización de mi tesis doctoral.

Agradezco a CONACYT por la beca doctoral 591186 que me fue proporcionada durante mi estancia, así como a la Coordinación General de Estudios de Posgrado de la UNAM por el apoyo que me brindaron para financiar los gastos de congresos.

Quiero agradecer al financiamiento CONACyT-SENER 207032 del proyecto P15 del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIE-Geo) para financiar los gastos de campo, análisis químicos y fechamientos de este trabajo.

Mil gracias a la alumna Gaby Rocha por haber corregido la ortografía del escrito final.

Índice general

Índice de figuras	I
Índice de tablas	IX
Resumen	XV
Abstract	XVII
1 Introducción	1
§1.1 Localización del área de estudios	1
§1.2 Trabajos previos	1
§1.3 Planteamiento del trabajo	3
§1.4 Importancia del trabajo	3
§1.5 Objetivos	5
2 Marco tectónico y geológico del área de estudio	6
§2.1 Marco tectónico	6
§2.1.1 Sierra Madre Occidental	6
§2.1.2 Cinturón Volcánico Trans-Mexicano	7
§2.2 Marco geológico	9
§2.2.1 Basamento de La Primavera	9
§2.2.2 Subsuelo de La Primavera	10
§2.2.3 Evolución de La Primavera	12
§2.2.4 Química de los domos de La Primavera	16
§2.2.5 Estratigrafía piroclástica	17
3 Metodología	21

§3.1 Trabajo de gabinete	21
§3.1.1 Recopilación de información	21
§3.1.2 Modelos digitales y Sistemas de Información Geográfica	21
§3.2 Trabajo de campo	24
§3.3 Trabajo de laboratorio	25
§3.3.1 Granulometría	25
§3.3.2 Componentes	27
§3.3.3 Análisis químicos de rocas y minerales	28
3.3.3.1 Roca Total	29
3.3.3.2 Microsonda	30
§3.3.4 Fechamientos	30
3.3.4.1 U/Th en circones	30
3.3.4.2 Edades modelos	32
3.3.4.3 C^{14} en paleosuelo	33
3.3.4.4 Ar/Ar en sanidino, <i>groundmass</i> y vidrio	33
4 Resultados	34
§4.1 Fechamientos	34
§4.1.1 Edades isócronas	34
§4.1.2 Edades modelos	34
§4.1.3 C^{14} en paleosuelo	54
§4.1.4 Ar/Ar	54
§4.2 Fuentes de las erupciones	57
§4.2.1 Mapas de espesores	57
§4.2.2 Mapas de isopacas	60
§4.2.3 Mapas de isopletas	62
§4.3 Química	65
§4.3.1 Roca Total	65
4.3.1.1 Elementos mayores y menores	66
4.3.1.2 Elementos trazas	74
4.3.1.3 Elementos isótopos	88
§4.3.2 Microsonda	89
4.3.2.1 Promedio vidrio y Roca total	89

4.3.2.2 Vidrio	91
5 Discusión	93
§5.0.1 Componentes de las unidades piroclásticas	93
§5.0.2 Estratigrafía y fechamientos de las unidades eruptivas de La Primavera	99
5.0.2.1 uPC	102
5.0.2.2 uIT y uCT	102
5.0.2.3 Entre uCT y uPG	102
5.0.2.4 Encima de uPG	102
§5.0.3 Fuentes de las unidades piroclásticas	105
§5.0.4 Dinámica eruptiva de las erupciones post-caldera de La Primavera	107
§5.0.5 Geoquímica de los centros volcánicos, piroclastos y basamento de La Primavera	112
§5.1 Discusión: Geoquímica de los centros volcánicos, piroclastos y basamento de La Primavera	112
§5.1.1 Química de La Primavera	112
§5.1.2 Cámaras magmáticas debajo de La Primavera	113
§5.1.3 Génesis de los magmas de La Primavera	114
§5.1.4 Resurgencia e insurgencia magnéticas	122
§5.1.5 Evolución de La Primavera	126
5.1.5.1 Pre-caldera	126
5.1.5.2 Syn-caldera	126
5.1.5.3 Post-caldera e Intra-caldera	126
5.1.5.4 Post-caldera e Extra-caldera	130
5.1.5.5 Evolución de La Primavera	136
§5.1.6 Consideraciones sobre el peligro volcánico	139
§5.1.7 Trabajos futuros	141
6 Conclusiones	143
Bibliografía	158

ÍNDICE GENERAL

Apéndice A: Metodología	158
Apéndice B: Resultados	186

Índice de figuras

1.1	Ubicación y estructura regional de La Primavera en la parte oeste del CVTM. SMO: Sierra Madre Occidental; TZG: Graben de Tepic Zacoalco; CoG: Graben de Colima; ChG: Graben de Chapala; MG: Graben de Manzanillo	2
2.1	Profundidad del slab en subducción debajo de México (tomado de Ferrari et al., 2011).	7
2.2	Locación del perfil AA' obtenido con las estaciones sísmicas del experimento MARS (tomado de Ferrari et al., 2012).	8
2.3	Columna estratigráfica del pozo PR9 de La Primavera (modificado de Rosas-Elguera, 1997 [79]).	9
2.4	Mapa de la Sierra La Primavera con las edades de Mahood y Drake (1982 [56]).	13
2.5	Evolución de La Primavera según Mahood (1980b [51]).	14
2.6	Correlación de columnas de la actividad explosiva post-caldera (Walker et al., 1981 [95]).	18
2.7	Mapas de Isopacas de las erupciones B, D, E y J (Walker et al., 1981 [95]).	19
2.8	Mapas de Isopletas con promedio de los tres líticos más grandes de las erupciones B, D, E y J (Walker et al., 1981 [95]).	20
2.9	Fuentes de las erupciones B, D, E y J (Walker et al., 1981 [95]).	20
3.1	Carta topográfica INEGI del Complejo Volcánico La Primavera	22
3.2	En las imágenes A y B están los Modelos Digitales de Elevación del Complejo Volcánico La Primavera, mientras que en las imágenes C y D están los Modelos Digitales de Elevación sombreados del Complejo Volcánico La Primavera.	23
3.3	Anáglifos del Complejo Volcánico La Primavera.	23
3.4	Afloramientos y puntos visitados del Complejo Volcánico La Primavera . .	24

3.5 Ejemplo de hoja de granulometría del estudio	26
3.6 Juego de tamices (A) y microscopio estereoscópico Leica (B) utilizados durante la investigación.	27
3.7 Microscopio electrónico de barrido Hitachi Tabletop TM3030 (A) y microsonda electrónica JEOL JXA-8230 (B) utilizados durante la investigación.	28
3.8 Pulverizadora utilizada durante el estudio.	29
3.9 Circones en catodoluminiscencia de la muestra LPZ10.	31
3.10 Análisis de los datos de la muestra LPZ10.	31
3.11 Análisis de los datos de la muestra LPZ10.	32
4.1 Curvas de densidades y edades modelos (A-D) y isócronas (Abis-Dbis) de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: A) uM-1-3 (PMV3314D), B) uL-1 (LP15103H), C) uK-2-3 (PMV2215E) y D) uK-2 (LP15102F).	39
4.2 Isócronas y curvas de densidades de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: E) uI (LP15102D), F) uH-1 (LP15104K), G) uH-1 (LP15104J) y H) uG-2 (LP1513K).	40
4.3 Isócronas y curvas de densidades de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: I) uG (LP15102B), J) uF-2 (LP1513I), K) uD (LP15101C) y L) uC-2 (LP15101A).	41
4.4 Isócronas y curvas de densidades de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: M) uC-1 (LP1513G), N) uB-2 (LP1513F), O) uPG-2 (LPZ0) y P) uPC-1 (PMV14417C).	42
4.5 Isócronas de la muestra de Pómez Gigante uPG-2 (LPZ0).	43
4.6 Isócronas de la roca plutónica del Bloque Jalisco (PR9-2985).	44
4.7 Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades M-K: A) PMV3314D (uM-1-3), B) LP15103H (uL-1), C) PMV2215E (uK-2-3) y D) LP15102F (uK-2).	46
4.8 Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades I-G: E) LP15102D (uI), F) LP15104K (uH-1), G) LP15104J (uH-1) y H) LP1513K (uG-2).	47
4.9 Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades F-C: I) LP15102B (uG), J) LP1513I (uF-2), K) LP15101C (uD) y L) LP15101A (uC-2).	48

4.10 Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades F-C: M) LP1513G (uC-1), N) LP1513F (uB-2), O) LPZ0 (uPG-2) y P) PMV14417C (uPC-1).	49
4.11 Curvas de densidad de probabilidad de todas las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$	52
4.12 Curvas de probabilidad de todas las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$	53
4.13 Mapas de espesores de las unidades A-D: a) uA, b) uB, c) uC y d) uD. Las lineas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas.	58
4.14 Mapas de espesores de las unidades H, I y N: a) uH, b) uI y c) uN. Las lineas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas.	59
4.15 Mapas de isopacas de las unidades y subunidades: A) uE-2, B) uF-2, C) uG-2, D) uJ-3, E) uK-2, y F) uM-1-3. Las lineas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas. Modificado de Sourisseau et al. (2020 [88])	61
4.16 Mapas de isopletas de las unidades H y N: a) uH y b) uN. Las lineas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas.	63
4.17 Mapas de isopletas de las unidades: A) E-2, B) F-2, C) G-2, D) J-3, E) K-2, y F) M-1-3. Las lineas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas. Modificado de Sourisseau et al. (2020 [88]).	64
4.18 Muestras analizadas del basamento de La Primavera.	66
4.19 Símbolos utilizados para representar los análisis en roca total de los piroclastos de La Primavera.	67
4.20 Símbolos utilizados para representar los análisis en roca total de las lavas, domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera y un cono de escoria de Guadalajara.	68

4.21 Diagrama TAS de Le Bas et al. (1986 [6]) (A), diagrama de Peccerillo y Taylor (1976 [74]) (B) y diagrama de Shand (1943[84]) (C) con los piroclastos, domos, centros volcánicos y el basamento de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20. La línea roja muestra la transición entre los campos de rocas alcalinas y subalcalinas (modificado de Irvine and Baragar (1971 [34])).	71
4.22 Diagrama de tipo Harker mostrando los piroclastos, domos, centros volcánicos y el basamento de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.	72
4.23 Diagrama de tipo Harker mostrando los piroclastos, domos y centros volcánicos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.	73
4.24 Diagrama de araña extendido con los elementos tierras raras y trazas de los domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera normalizado con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).	75
4.25 Diagrama de araña con los elementos tierras raras y trazas de los domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera normalizado con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).	76
4.26 Diagrama de araña con los elementos REE de San Miguel, Planillas, Tajo y Colli normalizado con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).	77
4.27 Diagrama de araña extendido (A) y diagrama de araña con las muestras de la ignimbrita Tala, domo Tule y centro volcánico San Miguel (B) normalizados con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).	78
4.28 Gráficos Zr/Hf vs. Sc (A), Eu vs. Sc (B) y Nb/Ta vs. Sc (C) con las muestras de lavas de los centros volcánicos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en la figura 4.20.	80
4.29 Gráfico Th vs. Zr con las muestras de piroclastos, domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera. Los cuadros representan los domos y centros volcánicos de La Primavera, mientras que los círculos rellenos, estrellas, triángulos, cruces y rumbos son piroclastos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.	81

4.30 Gráficos Zr vs. TiO ₂ (A y B) y Zr vs. La (C) con las muestras de domos, centros volcánicos, piroclastos y basamento de La Primavera. Los cuadros representan los domos y centros volcánicos de La Primavera, mientras que los círculos rellenos, estrellas, triángulos, cruces y rumbos son piroclastos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.	83
4.31 Gráficos Zr/Hf vs. Zr (A), Nb/Ta vs. Zr/Ta (B) y Nb/Ta vs. Zr/Hf (C) con las lavas de los centros volcánicos y basamento de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.	86
4.32 Gráficos Nb/Ta vs. Rb/Ta (A) y Gd/Yb vs. Zr/Ta (B) con las lavas de los centros volcánicos y basamento de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.	87
4.33 Gráfico ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb vs. ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb de las unidades post-caldera de La Primavera y roca plutónica del Bloque Jalisco. Campo de datos del 5-15°N EPR-MORB (Lehnert et al., 2000 [41]; http://www.petdb.org). Campo de datos de las rocas volcánicas intraplacas del volcán Ceboruco (Petrone et al., 2003 [75]) dentro del Tepic-Zacoalco Graben (TZG hiNb).	88
4.34 Gráfico TiO ₂ vs. SiO ₂ con los análisis roca total y EPMA de las unidades post-caldera de La Primavera. Los círculos y triángulos rellenos son análisis en roca total, mientras que las estrellas rellenas son análisis EPMA.	90
4.35 Gráfico TiO ₂ vs. SiO ₂ con las mediciones del vidrio de las unidades uA, uB y uJ.	91
4.36 Gráfico TiO ₂ vs. SiO ₂ con las mediciones del vidrio de las unidades uPG-2, uB y uL.	92
 5.1 Características de las erupciones post-caldera J-N. Los parámetros en letra negrita permiten diferenciar una erupción de la otra.	96
5.2 Características de las erupciones post-caldera F-I. Los parámetros en letra negrita permiten diferenciar una erupción de la otra.	97
5.3 Características de las erupciones post-caldera A-E. Los parámetros en letra negrita permiten diferenciar una erupción de la otra.	98

5.4	Columna compuesta con las unidades piroclásticas pre, sin y post-caldera de La Primavera. Tamaño de clastos: ca (ceniza gruesa), lf (lapilli fino), lm (lapilli medio) y lg (lapilli grueso) según la clasificación de Sohn y Chough (1989 [85]). Sorteo: bs (buena selección), ms (mala selección) y mms (muy mala selección) según la clasificación de Sohn y Chough (1989 [85])	100
5.4	Sigue.	101
5.5	Relaciones entre los principales domos y centros volcánicos de La Primavera y piroclastos de las erupciones GP-O. Edades con letras negras: Presente investigación doctoral. Edades con letras marrones y *: Tinoco (2017). Edades con letras azules y **: Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]). Edad con letras verdes y ***: Kennett et al. (2000 [36]). Modificado de Sourisseau et al. (2020 [88]).	104
5.6	Correspondencias entre las unidades del artículo de Walker y de la nueva investigación.	105
5.7	Fuentes de las unidades piroclásticas de La Primavera.	107
5.8	Evolución del centro volcánico de Nejahuete. Espesores no a escala. A: edades de Tinoco (2017 [65]). B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).	129
5.9	Evolución del domo compuesto Pedernal. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).	130
5.10	Evolución del Complejo Volcánico de San Miguel. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).	132
5.11	Evolución del centro volcánico Planillas. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).	134
5.12	Evolución del centro volcánico Tajo. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).	135

5.13 Evolución de La Primavera entre 710 y 90 ka (modificado de Mahood (1980 [51]) y Mahood (1981 [53])). Las edades de Mahood y colaboradores (1977, 1980, 1982) se indican con las estrellas rojas y verdes, mientras que los nuevos fechamientos están marcados con las estrellas amarillas.	137
5.14 Evolución de La Primavera entre 90 y 50 ka (modificado de Mahood (1980 [51] y Mahood (1981 [53])). Las edades de Mahood y colaboradores (1977, 1980, 1982) se indican con las estrellas rojas y verdes, mientras que los nuevos fechamientos están marcados con las estrellas amarillas.	138
5.15 Evolución de La Primavera entre 50 y 20 ka (modificado de Mahood (1980 [51] y Mahood (1981 [53])). Las edades de Mahood y colaboradores (1977, 1980, 1982) se indican con las estrellas rojas y verdes, mientras que los nuevos fechamientos están marcados con las estrellas amarillas.	139
5.16 Edades de las lavas, domos, centros volcánicos y piroclásticos de La Primavera. A: edades de Tinoco (2017 [65]). B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]). E: otras nuevas edades. F: Vázquez et al. (2014 [92])	140
A.1 Clasificación de los depósitos	178
A.2 Clasificación de los depósitos	178
A.3 Clasificación de los depósitos.	184
A.4 Edades modelos de la muestra LPZ10.	184
A.5 Edades modelos de la muestra LPZ10.	185
B.1 Leyenda de los análisis de componentes.	192
B.2 Columna LP17144: Lago al norte de Cerro Alto.	192
B.3 Columna LP15110-LP18599-LP18604: Lago al norte de Cerro Alto.	192
B.4 Columna LP17157-PCE24: Cima de Cerro Alto.	193
B.5 Columna LP1513: Lago al sur de Nejahuete.	194
B.6 Columna LP17329: Lago entre El Tule y Nejahuete.	195
B.7 Columna LP17388-LP1601VMA: Lago al sur de Nejahuete.	196
B.8 Columna LP18530: Ladera de Nejahuete.	196
B.9 Columna LP17339-340: Cima de Tule.	197
B.10 Columna LP17289-298: Cima de Culebreado.	198
B.11 Columna LP17302-319: Cima de Culebreado.	199

B.12 Columna LP15101: Sobre Cuesta.	200
B.13 Columna LP15102-103: Sobre Cuesta.	201
B.14 Columna LP16118: Al lado de Llano Grande.	202
B.15 Columna LP17417-422: Sobre la ladera norte de Puerta.	202
B.16 Muestra LP18500: Sobre la ladera este de Puerta.	203
B.17 Muestra LP18549A: Sobre la ladera sur de Puerta.	203
B.18 Muestras LP17205-212: Cantera al sur oeste de San Miguel.	203
B.19 Columna LP15104: Cantera al sur oeste de San Miguel.	204
B.20 Columna LP17216-224: Cantera al sur oeste de San Miguel.	205
B.21 Muestras LP18638-639: Sección sobre la parte basal noroeste de Planillas. .	206
B.22 Muestras LP18516-629: Sección sobre la parte basal norte de Planillas. .	207
B.23 Columna PMV2714: Al lado de la avalancha de Planillas al sur este de Planillas.	207
B.24 Columna LP17477-483: Cima del domo oeste de Tajo.	207
B.25 Edad C ¹⁴ del paleosuelo debajo de uO al lado del estadio de Guadalajara. .	238
B.26 Edad C ¹⁴ del paleosuelo debajo de uO al lado del estadio de Guadalajara. .	239
B.27 Edad C ¹⁴ del paleosuelo debajo de uM en una cantera del sur-este de Guadalajara.	240
B.28 Resultado Ar/Ar de la muestra PR1712B del domo Ixtahuatonte.	242
B.29 Resultado Ar/Ar de la muestra PR1738 del domo Viejo Culebreado.	243
B.30 Resultado Ar/Ar de la muestra PR1759A del domo Tule.	244
B.31 Resultado Ar/Ar de la muestra PR1678 de la caída de la ignimbrita Tala. .	245
B.32 Resultado Ar/Ar de la muestra LP17153 del domo Arroyo Colorado.	246

Índice de tablas

2.1 Tabla de las edades de la Sierra La Primavera de Mahood y Drake (1982 [56]). Dado que los autores no dieron las coordenadas de todas las muestras, se representaron en rojo las edades por las cuales se pueden encontrar las coordenadas, mientras que en verde están las edades que no tenían coordenadas.	12
2.2 Descripciones de las erupciones post-caldera (Walker et al., 1981 [95]).	19
4.1 Edades isócronas, edades modelos, promedio de los cinco zircones más jóvenes y promedios de las edades modelos de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$	37
4.2 Edades C δ 14.	55
4.3 Edades Ar/Ar de lavas y domos de La Primavera.	56
5.1 Química y edades de los domos, centros volcánicos y piroclastos de La Primavera (gr. 3D (salmón), gr. 3C (gris), gr. 3B (amarillo) y gr. 3A (verde)).	125
A.1 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2015.	158
A.2 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2016.	159
A.3 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	160
A.4 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	161
A.5 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	162
A.6 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	163
A.7 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	164
A.8 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	165
A.9 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	166
A.10 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	167
A.11 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	168
A.12 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	169

A.13 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.	170
A.14 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.	171
A.15 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.	172
A.16 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.	173
A.17 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.	174
A.18 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.	175
A.19 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.	176
A.20 Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.	177
A.21 Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados en la parte norte de la caldera.	179
A.22 Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados en la parte sur de la caldera.	179
A.23 Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados sobre los domos del arco sur de la caldera.	180
A.24 Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados en la cima y alrededor del estratovolcán San Miguel.	181
A.25 Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados sobre los estratovolcanes Planillas y Tajo.	181
A.26 Muestras analizadas a la microsonda.	182
A.27 Lista de muestras analizadas en roca total.	183
B.1 Coordenadas de las secciones estratigráficas de La Primavera.	187
B.2 Coordenadas de las secciones estratigráficas de La Primavera.	188
B.3 Parámetros de Inman y sorteo de las muestras analizadas.	189
B.4 Parámetros de Inman y sorteo de las muestras analizadas (2).	190
B.5 Parámetros de Inman y sorteo de las muestras analizadas (3).	191
B.6 Parámetros de Inman de las unidades piroclásticas PG a N del CVLP.	208
B.7 Porcentajes de los cristales de la fracción 1 Φ de las unidades piroclásticas post-caldera del CVLP.	209
B.8 Porcentajes de los componentes de la fracción 1 Φ de las unidades piroclásticas post-caldera del CVLP.	210
B.9 Porcentajes de los principales líticos de la fracción 1 Φ de las unidades piroclásticas post-caldera del CVLP.	211

B.10 Resultados de análisis WDS por microsonda para los piroxenos de las muestras LP15101A, LP18500 y PZ77.	212
B.11 Resultados de análisis WDS por microsonda para los piroxenos de la muestra PZ120.	213
B.12 Resultados de análisis WDS por microsonda para los piroxenos de la muestra PZ120.	213
B.13 Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra LP15101A.	214
B.14 Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra LP1401WM.	215
B.15 Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de las muestras LP17329AA6 y PZ120.	216
B.16 Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra LP18500.	217
B.17 Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra PZ77.	218
B.18 Resultados de análisis WDS por microsonda para los óxidos de las muestras LP18500, PZ120 y PZ77.	218
B.19 Coeficientes de actividad de las muestras PMV3314D, LP15103I, LP15103H y PMV2215E.	219
B.20 Coeficientes de actividad de las muestras LP15102F y LP15102D.	220
B.21 Coeficientes de actividad de las muestras LP15104K y LP15104J.	221
B.22 Coeficientes de actividad de las muestras LP1513K y LP15102B.	222
B.23 Coeficientes de actividad de las muestras LP1513I y LP15101C.	223
B.24 Coeficientes de actividad de las muestras LP15101A y LP1513G.	224
B.25 Coeficientes de actividad de la muestra LP1513F.	225
B.26 Coeficientes de actividad de la muestra LPZ0.	226
B.27 Coeficientes de actividad de la muestra PMV14417C.	227
B.28 Coeficientes de actividad de la muestra PR9-2985.	228
B.29 Edades modelos de las muestras PMV3314D, LP15103H y PMV2215E.	229
B.30 Edades modelos de las muestras LP15102F y LP15102D.	230
B.31 Edades modelos de las muestras LP15104K y LP15104J.	231
B.32 Edades modelos de las muestras LP1513K y LP15102B.	232
B.33 Edades modelos de las muestras LP1513I y LP15101C.	233

B.34 Edades modelos de las muestras LP15101A y LP1513G.	234
B.35 Edades modelos de la muestra LP1513F.	235
B.36 Edades modelos de la muestra LPZ0.	236
B.37 Edades modelos de la muestra PMV14417C.	237
B.38 Paleosuelos medidos en el CVLP.	241
B.39 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de PCU, uPG y uA.	247
B.40 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de PCU, uPG y uA.	248
B.41 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas en Sc a Ba wt % de uB, uC y uD.	249
B.42 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de uB, uC y uD.	250
B.43 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de uE, uF y uG.	251
B.44 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de uE, uF y uG.	252
B.45 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de uI, uJ, uK, uL, uM, uN y uO. . . .	253
B.46 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de uI, uJ, uK, uL, uM, uN y uO. . . .	254
B.47 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de las lavas del basamento, cono de escoria, lava y domos pre-caldera.	255
B.48 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de las lavas del basamento, cono de escoria, lava y domos pre-caldera.	256
B.49 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de los domos, lavas y estratovolcanes post-caldera.	257
B.50 Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de los domos, lavas y estratovolcanes post-caldera.	258

B.51 Incertidumbre y límites de detección de los elementos Au a As de las muestras analizadas en roca total. Paquete 1 (Julio de 2016): LP15101A, LP15101C, LP15101D1, LP15102C, LP15102D, LP15102E, LP15102F1, LP15102F2, LP15102G, LP15103H, LP15103I, LP15103J, LP15104J, LP15104K, LP1513G, PMV14417C, PMV14417Dsup y PMV3314D. Paquete 2 (Julio de 2017): LP151108B, LP1513D, LP1513F1, LP15118D, LP15118N, PR16-02, LP17144C y LP17144D. Paquete 3 (Enero de 2018): LP17153, LP17281, LP17302A, LP17302E, LP17329AA3, LP17329CC, LP17329EE3, LP17329FF2, LP17401D, LP17417B y LP17422F. Paquete 4 (Noviembre de 2018): LP18590, LP17480, LP18577, LP18558, LP18598, LP18579, LP18608, LP18660B, LP18667, PR1-600-605, PR11-1717-1720, PR12-2300-2303, PR2-1358-1361, PR1755, PR1501I, LP18581, LP18606, LP18594, LP18614-3, LP18614-2 y LP17477B. Paquete Giovanni (Septiembre de 2017): VM-04, LP16-01VM-A, LP16-01VM-B, LP16-01VM-D, LP16-01VM-D2 y VM-02.	259
B.52 Incertidumbre y límites de detección de los elementos Rb a U de las muestras analizadas en roca total. Paquete 1 (Julio de 2016): LP15101A, LP15101C, LP15101D1, LP15102C, LP15102D, LP15102E, LP15102F1, LP15102F2, LP15102G, LP15103H, LP15103I, LP15103J, LP15104J, LP15104K, LP1513G, PMV14417C, PMV14417Dsup y PMV3314D. Paquete 2 (Julio de 2017): LP151108B, LP1513D, LP1513F1, LP15118D, LP15118N, PR16-02, LP17144C y LP17144D. Paquete 3 (Enero de 2018): LP17153, LP17281, LP17302A, LP17302E, LP17329AA3, LP17329CC, LP17329EE3, LP17329FF2, LP17401D, LP17417B y LP17422F. Paquete 4 (Noviembre de 2018): LP18590, LP17480, LP18577, LP18558, LP18598, LP18579, LP18608, LP18660B, LP18667, PR1-600-605, PR11-1717-1720, PR12-2300-2303, PR2-1358-1361, PR1755, PR1501I, LP18581, LP18606, LP18594, LP18614-3, LP18614-2 y LP17477B. Paquete Giovanni (Septiembre de 2017): VM-04, LP16-01VM-A, LP16-01VM-B, LP16-01VM-D, LP16-01VM-D2 y VM-02.	260
B.53 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras PZ77 y LP1401WM.	261
B.54 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP1513F1 y LP15101A.	262
B.55 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP1513G y LP17329AA6.	263

B.56 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP15101C.	264
B.57 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP16118M.	265
B.58 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP15104E y LP15104G.	266
B.59 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP18500.	267
B.60 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP17422F y LP1513K1.	268
B.61 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP15102D.	269
B.62 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP18629C.	270
B.63 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP15102F1 y LP15102F2.	271
B.64 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP15103H y LP15103I.	272
B.65 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP17271.	273
B.66 Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra PZ120.	273
B.67 Promedio e incertidumbre de las muestras analizadas a la microsonda. Grupo 1: LP15103H, LP17422F, LP15101A, LP15102F2, PZ120 y PZ77; Grupo 2: LP15104E, LP17329AA6, LP1513K1, LP1401WM, LP18500 y LP15104G; Grupo 3: LP15103I, LP15102F1, LP1513G y LP1513F1; Grupo 4: LP16118M y LP17271; Grupo 5: LP18629C; Grupo 6: LP15101C y LP15102D.	274
B.68 Resultados e incertidumbres de las mediciones de isótopos.	274

Resumen

La caldera de La Primavera ubicado en la parte oeste del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) empezó su actividad hace 143.5 ka con la formación de domos y lavas. Después, hace 96 - 95 ka, la erupción de la ignimbrita Tala produjo una caldera de 11 km de diámetro que se fue llenando por sedimentación lacustre. Luego, resurgencia magmática permitió la formación de domos y centros volcánicos dentro, sobre el anillo y fuera de la caldera entre 95 y 5.5 ka. Mediante nuevas descripciones de los depósitos piroclásticos dentro y fuera de la caldera, análisis de componentes, química de la pómez y fechamientos radiométricos $^{230}\text{Th}/\text{U}$ en circones se presenta una nueva versión de la estratigrafía de la actividad piroclástica de La Primavera con la descripción de al menos 15 unidades asociadas al mismo número de erupciones que sobreyacen a la capa conocida como la Pómez Gigante (PG). Estas unidades fueron denominadas con las letras A-O y son: A (entre 86.4 y 82.8 ka), B (78.2 ka), C (72.7 ka), D (71.5 ka), E (entre 71.5 y 68.9 ka), F (entre 68.9 y 60.1 ka), G (60.1 ka), H (60.3 ka), I (58.7 ka), J, K (59.1 ka), L (57.6 ka), M (44.7 ka), N (entre 44.7 y 26.8 ka) y O (6.4 ka). En general, las unidades consisten en depósitos de caídas, flujos y oleadas piroclásticas delimitados por paleosuelos, lahares, superficies de erosión y depósitos lacustres. El lago calderico tuvo actividad intermitente interrumpida por actividad volcánica y volcanoclástica entre 96.7 - 95.2 y 75.8 ka con al menos cuatro episodios de sedimentación (uLInf, uLInt1, uLInt2 y uLSup) en ocasiones al grado de convertirse en zona palustre con capas de disecación oxidadas. Los mapas de espesores, isopacas y isopletas, y la química de los depósitos piroclásticos indican que el domo compuesto Nejahuete (A-D), centros volcánicos San Miguel (E, G y H), Planillas (F, I-M), y Tajo (N), y el domo Colli (O) son la fuente de las 15 unidades eruptivas post-PG. Con base en los depósitos de las erupciones, se clasificaron las erupciones como de tipo subplinianas (A, B, E, G, H, J, K, L y N) y plinianas (C, D, F, I y M). El análisis de los elementos HFSE y HREE reveló que las muestras post-caldera de La Primavera (grupos 3A-D) fueron formadas por un manto heterogéneo empobrecido en granate, con diferentes contenidos en clinopiroxenos y flogopita en su manto residual. Los procesos de cristalización fraccionada, mezcla de magma, y contaminación cortical sólo cambiaron ligeramente las propiedades de los magmas primarios formados por fusión parcial. Con base en esta información se propone un modelo revisado de la evolución de la caldera de La Primavera.

Palabras claves: Caldera La Primavera, estratigrafía post-caldera, fechamientos $^{230}\text{Th}/\text{U}$, química y evolución de la caldera.

Abstract

The La Primavera caldera located in the western part of the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) began its activity 143.5 ka ago with the formation of domes and lavas. Then, 96 - 95 ka ago, the Tala ignimbrite eruption produced an 11-km-diameter caldera that was filled by lacustrine and pyroclastic sediments. Finally, new magmatic resurgences led to the formation of domes and stratovolcanoes inside, along the caldera ring fault and outside the caldera until 5.5 ka. New descriptions of the pyroclastic deposits inside and outside the caldera, componentry analyses, pumice chemistry and $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating in zircons permitted to propose a revised stratigraphy of the pyroclastic eruptions that took place after the Giant Pumice (GP) in the La Primavera caldera with the description of at least fifteen eruptions: A (between 86.4 and 82.8 ka), B (78.2 ka), C (72.7 ka), D (71.5 ka), E (between 71.5 and 68.9 ka), F (between 68.9 and 60.1 ka), G (60.1 ka), H (60.3 ka), I (58.7 ka), J, K (59.1 ka), L (57.6 ka), M (44.7 ka), N (between 44.7 and 26.8 ka) and O (6.4 ka). They consist of pyroclastic falls and flows delimited by paleosols, lahars, erosional structures, and lacustrine sediments. The lake south of the Nejahuete stratovolcano was intermittent between 96 - 95 and 71.4 ky with at least four lacustrine sedimentation episodes (LLU, MLU1, MLU2, and ULU). The oxidation of the lacustrine sediments before the GP, A, B, and C eruptions indicate at least three magmatic resurgence periods between 96 - 95 and 71.4 ky. The preliminary isopleth maps and chemistry of the pyroclastic deposits point to the Nejahuete (A-D), San Miguel (E, G y H), Planillas (F, I-M), Tajo (N), and Colli (O) eruptive centers as a source of the fifteen post-GP eruptions. They were classified as subplinian (A, B, E, G, H, J, K, L and N) and plinian (C, D, F, I and M) according to the eruption deposits. The analysis of the elements HFSE and HREE revealed that the CVLP post-caldera samples (group 3A-D) were formed by a heterogeneous mantle impoverished in garnet, with different contents in clinopyroxenes and phlogopite in its residual mantle. The processes of fractional crystallization, mixing of magma, and cortical contamination have slightly changed the properties of the primary magmas formed by partial fusion. The relation between pyroclasts, domes, and stratovolcanoes permitted to propose an actualized evolution model of the LPVC.

Key words: La Primavera caldera, post-caldera stratigraphy, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ datings, chemistry and caldera evolution.

1 | Introducción

1.1. Localización del área de estudios

El Complejo Volcánico La Primavera (CVLP) está ubicado al oeste de la ciudad de Guadalajara, capital del Estado de Jalisco en el occidente de México (Fig. 1.1). El CVLP se encuentra cerca de la intersección entre las provincias magmáticas Sierra Madre Occidental (SMO) y Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM). El vulcanismo de La Primavera está asociado a la subducción de las placas de Rivera y Cocos por debajo de la placa Norteamérica. Esta porción del CVTM, en donde se encuentra ubicada la Caldera de la Primavera, es muy compleja, dado que en ella ocurre la intersección de tres depresiones regionales: el graben de Colima de dirección norte-sur (80 km), el graben de Chapala de dirección este-oeste y el graben de Tepic-Zacoalco de dirección noroeste-sudeste (180 km). La Primavera es el centro volcánico más silíceo de la parte oeste del CVTM. La caldera de La Primavera está ubicada aproximadamente a 50 km al norte del punto triple que forman estos grabens (Luhr y Carmichael, 1985 [46]). El CVLP está conformado por domos, centros volcánicos (San Miguel, Planillas, Tajo y Nejahuete), lavas y conos de escorias emplazados dentro, sobre el anillo y fuera de una depresión, y se formó debido al colapso de una caldera. La máxima elevación del complejo alcanza los 2210 m de altura en el cerro conocido como Planillas.

1.2. Trabajos previos

La caldera de la Primavera y su actividad termal atrajo la atención de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y diversos investigadores. Estas investigaciones incluyeron estudios geológicos (Mahood, 1980 [51]; 1981a [53]; Walker et al., 1981 [95]), geotérmicos

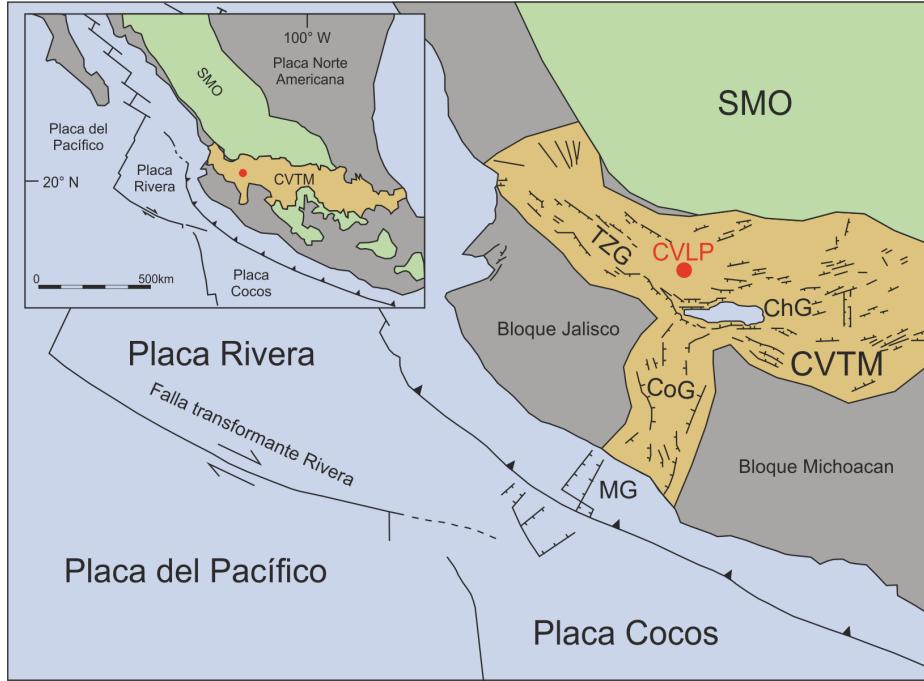


FIGURA 1.1: Ubicación y estructura regional de La Primavera en la parte oeste del CVM. SMO: Sierra Madre Occidental; TZG: Graben de Tepic Zacoalco; CoG: Graben de Colima; ChG: Graben de Chapala; MG: Graben de Manzanillo

(Maciel-Flores y Rosas-Elguera, 1992 [47]; Molina et al., 2006 [63]; Verma y Rodríguez-Gonzalez, 1997 [93]), petrográficos (Mahood, 1977 [50]), petrológicos (Mahood, 1981a [53]; Mahood et al., 1985 [49]), geoquímicos (Mahood, 1977 [50]; 1981b [52]; Mahood et al., 1983 [55]), geocronológicos (Mahood, 1977 [50]; Mahood y Drake, 1982 [56]), isotópicos (Mahood y Halliday, 1988 [54]), gravimétricos (Yokoyama y Mena, 1991 [103]; Alatorre-Zamora y Campos-Enríquez, 1992 [2]), paleomagnéticos (Urrutia-Fucugauchi et al., 1987 [91]). De todos estos estudios únicamente Mahood y colaboradores estudiaron de manera detallada la evolución de la caldera con la ayuda de fechamientos de K-Ar. Estos autores propusieron un modelo evolutivo de la caldera con la formación de la llamada ignimbrita Tala y la emisión de $\approx 20 \text{ km}^3$ de material. Su modelo estaba basado en la descripción y fechamiento de lavas y domos y la descripción de la ignimbrita Tala. Por su parte Wright (1981 [101]; 1983 [100]) denominó a la ignimbrita Tala como la ignimbrita Rio Caliente y la clasificó como una ignimbrita compuesta y intra-pliniana, términos que fueron considerados inadecuados por Mahood (1983 [48]). A pesar de la controversia, se utilizara a continuación el término ignimbrita Tala propuesto por Mahood et al. (1980 [51]; 1981a [53]) para referirse al evento que produjo la caldera de La Primavera. Finalmente, Walker et al. (1981 [95]) realizaron el estudio de los depósitos piroclásticos post-caldéricos definiendo 30 depósitos de caída (90 km^3 de material) con interestratificaciones de oleadas

piroclasticas e ignimbritas (50 km^3). Estos autores denominaron con letras a los depósitos más importantes (A-I) y a varios los asociaron con la formación de los domos riolíticos (Planillas, San Miguel, Colli, entre otros), generaron mapas de isopacas e isopletas y determinaron los volúmenes aproximados de los depósitos principales (Walker et al., 1981 [95]).

1.3. Planteamiento del trabajo

La caldera de La Primavera es una estructura asociada a fallas y fisuras que provocaron el colapso del antiguo edificio volcánico, estas fallas permitieron el ascenso del magma a la superficie a través de varios puntos alimentadores que generaron actividad post-caldérica. El mapeo detallado de los depósitos, muestreo, análisis químicos y fechamientos radiométricos de las distintas unidades, permitirán determinar cuantas erupciones tuvieron lugar después del colapso de la caldera y cual fue la distribución de los depósitos.

1.4. Importancia del trabajo

El estudio de la actividad piroclástica post-caldérica de La Primavera es necesario por los siguientes motivos:

- 1 El complejo se considera como una estructura volcánica activa, ya que su última erupción ocurrió hace sólo 5.5 ka en el domo Tajo al sureste del borde de la caldera (Mahood y Drake, 1982 [56]).
- 2 Aunque la historia piroclástica de la caldera ha sido estudiada por Walker et al. (1981 [95]), su estratigrafía está incompleta y sin fechamientos radiométricos.
- 3 La presencia de fumarolas al sur del domo compuesto Nejahuete dentro de la caldera, en la cima del centro Planillas al sur de la caldera, y de aguas termales calientes al noroeste de Cerro Alto y al sur de los centros Planillas y San Miguel demuestra la presencia de magma.
- 4 La presencia de depósitos piroclásticos de tipo pliniano y subpliniano indica que la caldera ha producido erupciones muy explosivas que representan un peligro para las poblaciones cercanas incluida la ciudad de Guadalajara.

5 Es sabido que las calderas volcánicas pueden tener periodos de reposo muy largos, mayores a los estratovolcanes (Szakacs, 1994 [89]), y además están asociadas a erupciones catastróficas involucrando grandes volúmenes de magma.

Por estos motivos un estudio detallado de la actividad explosiva de La Primavera es fundamental para saber cuántas erupciones tuvieron lugar, conocer su fuente y distribución dentro y fuera de la caldera. En su conjunto, este trabajo permitirá completar el modelo de evolución del complejo volcánico propuesto por Mahood (1977 [50]; 1980 [51]; 1981 [53]) y Mahood y Drake (1982 [56]).

1.5. Objetivos

Definir la evolución espacio temporal de la fase post-caldera de La Primavera mediante un estudio volcano-estratigráfico detallado de las erupciones explosivas apoyado con estudios petrológicos, geoquímicos, isotópicos y radiométricos para lo cual se cumplirán los siguientes objetivos particulares:

- Describir los depósitos piroclásticos de La Primavera,
- Establecer la distribución y estratigrafía de las unidades piroclásticas post-caldera de La Primavera,
- Definir la composición química de los productos juveniles de estas erupciones,
- Fechar los depósitos con los métodos U/Th en circones y C^{14} en paleosuelo,
- Determinar cuáles fueron los procesos magmáticos que permitieron la composición química de los domos y piroclástos de La Primavera,
- Utilizar las relaciones relativas entre los depósitos piroclásticos y centros eruptivos para describir la evolución de las estructuras volcánicas post-caldéricas.

2 | Marco tectónico y geológico del área de estudio

2.1. Marco tectónico

2.1.1. Sierra Madre Occidental

La Sierra Madre Occidental (SMO) es una de las provincias silílicas más grandes del mundo. Mide de 200 a 500 km de ancho y se extiende sobre más de 2 000 km desde la frontera México - Estados Unidos al norte, y hasta el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano al sur. Está constituida por varios depósitos de ignimbritas fechados por K/Ar entre 38 y 20 Ma (McDowell y Keizer, 1977 [61]; McDowell y Clabaugh, 1979 [60]; McDowell y Mauger, 1994 [62]; Nieto-Samaniego et al., 1999 [69]) y entre 20 - 31.5 Ma (Ferrari et al., 2002 [19]; Gómez-Tuena et al., 2007 [30]) que alcanzan un espesor promedio de 1 km (McDowell y Clabaugh, 1979 [60]; Ferrari et al., 2002 [19], Gómez-Tuena et al., 2007 [30]; Aguirre-Díaz y Labarthe-Hernandez, 2003 [1]). Aunque la mayoría del magmatismo de la SMO es riolítico (3.9×10^5 km³; ≈ 66-78 % SiO₂), también existen lavas de composición máfica (≈ 50-58 % SiO₂) y escasas lavas de composición intermedia (≈ 62-66 % SiO₂). Todas las rocas de la SMO son calc-alcalinas con composiciones medias a altas en K y firma química entre intra-placa y zona de convergencia (Bryan et al., 2008 [11]). La SMO se encuentra por encima de granitos y plutones de granodiorita de edad Oligoceno y Mioceno (Gastil et al., 1978 [27]; Nieto-Obregon et al., 1981 [68], 1985 [67]). Al norte de La Primavera, la SMO está formada por unos granitoides, varias ignimbritas, depósitos volcano-sedimentarios y andesitas, sin embargo, no se encuentra debajo de La Primavera (Rosas-Elguera et al., 1997 [79]).

2.1.2. Cinturón Volcánico Trans-Mexicano

El Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) es un arco continental del Neógeno que abarca una distancia aproximada de 1000 km desde el oeste al este de México, presenta un vulcanismo variado desde basaltos hasta riolítas. Este vulcanismo está relacionado con la subducción de las placas de Cocos y de Rivera por debajo de la placa Norteamericana. El espesor de la corteza continental varía de 50 a 55 km al este y de 35 a 40 km al oeste del CVTM.

El cinturón está dividido en cuatro partes: oeste, centro, este y extremo este (Ferrari et al., 2012 [20]). El CVLP se ubica en la parte oeste del CVTM. La tomografía sísmica de esta parte del cinturón indica que la placa en subducción llega a una profundidad de, aproximadamente, 350 kilómetros (Ferrari et al., 2012 [20]; Fig. 2.1), lo que implica una ausencia de *slab* debajo de la parte norte a la porción oeste del CVTM (Yang et al., 2009 [102]). La placa de Rivera baja con un ángulo de 40° debajo del *forearc* y luego con un ángulo de 70° debajo del CVTM (Yang et al., 2009; [102]).

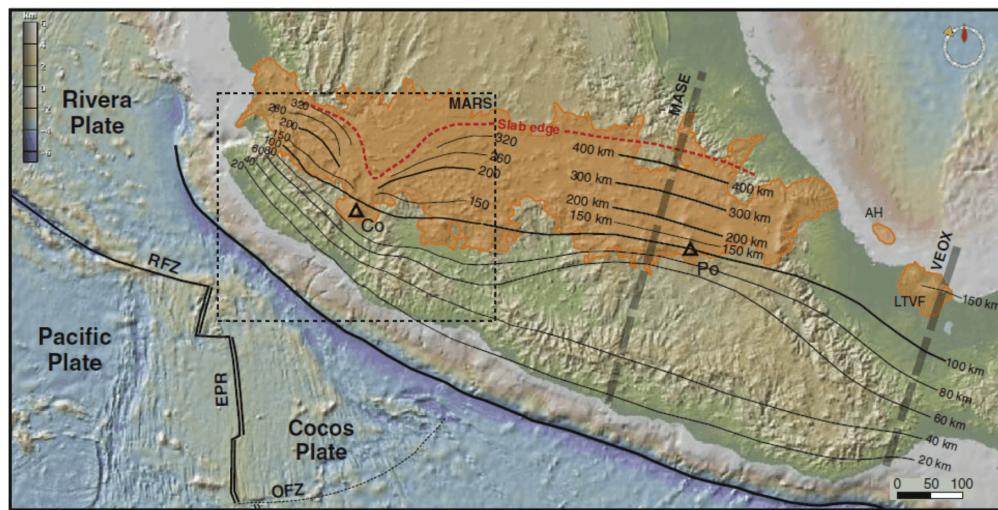


FIGURA 2.1: Profundidad del slab en subducción debajo de México (tomado de Ferrari et al., 2011).

Dos hipótesis fueron propuestas para explicar la formación de los magmas en la cuña del manto en la parte oeste del CVTM: el ascenso de astenosfera profunda y la deshidratación de la corteza oceánica y serpentina.

- 1) Por ascenso de astenosfera profunda Estudios de anisotropía sísmica plantean que el manto fluye toroidalmente del lado oeste de la placa de Rivera y en la fisura que separa

a las placas de Rivera y de Cocos (Leon-Soto et al., 2009; [87]). Este modelo apoya la presencia de vulcanismo de *Ocean Island Basalts* (OIB) en la parte oeste del CVTM debido al ascenso de astenosfera profunda en la cuña del manto propuesto por Ferrari et al., 2001; [21].

2) Por deshidratación de la corteza oceánica y serpentina Los perfiles que muestran la distribución térmica y geometría del *slab* debajo de la parte oeste del CVTM fueron obtenidos con el estudio MARS (Ferrari et al., 2012 [20]; Manea V. y Manea M., 2011 [58]). El CVLP se encuentra cerca del perfil A-A' (Ferrari et al., 2012 [20]; Fig. 2.2).

El perfil A-A' nos indica que la deshidratación del *slab* ocurre principalmente entre 100 y 200 km de la trinchera de subducción: a 100 km por deshidratación de los sedimentos debajo de la corteza continental, entre 100 y 150 km por deshidratación de la corteza oceánica en la cuña del manto y entre 150 y 200 km de la trinchera por deshidratación de la serpentina en la cuña del manto (Ferrari et al., 2012 [20]; Manea, V. y Manea, 2011 [58]).

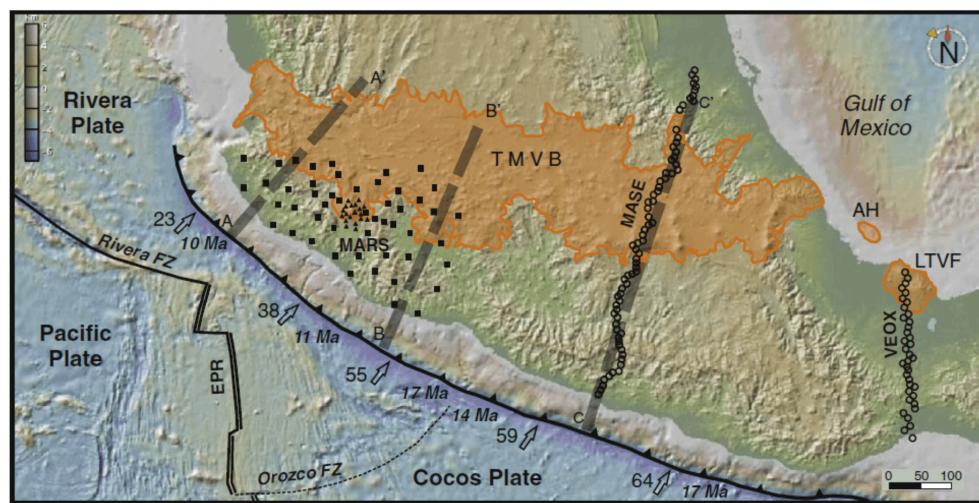


FIGURA 2.2: Locación del perfil AA' obtenido con las estaciones sísmicas del experimento MARS (tomado de Ferrari et al., 2012).

2.2. Marco geológico

2.2.1. Basamento de La Primavera

El basamento regional en la zona consiste de un sustrato granítico del Cretáceo (Rosas-Elguera et al., 1997 [79]; Nieto-Samaniego et al., 1999 [69]) que se encuentra a una profundidad de 2 a 3 km por debajo del complejo volcánico en los sitios de perforación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (Yokoyama y Mena, 1991 [103]). La descripción de las formaciones encontradas en el pozo PR-9 (Fig. 2.3) muestra que el granito está cubierto por una sucesión de lavas andesíticas del Eoceno, los basaltos de San Cristóbal, formaciones del grupo Guadalajara y el vulcanismo más joven de La Primavera (Rosas-Elguera et al., 1997 [79]).

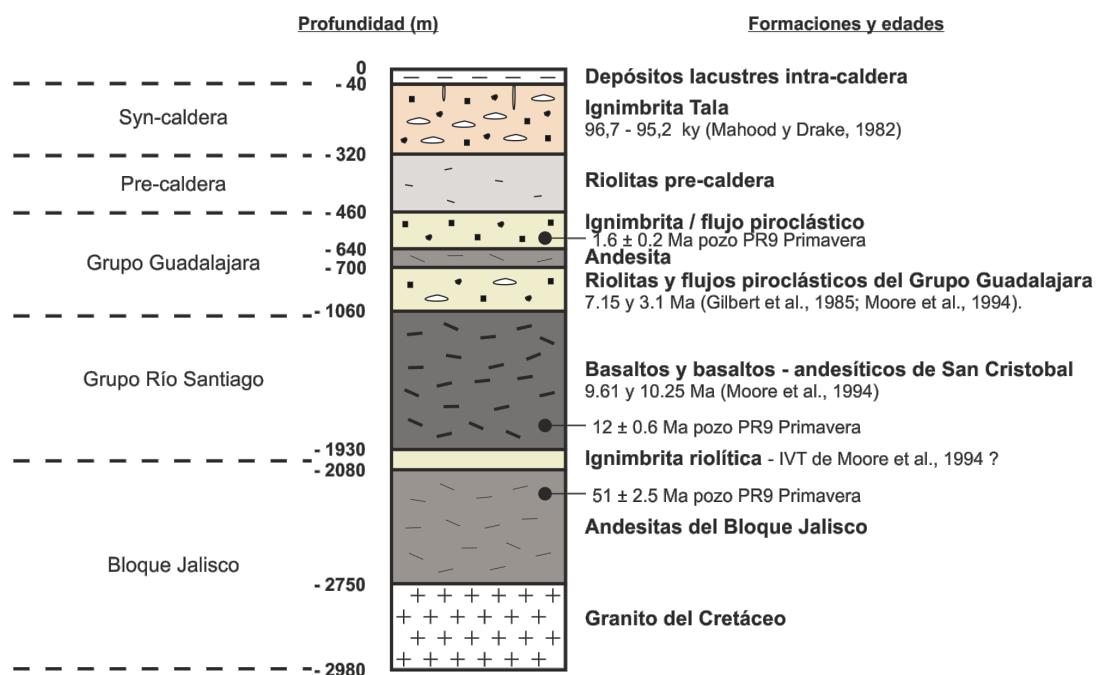


FIGURA 2.3: Columna estratigráfica del pozo PR9 de La Primavera (modificado de Rosas-Elguera, 1997 [79]).

Bloque Jalisco 77 - 79 Ma

El Bloque Jalisco está compuesto por ignimbritas, andesitas, depósitos volcanoclásticos y turbidíticos cortados por plutones de granitoides (Gastil et al., 1978 [27]; Allan, 1986 [3]; Köhler et al., 1988 [37]; Zimmermann et al., 1988 [104]; Lange y Carmichael, 1991 [38]; Righter et al., 1995 [76]). Ha sido fechado por K/Ar entre 77 y 79 Ma (Rosas-Elgueras et al., 1997 [79]). En el pozo PR9 de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el bloque

Jalisco consiste en unos 200 m de rocas graníticas cubiertas por 800 m de lavas andesíticas fechadas a 51 Ma (Rosas-Elgueras et al., 1997 [79]).

Grupo Río Santiago 11 - 7.5 Ma

La formación llamada Grupo Río Santiago forma parte del CVTM y está constituida por los basaltos de San Cristóbal, ignimbrita San Cristóbal (la ignimbrita inversamente consolidada de Moore et al., 1994 [64]), ignimbrita Los Caballos y los basaltos del arroyo Mezcala. Ambas ignimbritas están intercaladas en los basaltos de San Cristóbal en su parte inferior y superior respectivamente. La formación de los basaltos de San Cristóbal está compuesta de basaltos alcalinos con olivino y basaltos andesíticos datados entre 11 y 9 Ma (Watkins et al., 1971 [98]; Damon et al., 1979 [17]; Moore et al., 1994 [64]). Sólo se encontraron los basaltos de San Cristóbal en el pozo PR9 debajo de la Primavera. La base de esos basaltos dieron una edad de 12.5 ± 0.6 Ma (Fig. 2.3; Rosas-Elgueras et al., 1997 [79]). Estos depósitos representan la formación más vieja del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM).

Grupo Guadalajara 7.1 - 5.36 Ma / 7.1 - 3.1 Ma

El grupo Guadalajara parte del CVTM y consiste en una sucesión de flujos y domos riolíticos asociados a flujos piroclásticos y depósitos de caídas (Cerro La Tortuga, Cerro Derrumbadero 7.1 Ma, Señora de los Pericos 6.55 Ma, y Espinazo del Diablo 5.36 Ma), pequeñas ignimbritas (Potrero de los Riveras 5.53 Ma) y lavas basálticas (Rosas-Elguera et al., 1997 [79]; Rossoti et al., 2002 [80]). Estos depósitos están cubiertos por basaltos de tipo OIB enriquecidos en olivino datados entre 4.7 y 3.3 Ma (Watkins et al., 1971 [98]; Gilbert et al., 1985 [28]; Moore et al., 1994 [64]) y por otros domos y piroclastos. Las ignimbritas San Gaspar y Guadalajara fechadas respectivamente a 4.7 y 3.3 Ma (Gilbert et al., 1985 [28]) están intercaladas en la sucesión del Grupo Guadalajara. Se encontraron 360 m de la formación Guadalajara en el pozo PR9 debajo de La Primavera.

2.2.2. Subsuelo de La Primavera

La fuerte actividad térmica de la caldera de La Primavera incito la Comisión Federal de Electricidad (CFE) a perforar 13 pozos dentro del basamento de la caldera de La Primavera como parte de su programa de exploración geotérmica de las calderas de México. Rosas-Elguera et al. (1988 [78]) fueron unos de los primeros en investigar el

potencial del yacimiento térmico de La Primavera. Con base al comportamiento del boro, los autores sugirieron la presencia de un yacimiento geotérmico debajo de la caldera.

Se han realizado diversos estudios geofísicos que han tratado de determinar la estructura interna de La Primavera como los modelos de gravedad 3D de Alatorre-Zamora y Campos-Enríquez (1991 [2]) y inversiones 1D y 2D de Molina et al. (2006 [63]) entre otros. Recientemente, Bólos et al. (2019 [9]) describieron el sistema hidrotermal del subsuelo de la caldera de La Primavera con base en métodos geofísicos SP (*Self Potential*), T (*Temperature*) y ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). Los autores mostraron que el subsuelo de la caldera consiste en una zona de convección de fluidos con agua meteórica infiltrándose en el subsuelo y fluidos ascendentes.

Estas investigaciones permitieron también establecer las características de los reservorios magmáticos del subsuelo de La Primavera (Verma y Rodríguez-González, 1997 [93]; Campos Enríquez et al., 2005 [12]; Almaguer et al., 2019 [4]) entre otros. Verma y Rodríguez-González (1997 [93]) reportaron la presencia de la parte superior de un reservorio magmático con dimensión horizontal de 10 y 12 km a una profundidad entre 5 y 7 km debajo de La Primavera con base en un modelo de simulación de temperaturas 3D. Luego, Campos Enríquez et al., 2005 [12] especificaron la presencia de la parte superior del cuerpo magmático a una profundidad de \approx 6.3 km debajo de La Primavera utilizando un modelo gravimétrico. Más recientemente, Almaguer y colaboradores (2019 [4]) utilizaron modelos de inversión 3D para caracterizar las anomalías magnéticas y gravimétricas de los cuerpos magmáticos dentro de los granitos/granodioritas del basamento de La Primavera. Las deconvoluciones Werner y Euler permitieron identificar cuerpos magmáticos a \approx 5.1 km debajo San Miguel, \approx 6.8 km debajo Planillas y entre \approx 4.6-6 km debajo Tajo. El reservorio que alimenta al domo compuesto Nejahuete está a \approx 3.5 - 4.6 km de profundidad debajo el centro de la caldera, mientras que las lavas que formaron los domos Culebreado, Viejo Culebreado, Tule, Ixtahuatonte, Cuesta y Chapulín sobre el borde de la caldera vinieron de una profundidad de \approx 4.6 - 6 km. Las lavas que formaron el domo Colli están almacenadas a una profundidad inferior a 950 m. Con estos datos, los autores revelaron la presencia de al menos dos cuerpos magmáticos separados por la falla del arco sur de la caldera de La Primavera dentro de las rocas cristalinas del Bloque Jalisco, un reservorio con orientación ENE-W-SW debajo de los complejos volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo, y otro reservorio debajo del borde sur de la caldera debajo de los domos Culebreado y Tule.

2.2.3. Evolución de La Primavera

La evolución de La Primavera fue estudiada por Mahood en los años ochenta (Mahood, 1977 [50]; 1980 [51]; 1981 [53]) con la ayuda del método de fechamiento K-Ar en sanidino, vidrio y vidrio en roca total de los domos y lavas (Mahood et al., 1977 [50], Mahood, 1980 [51], y Mahood y Drake, 1982 [56]) que se muestran en la figura 2.4 y con las descripciones de campo y química de los domos publicada por Mahood (1977 [50]).

Clasificación	Centro volcánico	Muestra	Clave mapa	Ubicación UTM 13Q X Y	Edad (ka)	Uncertidumbre (ka)	Método
Domos Pre-caldera	Grupo Arroyo Saucillo	28	D		111.4	2,2/15,1	Vidrio Roca Total
	Rio Salado	193	A	64755 228770	123.3	1,9/4,1	Sanidino
		193	A	64755 228770	149.6	11,3/21,6	Sanidino
		193	A	64755 228770	(<263)	.../87,4	Vidrio
	Cañon de las Flores	90	B	61815 229055	5	16,7/33,4	Vidrio Roca Total
Formación de la Caldera		90	B	61815 229055	(<102)	.../34,1	Vidrio Roca Total
		129	B		143.5	4,4/8,5	Vidrio Roca Total
	El Léon	186	C	64675 228865	100.4	5,4/9,6	Sanidino
	Ignimbrita Tala	252		65050 228585	95.2	3,0/6,5	Sanidino
Domo del centro-sur		218		65040 228790	96.7	1,7/3,8	Sanidino
		214	I		101,8	3,4/5,7	Sanidino
	Mesa El Nejahuete	214	I		128,7	3,5/6,6	Vidrio
		317	I	65320 228210	111,1	6,7/12,7	Sanidino
Pómez Gigante		317	I	65320 228210	112,9	8,8/16,0	Vidrio
		234	GPH	66185 228915	122.2	2,6/5,0	Sanidino
Domo del centro-norte		234	GPH	66185 228915	103.8	11,2/13,1	Sanidino
	Cero Alto	283	H	65100 228830	126.2	2,6/3,5	Sanidino
Domos del anillo viejo		283	H	65100 228830	115.5	15,1/29,2	Vidrio
	El Chato	92	G	64955 229045	99.7	2,0/3,2	Sanidino
	El Chapulín	64	O		97.7	2,0/4,1	Sanidino
	Arroyo La Cuartilla	37	M	65535 229215	91.8	5,4/6,5	Sanidino
		37	M	65535 229215	126.9	4,3/8,4	Vidrio
	Mesa El Nejahuete	148	I		82.8	10,3/18,9	Sanidino
	Piñar de la Venta	14	L		96.8	3,9/6,9	Sanidino
	El Tule	133	J	65355 228150	96.8	4,1/7,6	Sanidino
		133	J	65355 228150	108.4	5,7/9,7	Vidrio
	El Burro	89	F	61805 229075	96.7	3,2/4,5	Sanidino
Domos del anillo joven		89	F	61805 229075	127.7	5,8/10,6	Vidrio
	Arroyo Ixtahuatonte	79	R	65615 228150	83.6	2,0/4,1	Sanidino
	La Cuesta	25	S		71.3	6,7/12,2	Sanidino
	El Pedernal	174	W	65000 228350	73	2,3/4,7	Sanidino
		174	W	65000 228350	46.3	21,0/38,6	Vidrio
Lavas del arco sur	El Culebreado	112	W		68.9	2,7/5,0	Vidrio Roca Total
	El Puerta	107	T		77.2	1,2/2,8	Sanidino
		108	U	64975 228160	89.5	4,6/9,8	Vidrio Roca Total
	San Miguel	105	AA	64610 227805	84.6	4,1/7,8	Vidrio Roca Total
	San Miguel	106	AA		92	4,0/7,5	Vidrio Roca Total
	San Miguel	106	AA		82.6	4,3/8,1	Vidrio Roca Total
	Llano Grande	83	BB	64735 227800	60.5	5,2/9,6	Vidrio Roca Total
	Las Planillas	84	CC		60.5	4,7/8,8	Vidrio Roca Total
		115	CC	65150 227745	61.3	5,6/6,4	Vidrio Roca Total
	El Tajo	67	EE	66095 227630	25.5	7,5/14,1	Vidrio Roca Total
El Tajo		58	EE		26.8	3,9/7,3	Vidrio Roca Total
		40	EE	66135 227765	5.8	7,9/13,7	Vidrio Roca Total
	El Coli	15	FF	65995 228555	30.1	5,5/10,3	Vidrio Roca Total
		15	FF	65995 228555	31.9	3,7/6,6	Vidrio Roca Total

TABLA 2.1: Tabla de las edades de la Sierra La Primavera de Mahood y Drake (1982 [56]). Dado que los autores no dieron las coordenadas de todas las muestras, se representaron en rojo las edades por las cuales se pueden encontrar las coordenadas, mientras que en verde están las edades que no tenían coordenadas.

De acuerdo con los estudios geológicos y geocronológicos realizados, estos autores dividieron la evolución de la caldera de la siguiente manera:

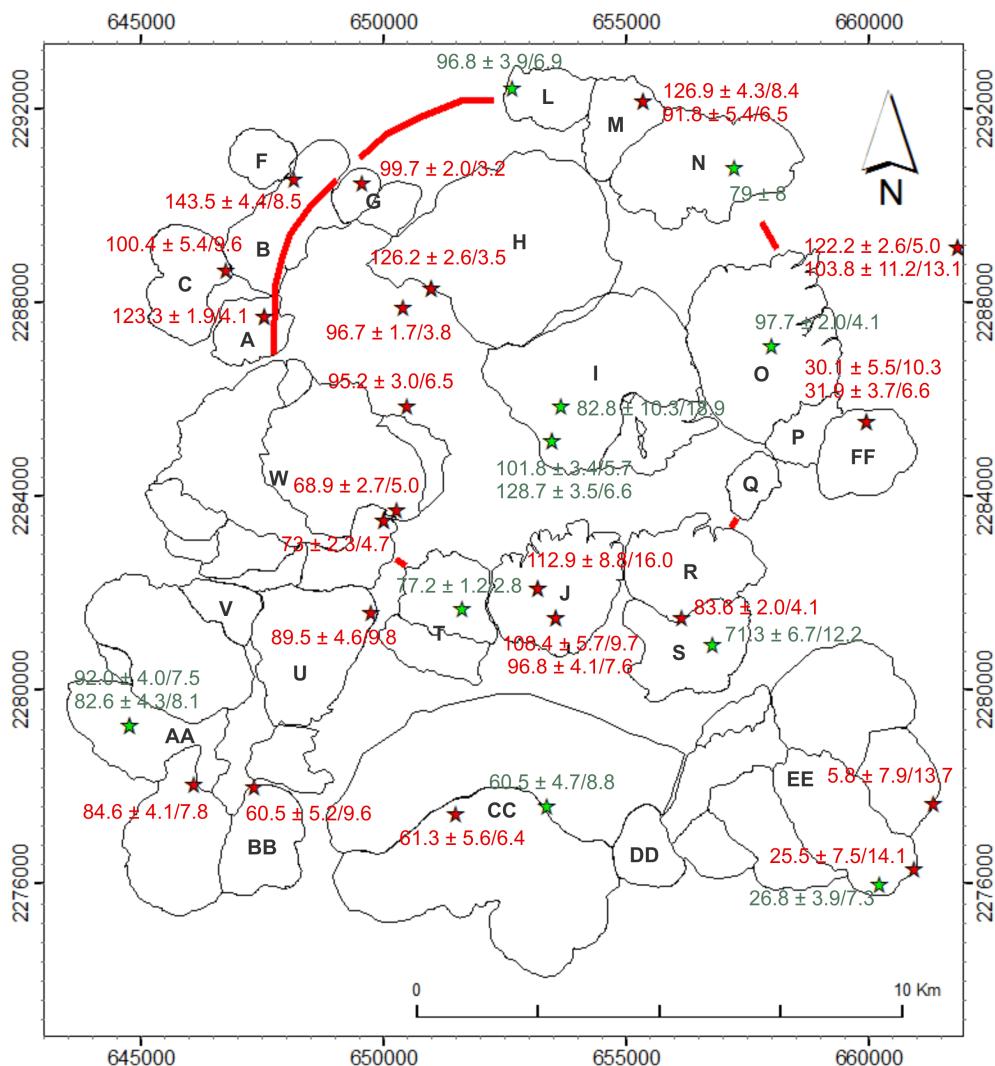


FIGURA 2.4: Mapa de la Sierra La Primavera con las edades de Mahood y Drake (1982 [56]).

Pre-caldera 145 - 100 ka La Primavera inició su actividad volcánica al norte-oeste del borde actual de la caldera con emisión de lavas del Cañón de las Flores (143.5 ka), del domo Río Salado (123.3 ka), del grupo Arroyo Saucillo (111.4 ka) y del domo Mesa El León (100.4 ka) (Mahood, 1980 [51]; Mahood, 1981a [53]; Mahood y Drake, 1982 [56]; Fig. 2.5A).

Syn-caldera 96.7 - 95.2 ka Esta fase depositó la ignimbrita Tala (Mahood, 1980 [51]; Mahood et al., 1981a [53]) también llamada Río Caliente (Wright et al., 1983 [100]) con la emisión de entre 20 y 35 km³ de magma (Mahood, 1980 [51]; Mahood, 1981a [53]; Walker et al., 1981 [95]; Mahood, 1983 [55]). El colapso de la parte superior de la cámara magmática generó una caldera de 11 km de diámetro. Esta depresión se llenó de agua formándose un lago con sedimentación lacustre y volcanoclástica. La estructura interna

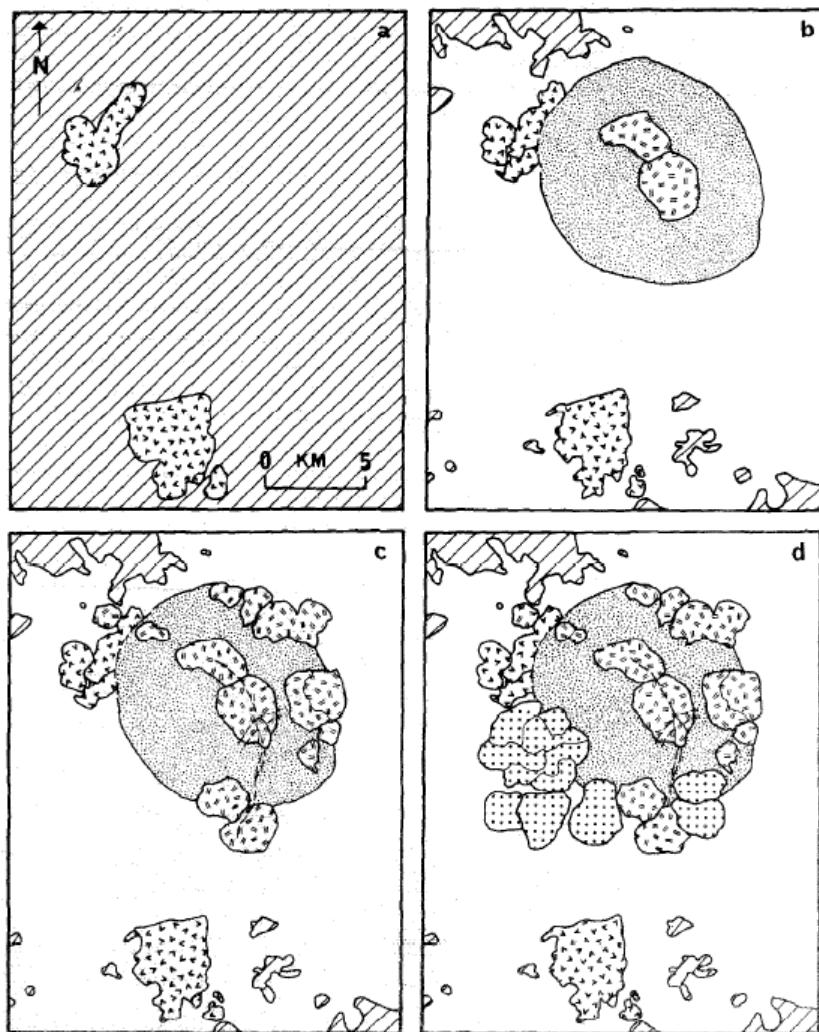


FIGURA 2.5: Evolución de La Primavera según Mahood (1980b [51]).

de la Caldera de La Primavera está afectada por un sistema de fallas relacionadas con el colapso y resurgencia posterior de su parte central (Mahood, 1980 [51]).

Post-caldera La fase post-caldera se llevó acabo entre 95 y 25 ka con la formación de domos dentro y fuera de la caldera.

Domos centrales y Pómez gigante 95 ka

Adentro de la caldera se formó la base de los domos centrales Nejahuete (128.7 - 101.8 ka) y Cerro Alto (126.2 - 115.5 ka) (Mahood y Drake, 1982) seguida de una erupción que arrojó bloques gigantes de pómez en el lago (122.2 - 103.8 ka) (Fig. 2.5B).

Domos del anillo viejo 95 ka

Se emplazaron una serie de domos a lo largo del anillo de la caldera, mientras que la sedimentación lacustre continuó con el emplazamiento de unos 30 m de sedimentos de

ceniza de grano fino. Se formaron los domos Cerro El Tule (108.4 - 96.8 ka), El Madrón, Cerro El Chapulín (97.7 ka), Piñar de la Venta (96.8 ka), Arroyo La Cuartilla (91.8 ka), Mesa La Lobera (79 ka; Mahood, 1977), Dos Coyotes, Arroyo Las Pilas, Mesa El Chiquihuitillo, Cerro Chato (99.7 ka), Mesa El Burro (96.7 ka) y las partes superiores de Cerro Alto y Mesa Nejahuete (82.8 ka) (Mahood, 1980 [51]; Mahood, 1981a [53]; Mahood y Drake, 1982 [56]; Fig. 2.5C).

Domos del anillo joven 75 ka

La actividad continuó con la extrusión de un grupo de domos más jóvenes que arrojaron un total de 3 km³ de magma a lo largo del margen sur del lago de la caldera. Se formaron los domos Cerro El Pedernal (73 - 46.3 ka), La Puerta (89.5 ka), Arroyo Las Animas, Cerro El Culebreado (77.2 ka), Arroyo Ixtahuatonte (83.6 ka) y La Cuesta (71.3 ka). El lago desapareció debido a la resurgencia de la parte central de la caldera y extrusión de magma nuevo (Mahood, 1980 [51]; Mahood, 1981a [53]; Mahood y Drake, 1982 [56]; Fig. 2.5D).

Lavas del arco sur 60 - 25 ka

La resurgencia culminó hace 60 ka con la erupción de 7 km³ de lavas afíricas a lo largo del arco sur en el centro Cerro San Miguel (92.0 – 82.6 ka), centro Cerro Las Planillas (61.3 – 60.5 ka), centro Cerro El Tajo (26.8 – 5.8 ka), Arroyo Colorado, lava Llano Grande (60.5 ka) y Cerro El Colli (31.9 - 30.1 ka) (Mahood, 1980 [51]; Mahood, 1981a [53]; Mahood y Drake, 1982 [56]; Fig. 2.5D).

Recientemente se han obtenidos nuevos fechamientos con el método U/Th en circones del domo Chapulín (edad isócrona 93.3 ± 1.9 ka; tesis de licenciatura de Nina Adhara Ávila Ortiz, Instituto de Geología, UNAM México [70]), de la base y parte superior del domo compuesto Nejahuete (edades isócronas $91.25 \pm 6/-6.7$ y 82.6 ± 2.2 ka; tesis de maestría de Zareth Tinoco Murillo, IGUM [65]), de la lava de Cerrito Colorado (edad isócrona $75.8 \pm 6.5/-8.1$ ka; tesis de maestría de Zareth Tinoco Murillo, IGUM [65]) y de la Pómez Gigante (edad modelo $\approx 89.9 \pm 6.9/-6.5$; tesis de maestría de Zareth Tinoco Murillo, IGUM [65]) para complementar las edades de Mahood (1977 [50]; 1980 [51]) y Mahood y Drake (1982 [56]).

2.2.4. Química de los domos de La Primavera

Mahood (1977 [50]; 1981b [52]) realizaron la química de los elementos mayores, trazas e isótopos de los domos, Pómez gigante e ignimbrita Tala del Complejo Volcánico la Primavera (CVLP). En su investigación sobre la evolución de La Primavera, Mahood midió la composición química de las fases pre-caldera, syn-caldera y domos post-caldera.

29 muestras fueron medidas por Análisis de Activación Instrumental De Neutrón (INAA) y Fluorescencia de rayo X (XRF): 3 muestras de los domos pre-caldera (Cañón de las Flores y León), 7 muestras de Toba Tala (Base, intermedio y parte superior), 1 muestra de Nejahuete, 1 muestra de Cerro Alto, 1 muestra de Pómez Gigante (GPH), 4 muestras de los domos del anillo viejo - 95 ka (Burro, Chato, Tule, Cuartilla), 3 muestras de los domos del anillo joven - 75 ka (Pedernal, Cuesta y San Miguel NE parte), 4 muestras de lavas de los centros del arco sur - 60 ky (San Miguel y Planillas), y finalmente 2 muestras de lavas del arco de 30 ka (Tajo y Colli).

Con los datos los autores observaron que todos los domos tenían una composición riolítica ($>75\%$ SiO₂) con un contenido de elemento muy similar. Los domos pre-caldera (Cañón de las Flores y El León) son heterogéneos sin tendencias químicas con el tiempo. La ignimbrita Tala tiene una parte inferior ligeramente peralkalina y enriquecida en Na, Rb, Cs, Cl, F, Zn, Y, Zr, Nb, Sb, HREE, Hf, Ta, Pb, Th, y U, y una parte superior con composición metaluminosa y enriquecida en K, LREE, Sc, y Ti; Al, Ca, Mg, Mn, Fe, y Eu. Nejahuete y los domos del anillo viejo (95 ka; El Burro, El Chato, El Tule y La Cuartilla) así como la parte superior de la ignimbrita Tala tienen una composición muy similar, contrariamente al domo compuesto Cerro Alto, que tiene una composición más transicional. Los domos del anillo joven (75 ka; Pedernal, Cuesta y La Puerta), del arco sur (60 ka; San Miguel y Planillas) y los domos de 30 ka (Tajo y Colli) son menos peralkalinios y más metaluminosos con el tiempo (Mahood et al., 1981 [52]).

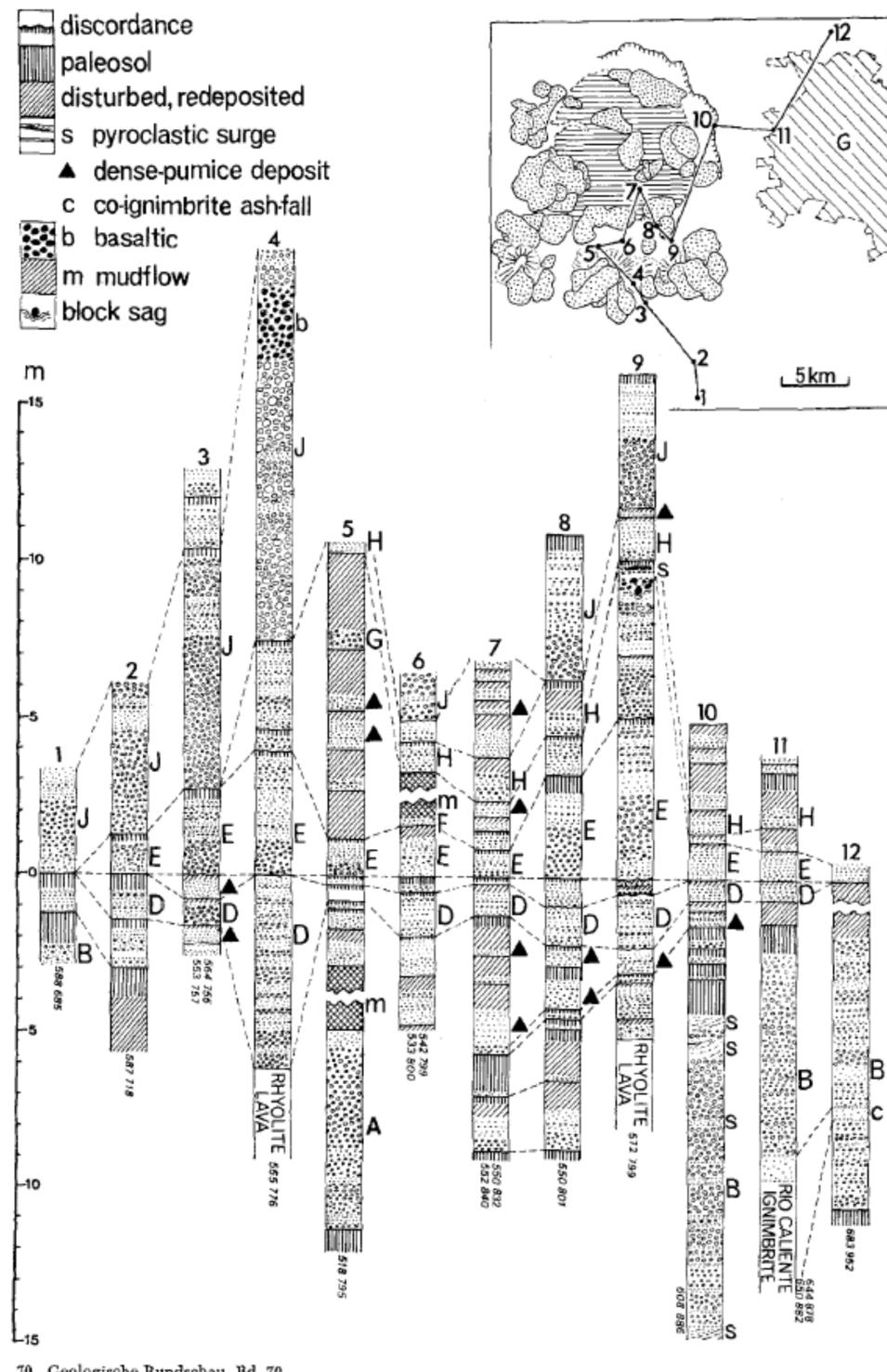
Con base en la homogeneidad de la composición de los fenocristales y de los análisis en rocas totales de los domos post-caldera y de la parte superior de Toba Tala, los autores propusieron que la ignimbrita Tala y los domos post-caldera vinieron de una misma cámara magmática composicionalmente zonada. La parte basal de Toba Tala fue producida por la parte superior de la cámara de magma, mientras que la parte superior de Toba Tala y los domos de los grupos Domos del anillo viejo (95 ka), Domos del anillo

joven (75 ka), Lavas del arco sur (60 ka) y Lavas del arco de 30 ka vinieron de la parte inferior de la cámara magmática.

Isotópicamente, las riolitas altas en sílice de La Primavera tienen valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bajos (0.7041 - 0.7048) mientras que los valores de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (0.5129) para todas las riolitas son idénticos a los basaltos de la misma caldera (Mahood y Halliday, 1988 [54]; Fig. 15, 16 y Tabla 5). Estos valores primitivos junto con los valores isotópicos de oxígeno (δ 18O) sugieren un origen por cristalización fraccionada de un basalto derivado del manto (Mahood y Halliday, 1988 [54]).

2.2.5. Estratigrafía piroclástica

En 1981, Walker et al. [95] estudiaron la estratigrafía de la caldera de la Primavera. Los autores describieron y correlacionaron los depósitos de 12 secciones estratigráficas donde reconocieron 17 caídas de pómez riolítica, afírica o casi afírica de similar apariencia (Walker et al., 1981 [95]). De estos depósitos, los autores mencionaron 10 caídas llamadas A hasta J, B siendo interpretada como la caída de ceniza co-ignimbritica asociada a la ignimbrita Tala. Utilizaron las unidades B, E y J para correlacionar los depósitos. Su correlación de columnas de los depósitos piroclásticos está dada en Fig. 2.6.



70 Geologische Rundschau, Bd. 70

FIGURA 2.6: Correlación de columnas de la actividad explosiva post-caldera (Walker et al., 1981 [95]).

Las descripciones de las erupciones post-caldera D, E, F-G, H y J de Walker et al. (1981 [95]) están dadas en Tabla 2.2.

Erupción	Descripción	Fuente
D	Grande distribución, en todas partes bien estratificadas. Varía desde una capa de pómez en su base a un depósito grueso rico en líticos y obsidiana en su centro y parte superior.	Cráter de Planillas
E	Pequeña pero muy dispersa. Parte principal relativamente mal ordenada y parte pliniana homogénea. La parte superior es estratificada y esta dividida en una secuencia de unidades con gradación normal.	Parte este de Planillas
F y G	Enriquecida en pómez tubular, junto con muchos líticos y obsidiana.	Domo SE de San Miguel
H	Depósito pliniano similar a E, pero más rico en líticos concentrados en su parte media superior	Cráter de San Miguel
J	Depósito no estratificado excepto en su parte superior y relativamente rico en líticos, particularmente en su parte superior (25% de líticos).	Parte sur-este de Planillas

TABLA 2.2: Descripciones de las erupciones post-caldera (Walker et al., 1981 [95]).

Como se puede observar en la Tabla 2.2, las descripciones de las erupciones post-caldera están incompletas y no permiten reconocer las erupciones en el campo, debido a la falta de informaciones relativas a los tipos de líticos, pómez y buenas descripciones de la estructura de los depósitos. Además, sólo las erupciones D, F y J fueron representadas con mapas de isopacas e isopletas (Figs. 2.7 y 2.8).

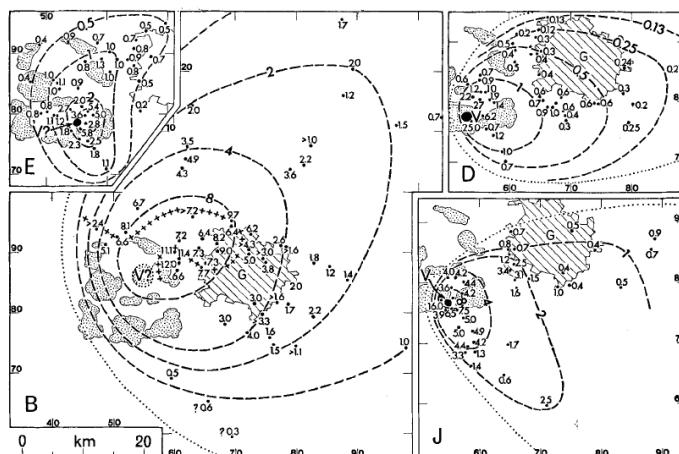


FIGURA 2.7: Mapas de Isopacas de las erupciones B, D, E y J (Walker et al., 1981 [95]).

Con estos datos, los autores propusieron que los depósitos de caída jóvenes D, E y J vinieron de los volcanes satélites San Miguel y Planillas ubicados al sur de la caldera (Fig. 2.9).

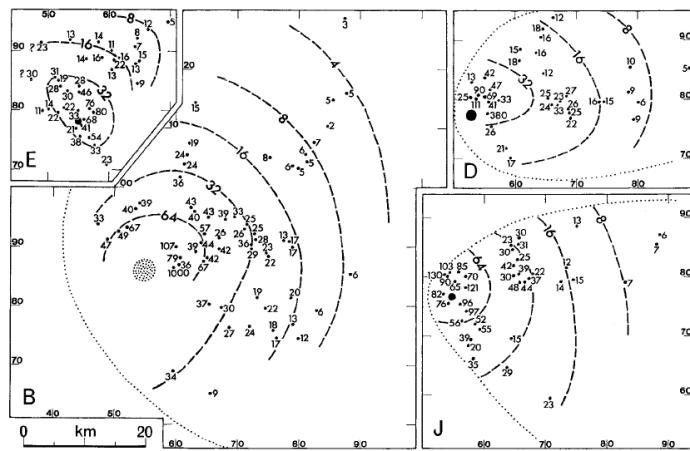


FIGURA 2.8: Mapas de Isopletas con promedio de los tres líticos más grandes de las erupciones B, D, E y J (Walker et al., 1981 [95]).

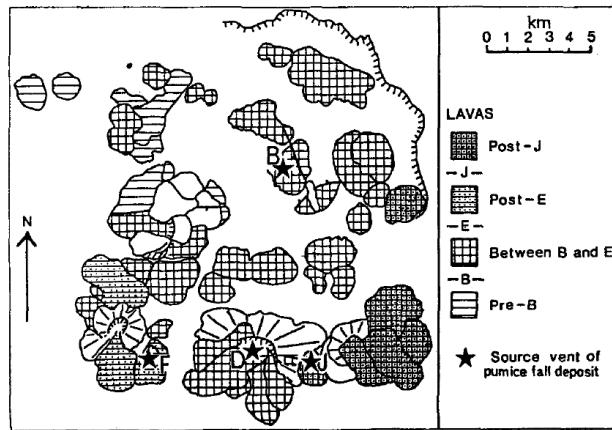


FIGURA 2.9: Fuentes de las erupciones B, D, E y J (Walker et al., 1981 [95]).

3 | Metodología

Para llevar a cabo este estudio se realizó trabajo de gabinete, de campo y de laboratorio.

3.1. Trabajo de gabinete

Para empezar este trabajo de tesis, se recopiló la información disponible de la zona de estudio de la Caldera de La Primavera y se utilizaron modelos digitales y sistemas de información geográfica para representar los datos de campo.

3.1.1. Recopilación de información

Entre los años setenta y noventa, varios trabajos de investigación sobre la Caldera de la Primavera y su ambiente tectónico fueron publicados por diferentes autores. Por ejemplo, se buscó los artículos de Mahood y colaboradores que tratan la evolución y química de la Caldera (1977 [50]; 1980 [51]; 1981a [53]; 1981b [52]; 1982 [56]; 1985 [49]); el artículo de Yokoyama y Mena sobre la estructura interna de la caldera (1991 [103]); el artículo de Walker sobre la estratigrafía piroclástica post-caldera (1991 [95]), entre otros.

3.1.2. Modelos digitales y Sistemas de Información Geográfica

Para obtener mapas de buena calidad, se utilizaron conjuntamente varios tipos de materiales: topografía digital del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), imágenes satelitales, anáglifos y otros. Se recopiló la información vectorial y raster de la caldera de la Primavera proveniente del INEGI y la Estación de Recepción México de la Constelación Spot (ERMES). Se utilizaron nueve cartas topográficas escala 1: 50 000

(F13D54, F13D55, F13D56, F13D64, F13D65, F13D66, F13D74, F13D75 y F13D76) (Fig. 3.1), así como, 54 ortófotos pancromáticas con resolución de 1.5 m de diferentes años a escala 1:20,000 procesadas con el sistema de coordenadas WGS84 UTM13 (F13D54A, B, C, D, E y F).



FIGURA 3.1: Carta topográfica INEGI del Complejo Volcánico La Primavera

Con el mapa topográfico se produjeron los mapas altitudinales, de pendientes y sombreados. Estos mapas fueron generados con el programa de ArcMap 10.2 utilizando el método de interpolación. Posteriormente, se tomó la base topográfica (curvas de nivel de 20 m) para construir un modelo digital de elevación del terreno MDE (*Digital Elevation Model DEM* en inglés) (Fig. 3.2A-B), y el sombreado en tonos de gris (Fig. 3.2C-D) que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes. Este último es la representación digital del terreno con información altitudinal en formato raster donde cada píxel tiene una resolución de 15 m, así como los valores de las coordenadas (x, y) y la elevación (z).

Posteriormente, se utilizó un anáglifo (par de imágenes que provocan un efecto tridimensional del terreno) que fue creado mediante la fusión del MDE y MDE sombreado (Fig. 3.3). Los resultados obtenidos se procesaron en los sistemas de información geográfica ArcGis. Con el MDE sombreado y el anáglifo, que incluyen rasgos de superficie del terreno en 3D y características del terreno como textura, color y vegetación, se procedió a interpretar las unidades litológicas de la zona de estudio para iniciar la cartografía del complejo volcánico.

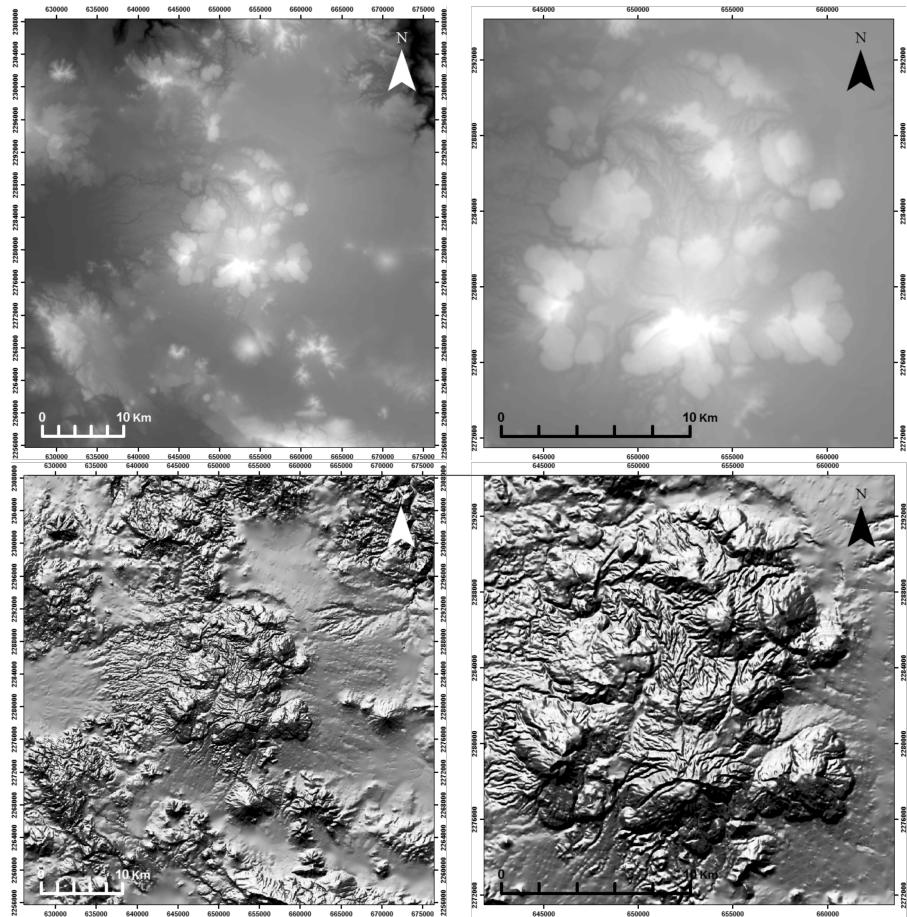


FIGURA 3.2: En las imágenes A y B están los Modelos Digitales de Elevación del Complejo Volcánico La Primavera, mientras que en las imágenes C y D están los Modelos Digitales de Elevación sombreados del Complejo Volcánico La Primavera.

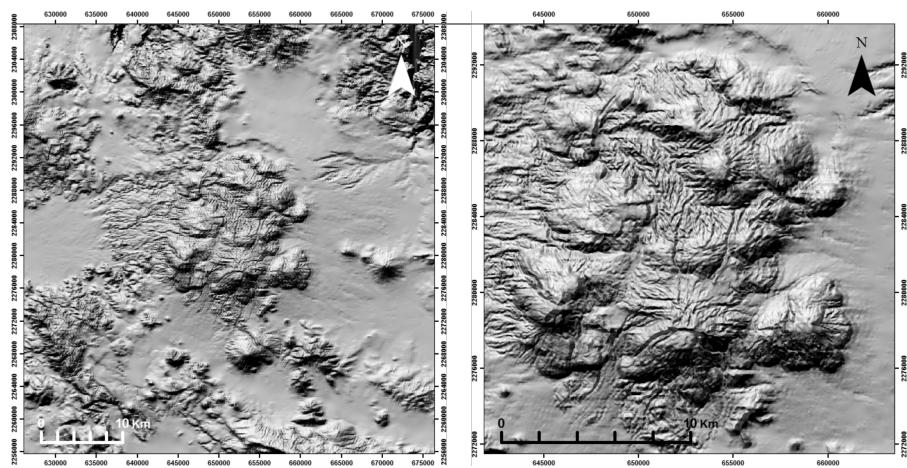


FIGURA 3.3: Anáglifos del Complejo Volcánico La Primavera.

3.2. Trabajo de campo

Entre agosto de 2015 y noviembre de 2018, se estudiaron más de 600 sitios en la zona de estudio. De todos los sitios descritos, se hicieron más de 120 secciones estratigráficas para representar la variación vertical y lateral de los depósitos (Fig. 3.4). Las coordenadas y claves de los afloramientos están en los apéndices A.1 a A.19.

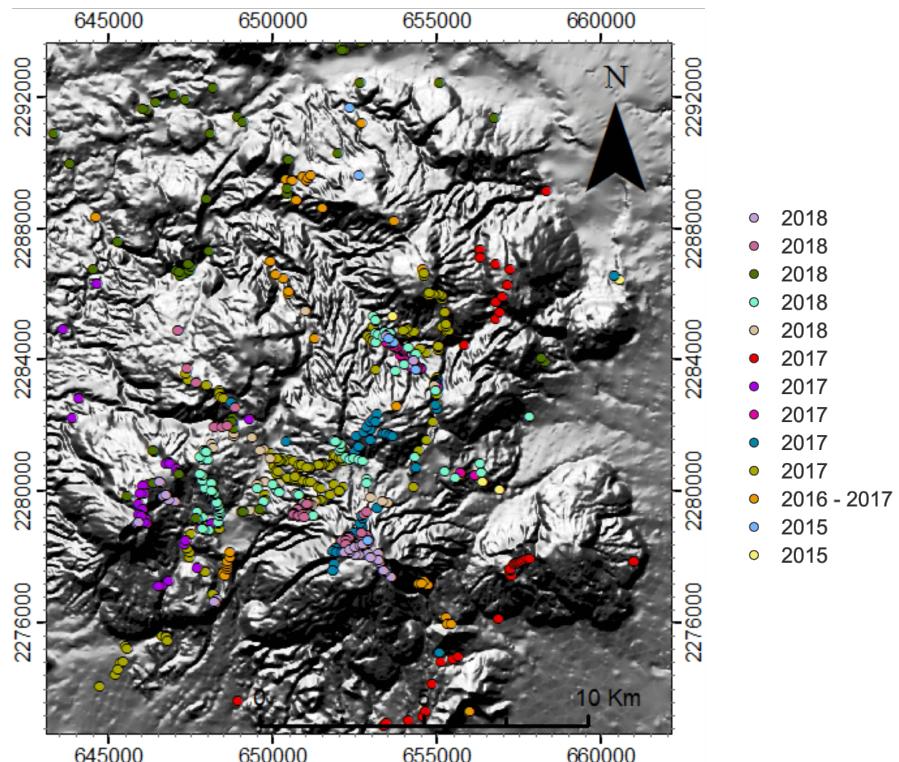


FIGURA 3.4: Afloramientos y puntos visitados del Complejo Volcánico La Primavera

Las descripciones de las unidades eruptivas y dibujos de las columnas estratigráficas se hicieron tomando en cuenta las siguientes características de los depósitos:

- Color,
- Espesor,
- Tipos de clastos (juvenil o lítico),
- Forma y tamaño de los clastos (ceniza fina a lapilli grueso),
- Soporte de clastos (clasto soportado o matriz soportada),
- Tipo de matriz,

- Grado de selección Σ ,
- Estructura (masivo, estratificación difusa, plano paralela o cruzada),
- Gradación (normal, inversa, inversa a normal, normal a inversa, múltiple),
- Clasificación del depósitos (caída, oleada piroclástica, PDC, lacustre, lahar, fluvial y paleosuelo).

Los depósitos de caídas fueron muestreados (0.5 - 1 kg) para análisis de granulometría, componentes, densidades, químicos y de fechamientos. En caso de depósito homogéneo, una sola muestra fue tomada de la base hacia la parte superior. En los depósitos estratificados el muestreo se hizo en su base, parte media y parte superior. Los fragmentos de pómez más grandes fueron utilizados para la elaboración de secciones pulidas y análisis químicos.

Cada depósito fue descrito en términos de estructura (gradación, clasificación, y espesor) y litología (tipo de clasto, tamaño de grano, mineralogía, color, y textura). También se midieron los espesores y diámetro máximo de los cinco fragmentos líticos más grandes de los afloramientos para la elaboración de los mapas de isopacas e isopletas. Se calcularon las alturas de columnas eruptivas según el método descrito por Carey y Sparks (1986 [13]).

3.3. Trabajo de laboratorio

Todas las muestras recolectadas para los análisis de granulometría, química y fechamientos fueron secadas en un horno a temperatura de 60 ° C por 24 horas. A continuación, se detalla la metodología utilizada por el análisis de las muestras.

3.3.1. Granulometría

Ciento treinta y una muestras fueron tamizadas con tamices a intervalos de 1Φ entre -6Φ y 4Φ en el Laboratorio de Partículas Finas, Instituto de Geofísica Unidad Michoacán (IGUM), UNAM Campus Morelia (Figs. 3.6A y 3.5). El tamizado se realizó a mano para no romper la pómez. La cuantificación de las fracciones 5 hasta 10 Φ fue hecha por la técnica Irma Fabiola Mendiola López, encargada del Laboratorio de Partículas Finas del

IGUM, UNAM campus Morelia. La lista de muestras analizadas está en los apéndices A.21 a A.25. Se utilizó la clasificación de Sohn y Chough (1989 [85]) para cuantificar el tamaño de grano promedio de los depósitos de caídas (Fig. A.1). Los parámetros Φ_{16} , $M_d = \Phi_{50}$ ($M_d\varphi$), Φ_{84} y la desviación estándar (σ) de Inman (1952 [33]) fueron determinados para cada muestra. La nomenclatura utilizada para cuantificar el sorteo (σ) y espesor de los depósitos están dados en los apéndices A.1 y A.2.

GRANULOMETRIA Primavera Caldera

Muestra: LP15101A Tot

30/10/2015

Peso Total antes:
Peso Total despues:

976,48 g
975,74 g

Perdido:
0,74 g
0,08 %

No. de tamiz	Malla en mm	Phí	Clasificación de Cough y Sohn, 1990)	Peso individual en gr.	% individual	Peso acumulativo	% acumulativo
2/ ½	63	-6	Bloque fino				
1/ ¼	31,5	-5	Lapilli grueso				
5/8	16	-4	Lapilli grueso	2,81	0,29	2,81	0,29
5/16	8	-3	Lapilli medio	42,55	4,36	45,36	4,65
5	4	-2	Lapilli medio	96,09	9,85	141,45	14,50
10	2	-1	Lapilli fino	210,83	21,61	352,28	36,10
18	1	0	Ceniza gruesa	265,48	27,21	617,76	63,31
35	0,50	1	Ceniza gruesa	226,52	23,22	844,28	86,53
60	0,25	2		94,39	9,67	938,67	96,20
120	0,125	3	Ceniza media	26,63	2,73	965,30	98,93
230	0,063	4	Ceniza media	7,81	0,80	973,11	99,73
> 230	< 0,063	> 4	Ceniza fina	2,63	0,27	975,74	100,00
Total				975,74	100		

Phi -2 à 2

91,55 % de la muestra

Ceniza gruesa a lapilli medio

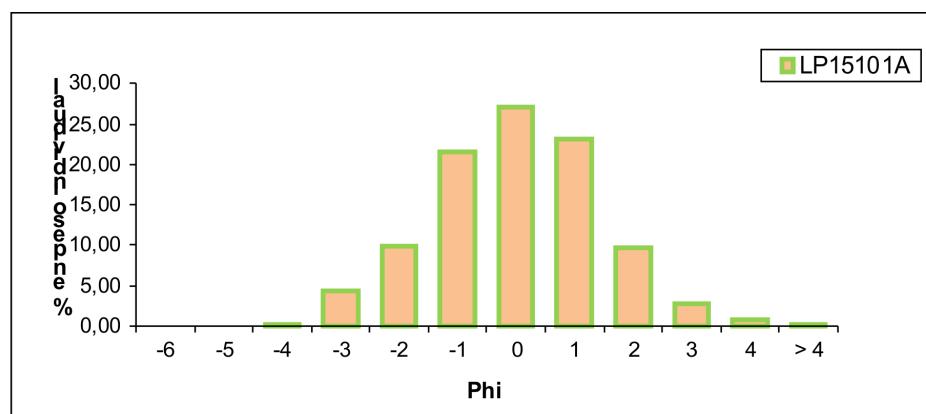


FIGURA 3.5: Ejemplo de hoja de granulometría del estudio

3.3.2. Componentes

Los fragmentos 1Φ de 84 muestras fueron observados con un microscopio estereoscópico Leica modelo MZ12₅ (Fig. 3.6B) en IGUM, UNAM campus Morelia. Los componentes se describieron como pómex juvenil, pómex vítreo juvenil, lítico y cristal. Entre 500 y 1000 fragmentos de las muestras fueron contados en las fracciones de tamiz 1Φ para describir los clastos y calcular los porcentajes de los diferentes tipos de componentes. La lista de muestras analizadas está en los apéndices A.21 a A.25.

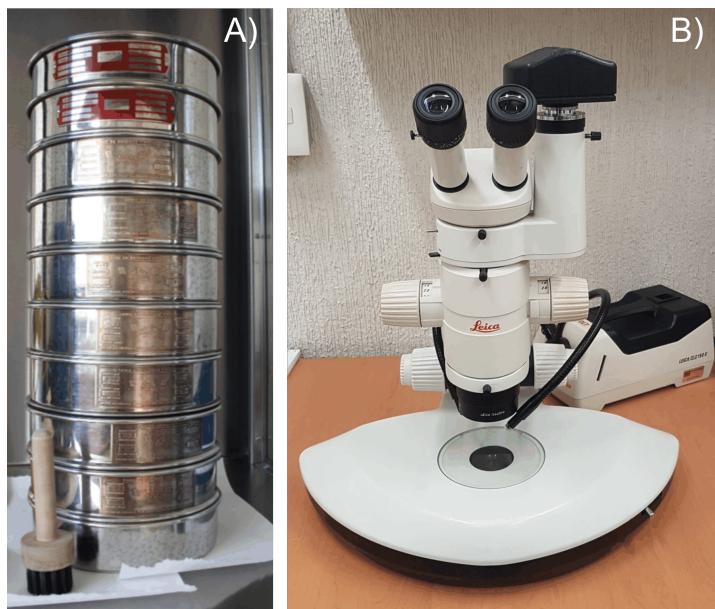


FIGURA 3.6: Juego de tamices (A) y microscopio estereoscópico Leica (B) utilizados durante la investigación.

Varios fragmentos de pómex de cada unidad estratigráfica fueron analizados con el Microscopio Hitachi Tabletop modelo TM3030 (Fig. 3.7A) para observar y comparar la textura y vesiculación macroscópica de la pómex de las diferentes erupciones. También se tomaron fotos de fragmentos de pómex de cada unidad estratigráfica con la microsonda electrónica JEOL JXA-8230 (Fig. 3.7B).

21 fragmentos de pómex de 5 a 3 cm de diámetro fueron seleccionados para preparar secciones pulidas con el fin de observar la textura de la pómex y los cristales presentes en la fracción juvenil de cada erupción (Fig. A.26). Las láminas se realizaron en el Laboratorio de Vulcanología del IGUM, UNAM campus Morelia.

Cada fragmento de pómex fue limpiado en agua destilada en un aparato de ultrasonido y cortado en dos. Después, una parte fue desbastada y pulida antes de ser impregnada y

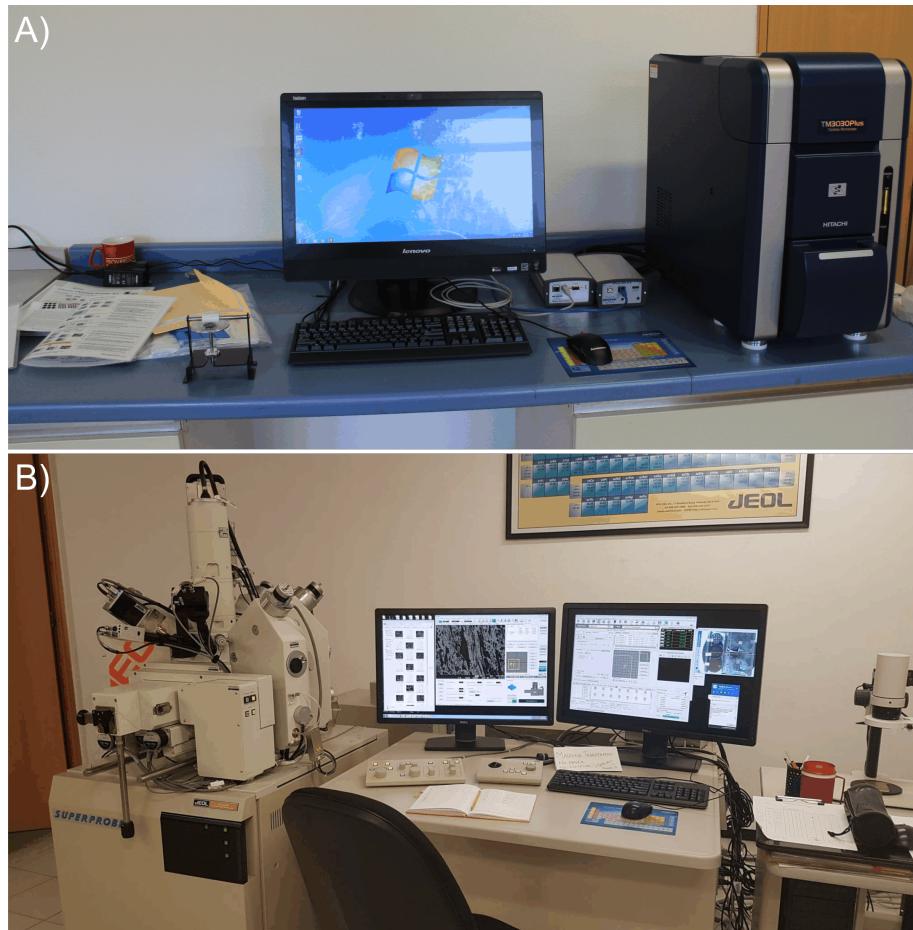


FIGURA 3.7: Microscopio electrónico de barrido Hitachi Tabletop TM3030 (A) y microsonda electrónica JEOL JXA-8230 (B) utilizados durante la investigación.

pegada a un porta objeto con resina UV que fue previamente desbastada para mejorar la adhesión de la pómez sobre el vidrio. Después de que se secó la resina, se cortó la pómez para dejar unos milímetros de muestra. Luego, se desbastó la muestra con abrasivos de las fracciones 400μ , 600μ y 1000μ y 5μ . Las láminas a analizar con la microsonda fueron también pulidas con abrasivos de alúmina de 1μ .

3.3.3. Análisis químicos de rocas y minerales

Para caracterizar y comparar las muestras de las erupciones post-caldera de la Caldera de la Primavera se hicieron análisis de roca total y de microsonda de las muestras.

3.3.3.1. Roca Total

Cincuenta cuatro muestras fueron elegidas para análisis de los elementos mayores, menores y trazas en roca total: 35 muestras de piroclástos, 14 de domos y 5 del basamento de La Primavera. La lista de las muestras analizadas está en el apéndice [A.27](#).

Cada muestra fue limpiada con agua destilada en el ultrasonido el tiempo necesario para que se eliminara la suciedad de los fragmentos de pómez. Los fragmentos más sucios fueron también limpiados con cíter. Luego, la pómez se secó al menos en 24h en vasos de vidrio dentro de un horno a temperatura de 60° C. Cada muestra fue dividida en cuatro. Las muestras fueron trituradas en un plato de acero al cromo (Fig. 3.8) en el Laboratorio de Partículas Finas del IGUM. Las tres primeras trituraciones fueron utilizadas para contaminar el equipo y fueron tiradas a la basura. Sólo se utilizó el polvo obtenido en la cuarta contaminación para medir los elementos mayores, trazas, REE e isótopos.



FIGURA 3.8: Pulverizadora utilizada durante el estudio.

Los polvos producidos se enviaron al laboratorio Actlab Laboratory, Ontario, Canadá donde se utilizaron los métodos *Instrumental Neutron Activation Analysis* (INAA), *Fusion Inductively Coupled Plasma* (FUS-ICP), *Inductively Coupled Plasma* (TD-ICP), *Fusion Mass Spectrometry* (FUS-MS) y *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) para medir la composición de los elementos mayores, trazas y REE de las muestras. El laboratorio asegura que la precisión de las mediciones es entre ± 5 y ± 20 cuando la concentración del elemento es superior a 100 veces su límite de detección (Pagina internet de ActLab

<http://www.actlabs.com/page.aspx?menu=74&app=243&cat1=610&tp=2&lk=no>).

Los polvos de 15 muestras fueron enviados al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) de la UNAM en la Ciudad de México para medir las relaciones isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ en roca total. Los trabajos analíticos fueron realizados por la M.C. Gabriela Solís Pichardo, el M.C. Gerardo Arrieta García y el Ing. Teodoro Hernández Treviño. Los errores analíticos de las mediciones están dados con los resultados en el apéndice [B.68](#).

3.3.3.2. Microsonda

21 secciones pulidas fueron seleccionadas para realizar análisis puntuales de microsonda en el vidrio y los cristales (cuarzo, sanidino, ferro-hedenbergita, fayalita y titanio-magnetita). La lista de las muestras analizadas está en el apéndice [A.26](#).

Los análisis se llevaron a cabo con una microsonda electrónica modelo JEOL JXA-8230 del IGUM. Las condiciones analíticas usadas fueron: Voltaje de aceleración de 15 kV y un haz enfocado con una corriente de 10nA para el vidrio y los cristales sanidina, ferro-hedenbergita, fayalita y titanio-magnetita. Se utilizó un haz de 10μ para el análisis del vidrio.

3.3.4. Fechamientos

3.3.4.1. U/Th en circones

Diez y ocho muestras de pómez fueron trituradas hasta obtener un polvo de tamaño 3 Φ (tamiz con aperturas de 0.125 mm) en el Laboratorio de partículas finas del Instituto del IGUM. Luego, los polvos de muestras fueron enviados al Centro de Geociencias de la UNAM campus Juriquilla (Querétaro, México), donde Juan Pablo Bernal y su equipo buscaron circones a medir (Fig. [3.9](#)). 35 circones es recomendable para obtener una buena edad isócrona.

Luego se midieron los coeficientes de actividad ($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$), ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$) y ($^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$) a partir del bordes de los circones de las muestras con un espectrómetro Neptune plus MCICPMS con un *Resonetcs L-50 laser ablation workstation* (Solari et al., 2010

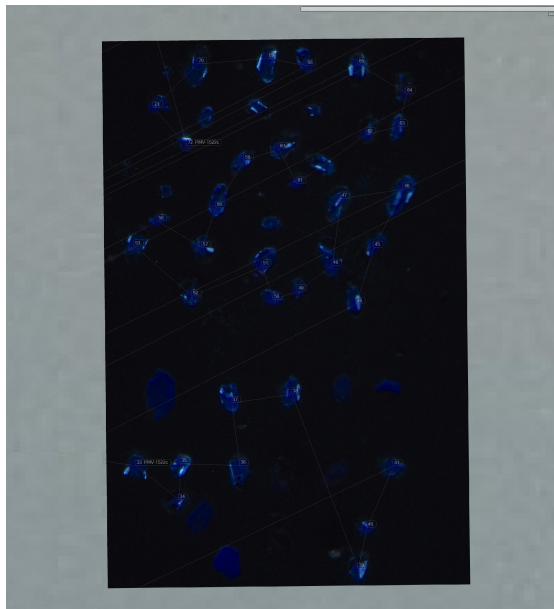


FIGURA 3.9: Circones en catodoluminiciencia de la muestra LPZ10.

[86])(Fig.3.10). Los circones fueron analizados con un láser de $44 \mu\text{m}$ de diámetro y flujo de energía de 6 J/cm^2 . Los resultados fueron reducidos con el programa Iolite 3.0 (Paton et al., 2011 [73]) y calculados con Isoplot R (Vermeesch, 2018 [94]). Las edades se obtuvieron usando las isócronas de $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})$ vs. $(^{238}\text{U}/^{232}\text{Th})$ con las constantes de decaimiento de Jaffey et al. (1971 [35]) para ^{238}U , y Cheng et al. (2013 [16]) para ^{230}Th . Las incertidumbres presentan un intervalo de confianza de 95 % (Ludwig et al., 2003 [42]).

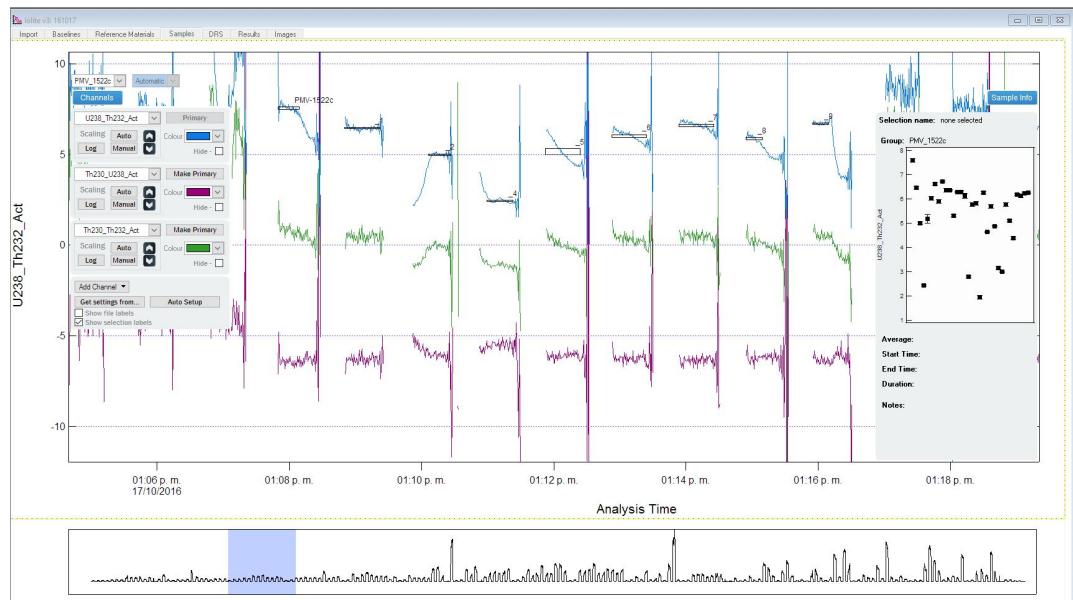


FIGURA 3.10: Análisis de los datos de la muestra LPZ10.

Se representaron los valores ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$) vs. ($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$) para obtener una isócrona y calcular la edad de la muestra a partir de su pendiente (Fig. 3.11) según el método de Bernal et al. (2014, [7]). La relación U/Th, pendiente y tiempo están dados en la siguiente ecuación:

$$(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_{\text{presente}} = (^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_{\text{Initial}} \exp^{-(\lambda_{230})*t} + (^{238}\text{U}/^{232}\text{Th})*(1 - \exp^{-(\lambda_{230})*t})$$

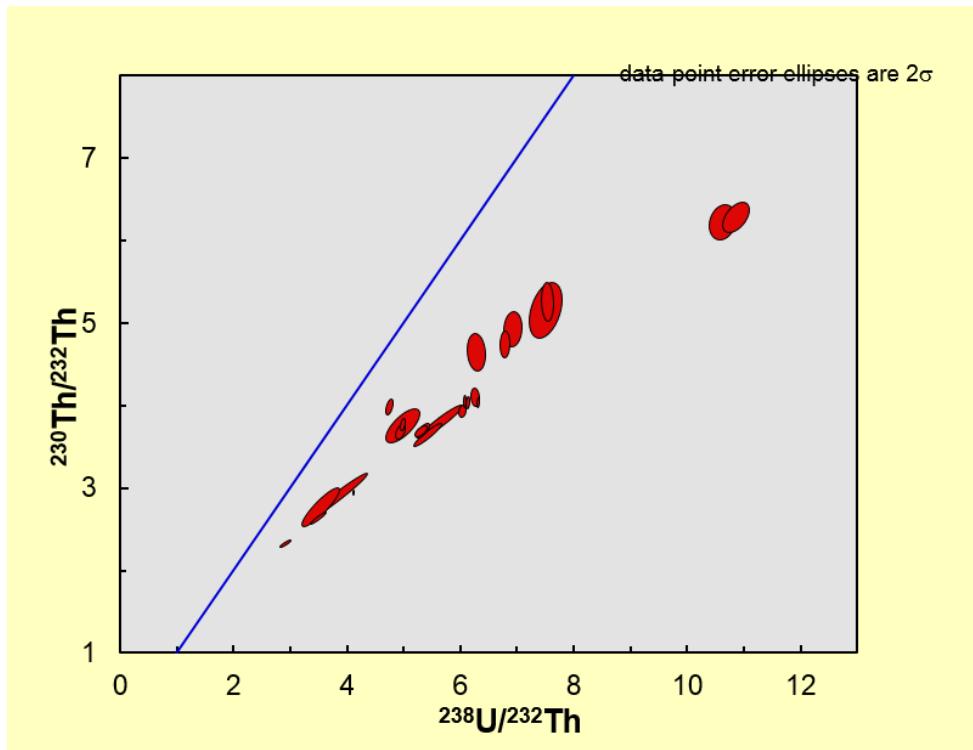


FIGURA 3.11: Análisis de los datos de la muestra LPZ10.

3.3.4.2. Edades modelos

Se calcularon también las edades modelos de las muestras para complementar las edades isócronas. El cálculo de la edad modelo toma en cuenta la tasa inicial de Th del magma (Boehnke et al., 2016 [8]). El cálculo de las edades modelos tiene dos etapas:

- (1) Cálculo de la pendiente (m) e incertidumbre (u) de los circones utilizando los *ratios*

$$(^{238}U/^{232}Th)_{Act}, (^{238}U/^{232}Th)_{Act_{Int2SE}}, (^{230}Th/^{232}Th)_{Act} \text{ y } (^{230}Th/^{232}Th)_{Act_{Int2SE}}$$

como valores iniciales para el módulo llamado Thu-Calc del software Canopy (Boehnke et al., 2016 [8]).

(2) Cálculo de la pendiente mínima, pendiente máxima, edad, edad mínima y máxima de los circones en Excel. La edad más baja corresponde a la edad modelo de la muestra.

Las instrucciones a seguir para calcular las edades modelos están dadas en el apéndice (Apéndice A.3). Los resultados calculados por la muestra LPZ10 fueron dados como ejemplo en los apéndices A.4 y A.5.

3.3.4.3. C^{14} en paleosuelo

Tres muestras de paleosuelo fueron enviadas a Beta Analytic Radiocarbon Dating (Miami, Estados Unidos) para medir la actividad radiológica del carbono 14 (^{14}C) contenido en la materia orgánica del paleosuelo. Este método mide el tiempo despachado desde la muerte del organismo animal o vegetal que constituye el paleosuelo. Las muestras deben tener entre algunas centenas de años hasta 50 000 años para poder utilizar el método.

3.3.4.4. Ar/Ar en sanidino, *groundmass* y vidrio

Diez y seis muestras de lava fueron mandadas a OSU Argon Geochronology Lab (Oregon State University, Corvallis, Estados Unidos) para medir el contenido en los isótopos ^{40}K , ^{39}Ar , ^{37}Ar y ^{36}Cl en los cristales de sanidina, *groundmass* y vidrio.

4 | Resultados

4.1. Fechamientos

Se obtuvieron fechamientos $^{230}\text{Th}/\text{U}$ en zircones y C^{14} en paleosuelos para caracterizar la edad de las unidades eruptivas que se llevaron a cabo después del colapso de la caldera de La Primavera hace 96 - 95 ka.

4.1.1. Edades isócronas

Se mandaron entre 2014 y 2019 diez y siete muestras al Centro de Geociencias de la UNAM campus Juriquilla (Querétaro, México). De estas muestras, se midieron los coeficientes de actividad ($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$), ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$) y ($^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$) en el borde de los zircones de diez y cuatro muestras según el método propuesto por Bernal et al. (2014 [7]). Luego, se calcularon las edades isócronas de las muestras a partir de los coeficientes de actividad con incertidumbres a nivel 2σ con Isoplot R (Vermeesch, 2018 [94]). Los coeficientes de actividad de uPG (LPZ0) fueron tomados de la tesis de maestría de Tinoco (2017 [65]), mientras que las actividades de uK (PMV2215E) y uM (PMV3314D) fueron compartidas por el Dr. Ricardo Saucedo Girón (Universidad Autónoma de San Luis Potosí). Los coeficientes de actividad y incertidumbres de las muestras están dados en los apéndices B.19 a B.28. Las edades isócronas calculadas por las unidades PG-M están dados en Tabla 4.1.

4.1.2. Edades modelos

Se calcularon las edades modelos de diez y siete muestras mediante el modelo 'BBB' propuesto por Boehnke et al. (2016 [8]). Este método utiliza los coeficientes de actividad

$(^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}_{act})$ y $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}_{act})$ y incertidumbres 2σ obtenidos por ablación láser como datos de entrada en el programa Thuzirconcalculator Python escrito por Boehnke et al. (2016 [8]) para calcular los parámetros de pendiente (m) e incertidumbre a 2σ de incertidumbre (u) para cada zircón. Luego, se utilizaron los parámetros m y u para calcular las edades modelos y sus respectivas incertidumbres a nivel 2σ . Las edades modelos de las muestras están dados en los apéndices B.29 a B.27.

Se calcularon para cada muestra la edad del último zircón que creció dentro de la cámara magmática (columna 2), la edad del promedio de los cinco zircones más jóvenes con Isoplot R (Vermeesch, 2018 [94]) (columna 3) y la edad del promedio de las edades modelos con Isoplot R (Vermeesch, 2018 [94]) (columna 4). Se calcularon también la desviación estándar (2σ) y MSWD para cuantificar la calidad de los resultados (Tabla 4.1).

Como se puede ver en la tabla 4.1, entre 5 y 46 zircones fueron analizados por muestra. Dado que se requiere en general al menos 25 zircones por muestras para obtener edades isócronas y modelos de buena calidad, las edades que se calcularon con menos de 25 zircones pueden tener más incertidumbre. No se pudo calcular edades isócronas y modelos por la muestra LP15103I (5 zircones). El bajo contenido en zircones de las muestras LP15102F y LP15104K, tampoco permitió obtener buenas edades isócronas y modelos (16 zircones). Por lo tanto se representaron los resultados de las muestras LP15102F, LP15104K y LP15103I con las otras muestras pero no fueron utilizados. Se utilizaron las edades isócronas de las muestras LP15103H (7 zircones) y PMV3314D (6 zircones) a pesar de sus bajos contenidos en zircones ya que no tenemos otros fechamientos por las unidades L y M. En el caso de las unidades que tienen varias edades, sólo se tomaran en cuenta las edades que siguen el orden descrito por las otras edades disponibles.

Las edades isócronas (columna 1) son en general muy similares a las edades de los zircones más jóvenes (columna 2) y a los promedios de los 5 zircones más jóvenes (columna 3) con diferencias entre 0.2 y 6 ka (excepto por las muestras LP1513K y PMV3314D), por lo que se podrían utilizar o unas u otras. Sin embargo, las isócronas (1) tienen menos incertidumbres que las edades de los zircones más jóvenes (2) y tienen incertidumbres similares a las edades promedios de los cinco zircones más jóvenes (3). Las incertidumbres de las edades isócronas (1) tienen diferencias entre 0.8 y 5.4 ka (2σ), mientras que las edades modelos (2) tienen incertidumbres entre 5.5 y 18.5 ka (2σ) y que los promedios

de los cinco zircones más jóvenes (3) tienen incertidumbres entre 2.4 y 6.3 ka (2σ). Los promedios de las edades modelos (columna 4) parecen muy diferentes de las edades isócronas (1) con diferencias entre 2.8 y 13.1 ka.

Con base a los argumentos mencionados antes, las edades isócronas fueron privilegiadas ya que son de mejor calidad y tienen pocas incertidumbres. Sin embargo, unos de los valores son incoherentes con el orden establecido en el campo. Por lo tanto, fue también necesario utilizar los promedios de los cinco zircones más jóvenes (3) cuando las edades isócronas no correspondían al orden descrito por las otras edades disponibles (muestras LP1513I y LP15102B). Las edades que fueron utilizadas para caracterizar las unidades piroclásticas aparecen en letras negritas en tabla [4.1](#).

Unidad	Muestra	Coordenadas				(1)				(2)				(3)				(4)			
		X	Y	N	Edad	+/-	MSWD	N	Edad	+/-	MSWD	N	Edad	+/-	MSWD	N	Promedio 5 zircones más jóvenes 2 σ (ka)	2 σ (ka)	Promedio edades modelos		
M	PMV3314D	655384	2272177	9	44,68	3,22	1,1	6	63,4	6,2	5,9	66,8	2,8	1,93	-	69,8	2,4	2,68	7		
M	LP15103I	656363	2280300	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
L	LP15103H	656363	2280300	13	57,57	5,44	0,3	7	59,4	5,7	5,4	65,2	2,6	2,49	69,5	2,0	4,6	9			
K	PMV2215E	656526	2274616	25	59,12	3,1	1,5	17	60,8	6,0	6,0	64,9	2,7	0,75	68,2	1,8	1,44	13			
K	LP15102F	656889	2280033	16	61,97	4,34	1,5	11	64,1	5,7	5,4	65,9	2,6	0,3	69,6	1,7	1,99	12			
I	LP15102D	656889	2280033	34	58,69	1,36	1,8	27	58,6	5,2	5,0	60,0	2,4	0,24	64,5	1,1	1,08	28			
H	LP15104K	641705	2276073	29	61,93	2,62	1,31	13	57,4	7,9	7,9	63,3	3,0	0,33	67,6	1,5	1,08	20			
H	LP15104J	641705	2276073	26	60,26	0,84	2,9	23	58,9	6,2	5,9	60,1	2,5	0,1	65,7	1,4	2,24	18			
G	LP1513K	652876	2284749	23	60,05	4,04	1,1	18	66,2	6,0	5,7	69,2	2,4	0,27	73,6	1,4	1,88	22			
G	LP15102B	656889	2280033	35	55,53	1,52	2,1	30	58,1	5,5	5,2	60,3	2,4	0,43	63,6	1,2	0,81	22			
F	LP18300	648785	2281748		Esperamos los resultados				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
F	LP15131	652876	2284749	25	52,13	4,58	0,93	23	60,9	6,3	5,9	66,5	3,0	1,19	75,1	1,5	2,27	20			
E	LP26118M	648486	2277508	-	Esperamos los resultados				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
D	LP15101C	655677	2280474	37	71,49	3,04	1,1	37	74,9	8,2	7,6	76,1	3,1	0,042	78,9	1,5	0,34	22			
C	LP15101A	655677	2280474	34	72,67	2,1	1,9	33	75,3	6,5	6,2	77,3	3,1	0,24	80,3	1,5	0,44	23			
B	LP1513G	652876	2284749	24	74,19	6	1,7	24	75,0	8,7	8,1	78,2	3,8	0,25	84,4	1,7	1,14	23			
B	LP1513F	652876	2284749	42	78,22	2,78	2,6	41	76,7	7,3	6,8	78,4	3,3	0,13	84,4	1,3	1,04	36			
PG	LPZ0	653611	2284486	34	86,36	5,1	3,3	11	90,9	6,9	6,5	91,8	3,6	0,05	97,6	2,2	1,64	16			
PC	PMV14417C	660538	2286425	46	125,59	3,04	1	46	123,1	18,5	15,8	125,8	6,3	0,078	131,9	2,1	0,38	33			
Bloque Jalisco	PR9-2985	653041	2285331	29	465,2	83,8	0,82	27													

TABLA 4.1: Edades isócronas, edades modelos, promedio de los cinco zircones más jóvenes y promedios de las edades modelos de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$.

A continuación se representaron las edades isócronas y promedios de los cinco zircones más jóvenes de las unidades PC-M por edad decreciente de la parte superior hacia la base de las figuras 4.1 a 4.4.

En las figuras a la izquierda (Figs. 4.1 a 4.4 A-P) están representados las curvas de densidades de kernel KDE de las edades modelos (líneas negras) y las edades modelos con sus incertidumbres 2σ (círculos rojos, azules y verdes). Los zircones que están en rojo y azul por debajo del pico de la curva KDE pertenecen al pico principal de cristalización de los zircones. Estos zircones fueron tomados en cuenta en el cálculo de los promedios de las edades modelos. Los 5 zircones más jóvenes que crecieron dentro la cámara magmática antes de la erupción están representados por los círculos rojos. Los círculos verdes no fueron tomados en cuenta ya que pertenecen a otro pico de cristalización o son zircones heredados. No se representaron los zircones que tienen más de 200 ka para observar mejor los zircones que se formaron en los primeros 200 ka.

En las figuras a la derecha (Figs. 4.1 a 4.4 Abis-Pbis) están representados los gráficos ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$) vs. ($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$) donde se pueden observar las isócronas (líneas grises), los zircones utilizados en el cálculo de las edades isócronas (círculos rojos rellenos), los zircones no utilizados en el cálculo de las edades isócronas (círculos blancos), y la composición en roca total de las muestras (círculos rojos vacíos).

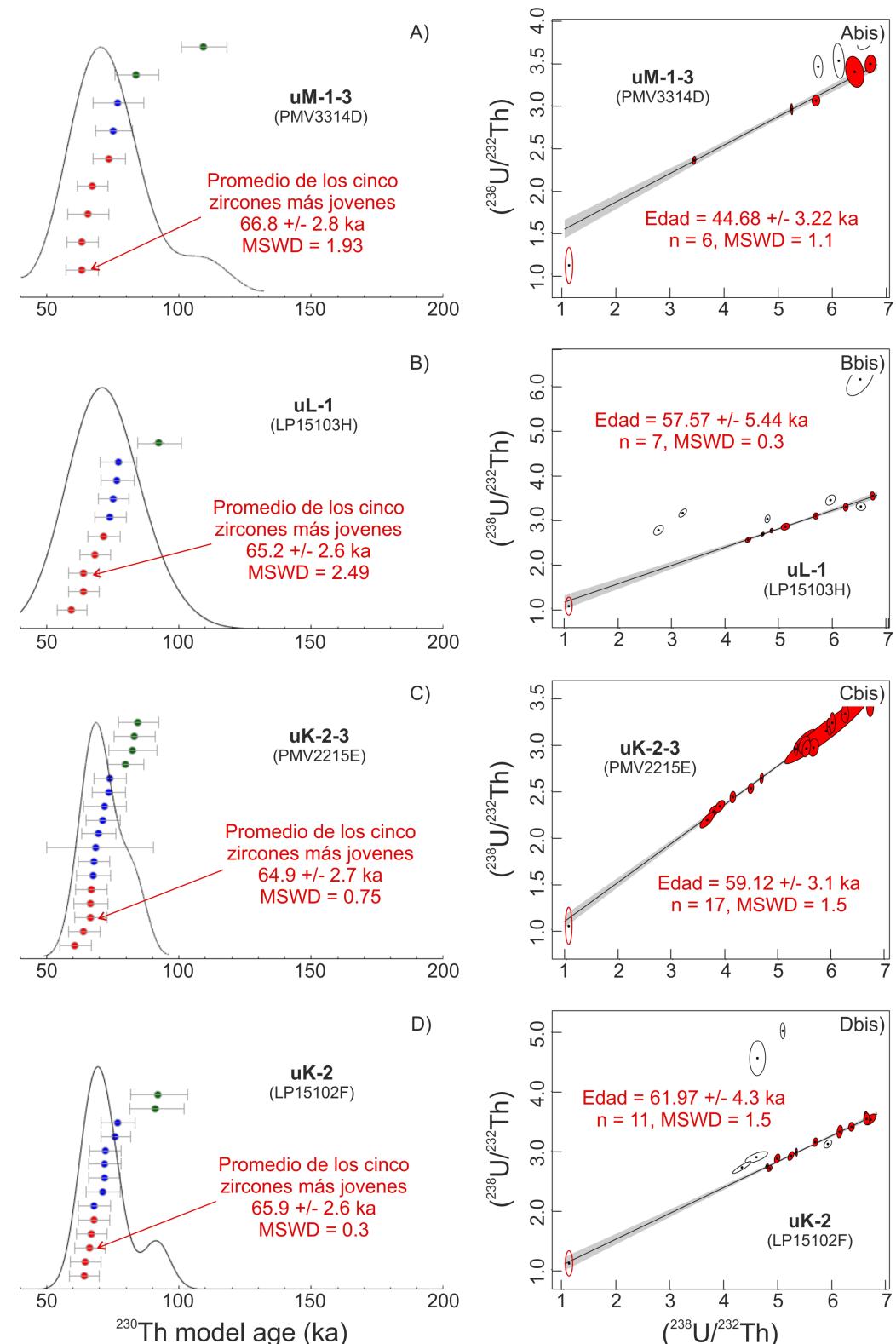


FIGURA 4.1: Curvas de densidades y edades modelos (A-D) y isócronas (Abis-Dbis) de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: A) uM-1-3 (PMV3314D), B) uL-1 (LP15103H), C) uK-2-3 (PMV2215E) y D) uK-2 (LP15102F).

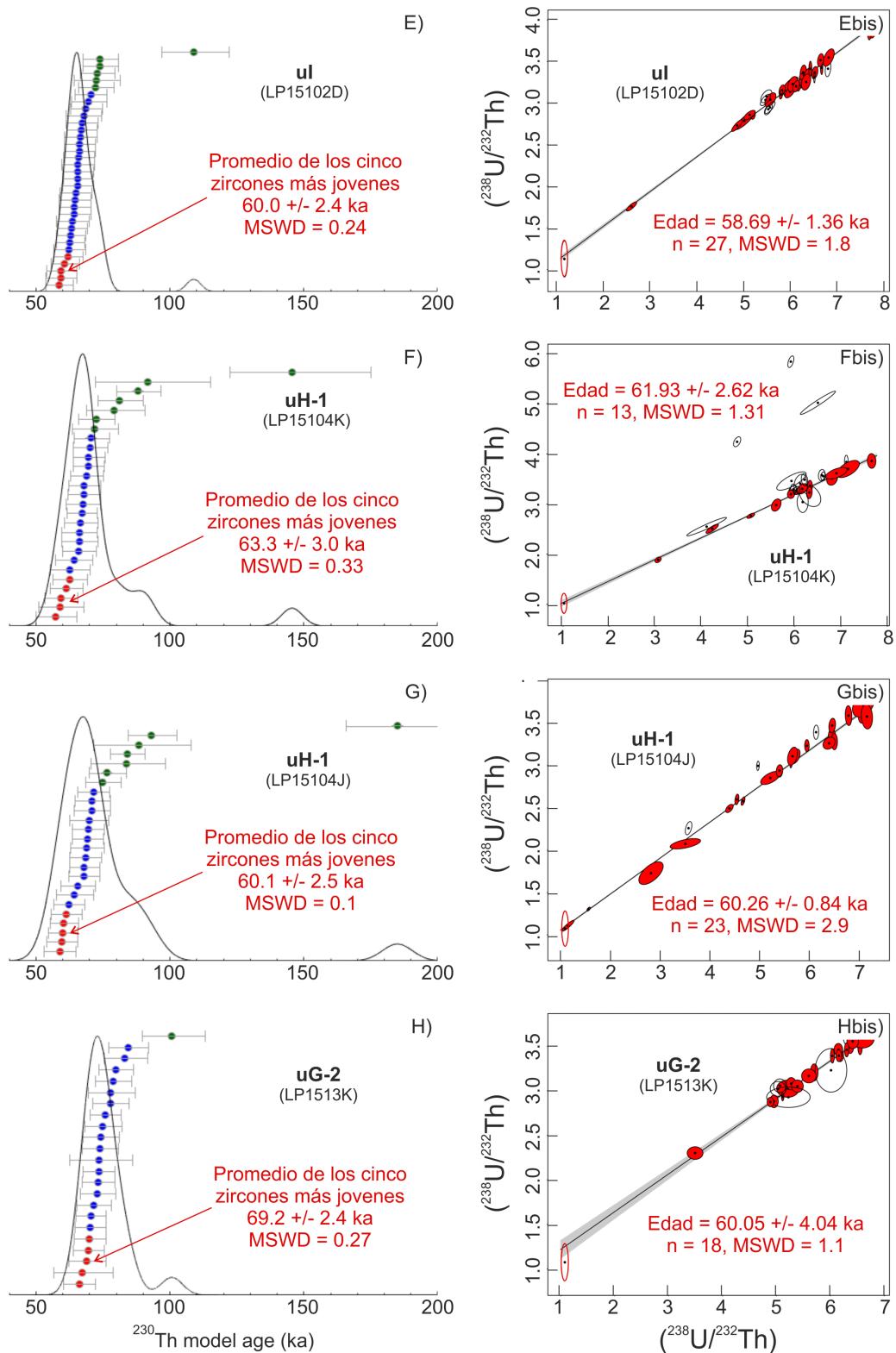


FIGURA 4.2: Isócronas y curvas de densidades de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: E) uI (LP15102D), F) uH-1 (LP15104K), G) uH-1 (LP15104J) y H) uG-2 (LP1513K).

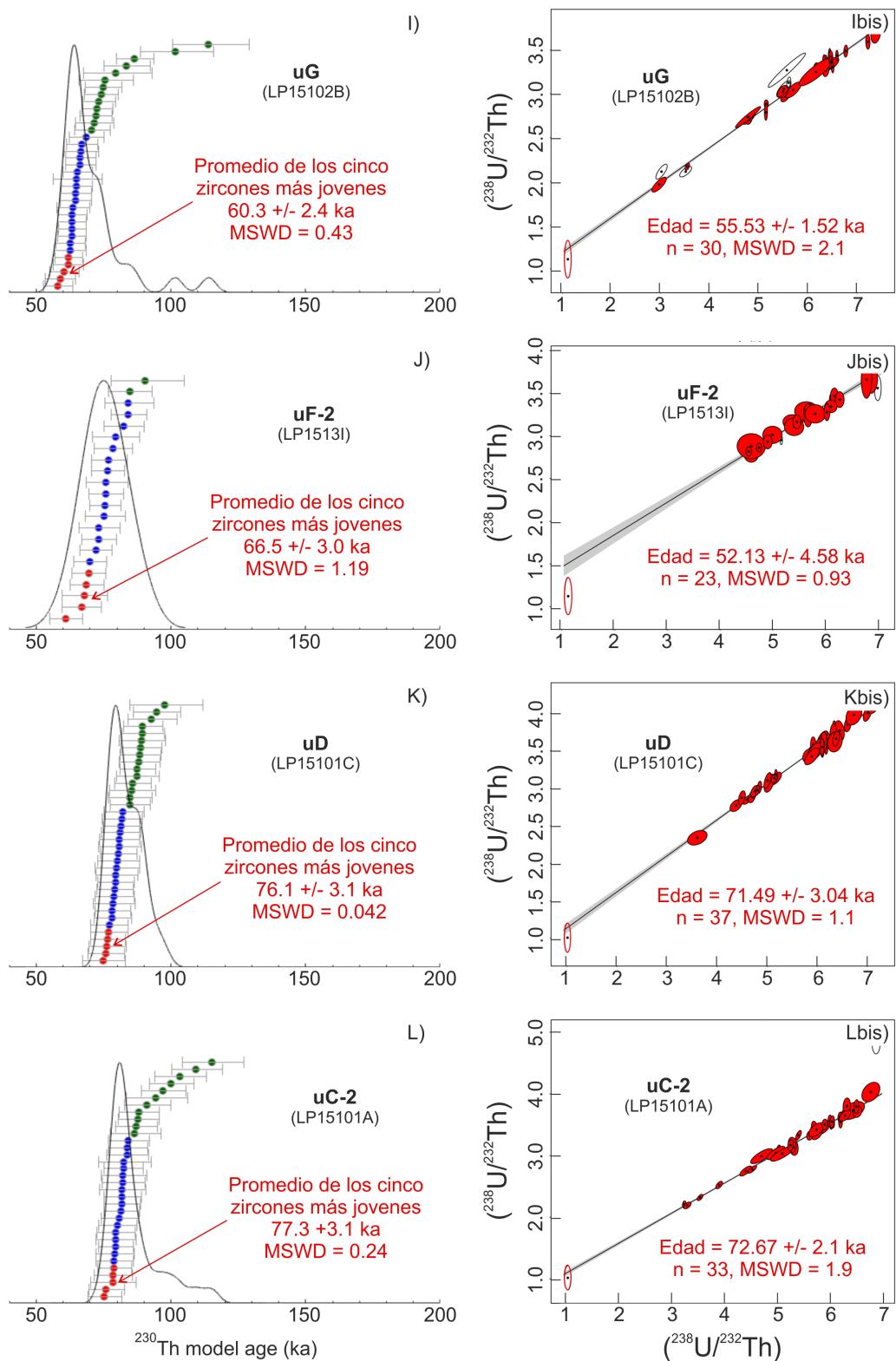


FIGURA 4.3: Isócronas y curvas de densidades de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: I) uG (LP15102B), J) uF-2 (LP1513I), K) uD (LP15101C) y L) uC-2 (LP15101A).

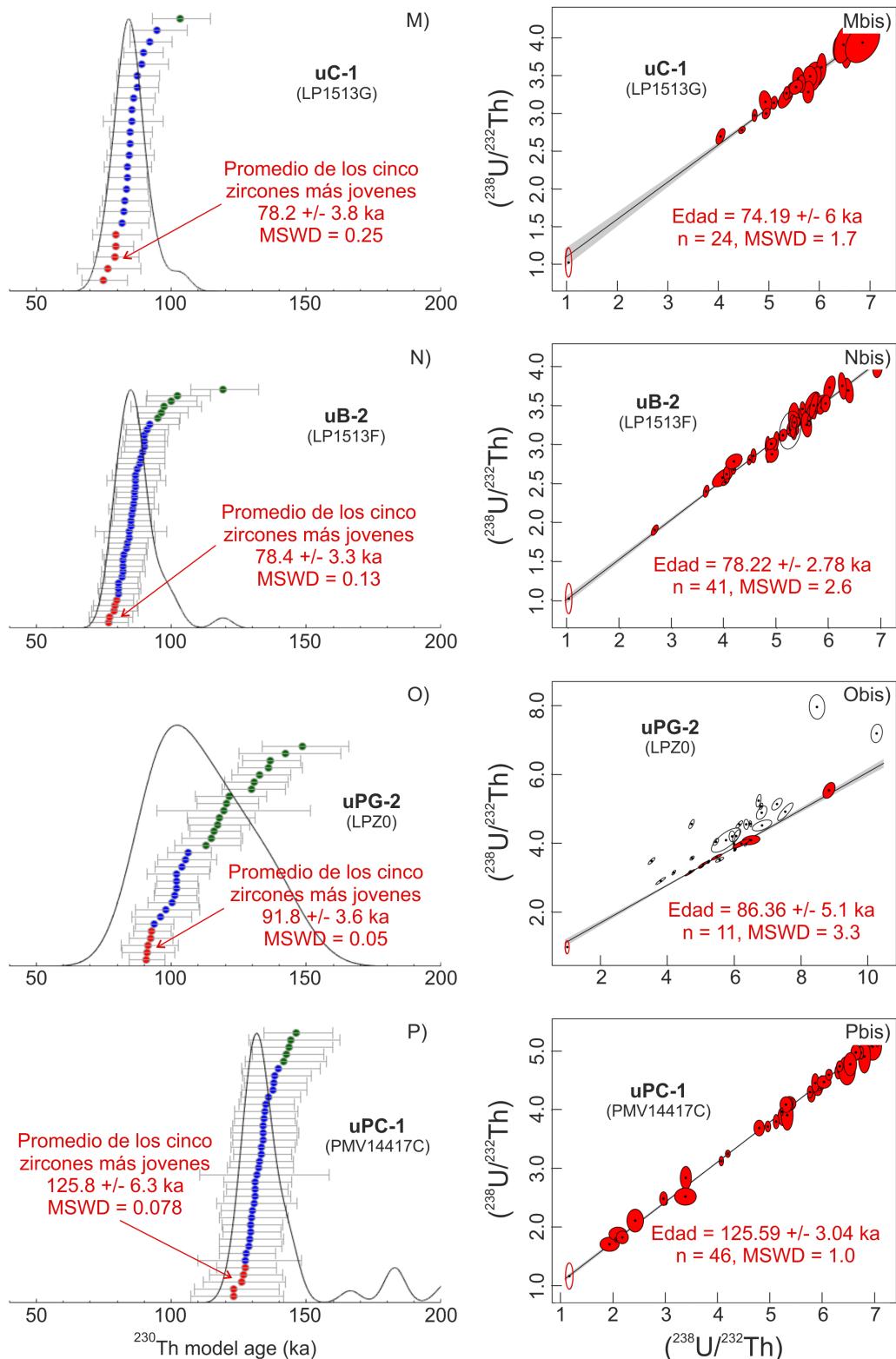


FIGURA 4.4: Isócronas y curvas de densidades de las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$: M) uC-1 (LP1513G), N) uB-2 (LP1513F), O) uPG-2 (LPZ0) y P) uPC-1 (PMV14417C).

La muestra de Pómez Gigante uPG-2 (LPZ0) tiene tres isócronas en equilibrio con la composición de uPG-2: 86.4 ± 5.1 ka (círculos rellenos rojos), 120.7 ± 4.8 (círculos rellenos azules) y 252.1 ± 57.6 ka (círculos rellenos morados) (Fig. 4.5).

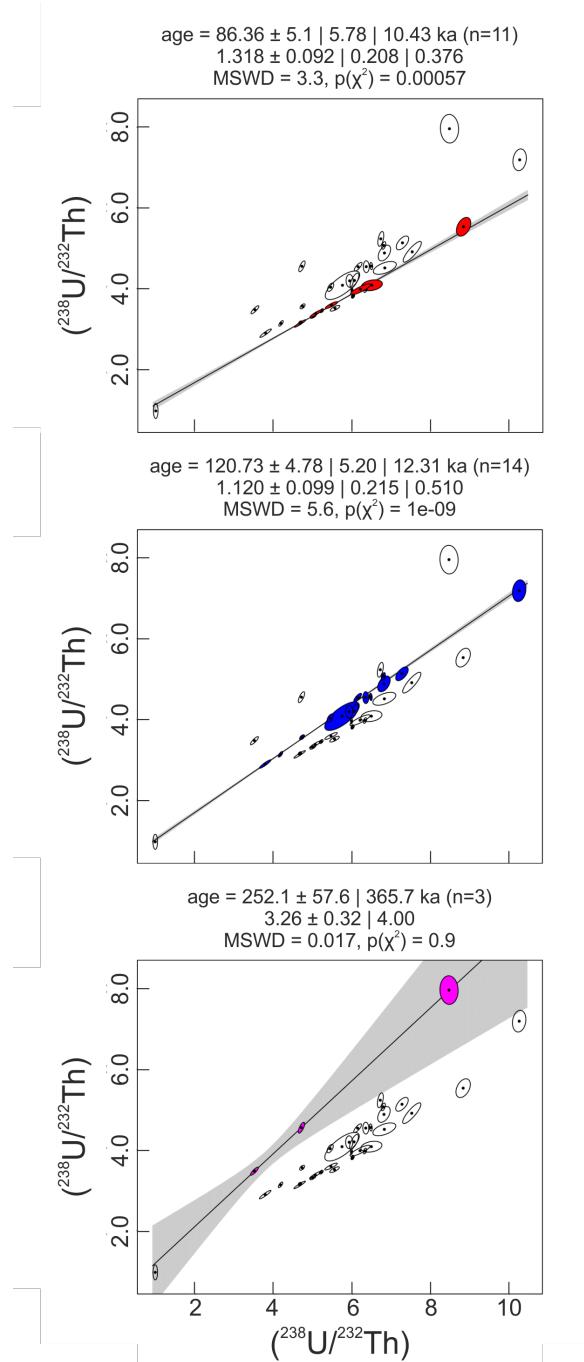


FIGURA 4.5: Isócronas de la muestra de Pómez Gigante uPG-2 (LPZ0).

No se pudo medir la edad exacta de la muestra de granodiorita del Bloque Jalisco ya que todos los zircones de la muestra están en equilibrio secular a 501.1 ± 27.2 ka (Fig. 4.6).

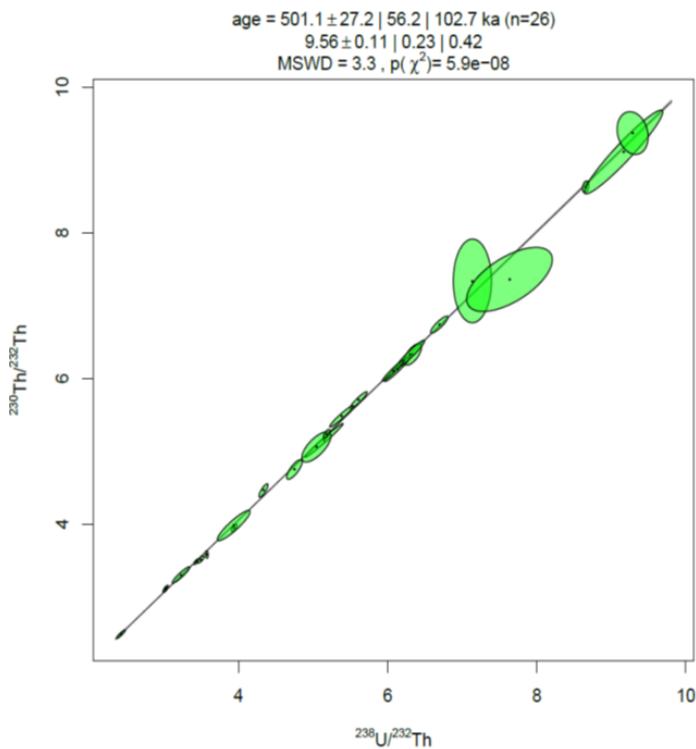


FIGURA 4.6: Isócronas de la roca plutónica del Bloque Jalisco (PR9-2985).

Se representaron también las curvas de densidades KDE (líneas negras), edades modelos (círculos de colores), edades de los zircones más jóvenes (círculos negros, letras azules) y promedios de las edades modelos debajo del pico principal de cristalización (líneas punteadas rojas, letras rojas) con incertidumbres 2σ de las unidades PC-M en los últimos 450 ka (Figs. 4.7 a 4.10).

Los círculos de colores representan las edades modelos que fueron medidas por muestra. Una observación cuidadosa de los zircones ha mostrado que se pueden agrupar en grupos distintos, donde cada color representa una población de zircones que se formaron a un tiempo dado. Se agregaron líneas punteadas para hacer resaltar las transiciones entre los grupos de zircones.

Los grupos y líneas de colores se hicieron a partir de las muestras donde se puede observar mejor las transiciones entre cada grupo. Por ejemplo, los grupos de zircones de color mojado, kaki y gris se pueden observar mejor en la muestra LPZ0, mientras que se puede apreciar mejor los límites del grupo naranja en las muestras LPZ0, LP1513F y LP15101C. De la misma manera, se puede diferenciar los círculos verde claros en las

muestras LP15101A, LP15101C y LP15102B. Finalmente, la transición del grupo de color turquesa se observa mejor en las muestras LP15102B, LP15102D, LP15104K, LP15104J y LP1513K, mientras que el grupo marrón aparece mejor en las muestras LP15104K, LP15104J, LP1513K y PMV3314D.

Sin embargo, se tiene que tomar con precauciones las líneas punteadas y grupos de colores, ya que a veces los grupos de zircones no aparecen entre las líneas adecuadas (i.e. LP1513K) debido a la incertidumbre de las edades modelos. En el caso de la muestra LP1513K, los zircones turqueses están en el lugar del marrón. Sin embargo, la distribución de los zircones marrones y turquesas de las muestras LP1513K, LP15104J y LP15104K de la unidad uG es casi idéntica, por lo que es obvio que los últimos zircones de LP1513K son también marrones.

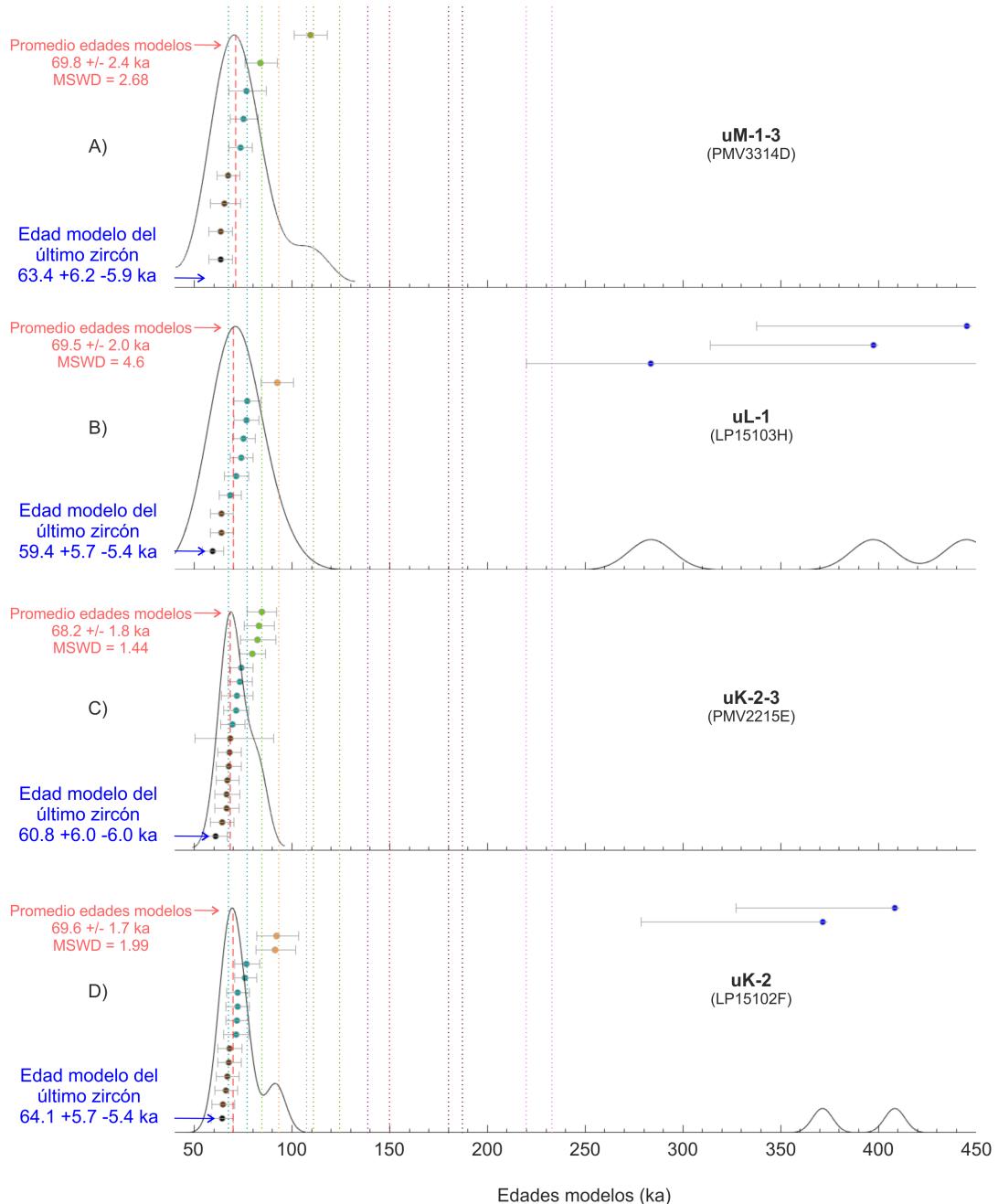


FIGURA 4.7: Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades M-K: A) PMV3314D (uM-1-3), B) LP15103H (uL-1), C) PMV2215E (uK-2-3) y D) LP15102F (uK-2).

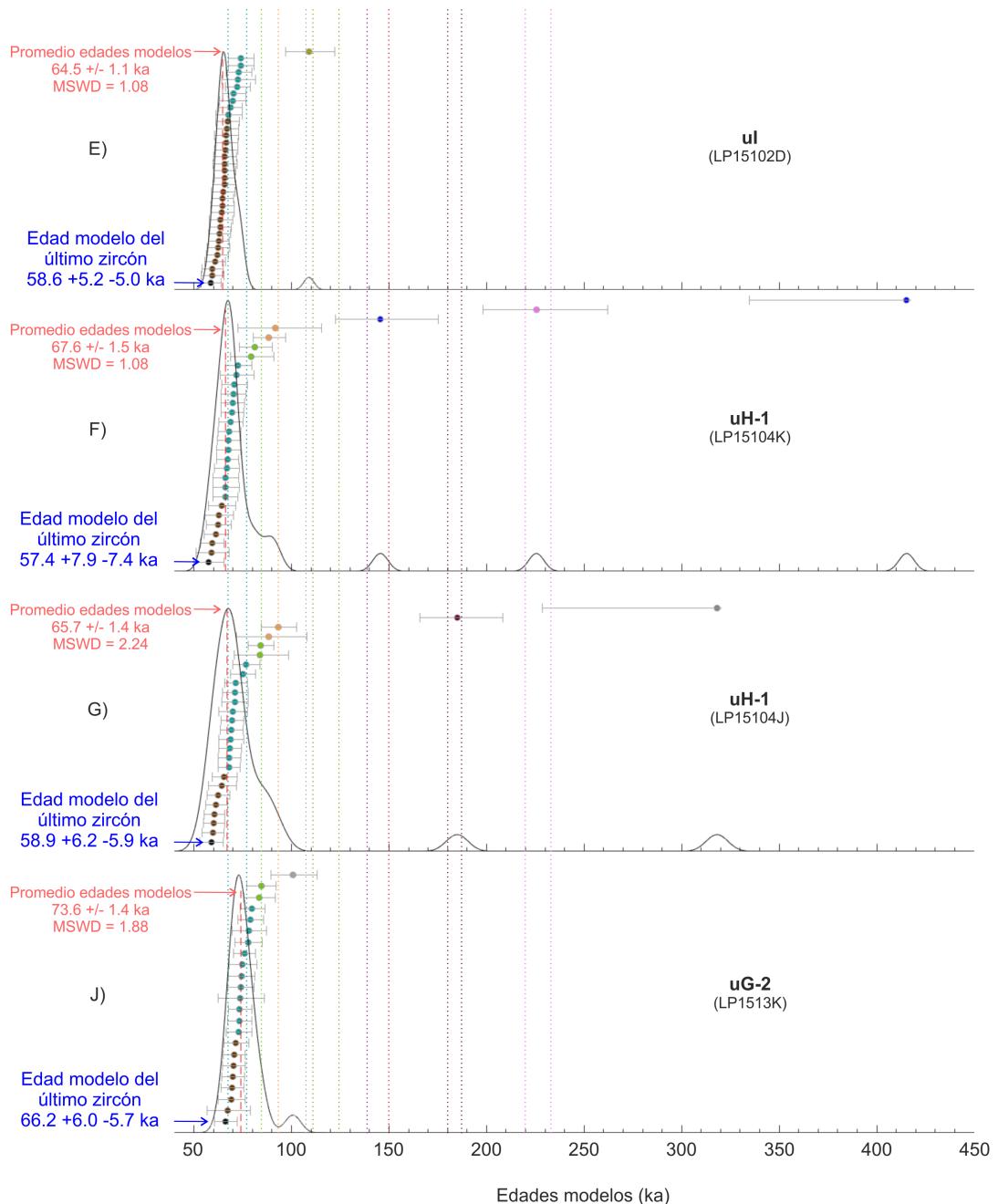


FIGURA 4.8: Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades I-G: E) LP15102D (uJ), F) LP15104K (uH-1), G) LP15104J (uH-1) y H) LP1513K (uG-2).

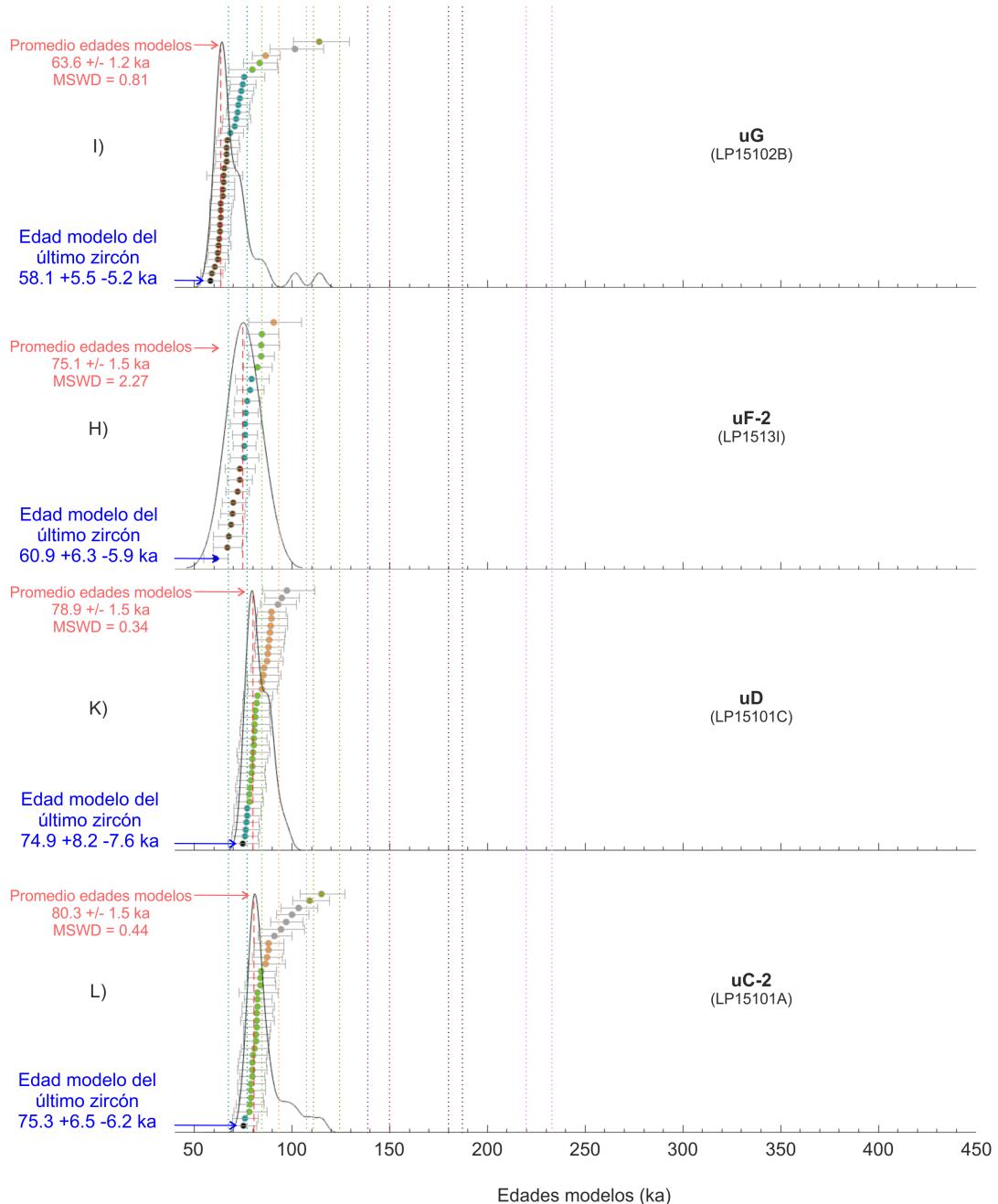


FIGURA 4.9: Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades F-C: I) LP15102B (uG), J) LP1513I (uF-2), K) LP15101C (uD) y L) LP15101A (uC-2).

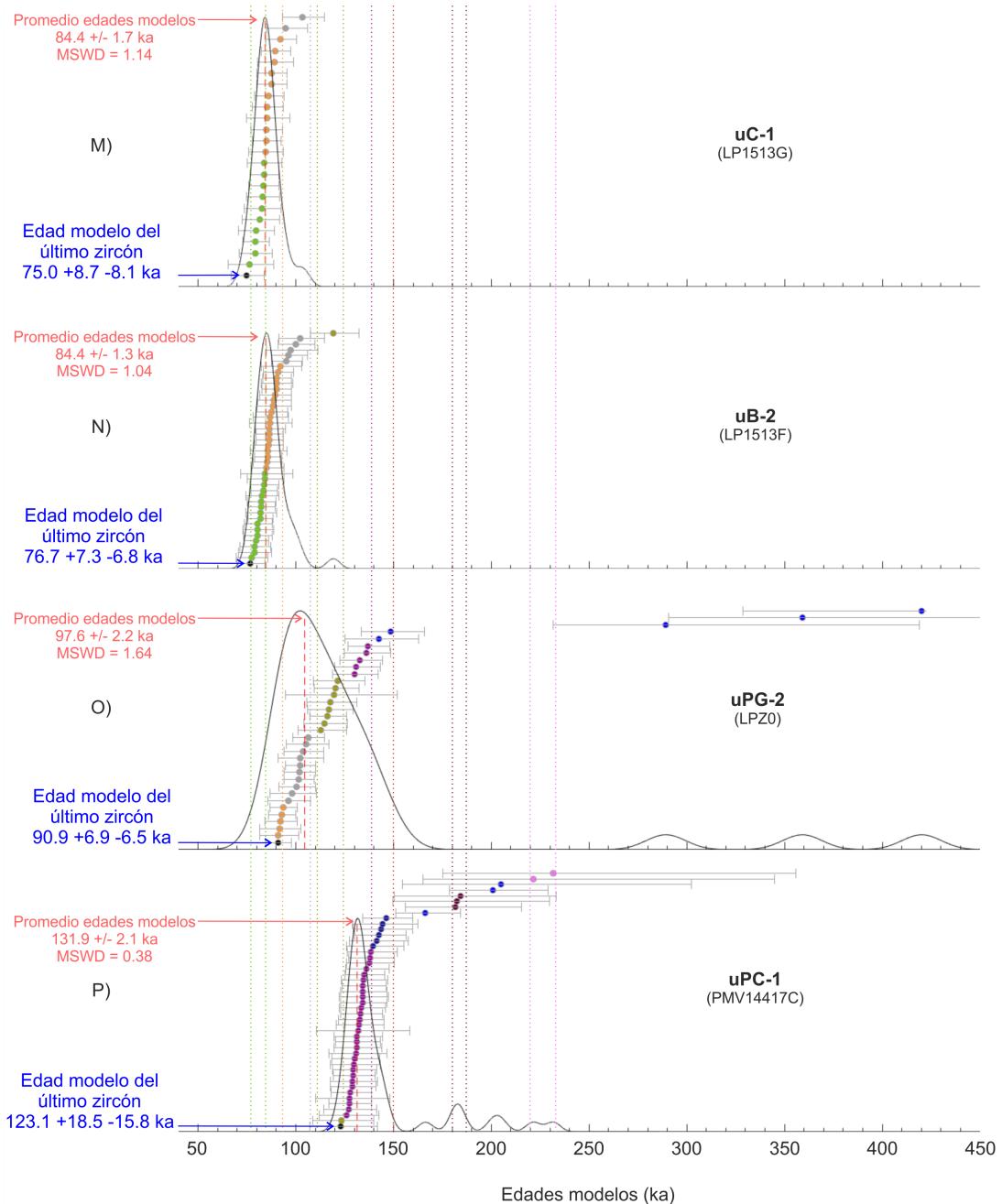


FIGURA 4.10: Curvas de densidades KDE y edades modelos de los zircones de las muestras de las unidades F-C: M) LP1513G (uC-1), N) LP1513F (uB-2), O) LPZ0 (uPG-2) y P) PMV14417C (uPC-1).

PMV14417C - uPC

En esta muestra, los zircones mojados están debajo del pico mayor. Posiblemente, empezaron a cristalizar también los zircones de color kaki justo antes de la erupción PC hace 124.4 ka (edad isócrona). Los zircones kaki y morados que están debajo del pico principal se formaron entre 138.4 y 123.1 ka dentro de la cámara magnética (edades modelos). Estos zircones fueron utilizados en el calculo del promedio de las edades modelos de 131.3 ± 3.9 ka.

LPZ0 - uPG

En la muestra de Pómez Gigante, se puede observar los grupos de zircones naranjas, grises y kakis que se formaron entre 121.4 y 90.9 ka (edades modelos) debajo del pico mayor antes de la erupción PG. Estos zircones fueron utilizados en el calculo del promedio de las edades modelos de 104.6 ± 10.4 ka.

LP1513F y LP1513G - uB

En estas muestras de la erupción B (edades isócronas entre 78 ± 4.5 y 74 ± 8.2 ka), los zircones verdes claros y naranjas están debajo del pico mayor. Estos zircones cristalizaron entre 92.2 y 76.7 ka (edades modelos), mientras que el promedio de las edades modelos fue estimado entre 84.7 ± 4 y 84.3 ± 4.7 ka.

LP15101A - uC

En la muestra de la erupción C (edad isócrona 72.2 ± 2 ka), los zircones verdes claros y pocos de color turquesas están debajo del pico mayor. Estos zircones cristalizaron entre 92.2 y 75.0 ka (edades modelos), mientras que el promedio de las edades modelos fue estimado a 80.5 ± 2.4 ka.

LP15101C - uD

En la muestra de la erupción D (edad isócrona de $71.4 \pm 3/3.1$ ka), los zircones de color verdes claros y pocos de color turquesas están debajo del pico mayor de cristalización. Los cristales se formaron entre 82.3 y 74.9 ka (edades modelos). El promedio de las edades modelos fue estimado a 80.0 ± 3 ka.

LP1513I - uF

La muestra de ceniza LP15102B tiene demasiado zircones marrón por su posición estratigráfica, por lo que fue posiblemente contaminada por los depósitos sobreyacentes

LP15102D de la erupción UI. Por lo tanto, esta muestra no fue utilizada en las interpretaciones. En la muestra LP1513I de la erupción F, los zircones de color turquesas y pocos de color verdes claros están debajo del pico mayor de cristalización. Estos zircones cristalizaron entre 84.2 y 60.0 ka (edades modelos), mientras que el promedio de las edades modelos fue calculado a 73.1 ± 3.8 ka.

LP1513K, LP15104J y LP15104K - uG

En estas muestras de la erupción G (edades isócronas entre 60.3 y 60 ka), los zircones de color marrones y turquesas que están debajo del pico mayor de cristalización se formaron entre 72.6 y 57.4 ka (edades modelos), mientras que el promedio de las edades modelos fue estimado entre 67.0 ± 5.2 y 60.0 ± 4.3 ka. Las edades modelos de LP1513K no fueron utilizadas, ya que parecen un poco desfasada, probablemente por las incertidumbres.

LP15102D - uI

En la muestra de la erupción I, los zircones de color marrones están debajo del pico mayor de cristalización se formaron entre 67.2 y 55.6 ka (edades modelos), mientras que el promedio de las edades modelos fue estimado a 64.0 ± 2.5 .

LP15102F y PMV2215E - uK

En estas muestras de la erupción K (edad isócrona de 59.2 ka), los zircones de color marrones y turquesas están debajo del pico mayor de cristalización. Los zircones cristalizaron entre 92.0 y 60.8 ka (edades modelos), mientras que el promedio de las edades modelos fue estimado entre 69.8 ± 4.2 y 68.4 ± 3.7 ka.

LP15103H - uL

En la muestra de la erupción L (edad isócrona de $54.0 \pm 4.5/4.8$ ka), los zircones de color marrones y turquesas están debajo del pico mayor de cristalización. Los cristales se formaron entre 77.1 y 59.4 ka (edades modelos). El promedio de las edades modelos fue estimado a 70.0 ± 6.4 ka.

PMV3314D - uM

En la muestra de la erupción M (edad isócrona de 44.7 ± 3.2 ka), los zircones de color marrones y turquesas están debajo del pico mayor de cristalización. Los cristales se formaron entre 76.3 y 59.2 ka (edades modelos). El promedio de las edades modelos fue estimado a 67.0 ± 5.1 ka.

Se juntaron las edades modelos de todas las muestras para determinar cuales fueron los periodos de mayor cristalización dentro de la(s) cámara(s) magmática(s) debajo de La Primavera (Fig. 4.11). Las edades de los picos (líneas punteadas negras) son promedios de las edades modelos. Este gráfico muestra que ocurrieron al menos cinco fases de cristalización en los pasados 150 ka. Un pico hace 131.8 ka que corresponde a la erupción pre-caldera PC. El pico menor de 117.8 ka documenta posiblemente la erupción de la Toba Tala que produjo la caldera de la Primavera. Luego la erupción PG produjo un cambio de pendiente de la curva KDE hace 100.7 ka. Otro pico de cristalización ocurrió hace 81.1 ka que corresponde a las erupciones D-A y finalmente el último pico de cristalización documentado por los zircones tuvo lugar hace 68.2 ka con las erupciones M-E.

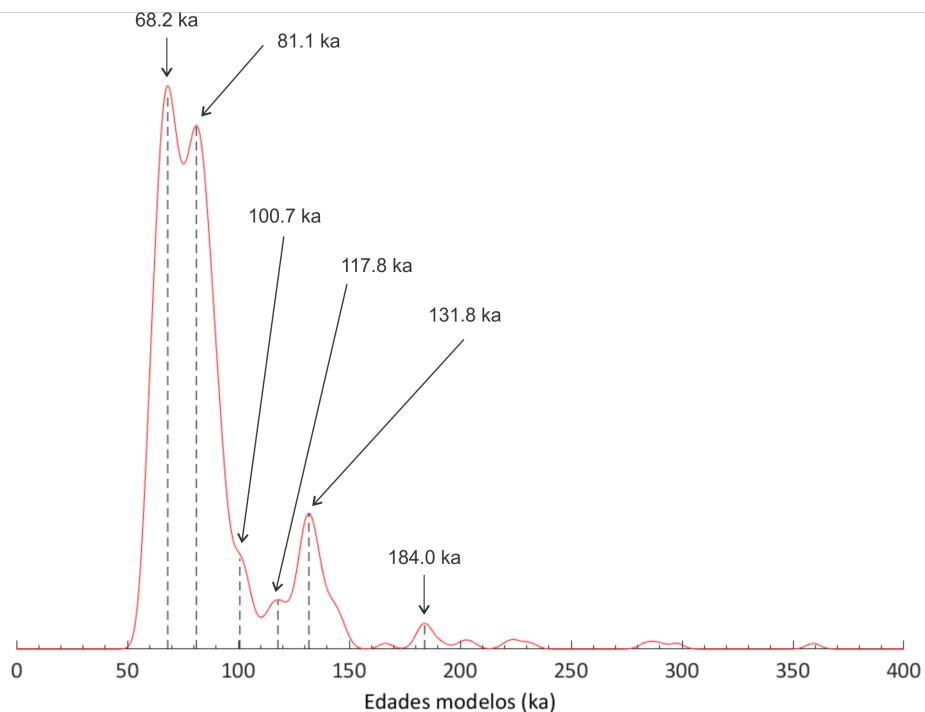


FIGURA 4.11: Curvas de densidad de probabilidad de todas las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$.

Finalmente, se juntaron los cinco zircones más jóvenes de las muestras para observar cuando ocurrieron las erupciones pre y post-caldera de La Primavera (Fig. 4.12). Este gráfico muestra también cinco picos en los pasados 150 ka (líneas punteadas negras). El pico de 126.5 ka representa la erupción PC. Luego el pico de 91.6 ka indica la erupción PG. El pico de 77.4 ka documenta las erupciones A-D. Finalmente, el pico de 67.2 ka representa la erupción E, mientras que el pico de 60.3 ka indica las erupciones F-M.

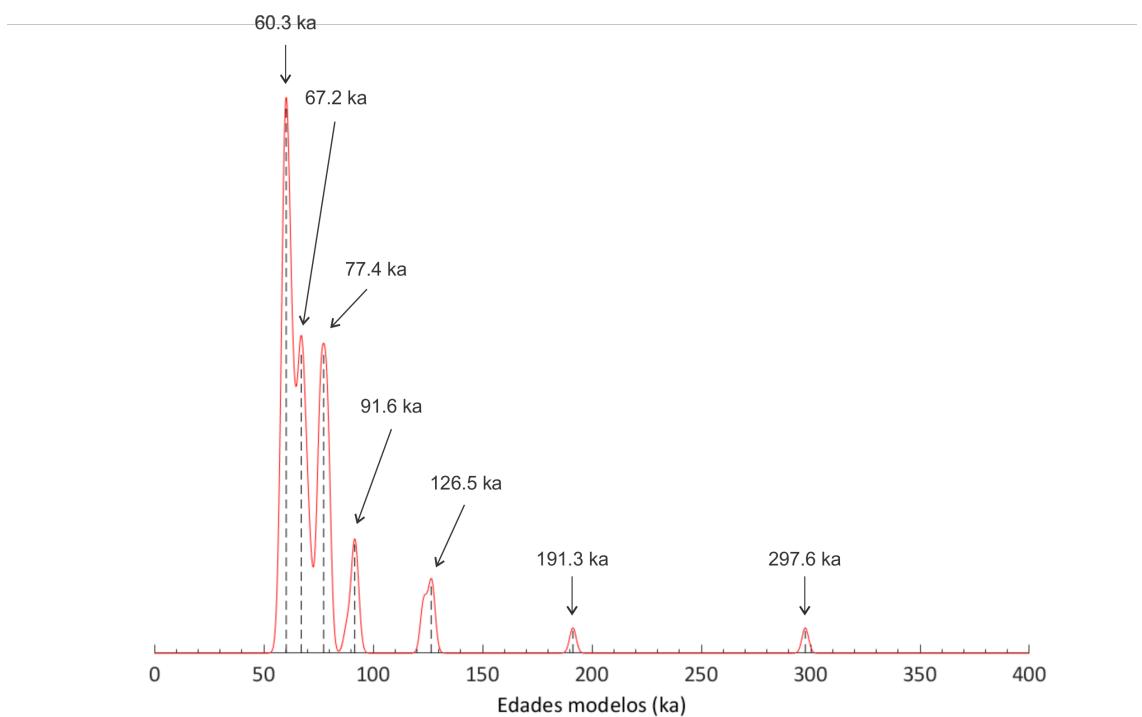


FIGURA 4.12: Curvas de probabilidad de todas las muestras fechadas por $^{230}\text{Th}/\text{U}$.

4.1.3. C¹⁴ en paleosuelo

Para complementar las edades obtenidas por U/Th, se enviaron dos muestras de paleosuelos a Beta Analytic Radiocarbon Datings (Miami, Florida, Estados Unidos) y una muestra a International Chemical Analysis Inc. (Sunrise, Florida, Estados Unidos) para medir el contenido en $^{14}\text{C}/C_{total}$ de la materia orgánica presente en los paleosuelos con espectrómetro de masa. Las edades obtenidas están en la tabla 4.2). Los resultados están dados en los apéndices B.25 a B.27). Las dos muestras de PMV14417 dieron la misma edad. La edad estimada a 13.8 ka del paleosuelo debajo de uM no fue utilizada dado que la unidad M es más vieja que las lavas fechadas a 26.8 y 25.6 ka por Mahood y Drake (1982; [56]).

4.1.4. Ar/Ar

Se mandaron 16 muestras de lavas de los domos, centros volcánicos y piroclásticos del Complejo Volcánico La Primavera a OSU Argon Geochronology Laboratory (Portland, Oregon, Estados Unidos) para fechar las muestras con base al contenido de los isótopos ^{40}K , ^{39}Ar , ^{37}Ar y ^{36}Cl de los cristales de sanidino, *groundmass* y vidrio de las lavas. A esta fecha sólo recibimos los resultados de cinco muestras.

Se midió para cada muestra el *Age plateau*, *Total fusion age*, *Normal isochron age* y *Inverse isochron age* (ka). La comparación de los diferentes tipos de edades ha mostrado que las edades *Normal isochron age* dan mejores estimaciones con la medición del sanidino, mientras que las edades *Age plateau* son mejores con la medición del vidrio y *groundmass*.

Las edades que fueron utilizadas para caracterizar las lavas y domos aparecen en letras negritas en Tabla 4.3. Las edades de las muestras PR1712B (domo Ixtahutonte), PR1738 (Culebreado domo viejo), PR1678 (CTIU), PR1759A (domo Tule), PR1753 (domo Tule) y PR1501 (ignimbrita Tala) fueron compartidas por el Dr. Saucedo Girón (UAP, San Luis Potosí). Los resultados de las muestras están dadas en los apéndices B.28 a B.32.

sample name	Formation	Location UTM 13Q	Material analyzed	Calibrated age (ky)	Probability %
PMV14417	Paleosoil below UO	X 660538	C ¹⁴ from soil	6,4	0,03
LP18567	Paleosoil below UM	Y 658639	C ¹⁴ from soil	13,85	-
			C from soil	12,7	-

TABLA 4.2: Edades C¹⁴.

Sample name	Formation	Location UTM 13Q X Y	Material analyzed	Age Plateau (ky)	Total Fusion Age (ky)	Normal Isochron	Inverse Isochron Age (ky)
PR1712B	Ixtahuatlote dome	656142	2281709	Sanidine 93,6 ± 11,4	289,9 ± 0,8	80,5 ± 7	61,2 ± 15,1
PR1738	Culebreado dome lower part	649911	2281135	Sanidine 84,6 ± 2,4	86,8 ± 0,9	85,4 ± 3,4	82,6 ± 3,2
PR1678	Toba Tala Tuff	64454	2286760	Sanidine 108,7 ± 8,5	142,8 ± 1,2	93,5 ± 5,8	107,5 ± 9,5
PR1759A	Tule dome	653177	2282345	Groundmass 89,5 ± 2,7	112,2 ± 0,8	88,1 ± 6,7	88,0 ± 6,6
LP17153	Arroyo Colorado dome	655268	2276180	Glass 710,9 ± 11,7	714,5 ± 13,2	711,6 ± 53,6	711,8 ± 52,3
LP18660B	Planillas stratovolcano pre-collapse	653370	2277586				
PR1753	Tule dome	653933	2281376				
PR1501	Toba Tala Tuff	653049	2285002				
LP17480	Tajo stratovolcano lower part	657457	2277828				
PR1755	Planillas stratovolcano lava coulées	651828	2277605				
LP18667	San Miguel stratovolcano upper part	645869	2279034				
LP18558	Dike La Puerta dome	648058	2280003				
LP18598	Burro dome	648078	2290904				
LP18590	Léon dome	645255	2287604				
LP18579	Piñar de la Venta	652661	2292427				
LP18577	Cuate dome	650487	2290107				

TABLA 4.3: Edades Ar/Ar de lavas y domos de La Primavera.

4.2. Fuentes de las erupciones

El conocimiento del origen de una erupción es fundamental para la evaluación de los peligros y riesgos de un volcán o complejo volcánico. Los mapas de isopacas e isopletas constituyen las herramientas las más utilizadas para representar la distribución e identificar la fuente de los depósitos de caída. Sin embargo, cuando no se puede producir mapas de isopacas e isopletas de calidad, la ubicación de los líticos más gruesos y comparación de la química de los piroclástos y centros eruptivos pueden ser utilizados para proponer las fuentes más probables de los depósitos de caída piroclásticas.

4.2.1. Mapas de espesores

No se realizaron mapas de isopacas de las unidades A a C, sin embargo, se representaron los espesores de los afloramientos para ver dónde fueron encontrados los afloramientos con mayor espesores (Fig. 4.13 A, B y C). Como se puede ver en la figura 4.13 a, los afloramientos con mayor espesor de uA están al sur de Nejahuete, con espesores que miden hasta 8.4 m, mientras que uB mide 10.3 m al sur de Nejahuete (Fig. 4.13 b). El espesor máximo de uC ha sido encontrado entre el domo compuesto Nejahuete y el domo Tule dentro de la caldera con un espesor de 8.9 m. Sólo se encontró la base de esta unidad en los afloramientos más cercanos a Nejahuete debido a la fuerte erosión de la unidad por \approx 6 m de lahares (Fig. 4.13 c).

No fue posible realizar el mapa de isopaca de la unidad D por la escasez de afloramientos encontrados. El espesor máximo de uD fue encontrado sobre el domo Cuesta (2.1 m), sin embargo, uD no tiene la química del domo Cuesta lo que permite descartar este domo como fuente. Como uC, uD ha sido erosionado por lahares dentro de la caldera (Fig. 4.13 d).

Los mapas de espesores de las unidades H y N cuentan con pocos puntos (Fig. 4.14), sin embargo se puede ver que los espesores mayores de las unidades H y N designan respectivamente a los centros volcánicos San Miguel (uH, Fig. 4.14 a) y Tajo como fuente (uN, Fig. 4.14 c).

El mapa de espesor de la unidad I no tiene los puntos suficientes para mostrar el origen de los depósitos (Fig. 4.14 b). No obstante, uI tiene la química de los centros volcánicos

San Miguel, Planillas y Tajo. También, se pudo observar en el campo que la mayoría de los afloramientos de esta unidad están sobre y alrededor de Planillas. La mayoría de los depósitos de esta unidad fueron erosionados o cubiertos por las unidades más recientes de Planillas (J a M).

No fue posible producir el mapa de isopaca de la unidad O dado la escasez de afloramientos encontrados. Sin embargo, la ubicación de los afloramientos alrededor del domo Colli y la química de los piroclásticos indican al domo Colli como fuente.

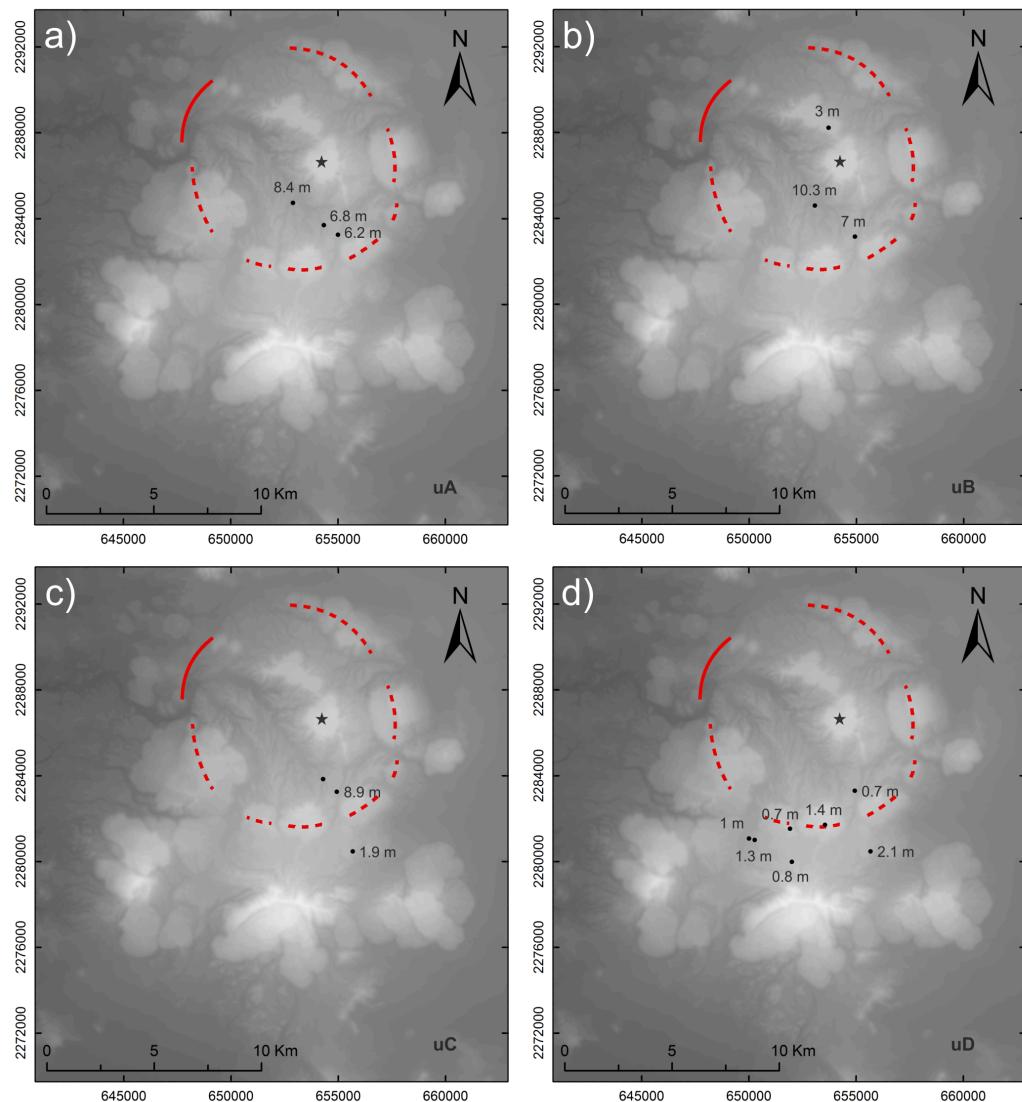


FIGURA 4.13: Mapas de espesores de las unidades A-D: a) uA, b) uB, c) uC y d) uD. Las líneas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas.

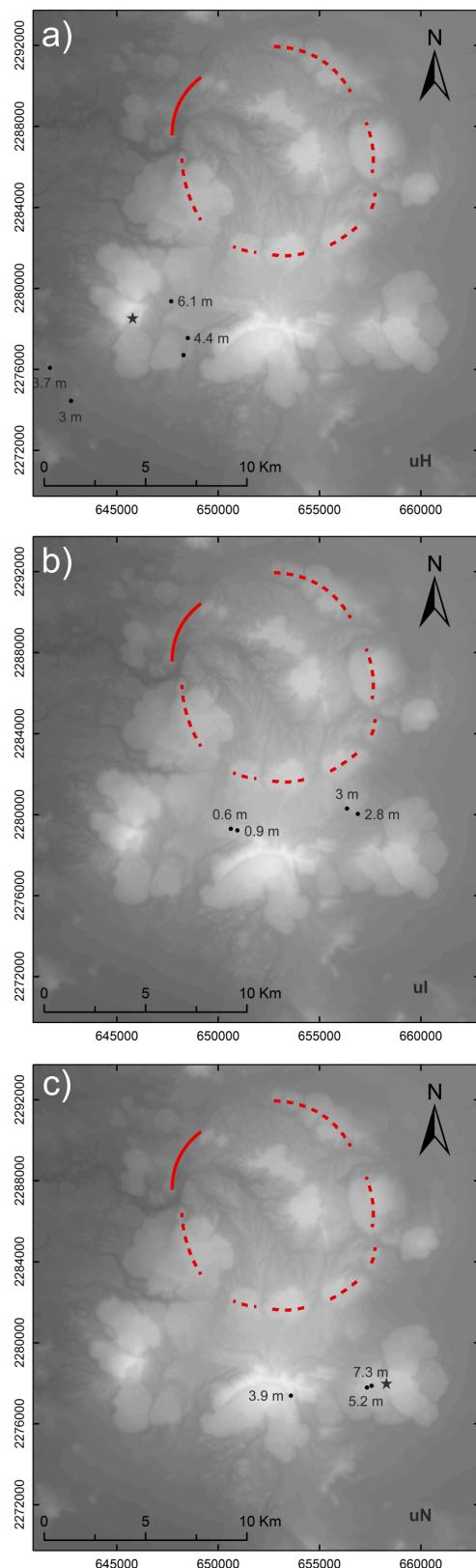


FIGURA 4.14: Mapas de espesores de las unidades H, I y N: a) uH, b) uI y c) uN. Las líneas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas.

4.2.2. Mapas de isopacas

La representación del espesor de las unidades de caídas piroclásticas permite ver la repartición y disminución del espesor de los depósitos entre su fuente y partes distales. Los afloramientos con mayores espesores suelen indicar la fuente de la erupción. Sin embargo, la fragilidad de la pómez permite la erosión de los depósitos por intemperismo, si no están tapados por depósitos más recientes. La recolección de los espesores de las unidades eruptivas en diferentes lugares dentro y fuera de la caldera de La Primavera ha mostrado que muchos de los afloramientos fueron erosionados. Además, como la mayoría de los depósitos fueron encontrados dentro de La Primavera, no se pudo determinar la extensión de la fase distal de las unidades.

Se produjeron los mapas de isopacas de las subunidades E-2 (Fig. 4.15 A), F-2 (Fig. 4.15 B), subunidad G-2 (Fig. 4.15 C), J-3 (Fig. 4.15 D), K-2 (Fig. 4.15 E) y M-1-3 (Fig. 4.15 F). La ausencia de afloramientos fuera de la caldera y la erosión de los afloramientos dentro de La Primavera no permitió hacer mapas de isopacas de calidad. Los afloramientos de los puntos sin número fueron erosionados por las unidades más recientes. A pesar de las limitaciones, los espesores mayores de los depósitos muestran que las unidades E y G vinieron del centro volcánico de San Miguel mientras que las erupciones F, J, K y M vinieron de Planillas.

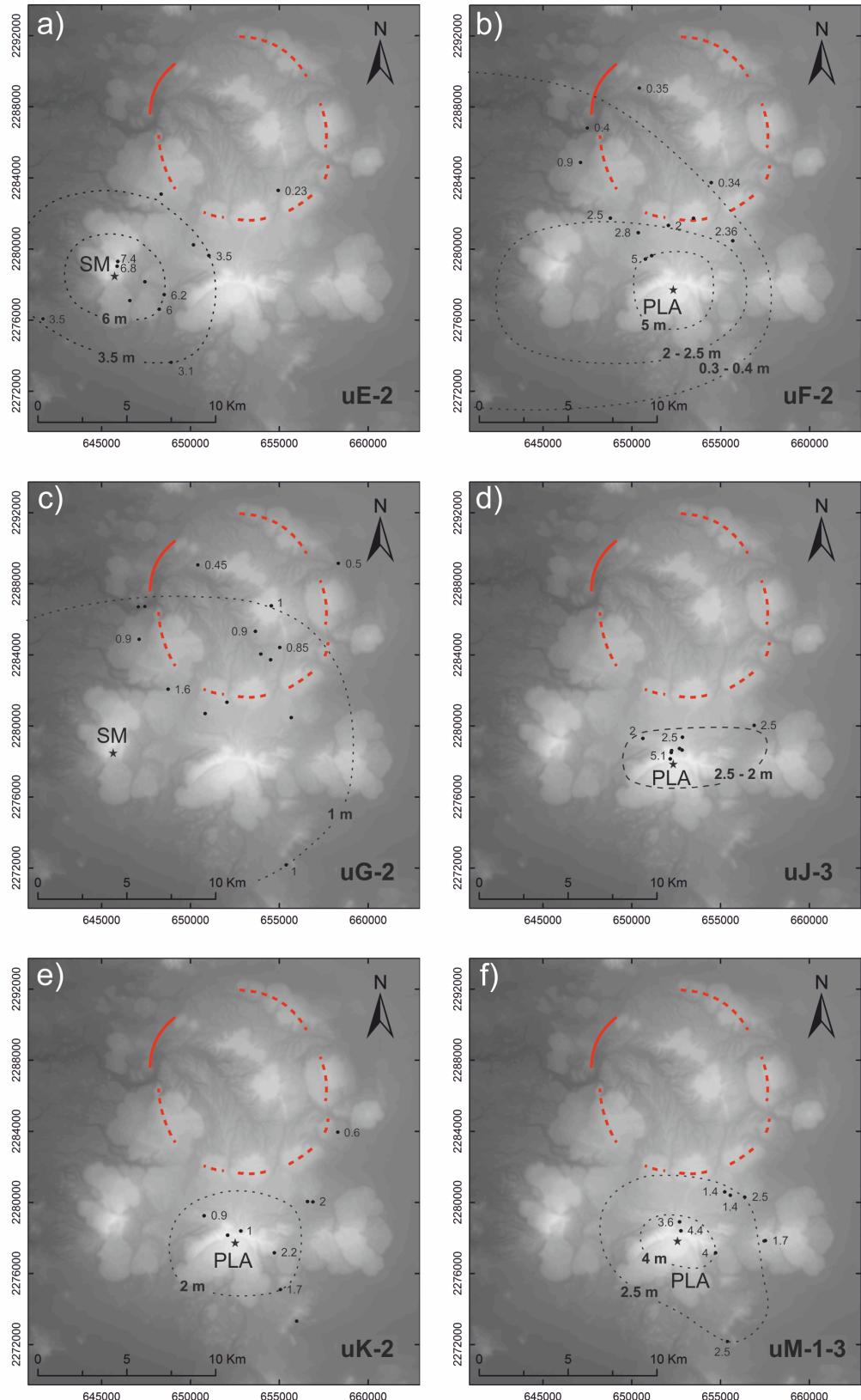


FIGURA 4.15: Mapas de isopacas de las unidades y subunidades: A) uE-2, B) uF-2, C) uG-2, D) uJ-3, E) uK-2, y F) uM-1-3. Las líneas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas. Modificado de Sourisseau et al. (2020 [88])

4.2.3. Mapas de isopletas

Los mapas de isopletas se construyen con la representación del promedio de los cinco líticos o fragmentos de pómez más grandes de un depósito de caída piroclástica. La pómez suele romperse al caer debido a sus características, lo que impide un cálculo fiable del promedio de los fragmentos más grandes. Por el contrario, la mayoría de los líticos no se rompen por impacto, lo que permite tener promedios más confiables. Los promedios más grandes suelen indicar la fuente de una erupción. El promedio disminuye con el incremento de distancia respecto de la fuente. Se midieron los cinco líticos más grandes de los depósitos de caída piroclástica dentro y fuera de la caldera para calcular sus promedios. Luego, se sobrepusieron los promedios a los Modelos Digitales de Elevación y se representaron las líneas llamadas isolíneas para delimitar las zonas de líticos de 6.4 cm, 3.2 cm, 1.6 cm y 0.8 cm de diámetros (Carey y Sparks, 1986 [13]).

Los mapas de isopletas de las unidades H y N cuentan con pocos puntos (Fig. 4.16), sin embargo se puede observar que la unidad H solo fue encontrada en la cima y alrededor del centro volcánico San Miguel, por lo que se puede proponer San Miguel como fuente (uH; Fig. 4.16 a). Asimismo, se puede notar que el promedio de los cinco líticos más grandes de la unidad N indica al centro volcánico Tajo como fuente (uN, Fig. 4.16 b)). Se produjeron también los mapas de isopacas de las subunidades E-2 (Fig. 4.17 A), F-2 (Fig. 4.17 B), G-2 (Fig. 4.17 C), J-3 (Fig. 4.17 D), K-2 (Fig. 4.17 D) y M-1-3 (Fig. 4.17 F). A pesar de las limitaciones de los mapas, el promedio de los cinco líticos más grandes de las subunidades confirma que las unidades E y G vinieron de San Miguel mientras que F, J, K y M fueron producidas por Planillas.

uH-N.png uH-N.png uH-N.png uH-N.png uH-N.png uH-N.png uH-N.png uH-N.png

uH-N.png

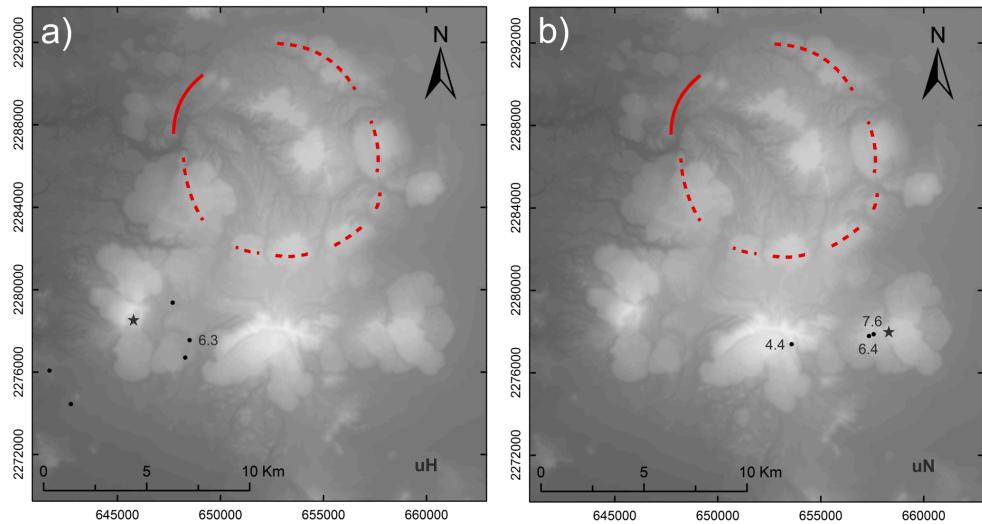


FIGURA 4.16: Mapas de isopletas de las unidades H y N: a) uH y b) uN. Las líneas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas.

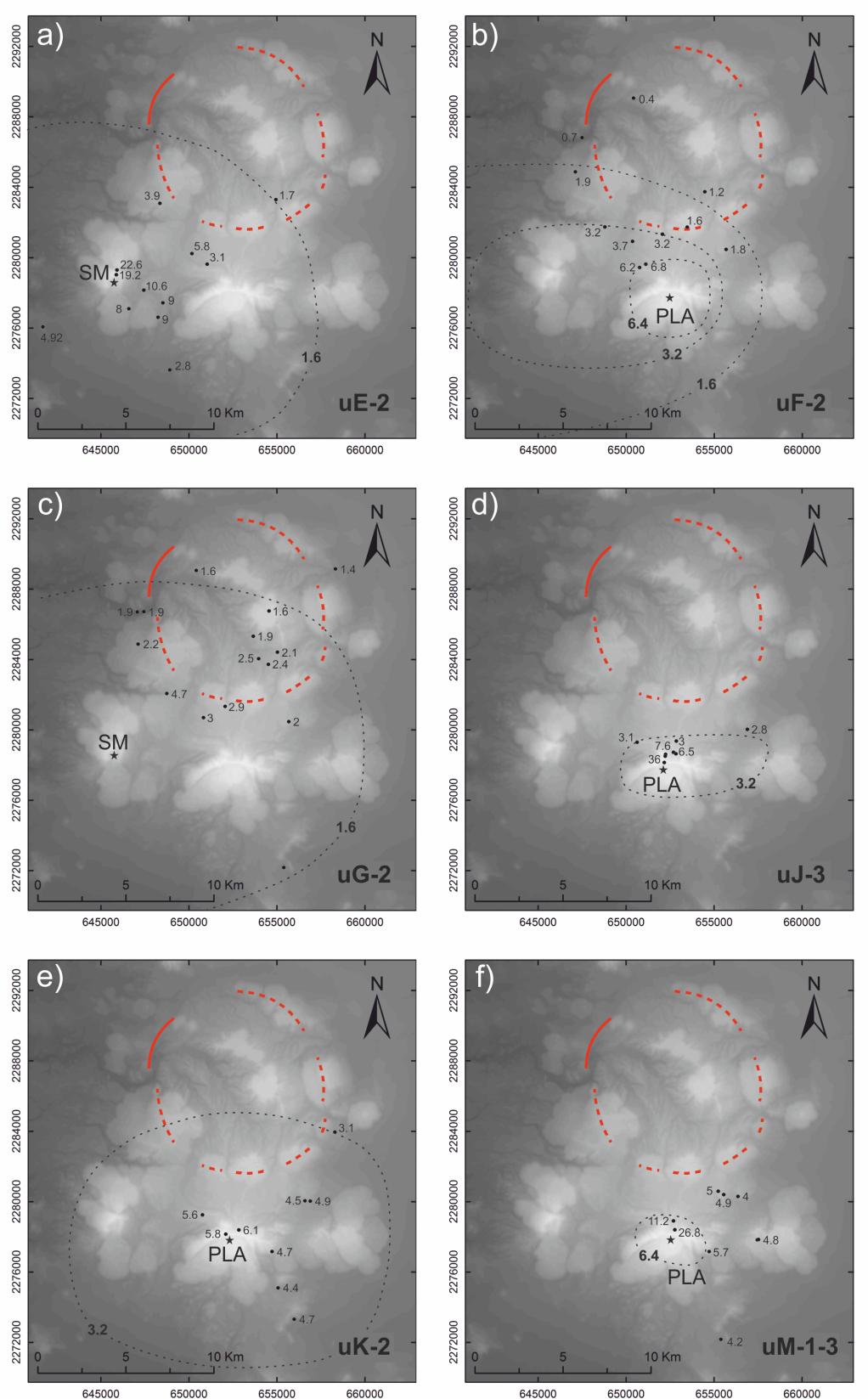


FIGURA 4.17: Mapas de isopletas de las unidades: A) E-2, B) F-2, C) G-2, D) J-3, E) K-2, y F) M-1-3. Las líneas continuas y punteadas rojas indican al borde observado e inferido de la caldera de La Primavera, respectivamente. Las estrellas negras indican a las fuentes probables de las unidades piroclásticas. Modificado de Sourisseau et al. (2020 [88]).

4.3. Química

4.3.1. Roca Total

Se midieron la composición en elementos mayores, menores y trazas en roca total de la unidad piroclástica pre-caldera PC y unidades piroclásticas post-caldera A-O indicadas con círculos y triángulos llenos en los gráficos. Los resultados están dados en los apéndices B.39 a B.46. Estos resultados fueron completados por la química de las unidades piroclásticas uPG, uA, uIT, uPC y uO de las tesis de licenciatura y de maestría de Avila Ortiz (2018 [70]), Tinoco (2017 [65]), Erick (... []), Victor (... []), Ulise ... (...) y ... (... []). Los resultados de las tesis están indicados en los gráficos con los símbolos cruces, estrellas y rumbos vacíos.

Para comparar la composición de los piroclastos y centros volcánicos, se utilizaron los resultados de química de los domos y centros volcánicos de La Primavera reportados en las tesis de licenciatura y de maestría de Avila Ortiz (2018 [70]), André ... (... []), Cruz Lara (2015 [39]), Gómez Alvarez (2015 [5]), Pacheco (... []), Tinoco (2017 [65]), Victor (... []), Ulise ... (...) y ... (... []). Además, se midieron durante el presente trabajo de investigación la composición en elementos mayores, menores y trazas en roca total de los domos Pedernal, Léon, Chiquihuitillo, Piñar de la Venta, Lobera, Cuate y Burro (cuadros vacíos), de los centros volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo (cuadros vacíos), y de las lavas de Cañón de las Flores y del dique reciente del domo Puerta (cuadros vacíos) para complementar los resultados de las tesis. Los nuevos resultados de química están dados en los apéndices B.47 a B.50.

Se analizaron también los isótopos de Sr, Nd y Pb en roca total de las unidades IT, PG, A a M y Bloque Jalisco, así como la composición del vidrio y cristales de las unidades PG-M. Los resultados e incertidumbres de las mediciones están en el apéndice B.68.

Se midieron también durante el presente trabajo la química de varias muestras del basamento de La Primavera: una muestra de roca plutónica del Bloque Jalisco (PR9-2985-2986, Fig. 4.18), una muestra de lava del bloque Jalisco (PR12-2300-2303, Fig. 4.18), dos muestras de lava de San Cristobal (PR11-1717-1720 y PR2-1358-1361, Fig. 4.18) y una lava que pertenece al grupo Guadalajara (PR1-600-605, Fig. 4.18). Finalmente, se

midio la química de dos muestras de lava de un cono de escoria ubicado en la parte sur de Guadalajara. Los resultados están dados en los apéndices [B.47](#) y [B.48](#).

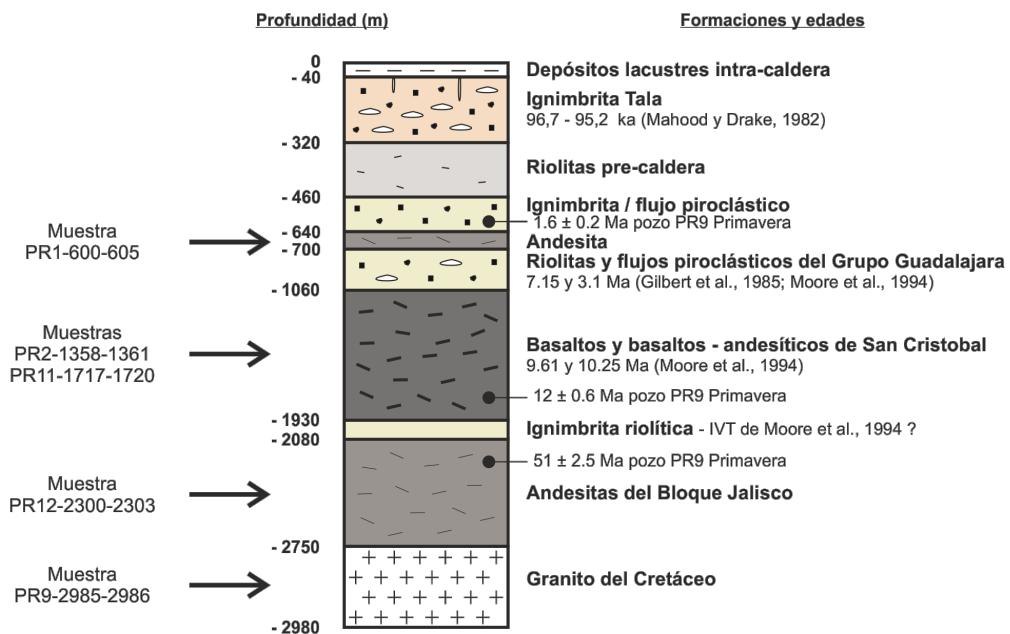


FIGURA 4.18: Muestras analizadas del basamento de La Primavera.

Las incertidumbres y los límites de detección de los elementos mayores, trazas y REE de las unidades piroclásticas, domos, lavas y centros volcánicos están dados en el apéndice (Apéndice [B.52](#)). Dado que las muestras fueron enviadas en cinco paquetes entre 2016 y 2018, se calcularon las incertidumbres individuales de los cinco paquetes de muestras. Luego, se graficaron las muestras con sus incertidumbres respectivas.

Los símbolos utilizados para representar los piroclastos y muestras de estratovolcanes, domos y lavas están dados en las figuras [4.19](#) y [4.20](#). En la izquierda están las muestras de la presente investigación doctoral, mientras que en la derecha están las muestras de las tesis de licenciatura y maestría mencionadas previamente.

4.3.1.1. Elementos mayores y menores

La medición de los elementos mayores y menores de las muestras de La Primavera ha mostrado que existen al menos tres grupos composicionales principales: basamento y cono de escoria (grupo 1), bloque Jalisco (grupo 2) y piroclastos y domos pre y post-caldera de La Primavera (grupo 3).

Las muestras de lavas de los pozos 1, 2, 11 y 12 del basamento de La Primavera (grupo 1) son basaltos y traqui-basaltos con porcentajes de K₂O entre las series toleítica y shoshonítica en el diagrama TAS (46.8 - 51.4 % SiO₂; 0.3 - 2.9 % K₂O; 3.9 - 5.3 % Na₂O + K₂O; Fig. 4.21A; c.f. Le Bas et al., 1986) y diagrama de Peccerillo y Taylor (Fig. 4.21B). El cono de escoria de Guadalajara (grupo 1) tiene la composición de basaltos-andesíticos con tasa media de K de la serie calca-alcalina (54.8 - 55.8 % SiO₂; 1.18 - 1.23 % K₂O; 4.8 - 4.9 % de Na₂O + K₂O). En el gráfico de Shand (1943), las muestras de este grupo son metaluminosas (Fig. 4.21C).

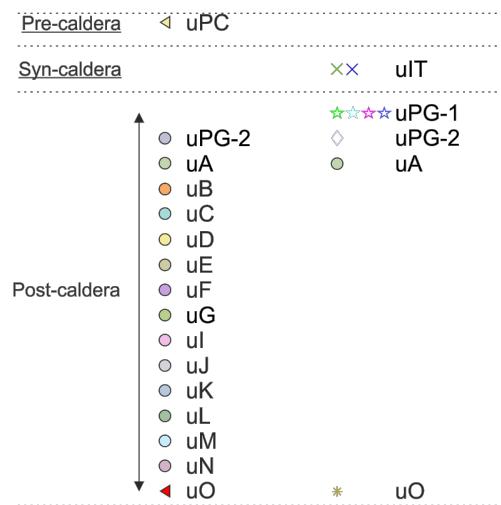


FIGURA 4.19: Símbolos utilizados para representar los análisis en roca total de los piroclastos de La Primavera.

La muestra del bloque Jalisco del pozo PR9 de La Primavera (grupo 2) tiene composición de dacita y pertenece a la serie potásica shoshonitica (63.8 % SiO₂; 4.7 % K₂O; 7 % de Na₂O + K₂O). Tiene también una composición metaluminosa en el gráfico de Shand (1943; Fig. 4.21C).

Los piroclastos, domos y centros volcánicos de La Primavera (grupo 3) tienen una composición riolítica con 70 - 78 % SiO₂ y 6.5 - 9 % de Na₂O + K₂O. En el diagrama K₂O vs. SiO₂, las muestras pueden ser clasificadas como rocas con alta tasa de K con 4 - 5 % K₂O (Fig. 4.21B; modificado de Peccerillo y Taylor (1976)). En el gráfico de Shand (1943), las muestras son peraluminosas a peralcalinas (Fig. 4.21C).

Las muestras del basamento de La Primavera y del cono de escoria de Guadalajara están siempre empobrecidos en sílice con 46.8 - 55.8 % de SiO₂ (parte izquierda de los gráficos). En cambio, las muestras de piroclastos, domos, centros volcánicos y lavas están enriquecidas en sílice con 70 - 78 de % SiO₂ (parte derecha de los gráficos). La muestra

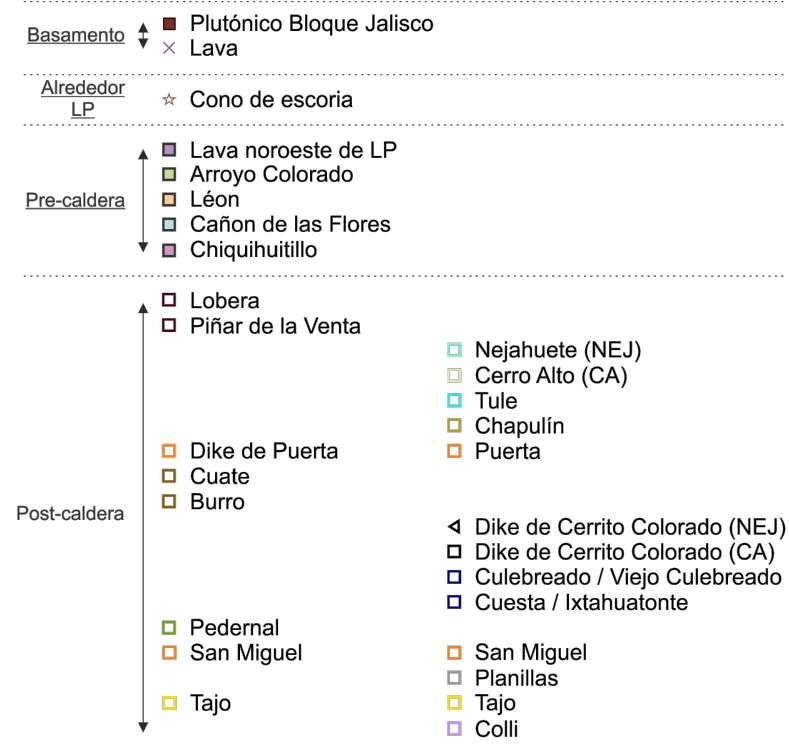


FIGURA 4.20: Símbolos utilizados para representar los análisis en roca total de las lavas, domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera y un cono de escoria de Guadalajara.

del bloque Jalisco del pozo PR9 del basamento de La Primavera tiene una composición intermedia entre estos dos extremos por los elementos TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO y P_2O_5 . Sin embargo, tiene composiciones más bajas en Al_2O_3 y Na_2O y más altas en CaO , K_2O y MnO (Figs. 4.21A y 4.22). Las muestras de lavas encontradas al oeste de la caldera tienen la misma composición que las muestras pre y post-caldera de La Primavera, pero con poco más TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , P_2O_5 y MnO .

Los piroclastos, domos y centros volcánicos pre y post-caldera de La Primavera (grupo 3) tienen contenidos similares en los óxidos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O y P_2O_5 , al contrario, tienen diferentes concentraciones en CaO , Na_2O y MnO . Se observan tendencias horizontales por TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , P_2O_5 y MnO ; tendencias positivas por Na_2O ; y una tendencia negativa por CaO . Los domos y centros volcánicos de La Primavera parecen tener más variaciones en sílice que los piroclastos.

Las muestras de la ignimbrita Tala (tesis de licenciatura de Bahena Romero [77], tesis de Ulise de [?] y las muestras del Dr. Sosa Ceballo [?]) presenta más variaciones en SiO_2 que los piroclastos (Tala: 74.15 - 77.25 % de SiO_2).

El óxido TiO₂ muestra un incremento de su concentración entre los grupos 3D, 3C, 3B y 3A en el gráfico TiO₂ vs. SiO₂ (Fig. 4.23). El grupo 3D presenta muy bajo contenido en TiO₂ (0.04 - 0.06 % TiO₂); el grupo 3C tiene poco más TiO₂ (0.06 - 0.08 % TiO₂); el grupo 3B tiene aún más TiO₂ (0.1 - 0.12 % TiO₂), y, finalmente, el grupo 3A tiene el contenido más alto en TiO₂ (0.14 - 0.17 % TiO₂). Aunque la incertidumbre de TiO₂ sea bastante grande entre 0.01 y 0.02 %, los grupos de muestras no se traslanan. Cabe mencionar que las subunidades PG-1 tienen pόmez de composición 3A y 3C, mientras que PG-2 sólo tiene la composición de 3A. Las composiciones de los grupos 3A, 3B y 3C fueron encontradas en muestras pre y post-caldera.

- Grupo 3A** Pre-caldera: Domo Chiquihuitillo,
 Post-caldera: Domos Tule, Chapulín, Lobera, Piñar de la Venta y Cerro Alto, base del domo compuesto Nejahuete y dique de Cerrito Colorado, Piroclastos de uPG-1, uPG-2 y uA;
- Grupo 3B** Pre-caldera: Domo Léon y lava de Cañón de las Flores, Piroclastos de uPC
Post-caldera: Domos Culebreado, Culebreado viejo, Ixtahuatonte, Cuesta, Pedernal, Puerta y Burro, así que la lava de Cerrito Colorado (Nejahuete y Cerro Alto), Piroclastos de uB a uD;
- Grupo 3C** Pre-caldera: Grupo de Arroyo Saucillo y domo Arroyo Colorado, Post-caldera: centros volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo, Piroclastos de uPG-1, uE a uN;
- Grupo 3D** Post-caldera: Domo Colli, Piroclastos de uO.

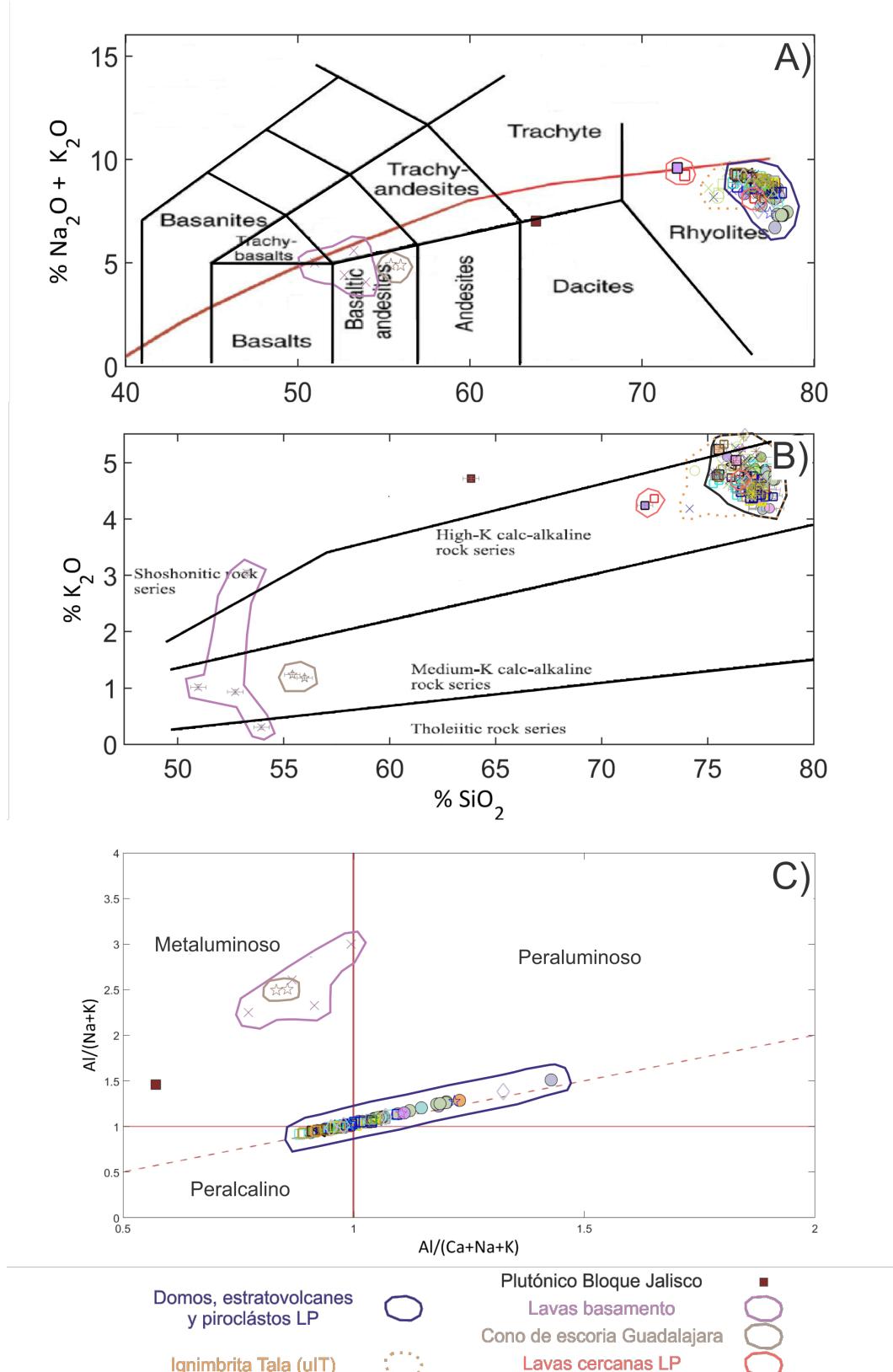
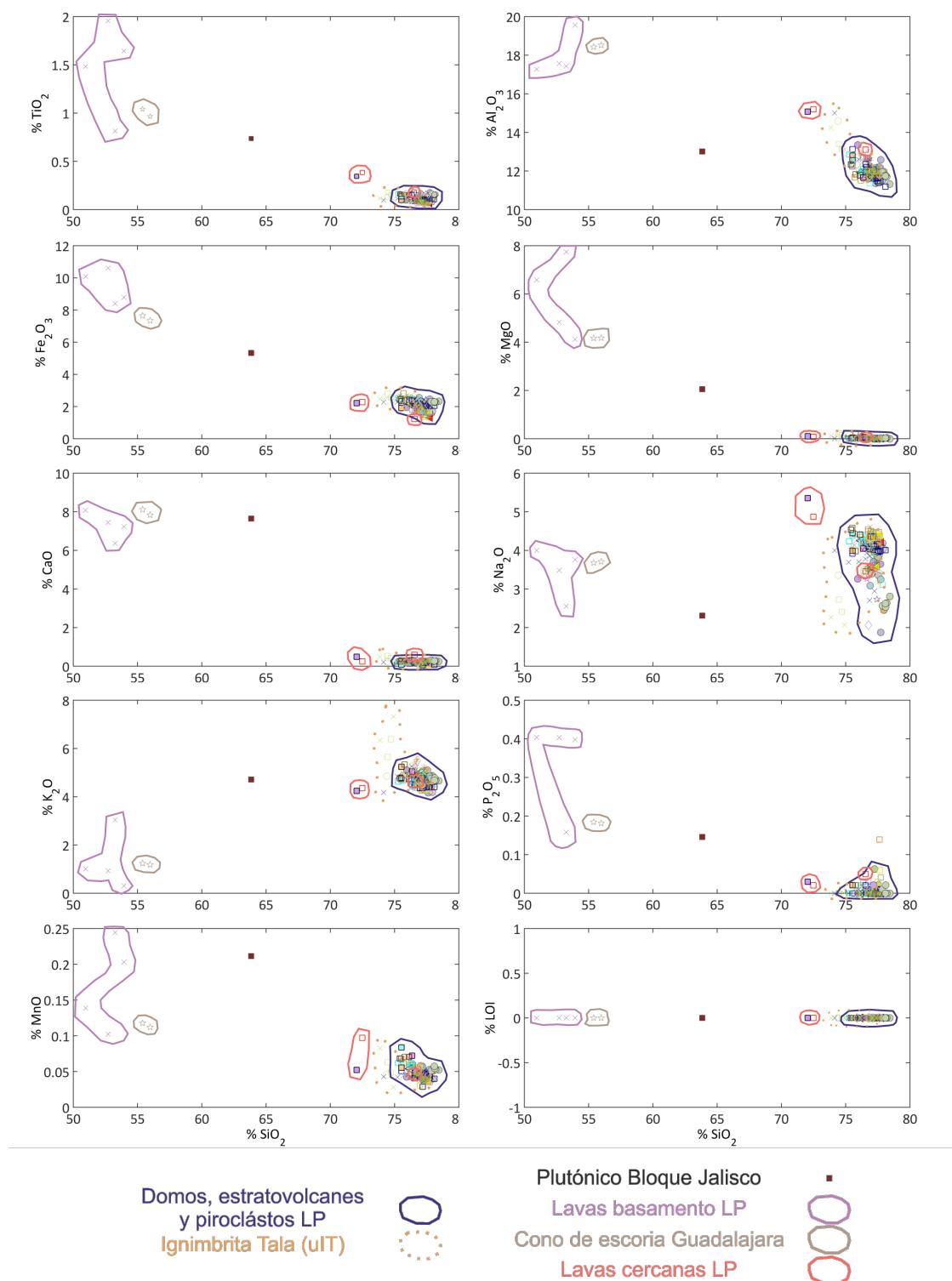


FIGURA 4.21: Diagrama TAS de Le Bas et al. (1986 [6]) (A), diagrama de Peccerillo y Taylor (1976 [74]) (B) y diagrama de Shand (1943[84]) (C) con los piroclastos, domos, centros volcánicos y el basamento de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20. La línea roja muestra la transición entre los campos de rocas alcalinas y subalcalinas (modificado de Irvine and Baragar (1971 [34])).



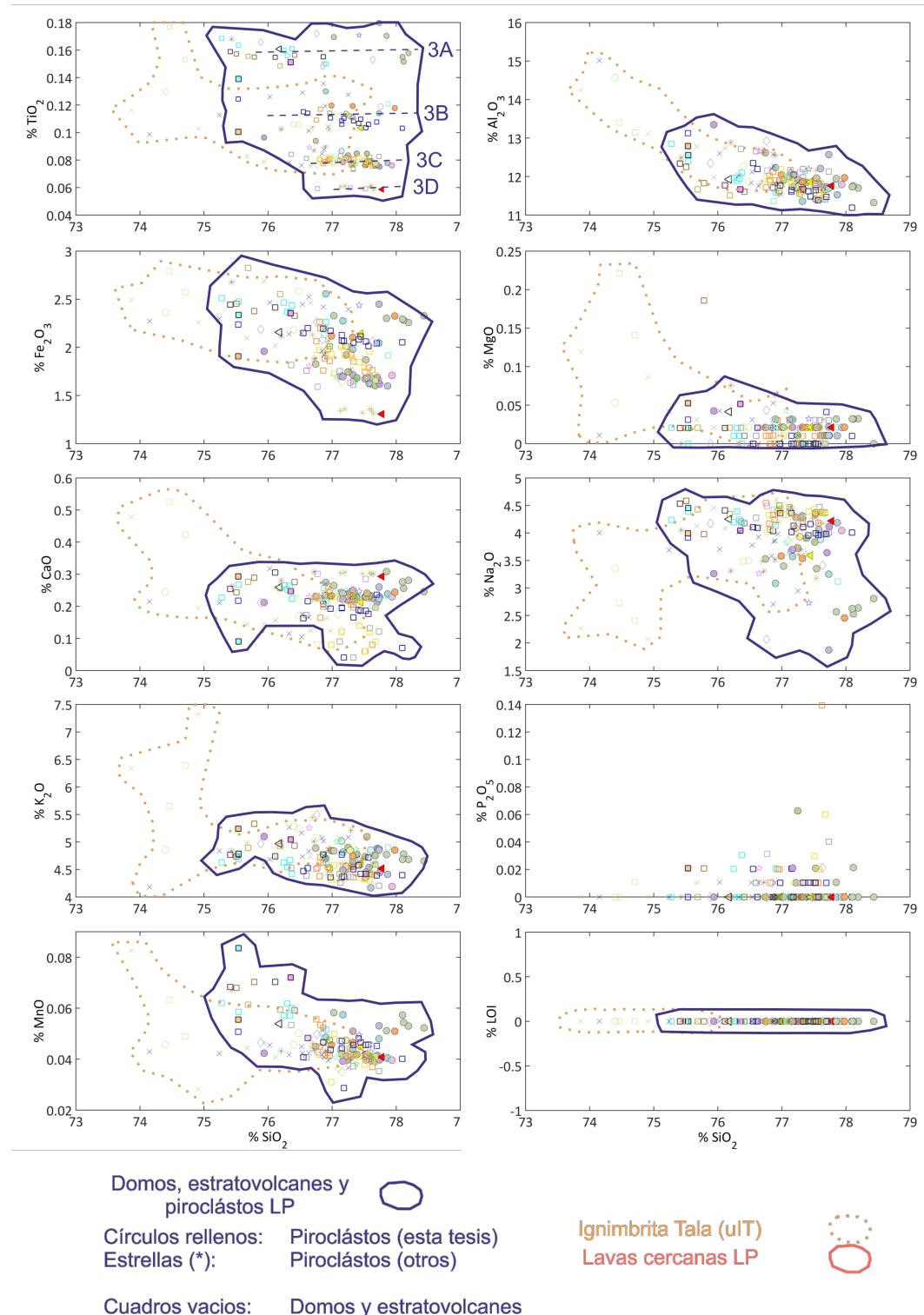


FIGURA 4.23: Diagrama de tipo Harker mostrando los piroclastos, domos y centros volcánicos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.

4.3.1.2. Elementos trazas

Se graficaron en los diagramas de araña (Fig. 4.25 y 4.24) los elementos tierras raras de varias muestras de domos, lavas y roca plutónica del basamento, así como las muestras del cono de escoria de Guadalajara para observar las características del basamento y vulcanismo de La Primavera. Dado que las muestras de piroclastos y domos tienen las mismas tendencias, sólo se representaron algunas muestras de domos para observar claramente las diferencias de composición.

Se normalizaron las muestras con la composición N MORB (*Normal Mid-Ocean Ridge Basalts*) de Sun y McDonough (1989 [59]) para comparar las muestras con la composición más probable del manto a lo largo de las dorsales (Gale et al., 2013 [25]) y para eliminar el efecto de Oddo-Harkins de los gráficos.

La descripción de los diagramas de araña (Fig. 4.25) y de araña extendido (Fig. 4.24) de los domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera muestra que se observan los mismos grupos 1, 2, 3A, 3B y 3C que los que fueron observados con el TiO₂.

Las lavas del basamento y cono de escoria de Guadalajara (grupo 1) muestran tendencias paralelas muy similares (lava del basamento: 1.7 - 2.3 ppm de Th; 78 - 179 ppm de Zr; 10 - 22 ppm de La; cono de escoria: 1.6 - 1.7 ppm de Th; 104 - 114 ppm de Zr; 14.5 - 15 ppm de La)(Figs. 4.25 y 4.24).

La roca plutónica del bloque Jalisco (grupo 2) está más enriquecida que las lavas del basamento en los elementos Ba, Pb y K (LILE) y Th, U, La, Ce, Nd, Zr y Hf (HFSE; 8.5 ppm de Th; 204 ppm de Zr; 21.4 ppm de La) (Figs. 4.25 y 4.24).

Los piroclastos, domos y centros volcánicos pre y post-caldera de La Primavera (grupos 3A, 3B, 3C y 3D) están más enriquecidos en los elementos LREE y HREE que las lavas del basamento y cono de escoria (grupos 1 y 2). Todas las muestras del grupo 3 tienen concentraciones más altas en los elementos incompatibles Th (14.9 - 19.4 ppm), U, Nb, Ta, Zr (173 - 569 ppm), Hf y Y (HFSE). También tienen anomalías negativas muy marcadas en los elementos Ba, Sr y Eu y anomalías positivas en Pb y Ti (Figs. 4.25 y 4.24).

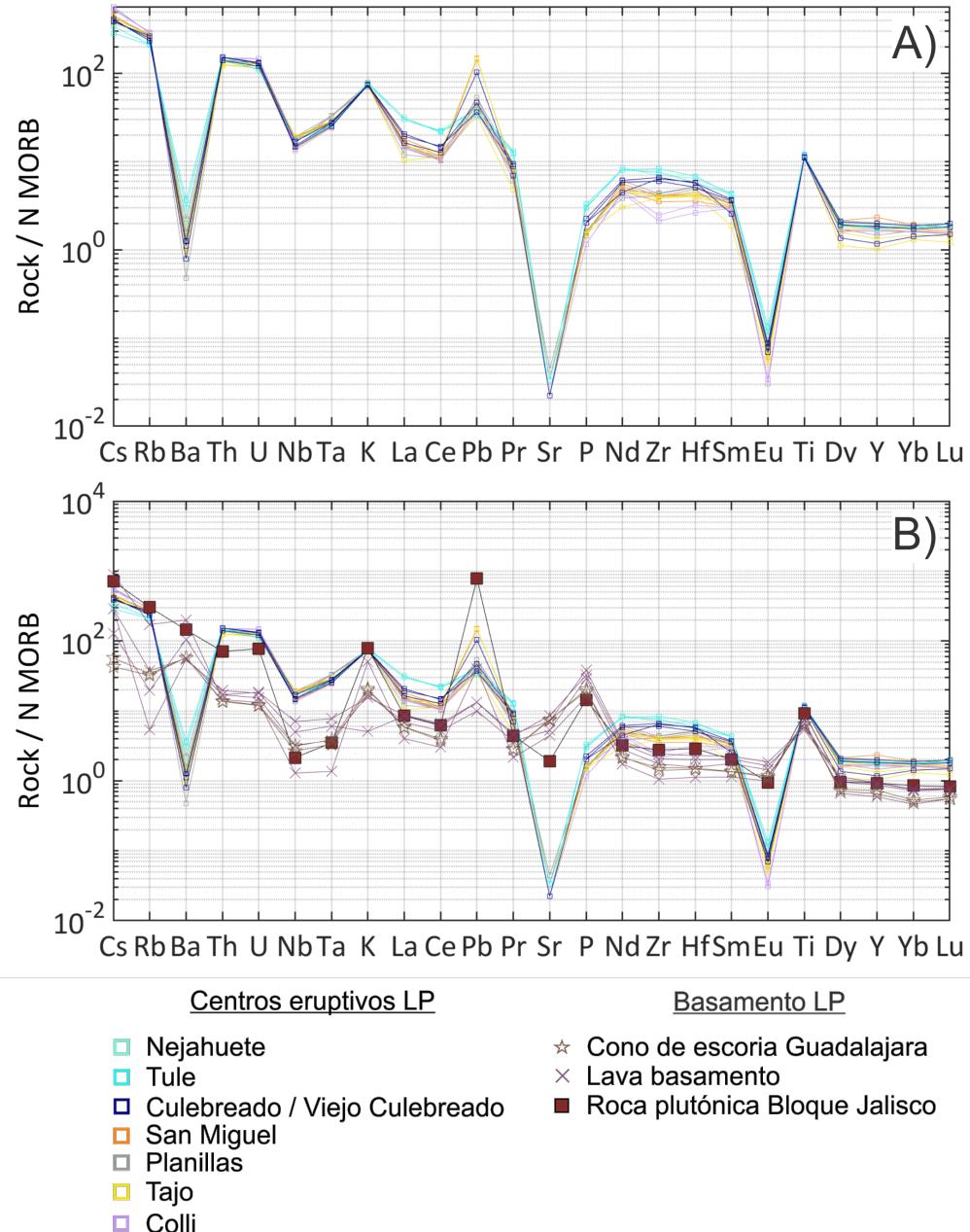


FIGURA 4.24: Diagrama de araña extendido con los elementos tierras raras y trazas de los domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera normalizado con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).

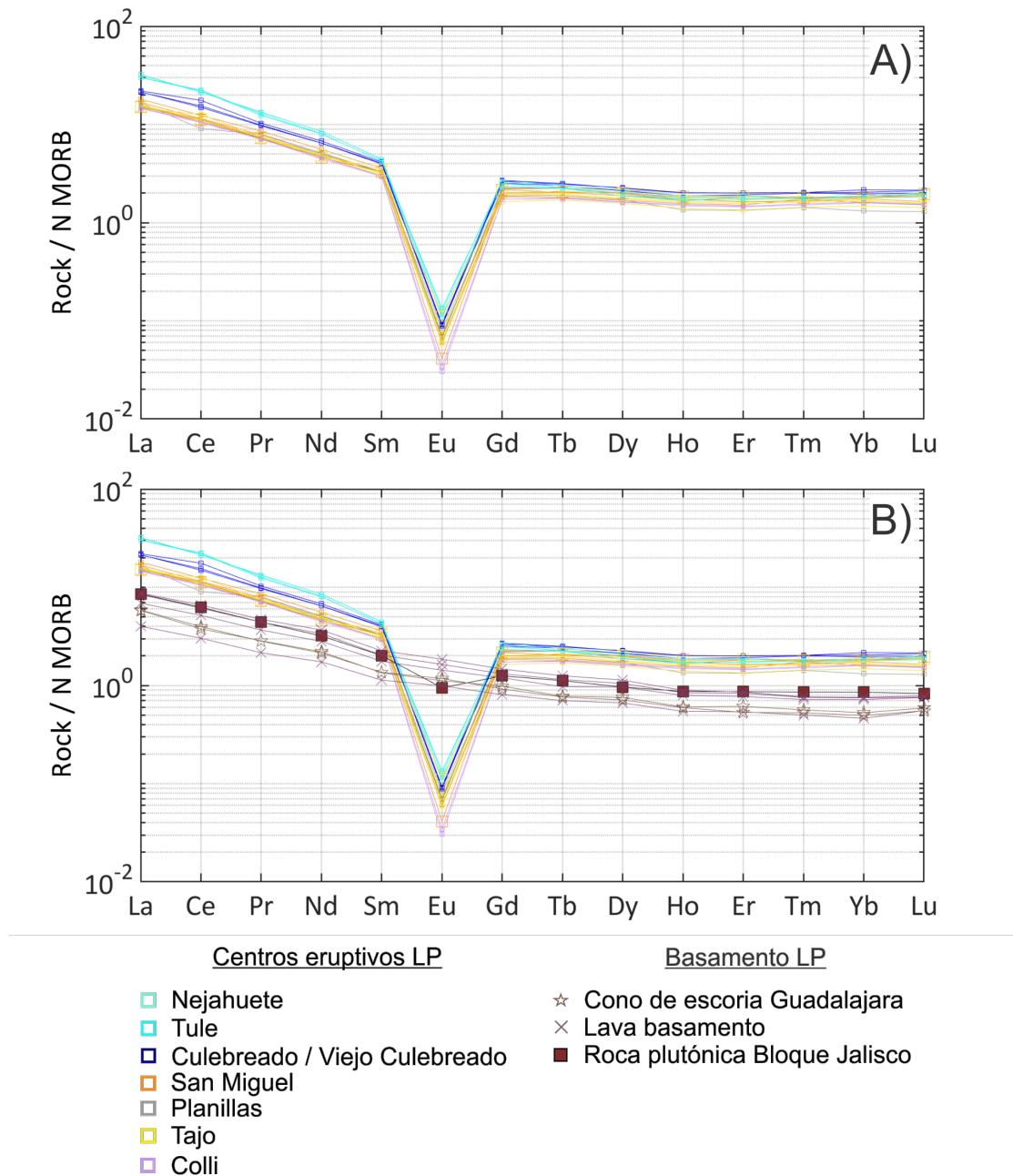


FIGURA 4.25: Diagrama de araña con los elementos tierras raras y trazas de los domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera normalizado con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).

El paralelismo de las muestras de los centros volcánicos San Miguel, Planillas, Tajo del grupo 3C y domo Colli del grupo 3D (Fig. 4.26) indica una fuerte variación del contenido en LREE y HREE dentro de las muestras de los centros volcánicos.

La ignimbrita Tala y muestras pre-caldera tienen el mismo contenido en LREE, Hf, Nd, Ba y P que las muestras de los grupos 3A-D de los domos y piroclastos de La Primavera,

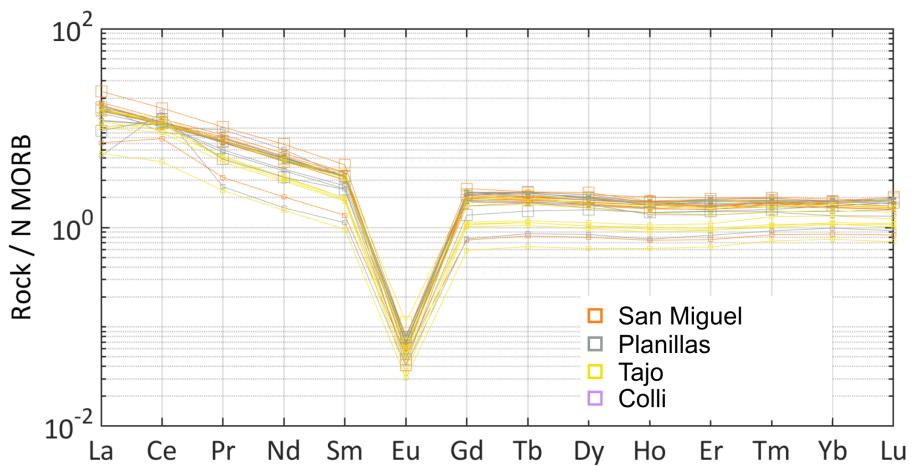


FIGURA 4.26: Diagrama de araña con los elementos REE de San Miguel, Planillas, Tajo y Colli normalizado con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).

pero son más enriquecida en HREE, LILE (Cs, Rb y Pb), HFSE (Zr, Nb y Ta), U y Th (Fig. 4.27).

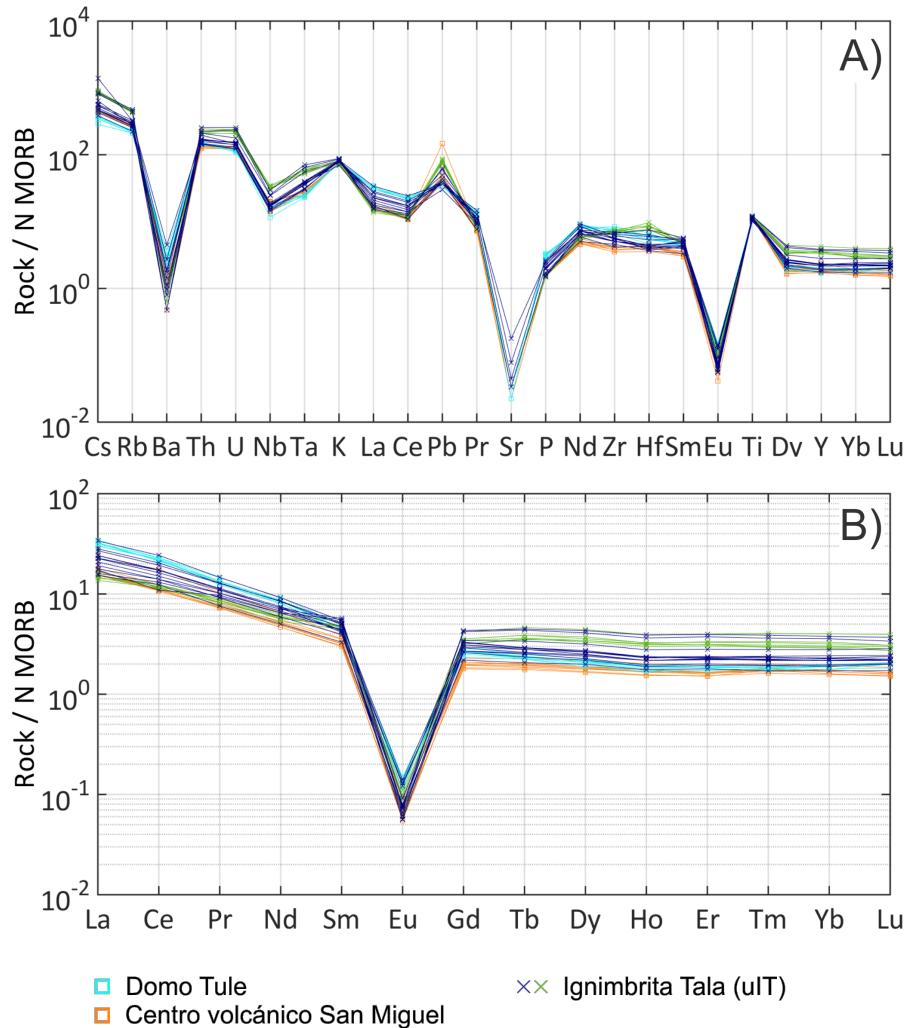


FIGURA 4.27: Diagrama de araña extendido (A) y diagrama de araña con las muestras de la ignimbrita Tala, domo Tule y centro volcánico San Miguel (B) normalizados con la composición del manto N MORB de Sun y McDonough (1989 [59]).

Se hicieron los gráficos Zr/Hf, Eu y Nb/Ta vs. Sc (Fig. 4.28) para observar el comportamiento de Nb, Ta, Zr y Hf (HFSE) con el índice de diferenciación Sc.

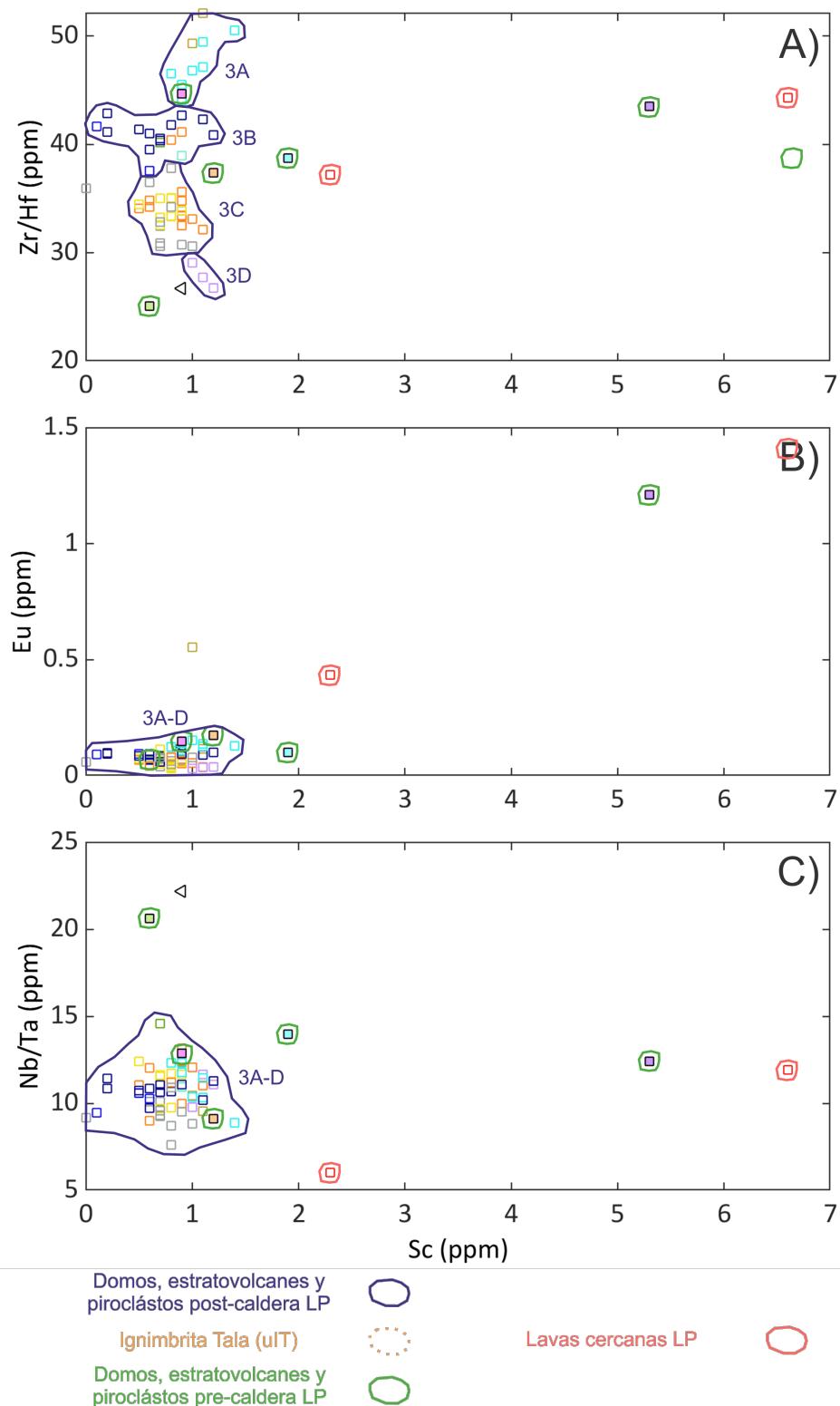


FIGURA 4.28: Gráficos Zr/Hf vs. Sc (A), Eu vs. Sc (B) y Nb/Ta vs. Sc (C) con las muestras de lavas de los centros volcánicos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en la figura 4.20.

En el gráfico Zr vs. Th (Fig. 4.29) las muestras de los grupos 3A, 3B, 3C y 3D están alineadas sobre cuatro líneas paralelas con pendiente positivas; mientras que en el gráfico Zr vs. La (Fig. 4.30) las muestras describen una tendencia parabólica positiva con el incremento del La y Zr entre los grupos 3D y 3A (3D: 35 - 40 ppm de La, 150 - 200 ppm de Zr, 17 - 18.5 ppm de Th; 3C: 35 - 45 ppm de La, 250 - 350 ppm de Zr, 14 - 18 ppm de Th; 3B: 50 - 60 ppm de La, 400 - 525 ppm de Zr, 14 - 20 ppm de Th; 3A: 70 - 95 ppm de La, 475 - 650 ppm de Zr, 16 - 19 ppm de Th). La ligera incertidumbre del Zr entre 3.8 y 5.9 ppm demuestra que los grupos 3A, 3B, 3C y 3D no se traslanan; por lo tanto los grupos son representativos de los datos.

Las lavas encontradas en la cercanía del centro volcánico de San Miguel (cuadros rojos) muestran la misma tendencia, pero con poco menos Th que los domos y piroclastos (11.2 - 14.7 ppm de Th). Las muestras de la ignimbrita Tala tienen concentraciones similares en La, pero con más Th y Zr que las otras muestras de La Primavera (17.4 - 30.6 ppm de Th; 310 - 518 ppm de Zr).

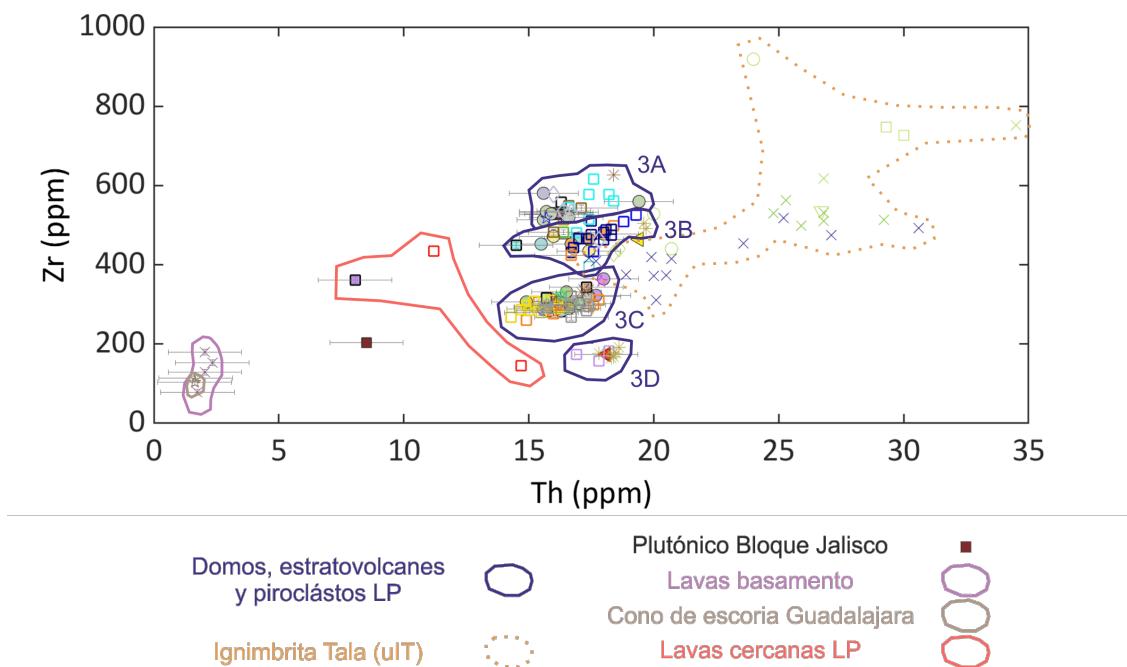


FIGURA 4.29: Gráfico Th vs. Zr con las muestras de piroclastos, domos, centros volcánicos y basamento de La Primavera. Los cuadros representan los domos y centros volcánicos de La Primavera, mientras que los círculos rellenos, estrellas, triángulos, cruces y rumbos son piroclastos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.

Se observan los mismos grupos en el gráfico Zr vs. TiO₂ (Fig. 4.30), sin embargo, las muestras de lava del basamento de La Primavera (0.77 - 1.89 % de TiO₂; grupo 1) y el

cono de escoria de Guadalajara (0.96 - 1.03 % de TiO₂; grupo 1) tienen concentraciones mucho más elevadas en TiO₂ y concentraciones mucho más empobrecidas en los elementos Th que las muestras de piroclastos, domos, centros volcánicos pre, syn y post-caldera de La Primavera (grupo 3).

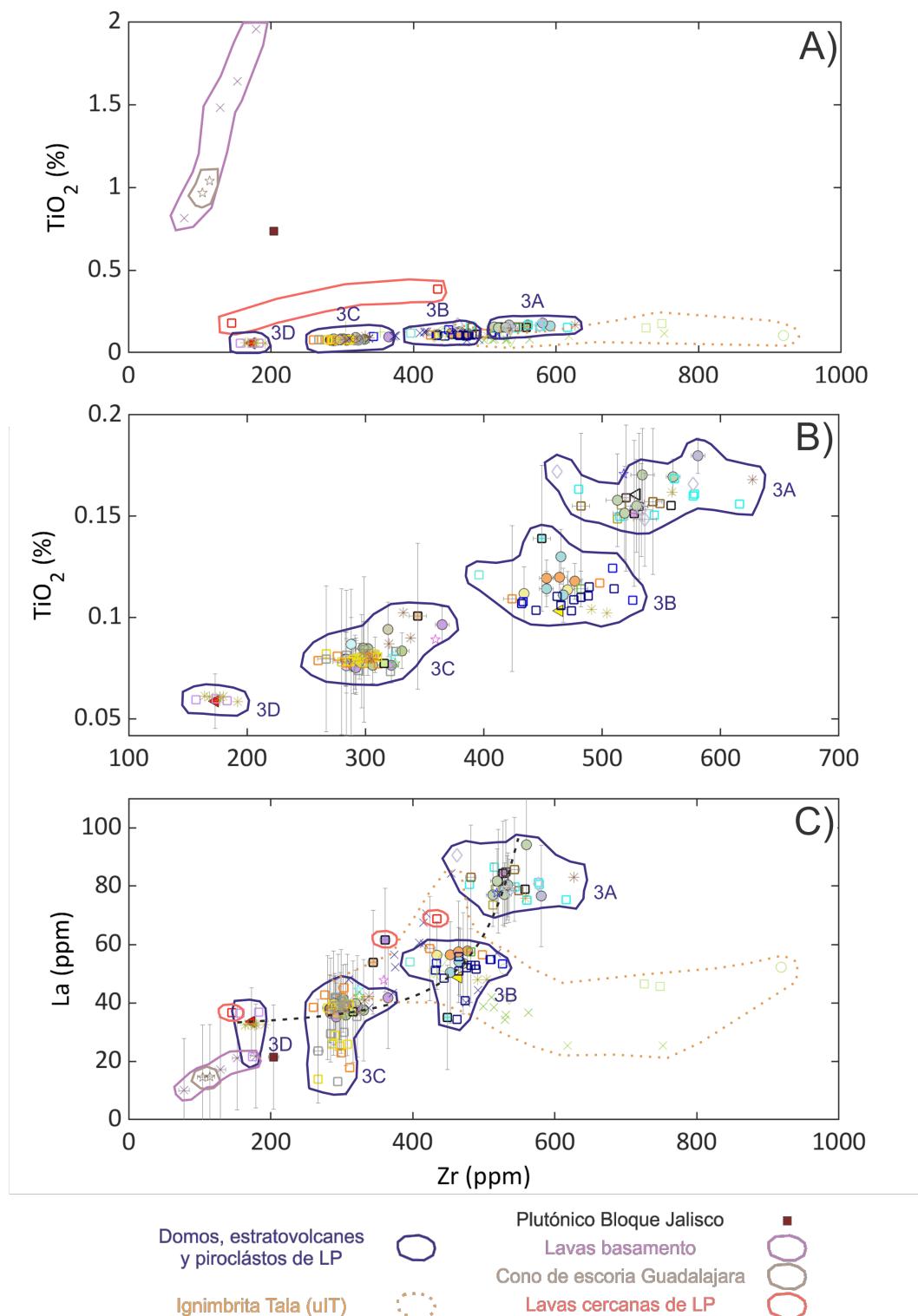


FIGURA 4.30: Gráficos Zr vs. TiO_2 (A y B) y Zr vs. La (C) con las muestras de domos, centros volcánicos, piroclastos y basamento de La Primavera. Los cuadros representan los domos y centros volcánicos de La Primavera, mientras que los círculos rellenos, estrellas, triángulos, cruces y rumbos son piroclastos de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.

Se hicieron también los gráficos Zr/Hf vs. Zr (Fig. 4.31A), Nb/Ta vs. Zr/Ta (Fig. 4.31B) y Nb/Ta vs. Zr/Hf (Fig. 4.31C) para observar la afinidad de los elementos Nb, Ta, Zr y Hf (HFSE) en los cristales de clinopiroxeno, flogopita y rutilo durante el proceso de fusión parcial del manto debajo de La Primavera.

Se pueden observar los grupos lavas del basamento CVTM y Bloque Jalisco (grupo 1), sustrato plutónico del Bloque Jalisco (grupo 2) y volcanismo de La Primavera (grupos 3A-D) que fueron descritos antes. Las lavas del CVTM son más enriquecidas en Nb/Ta (14.5 - 16.1) y Zr/Ta (175.5 - 258) que las muestras de los domos y centros volcánicos de La Primavera. Tienen una relación Zr/Hf (37.3 - 40.3) intermedia entre las muestras de los grupos 3D y 3A de La Primavera. Las muestras del cono de escoria de Guadalajara tienen casi las mismas características que las lavas del CVTM (Nb/Ta: 14.1 - 14.3; Zr/Ta: 223.5 - 236.4; Zr/Hf: 34.7 - 36.8). La lava y sustrato plutónico del Bloque Jalisco (BJ) son más enriquecidos en Zr/Ta (433.3 - 443.5) que las muestras del CVTM (175.5 - 258). También tienen una relación Zr/Hf de 33.9 - 34.6. La lava del BJ tiene una relación Nb/Ta más alta que el sustrato plutónico (Lava: 16.7; Sustrato plutónico: 10.8). Las muestras de los domos, centros volcánicos y piroclastos de La Primavera (grupos 3A-D) tienen fuertes variaciones en las relaciones Zr/Ta (46.9 - 181.2) y Zr/Hf (26.8 - 52.1), y una ligera variación de Nb/Ta (7.6 - 13.2). Finalmente, la ignimbrita Tala muestra poca variación de las relaciones Nb/Ta (7.4 - 11.1) y Zr/Ta (52.8 - 103.2) contrariamente a la variación de la relación Zr/Hf (26.8 - 54.0) que tiene un rango de valores muy amplio similar al CVLP.

Finalmente, se hicieron los gráficos Nb/Ta vs. Rb/Ta (Fig. 4.32A) y Gd/Yb vs. Zr/Ta (Fig. 4.32B) para observar la afinidad de los elementos Nb, Ta y Zr (HFSE), con los elementos Gd y Yb (HREE) y elemento Rb (LILE) para observar la afinidad de los elementos Nb, Ta, Zr y Hf (HFSE) en los cristales de flogopita, rutilo y granate durante el proceso de fusión parcial del manto debajo de La Primavera.

Las muestras del Bloque Jalisco (BJ) tienen una relación Rb/Ta más altas que las muestras del CVTM, cono de escoria y CVLP (BJ: 369.6 - 533.3)(CVTM: 3.75 - 42)(cono de escoria: 37.2 - 40.9)(CVLP: 17.1 - 62.1). Las muestras del BJ, CVTM y cono de escoria de Guadalajara tienen una relación Gd/Yb poco más alta que las muestras de La Primavera (BJ: 1.8 - 2.1)(CVTM: 2 - 2.3)(cono de escoria: 2.2)(CVLP: 0.9 - 2.3). Las

relaciones Gd/Yb (1.2 - 1.7) y Rb/Ta (25.1 -38.5) de la ignimbrita Tala son similares al CVLP.

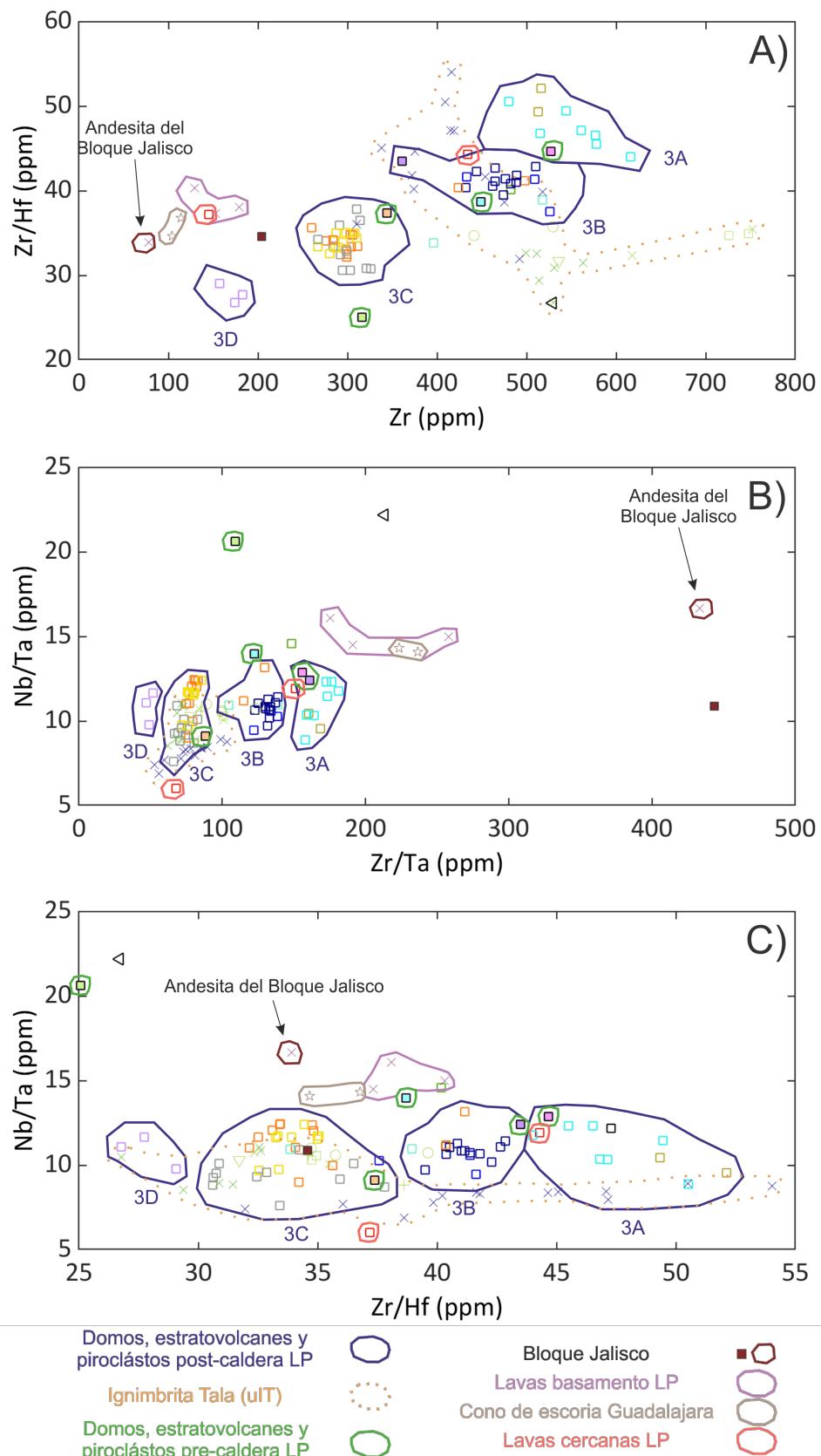


FIGURA 4.31: Gráficos Zr/Hf vs. Zr (A), Nb/Ta vs. Zr/Ta (B) y Nb/Ta vs. Zr/Hf (C) con las lavas de los centros volcánicos y basamento de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.

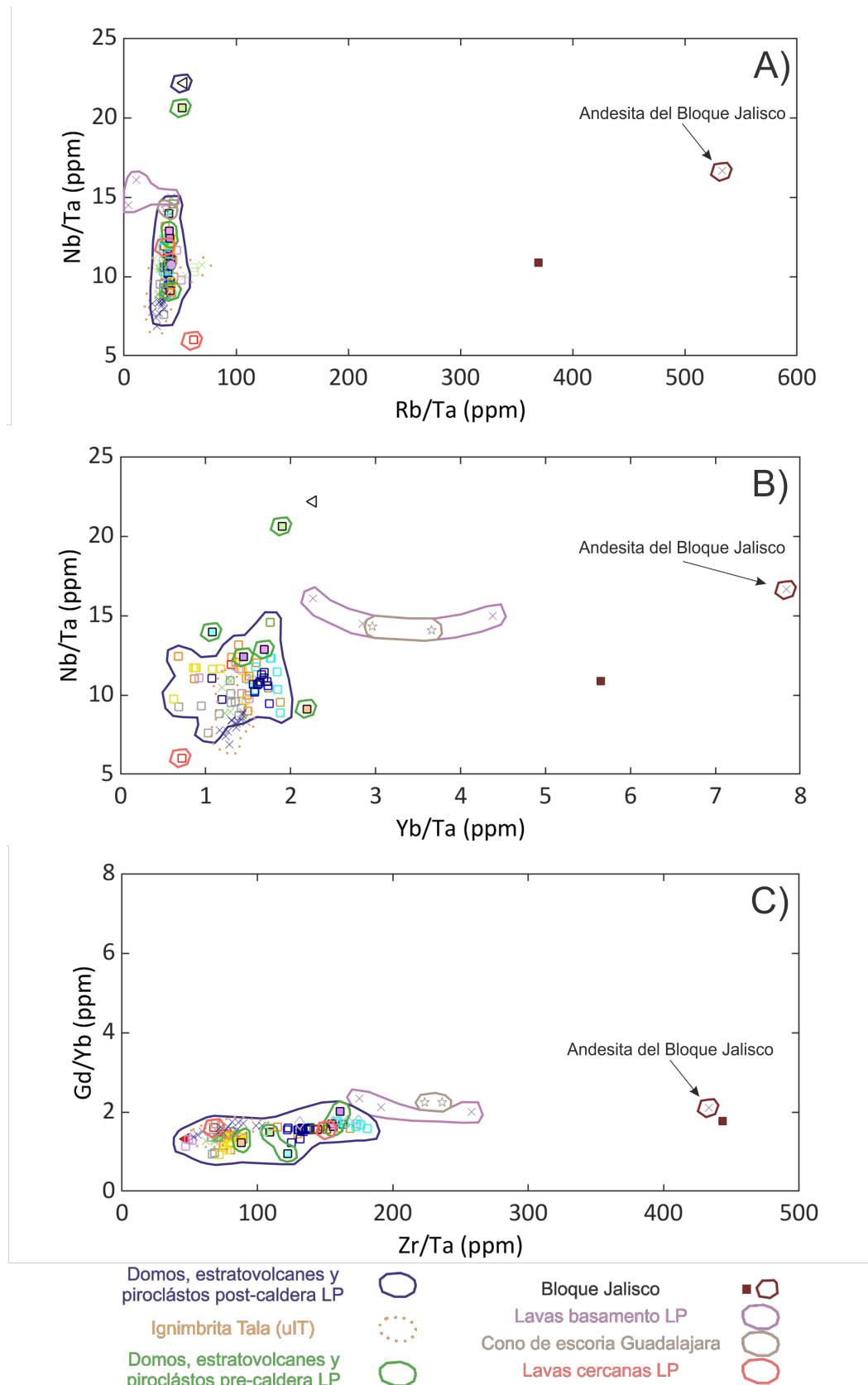


FIGURA 4.32: Gráficos Nb/Ta vs. Rb/Ta (A) y Gd/Yb vs. Zr/Ta (B) con las lavas de los centros volcánicos y basamento de La Primavera. Los símbolos utilizados están en las figuras 4.19 y 4.20.

4.3.1.3. Elementos isótopos

Se midieron los isótopos de Sr, Nd y Pb en roca total de 15 muestras para saber si las muestras de las unidades IT, PG, A a G, I a M vinieron de la misma fuente mantélica que la muestra del Bloque Jalisco. No obstante, sólo se pudo utilizar las relaciones isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dado la pobreza de los elementos Sr y Nd en las muestras.

Existen dos grupos de muestras en el gráfico $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 4.33): un grupo formado por la muestra del Bloque Jalisco (relación $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 18.6982, relación $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 15.5847 y relación $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 38.4394) y otro grupo formado por las muestras de las unidades PG a M (relación $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 18.7157 y 18.7286, relación $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 15.5771 y 15.6105 y relación $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 38.4140 y 38.4636). Las mediciones e incertidumbres de las unidades IT y PG-M se traslanan debido a las ligeras variaciones y fuertes incertidumbres de las mediciones. Hay muy poca variación entre las muestras de las unidades post-caldera IT-M y muestra del sustrato plutónico del Bloque Jalisco (Fig. 4.33).

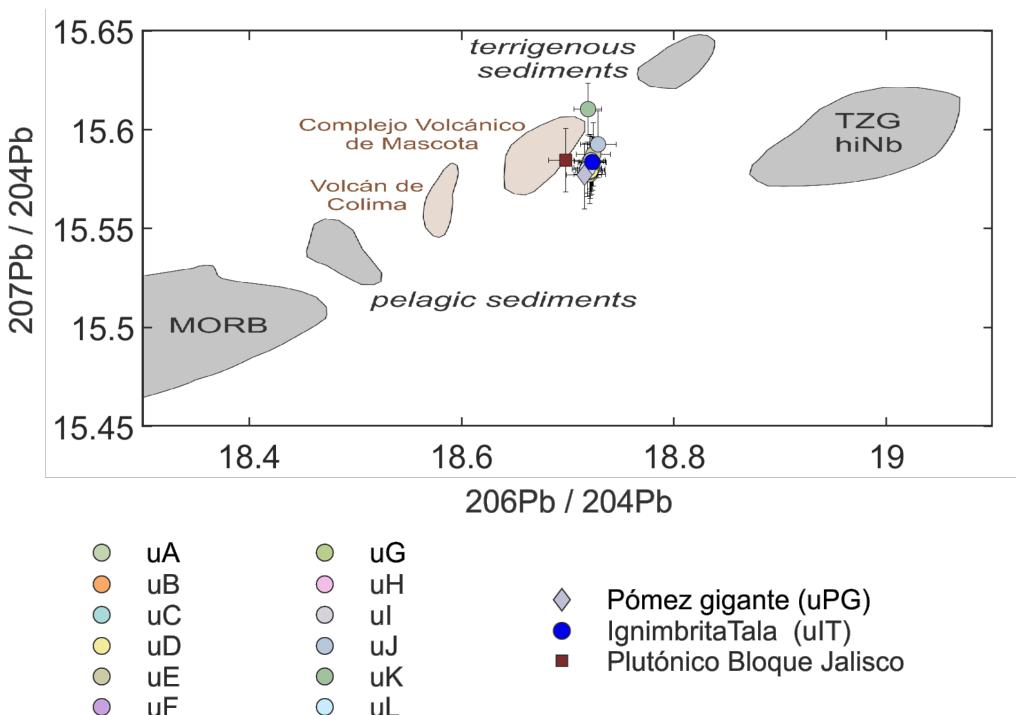


FIGURA 4.33: Gráfico $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de las unidades post-caldera de La Primavera y roca plutónica del Bloque Jalisco. Campo de datos del 5-15°N EPR-MORB (Lehnert et al., 2000 [41]; <http://www.petdb.org>). Campo de datos de las rocas volcánicas intraplacas del volcán Ceboruco (Petrone et al., 2003 [75]) dentro del Tepic-Zacoalco Graben (TZG hiNb).

4.3.2. Microsonda

Se midió el vidrio de 21 muestras de pómex para caracterizar la composición en elementos mayores y menores del vidrio de las unidades piroclásticas PG, A-G, y I-M. Cada color representa las mediciones de un fragmento de pómex. Los resultados están dados en los apéndices [B.53](#) a [B.66](#). Las incertidumbres de las mediciones están en el apéndice [B.67](#).

4.3.2.1. Promedio vidrio y Roca total

Se compararon la composición de los promedios de vidrio de las unidades con los análisis roca total de las mismas muestras para ver qué tanta diferencia existe entre los dos tipos de mediciones, y para saber si se podía utilizar los datos EPMA para correlacionar los depósitos de las unidades piroclásticas.

La figura [4.34](#) muestra que no existe diferencia significativa entre las mediciones obtenidas en roca total y los promedios de vidrio. Por lo tanto, se puede utilizar el promedio de vidrio como buena aproximación de la química de la muestra en caso de no tener su composición en roca total. Aquí también se observan los grupos composicionales 3A, 3B, 3C y 3D.

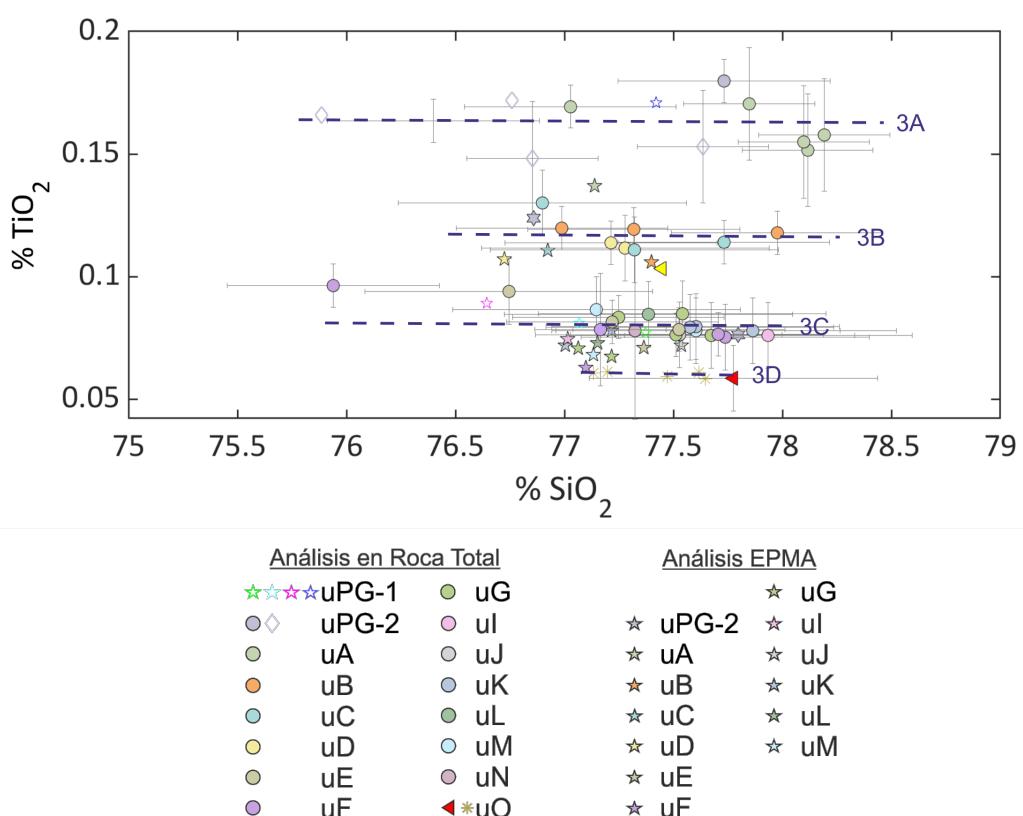


FIGURA 4.34: Gráfico TiO_2 vs. SiO_2 con los análisis roca total y EPMA de las unidades post-caldera de La Primavera. Los círculos y triángulos rellenos son análisis en roca total, mientras que las estrellas rellenas son análisis EPMA.

4.3.2.2. Vidrio

Se graficaron las mediciones individuales de vidrio de los grupos 3A (PGU-2 y uA), grupo 3B (uB) y grupo 3C (uJ y uL) en el gráfico TiO_2 contra SiO_2 . Sólo se representó una muestra por grupo para ver con más claridad los puntos y sus incertidumbres. No se representaron los otros óxidos dado que no muestran variaciones significativas.

Los gráficos TiO_2 vs. SiO_2 (Fig. 4.35 y 4.36) muestran que existe variación de la química del vidrio dentro de un mismo fragmento de pόmez (uPG-2: entre 0.074 y 0.145; uA: entre 0.104 y 0.166; uB: entre 0.01 y 0.11; uJ: entre 0.024 y 0.111; uL: entre 0.41 y 0.121 % TiO_2).

Las mediciones de uB (grupo 3B) tienen composiciones intermedias entre uPG-2-uA (grupo 3A) y uJ-uL (grupo 3C). También se nota que varios puntos de uB (grupo 3B) están más enriquecidos en TiO_2 como uPG-2-uA (grupo 3A) y otros más empobrecidos en TiO_2 como uJ-uL (grupo 3C). Cabe notar que el vidrio de uPG-2 tiene valores que están con los puntos de uL (grupo 3C).

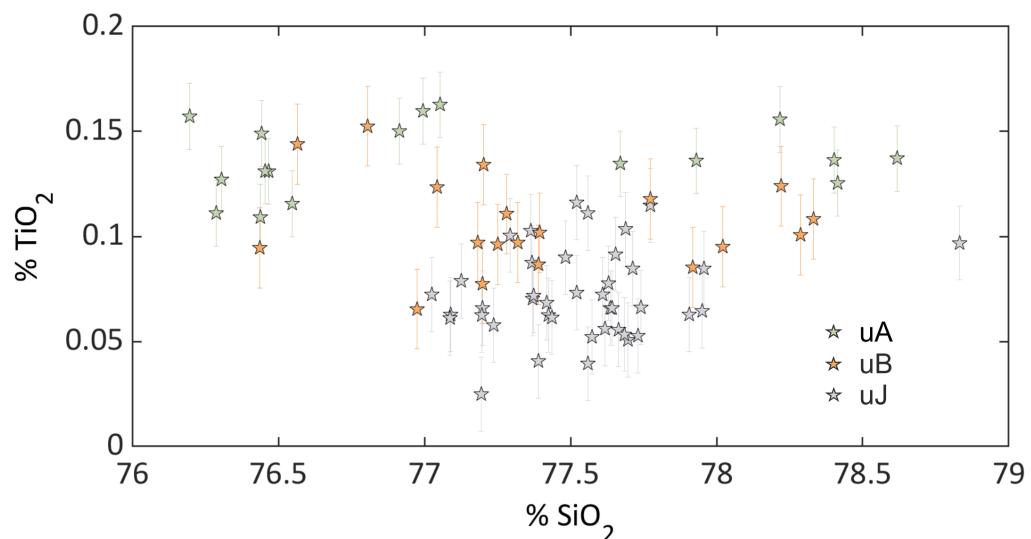


FIGURA 4.35: Gráfico TiO_2 vs. SiO_2 con las mediciones del vidrio de las unidades uA, uB y uJ.

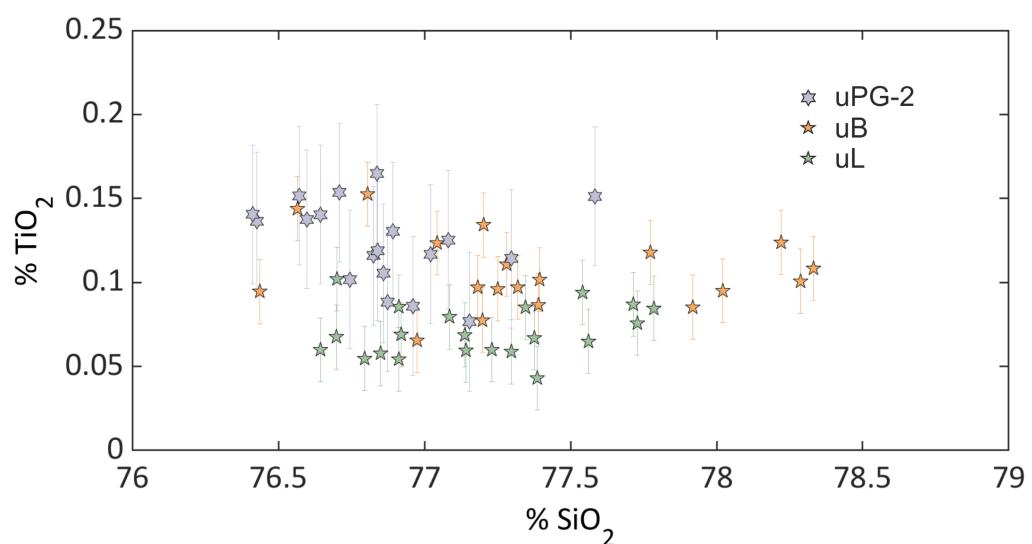


FIGURA 4.36: Gráfico TiO₂ vs. SiO₂ con las mediciones del vidrio de las unidades uPG-2, uB y uL.

5 | Discusión

5.0.1. Componentes de las unidades piroclásticas

La descripción de los componentes de las unidades piroclásticas PG-N de la caldera de La Primavera ha demostrado que existen diferencias notables entre ellas (Fig. ??). Los porcentajes de los líticos principales, la presencia de líticos específicos, el contenido en cristales, y la presencia de pómez vítreo son elementos claves para distinguir una erupción de otra y correlacionar los depósitos de afloramientos cercanos y distantes. La estructura de los depósitos puede también ayudar cuando los componentes de las unidades son similares.

Tres tipos de pómez fueron encontrados en las muestras: (1) Una pómez blanca por fuera, bandeadas blancas con gris por dentro, angulosa a subangulosa, poca vesiculada con textura esponjosa a fluida. (2) Una pómez gris por fuera y por dentro, angulosa a subangulosa, densa, muy poco vesiculada, de textura fluida a bloque, con vesículas rodeadas por vidrio libre de vesículas. El vidrio tiene fracturas perpendiculares a la orientación de las vesículas que atraviesan las vesículas más grandes (grietas de choque térmico). (3) Una pómez gris por fuera, gris hasta negro por dentro, angulosa a subangulosa, densa, muy poca vesiculada, de textura fluida a bloque, con pequeñas vesículas alargadas rodeadas por vidrio libre de vesículas. El vidrio tiene fracturas perpendiculares a la orientación de las vesículas que atraviesan las vesículas más grandes (grietas de choque térmico).

Aunque la pómez no tiene muchos cristales, la presencia o ausencia y las proporciones relativas entre los fenocristales de cuarzo, sanidina y ferro-hedenbergita dentro de la pómez es primordial para poder diferenciar la pómez de las unidades (Fig. ??).

La descripción de los líticos de los depósitos de caídas y flujos permitió observar que tres tipos de líticos permiten diferenciar las unidades: (1) líticos accidentales grises angulosos

a tabulares, (2) líticos accidentales negros-rojos tabulares y (3) líticos accidentales negros a cristales. Estos líticos fueron arrastrados del basamento. También se encontraron fragmentos accesorios de obsidiana, y obsidiana perlítica arrastrados de los centros eruptivos de La Primavera y fragmentos de lava de Cerrito Colorado en unas unidades eruptivas de La Primavera. La presencia de obsidiana perlítica con perlas redondas, obsidiana perlítica con perlas angulosas y lava de Cerrito Colorado son excelentes marcadores para reconocer las unidades que llevan estos líticos.

A continuación, están las características más importantes para reconocer las unidades piroclásticas A-M:

Pómez blanca

- uF Pómez blanca con alto contenido en cristales (cuarzo, sanidino y ferro-hedenbergita),
- uK Pómez blanca afírica, alto contenido en líticos negros a cristales y negros-rojos tabulares y pómez vítreo,
- uD Pómez blanca con pocos cristales de cuarzos,
- uI Pómez blanca afírica y pocos líticos negros a cristales y negros-rojos tabulares,
- uL Pómez blanca,
- uM Pómez blanca de tamaño lapilli medio a fino con grueso en afloramientos proximales.

Pómez gris fuera y dentro

- uA Pómez gris densa y bajo contenido de cuarzo y sanidino,
- uB Pómez gris, alto contenido de líticos grises y negros-rojos tabulares con obsidiana perlítica con perlas redondas en los afloramientos,
- uC Pómez gris densa, alto contenido en vidrio juvenil y cristales de cuarzo, sanidino y ferro-hedenbergita, con obsidiana perlítica con perlas redondas y fragmentos de lava de Cerrito Colorado en los afloramientos,
- uG Pómez gris, alto contenido en líticos grises y negros-rojos tabulares y bajo contenido en cristales de cuarzo y sanidino,

uJ Pómez gris densa africana, alto contenido en vidrio juvenil con obsidiana perlítica con perlas angulosas en los afloramientos.

Pómez gris fuera y gris a negro dentro

uE y uH Pómez con vesiculación alargada, gris por fuera y gris oscuro a negro por dentro, alto contenido en vidrio juvenil y líticos rojos.

Las características de las unidades están resumidas con más detalles en Figs. 5.1, 5.2 y 5.3:

Unidad	Estructura del depósito	Pómez	Tamaño de pómez predominante	Cristales	Líticos principales	% Líticos
UN	Caídas piroclásticas, PDCs y oleadas	Gris por dentro y por fuera y muy poco vesiculada con vesículas alargadas, subredondas a redondas y vidrio libre de vesiculación.	Lapilli medio a ceniza gruesa	Afírica	Grisas, negros-rojos tabulares y negros a cristales	Obsidiana negra 20,15 %
UM	Caída piroclástica con gradación inversa	Blanca por fuera, blanca a gris por dentro con rounded vesículas.	Lapilli medio a fino con lapilli grueso	Afírica	Grisas	Obsidiana negra 7,5 - 21 %
UL	Caída piroclástica con estructura masiva a plano paralela	Blanca por fuera, bandeadas blancas a gris claro por dentro con vesículas alargadas rodeadas por vesículas subredondas a redondas.	Lapilli fino a medio	Afírica	Negros-rojos tabulares y negros a cristales	No obsidiana 7,15 %
UK	Caídas piroclásticas con gradación inversa a normal multiples cubiertas por caídas y flujos piroclásticos	Blanca por fuera, bandeadas blancas a gris claro por dentro, angulosa a subangulosa con vesículas subredondas a redondas y alargadas.	Lapilli medio con grueso	Casi afírica 0 - 0,16 %	Negros-rojos tabulares y negros a cristales (base)	Obsidiana negra 11,5 - 33,5 %
UJ	Caída piroclástica con estructura paralela	Gris por dentro y por fuera, muy poco vesiculada con vesículas alargadas rodeadas por vidrio libre de vesiculación.	Lapilli medio a ceniza gruesa	Casi afírica 0,4 %	Grisas	Obsidiana con textura de brecha 4,4 %

FIGURA 5.1: Características de las erupciones post-caldera J-N. Los parámetros en letra negrita permiten diferenciar una erupción de la otra.

Unidad	Estructura del depósito	Pómez	Tamaño de pómez predominante	Cristales	Líticos principales	% Líticos
UI	Caída piroclástica con estratificación difusa	Blanca por fuera, bandeada blanca a gris claro por dentro con vesículas alargadas rodeadas por vesículas subredondas a redondas. Unos fragmentos son tubulares.	Lapilli medio a fino	Casi afríca 0,05 %	Grisas y negros a cristales	Obsidiana negra 12,3 %
UH	Flujo piroclástico blanco cubierto por múltiples caídas piroclásticas con gradación inversa a normal y flujos piroclásticos	Gris por fuera, gris oscuro a negro dentro, muy poco vesiculada con vesículas alargadas rodeadas por vidrio libre de vesículas.	Lapilli medio a grueso	Cuarzo > Sanidino >> Fe-hedenbergita 0,26 %	Grisas y rojos	Obsidiana negra y basalto 14,3 %
UG	<u>Caída piroclástica inferior:</u> masivo con gradación normal <u>Caída piroclástica superior:</u> masivo con gradación inversa a normal	Blanca por fuera, bandeada blanca a gris oscuro por dentro con vesículas alargadas rodeadas por vesículas subredondas a redondas.	Lapilli medio a fino con grueso	Cuarzo > Sanidino >> Fe-hedenbergita 0-1,4 %	Grisas y negros-rojos tabulares	Obsidiana negra 32 - 46 %
UF	Caída piroclástica con estratificación difusa cubierta por un PDC y caída con estratificación piano paralela	Blanca por fuera, bandeada blanca a gris por dentro, con vesículas subredondas a redondas y alargadas.	Lapilli medio a fino con grueso	Cuarzo > Sanidino >> Fe-hedenbergita + Fayalita 9 -11 %	Grises	Obsidiana negra 3,6 - 5,8 %

FIGURA 5.2: Características de las erupciones post-caldera F-I. Los parámetros en letra negrita permiten diferenciar una erupción de la otra.

Unidad	Estructura del depósito	Pómez	Tamaño de pómez predominante	Cristales	Líticos principales	% Líticos
UE	Alternancia de caídas piroclásticas con gradación inversa a normal múltiple con PDCs y oleadas piroclásticas	Gris por fuera, gris oscuro a negro por dentro, muy poco vesiculado con vesículas alargadas rodeadas por vidrio libre de vesículas.	Lapilli medio a grueso Lapilli > Sanidino >> Fe-hedenbergita 0,15 - 0,63 %	Cuarzo Grisos y rojos	Obsidiana negra y basalto	4,7 - 17,4 %
UD	Caída piroclástica con estratificación difusa	Blanca por fuera con vesículas subredondas a redondas con pocas vesículas alargadas.	Lapilli medio a fino Cuarzo 0,27 %	Negros-rojos tabulares y negros a cristales		5,3 %
UC	Cinco flujos piroclásticos cubiertos por una caída piroclástica con estratificación plana paralela	Gris por fuera, muy poco vesiculado con vesículas alargadas rodeadas por vidrio libre de vesículas.	Ceniza gruesa a lapilli fino Sanidino > Cuarzo >> Fe-hedenbergita + Favalita 2,7 - 5 %	Grises y negros-rojos tabulares	Obsidiana perlitica y lava de Cerrito	6,3 - 13,4 %
UB	Alternancia de caídas y flujos	Blanca por fuera, gris por dentro, poco vesiculado con vesículas subredondas a redondas y alargadas.	Lapilli medio a ceniza gruesa Sanidino > Cuarzo 0,28 - 1,44 %	Grises y negros-rojos tabulares	Obsidiana perlitica	14,8 - 51,7 %
UA	Alternancia de flujos, oleadas y caídas piroclásticas	Gris por dentro y por fuera, poco vesiculado con vesículas alargadas y subredondas a redondas.	Ceniza media a gruesa Sanidino > Cuarzo 0 - 1,15 %	No definido		0,4 - 3 %

FIGURA 5.3: Características de las erupciones post-caldera A-E. Los parámetros en letra negrita permiten diferenciar una erupción de la otra.

5.0.2. Estratigrafía y fechamientos de las unidades eruptivas de La Primavera

La estratigrafía de los piroclástos de La Primavera fue estudiado por primera vez por Walker y colaboradores en 1981 ([95]). Los autores reconocieron los depósitos de seis erupciones post-caldera llamadas unidades D, E, F, G, H y J.

Nuevas descripciones de los depósitos piroclásticos dentro y fuera de la caldera de La Primavera permitió reconocer los depósitos de una erupción pre-caldera llamada PC y 15 erupciones más jóvenes que la Pómez Gigante (PG) llamadas A-O. Estas erupciones están separadas por depósitos de lacustres, paleosuelos y lahares (Figs. ?? y ??).

A continuación, se presenta la columna compuesta de los depósitos piroclásticos que se depositaron dentro y fuera de La Primavera (Figs. 5.4 y 5.4). Los espesores de los depósitos piroclásticos y lahares están a escala. El corto tiempo disponible (± 2 ka) entre las erupciones F, G, H, I, J y K no permitió la formación de paleosuelos bien desarrollados, dado que se requiere cerca de 10 ka para la formación de un paleosuelo bien desarrollado de 7 cm en el CVLP (Gama-Castro et al. (1990) [26]). Por lo tanto, no se pudo representar los paleosuelos a escala.

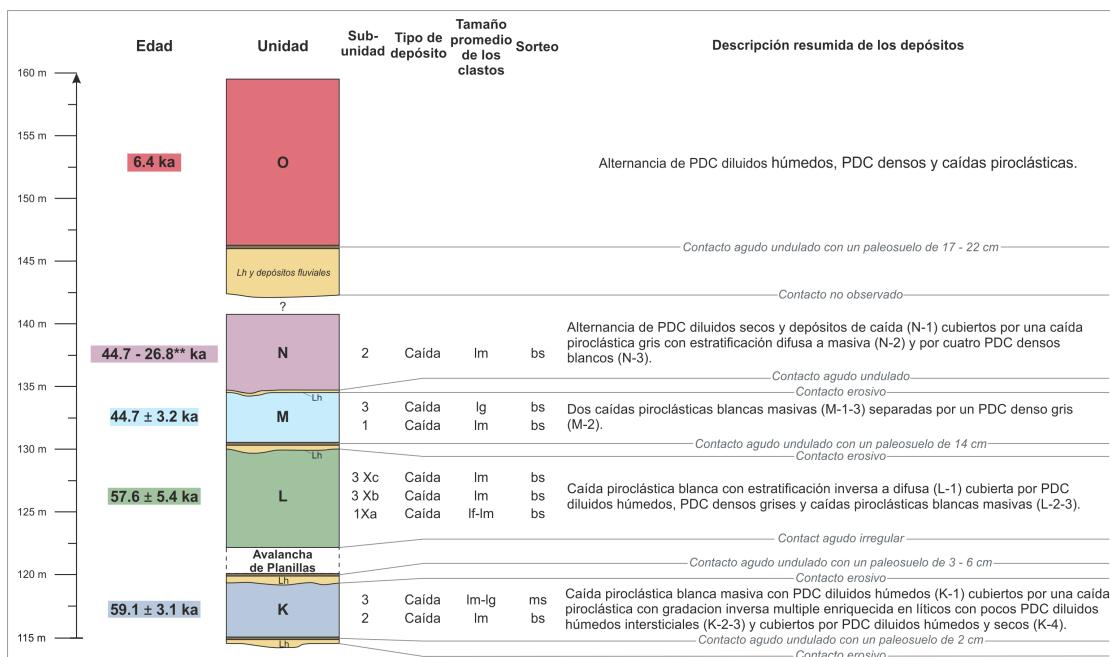


FIGURA 5.4: Columna compuesta con las unidades piroclásticas pre, sin y post-caldera de La Primavera. Tamaño de clastos: ca (ceniza gruesa), lf (lapilli fino), lm (lapilli medio) y lg (lapilli grueso) según la clasificación de Sohn y Chough (1989 [85]). Sorteo: bs (buena selección), ms (mala selección) y mms (muy mala selección) según la clasificación de Sohn y Chough (1989 [85]).

Edad	Unidad	Sub-unidad	Tipo de depósito	Tamaño promedio de los clastos	Sorteo	Descripción resumida de los depósitos
115 m		Lh				Contacto agudo undulado con un paleosuelo de 2 cm Contacto erosivo
110 m						
105 m						
100 m	J	3	Caída	If-Im	bs	PDC densos con gradación inversa (J-1) cubiertos por PDC diluidos húmedos intercalados con caídas piroclásticas grises con estratificación difusa (J-2), y cubiertos por una caída piroclástica gris con estratificación difusa (J-3).
95 m	I		Caída	Im	bs	Caída piroclástica blanca con estratificación difusa. Contacto no observado
90 m	Lava de Planillas					
60.3 ± 0.8 ka	H	2	Caída	Im	bs	Caída piroclástica gris con gradación normal a inversa múltiple cortada en dos por PDC densos blancos (H-1), cubiertos por PDC diluidos húmedos y una caída piroclástica gris con gradación inversa múltiple (H-2), cubierta por PDC densos grises (H-3) y una caída piroclástica gris con PDC diluidos húmedos intersticiales (H-4).
85 m	G	7	Caída	Im	ms	PDC diluidos secos (G-1), caída piroclástica con gradación normal múltiple (G-2), PDC diluidos secos (G-3), dos caídas piroclásticas masivas separadas por PDC diluidos y una caída piroclástica con estratificación difusa (G-4-5), cubiertos por una sucesión de PDC diluidos secos y húmedos enriquecidos en líticos (G-6), cubiertos por una caída piroclástica enriquecida en líticos con gradación inversa a normal (G-7), y cubiertos por otra sucesión de PDC diluidos secos (G-8).
60.1 ± 4.0 ka		4	Caída	Im	bs	Contacto agudo undulado con un paleosuelo de 3 - 4 mm Contacto erosivo
80 m		2	Caída	Im	bs	
75 m	F		Caída	If	bs	Caídas piroclásticas blancas con estratificación difusa (F-1-2) cubiertas por un PDC denso gris (F-3), y cubiertas por caídas piroclásticas grises intercaladas con PDC diluidos húmedos (F-4-5).
70 m	Lahar (Lh)					Contacto erosivo
65 m						
60 m	E	2 Xc	Caída	Im	bs	PDC diluidos húmedos grises alternando con PDC densos y caída piroclásticas (E-1), cubiertos por una caída piroclástica gris con gradación inversa múltiple intercalada con PDC diluidos húmedos (E-2).
71.5 - 68.9** ka		2 Xb	Caída	Im	ms	Contacto agudo plano con un paleosuelo de 5.7 cm
55 m	D	2 Xa	Caída	Im	bs	Caída piroclástica blanca con estratificación difusa.
50 m	Lh y depósitos fluviales					Contacto agudo undulado Contacto erosivo
72.7 ± 2.1 ka	C	2 Xc	Caída	cg-if	bs	PDC densos grises (C-1) cubiertos por una caída piroclástica gris con estratificación difusa (C-2).
45 m		1 Xb	dPDC	If-Im	ms	Contacto erosivo a plano agudo Contacto erosivo
		1 Xa	dPDC	If	ms	
40 m	Lsup					Depósitos lacustres blancos con estratificación plano paralela con depósitos retrabajados grises de la lava Cerro Colorado en su parte superior (cc).
35 m	B-2	2 Xc	Caída	If-Im	bs	Depósitos lacustres con estratificación plano paralela.
78.2 ± 2.8 ka		2 Xb	Caída	cg	bs	Contacto agudo undulado
30 m		2 Xa	Caída	If-Im	bs	Contacto erosivo
25 m	B-1					
20 m	Lint2					
15 m	A-2	2 Xc	dPDC	If	mms	PDC diluidos grises intercalados con depósitos lacustres blancos con estratificación plano paralela.
86.4 - 82.8** ka		2 Xb	Caída	cm-cg	bs	Contacto agudo plano a agudo plano con erosión local
20 m		2 Xa	dPDC	cg-if	ms	Depósitos lacustres con estratificación plano paralela.
15 m	A-1					Contacto agudo plano con oxidación
10 m	Lint1					Depósitos lacustres con estratificación plano paralela.
86.4 ± 5.1 ka	PG	2 Xc	dPDC	cm-cg		Depósito blanco a gris claro formado por bloques de pómex dentro de una matriz de ceniza fina y diatomita.
96.7 - 95.2 ka **		2 Xb	Caída	cg-if		Contacto agudo irregular
5 m		2 Xa	dPDC	If		Depósitos lacustres oxidados con estratificación plano paralela y lapilli.
5 m	Linf					Contacto agudo plano a agudo plano con erosión local
5 m	Ignimbrita Tala					Depósitos lacustres con estratificación plano paralela.
5 m	?					Depósito blanco a gris claro formado por bloques de pómex dentro de una matriz de ceniza fina y diatomita.
0 m	Lh y depósitos fluviales	1	Caída	If-Im	bs	Caída piroclástica blanca con estratificación difusa (PC-1-3) y caídas piroclásticas altermando con PDC diluidos húmedos (PC-4).
125.6 ± 3.0 ka	PC					

FIGURA 5.4: Sigue.

5.0.2.1. uPC

La primera erupción explosiva de la caldera de La Primavera uPC ocurrió hace 125.6 ka.

5.0.2.2. uIT y uCT

Luego se formó la caldera de La Primavera hace 96 - 95 ka (Mahood, 1980 [51]; Mahood y Drake, 1982 [56]) con la erupción que emplazó la ignimbrita Tala (uIT). Esta erupción se acabó con los depósitos de caída Tala (uCT).

5.0.2.3. Entre uCT y uPG

A continuación, la caldera se llenó por los sedimentos lacustre blancos de uLInf. Hace 86.4 ± 5.1 ka inició la erupción que arrojó uPG sobre uLInf dentro de la caldera y en la cima del domo Pilas. La oxidación de los primeros flujos de uPG en el centro de la caldera demuestra que había muy poca agua dentro de la caldera en aquel tiempo. Se depositaron después los fragmentos de pómex gigante de uPG.

5.0.2.4. Encima de uPG

Después del emplazamiento de uPG, otro episodio lacustre permitió la formación de uLInt1. Los horizontes de oxidación y las grietas de oxidación de la parte superior del depósito muestran que el lago se vació casi por completo en aquel tiempo. Luego el lago se restableció y se depositaron los piroclastos de la unidad uA dentro y por encima de uLInt1. Más adelante, los depósitos de uA fueron cubiertos por los lacustres uLInt2.

Hace 78.2 ± 2.8 ka se depositaron los piroclastos de uB dentro de uLInt2 hasta la desaparición del lago. La oxidación parcial de la base de uB indica que los depósitos se depositaron en un lago que llevaba muy poca agua. Luego la completa oxidación de la parte superior de UB demuestra que había todavía poca agua dentro de la caldera. Esos depósitos se ubicaron también sobre los domos Cerro Alto, Tule, Culebreado viejo y Ixtahuatonte del arco sur de la caldera sin rasgos de oxidación.

Posteriormente, se depositaron los depósitos de lacustres uLSup y la lava de Cerrito Colorado al sur-oeste de Nejahuete hace 75.8 ka (Tinoco, 2017; [65]). Posteriormente

se depositó la unidad uC sobre uL^{Sup}. Estos depósitos fueron cubiertos por fluviales y lahares. Luego la unidad uD se emplazó hace 71.5 ± 3.0 ka dentro de la caldera, sobre los domos Tule, Culebreado viejo, Ixtahuatonte, Culebreado y Cuesta del anillo sur de la caldera. A continuación, se emplazaron los depósitos de uE sobre el centro volcánico de San Miguel, en la cercanía de San Miguel, y sobre los domos Tule y Culebreado viejo entre 71.5 ± 3.0 y 68.9 ka (Mahood, 1980 [51]; Mahood y Drake, 1982 [56]). Las unidades uC, uD y uE están retrabajadas por ≈ 6 m de lahares dentro de la caldera. El evento climático llamado como el pico caliente de *Marine Isotope Stage 4* registrado hace ≈ 66 ka en la estratigrafía bentónica isotópica de oxígeno ($\delta^{18}O$) del *Ocean Drilling Program Hole 1017E* al este de Point Arguella, California (Kennett et al., 2000 [36]) pudo provocar las fuertes precipitaciones que removilizaron la casi totalidad de los piroclastos de las unidades C-E dentro de la caldera.

Luego se depositaron los depósitos de uF (entre 68.9 y 60.1 ± 4.0 ka) y uG (60.1 ± 4.0 ka) sobre los centros volcánicos Planillas y Nejahuete, sobre los domos Cerro Alto, Tule, Puerta, Culebreado viejo, Ixtahuatonte, Culebreado, Cuesta y Pedernal, y dentro de la caldera. Después, se emplazó la unidad uH hace 60.3 ± 0.8 ka sobre el centro volcánico de San Miguel y sobre el domo Puerta. Más tarde se depositaron las unidades uI, uJ, uK y uL entre 59.1 ± 3.1 y 57.6 ± 5.4 ka sobre el centro volcánico de Planillas y sobre los domos Tule, Culebreado viejo, Culebreado, Ixtahuatonte y Cuesta del arco sur de la caldera. uM se depositó hace 44.7 ± 3.2 ka sobre los centros volcánicos Planillas y Tajo y sobre el domo Cuesta. Finalmente, uN se emplazó sobre los centros volcánicos Tajo y Planillas y sobre el domo Cuesta entre 44.7 ± 3.2 y 26.8 ka (Mahood, 1980 [51]; Mahood and Drake, 1982 [56]).

Las relaciones entre los piroclastos de las unidades GP-O y lavas de los centros volcánicos están resumidas en la figura 5.5.

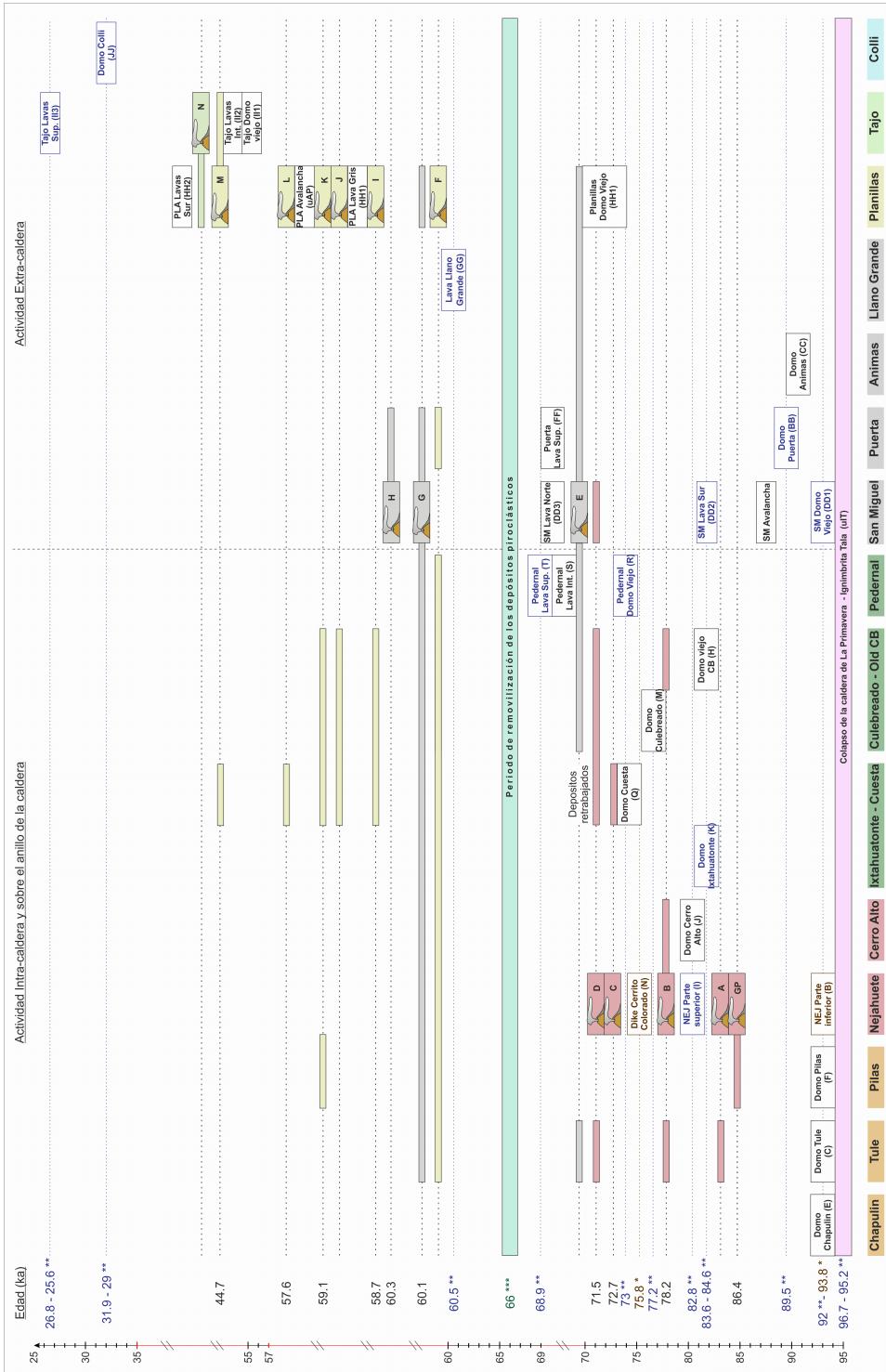


FIGURA 5.5: Relaciones entre los principales domos y centros volcánicos de La Primavera y piroclastos de las erupciones GP-O. Edades con letras negras: Presente investigación doctoral. Edades con letras marrones y *: Tinoco (2017). Edades con letras azules y **: Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]). Edad con letras verdes y ***: Kennett et al. (2000 [36]). Modificado de Sourisseau et al. (2020 [88]).

5.0.3. Fuentes de las unidades piroclásticas

Walker et al. (1981 [95]) presentaron los primeros mapas de isopacas e isopletas de la sucesión piroclástica de La Primavera, con las cuales concluyeron que la unidad piroclástica F fue producida en la zona del flujo de lava Llano Grande, la unidad D fue producida por el cráter del volcán Planillas, mientras que la unidad J fue producida en la zona del domo Arroyo Colorado al este de Planillas. Además, con base a sus descripciones de campo, los autores propusieron que los centros volcánicos de Planillas y San Miguel fueron también la fuente de las erupciones E, G y H. Con base a la columna 9 de su correlación de columna (página 1105, figura 3), inferimos que las erupciones D, E, F, G, H y J de Walker corresponden a las erupciones G, I, J, K, L y M de la presente tesis doctoral (Tabla 5.6).

Unidades de Walker	Unidades de la nueva investigación
J	UM
H	UL
G	UK
F	UJ
E	UI
D	UG
C	UF

FIGURA 5.6: Correspondencias entre las unidades del artículo de Walker y de la nueva investigación.

Las descripciones de campo de las unidades piroclásticas A-O de la nueva investigación permitió proponer interpretaciones adicionales sobre la fuente de las erupciones que tuvieron lugar después de la formación de la caldera de La Primavera hace 96 - 95 ka. Tres herramientas fueron consideradas para determinar la fuente de las unidades eruptivas A-O: 1) los mapas de espesores, isopacas y de isopletas cuando disponibles, 2) la distribución de los flujos piroclásticos, y 3) la comparación de la química de los piroclastos con los centros eruptivos de La Primavera.

La dificultad para acercarse a las unidades A-D dentro de la caldera impidió la recolección de promedios representativos de sus cinco líticos más grandes. La dispersión de los depósitos de uA (entre 86.4 y 78.2 ka) y uB (78.2 ka) ocurre al sur de Nejahuete, y aunque, la mayoría de los depósitos de uC (72.7 ka) y uD (71.5 ka) fueron parcialmente removilizados por laharas dentro de la caldera, algunos afloramientos *in situ* aparecen entre Nejahuete y el borde sur de la caldera. Además, dado que la química de estas unidades es similar a la química de la parte inferior y superior de Nejahuete, se puede

proponer al domo compuesto Nejahuete como fuente probable de las erupciones A-D (Fig. 5.7).

Se produjo mapas de isopacas e isopletas preliminares de los depósitos de caída más distribuidos de las erupciones E, F, G, J, K y M con base a las mediciones de los cinco líticos más grandes y espesores de los depósitos de las subunidades E-2, F-2, G-2, J-3, K-2 y M-1-3. Sin embargo, la ausencia de puntos dentro y fuera de la caldera, así que la erosión parcial o total de muchos depósitos por laharos o flujos piroclásticos, no permitió producir mapas de calidad. No obstante, la distribución de los espesores mayores y promedio de los cinco líticos más grandes de las unidades tienden a mostrar a los centros volcánicos de San Miguel y Planillas como fuentes probables de las unidades eruptivas E y G (San Miguel; entre 71.5 y 60.1 ka), y F, J, K y M (Planillas; entre 68.9 y 44.7 ka). La química de los depósitos también indica a estos centros volcánicos como fuente (Fig. 5.7).

La distribución de los espesores mayores, líticos más grandes y química de las unidades H y I indica a los complejos volcánicos San Miguel (uH, 60.3 ka) y Planillas (uI, 58.7 ka) como fuentes probables. La distribución de los depósitos de caídas y flujos piroclásticos de uN indica al centro volcánico Tajo como fuente. Finalmente, la repartición de los afloramientos y química de la uO (6.4 ka) indica al domo Colli como fuente (Fig. 5.7).

La comparación de los resultados de la nueva investigación con el trabajo de Walker y colaboradores (1981 [95]) ha confirmado que los depósitos de las unidades F-L vinieron de los centros eruptivos San Miguel y Planillas del sur de la caldera. Sin embargo, se equivocaron sobre la fuente precisa de la mayoría de las unidades. De lo que habían propuesto, sólo pudimos confirmar que las unidades I (E de Walker) y M (J de Walker) vinieron de Planillas.

Las erupciones F y G que se llevaron a cabo entre 68.9 y 60.1 ka fueron las erupciones con mayor distribución después de la erupción que originó la caldera de La Primavera hace 96.7 - 95.2 ka (Mahood, 1980 [51]; Mahood y Drake, 1982 [56]). Sus depósitos se depositaron en áreas muy extendidas desde el sur de San Miguel y Planillas hasta Nejahuete y Cerro Alto al norte de la caldera.

	Espesores mayores	5 litros
undE	Tajo	
uM	Tajo	Cima
uL	Planillas	Cima
uK	Planillas	Lado
uJ	Planillas	Cima y lado
uI	Planillas	Cima
uH	Planillas	Lado
uG	La Puerta (CVSM)	Cima
uF	Planillas	Basal
uE	SM (CVSM)	Crater
uD	Dentro del lago	
uC	Dentro del lago	
uB	Dentro del lago	
uA	Dentro del lago / Sobre base de nejahuete	
undC	Sur CVSM	
undB	Sur CVSM	

FIGURA 5.7: Fuentes de las unidades piroclásticas de La Primavera.

5.0.4. Dinámica eruptiva de las erupciones post-caldera de La Primavera

Los mecanismos eruptivos de las erupciones C-M fueron descritos con base en las descripciones de campo. Sin embargo, debido a que no se pudo hacer mapas de isopacas e isopletas de calidad, estos resultados tienen que ser tomados con precauciones, ya que se requiere hacer mapas de isopacas e mapas de isopletas de mejor calidad para poder reconstruir con más detalles las erupciones.

Erupción subpliniana A

Esta erupción desarrolló una pequeña columna eruptiva que arrojó ceniza dentro de la

sedimentación de la parte superior de uLInt1 (uA-1). Luego, el colapso repetitivo de las partes externas de la columna eruptiva generó una sucesión de caídas de cenizas, PDC diluidos secos y PDC densos (uA-2) dentro de la caldera. La oxidación parcial de los depósitos de uA-1 puede sugerir que (1) la subida de magma por resurgencia magnética pudo causar el drenaje parcial del lago o que (2) la erupción dispersó tal cantidad de material piroclástico que el lago se llenó parcialmente dejando un lago muy poco profundo con ambiente de palustrino donde los depósitos más superficiales fueron oxidados.

Erupción subpliniana B

Esta erupción comenzó con la formación de una pequeña columna fluctuante con explosiones hidromagnéticas basales que dispersaron una secuencia de caídas de cenizas y PDC diluidos húmedos dentro del lago en la parte superior de uLInt2 (uB-1) dentro de la caldera. Luego, la intensificación de la erupción generó una secuencia de caídas piroclásticas con estratificación difusa, PDC diluidos húmedos y PDC densos (uB-2) dentro de la caldera y sobre los domos Culebreado viejo y Tule del arco sur de la caldera. Como por erupción A, la oxidación de los depósitos de uB-1 y uB-2 puede sugerir que (1) la subida de magma por resurgencia magnética pudo causar el drenaje parcial del lago o que (2) la erupción dispersó tal cantidad de material piroclástico que el lago se llenó parcialmente dejando un lago muy poco profundo con ambiente de palustrino donde los depósitos más superficiales fueron oxidados.

Erupción subpliniana C

Esta erupción desarrolló una columna eruptiva inestable que colapsó parcialmente dispersando varios PDC grises (uC-1) dentro de la caldera. La erupción continuó con una columna fluctuante que depositó una caída piroclástica gris con estratificación difusa (uC-2) dentro de la caldera y sobre el domo Cuesta.

Erupción pliniana D

Esta erupción formó una columna eruptiva vertical fluctuante que dispersó una caída piroclástica blanca con estratificación difusa (uD) dentro de la caldera y hasta los domos Culebreado, Tule y Cuesta del borde sur de la caldera.

Erupción subpliniana E

La erupción empezó con la formación de una columna eruptiva fluctuante con repetidas y contemporáneas explosiones hidromagnéticas basales y colapso de las partes externas

de la columna que depositaron una secuencia de PDC diluidos húmedos y densos alternando con caídas piroclásticas (uE-1) en la zona de San Miguel. Luego, el número de explosiones hidromagnéticas basales disminuyó, dando lugar a la formación de varias caídas piroclásticas con gradación inversa múltiple alternando con pocos PDC diluidos húmedos (uE-2) observadas hasta los domos Pedernal y Tule, centro volcánico Planillas y en las canteras al sur de San Miguel.

Erupción pliniana F

Esta erupción estableció una columna eruptiva fluctuante que disperso una caída piroclástica con estratificación difusa (uF-1) con poca dispersión alrededor de Planillas. Con el tiempo la erupción se intensificó formando una columna más estable que depositó una caída piroclástica más potente (uF-2) al norte hasta el domo compuesto Nejahuete. Luego, una parte externa densa de la columna colapsó generando un PDC gris (uF-3) que se movió al norte erosionando los depósitos anteriores. Finalmente, la columna eruptiva fluctuó con contemporáneas explosiones hidromagnéticas basales que depositaron una secuencia de caídas piroclásticas grises con estratificación difusa alternando con PDC diluidos húmedos (uF-4-5) hasta los domos Tule y Cuesta al norte.

Erupción subpliniana G

La erupción comenzó con el colapso repetitivo de las partes externas densas de una columna eruptiva generando una secuencia de PDC diluidos secos (uG-1). Luego, la erupción continuó con la formación de una columna eruptiva más estable que depositó una caída piroclástica con gradación normal múltiple (uG-2) hasta el domo compuesto Nejahuete en el centro de la caldera. Después de eso, las partes externas densas de la columna colapsaron nuevamente generando otra secuencia de PDC diluidos secos (uG-3). La intensificación de la erupción generó dos caídas piroclásticas masivas separadas por pocos PDC diluidos secos con fuerte erosión del conducto eruptivo y boca eruptiva (uG-4). Luego, el debilitamiento de la columna eruptiva formó una caída piroclástica con estratificación difusa y clastos de menor tamaño (uG-5). Posteriormente, las partes externas densas de la columna colapsaron repetidamente generando PDC diluidos secas con fuerte erosión del conducto eruptivo y boca eruptiva (uG-6). La erupción continuó con una columna sostenida que depositó una caída piroclástica con gradación inversa a normal con fuerte erosión del conducto eruptivo y boca eruptiva (uG-7) que se observó también hasta Nejahuete. Finalmente, las partes externas densas de la columna colapsaron generando otra secuencia de PDC diluidas secas (uG-8).

Erupción subpliniana H

Esta erupción formó una columna eruptiva fluctuante que se derrumbó parcialmente generando una caída piroclástica con gradación normal múltiple cortada en dos por varios PDC densos blancos (uH-1 y uH-1bis) observados hasta las canteras del sur de San Miguel. Luego, explosiones hidromagnéticas basales produjeron varios PDC diluidos húmedos. Después de eso, la columna eruptiva dispersó una caída piroclástica con gradación inversa múltiple en la cima del centro volcánico San Miguel y sobre el domo Puerta. Luego, pocas explosiones hidromagnéticas basales produjeron PDC diluidos húmedos (uH-2). Después de eso, la columna colapsó formando varios PDC densos de color gris (uH-3) encontrados al este de San Miguel hasta el domo Puerta. A continuación, la columna eruptiva fue nuevamente afectada por explosiones hidromagnéticas basales permitiendo el emplazamiento de dos caídas piroclásticas estratificadas separadas por PDC diluidos húmedos en los alrededores de San Miguel. Finalmente, la erupción terminó con explosiones hidromagnéticas basales que produjeron otra serie de PDC diluidos húmedos (uH-4).

Erupción pliniana I

Esta erupción desarrolló una columna eruptiva estable que dispersó una caída piroclástica con estructura difusa (uI) alrededor de Planillas y hasta los domos Culebreado, Tule y Cuesta al norte.

Erupción subpliniana J

Esta erupción generó una columna eruptiva que colapsó repetidamente generando una serie de PDC densos (uJ-1). Luego, se estableció una columna eruptiva fluctuante con repetidas y contemporáneas explosiones hidromagnéticas basales que dispersó una secuencia de caídas piroclásticas gris con PDC diluidos intersticiales (uJ-2). Luego, la columna eruptiva fluctuante dispersó una caída piroclástica gris con estratificación difusa (uJ-3) sobre el centro volcánico Planillas y hasta los domos Culebreado, Tule y Cuesta al norte.

Erupción subpliniana K

La erupción comenzó con una columna eruptiva de poca energía que depositó una caída de ceniza. Luego, explosiones hidromagnéticas basales produjeron PDC diluidos húmedos (uK-1). Después de eso, la intensificación de la erupción depositó una caída piroclástica con gradación inversa a normal múltiple y intensa erosión del conducto eruptivo y boca

eruptiva (uK-2). Luego, la columna eruptiva fluctuante fue afectada por contemporáneas explosiones hidromagmáticas basales que dispersaron una caída piroclástica con pocos PDC diluidos intersticiales (uK-3). La erupción terminó con explosiones hidromagmáticas basales y colapsos de las partes externas de la columna produciendo una secuencia de PDC diluidos húmedos y secos (uK-4). Estos depósitos fueron depositados alrededor del centro volcánico Planillas y hasta los domos Culebreado, Tule y Cuesta al norte.

Erupción subpliniana L

Esta erupción formó una columna eruptiva fluctuante que depositó una caída piroclástica con gradación inversa que se volvió difuso estratificado en su parte superior sobre los centros eruptivos Planillas y Cuesta (uL-1). Luego, la debilitación de la columna eruptiva generó la formación de una secuencia de PDC diluidos y caídas piroclásticas (uL-2) y secuencia de PDC densos y caídas piroclásticas (uL-3). La erupción se acabó con el colapso de la columna eruptiva, lo cual generó un PDC denso sobre la ladera norte de Planillas (uL-4).

Erupción pliniana M

Este evento comenzó con el desarrollo de una columna eruptiva estable que depositó una caída piroclástica masiva (uM-1). La disminución la intensidad de la erupción causó el colapso parcial de la columna eruptiva produciendo un pequeño depósito de PDC denso (uM-2). Finalmente, el restablecimiento de la columna eruptiva dispersó otra caída piroclástica masiva (uM-3) sobre los centros volcánicos Planillas y Tajo, y sobre el domo Cuesta.

Erupción subpliniana N

Esta erupción inició con la formación de una columna eruptiva fluctuante e inestable que depositó una secuencia de caídas piroclásticas estratificadas con PDC densos y diluidos en la cima del centro volcánico Tajo (uN-1). Luego, la columna eruptiva dispersó una caída piroclástica con estratificación difusa que se volvió masiva en su parte superior (uN-2) sobre los centros volcánicos Planillas y Tajo. La erupción se acabó con el colapso repetitivo de la columna eruptiva generando una serie de PDC densos (uN-3) sobre el centro volcánico Tajo.

5.0.5. Geoquímica de los centros volcánicos, piroclastos y basamento de La Primavera

5.1. Discusión: Geoquímica de los centros volcánicos, piroclastos y basamento de La Primavera

5.1.1. Química de La Primavera

Los análisis en roca total y vidrio de las muestras del volcanismo y basamento de La Primavera mostraron que existen al menos tres composiciones diferentes: las lavas del basamento y cono de escoria de Guadalajara (grupo 1), la roca plutónica del Bloque Jalisco (grupo 2) y los domos, lavas y piroclástos pre y post caldera de La Primavera (grupo 3).

Grupo 1: La andesita del Bloque Jalisco 51 ± 2.5 Ma, andesitas de San Cristóbal 12 ± 0.6 Ma y una andesita fechada entre 3.1 y 1.6 ± 0.2 Ma del basamento del basamento de La Primavera de los pozos 1, 11, 12 de la CFE y un cono de escoria del sur de Guadalajara (otro cono de la cadena fue fechado a 1.4 Ma [28]) tienen las composiciones más básicas encontradas alrededor de La Primavera.

Grupo 2: El sustrato plutónico del Bloque Jalisco del pozo PR-9 de la CFE tiene una composición intermedia entre las lavas del basamento (grupo 1) y las rocas de La Primavera (grupo 3).

Grupo 3: Los domos, lavas y piroclástos pre y post-caldera de La Primavera son más enriquecidos en elementos trazas (Th, Zr, La, Hf, etc.), elementos mayores incompatibles (K_2O) y más empobrecidos en la mayoría de los elementos mayores (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 y MnO). El grupo 3 se puede dividir en cuatro con base a los elementos trazas LREE y elementos HFSE Zr y Ti (TiO_2):

Grupo 3A Pre-caldera: Domo Chiquihuitillo,
 Post-caldera: Domos Tule, Chapulín, Lobera, Piñar de la Venta y Cerro Alto, base del domo compuesto Nejahuete y dique de Cerrito Colorado, Piroclastos de uPG-1, uPG-2 y uA;

- Grupo 3B** Pre-caldera: Domo Léon y lava de Cañón de las Flores,
 Piroclastos de uPC
Post-caldera: Domos Culebreado, Culebreado viejo, Ixtahuatonte, Cuesta,
 Pedernal, Puerta y Burro, así que la lava de Cerrito Colorado (Nejahuete
 y Cerro Alto),
 Piroclastos de uB a uD;
- Grupo 3C** Pre-caldera: Grupo de Arroyo Saucillo y domo Arroyo Colorado,
Post-caldera: centros volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo,
 Piroclastos de uPG-1, uE a uN;
- Grupo 3D** Post-caldera: Domo Colli,
 Piroclastos de uO.

5.1.2. Cámaras magmáticas debajo de La Primavera

Verma y Rodriguez-Gonzalez (1997 [93]) fueron los primeros a investigar las características de la cámara magmática de La Primavera en el basamento de La Primavera con base a un modelo de simulación de temperaturas 3D. En su trabajo, los autores reportaron la presencia de un reservorio magmático con dimensión horizontal de 10 y 12 km a una profundidad entre 5 y 7 km debajo de La Primavera. Luego, Campos Enriquez et al., 2005 [12] estimo la presencia de este cuerpo magmático a una profundidad de \approx 6.3 km con un modelo gravimétrico.

Utilizando modelos de inversión 3D, Almaguer y colaboradores (2019 [4]) identificaron la presencia de al menos dos cuerpos magmáticos separados por la falla del arco sur de la caldera de La Primavera dentro de las rocas cristalinas del Bloque Jalisco, un reservorio con orientación ENE-W-SW debajo de los complejos volcánicos San Miguel (\approx 5.1 km), Planillas (\approx 6.8 km) y Tajo (\approx 4.6-6 km), y otro reservorio debajo del borde sur de la caldera debajo de los domos Culebreado y Tule a una profundidad de \approx 4.6 - 6 km. Este trabajo muestra también que la presencia de un cuerpo magmático a una profundidad inferior a 950 m debajo del domo Colli.

Las distribuciones similares de las edades modelos de las erupciones subplinianas y plinianas que vinieron de los centros eruptivos San Miguel (G y H) y Planillas (F, I, J, K, L y M) también sugiere que el magma que alimenta a estas erupciones vino de una

misma cámara magmática, probablemente debajo de San Miguel y Planillas. La química de composición 3C de los centros eruptivos San Miguel, Planillas y Tajo también apoya la presencia de una sola cámara magmática, que podría corresponder al reservorio a una profundidad de $\approx 4.6 - 6.8$ km debajo de los centros volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo revelado por el trabajo de Almaguer y colaboradores (2019 [4]).

Los patrones parecidos de las edades modelos de las erupciones B, C y D que vinieron del domo compuesto Nejahuete, y las composiciones 3A y 3B del domo compuesto Nejahuete, domo Cerro Alto y domos del anillo de la caldera (Pedernal, Culebreado, Viejo Culebreado, Tule, Cuesta, Ixtahuatonte, Chapulín, Lobera, Cuartilla y Piñar de la Venta) sugiere que los piroclastos y lavas emitidos por estos centros eruptivos fueron formados a partir de una misma cámara magmática debajo de la caldera, que podría corresponder al reservorio a una profundidad de $\approx 3.5 - 4.6$ km debajo de la caldera de La Primavera revelado por el trabajo de Almaguer y colaboradores (2019 [4]). La presencia de los mismos grupos de circones en las muestras de la unidad pre-caldera PC (química 3B) y unidad post-caldera PG (química 3A) puede sugerir que ambas erupciones fueron producidas a partir de una misma cámara magmática.

El magma de composición 3D que originó a las lavas y piroclastos del domo Colli entre 31.9 y 6.4 ka fueron producidos dentro de la cámara magmática superficial a menos de 950 m de profundidad revelada por el trabajo de Almaguer y colaboradores (2019 [4]).

Por lo tanto, se puede deducir que existen al menos tres cámaras magmáticas debajo de La Primavera. Una que permitió la formación del magma C sobre la falla de orientación ENE-W-SW debajo de los complejos volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo a una profundidad de $\approx 4.6 - 6.8$ km. Otro reservorio debajo de la caldera de La Primavera a $\approx 3.5 - 4.6$ km de profundidad que originó los magmas de composiciones A y B de los domos centrales y domos del anillo de la caldera. El último reservorio debajo del domo Colli a una profundidad ≤ 950 m construyó las lavas y piroclastos de composición 3D del domo Colli.

5.1.3. Génesis de los magmas de La Primavera

Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1981b [52]) fueron los primeros que estudiaron la química de los domos y centros volcánicos que se emplazaron dentro de la caldera, sobre

el anillo y al sur de la caldera de La Primavera entre 95 y 5.5 ka. Para explicar las diferencias composicionales, los autores propusieron que los domos y lavas provinieron de un magma que evolucionó dentro de una cámara magmática zonada. Los domos y lavas se formaron a partir de un magma cada vez menos evolucionado o más máfico. Los edificios más viejos se formaron a partir de un magma felsico, mientras que los domos y lavas más recientes se formaron a partir de magmas cada vez más máficos. Sin embargo, los resultados de la presente investigación permiten desarrollar otra hipótesis.

Bloque Jalisco El basamento de La Primavera empieza con los granitos, granodioritas y dioritas del sustrato plutónico del Bloque Jalisco (grupo 2) (Ferrari, 1995 [18]) a una profundidad mayor a \approx 2.75 km debajo de La Primavera (Rosas-Elgukra et al. (1997) [79]). Esta formación está cubierta por las andesitas fechadas a 51 Ma en el pozo PR9 debajo de La Primavera (grupo 1)(Rosas-Elgukra et al., 1997 [79]). La andesita del Bloque Jalisco fue formada a partir de un manto enriquecido en granate como lo indica el fuerte empobrecimiento de los elementos HREE con respecto a los LREE (diagrama araña REE Fig.4.25).

Cinturón Volcánico Trans-Mexicano Las lavas de San Cristobal del CVTM fechadas entre 12 y 9.6 Ma (grupo 2) (Moore et al., 1994 [64], Rosas-Elgukra et al. (1997) [79]) tienen las características de las lavas del grupo "Mioceno tardío"(11 - 3 Ma) descrito por Ferrari y colaboradores (2012 [20]) que se depositaron a través de fisuras con composiciones subalcalinas, tasas medias en K y altos relaciones en Ba/Nb. La lava depositada entre las riolitas e ignimbritas del grupo Guadalajara fechadas a 7.15-3.1 y 1.6 Ma (Gilbert et al., 1985 [28]; Moore et al., 1994 [64], Rosas-Elgukra et al. (1997) [79]) del grupo "Volcanismo silíceo"(\approx 7.5 - 3 Ma) descrito por Ferrari y colaboradores (2012 [20]) tiene la misma composición que las lavas de San Cristobal. Las muestras del cono de escoria del *Southern Guadalajara Volcanic Chain* fechados entre 1.8 y 1.4 Ma (Gilbert et al., 1985 [28]) del grupo "Plioceno tardío - Cuaternario"(<3 Ma) descrito por Ferrari y colaboradores (2012 [20]) tiene la misma composición que las lavas de San Cristobal y lavas del grupo Guadalajara. En particular, estas muestras tienen una composición parecida a las lavas más básicas de Acatlán de Juárez (Maldonado-Sánchez et al. (2005) [57]; Luhr y Lazaar (1985) [43]), lavas de los Altos de Jalisco (Wallace y Carmichael (1992) [97]) alrededor de La Primavera (Figs. ?? y ??), y de las lavas más básicas encontradas dentro del Complejo Volcánico de Mascota (Ownby et al., 2008 [71]) entre otros.

El enriquecimiento de los elementos LILE (K, Rb, Cs, Ba y Pb) y empobrecimiento de los elementos HFSE (Nb y Ta) de las muestras del CVTM revela que se formaron en ambiente de arco continental por la subducción de las placas oceánicas Rivera y Cocos por debajo de la placa continental Norte Americana (diagrama araña REE extendido Fig. 4.24). La tendencia decreciente de los elementos HREE de las muestras sugiere que el magma que formó estas lavas se originó en un manto con granate.

Pre-caldera Las muestras pre-caldera fechadas entre 143.5 y 96.7 ka tienen las características típicas de los magmas de arco con concentraciones más altas en los elementos LILE (K, Rb, Cs y Pb) y concentraciones más empobrecidas en los elementos HFSE (Nb y Ta)(diagramas araña REE extendido Fig.4.27A). Las muestras fueron producidas por un manto muy empobrecido en granate, como lo indica el patrón casi plano y las concentraciones bastante altas de los elementos HREE (diagrama araña REE Fig.4.27B). Aunque no tengamos suficientes resultados para explicar con detalle la formación de las muestras pre-caldera, la fuerte variación de las relaciones Zr/Hf y Nb/Ta de los datos disponibles revela que el volcanismo pre-caldera fue producido por líquidos primarios que dejaron una fuente mantélica residual heterogénea después de la fusión parcial (gráficos Zr/Hf vs. Zr Fig.4.31A, Nb/Ta vs. Zr/Ta Fig.4.31B y Nb/Ta vs. Zr/Hf Fig.4.31C).

Syn-caldera La ignimbrita Tala que fue producida durante la erupción que causó a la formación de la caldera de La Primavera hace 96.7 - 95.2 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]) tiene las características típicas de los magmas de arco con concentraciones más altas en los elementos LILE (K, Rb, Cs y Pb) y concentraciones más empobrecidas en los elementos HFSE (Nb y Ta)(diagramas araña REE extendido Fig.4.27A). Esta erupción fue producida por un manto muy empobrecido en granate, como lo indica el patrón casi plano y las fuertes concentraciones de los elementos HREE (diagrama araña REE Fig.4.27B). Además, la fuerte variación de la relación Zr/Hf revela que las muestras de esta erupción fueron producidas a partir de un manto heterogéneo con diferentes contenidos en clinopiroxeno en su manto residual (gráfico Zr/Hf vs. Zr Fig. 4.31A).

Post-caldera Las muestras post-caldera tienen las características típicas de los magmas de arco con concentraciones más altas en los elementos LILE (K, Rb, Cs y Pb), y concentraciones más empobrecidas en los elementos HFSE debido a la introducción de sedimentos y fluidos en la cuña del manto durante la subducción de placas oceánicas (Pearce et al., 1984 []; Ryerson et al., 1987 [])(Nb y Ta)(diagrama araña REE extendido Fig.4.24).

La semejanza de los isótopos $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de las erupciones PG y A-L demuestra que los magmas 3A, 3B, 3C y 3D fueron formados por una misma fuente mantélica debajo el CVLP. Este volcanismo fue producido por un manto empobrecido en granate, como lo indica el patrón casi plano de los elementos HREE (diagrama araña REE Fig.4.25).

Aunque las cámaras magmáticas que almacenaron a los magmas 3B, 3C y 3D están a profundidades mínimas de 3.5 km debajo de la caldera y a 6 km debajo de los centros eruptivos del sur dentro del granito/granodiorita del Bloque Jalisco (Almaguer et al., 2019 [4]) y que los isótopos de Pb de las erupciones PG y A-L (grupos 3A-C) y muestra del sustrato plutónico del Bloque Jalisco estén similares, las muestras de La Primavera (grupo 3) están mucho más enriquecidas en LREE, HREE y HFSE (Zr, Hf, Nb y Ta) y trazas U, Th que la granodiorita del bloque Jalisco (grupo 2). Por lo tanto, la contaminación cortical no puede ser considerada como proceso principal de diferenciación de las muestras de La Primavera. Este resultado coincide con trabajos realizados previamente donde los autores demostraron que la variedad de los magmas generados en la parte oeste del CVTM no puede ser explicada por contaminación cortical, ya que este proceso fue limitado e incapaz de producir cambios significativos en las composiciones químicas de las rocas volcánicas (Wallace y Carmichael, 1989 [96]; Carmichael et al., 1996 [14]; Luhr, 1997 [44]; lassiter y Luhr, 2001 [40]; Carmichael, 2002 [15]; Savov et al., 2008 [83]; Gómez-Tuena et al., 2011 [29]).

La presencia de cuatro líneas paralelas con incremento de TiO_2 en el diagrama de Harker TiO_2 vs. SiO_2 (Fig.4.23) indica que las muestras de composición 3A, 3B, 3C y 3D de La Primavera no son cogenéticas, así que no fueron formadas dentro de una misma cámara magmática como lo propuso Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1981b [52]). Asimismo, la ausencia de tendencia lineal entre los grupos demuestra que los magmas 3A, 3B, 3C y 3D no fueron producidos por cristalización fraccionada y mezcla de magmas.

Las anomalías negativas muy pronunciadas en Eu y Sr suelen indicar el fraccionamiento del feldespato (McLennan y Taylor, 1981 [90]), sin embargo, la tendencia horizontal del Eu con el índice de diferenciación magmática Sc muestra que los magmas 3A-D casi no fraccionaron el feldespato (gráfico Eu vs. Sc Fig. 4.28B). De igual manera, las tendencias horizontales de las relaciones Zr/Hf y Nb/Ta con el índice de diferenciación Sc y del óxido TiO_2 con el índice de diferenciación SiO_2 revela que la cristalización de los cristales de

clinopiroxeno (gráfico Zr/Hf vs. Sc Fig. 4.28A), anfíbole, flogopita (gráfico Nb/Ta vs. Sc Fig. 4.28C) y óxido de titanio (gráficos TiO₂ vs. SiO₂ Fig. 4.23; Nb/Ta vs. Sc Fig. 4.28C) no pudo modificar de manera significativa los magmas 3A-D. No se pudo cuantificar la cristalización fraccionada de los cristales de olivino y ortopiroxeno debido a que casi todas las muestras de La Primavera tienen valores de Cr, Co y Ni inferiores a sus límites de detección respectivos (Cr: 20; Co: 1; Ni: 1). Por lo tanto, como se pueden explicar las fuertes anomalías negativas en Ba, Sr y Eu. Los resultados pueden sugerir que hubo al menos dos fases de cristalización dentro de las cámaras magmáticas debajo el CVLP. Una primera fase de intensa de cristalización y sedimentación de cristales que empobreció el líquido residual en Ba, Sr, Eu, CaO y Al₂O₃ durante la cristalización del feldespato, y en Cr, Co, Ni, MgO y Fe₂O₃ durante la cristalización del olivino y ortopiroxeno. La cristalización de óxidos también pudo empobrecer el líquido en TiO₂. Por lo tanto, el líquido residual fue empobrecido en MgO, CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, Ba, Eu, Sr, Cr, Co y Ni entre otros. Luego hubo otra fase de cristalización menos intensa que causó las ligeras variaciones de los índices de diferenciación Sc y SiO₂, las variaciones de los REE en las lavas y piroclastos de San Miguel, Planillas, Tajo, Cuesta, Culebreado y Colli (Fig. 4.26), y los contenidos en cristales de cuarzo, feldespato, olivino y piroxeno de las lavas de Nejahuete ($\approx 25\%$; Tesis Nejahuete y Pómez Gigante [65]) y Chapulín ($\approx 10 - 15\%$; Tesis Chapulín [70]).

La disminución de incompatibilidad de los elementos LREE y HREE se materializa por un decrecimiento gradual de la concentración de los REE entre los elementos La y Yb durante el proceso de fusión parcial de una fuente mantélica homogénea (diagrama araña REE Fig. 4.25). La baja tasa de fusión parcial del manto en ambiente de subducción alrededor de $\approx 10\%$ (referencia ?) no puede explicar la ausencia de fraccionamiento de los elementos HREE de las muestras de La Primavera. Por lo tanto, los magmas 3A-D no pudieron ser formados por diferentes tasas de fusión parcial de un manto homogéneo.

Aunque la cristalización fraccionada modificó las concentraciones de los elementos mayores y trazas Eu, Sr, Cr, Co y Ni de los magmas, el conjunto de los resultados muestra que las diferencias composicionales principales de los magmas 3A, 3B, 3C y 3D no fueron causadas por los procesos de contaminación cortical, cristalización fraccionada, mezcla de magma y diferentes grados de fusión parcial de una fuente homogénea. Por lo tanto, se puede concluir que la diversidad magmática de La Primavera deriva de una fuente mantélica localmente heterogénea. Este resultado coincide con varios trabajos donde los

autores demostraron que la variedad de los magmas generados en la parte oeste del CVTM fue causada por heterogeneidades del manto debido a diferentes grados de extracción de la peridotita mantélica (Hofmann, 2003 [32]), a la presencia de venas enriquecidas en cristales de clinopiroxeno y flogopita y en menor proporción cristales de espinel y anfíbol dentro de la peridotita (Luhr et al., 1989 [45]; Foley, 1992 [22]; Carmichael et al., 1996 [14]; Luhr, 1997 [44]) y por la contribución de agentes de subducción químicamente diferentes en función de la profundidad y mineralogía residual de la placa en subducción (Gómez-Tuena et al., 2011 [29]).

El uso de las relaciones elementales Nb-Ta y Zr-Hf permitieron caracterizar la composición de los mantos residuales empobrecidos por fusión parcial durante la formación de los magmas primarios, debido a que los flujos derivados de la deshidratación de las placas oceánicas en subducción no modifican de manera significativa las concentraciones de los elementos HFSE (Nb, Ta, Zr y Hf) en el manto superior por la fuerte compatibilidad de estos elementos en el rutilo (Foley et al., 2000 [24]), una fase con muy baja solubilidad en las zonas de subducción (Brenan et al., 1994 [10]).

Los bajos coeficientes de partición de los elementos Nb, Ta, Zr y Hf en los cristales de olivino y ortopiroxeno impide cualquier fraccionamiento significativo de estos elementos (Salters y Longhi, 1999 [81]). Al contrario, los cristales de anfíbol, flogopita y rutilo modifican la relación Nb/Ta del líquido residual. No obstante, los cristales hidratados de anfíbol y flogopita suelen ser invocados en ambiente hidratado por fluidos de subducción, mientras que el rutilo permite explicar el fraccionamiento de Nb y Ta en la peridotita no modificada por fluidos (...).

La relación del volcanismo de La Primavera con la subducción de las placas oceánicas Cocos y Riveras hasta, aproximadamente, 350 kilómetros por debajo de la Placa Norte Americana (Ferrari et al., 2012 [20]), permite inferir que la cuña del manto superior que permitió la formación de los magmas de La Primavera fue modificada por la deshidratación de las placas oceánicas en subducción (Luhr et al., 1989 [45]). Por lo tanto, se puede inferir que los fluidos hidratados modificaron la mineralogía del ensamblaje mantélico con la transformación del granate de la peridotita en flogopita (Kargin et al., 2019 [1]).

Aunque no se pueda descartar la presencia de rutilo en el manto que originó los magmas 3A-D, la flogopita en el manto residual puede explicar el fraccionamiento de la relación Nb/Ta en las muestras de La Primavera, ya que los elementos Nb y Ta tienen coeficientes

de partición suficientemente altos ($D_{Ta}^{flo/liq} > D_{Nb}^{flo/liq}$) para inducir un fraccionamiento significativo de la relación Nb/Ta durante la fusión parcial (gráficos Nb/Ta vs. Zr/Ta Fig.4.31B y Nb/Ta vs. Rb/Ta Fig.4.32A)(Green et al., 2000 [31]). Estos elementos también pueden ser incorporados dentro del anfíbol, pero no pueden fraccionar tanto la relación Nb/Ta ya que $D_{Nb}^{anf/liq}$ es casi igual a $D_{Ta}^{anf/liq}$ (Foley et al., 2002 [23]). Estos resultados indican la presencia de flogopita en el manto residual que origino al volcanismo de La Primavera (gráfico Nb/Ta vs. Zr/Ta Fig.4.31B).

Del mismo modo, la fuerte afinidad de los elementos Zr y Hf dentro de la estructura del clinopiroxeno en la peridotita (Weyer et al., 2003 [99]) permite explicar las fuertes variaciones del elemento Zr y de la relación Zr/Hf en las muestras de La Primavera (gráfico Zr/Hf vs. Zr Fig.4.31B). Estos elementos demuestran que los magmas post-caldera fueron generados por una fuente mantélica heterogénea con diferentes contenidos en clinopiroxeno en su residuo.

Esta variación se puede explicar por la consumación por fusión parcial de los cristales de clinopiroxenos presente dentro de venas con minerales hidratados de clinopiroxeno y flogopita, o por la consumación por fusión parcial de los cristales de clinopiroxenos presente dentro de venas de piroxenita en la peridotita (Foley, 1992 [22]).

Se puede concluir que el manto que origino a los magmas 3A-D es empobrecido en granate, tiene flogopita, y diferentes contenidos en clinopiroxeno en su residuo. Los mantos residuales de los magmas 3A, 3B, 3C y 3D son cada vez más enriquecidos en clinopiroxeno.

Las lavas y piroclastos del grupo 3A (Nejahuete, Chapulín, Tule y Piñar de la Venta; erupciones post-caldera PG3 y A; gráfico La vs. Zr Fig. ??) son las muestras más enriquecidas en LREE y Zr de La Primavera. El alto contenido en Zr del magma A sugiere que este magma se formó a partir de un manto muy empobrecido en clinopiroxeno (gráfico Zr/Hf vs. Zr Fig.4.31B). La presencia de cristales en las lavas del domo compuesto Nejahuete ($\approx 25\%$ de cristales de plagioclasa, sanidino, cuarzo, piroxeno y óxido; Tesis Nejahuete y Pómez Gigante [65]) y en las lavas del domo Chapulín ($\approx 10 - 15\%$ de cristales de cuarzo, sanidino, clinopiroxeno y óxido; Tesis Chapulín [70]) muestra que

hubo también poco cristalización fraccionada dentro de la cámara magmática debajo la caldera, lo que pudo cambiar ligeramente la composición del magma primario.

Como por el magma 3A, la fuerte concentración en Zr del magma 3B (gráfico La vs. Zr Fig.??) sugiere también que este magma se formó a partir de un manto con pocos cristales de clinopiroxeno en su manto residual (gráfico Zr/Hf vs. Zr Fig.4.31B). Por otra parte, la presencia de fragmentos de pómez de composición 3A y 3C en los depósitos de uPG-1, y los análisis puntuales de vidrio de composición 3A, 3B y 3C dentro de la pómez de composición en roca total 3A (pómez PGU2), puede sugerir que los magmas de composición 3A y 3C se mezclaron antes de la erupción de la Pómez Gigante. Esta inyección de magma fresco de composición 3C pudo desencadenar la erupción PG, como se reconoció en varios otros lugares (Murphy et al., 1998 [66]; Pallister et al., 1992 [72]).

Las lavas y los piroclastos de los grupos 3C (San Miguel, Planillas y Tajo; erupciones post-caldera E-O) y 3D (Colli; erupción post-caldera O) tienen los mismos enriquecimientos en LREE y HREE (gráfico La vs. Zr Fig.??), sin embargo, las diferencias en el elemento incompatible y inmóvil Zr permite inferir que los magmas fueron formados por diferentes fuentes mantélicas (gráfico Zr/Hf vs. Zr Fig.4.31A). La baja concentración en Zr del magma 3D sugiere que este magma se formó a partir de un manto muy enriquecido en clinopiroxeno, mientras que el magma 3C fue formado a partir de un manto ligeramente empobrecido en clinopiroxeno. Finalmente, la translación de los elementos LREE y HREE en las muestras de estos grupos demuestra que las lavas de San Miguel, Planillas, Tajo y Colli fueron producidas por diferente tasa de cristalización fraccionada (diagrama araña REE Fig.4.26), como lo propuso la alumna de licenciatura N. A. E. Avila Ortiz para explicar las diferencias de composición de las lavas del domo Chapulín (Tesis sobre Chapulín [70]).

En conclusión, las lavas del Bloque Jalisco (51 Ma; Rosas-Elgukra et al., 1997 [79]) y CVTM (12 y 9.6 Ma; Moore et al., 1994 [64], Rosas-Elgukra et al., 1997 [79]) fueron formadas a partir de mantos diferentes enriquecidos en granate. Luego, el volcanismo pre-caldera (143.5 - 96.7 ka) y syn-caldera (96.7 - 95.2 ka) vinieron de un manto muy empobrecido en granate con diferentes contenidos en flogopita y clinopiroxeno en su residuo (con rutilo ?). Finalmente, los magmas del volcanismo post-caldera (95.2 - 5.5 ka) fueron generados por fusión parcial de una fuente mantélica menos empobrecida en granate, con flogopita y diferentes contenidos en clinopiroxeno en sus mantos residuales.

El magma 3A se formó a partir de un manto empobrecido en clinopiroxeno, mientras que el magma 3D fue formado por la fusión de un manto muy enriquecido en clinopiroxeno. Luego proponemos que hubo cristalización fraccionada en las cámaras magmáticas debajo de La Primavera que empobreció los magmas primarios 3A-D en Eu, Sr, Cr, Co, Ni, REE y Sc. Los procesos de mezcla de magma y contaminación cortical fueron probablemente también involucrados pero con menor importancia en la generación de los magmas.

5.1.4. Resurgencia e insurgencia magmáticas

La comparación de las edades y química de los domos y centros volcánicos de La Primavera reveló que los magmas de composición 3A-D se emplazaron dentro y fuera de la caldera de La Primavera entre 710.9 ka y 5.5 ka (Tabla 5.1). Según los datos disponibles, el magmatismo de La Primavera comenzó hace 710.9 ka con la formación de magmas de grupo 3C en la parte sureste de la caldera (Arroyo Colorado). Luego, entre 143.5 y 100.4 ka, se formaron los magmas 3A y 3B en la parte noroeste de la caldera (Chiquihuitillo, Léon y Cañón de las Flores) y magma 3C en la parte sureste de la caldera (Arroyo Saucillo).

Después del colapso de la caldera entre 96.7 - 95.2 y 85.4 ka, hubo dos tipos de magmas: los de los grupos 3A y 3C. El magma del grupo 3A subió dentro de la caldera (Nejahuete), por el anillo norte de la caldera (Chapulín, Piñar de la Venta y Cuartilla), y por el anillo sur de la caldera (Tule), mientras que el magma del grupo 3C subió por la falla al sur de la caldera (San Miguel). Entre 85.4 y 31.2 ka, hubo también dos tipos de magmas: grupos 3B y 3C. El magma del grupo 3B subió dentro de la caldera (Nejahuete) y por el anillo sur de la caldera (Puerta, Culebreado, Culebreado viejo, Ixtahuatonte, Cuesta y Pedernal), mientras que el magma del grupo 3C salió por la falla al sur de la caldera (San Miguel, Planillas y Tajo). Finalmente, entre 31.2 y 5.6 ka, hubo dos tipos de magma: grupos 3C y 3D. El magma del grupo 3C salió por la falla al sur de la caldera (Tajo), mientras que el magma del grupo 3D salió al norte-este de la caldera (Collí).

Por lo tanto, se puede concluir que no existe correlación entre las edades y la química de los volcanes de La Primavera, contrariamente a lo que postuló Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1981b [52]), ya que el magma 3C coexistió con los magmas 3A y 3B entre 96.7 - 95.2 y 68 ka, y con el magma 3D entre 31.2 y 6.4 ka.

Estos resultados revelan también que las lavas post-caldera que se emplazaron dentro, sobre el anillo y al noroeste de la caldera de composición 3A y 3B (Nejahuete, Cerro Alto, Chapulín, Pedernal, Culebreado, Tule, Cuesta y Puerta) fueron formados por la fusión parcial de un manto muy empobrecido en clinopiroxeno. Se puede pensar que la desaparición del magma A y aparición del magma B hace 85.4 ka ocurrió cuando se acabaron los clinopiroxenos en la zona de fusión del magma A y cuando empezó la fusión del manto cercano más enriquecido en clinopiroxenos debajo de la caldera de La Primavera. Las lavas de composición 3C que se formaron a partir de la falla con orientación NE-SW al sur de la caldera fueron formadas por la fusión parcial de un manto enriquecido en clinopiroxeno. Luego, el magma D que formó al domo Colli y erupción O entre 31.2 y 6.4 ka se originó en un manto fértil enriquecido en clinopiroxeno.

Finalmente, se puede inferir que existe una relación entre la cantidad de clinopiroxeno en el manto residual, fusión parcial y volumen de lava emitido en la superficie. El fuerte volumen de lava y piroclastos de composición 3C emitidos por los centros volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo sobre la falla NE-SW al sur de la caldera parece ser relacionado con la fusión parcial de fuentes mantélicas fértils enriquecidas en clinopiroxenos, mientras que los volúmenes inferiores de lavas emitidos por los domos del anillo (Chapulín, Pedernal, Culebreado, Tule, Cuesta y Puerta) y por los centros volcánicos dentro de la caldera (Cerro Alto y Nejahuete) de composición 3A y 3B parecen ser relacionados con la fusión de un manto menos fértil empobrecido en clinopiroxeno. Esta hipótesis coincide con el modelo clásico de fusión parcial del manto donde la lherzolita fértil formada por olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno funde por fusión parcial dejando un manto residual de harzburgita menos fértil empobrecido en clinopiroxeno (Referencia ?).

Las edades modeladas y edades isócronas de las erupciones piroclásticas PC-M mostraron que ocurrieron al menos seis fases de cristalización de circones relacionadas a subidas de magmas (resurgencias e insurgencias) dentro de las cámaras magmáticas debajo de La Primavera en los pasados 150 ka. La lava Cañón de las Flores y la erupción PC fueron formados por la insurgencia magmática de hace \approx 131.8 ka (Fig. 5.1). Luego, la primera resurgencia magmática post-colapso permitió la formación del domo compuesto Nejahuete en el centro de la caldera, de los domos del anillo norte (Chapulín, Piñar de la Venta, Cuartilla y Lobera), del domo Tule sobre el anillo sur de la caldera y de las erupciones PG y A. Luego los domos del anillo sur (Pedernal, Cuesta, Culebreado, Ixtahuatonte, Culebreado viejo y Puerta) y las erupciones B, C y D fueron producidas

por la insurgencia magmática de hace \approx 81.1 ka. Finalmente, los centros volcánicos del sur de la caldera (San Miguel, Planillas y Tajo) y las erupciones E, F, G, H, I, J, K, L, M y N fueron formados después de la insurgencia magmática que tuvo lugar hace \approx 68.2 ka (Fig. 5.1). La última insurgencia magmática ocurrió \approx 31.2 ka con la formación del domo Colli y erupción O.

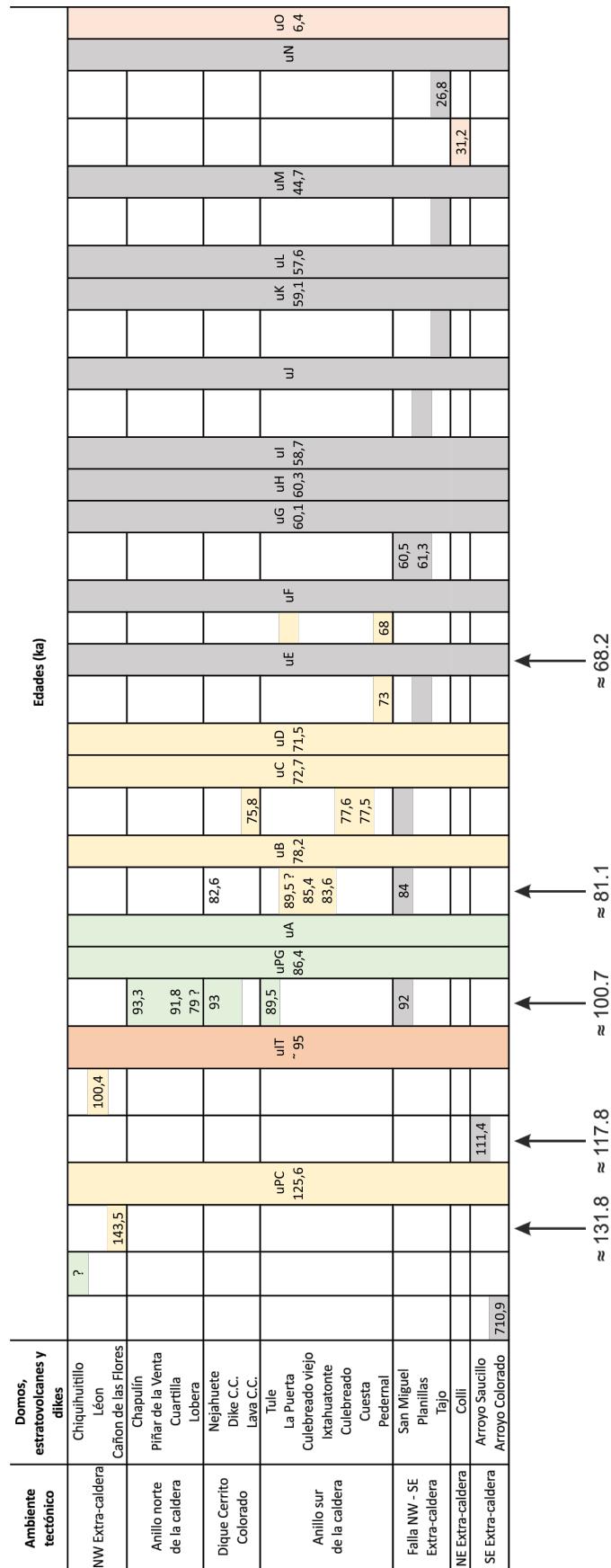


TABLA 5.1: Química y edades de los domos, centros volcánicos y piroclastos de La Primavera (gr. 3D (salmón), gr. 3C (gris), gr. 3B (amarillo) y gr. 3A (verde)).

5.1.5. Evolución de La Primavera

Se utilizaron las edades de las lavas y de los piroclastos juntos con las descripciones de los depósitos piroclásticos encontrados sobre los centros eruptivos dentro y fuera de La Primavera para establecer la cronología de emplazamiento de los domos y centros volcánicos de La Primavera.

5.1.5.1. Pre-caldera

Entre 145 y 95 ka, se formaron los domos pre-caldera Cañón de las Flores (bb; 143.5 ka, Mahood y Drake, 1982 [56]), Río Salado (cc; 116 ka Vázquez y colaboradores, 2014 [92]) y Léon (dd; 100.4 ka, Mahood y Drake, 1982 [56]) al norte oeste de La Primavera.

5.1.5.2. Syn-caldera

Después, la erupción de la ignimbrita Tala produjo hace 96.7 - 95.2 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]) una caldera de 11 km de diámetros (Mahood y colaboradores, 1977 [50], 1980 [51], 1981 [53], Mahood y Drake, 1982 [56]) que fue posteriormente rellenada por agua ([50], 1980 [51], 1981 [53], Mahood y Drake, 1982 [56]).

5.1.5.3. Post-caldera e Intra-caldera

El domo Piñar de la Venta (A) fue el primero en formarse después del colapso hace 96.8 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]). La resurgencia magmática de la caldera de La Primavera empezó con la formación de las coladas de lavas que afloran en la base sur del domo compuesto Nejahuete (B) hace 93.8 ka (Tinoco, 2017 [65]). Los domos Tule (C), Cuartilla (D), Chapulín (E), Pilas (F), Dos Coyotes (G) y centro volcánico de San Miguel (DD1) se formaron durante el mismo periodo de tiempo. Tule (C) se emplazó hace más de 89.5 ka (...), mientras que el domo Chapulín (E) se formó hace 93.3 ka (Tesis sobre Chapulín [70]). El domo Cuartilla (D) se emplazó hace 91.8 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]). Luego se depositaron los sedimentos del lago inferior uLInf (0 - 1 m; Fig. ?? y ??).

Después, el horizonte de Pómez Gigante uPG se depositó dentro del lago hace 86.4 ka (LP1512 Fig. ??; Tinoco, 2017 [65]), sobre Nejahuete (B) y sobre el domo Pilas (F;

LP18613 Fig. ??). El fin de actividad piroclástica permitió la formación del lago uLInt1 (3.4 m).

Luego, nueva actividad del domo compuesto Nejahuete depositó la unidad piroclástica uA dentro de la caldera (LP17411 y LP1513 Figs. ?? y ??). Los domos Culebreado viejo (H) y Ixtahuatonte (K) se formaron respectivamente hace 85.4 ka (H; ...) y 83.6 - 80.5 ka (K; Mahood y Drake, 1982 [56]). El domo compuesto Nejahuete volvió a entrar en erupción hace 82.6 ka con la formación de una lava de obsidiana perlítica en su cima (I; LPZ30; Tinoco, 2017 [65]). Parte de esa lava fue removilizada por agua y se depositó en el lago sobre los depósitos de uA. El domo Cerro Alto (J) se formó al mismo tiempo que la parte superior de Nejahuete. Luego se depositaron los depósitos lacustres del lago uLInt2 (6 - 11 m).

Nueva actividad permitió la formación de la unidad piroclástica uB hace 78.2 ka (LP1513 Fig. ??). uB fue encontrado dentro de los lagos norte y sur y sobre Cerro Alto (LP17157 - PCE24 Fig. ??; Pacheco, año []). Los domos Lobera (L; 79 ka, Mahood, 1977 [50]) y Culebreado (M; 77.2 ka, Mahood y Drake, 1982 [56]) se formaron durante el mismo periodo de tiempo. A continuación, se formó el lago superior uLSup dentro de la caldera (1.5 - 1.8 m).

Otra subida de magma en el centro de la caldera permitió la formación del dique y lavas de Cerrito Colorado. Dos lavas con características similares se emplazaron a partir del dique: una lava al sureste de Nejahuete (N; 75.8 ka; LPZ10, Tinoco, 2017; [65] y LP17262) y otra lava al sur-oeste de Cerro Alto (PCE9; Pacheco, año [])). Parte de la lava sur-este de Cerrito Colorado (N; 75.8 ka) fue removilizada por agua y se depositó al sur de Nejahuete dentro de los últimos depósitos lacustres uLSup. La resurgencia magmática de la caldera de La Primavera se acabó con la formación de esta lava hace 75.8 ka. Las lavas de los domos Cuate (P) y Chato (O; LP18577) tienen las mismas características y química que las lavas del dique de Cerrito Colorado. Por lo tanto, se puede pensar que esos domos se emplazaron a partir del mismo pulso de magma que originó a las lavas de Cerrito Colorado (N).

Luego, se formó la base del domo Pedernal hace 73 ka (R; Mahood, 1977 [50]; Mahood y Drake, 1982 [56]) y el domo Cuesta (Q; 71.3 ky, Mahood y Drake, 1982 [56]) sobre el anillo sur de la caldera. Luego hace 72.7 ka, los depósitos de uC se emplazaron dentro de la caldera y sobre los domos del arco sur de la caldera (LP15101 Fig. ??). Después de

un corto periodo de tiempo, se depositó la caída uD (71.5 ka) sobre los domos Cuesta (Q; LP15101 Fig. ??), Culebreado viejo (H), Culebreado (M) y Tule (C). Los depósitos de uE se depositaron entre 71.5 y 68.9 ka sobre la base del domo Pedernal, sobre los domos del arco sur de la caldera y en la zona de San Miguel. Luego, la ladera sur del domo compuesto Nejahuete se derrumbó hacia el centro de la caldera depositando varios metros de flujos de escombros sobre la ladera sur de Nejahuete. Los depósitos de uC, uD y uE fueron removilizados por \approx 6 m de lahares dentro de la caldera. Estos depósitos fueron cubiertos por los depósitos de caída de las erupciones F y G fechados entre 68.9 y 60.1 ka.

La descripción de los piroclastos sobre Nejahuete y dentro del lago sur permite proponer el siguiente modelo de evolución del domo compuesto Nejahuete (Fig. 5.8).

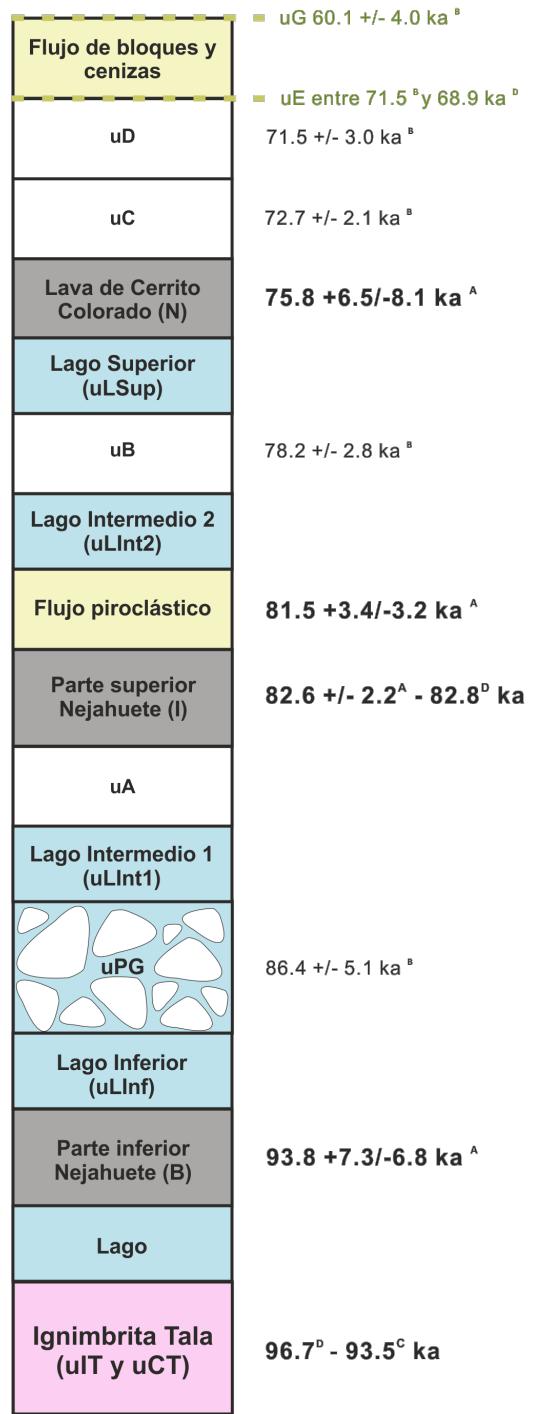


FIGURA 5.8: Evolución del centro volcánico de Nejahuete. Espesores no a escala. A: edades de Tinoco (2017 [65]). B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).

El domo Pedernal empezó su edificación hace 73 ka (R; Mahood, 1977 [50]; Mahood y Drake, 1982 [56]), el cual fue cubierto por la unidad piroclástica uE (LP17283-284). Estos depósitos fueron encontrados también sobre el centro volcánico de San Miguel (DD1, DD2 y DD3), sobre las lavas más viejas de Planillas, así como sobre los domos Puerta (BB), Animas (CC), Culebreado viejo (H) y Tule (C). El domo Pedernal volvió a entrar en erupción con la formación de dos coladas de lavas (S) y (T) hace 68.9 ka (T; Mahood y Drake, 1982 [56]), las cuales fueron cubiertas por las unidades piroclásticas uF y uG entre 68.9 y 60.1 ka (LP17417). Los depósitos de uF y uG se depositaron también sobre los domos Culebreado (M), Culebreado viejo (H), Tule (C), Cuesta (Q), sobre el centro volcánico Planillas, sobre las laderas de Nejahuete (B - I; LP1513 Fig. ??; LP15110 Fig. ??) y al norte-oeste del domo Cerro Alto (J; LP18604-605 Fig. ??).

La descripción de las relaciones entre lavas y piroclastos permitió proponer el siguiente modelo de evolución del domo compuesto Pedernal (Fig. 5.9).

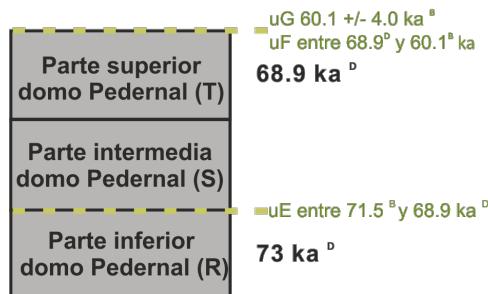


FIGURA 5.9: Evolución del domo compuesto Pedernal. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).

5.1.5.4. Post-caldera e Extra-caldera

En siguiente se describirán las relaciones y evoluciones de los centros volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo que se emplazaron sobre la falla con orientación ENE-W-SW al sur de la caldera de La Primavera.

Centro volcánico San Miguel

El centro volcánico de San Miguel inició su actividad hace 92 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]) con la formación de su cono principal (DD1). Posteriormente, se formaron los domos Puerta (BB) y Animas (CC) sobre su ladera norte hace 89.5 ka; Mahood y Drake, 1982 [56]. El domo Puerta es más joven que las Animas (Mahood y Drake, 1982 [56]).

Luego, la ladera sur del cono de San Miguel se derrumbó hacia el sur formando una cicatriz, la cual fue cubierta por la lava SW de San Miguel (DD2) fechada a 84.6 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]). El centro volcánico San Miguel DD1 (PMV14245 [39]), la lava SW de San Miguel (DD2), y los domos Animas (CC; PMV14245 [39]) y Puerta (BB; LP18619) fueron cubiertos por uE entre 71.5 y 68.9 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]). Los piroclastos de esta unidad fueron también encontrados sobre los domos Pedernal (R; LP17283-284), Culebreado viejo (H; LP17191 y LP17289 Fig. B.10), sobre las lavas más viejas de Planillas (LP18516 Fig. ??) y en las canteras al sur y sur-oeste de San Miguel (LP15104 Fig. ??, LP17216-224 Fig. ??). uE está cubierta por la lava NW de San Miguel (DD3) al norte del cono principal (PMV14245 Fig. ??; Cruz Lara, 2015 [39]). Luego, la lava del domo Puerta (BB) y los depósitos piroclásticos de uE fueron cortados por un dique de obsidiana que llega hasta la cima del domo Puerta (LP18558). Ese dique produjo otra colada de lava (FF) que cubre la parte este del domo Puerta (BB). Esta lava fue cubierta por los piroclastos de uF entre 68.9 y 60.1 ka (LP18500 Fig. ??). Poco después, los depósitos de uF fueron erosionados parcialmente por los piroclastos de uG (60.1 ka; LP17422 y LP18504 Figs. ?? y ??). Estos piroclastos se encuentran también sobre la lava del Poleo al este de San Miguel (EE; LP17448 Fig. ??), sobre los domos Pedernal (S y T; LP17417), Culebreado viejo (H; LP17302 y LP17319-321 Figs. B.11, ?? y B.11) y Tule (C) LP17339-340 Fig. B.9), al sur de Nejahuete (I; LP1513KLM Fig. ??) y al norte de Cerro Alto (LP18604-605 Fig. ??). Después, se depositaron los piroclastos de la unidad uH sobre uG (LP18504 Fig. ??), sobre las lavas DD2 y DD3 de San Miguel, sobre el domo Puerta (BB; LP18555 Fig. ??) y sobre la lava del Poleo al este de San Miguel (EE; LP17448 Fig. ??). Finalmente, la lava Llano Grande (GG) se emplazó al este de San Miguel sobre los depósitos de uE, uG y uH (LP16118 y LP18669 Figs. ?? y ??) hace 60.5 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]). La descripción de las relaciones entre lavas y piroclastos permitió proponer el siguiente modelo de evolución del Complejo Volcánico de San Miguel (Fig. 5.10).

Centro volcánico Planillas

Aunque no haya fechas de la base del edificio, el centro volcánico Planillas acabó su primera fase efusiva con el emplazamiento de una colada de obsidiana negra sobre su ladera norte (HH1). Se depositaron sobre esta lava unos 70 cm de la unidad piroclástica uE entre 71.5 y 68.9 ka (LP18516 Fig. ??). Estos depósitos fueron cubiertos y erosionados por un flujo amarillo con pocos bloques de obsidiana negra. Luego se depositaron los piroclastos de la

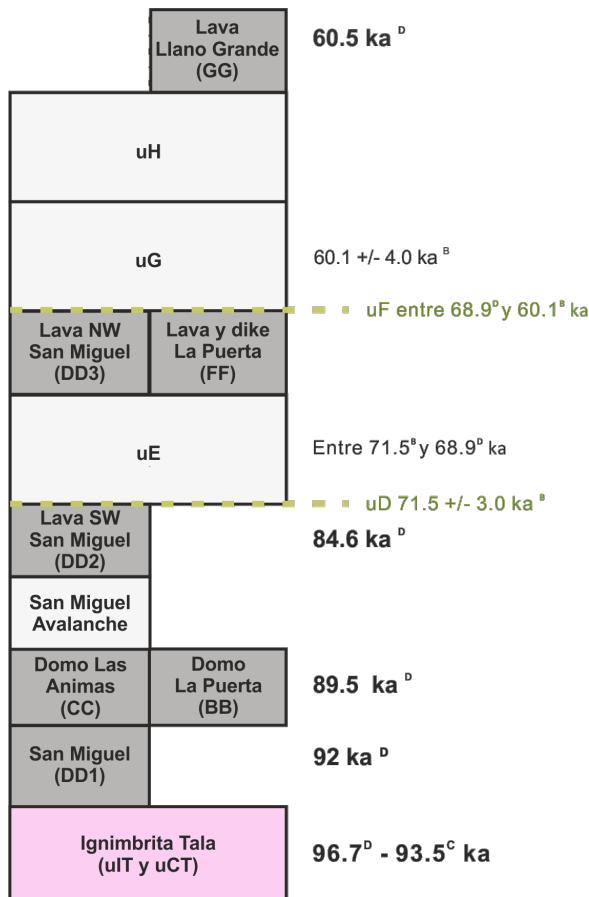


FIGURA 5.10: Evolución del Complejo Volcánico de San Miguel. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).

unidad uF entre 68.9 y 60.1 ka (LP18516 Fig. ??) sobre Planillas, así que sobre los domos Puerta (LP18500 Fig. ??), Culebreado (LP17535), Culebreado viejo (LP17302 Fig. B.11), Tule (LP17339-340 Fig. B.9), Cuesta (LP15101 Fig. ??) y dentro de la caldera hasta el domo compuesto Nejahuete (LP1513 Fig. ??). Sobre la parte norte-oeste de Planillas, uF está cubierto por los piroclastos de uG (60.1 ka) y uI (58.7 ka) (LP18624 y LP18627). Los piroclastos de uI sólo fueron encontrados sobre el centro volcánico Planillas (LP18624) y los domos Cuesta (LP15102 Fig. ??), Culebreado, Culebreado viejo (LP17319-321 Fig. B.11) y Tule. Luego se emplazó una lava bandeada gris con fracturación columnar que se vuelve brecha en su parte superior sobre la ladera norte de Planillas (HH1; LP18631 Fig. ??). Esta lava está cubierta por la unidad piroclástica uJ. Como uI, la mayoría de los depósitos de uJ sólo fueron encontrados sobre Planillas (LP18634-635 y LP18629 Figs. ??, ?? y ??) y sobre el domo Cuesta (LP15102 Fig. ??). Posteriormente, se depositaron los piroclastos de la base de uK hace 59.1 ka sobre Planillas (LP17151, LP18650 y LP18625).

Figs. ?? y ??) y sobre los domos Culebreado (LP17535), Culebreado viejo (LP17319-322 Fig. ??), Tule y Cuesta (LP15102 Fig. ??). Los piroclastos aparecen amarillos-naranjas sobre la ladera norte de Planillas cuando están cubiertos y erosionados por un flujo amarillo-naranja (LP18629 y LP18664 Fig. ??) asociado a la avalancha de Planillas (uAP), lo cual se formó durante el derrumbe de la ladera sur de Planillas (HH1). El flujo enriquecido en bloques de obsidiana con estructura de rompe-cabeza rodeados por matriz amarilla de la parte proximal de la avalancha está en la cima de Planillas (Fig. LP18661 ??). Luego se depositaron los depósitos de uL en la cima sobre uAP (Fig. LP18663 ??), sobre la ladera norte de planillas (LP8638-639 y LP18642 Fig. ?? y ??) y sobre el domo Cuesta (LP15103 Fig. ??). Luego hace 44.7 ka se depositaron los depósitos de uM en la cima de Planillas (LP18658 Fig. ??), sobre la ladera norte de Planillas (LP8638-639 y LP18658 Figs. ??, ?? y ??), sobre el domo Cuesta (LP15103 Fig. ??) y sobre el domo viejo de Tajo (LP17480-482 Fig. ??). Posteriormente, los piroclastos de uN se depositaron dentro de un canal de erosión de uM en la cima de Planillas (LP18658 Fig. ??) y erosionaron los depósitos de uM en la cima del domo viejo de Tajo (LP17480-482 Fig. ??). Finalmente, la cicatriz de la avalancha de Planillas fue cubierta por las lavas del sur (HH2) hace \approx 61.3 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]). No piroclastos fueron encontrados sobre esta lava. La descripción de las relaciones entre lavas y piroclastos permitió proponer el siguiente modelo del centro volcánico Planillas (Fig. 5.11).

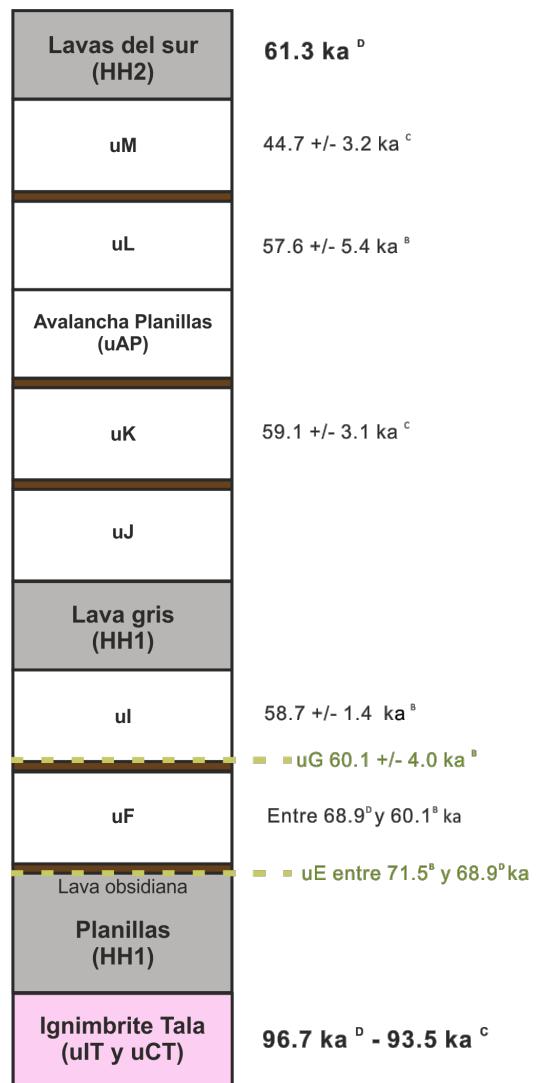


FIGURA 5.11: Evolución del centro volcánico Planillas. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).

Centro volcánico Tajo

El centro volcánico Tajo inició su actividad con la formación del domo viejo (II1 y II2), lo cual fue cubierto por los piroclastos de uM hace 44.7 ka (LP17480) y uN (LP17482-483 Fig. ??; Pir-Tj, Gómez Alvarez, 2015 [5]). Luego se emplazaron dos coladas de lava en la parte este del domo Tajo, una hacia el norte y la otra hacia el sur hace 26.8 - 25.6 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]).

La descripción de las relaciones entre lavas y piroclastos permitió proponer el siguiente modelo de evolución del centro volcánico Tajo (Fig. 5.12).

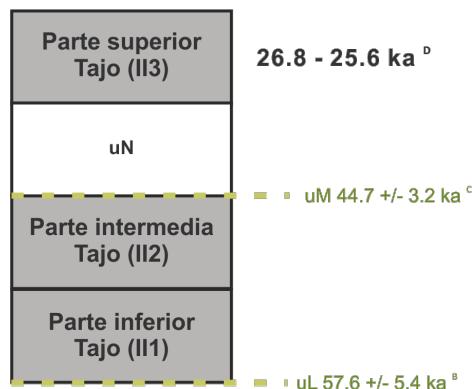


FIGURA 5.12: Evolución del centro volcánico Tajo. Espesores no a escala. B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]).

Domo Colli

El domo Colli inició su actividad con la formación del domo (JJ) hace 31.9 - 29 ka (Mahood y Drake, 1982 [56]). Luego hace 6.4 ka se emplazaron los flujos y caídas de la erupción uO al lado de Colli y sobre el domo Chapulín (PMV14417 Fig. ??).

5.1.5.5. Evolución de La Primavera

Las edades de las lavas, domos, centros volcánicos y piroclastos, así como las relaciones entre los piroclastos y lavas de los centros eruptivos de La Primavera permitieron proponer el siguiente modelo de evolución de la caldera de La Primavera (Figs. 5.13, 5.14 y 5.15).

Entre 710 y 90 ka

- 710 ka Arroyo Colorado (aa),
- 150 - 95 ka Cañón de las Flores (bb), Río Salado (cc) y León (dd),
- 95 - 93 ka Piñar de la Venta (A),
- 93 - 90 ka Base de Nejahuete (B), Burro (AA), Tule (C), Cuartilla (D), Chapulín (E), Pilas (F), Dos Coyotes (G), Puerta (BB), Animas (CC) y San Miguel (DD1).

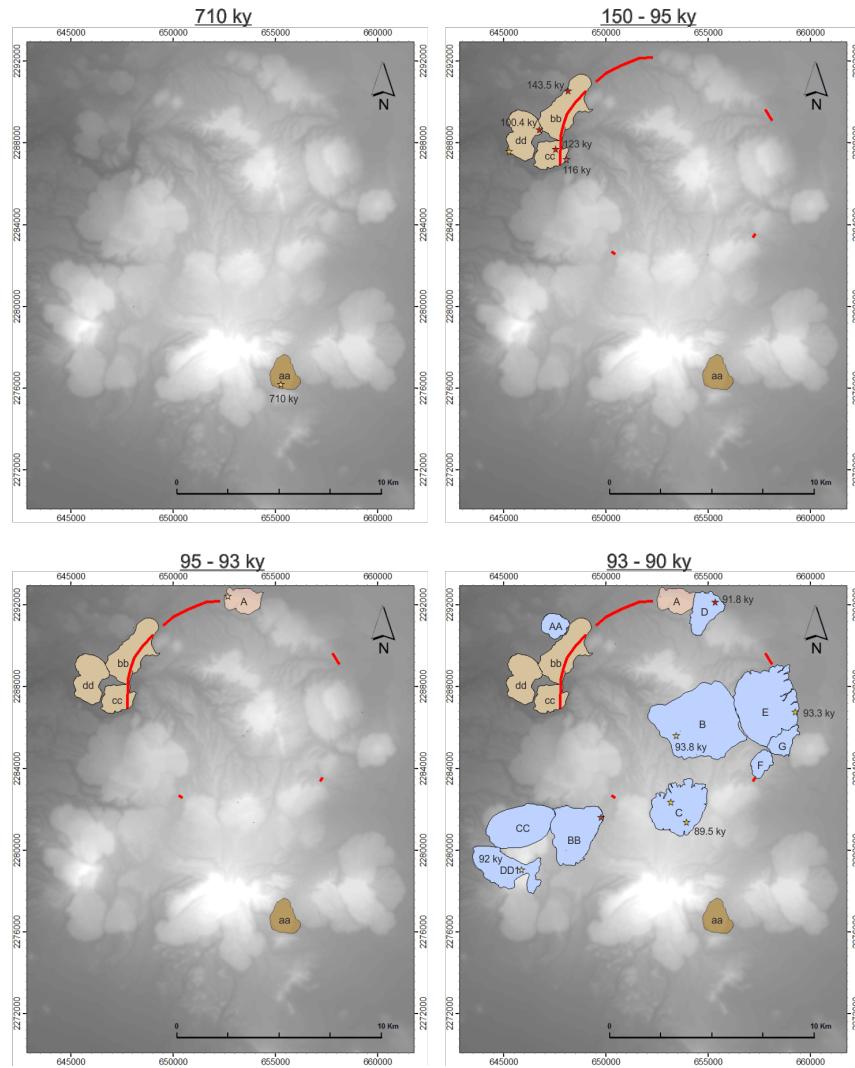


FIGURA 5.13: Evolución de La Primavera entre 710 y 90 ka (modificado de Mahood (1980 [51]) y Mahood (1981 [53])). Las edades de Mahood y colaboradores (1977, 1980, 1982) se indican con las estrellas rojas y verdes, mientras que los nuevos fechamientos están marcados con las estrellas amarillas.

Entre 90 y 50 ka

- 90 - 80 ky Viejo Culebreado (H), parte superior de Nejahuete (I), Cerro Alto (J), Ixtahuatonte (K), colada de lava SW de San Miguel (DD2),
- 80 - 70 ky Lobera (L), Culebreado (M), lava de Cerrito Colorado (N), Chato (O), Cuate (P), Cuesta (Q) y base de Pedernal (R),
- 70 - 60 ky Parte superior de Pedernal (S - T), colada de lava NW de San Miguel (DD3), lava del Paleo (EE), dike de Puerta (FF), Llano Grande (GG), Planillas (HH1), lava del sur de Planillas (HH2), avalancha de Planillas (PAU),
- 50 - 40 ky Base de Tajo (II1).

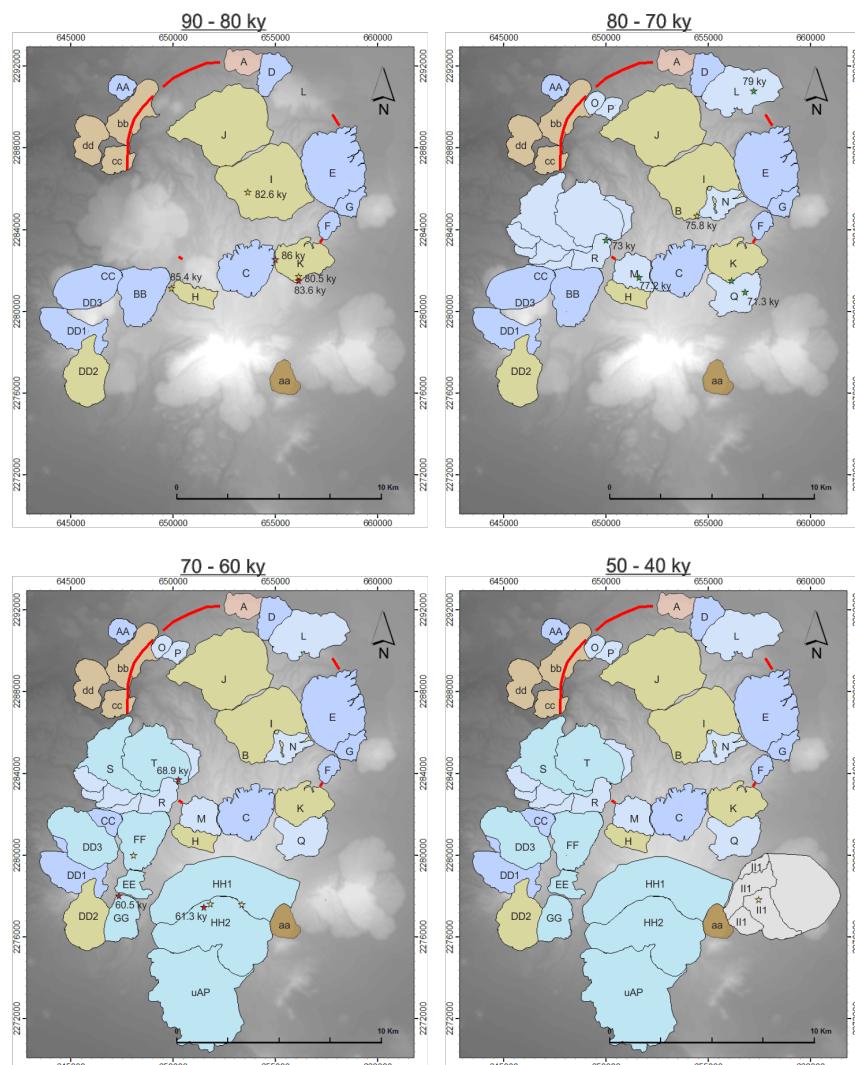


FIGURA 5.14: Evolución de La Primavera entre 90 y 50 ka (modificado de Mahood (1980) [51] y Mahood (1981 [53]). Las edades de Mahood y colaboradores (1977, 1980, 1982) se indican con las estrellas rojas y verdes, mientras que los nuevos fechamientos están marcados con las estrellas amarillas.

Entre 40 y 20 ka

40 - 30 ky Parte intermedia de Tajo (II2) y Colli (JJ),

30 - 20 ky Coladas norte y sur de Tajo (II3).

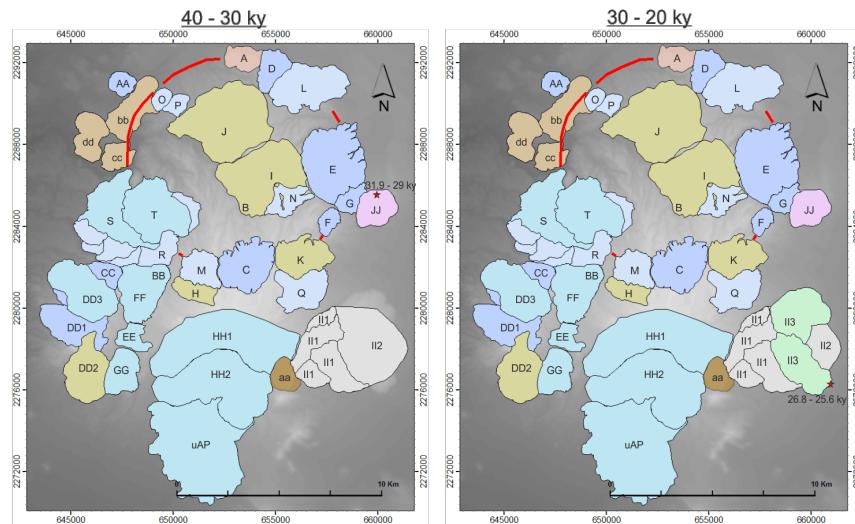


FIGURA 5.15: Evolución de La Primavera entre 50 y 20 ka (modificado de Mahood (1980) [51] y Mahood (1981 [53]). Las edades de Mahood y colaboradores (1977, 1980, 1982) se indican con las estrellas rojas y verdes, mientras que los nuevos fechamientos están marcados con las estrellas amarillas.

Las edades de los domos y centros volcánicos utilizados en el modelo están en figura 5.16.

5.1.6. Consideraciones sobre el peligro volcánico

La presencia de fumarolas con precipitaciones de azufre al sur del domo compuesto Nejahuete en el centro de la caldera (Molina y colaboradores, 2006 [63]) con la presencia de un sistema hidrotermal activo con zonas de convecciones de fluidos en el subsuelo de la caldera (Bolós y colaboradores, 2019 [9]) apunta a la caldera de La Primavera como una estructura volcánica activa. Esta actividad hidrotermal también se manifiesta con fumarolas en la cima del centro volcánico Planillas (Saucedo y colaboradores, 2020 []) sobre la falla con orientación ENE-W-SW al sur de la caldera de La Primavera, con aguas termales en la zona de Río Caliente en la parte noroeste de la caldera (Santoyo-Gutiérrez y colaboradores, 1991 [82]) y al sur de los centros volcánicos San Miguel y Planillas.

La Primavera ha sido muy activo en los últimos 125.6 ka con la formación de más de 27 domos riolíticos, una caldera y 18 erupciones de tipo subpliniano y pliniano. Las

PRE - CALDERA		Domo Arroyo Colorado (aa) Lava Cañon de las Flores (bb) Domo Rio Salado (cc) Domo Léon (dd)	710.9 ± 11.7 ka ^E 143.5 ± 4.4/8.5 ka ^D 116 ± 4 ka ^D 100.4 ± 5.4/9.6 ka ^D
SYN - CALDERA		Ignimbrita Tala	96.7 ± 1.7/3.8 ^B - 95.2 ± 3/6.5 ^B - 93.5 ± 5.8 ka ^C
POST - CALDERA e INTRA - CALDERA	Pre - uPG 90 - 80 ka	Domo Piñar de la Venta (A) Parte basal estratovolcán Nejahuete (B) Domo Tule (C) Domo Cuartilla (D) Domo Chapulin (E)	96.8 ± 3.9/6.9 ka ^D 93.8 ± 7.3/6.8 ka ^A 89.5 ± 2.7 ka ^C 91.8 ± 5.4/6.5 ka ^D 93.3 ± 1.9 ka ^E
		Unidad piroclástica Pómez Gigante	86.4 ± 5.1 ka ^{A,B}
		Domo viejo Culebreado (H) Cima estratovolcán Nejahuete (I)	85.4 ± 3.4 ka ^C 82.6 ± 2.2 ^A - 82.8 ± 10.3/18.9 ka ^D
		Domo Cerro Alto (J) Unidades piroclásticas Nejahuete (uPG-D)	86.4 ± 5.1 ka ^{A,B} - 71.5 ± 3.0 ka ^B
		Domo Ixtahuatonte (K) Domo Lobera (L)	83.6 ± 2/4.1 ^D - 80.5 ± 7 ^C - 86 ± 15/13 ka ^F 79 ± 8 ka ^D
	80 - 70 ka	Domo jóven Culebreado (M) Domas Cuate y Chato (O y P)	77.2 ± 1.2/2.8 ka ^D ... ka ^E
		Lava Cerrito Colorado (N)	75.8 ± 6.5/8.1 ka ^A
		Domo Cuesta (Q)	71.3 ± 6.7/12.2 ka ^D
		Domo Pedernal (R, S y T)	73 ± 2.3/4.7 ^D - 68.9 ± 2.7/5 ka ^D
		Lava y dike Puerta (FF)	
POST - CALDERA e EXTRA - CALDERA	Pre - uPG 92 - 60.3 ka	Domo Burro (AA) Domo Puerta (BB) Domo Animas (CC)	96.7 ± 1.7/3.8 ka ^D 89.5 ± 4.6/9.8 ka ^D
		Estratovolcán San Miguel (DD1) Lava sur San Miguel (DD2) Lava norte San Miguel (DD3) Unidades piroclásticas SM (uE, uG y uH)	92 ± 4/7.5 ka ^D 84.6 ± 4.1/7.8 ka ^D 71.5 ± 3.0 ^B - 60.3 ± 0.8 ka ^B
		Estratovolcán Planillas (HH1 pre) Lava gris Planillas (HH1 post) Avalancha Planillas (uAP)	Más viejo que 68.9 ± 2.7/5 ka ^D
		Lavas sur Planillas (HH2) Unidades piroclásticas PLA (uF, ul-M)	57.6 ± 5.4 ka ^B 61.3 ± 5.6/6.4 ka ^D 68.9 ± 2.7/5 ^B - 44.7 ± 3.2/3.2 ka ^C
	Centro volcánico San Miguel (SM) ? - 44.7 ka	Lava Llano Grande (GG)	60.5 ± 5.2/9.6 ka ^D
		Parte basal estratovolcán Tajo (II1) Parte intermedia Tajo (II2) Unidad piroclástica Tajo (uN)	Más joven que 57.6 ka ^B
		Parte superior Tajo (II3)	Entre 44.7 ka ^C y 26.8 ± 3.9/7.3 ka ^D 26.8 ± 3.9/7.3 ^D - 25.5 ± 7.5/14.1 ka ^D
		Domo Colli 31.9 - 5.5 ka	31.9 ± 3.7/6.6 ^D - 29 ± 8 ka ^D 6.4 ka ^B

FIGURA 5.16: Edades de las lavas, domos, centros volcánicos y piroclásticos de La Primavera. A: edades de Tinoco (2017 [65]). B: edades de la presente investigación doctoral. C: edades compartidas por el Dr Ricardo Saucedo. D: edades de Mahood y colaboradores (1977 [50]; 1980 [51]; 1982 [56]). E: otras nuevas edades. F: Vázquez et al. (2014 [92])

erupciones recientes subpliniana (G, K, y N) y plinianas (F y M) que ocurrieron en los centros eruptivos San Miguel, Planillas y Tajo sobre la falla con orientación ENE-W-SW al sur de la caldera de La Primavera entre 60.1 y 44.7 ka se depositaron en áreas pobladas de la parte oeste de Guadalajara y en los pueblos que están alrededor del complejo volcánico. Cabe mencionar que la erupción que produjo la caldera de la Primavera hace ≈ 96 - 95 ka (Mahood, 1980 [51]; Mahood y Drake, 1982 [56]) fue encontrada con espesores

de \approx 9 m en la parte noroeste de Guadalajara.

El domo Colli ubicado al oeste de Guadalajara fue el último domo en formarse entre 31.9 y 29 ka (Mahood, 1980 [51]; Mahood y Drake, 1982 [56]). Su última erupción ocurrió hace sólo 6.4 ka depositando varios metros de oleadas y caídas piroclásticas (erupción O) al lado del estadio de Guadalajara. Esta edad ubica al La Primavera como una estructura volcánica activa, más aún tratándose de una caldera, las cuales tienen períodos de reposo mayores a los estratovolcanes (Szakacs, 1994 [89]). Por otro lado, la presencia de un cuerpo magmático probablemente relacionado al reservorio del domo Colli a una profundidad inferior a 950 m en el subsuelo del domo Colli (Almaguer y colaboradores (2019 [4]) demuestra que la zona del domo Colli tiene que ser considerada como peligrosa, ya que otra erupción del domo podría perjudicar a las poblaciones alrededor.

Aunque la actividad efusiva y explosiva más reciente de La Primavera se mudó en los centros eruptivos Tajo (54 - 25.6 ka) y Colli (31.9 - 6.4 ka) en la parte oeste de Guadalajara, la presencia de fumarolas y magma a menos de 950 m en el subsuelo de la parte oeste del centro volcánico de San Miguel (Almaguer y colaboradores, 2019 [4]) también hace resaltar peligros en esta parte de La Primavera.

En conclusión, las erupciones de tipo subpliniano y pliniano son muy peligrosas por las poblaciones que viven alrededores, ya que pueden verse afectadas por caídas de pómez y flujos piroclásticos. Por lo tanto, la proximidad de Guadalajara de la caldera de La Primavera pone en gran peligro las poblaciones del oeste de Guadalajara, fraccionamientos residenciales construidos sobre los domos Piñar de la Venta y Tajo, poblaciones que viven al pie de los domos Piñar de la Venta, Cuartilla, Lobera, Chapulín, Colli, Pilas, Ixtahuatonte y pueblos alrededor de La Primavera.

5.1.7. Trabajos futuros

Este trabajo de investigación podría ser complementado por la descripción con más detalles de los depósitos del lago inferior (LLU), depósitos de la parte inferior de la Pómez Gigante (uPG-1), depósitos de las erupciones A-B, depósitos de la erupción N sobre Tajo, y otros depósitos encontrados sobre Tajo reportados en la tesis de licenciatura de Gómez Alvárez (2015 [5]).

También se requiere hacer los análisis de componentes de las fracciones - 6Φ hasta 0Φ y 2Φ hasta 4Φ de las muestras de la figura ?? para caracterizar con más detalles los depósitos de las erupciones. Este trabajo permitirá documentar la presencia de fragmentos de vidrio puntiagudos en las fracciones 2Φ y 3Φ de las muestras como fue observado en una muestra de oleada húmeda de la erupción E sin ser documentada en la tesis por falta de tiempo.

Además, conocer cómo se produjo la última erupción de La Primavera (erupción O) que ocurrió hace 6.4 ka en la parte noreste de La Primavera es primordial para futuros estudios de peligro volcánico. Se requiere estudiar de manera detallada la secuencia eruptiva de esta erupción mediante la descripción de los depósitos y por los análisis de componentes, granulometría y petrografía, para determinar el tipo de la erupción. También se requiere medir la composición del vidrio de la pómez de los depósitos de esta erupción para complementar el modelo de génesis de los magmas de La Primavera.

6 | Conclusiones

La presente investigación doctoral permitió la descripción de una erupción pre-caldera (PC) y 15 depósitos piroclásticos post-caldera (A-O) que se depositaron después del horizonte de Pómez Gigante (uPG). Los depósitos fueron fechados por U/Th en circones: uPC (124.4 ka), uPG (86.4 ± 5.1 ka), uA (entre 86.4 ± 5.1 y 82.8 ka [56]), uB (78.2 ± 2.8 ka), uC (72.7 ± 2.1 ka), uD (71.5 ± 3.0 ka), uE (entre 71.5 ± 3.0 y 68.9 ka [56]), uF (entre 68.9 [56] y 60.1 ± 4.0 ka), uG (60.1 ± 4.0 ka), uH (60.3 ± 0.8 ka), uI (58.7 ± 1.4 ka), uJ, uK (59.1 ± 3.1 ka), uL (57.6 ± 5.4 ka), uM (44.7 ± 3.2 ka) y uN (entre 44.7 ± 3.2 y 26.8 ka [56]).

Después del colapso de la caldera, la depresión fue rellenada por los depósitos de caída de la parte final de la erupción que produjo la caldera (CTI) y por agua (LL). Luego los depósitos de las erupciones GP, A, B, y C se depositaron dentro del lago intercalados con la sedimentación lacustre ML1, ML2 y UL entre 95 y 72.7 ka y sobre los domos del arco sur de la caldera. Los depósitos de la erupción D fueron los primeros a depositarse por encima del lago. Luego los piroclastos de las erupciones E, F y G se depositaron dentro y al sur de la caldera entre 71.5 y 60.1 ka. Luego, las erupciones H, I, J, K, L, M y N se depositaron sobre los domos del arco sur de la caldera y al sur de la caldera entre 60.3 y 26.8 ka. Finalmente, la erupción O fechada a 6.4 ka fue encontrada al norte este de la caldera al lado del domo Colli. F y G fueron las erupciones más grandes que ocurrieron después de la erupción que originó la ignimbrita Tala hace 96.7 - 95.2 ka.

Se describieron la estructura (espesor, geometría, límites de capas), textura (tamaño de clasto, gradación) y componentes (tipos de clastos, mineralogía) de los depósitos de la unidad pre-caldera PC, y de las unidades post-caldera A-N que se emplazaron dentro y fuera de la caldera. La descripción y cuantificación de los porcentajes de los fragmentos juveniles (pómez y vidrio), cristales (cuarzo, sanidino, ferro-hedenbergita,

fayalita y óxido) y líticos (gris claro, negro-rojo de granos finos tabular, negro a cristal, rojo, obsidiana, obsidiana perlítica y obsidiana con textura de brecha) permitieron reconocer las características principales para distinguir las unidades.

La falta de puntos distales de los depósitos no permitió producir mapas de isopacas e isopletas de calidad de las erupciones. Sin embargo, la distribución de los líticos más grandes, afloramientos de mayor espesor y química de los piroclastos permitieron señalar al domo compuesto Nejahuete (A-D), y a los centros volcánicos San Miguel (E, G y H), Planillas (F, I a M) y Tajo (N) como fuentes de las erupciones post-caldera. La última erupción (O) vino del domo Colli hace 6.4 ka.

Se midió la composición química de los elementos mayores, trazas e isótopos de la pómez de la unidad pre-caldera PC y unidades post-caldera A-O. El análisis del TiO₂ y de los elementos HFSE (Hf, Ta, Zr, Th y REE) ha mostrado que existen cuatro grupos de composición en las muestras pre y post-caldera de La Primavera: grupo 3A (domo pre-caldera: Chiquihuitillo; domos e centros volcánicos post-caldera: Tule, Chapulín, Lobera, Piñar de la Venta, Cerro Alto, base de Nejahuete, dique de Cerrito Colorado; piroclastos post-caldera: GP1-2, GP3 y A), grupo 3B (domos pre-caldera: Léon; lava pre-caldera: Cañón de las Flores; piroclastos pre-caldera: PC; domos e centros volcánicos post-caldera: parte superior de Nejahuete, Culebreado, Viejo Culebreado, Cuesta, Ixtahuatonte, Pedernal, Puerta y Burro; lava post-caldera: Cerrito Colorado; piroclastos post-caldera: B a D), grupo 3C (lava pre-caldera: Arroyo Saucillo; domo pre-caldera: Arroyo Colorado; centros volcánicos post-caldera: San Miguel, Planillas y Tajo; piroclastos post-caldera: GP1-2, E a N) y grupo 3D (domo post-caldera: Colli; piroclastos post-caldera: O).

Existen al menos tres cámaras magmáticas debajo del Complejo Volcánico La Primavera, una debajo de la caldera que alimenta a los centros eruptivos del centro (Nejahuete y Cerro Alto) y anillo de la caldera (Piñar de la Venta, Cuartilla, Lobera, Chapulín, Cuesta, Ixtahuatonte, Tule, Culebreado, Culebreado viejo, Pedernal y Puerta), un reservorio debajo de los centros volcánicos San Miguel, Planillas y Tajo, y otro reservorio debajo del domo Colli.

Los magmas de composición 3A, 3B, 3C y 3D que alimentaron a los centros volcánicos post-caldera de La Primavera fueron generados por una fuente mantélica heterogénea empobrecida en granate, con diferentes contenidos en clinopiroxenos y flogopita en su manto residual. El análisis de los elementos mayores y trazas ha mostrado que los procesos

de cristalización fraccionada, mezcla de magma, y contaminación cortical sólo cambiaron ligeramente las propiedades de los magmas primarios formados por fusión parcial. No existe relación entre la química y las edades de las unidades eruptivas, domos y lavas.

Se describieron las relaciones relativas entre las erupciones post-caldera GP-O con los domos y centros volcánicos de La Primavera para mejorar el modelo de evolución del Complejo Volcánico La Primavera propuesto por Mahood y colaboradores (1980 [51], 1981a [53] y 1982 [56]). La resurgencia magmática de la caldera de La Primavera ocurrió entre 93.8 y 75.8 ka, mientras que hubo subida de magma fuera de la caldera entre 92 y 6.4 ka. Las edades modelos de las caídas piroclásticas PC-M mostraron que se llevaron a cabo al menos cuatro pulsos de subida de magma después de la formación de la caldera de La Primavera hace 96.7 - 95.2 ka.

Bibliografía

- [1] AGUIRRE-DÍAZ, G. J., AND LABARTE-HERNÁNDEZ, G. Fissure ignimbrites: Fissure-source origin for voluminous ignimbrites of the sierra madre occidental and its relationship with basin and range faulting. *Geology* 31, 9 (2003), 773–776.
- [2] ALATORRE-ZAMORA, M., AND CAMPOS-ENRIQUEZ, J. La primavera caldera (mexico): Structure inferred from gravity and hydrogeological considerations. *Geofisica Internacional* 31, 4 (1992).
- [3] ALLAN, J. F. Geology of the northern colima and zacoalco grabens, southwest mexico: Late cenozoic rifting in the mexican volcanic belt. *Geological Society of America Bulletin* 97, 4 (1986), 473–485.
- [4] ALMAGUER, J., LOPEZ-LOERA, H., MACIAS, J. L., SAUCEDO, R., YUTSIS, V., AND GUEVARA, R. Geophysical modeling of la primavera caldera and its relation to volcanology activity based on 3d susceptibility inversion and potential data analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (2019).
- [5] ALVAREZ, F. G. Análisis petrológico de los domos tajo y colli e implicaciones en el potencial geotérmico del complejo volcánico la primavera (cvlp), jalisco (bachelor thesis). Master's thesis, Instituto Technológico Superior de Tacámbaro, 2015.
- [6] BAS, M. L., MAITRE, R. L., STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B., AND ON THE SYSTEMATICS OF IGNEOUS ROCKS, I. S. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of petrology* 27, 3 (1986), 745–750.
- [7] BERNAL, J., SOLARI, L., GÓMEZ-TUENA, A., ORTEGA-OBREGÓN, C., MORI, L., VEGA-GONZÁLEZ, M., AND ESPINOSA-ARBELÁEZ, D.

- In-situ 230th/u dating of quaternary zircons using la-mcicpms. *Quaternary Geochronology 23* (2014), 46 – 55.
- [8] BOEHNKE, P., BARBONI, M., AND BELL, E. Zircon u/th model ages in the presence of melt heterogeneity. *Quaternary Geochronology 34* (2016), 69 – 74.
- [9] BOLÓS, X., CIFUENTES, G., MACÍAS, J. L., SOSA-CEBALLOS, G., GARCIA-TENORIO, F., AND ALBOR, M. Geophysical imaging of fluid circulation and its relation with the structural system of cerritos colorados geothermal field, la primavera caldera (mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research 369* (2019), 238–249.
- [10] BRENAN, J., SHAW, H., PHINNEY, D., AND RYERSON, F. Rutile-aqueous fluid partitioning of nb, ta, hf, zr, u and th: implications for high field strength element depletions in island-arc basalts. *Earth and Planetary Science Letters 128*, 3-4 (1994), 327–339.
- [11] BRYAN, S. E., AND ERNST, R. E. Revised definition of large igneous provinces (lips). *Earth-Science Reviews 86*, 1-4 (2008), 175–202.
- [12] CAMPOS-ENRÍQUEZ, J., DOMÍNGUEZ-MÉNDEZ, F., LOZADA-ZUMAETA, M., MORALES-RODRÍGUEZ, H., AND ANDAVERDE-ARREDONDO, J. Application of the gauss theorem to the study of silicic calderas: The calderas of la primavera, los azufres, and los humeros (mexico). *Journal of volcanology and geothermal research 147*, 1-2 (2005), 39–67.
- [13] CAREY, S., AND SPARKS, R. S. J. Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. *Bulletin of Volcanology 48*, 2 (1986), 109–125.
- [14] CARMICHAEL, I., LANGE, R., AND LUHR, J. F. Quaternary minettes and associated volcanic rocks of mascot, western mexico: a consequence of plate extension above a subduction modified mantle wedge. *Contributions to Mineralogy and Petrology 124*, 3-4 (1996), 302–333.
- [15] CARMICHAEL, I. S. The andesite aqueduct: perspectives on the evolution of intermediate magmatism in west-central (105–99 w) mexico. *Contributions to Mineralogy and Petrology 143*, 6 (2002), 641–663.

- [16] CHENG, H., EDWARDS, R. L., SHEN, C.-C., POLYAK, V. J., ASMEROM, Y., WOODHEAD, J., HELLSTROM, J., WANG, Y., KONG, X., SPÖTL, C., ET AL. Improvements in ^{230}Th dating, ^{230}Th and ^{234}U half-life values, and $\text{U}-\text{Th}$ isotopic measurements by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Earth and Planetary Science Letters* 371 (2013), 82–91.
- [17] DAMON, P., NIETO, O., AND DELGADO, A. Un plegamiento neogenico en nayarit y jalisco y evolución geomorfica del rio grande de santiago. *Asoc. Ing. Min. Met. Geol. Mex. Memoria Tecnica XIII* (1979), 156–191.
- [18] FERRARI, L. Miocene shearing along the northern boundary of the jalisco block and the opening of the southern gulf of california. *Geology* 23, 8 (1995), 751–754.
- [19] FERRARI, L., LÓPEZ-MARTÍNEZ, M., AND ROSAS-ELGUERA, J. 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 (2002).
- [20] FERRARI, L., OROZCO-ESQUIVEL, T., MANEA, V., AND MANEA, M. The dynamic history of the trans-mexican volcanic belt and the mexico subduction zone. *Tectonophysics* 522 (2012), 122–149.
- [21] FERRARI, L., PETRONE, C. M., AND FRANCALANCI, L. Generation of oceanic-island basalt-type volcanism in the western trans-mexican volcanic belt by slab rollback, asthenosphere infiltration, and variable flux melting. *Geology* 29, 6 (2001), 507–510.
- [22] FOLEY, S. Vein-plus-wall-rock melting mechanisms in the lithosphere and the origin of potassic alkaline magmas. *Lithos* 28, 3-6 (1992), 435–453.
- [23] FOLEY, S., TIEPOLO, M., AND VANNUCCI, R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature* 417, 6891 (2002), 837–840.
- [24] FOLEY, S. F., BARTH, M. G., AND JENNER, G. A. Rutile/melt partition coefficients for trace elements and an assessment of the influence of rutile on the trace element characteristics of subduction zone magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 5 (2000), 933–938.

- [25] GALE, A., DALTON, C. A., LANGMUIR, C. H., SU, Y., AND SCHILLING, J.-G. The mean composition of ocean ridge basalts. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 14, 3 (2013), 489–518.
- [26] GAMA-CASTRO J.E., P.-M. S., AND R., A.-M. J. Estudio edafológico en la sierra la primavera, estado de jalisco - edafogénesis y riesgos naturales e inducidos. *Contribuciones a la Edafología Mexicana. Instituto de Geología. UNAM*, p. 1-24 (1990).
- [27] GASTIL, G., MORGAN, G. J., AND KRUMMENACHER, D. Mesozoic history of peninsular california and related areas east of the gulf of california.
- [28] GILBERT, C., E CARMICHAEL, I., AND MAHOOD, G. Volcanic stratigraphy of the guadalajara area, mexico. *Geofísica Internacional* 24, 1 (1985).
- [29] GÓMEZ-TUENA, A., MORI, L., GOLDSTEIN, S. L., AND PÉREZ-ARVIZU, O. Magmatic diversity of western mexico as a function of metamorphic transformations in the subducted oceanic plate. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75, 1 (2011), 213–241.
- [30] GÓMEZ-TUENA, A., OROZCO-ESQUIVEL, M. T., AND FERRARI, L. Igneous petrogenesis of the trans-mexican volcanic belt. *Geological Society of America Special Papers* 422 (2007), 129–181.
- [31] GREEN, T., BLUNDY, J., ADAM, J., AND YAXLEY, G. Sims determination of trace element partition coefficients between garnet, clinopyroxene and hydrous basaltic liquids at 2–7.5 gpa and 1080–1200 c. *Lithos* 53, 3-4 (2000), 165–187.
- [32] HOFMANN, A. Sampling mantle heterogeneity through oceanic basalts: isotopes and trace elements. *Treatise on geochemistry* 2 (2003), 568.
- [33] INMAN, D. L. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Research* 22, 3 (1952), 125–145.
- [34] IRVINE, T., AND BARAGAR, W. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences* 8, 5 (1971), 523–548.

- [35] JAFFEY, A., FLYNN, K., GLENDEENIN, L., BENTLEY, W. T., AND ESSLING, A. Precision measurement of half-lives and specific activities of u 235 and u 238. *Physical review C* 4, 5 (1971), 1889.
- [36] KENNEDY, J., ROARK, E., CANNARIATO, K., INGRAM, B., AND TADA, R. 21. latest quaternary paleoclimatic and radiocarbon chronology, hole 1017e, southern california margin1. In *Ocean Drill. Program, Sci. Results* (2000), vol. 167, pp. 249–254.
- [37] KÖHLER, H., SCHAAF, P., MÜLLER-SOHNIES, D., EMMERMANN, R., W NEGENDANK, J., AND J TOBSCHALL, H. Geochronological and geochemical investigations on plutonic rocks from the complex of puerto vallarta, sierra madre del sur. *Geofísica Internacional* 27, 4 (1988).
- [38] LANGE, R. A., AND CARMICHAEL, I. S. A potassic volcanic front in western mexico: The lamprophyric and related lavas of san sebastian. *Geological Society of America Bulletin* 103, 7 (1991), 928–940.
- [39] LARA, A. U. C. Evolución del domo san miguel, campo volcánico la primavera, jalisco, méxico. estudio de estratigrafía y géoquímica. Master's thesis, Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, 2015.
- [40] LASSITER, J. C., AND LUHR, J. F. Osmium abundance and isotope variations in mafic mexican volcanic rocks: evidence for crustal contamination and constraints on the geochemical behavior of osmium during partial melting and fractional crystallization. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 2, 3 (2001).
- [41] LEHNERT, K., SU, Y., LANGMUIR, C., SARVAS, B., AND NOHL, U. A global geochemical database structure for rocks. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1, 5 (2000).
- [42] LUDWIG, K. R. User's manual for isoplot 3.00, a geochronological toolkit for microsoft excel. *Berkeley Geochronl. Cent. Spec. Publ.* 4 (2003), 25–32.
- [43] LUHR, J., AND LAZAAR, P. The southern guadalajara volcanic chain, jalisco, mexico. *Geofísica Internacional* 24, 4 (1985).
- [44] LUHR, J. F. Extensional tectonics and the diverse primitive volcanic rocks in the western mexican volcanic belt. *The Canadian Mineralogist* 35, 2 (1997), 473–500.

- [45] LUHR, J. F., ALLAN, J. F., CARMICHAEL, I. S., NELSON, S. A., AND HASENAKA, T. Primitive calc-alkaline and alkaline rock types from the western mexican volcanic belt. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 94, B4 (1989), 4515–4530.
- [46] LUHR, J. F., NELSON, S. A., ALLAN, J. F., AND CARMICHAEL, I. S. E. Active rifting in southwestern mexico: Manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump. *Geology* 13, 1 (1985), 54–57.
- [47] MACIEL-FLORES, R., AND ROSAS-ELGUERA, J. Modelo geológico y evaluación del campo geotérmico la primavera, jal., méxico. *Geofísica Internacional* 31, 4 (1992).
- [48] MAHOOD, G. A discussion of «the rio caliente ignimbrite: Analysis of a compound intraplinian ignimbrite from a major late quaternary mexican eruption» by jv wright. *Bulletin volcanologique* 46, 2 (1983), 213–216.
- [49] MAHOOD, G., GILBERT, C., AND CARMICHAEL, I. Peralkaline and metaluminous mixed-liquid ignimbrites of the guadalajara region, mexico. *Journal of volcanology and geothermal research* 25, 3-4 (1985), 259–271.
- [50] MAHOOD, G. A. A preliminary report on the comenditic dome and ash flow complex of sierra la primavera, jalisco. *Univ. Nac. Aut Mex., Inst. Geol. Revista* 1 (1977), 177–190.
- [51] MAHOOD, G. A. Geological evolution of a pleistocene rhyolitic center — sierra la primavera, jalisco, méxico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 8, 2–4 (1980), 199 – 230.
- [52] MAHOOD, G. A. Chemical evolution of a pleistocene rhyolitic center: Sierra la primavera, jalisco, mexico. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 77, 2 (1981), 129–149.
- [53] MAHOOD, G. A. A summary of the geology and petrology of the sierra la primavera, jalisco, mexico. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 86, B11 (1981), 10137–10152.

- [54] MAHOOD, G. A., AND HALLIDAY, A. N. Generation of high-silica rhyolite: a nd, sr, and o isotopic study of sierra la primavera, mexican neovolcanic belt. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 100, 2 (1988), 183–191.
- [55] MAHOOD, G. A., TRUESDELL, A. H., ET AL. A reconnaissance geochemical study of la primavera geothermal area, jalisco, mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 16, 3-4 (1983), 247–261.
- [56] MAHOOD, G., G. A., AND DRAKE, R. E. K-ar dating young rhyolitic rocks: A case study of the sierra la primavera, jalisco, mexico. *Geological Society of America Bulletin* 93, 12 (1982), 1232–1241.
- [57] MALDONADO-SÁNCHEZ, G., AND SCHAAF, P. Geochemical and isotope data from the acatlán volcanic field, western trans-mexican volcanic belt: origin and evolution. *Lithos* 82, 3-4 (2005), 455–470.
- [58] MANEA, V. C., AND MANEA, M. Flat-slab thermal structure and evolution beneath central mexico. *Pure and Applied Geophysics* 168, 8-9 (2011), 1475–1487.
- [59] McDONOUGH, W. F., AND SUN, S.-S. The composition of the earth. *Chemical geology* 120, 3-4 (1995), 223–253.
- [60] McDOWELL, F. W., AND CLABAUGH, S. E. Ignimbrites of the sierra madre occidental and their relation to the tectonic history of western mexico. *Geological Society of America Special Paper* 180 (1979), 113–124.
- [61] McDOWELL, F. W., AND KEIZER, R. P. Timing of mid-tertiary volcanism in the sierra madre occidental between durango city and mazatlán, mexico. *Geological Society of America Bulletin* 88, 10 (1977), 1479–1487.
- [62] McDOWELL, F. W., AND MAUGER, R. L. K-ar and u-pb zircon chronology of late cretaceous and tertiary magmatism in central chihuahua state, mexico. *Geological Society of America Bulletin* 106, 1 (1994), 118–132.
- [63] MOLINA, A. I., HONDA, M., EL-QADY, G., AND USHIJIMA, K. Exploration of the geothermal reservoir of cerritos colorados, jal., mexico, using 1-d and 2-d inversion of resistivity data. *Geotermia* (2006), 2.
- [64] MOORE, G., MARONE, C., CARMICHAEL, I. S., AND RENNE, P. Basaltic volcanism and extension near the intersection of the sierra madre volcanic

- province and the mexican volcanic belt. *Geological Society of America Bulletin* 106, 3 (1994), 383–394.
- [65] MURILLO, Z. S. T. Génesis y mecanismos de emplazamiento de la pómez gigante de la caldera de la primavera, jalisco (master thesis). Master's thesis, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2017.
- [66] MURPHY, M. D., SPARKS, R. S. J., BARCLAY, J., CARROLL, M. R., LEJEUNE, A.-M., BREWER, T. S., MACDONALD, R., BLACK, S., AND YOUNG, S. The role of magma mixing in triggering the current eruption at the soufriere hills volcano, montserrat, west indies. *Geophysical Research Letters* 25, 18 (1998), 3433–3436.
- [67] NIETO, J., DELGADO, L., AND DAMON, P. Geochronologic, petrologic, and structural data related to large morphologic features between the sierra madre occidental and the mexican volcanic belt. *Geofísica Internacional* 24, 4 (1985).
- [68] NIETO OBREGÓN, J. Relaciones petrológicas y geocronológicas del magmatismo de la sierra madre occidental y el eje neovolcánico en nayarit, jalisco y zacatecas. *Asoc. Ing. Min. Met. Geol. Mex. Memoria XIV Conv. Nac.* (1981), 327–361.
- [69] NIETO-SAMANIEGO, Á. F., FERRARI, L., ALANIZ-ALVAREZ, S. A., LABARTHE-HERNÁNDEZ, G., AND ROSAS-ELGUERA, J. Variation of cenozoic extension and volcanism across the southern sierra madre occidental volcanic province, mexico. *Geological Society of America Bulletin* 111, 3 (1999), 347–363.
- [70] ORTIZ, N. A. E. A. Edad y genesis del domo "el chapulin", caldera de la primavera, jalisco, méxico (bachelor thesis). Master's thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, 2018.
- [71] OWNBY, S. E., LANGE, R. A., AND HALL, C. M. The eruptive history of the mascot volcanic field, western mexico: Age and volume constraints on the origin of andesite among a diverse suite of lamprophyric and calc-alkaline lavas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177, 4 (2008), 1077–1091.
- [72] PALLISTER, J. S., HOBLITT, R. P., AND REYES, A. G. A basalt trigger for the 1991 eruptions of pinatubo volcano? *Nature* 356, 6368 (1992), 426–428.

- [73] PATON, C., HELLSTROM, J., PAUL, B., WOODHEAD, J., AND HERGT, J. Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 26, 12 (2011), 2508–2518.
- [74] PECCERILLO, A., AND TAYLOR, S. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the kastamonu area, northern turkey. *Contributions to mineralogy and petrology* 58, 1 (1976), 63–81.
- [75] PETRONE, C. M., FRANCALANCI, L., CARLSON, R. W., FERRARI, L., AND CONTICELLI, S. Unusual coexistence of subduction-related and intraplate-type magmatism: Sr, Nd and Pb isotope and trace element data from the magmatism of the san pedro-ceboruco graben (nayarit, mexico). *Chemical Geology* 193, 1-2 (2003), 1–24.
- [76] RIGHTER, K., CARMICHAEL, I. S., BECKER, T. A., AND RENNE, P. R. Pliocene-quaternary volcanism and faulting at the intersection of the gulf of california and the mexican volcanic belt. *Geological Society of America Bulletin* 107, 6 (1995), 612–626.
- [77] ROMERO, J. E. B. Análisis geológico y petrológico de los domos volcánicos pre-caldera la primavera (cvlp), jalisco, méxico (bachelor thesis). Master's thesis, Universidad Autónoma de Guerrero, 2017.
- [78] ROSAS-ELGUERA, J., VILLA, J., MEDINA, O., AND CHACON, F. Comportamiento del boro en los pozos pr-9, 10, 11 y 12 del campo geotérmico la primavera, jal. In *second internal meeting on geology and reservoir engineering in geothermics, Comisión Federal Electricidad (Mexico)* (1988).
- [79] ROSAS-ELGUKRA, J., FERRARI, L., MARTINEZ, M. L., AND URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. Stratigraphy and tectonics of the guadalajara region and triple-junction area, western mexico. *International Geology Review* 39, 2 (1997), 125–140.
- [80] ROSSOTTI, A., FERRARI, L., LÓPEZ MARTÍNEZ, M., AND ROSAS ELGUERA, J. Geology of the boundary between the sierra madre occidental and the trans-mexican volcanic belt in the guadalajara region, western mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 19, 1 (2002).

- [81] SALTERS, V. J., AND LONGHI, J. Trace element partitioning during the initial stages of melting beneath mid-ocean ridges. *Earth and Planetary Science Letters* 166, 1-2 (1999), 15–30.
- [82] SANTOYO-GUTIÉRREZ, S., GARCÍA, A., MORALES, M., PEREZ YERA, J., AND ROSAS, A. Applied technology in the solution of geothermal drilling problems of deep wells in la primavera caldera (mexico). *Journal of volcanology and geothermal research* 47, 1-2 (1991), 195–208.
- [83] SAVOV, I. P., LUHR, J. F., AND NAVARRO-OCHOA, C. Petrology and geochemistry of lava and ash erupted from volcán colima, mexico, during 1998–2005. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 174, 4 (2008), 241–256.
- [84] SHAND, S. J. *Eruptive rocks: their genesis, composition, and classification, with a chapter on meteorites*. J. Wiley & sons, Incorporated, 1943.
- [85] SOHN, Y. K., AND CHOUGH, S. K. Depositional processes of the suwolbong tuff ring, cheju island (korea). *Sedimentology* 36, 5 (1989), 837–855.
- [86] SOLARI, L. A., GÓMEZ-TUENA, A., BERNAL, J. P., PÉREZ-ARVIZU, O., AND TANNER, M. U-pb zircon geochronology with an integrated la-icp-ms microanalytical workstation: Achievements in precision and accuracy. *Geostandards and Geoanalytical Research* 34, 1 (2010), 5–18.
- [87] SOTO, G. L., NI, J. F., GRAND, S. P., SANDVOL, E., VALENZUELA, R. W., SPEZIALE, M. G., GONZÁLEZ, J. M. G., AND REYES, T. D. Mantle flow in the rivera—cocos subduction zone. *Geophysical Journal International* 179, 2 (2009), 1004–1012.
- [88] SOURISSEAU, D., MACÍAS, J. L., TENORIO, F. G., AVELLÁN, D. R., GIRÓN, R. S., BERNAL, J. P., SALDAÑA, J. L. A., AND MURILLO, Z. T. New insights into the stratigraphy and 230th/u geochronology of the post-caldera explosive volcanism of la primavera caldera, mexico. *Journal of South American Earth Sciences* (2020), 102747.
- [89] SZAKÁCS, A. Redefining active volcanoes: a discussion. *Bulletin of volcanology* 56, 5 (1994), 321–325.

- [90] TAYLOR, S. R., AND MCLENNAN, S. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 301, 1461 (1981), 381–399.
- [91] URRUTIA FUCUGAUCHI, J., BOHNEL, H., SHURBET, D., AND CEBULL, S. Tectonic interpretation of the trans-mexican volcanic belt. discussion. reply. *Tectonophysics* 138, 2-4 (1987), 319–323.
- [92] VAZQUEZ, J. A., VELASCO, N. O., SCHMITT, A. K., BLEICK, H. A., AND STELTEN, M. E. 238u–230th dating of chevkinites in high-silica rhyolites from la primavera and yellowstone calderas. *Chemical Geology* 390 (2014), 109–118.
- [93] VERMA, S. P., AND RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, U. Temperature field distribution from cooling of a magma chamber in la primavera caldera, jalisco, mexico. *Geothermics* 26, 1 (1997), 25–42.
- [94] VERMEESCH, P. Isoplotr: A free and open toolbox for geochronology. *Geoscience Frontiers* 9, 5 (2018), 1479–1493.
- [95] WALKER, G. P. L., WRIGHT, J. V., CLOUGH, B. J., AND BOOTH, B. Pyroclastic geology of the rhyolitic volcano of la primavera, mexico. *Geologische Rundschau* 70, 3 (Oct 1981), 1100–1118.
- [96] WALLACE, P., AND CARMICHAEL, I. S. Minette lavas and associated leucitites from the western front of the mexican volcanic belt: petrology, chemistry, and origin. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 103, 4 (1989), 470–492.
- [97] WALLACE, P., AND CARMICHAEL, S. Alkaline and calc-alkaline lavas near los volcanes, jalisco, mexico: geochemical diversity and its significance in volcanic arcs. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 111, 4 (1992), 423–439.
- [98] WATKINS, N. D., GUNN, B. M., BAKSI, A. K., YORK, D., AND ADE-HALL, J. Paleomagnetism, geochemistry, and potassium-argon ages of the rio grande de santiago volcanics, central mexico. *Geological Society of America Bulletin* 82, 7 (1971), 1955–1968.

- [99] WEYER, S., MÜNKER, C., AND MEZGER, K. Nb/ta, zr/hf and ree in the depleted mantle: implications for the differentiation history of the crust–mantle system. *Earth and Planetary Science Letters* 205, 3-4 (2003), 309–324.
- [100] WRIGHT, J. Reply to «a discussion of the rio caliente ignimbrite: Analysis of a compound intraplinian ignimbrite from a major late quaternary mexican eruption» by ga mahood. *Bulletin Volcanologique* 46, 2 (1983), 217–221.
- [101] WRIGHT, J. V., AND WALKER, G. P. Eruption, transport and deposition of ignimbrite: a case study from mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 9, 2-3 (1981), 111–131.
- [102] YANG, T., GRAND, S. P., WILSON, D., GUZMAN-SPEZIALE, M., GOMEZ-GONZALEZ, J. M., DOMINGUEZ-REYES, T., AND NI, J. Seismic structure beneath the rivera subduction zone from finite-frequency seismic tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 114, B1 (2009).
- [103] YOKOYAMA, I., AND MENA, M. Structure of la primavera caldera, jalisco, mexico, deduced from gravity anomalies and drilling results. *Journal of volcanology and geothermal research* 47, 1-2 (1991), 183–193.
- [104] ZIMMERMANN, J.-L., STUSSI, J.-M., PARTIDA, E. G., AND ARNOLD, M. K-ar evidence for age and compositional zoning in the puerto vallarta-río santiago batholith (jalisco, mexico). *Journal of South American Earth Sciences* 1, 3 (1988), 267–274.

Apéndice A: Metodología

x	y	z	Afloramientos
656889	2280033	1801	LP15102
656363	2280300	1850	LP15103
655677	2280474	1914	LP15101
653064	2284518	1952	LP1512
660538	2286425	1681	PMV14-417
652876	2284749	1952	LP1513
641705	2276073	1526	LP15104
655384	2272177	1655	PMV27-14
653658	2285325	1885	LP15110

TABLA A.1: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2015.

x	y	z	Afloramientos
652903	2278509		PR1637
652593	2278327		PR1638
652577	2278369	2141	PR1638
652460	2278431	2175	PR1640
651866	2278131	2250	PR1641
652688	2278912	2080	LP15113
648490	2277542	1804	LP15114
655978	2273317	1670	LP15115/PMV2215
655061	2275101		LP15117/PMV3615
648499	2277545		LP15118
648486	2277508		LP15118
648522	2277432		LP15118
648610	2277629		LP15119
648610	2277691		LP15120
648610	2277796		LP15121
648610	2277883		LP15122
648676	2278001		LP15123
648676	2278162		LP15124
651267	2284659	1807	LP15125
650486	2286005	1702	LP15126
650451	2286085	1700	LP15127
650306	2286466	1625	LP15128
650080	2286614	1690	LP15129

TABLA A.2: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2016.

X	Y	Z	Afloramientos
649918	2287005	1680	LP15130/PR1656
650974	2285535		LP15131/PR1661
650398	2289502	1655	LP15132
650546	2289473		LP15133
650589	2289475	1675	LP15134/PZ35
650919	2289557		LP15135
651038	2289445		LP15136
651054	2289536		LP15137
643011	2286684	1490	LP15138/PR1667
651138	2289613	1745	PZ32
650695	2288861	1754	LP17139/PCE7
650695	2288863	1770	LP17140/PCE22
651498	2288637		LP17143
652697	2291219	1707	LP17144/PCE13
653744	2282573		PCE14
653555	2284460		LP17145
654265	2283937		LP17146
654392	2283774	1893	LP17147
655166	2284985	1964	PCE15
655098	2286010	2039	LP17148/LPZ62
644582	2288337		PR1602
654719	2277167	2002	LP17149/PMV47
654591	2277254	2025	LP17150
654436	2277201	2037	LP17151
654514	2277186	2035	LP17152
655268	2276180		LP17153
655297	2275961	1825	LP17154
655437	2275956	1822	LP17155
653702	2288218	2019	LP17156/PCE24/LP10
654549	2286767	2091	LP17158/PCE25

TABLA A.3: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
654856	2282113	1929	LP17160/debut naranja
654930	2282572	1929	LP17161/lacustre?
654974	2282650	1915	LP17162/lacustre?
654998	2282964	1915	LP17163/lacustre?
654943	2283195	1914	LP17164/lacustre?
654938	2283265	1932	LP17165/debut naranja
654953	2283365	1925	LP17167/debut naranja
654962	2283379	1927	LP17168/debut naranja
654999	2283480	1915	LP17169
654287	2280149	1920	LP17170
653468	2279664	2004	LP17171
652118	2280134	1998	LP17172
652002	2280009	1982	LP17173
651505	2279699	1987	LP17174
651450	2279718	1977	LP17175
651405	2279715	1968	
651296	2279712	1955	
651022	2279736	1940	LP17176
650156	2280006	1891	LP17177
649708	2280282	1846	LP17178
649753	2279892	1979	LP17179
649752	2279738	1875	LP17180
649684	2279667	1892	LP17181
649619	2279428	1880	LP17182
649036	2279370	1840	LP17183
648250	2278998	1835	LP17184
648315	2278935	1844	LP17185
648374	2278843	1857	LP17186
648037	2278980	1830	LP17187
648015	2278966	1842	LP17188
647931	2278956	1830	LP17189
647494	2278693	1848	LP17190
647338	2278499	1839	LP17191
647938	2277550	1790	LP17192
648148	2276881	1772	LP17193
648224	2276733	1756	LP17194
648150	2276882	1787	LP17195
			LP17196
647457	2277989	1795	LP17197
647432	2278157	1807	LP17198
647364	2278245	1815	LP17199
647310	2278365	1822	LP17200
647783	2278852	1832	

TABLA A.4: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
649333	2271806	1540	LP17201
643980	2271991	1526	LP17202
644729	2274056	1545	LP17203
645182	2274402	1548	LP17204
645363	2274788	1572	LP17205
645274	2274587	1571	LP17206
645430	2274812	1567	LP17207
645513	2275278	1570	LP17208
645556	2275196	1580	LP17209
646627	2275608	1617	
646746	2275598	1622	LP17210
646755	2275575	1608	LP17211
646793	2275441	1621	LP17212
643981	2271636	1503	
643283	2270216	1485	
643198	2269899	1484	
642896	2274395	1530	LP17213
642903	2274548	1545	LP17214
642854	2274520	1537	LP17215
642740	2274437	1519	LP17216
642795	2274833	1528	LP17217
642525	2275253	1517	LP17218
642588	2275149	1518	LP17219
642671	2275242	1504	LP17220
642718	2275236	1516	LP17221
642646	2275152	1506	LP17222
642553	2275116	1496	LP17224
653913	2284167	1905	LP17225
653870	2284319	1855	LP17226
653688	2284416	1843	LP17227
653751	2284365		LP17228
653812	2284369	1824	LP17229
653861	2284337	1857	LP17230 / naranja
653898	2284279	1863	LP17231 / naranja
653587	2284483	1828	LP17232
653080	2284883	1833	LP17233
653023	2284902	1805	LP17234
652949	2284820	1833	LP17235
652901	2284786	1826	LP17236
652906	2284736	1826	
652955	2284656	1841	
653040	2284607	1839	

TABLA A.5: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
653062	2284590	1847	
653131	2284544	1851	
653139	2284529	1856	
653111	2283702	1899	LP17237
653038	2284988	1794	LP17238
653057	2284999	1823	LP17239
653110	2285175		LP17240
653504	2284745	1855	LP17241
653569	2284807	1858	
654026	2284900	1892	LP17242
654207	2284812	1887	LP17243
654311	2284911	1898	LP17244
654276	2284849	1891	LP17245
654080	2284970	1902	LP17246
654050	2284931	1890	LP17247
653964	2284879	1901	LP17248
653399	2284830	1819	LP17249
653384	2284840	1825	LP17250
653359	2284796	1811	LP17251
653359	2284796	1801	LP17252
653456	2284540	1837	LP17253
653923	2284222	1883	LP17254
653920	2284162	1876	LP17255
654661	2284218	1908	LP17255
654468	2284339	1886	LP17256
655040	2284314	1909	LP17257
655033	2284374	1901	LP17258
655021	2284460	1918	
655025	2284418	1907	
655163	2284986	1967	LP17260
655144	2285009	1962	
655296	2284938	1969	LP17261
655312	2284857	1989	LP17262
655367	2284894	1988	LP17263
655251	2285014	2012	LP17264
655274	2285108	2013	LP17265
655212	2285446	2030	LP17266
655140	2285853	2036	LP17267
655142	2285937	2036	LP17268
655137	2285955	2034	LP17269
655128	2285970	2031	LP17270
655041	2285994	2028	LP17271
654910	2285954	2029	LP17272

TABLA A.6: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

X	Y	Z	Afloramientos
654823	2285974	2056	LP17273
654874	2285996	2050	LP17274
654752	2285962	2053	LP17275
654738	2286037	2077	LP17276
654603	2286568	2094	LP17277
654582	2286631	2087	LP17278
647402	2283399	1867	LP17279
647337	2283570	1848	LP17280
647637	2283303	1877	LP17281
647967	2283219	1918	LP17282
648352	2283084	1928	LP17283
648373	2282999	1912	
648411	2282861	1918	
648480	2282835	1892	LP17284
650021	2280758	1886	
650104	2280632	1864	LP17285
650114	2280534	1873	
650103	2280630	1872	
650136	2280588	1875	PR1725
650234	228049	1887	LP17286
650432	2280412	1904	LP17287
650660	2280361	1916	LP17288
650673	2280356	1912	LP17289
650683	2280358	1913	LP17290
650898	2280306	1935	LP17291
650889	2280309	1922	LP17291
651054	2280282	1959	LP17292
651143	2280302	1934	LP17293
651370	2280149	1952	LP17294
651443	2280093	1952	
651749	2279891	1988	LP17295
650652	2280435	1926	LP17296
650824	2280700	1939	LP17297
650811	2280705	1941	LP17298

TABLA A .7: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
649911	2281153	1852	
650085	2281012	1869	LP17299
650527	2280961	1935	LP17301
650358	2280926	1889	LP17302
650273	2281004	1803	LP17302
650236	2280926	1919	
650184	2280938	1878	LP17303
650148	2280939	1883	
650617	2280929	1937	LP17304
650774	2280793	1942	LP17305
650853	2280799	1945	LP17306
650867	2280802	1949	LP17307
650114	2280985	1874	LP17308
652129	2280935	1437	LP17309
651858	2281119	2012	LP17310
651870	2281008	2002	LP17310
651899	2281079	2012	LP17310
652006	2281002	1994	LP17310
652096	2281014	1984	LP17311
652115	2280989	1983	LP17312
651868	2280208	1992	LP17313
652010	2279982	2015	LP17314
652015	2279994	2000	LP17314
651754	2280737	1999	LP17315
651766	2280804	2009	LP17316
651681	2280773	2010	LP17318
651554	2280829	1985	LP17319
651536	2280834	1991	LP17319
651465	2280824	1993	LP17320
651442	2280818	1986	LP17321
651394	2280823	1995	LP17322
651362	2280795	1985	LP17322
651111	2280716	1958	LP17323
651095	2280715	1955	LP17324
651027	2280730	1957	LP17325
654446	2281256	1956	LP17326
654668	2281555	1931	LP17326

TABLA A.8: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

X	Y	Z	Afloramientos
655010	2283102		LP17327
654979	2282516		LP17328
654981	2283389		fin LP17329
654978	2283403		
654954	2283347		
654942	2283302		101C
654932	2283250		lacustre / fin lago
654941	2283264		caida naranja
654931	2283222		lacustre
654939	2283198		lahar
654933	2283193		menos naranja
654923	2283130		naranja
654930	2283143	1902	fin naranja - inicio lacustre
654965	2283163		flujos naranjas
654998	2283250		flujo en lacustre
655013	2283165		LP17329 flujos
655061	2275101		LP15117/PMV1536
648738	2282719		LP17331
650383	2281501		LP17332/PR1750
652474	2281198		LP17333/PR1751
652595	2281365		LP17334
652969	2281543		LP17335
653339	2281756		LP17336
653395	2281722		LP17337
653411	2281727		
653377	2281738		LP17337
653461	2281738		LP17338
653550	2281706		LP17339
653625	2281673		LP17340
652602	2280966		LP17341
653168	2279493		LP17342
652836	2278647		LP15112
652891	2278519		LP17343
652853	2278418		LP17344
652654	2278404		LP17345
652602	2278317		LP17346
652574	2278318		LP17347
652544	2278412		LP17348
652449	2278738		LP17349
652434	2278450		LP17349
652213	2278390		LP17350
652162	2278452		LP17351

TABLA A.9: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

X	Y	Z	Afloramientos
652319	2278569		LP17352
652323	2278600		LP17353
652265	2278639		LP17354
652075	2278454		LP17355
652053	2278386		LP17356
651999	2278288		LP17357
651891	2278261		LP17358
651822	2278195		LP17359
651948	2278137		LP17360
652092	2278161		LP17361
652289	2278128		LP17362
652326	2278115		LP17363
652485	2278076		LP17364
652753	2278066		LP17365
651862	22777792		LP17366
651817	2277609		LP17367
651828	2277605		LP17368/PR1755/Muestra
652678	2278707		LP17369
652692	2278877		LP17370
652680	2278930		LP17371
652668	2279017		LP17372
652715	2279180		LP17373
652702	2279275		LP17374
652548	2281665		LP17375
652786	2281806		LP17376
652965	2281870		LP17377
652868	2281959		LP17378
652968	2282102		LP17378bis
653053	2282210		LP17379
653165	2282340		LP17380
653142	2282123		LP17381
652955	2281554		LP17382
654334	2280666		LP17383
654370	2280710		LP17384
654969	2282620		LP17385
654981	2283251		LP17386
660377	2286562		LP17387
654341	2283699	1883	LP17388/Victor

TABLA A.10: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
654341	2283699		LP17388
654995	2283187		LP17389
654976	2283168		LP17390
654346	2283800		LP17400
654465	2283733		LP17400
654513	2283730		LP17414
654494	2283718		
654465	2283742		
654396	2283780		
654374	2283789		LP17414
654338	2283816		LP17401
654293	2283841		LP17401
654290	2283839		LP17403 (fin lago)
654287	2283967		lava gris
654208	2283959		oleadas
654242	2283902		LP17404
654256	2283816		LP17405
654215	2283787		Victor?
653961	2284054		LP17406
653965	2284006		LP17406
653893	2284141		LP17407
653923	2284257		LP17408
653896	2284282		LP17409
653884	2284321		LP17409
653857	2284338		LP17410
653853	2284359		LP17411
653889	2284286		LP17412
653842	2284350		Naranja
653805	2284365		Naranja
653753	2284380		flujo
653740	2284387		flujo
653704	2284442		pozo cfe / flujos
653643	2284421		foto
653584	2284494		LP17412/PG
653462	2284542		LP17413
656141	2280476		LP17415
655694	2280558		LP17416

TABLA A.11: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
647111	2284883	1782	LP17417
644644	2286308	1554	LP17418
643600	2284926	1504	LP17419
644097	2282817	1535	LP17420
643877	2282234	1574	LP17421
648744	2282068		LP17422
648753	2282069	1851	LP17422
649297	2282191	1858	
648109	2279001	1843	
646730	2279905	1996	
646394	2280244	2021	LP17423
646193	2280196	2024	LP17424
646033	2280162	2038	LP17425
646072	2279921	2056	LP17426
645918	2279622	2063	LP17427
646004	2279454	2073	LP17427(2)
645907	2279297	2076	LP17428
646068	2279205	2091	LP17429
646088	2279195	2093	LP17430
646116	2279162	2098	LP17431
646145	2279138	2102	LP17432
646130	2279012	2112	LP17433
645889	2279041	2134	LP17434
646070	2279045	2114	LP17435
645973	2279244	2082	LP17436
645948	2279922	2050	LP17437
646396	2280246	2021	LP17438
646737	2280863	1998	LP17439
646813	2280872	1994	LP17440
646867	2280855	1989	LP17441
647067	2280668	1957	LP17442
647110	2280569	1945	LP17443
646665	2277138	1796	LP17443bis
646587	2277099	1819	LP17444
646500	2277116	1830	LP17445
646823	2277256	1752	LP17446
647677	2277653	1808	LP17447
647309	2278368	1833	LP17448
647348	2278518	1838	LP17449
647822	2278885	1845	LP17450

TABLA A.12: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
660974	2277879	1794	LP17451
641060	2269386		LP17452
648909	2273624	1596	LP17453
652183	2270834	1579	LP17454
653347	2272885	1679	LP17456
653368	2272865	1676	LP17457
653446	2272945	1674	LP17458
654119	2273040	1683	LP17459
654552	2273131	1697	LP17460
654646	2273313	1696	
654834	2274132	1741	LP17461
655093	2274806	1740	LP17462
655477	2274901	1724	LP17463
655610	2274951	1718	LP17464
656840	2276136	1722	LP17465
655829	2284436	1858	LP17466/lago inf PG
656791	2285246	1833	LP17467
656880	2285460	1831	LP17468/CHA1713
656791	2285779	1880	LP17469/CHA1714
656988	2285925	1947	LP17470
657138	2286273	1994	LP17471
657214	2286747	1981	
656796	2286907	1988	
656304	2287345	1853	LP17472/CHA1716
656285	2287124	1859	LP17473/CHA1717
657237	2277426	1640	LP17474
657210	2277577	1651	LP17475
657211	2277584	1654	LP17476
657204	2277623	1658	
657336	2277785	1664	LP17477
657357	2277801	1640	LP17478
657427	2277825	1639	LP17479
657457	2277828	1642	LP17480
657496	2277838	1651	LP17481
657522	2277846	1662	LP17482
657569	2277867	1667	LP17483
657668	2277893	1658	LP17484
657750	2277938	1656	LP17485
657829	2277947	1660	LP17486
658325	2289154	1341	LP17487

TABLA A.13: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2017.

x	y	z	Afloramientos
654931	2283222	1894	LP17329_2018
653468	2279664	2004	LP17171
653307	2279688	1997	Flujos Pla
652980	2279814	1998	Flujos Pla
650697	2279939	1921	Flujos Pla
649768	2280277	1860	LP17488
649515	2280207	1861	LP17489
649665	2279646	1875	LP17490
649617	2279451	1864	LP17491
649566	2279378	1860	LP17492
649275	2279410	1848	LP17493
649044	2279375	1836	LP17494
648320	2279031	1820	
650171	2280230	1757	LP18495
649903	2281017	1825	LP18496
649702	2281268	1824	LP18497
649585	2281233	1844	LP18498
648789	2281682	1871	LP18499
648785	2281748	1862	LP18500
648140	2281444	1891	LP18501
648184	2281309	1913	LP18502
647900	2281234	1918	LP18503
647885	2281218	1930	LP18506
647881	2281163	1912	LP18504
649370	2281637	1867	LP18505
650993	2285483	1770	LP18507
651257	2279687	1950	LP18508
651013	2279703	1930	LP18509
650765	2279427	1945	LP18510
650669	2279265	1964	
650980	2279290	2002	
650631	2279275	1963	
650791	2279507	1942	LP18511
650884	2279547	1937	LP18512
650987	2279562	1930	LP18513
651103	2279573	1923	LP18514
651191	2279578	1919	LP18515
651108	2279630	1909	LP18516
650958	2279670	1922	

TABLA A.14: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.

X	Y	Z	Afloramientos
655231	2280593	1942	LP18517
654940	2283059	1882	LP18518
654128	2284391	1875	LP18519
654347	2284165	1887	LP18520
654012	2283868	1888	LP18521
653717	2283658	1888	LP18522
653140	2284530	1849	panorama
653037	2285322	1805	LP18523
653123	2285207	1808	LP18524
653158	2284805	1804	LP18525
653140	2284820	1805	LP18526
653211	2284769	1803	LP18527
653365	2284688	1798	barranca foto
653390	2284840	1812	limite lacustre puro y gris
653445	2284746	1821	LP18529 fluviatiles
653473	2284711	1826	limite fluviatil y lacustre puro
653513	2284743	1837	limite lacustre puro y naranja
653503	2284766	1840	limite naranja y lahares
653548	2284813	1849	LP18530 limite lahares/caidas
653569	2284798	1852	LP18530 limite caida/retrabajo
654321	2281048	1952	
656287	2280860	1875	LP18531
656348	2280566	1908	LP18532
656348	2280566	1908	LP18533
655554	2280403	1932	LP18534
652203	2281031	1979	
652014	2281247	2010	flujos SM B
652041	2281472	2015	lava y polvo gris en camino
652053	2281336	2015	LP18535 base
652051	2281307	2017	LP18535 sup
652070	2281435	2020	lava y polvo gris en camino
651923	2281523	2022	LP18537
651869	2281543	2017	lava y pomez blanca en camino
651913	2281523	2021	pic
652315	2280956	1968	
652454	2280988	1969	
652608	2280957	1974	
652737	2280924	1976	
652854	2280383	1981	
652854	2280229	1984	
657820	2282272	1738	no camino a la cuesta
650071	2280080	1871	LP18541
650121	2280021	1894	sma
650096	2280040	1891	

TABLA A.15: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.

x	y	z	Afloramientos
648029	2278811	1855	
647887	2278822	1847	LP18542
647833	2278843	1846	
649717	2279686	1882	LP18543
649521	2280091	1866	LP18544
649987	2280203	1872	LP18545
650207	2279973	1902	?
650746	2279929	1928	?
650787	2279889	1929	?
651230	2279261	2007	fin camino Planillas
650869	2279256	1986	LP18547
650755	2279440	1947	LP18548
648334	2279064	1808	LP18549
648380	2279258	1810	LP18550
648407	2279350	1817	LP18551base
648384	2279367	1837	LP18551sup
648372	2279467	1849	bloques lavas
648290	2279529	1852	lava sana obs negra
648301	2279554	1856	lava en bloques
648312	2279564	1862	LP18552
648269	2279640	1883	
648273	2279707	1882	lava
647848	2279215	1797	LP18553
647682	2279145	1791	LP18554
647679	2279362	1793	LP18555
648277	2279648	1882	Torre 1 SM
648206	2279905	1854	LP18556 base
648205	2279942	1864	LP18556 top
648124	2279975	1868	LP18557 lava barranca
648058	2280003	1878	LP18558 lava
647933	2280094	1898	parte sup domo de lava ???
647831	2280338	1894	
647831	2280504	1919	parte sup lava en camino
647788	2280535	1928	LP18559
647848	2280947	1927	
647942	2280991	1918	Torre 3 SM
647998	2280963	1918	LP18560
647770	2281028	1921	LP18561 (=504)
647891	2281234	1920	
647944	2281197	1907	LP18562 base
647964	2281210	1919	LP18562 top
648139	2280245	1889	Torre 2 SM
648118	2280018	1855	Lava en barranca

TABLA A.16: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.

x	y	z	Afloramientos
648787	2281901	1872	LP18563
648771	2282217	1827	LP18564
648741	2282110	1836	LP18565
644498	2286769	1540	LP18566
658639	2270095	1624	LP18567
649064	2279390	1838	LP18568
649074	2279372	1844	LP18568
647120	2280536	1919	LP18569
646322	2280246	2009	LP18570
645553	2279833	2007	LP18571
646380	2281209	1962	LP18572
646331	2281246	1944	LP18573
647668	2279194	1796	camino
650995	2279563	1930	LP18574
649611	2279463	1866	LP18575
650420	2289075	1730	LP18576
650433	2289227	1730	Pozo CFE
650487	2290107	1741	LP18577/Muestra
651980	2290287	1725	LP18578
652661	2292427	1681	LP18579/Muestra
655054	2292452	1663	LP18580/Muestra
656753	2291359	1682	LP18581/Muestra
652168	2293432	1631	LP18582
652700	2293670	1630	LP18583
653331	2293821	1658	LP18584
652051	2293546	1651	LP18585
653210	2296431	1665	LP18586
652097	2293433	1637	LP18587
643317	2290865	1492	LP18588/Muestra
643799	2289988	1480	LP18589
645255	2287604	1518	LP18590/Muestra
647350	2291900	1538	LP18591
646972	2292074	1527	LP18592
646421	2291822	1507	LP18593
646156	2291615	1538	LP18594/Muestra
646028	2291626	1521	LP18595
648171	2292273	1592	LP18596
648914	2291396	1567	LP18597
648078	2290904	1598	LP18598/Muestra

TABLA A.17: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.

x	y	z	Afloramientos
647062	2286708	1513	LP18599-PJ11-12-13
647053	2286713	1516	LP18600/Muestra
647337	2286655	1510	LP18601
647181	2286561	1523	LP18602/Muestra
647129	2286674	1512	LP18603
647435	2286730	1521	LP18604
647487	2286818	1527	LP18605
647428	2286919	1572	LP18606/Muestra
648037	2287296	1528	LP18607
647972	2288911	15755	LP18608/Muestra
649096	2291245	1585	LP18609/Muestra
663940	2290217	1601	LP18610
663827	2290312	1610	LP18611
658292	2283951	1766	LP18612
658152	2284074	1792	LP18613
665583	2280416	1722	LP18614/Muestra_Dyke
665434	2280331	1716	LP18614/Muestra_Neck

TABLA A.18: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.

x	y	z	Afloramientos
647076	2284887	1717	LP17417bis
647357	2283732	1826	LP18615
647665	2283309	1859	LP18616/Muestra
648848	2282548	1854	LP18617
648246	2281983	1798	
648205	2281956	1806	
648435	2281948	1822	LP18618/Muestra
648618	2281981	1826	LP18619
651074	2279630	1922	LP18516bis
651035	2279630	1922	LP18620
650762	2279438	1953	LP18510
650761	2279468	1952	LP18621
650644	2279327	1966	LP18622
650645	2279329	1965	LP18623
650633	2279309	1969	LP18623bis
650626	2279295	1969	LP18624
650765	2279254	1985	LP18625
650790	2279248	1990	LP18626
650900	2279280	2002	LP18627
650952	2279222	1991	LP18628
652083	2278512	2216	fin
652243	2278615	2203	LP18629
652255	2278632	2205	LP18629
652287	2278634	2209	lava
652313	2278618	2206	LP18630
652323	2278607	2207	LP18631
652310	2278576	2206	LP18632/muestra
652278	2278562	2205	LP18633
652227	2278510	2204	LP18634
652206	2278394	2189	LP18635
652558	2278396	2153	LP18636
652648	2278390	2160	
652654	2278424	2156	LP18637
652770	2278407	2147	LP18638
652801	2278420	2148	LP18638bis
652798	2278428	2160	LP18639
652801	2278424	2160	LP18640
652831	2278390	2161	LP18641
652881	2278408	2147	LP18642
652887	2278551	2133	LP18643
652901	2278527	2128	LP18644
652892	2278587	2119	LP18645
652833	2278644	2109	LP18646
652720	2278632	2107	LP18647
652690	2278728	2093	LP18648
652778	2279282	2053	LP18649
652852	2279365	2044	LP18650

TABLA A.19: Coordenadas y ^{14C} de los afloramientos de 2018.

x	y	z	Afloramientos
652576	2271396	1614	LP18651
652511	2271446	1614	LP18653
652570	2271295	1612	LP18655
652671	2271328	1623	LP18656
652669	2271304	1629	LP18656bis
652902	2278108	2209	
653204	2278091	2260	
653234	2277840	2192	
653445	2277519	2146	
653511	2277459	2145	LP18657
653589	2277385	2142	LP18658
653394	2277562	2161	LP18659
653370	2277586	2165	LP18660A y B/Muestra
653205	2277888	2195	
652960	2277978	2201	
652597	2278076	2213	LP18661/Muestra
652508	2278071	2225	LP18662
652322	2278126	2230	LP18663
652167	2278149	2239	LP18664
652320	2278207	2225	
652496	2278295	2200	LP18665
652666	2278358	2175	
652726	2278360	2165	
652716	2278398	2150	
652908	2278514	2124	LP18666
647016	2279676	1802	
646800	2279730	1905	
646652	2279867	1940	
646720	2279873	1983	
646581	2280250	2007	
646543	2280283	2009	
645869	2279034	2121	LP18667/Muestra
645911	2279056	2122	LP18668
648290	2276701	1735	LP18669
648245	2276610		
648225	2276650		LP18670
654290	2283839		LP17403 (fin lago)
654287	2283967		lava gris
653445	2284746	1821	LP18529 fluviales

TABLA A.20: Coordenadas y clave de los afloramientos de 2018.

Phi	Mesh	Diameter (mm)	Grain size (Sohn & Chough. 1989)	
-6	2/1/2	64	Bloque fino	Fine-grained blocks
-5	1/1/4	32	Lapilli grueso	Coarse-grained lapili
-4	5/8	16	Lapilli grueso	Coarse-grained lapili
-3	5/16	8	Lapilli medio	Medium-grained lapili
-2	5	4	Lapilli medio	Medium-grained lapili
-1	10	2	Lapilli fino	Fine-grained lapili
0	18	1	Ceniza gruesa	Coarse-grained ash
1	35	0.2	Ceniza gruesa	Coarse-grained ash
2	60	0.25		
3	120	0.125	Ceniza media	Medium-grained ash
4	230	0.063	Ceniza media	Medium-grained ash
> 4		< 0.063	Ceniza fina	Fine-grained ash

FIGURA A.1: Clasificación de los depósitos

$\sigma \Phi$	Sorteo
0 - 1	Muy buena selección
1 - 2	Buena selección
2 - 4	Mala selección
> 4	Muy mala selección

Espesor (m)	Espesor del depósito (m)
0.01 - 0.03	Muy delgado
0.03 - 0.1	Delgado
0.1 - 0.3	Intermedio
0.3 - 1	Grueso
>1	Muy grueso

FIGURA A.2: Clasificación de los depósitos

		Granulometría	Componentes fracción 0 Phi 1 Phi	
Norte Caldera	LP18583 LP18584	X X		
Noreste de la Caldera	PMV14417C PMV14417F PMV14417H PMV14417J	X X X X		
NW Cerro Alto	LP18576B LP18576C	X X		
	LP18599Dinf LP18605B	X X		X X
Sobre Nejahuete	LP18530H LP18530I LP18530J	X X X		X X
	LP15110B	X	X	X
Sobre Chapulin	LP17471	X		
Cerca de Chapulin	LP17487/CHA1603	X		X
Sobre Pilas	LP18613	X		

TABLA A.21: Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados en la parte norte de la caldera.

		Granulometría	Componentes fracción 0 Phi 1 Phi	
Lago Sur Caldera Centro de la caldera	LP1513D LP1513F1 LP1513F2 LP1513F3 LP1513G LP1513I LP1513K LP1513L LP1513M	X X X X X X X X X	X X X X	X X X X
	LP17271	X		X
	LP17401D	X		X
Lago Sur Caldera entre Tule y CFE	LP17329K LP17329N LP17329R LP17329S LP17329U LP17329Vbis LP17329X LP17329Z LP17329AA LP17329AA3 LP17329AA4 LP17329AA6 LP17329CC LP17329DD2 LP17329EE3 LP17329FF2	X X X X X X X X X X X X X X X X		X X X X X X X X X X X X X X X X
	Victor (LP1401WM) Victor_base (LP1401WM_base)	X X		X X
Lago Norte Caldera	PZ32C LP15136 LP17144D LP17144C LP17158	X X X X X	X X X X X	X X X X X

TABLA A.22: Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados en la parte sur de la caldera.

		Granulometría	Componentes fracción	
			0 Phi	1 Phi
Sobre Cuesta	LP15101A	X	X	X
	LP15101C	X	X	X
	LP15101D1	X	X	X
	LP15101D2	X	X	X
	LP15101D3	X	X	X
	LP15101E	X	X	X
	LP15102D	X	X	X
	LP15102E	X	X	X
	LP15102F	X	X	X
	LP15102G	X	X	X
	LP15103H	X	X	X
	LP15103I	X	X	X
Sobre Culebreado	LP17289A	X		X
	LP17297D	X		X
	LP17298A	X		X
	LP17302E	X		X
	LP17302A	X		X
	LP17321B	X		X
	LP17321C	X		X
	LP17321D	X		X
	LP17314C	X		X
Sobre Tule	LP17339D	X		
	LP17339B	X		
	LP17339A	X		X
	LP17340Bbase	X		X
Entre Tule y Planillas	LP18620	X		
Sobre Pedernal	LP17283A	X		
	LP17283B	X		
	LP17417B	X		X
	LP17417Dinf	X		X
Arroyo al lado de Pedernal	LP15131/LP18507	X		

TABLA A.23: Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados sobre los domos del arco sur de la caldera.

		Granulometría	Componentes fracción 0 Phi	Componentes fracción 1 Phi
Sobre Puerta	LP18500	X		X
	LP18619B	X		X
	LP17422B	X		
	LP17422D	X		X
	LP17422E	X		
	LP17422F	X		X
	LP17422G	X		
Sobre Lava San Miguel NW	LP17425	X		
Crater San Miguel	LP17428D	X		X
Sobre Lava San Miguel SW	LP17444	X		
Sobre Lava del Polo	LP17448D	X		X
Al lado de Llano Grande	LP15118D	X		X
	LP15118L	X	X	X
	LP15118M	X		X
	LP15118N	X		X
	LP18669	X		
Entre San Miguel y Culebreado	LP18549A	X		X
	LP17489	X		X
Sur San Miguel	LP15104D	X		X
	LP15104G	X		X
	LP15104I	X		X
	LP15104J	X		X
	LP15104K	X		X
	LP17205B	X		X
	LP17211C	X		X
	LP17212A	X		X
	LP17214B	X		
	LP17216B	X		
	LP17219H	X		X
	LP17224J	X		X

TABLA A .24: Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados en la cima y alrededor del estratovolcán San Miguel.

		Granulometría	Componentes fracción 0 Phi	Componentes fracción 1 Phi
Sobre Planillas	LP17149A	X	X	
	LP17489	X		X
	LP18516	X		X
	LP18624A	X		
	LP18624E	X		
	LP18629C	X		X
	LP18638Bsup	X		X
	LP18638bisH	X		X
	LP18638bisC	X		X
	LP18649B	X		X
	LP18658Dinf	X		
Sur Avalanche Planillas	LP17452	X		
	LP17454	X		
	LP18656bisE3	X		
	LP18656bisH	X		
Sobre Tajo	LP17451A	X		
	LP17477B	X		X
	LP17478E	X		X

TABLA A .25: Granulometría y componentes de los piroclástos encontrados sobre los estratovolcanes Planillas y Tajo.

Erupción	Clave muestra	Vidrio
UM	LP15103I	X
UL	LP15103H	X
UK	LP15102F	X
UJ	LP18629C	X
UI	LP15102D	X
UG	LP15104E	X
UG	LP15104G	X
UG	LP17422F	X
UG	LP1513K	X
UF	LP18500	X
UE	LP16118M	X
UD	LP15101C	X
UC	LP1513G	X
UB	LP1513F1	X
UA	LP1401WM	X
GPU	PZ77	X
Lava Cerrito Colorado	PZ120	X

TABLA A.26: Muestras analizadas a la microsonda.

		Clave muestra	Mayores	Trazas	Isótopos
Piroclástos	UO	PMV14417Dsup	X	X	
	UN	LP17477B	X	X	
	UM	PMV3314D	X	X	
	UM	LP15103I	X	X	X
	UM	LP15103J	X	X	
	UL	LP15103H	X	X	X
	UK	LP15102F1	X	X	
	UK	LP15102F2	X	X	
	UK	LP15102G	X	X	X
	UJ	LP15102E	X	X	X
	UI	LP15102D	X	X	X
	UH	LP15118D	X	X	
	UG	LP15102C	X	X	
	UG	LP15110B	X	X	
	UG	LP17422F	X	X	X
	UG	LP15104K	X	X	
	UG	LP15104J	X	X	
	UF	LP17417B	X	X	
	UF	LP17302A	X	X	X
	UE	LP15118N	X	X	X
	UD	LP15101C	X	X	
	UD	LP17302E	X	X	X
	UC	LP1513G	X	X	
	UC	LP17401D	X	X	
	UC	LP15101A	X	X	X
	UB	LP17144C	X	X	
	UB	LP17144D	X	X	
	UB	LP1513F1	X	X	X
	UA	LP1513D	X	X	X
	GPU	PZ0			X
	PAU	PR1501D			X
Pre-caldera		PMV14417C	X	X	
Domos y lavas de estratovolcanes	Arroyo Colorado	LP17153	X	X	
	Pederal	LP17281	X	X	
	Léon	LP18590	X	X	
	Tajo parte oeste	LP17480	X	X	
	Cuate	LP18577	X	X	
	Dike La Puerta	LP18558	X	X	
	Burro	LP18598	X	X	
	Piñar de la Venta	LP18579	X	X	
	Cañon de las Flores	LP18608	X	X	
	Lobera	LP18581	X	X	
	Domo	LP18606	X	X	
	Chiquiwite	LP18594	X	X	
	Planillas colapsado	LP18660B	X	X	
	San miguel colapsado	LP18667	X	X	
Basamento	Lava pozo	PR1-600-605	X	X	
	Lava pozo	PR11-1717-1720	X	X	
	Lava pozo	PR12-2300-2303	X	X	
	Lava pozo	PR2-1358-1361	X	X	
	Cretacéo pozo	PR9- 2985	X	X	X
Cono de escoria		LP18614-2	X	X	
		LP18614-3	X	X	

TABLA A.27: Lista de muestras analizadas en roca total.

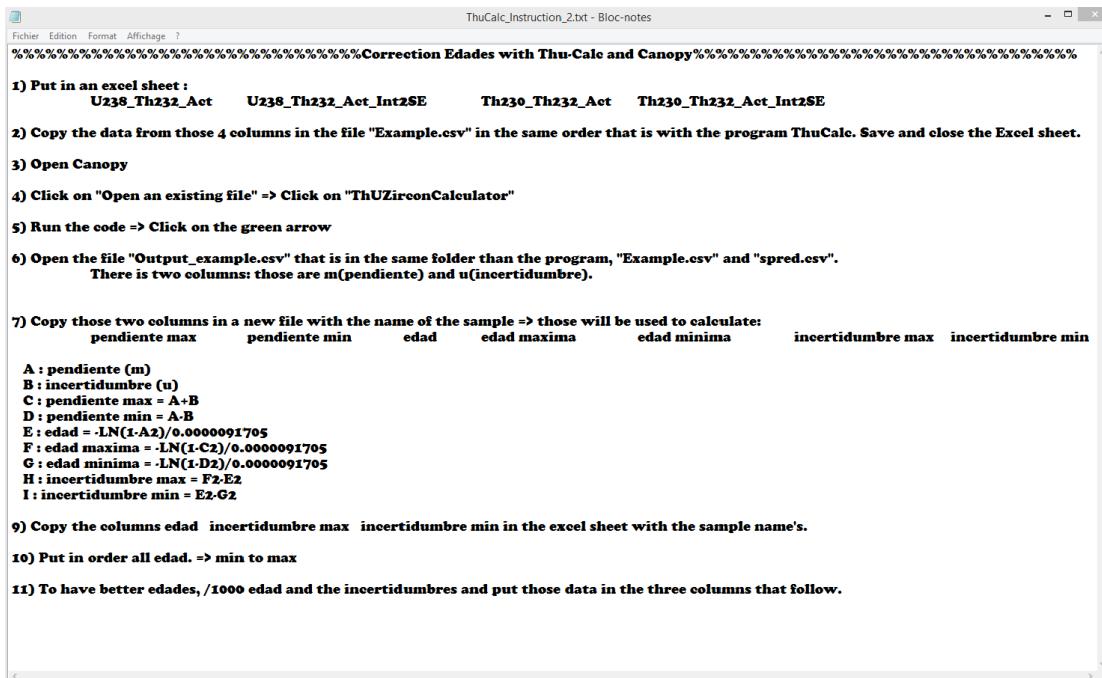


FIGURA A.3: Clasificación de los depósitos.

m =	u =	pendiente	pendiente	edad	edad	edad	incertidumbre	incertidumbre
pendiente	incertidumbre	max	min	edad	maxima	minima	max	min
7,09E-01	1,50E-01	8,59E-01	5,60E-01	134642,219	213355,0812	89404,97841	78712,86216	45237,24063
6,91E-01	3,26E-02	7,24E-01	6,59E-01	128121,203	140277,6014	117185,1004	12156,3984	10936,10263
7,07E-01	6,99E-02	7,77E-01	6,37E-01	133950,8189	163694,9443	110605,5848	29744,12545	23345,23409
6,01E-01	6,53E-02	6,66E-01	5,36E-01	100183,7584	119669,5777	83657,72448	19485,81925	16526,03397
5,04E-01	3,33E-02	5,37E-01	4,70E-01	76374,75018	83956,77767	69285,80941	7582,027484	7088,94077
6,43E-01	2,71E-02	6,70E-01	6,16E-01	112238,3687	120841,1496	104264,9294	8602,780845	7973,439397
6,86E-01	4,61E-02	7,32E-01	6,39E-01	126156,876	143447,9867	111236,0187	17291,11073	14920,85731
7,37E-01	4,46E-02	7,82E-01	6,93E-01	145733,8379	166016,9676	128638,3195	20283,12971	17095,51839
5,15E-01	3,51E-02	5,50E-01	4,80E-01	78981,14785	87176,54059	71358,86507	8195,392743	7622,282777
6,23E-01	3,61E-02	6,59E-01	5,87E-01	106334,7378	117313,618	96360,82052	10978,88027	9973,917253
6,00E-01	4,88E-02	6,49E-01	5,51E-01	99934,74359	114111,57	87390,77441	14176,82636	12543,96918
6,63E-01	4,66E-02	7,10E-01	6,17E-01	118708,855	134958,4434	104569,6423	16249,58843	14139,21271
6,31E-01	3,35E-02	6,65E-01	5,98E-01	108811,8155	119205,1541	99323,45748	10393,33861	9488,357984
5,78E-01	2,91E-02	6,07E-01	5,49E-01	94000,76105	101793,7073	86727,78599	7792,94627	7272,975064
7,32E-01	1,14E-01	8,45E-01	6,18E-01	143399,8179	203390,0464	104922,1448	59990,22842	38477,67315
6,44E-01	4,38E-02	6,88E-01	6,01E-01	112741,0332	127062,1173	100084,2907	14321,08408	12656,74251
6,94E-01	5,11E-02	7,45E-01	6,43E-01	129244,3848	149177,3619	112398,0866	19932,97713	16846,29825
5,94E-01	2,87E-02	6,23E-01	5,66E-01	98418,55008	106415,0122	90968,63033	7996,462073	7449,919747
6,29E-01	6,00E-02	6,89E-01	5,69E-01	108251,6582	127525,7145	91878,08251	19274,05631	16373,57571
5,81E-01	3,24E-02	6,13E-01	5,48E-01	94834,6709	103620,3276	86704,38968	8785,656726	8130,281218
5,62E-01	2,80E-02	5,90E-01	5,34E-01	89919,56405	97107,20442	83176,53633	7187,640364	6743,027721
5,85E-01	2,84E-02	6,13E-01	5,56E-01	95803,36466	103534,6639	88584,10994	7731,299258	7219,254724
8,16E-01	3,65E-02	8,52E-01	7,80E-01	184591,4768	208681,6387	164872,1971	24090,1619	19719,27971
7,08E-01	3,15E-02	7,39E-01	6,76E-01	134069,6503	146501,3836	122911,2679	12431,73331	11158,3824
6,45E-01	3,81E-02	6,83E-01	6,07E-01	112999,9976	125376,3583	101886,2365	12376,36068	11113,76113

FIGURA A.4: Edades modelos de la muestra LPZ10.

edad	incertidumbre		Edad	+	-
	max	min			
76374,75018	7582,027484	7088,94077	76,4	7,6	7,1
78981,14785	8195,392743	7622,282777	79,0	8,2	7,6
89919,56405	7187,640364	6743,027721	89,9	7,2	6,7
94000,76105	7792,94627	7272,975064	94,0	7,8	7,3
94834,6709	8785,656726	8130,281218	94,8	8,8	8,1
95803,36466	7731,299258	7219,254724	95,8	7,7	7,2
98418,55008	7996,462073	7449,919747	98,4	8,0	7,4
99934,74359	14176,82636	12543,96918	99,9	14,2	12,5
100183,7584	19485,81925	16526,03397	100,2	19,5	16,5
106334,7378	10978,88027	9973,917253	106,3	11,0	10,0
108251,6582	19274,05631	16373,57571	108,3	19,3	16,4
108811,8155	10393,33861	9488,357984	108,8	10,4	9,5
112238,3687	8602,780845	7973,439397	112,2	8,6	8,0
112741,0332	14321,08408	12656,74251	112,7	14,3	12,7
112999,9976	12376,36068	11113,76113	113,0	12,4	11,1
118708,855	16249,58843	14139,21271	118,7	16,2	14,1
126156,876	17291,11073	14920,85731	126,2	17,3	14,9
128121,203	12156,3984	10936,10263	128,1	12,2	10,9
129244,3848	19932,97713	16846,29825	129,2	19,9	16,8
133950,8189	29744,12545	23345,23409	134,0	29,7	23,3
134069,6503	12431,73331	11158,3824	134,1	12,4	11,2
134642,219	78712,86216	45237,24063	134,6	78,7	45,2
143399,8179	59990,22842	38477,67315	143,4	60,0	38,5
145733,8379	20283,12971	17095,51839	145,7	20,3	17,1
184591,4768	24090,1619	19719,27971	184,6	24,1	19,7

FIGURA A .5: Edades modelos de la muestra LPZ10.

Apéndice B: Resultados

x	y	Sección Tesis	Sección Artículo
658325	2289154	CHA1603	
653534	2284654	LP1502	1
655677	2280474	LP15101	19
656889	2280033	LP15102	21
656363	2280306	LP15103	22
641705	2276073	LP15104	8
648499	2277545	LP15118	12
653064	2284518	LP1512	
652876	2284749	LP1513	3
653132	2284525	LP1513	
654719	2277167	LP15149	28
652697	2291219	LP17144	7
654436	2277201	LP17151	
653702	2288218	LP17156-157	6
654549	2286767	LP17158	
647432	2278157	LP17198	
645363	2274788	LP17205	
646755	2275575	LP17211	
646793	2275441	LP17212	
642903	2274548	LP17214-215	
642740	2274437	LP17216	9
642588	2275149	LP17219	
642553	2275116	LP17224	
648352	2283084	LP17283	
651554	2280829	LP17319	
651442	2280818	LP17321	
651394	2280823	LP17322	
651536	2280834	LP17321-322	17
654939	2283198	LP17329	5
655013	2283165	LP17329	
654981	2283389	LP17329	
653550	2281706	LP17339-340	18
654340	2283694	LP17388	4 bis
654338	2283815	LP17401 - 414	4
654338	2283815	LP17401	
654290	2283839	LP17403	
654242	2283902	LP17404	
653961	2284054	LP17406	
654513	2283730	LP17414	
647111	2284883	LP17417	16
644644	2286308	LP17418	
648753	2282069	LP17422	15
645907	2279297	LP17428	10
646587	2277099	LP17444	11
655829	2284436	LP17466	
657138	2286273	LP17471	
657138	2286273	LP17471 / CHA1715B	34
657336	2277785	LP17477	29 bis
657457	2277828	LP17480	
657569	2277867	LP17482-483	29

TABLA B.1: Coordenadas de las secciones estratigráficas de La Primavera.

x	y	Sección Tesis	Sección Artículo
650171	2280230	LP17495	
648785	2281748	LP18500	
654128	2284391	LP18519	
647881	2281163	LP18504	
651108	2279630	LP18516	20
653548	2284813	LP18530	2
650075	2280080	LP18541	
647887	2278822	LP18542	
649987	2280203	LP18545	
647679	2279362	LP18555	13
648741	2282110	LP18565	15 bis
646322	2280246	LP18570	14
652700	2293670	LP18583-584	
647435	2286730	LP18604	
647487	2286818	LP18605	
658152	2284074	LP18613	
648618	2281981	LP18619	
651035	2279630	LP18620	
650645	2279329	LP18623	
650626	2279295	LP18624	
650900	2279280	LP18625-627	23
650765	2279254	LP18625	
650952	2279222	LP18628	
652255	2278632	LP18629	26 bis
652323	2278607	LP18631	
652227	2278510	LP18634-637	26
652227	2278510	LP18634	
652206	2278394	LP18635	
652770	2278407	LP18638-639	25
652831	2278390	LP18641	32
652881	2278408	LP18642	
652892	2278587	LP18645	
652892	2278587	LP18645	27
652852	2279365	LP18650	
652852	2279365	LP18650	24
652511	2271446	LP18654	
652671	2271328	LP18656	
653589	2277385	LP18658	
652597	2278076	LP18661	
652508	2278071	LP18662	
652322	2278126	LP18663	
652496	2278295	LP18665	
648290	2276701	LP18669	12 bis
653611	2284486	LPZ0	1bis
652305	2291644	LPZ91-LPZ115	
660538	2286425	PMV14417	
660538	2286425	PMV17417 / LP15111	33
655978	2273317	PMV2215	30
658545	2270160	PMV3314	31
651138	2289613	PZ32	

TABLA B.2: Coordenadas de las secciones estratigráficas de La Primavera.

Clave muestra	Φ_{16}	$Md = \Phi_{50}$	Φ_{84}	σ
LP15101A	-1,85	-0,45	0,9	1,375
LP15101C	-4,35	-2,5	-1,05	1,65
LP15101D1	-3,5	-2,45	-1,05	1,225
LP15101D2	-2,15	-0,9	0,5	1,325
LP15101D3	-1,25	-0,3	0,85	1,05
LP15101E	-2,9	-1,7	-0,45	1,225
LP15102A	-3,1	-1,6	0,35	1,725
LP15102B	-0,4	0,3	1,3	0,85
LP15102C	-3,7	-2,2	-0,85	1,425
LP15102D	-3,85	-2,45	-0,8	1,525
LP15102E	-3,3	-2	-0,45	1,425
LP15102F	-4,25	-2,45	-0,6	1,825
LP15102G	-6,7	-3,85	-1,8	2,45
LP15103H	-3,35	-1,6	0	1,675
LP15103I	-4,1	-2,9	-1,3	1,4
LP15103J	-3,85	-1,35	0,8	2,325
LP15104D	-5,25	-2,35	-0,3	2,475
LP15104E	-6,85	-3,5	-1,3	2,775
LP15104G	-4	-2,05	-0,35	1,825
LP15104H	-3,2	-2	-0,25	1,475
LP15104I	-1,05	0	0,9	0,975
LP15104J	-5,65	-3,75	-1,6	2,025
LP15104K	-3,8	-2,6	-1,15	1,325
LP1513D	-5,4	-1,1	4	4,7
LP1513F1	-2,8	-1,05	0,7	1,75
LP1513F2	-6,55	-4,9	1,25	3,9
LP1513F3	-3,5	-2,05	-0,55	1,475
LP1513G	-3,6	-2,55	-1,25	1,175
LP1513I	-3,15	-1,65	0	1,575
LP1513K	-3,4	-2,4	-1,05	1,175
LP1513M	-4,2	-2,65	-1,1	1,55
PMV27-14B	-4,15	-2,75	-1	1,575
PMV27-14C	-3,25	-1,6	-0,1	1,575
PMV27-14D	-3,25	-2,35	-1,3	0,975
LP15110B	-3,1	-2	-0,9	1,1
PMV14-417C	-3,5	-1,75	0,15	1,825
PMV14-417H	-4,05	-1,95	-0,15	1,95
PMV14-417J	-4	-2,9	-1,15	1,425
LP16118N	-3,35	-2	-0,35	1,5
LP16118L	-4,1	-3	-1,55	1,275
LP16118D	-3,65	-2	0,1	1,875
LP16118M	-5	-2,65	-0,6	2,2
LP16118B	-4,4	-2,75	0,8	2,6
LP17198	-4,3	-2,55	-0,55	1,875

TABLA B.3: Parámetros de Inman y sorteo de las muestras analizadas.

Clave muestra	Φ_{16}	$Md = \Phi_{50}$	Φ_{84}	σ
LP17144C	-2,7	-1,8	-0,6	1,05
LP17144D	-1,05	-0,05	1,1	1,075
LP17149A	-5,6	-3,7	-1,7	1,95
PZ32C	-0,7	0,2	1,25	0,975
PR1602	-2,65	-1,4	0,1	1,375
LP17205B	-2,1	-0,2	1,75	1,925
LP17211C	-4	-2,5	-0,8	1,6
LP17212A	-3,2	-2	-0,1	1,55
LP17214F	-3,4	-2,1	-0,85	1,275
LP17214B	-3,4	-2,4	-1,25	1,075
LP17214A	-3,4	-2,2	-0,7	1,35
LP17215J	-3,25	-1,6	-0,1	1,575
LP17216B	-3,55	-2,15	-0,75	1,4
LP17219H	-3,15	-1,7	-0,15	1,5
LP17224J	-4,3	-2,6	-0,9	1,7
LP17297D	-4,65	-3,65	-1,75	1,45
LP17298A	-3,8	-2,2	-0,1	1,85
LP17289A	-3	-1,2	0,7	1,85
LP17302A	-3,6	-2	-0,05	1,775
LP17302B	-2,05	-0,9	0,2	1,125
LP17302E	-3,5	-1,9	-0,25	1,625
LP17314C	-3	-1,8	-0,6	1,2
LP17321B	-4,2	-3,15	-1,55	1,325
LP17321C	-3,35	-1,9	-0,2	1,575
LP17321D	-4,1	-3,05	-1,75	1,175
LP17322L	-3,9	-2,45	-0,4	1,75
LP17329K	-4,5	-2,7	0,2	2,35
LP17329N	-2,6	-1,3	-0,05	1,275
LP17329X	-3	-1,6	-0,15	1,425
LP17329AA3	-3,5	-1,7	1,45	2,475
LP17329AA4	-3,3	-1,25	0,95	2,125
LP17329AA6	-3,4	-1	1,1	2,25
LP17329CC	-3	-1,1	0,85	1,925
LP17329DD2	0,8	2,35	3,1	1,15
LP17329EE3	-4,05	-1,3	0,8	2,425
LP17329FF2	-4,5	-2,7	0,2	2,35
LP17283A	-2,2	-0,2	1,8	2
LP17283B	-5	-3,4	-1,4	1,8
LP17334	-4,45	-3,6	-2,2	1,125
LP17339A	-0,7	0,25	1,4	1,05
LP17339B	-3,4	-2,1	-0,4	1,5
LP17339D	-3,75	-2,25	-0,7	1,525
LP17340Bbase	-2,05	-0,7	1	1,525
LP17384B	-2,55	-1,4	-0,1	1,225

TABLA B.4: Parámetros de Inman y sorteo de las muestras analizadas (2).

Clave muestra	Φ_{16}	$Md = \Phi_{50}$	Φ_{84}	σ
LP17401D	-2,9	-1,5	-0,1	1,4
LP17406C	-3,35	-2,15	-0,8	1,275
LP17417B	-2,5	-1	0,85	1,675
LP17417Dinf	-2,9	-1,8	-0,2	1,35
LP17422D	-4,2	-3,1	-1,1	1,55
LP17422F	-5,3	-2,55	-1	2,15
LP17418B	-4,2	-1,65	0,9	2,55
LP17428D	-4,4	-2,05	0,2	2,3
LP17448D	-4,8	-3,1	-0,9	1,95
LP17477B	-5	-2,65	-0,9	2,05
LP17478E	-3,4	-2	-0,5	1,45
LP17480B	-5,4	-4,4	-3,05	1,175
LP17482D	-5,3	-4,25	-2,65	1,325
LP17489	-4,1	-2,9	-1,25	1,425
LP18500	-3,3	0,1	-0,85	1,225
LP18509	-4	-2,45	-0,5	1,75
LP18516C	-4,5	-2,8	-0,8	1,85
LP18530H	-2,8	-1,6	-0,2	1,3
LP18530I	-4,05	-2,6	-0,9	1,575
LP18549A	-5	-2	0	2,5
LP18565D	-2,9	-1,5	0,1	1,5
LP18565Bsup	-3,35	-2,35	-1	1,175
LP18576C	-2,5	-1,5	-0,15	1,175
LP18599B	-3,1	-2,1	-0,8	1,15
LP18599Dbis	-1,7	0,2	2,2	1,95
LP18605A	-1,8	-0,55	1	1,4
LP18619B	-2,2	-0,9	0,5	1,35
LP18624A	-2,4	-1,3	-0,2	1,1
LP18624E	-3,2	-1,85	0	1,6
LP18625Binf	-3,25	-2,1	-0,25	1,5
LP18625Bsup	-4,4	-2,9	-1,1	1,65
LP18629C	-3,25	-1,7	0,3	1,775
LP18638bisC	-3,25	-2,25	-0,4	1,425
LP18638bisH	-3,3	-1,8	0,2	1,75
LP18638Bsup	-7,1	-5	-3,4	1,85
LP18646C	-3,4	-2,3	-0,7	1,35
LP18650A	-3	-1,65	-0,4	1,3
LP18656bisE3	-1,45	-0,75	0,3	0,875
LP18656bisH	-3,4	-1,35	0,9	2,15
Xflujo_base_Victor	-2,55	-0,6	1,55	2,05
X_Victor	0,15	1,5	2,85	1,35
PCE24 caida 1 / LP17157B	-2,8	-1,85	-0,8	1
PCE24 caida inf / LP17157int	-0,9	0,3	1,8	1,35
PCE24 caida 2 / LP17157A	-2,8	-1,6	-0,3	1,25

TABLA B.5: Parámetros de Inman y sorteo de las muestras analizadas (3).

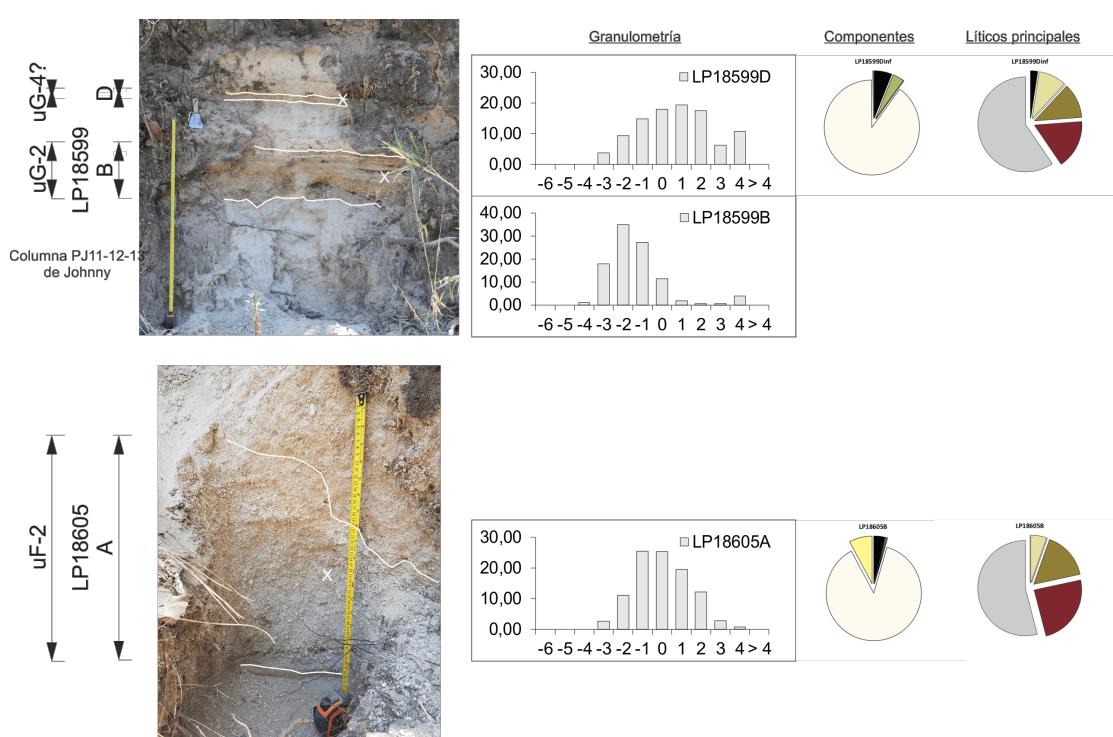
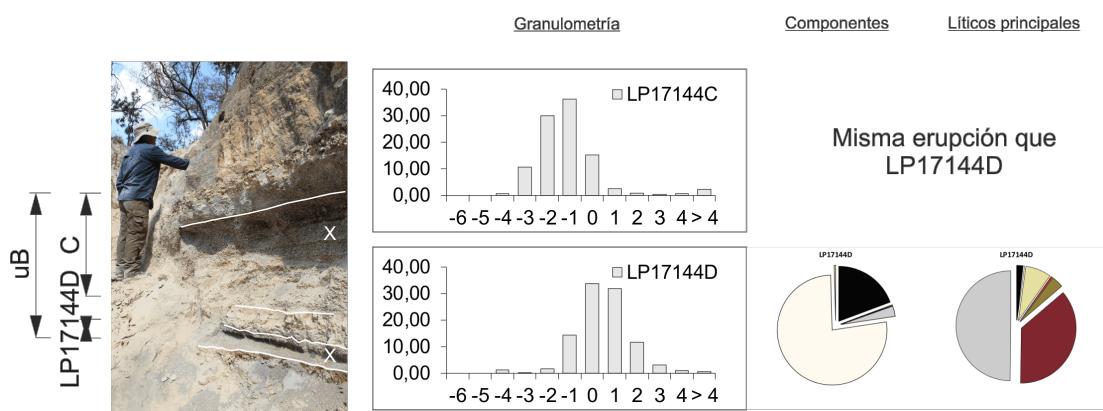
Componentes

[square]	Pómez
[grey square]	Vidrio juvenil
[yellow square]	Crístal
[green square]	Pómez alterada
[black square]	Lítico

Líticos principales

[light grey square]	Gris tabular
[dark red square]	Negro - rojo tabular
[olive green square]	Negro a cristales
[red square]	Rojo
[yellow-green square]	Amarillo
[pink square]	Ignimbrita
[black square]	Obsidiana

FIGURA B.1: Leyenda de los análisis de componentes.



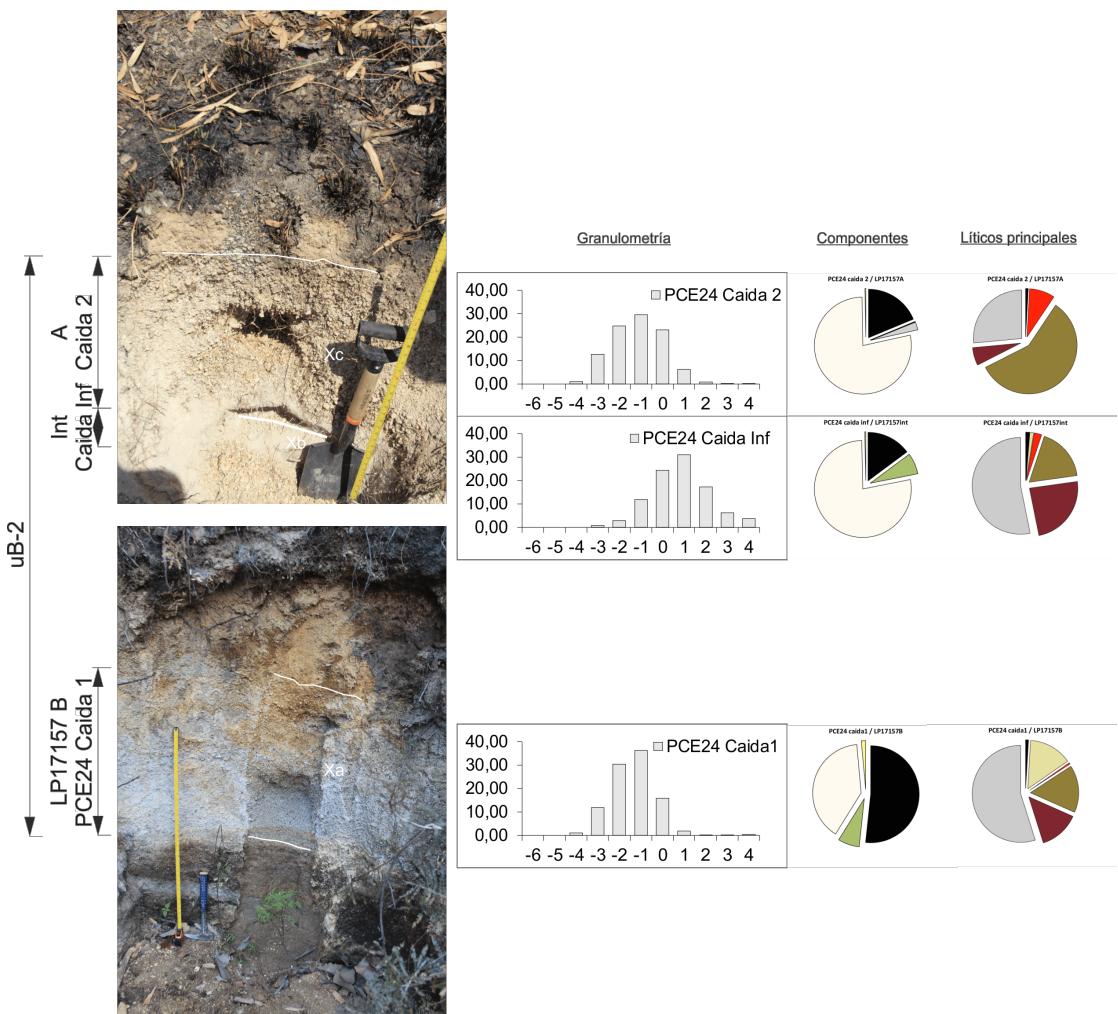


FIGURA B.4: Columna LP17157-PCE24: Cima de Cerro Alto.

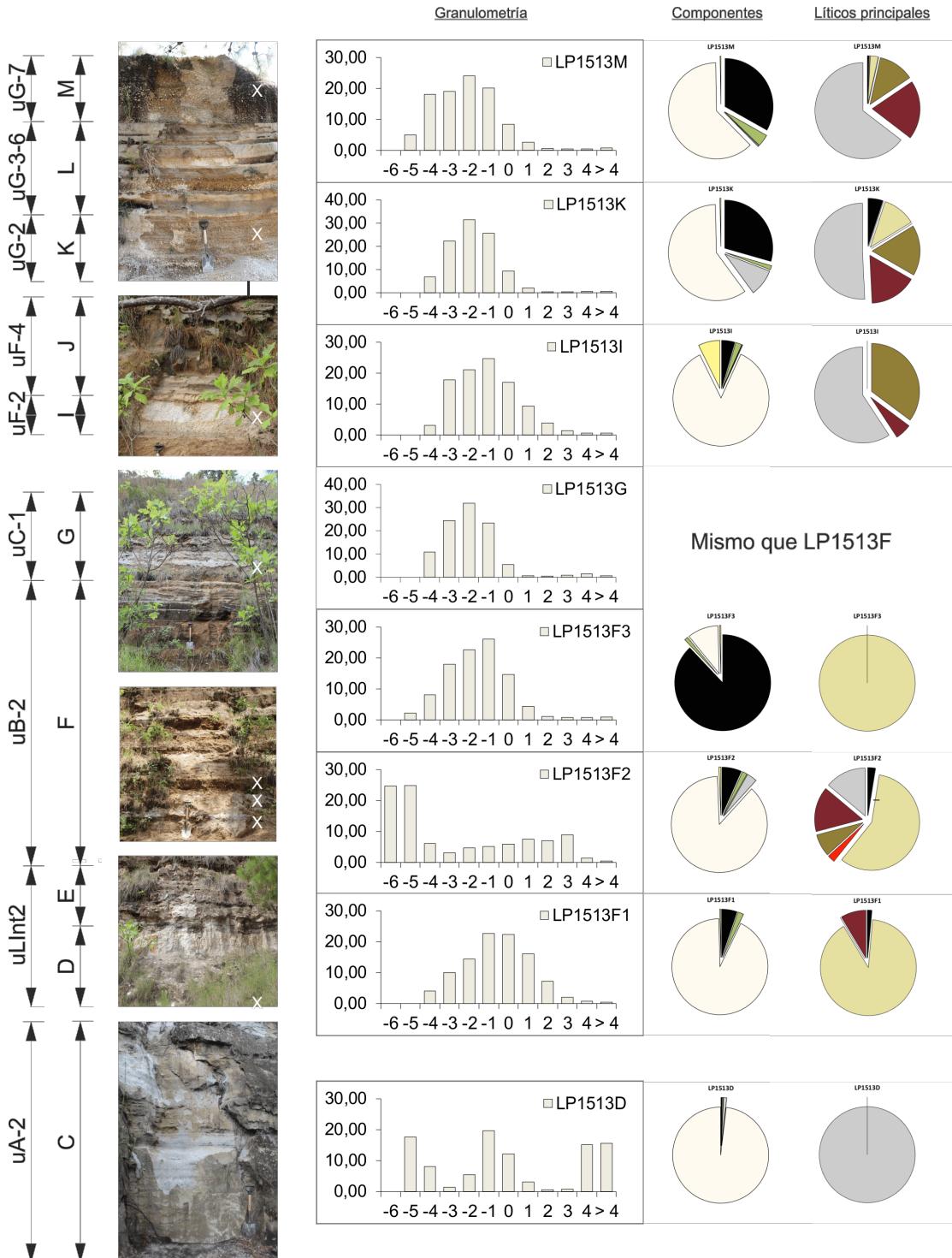


FIGURA B.5: Columna LP1513: Lago al sur de Nejahuete.

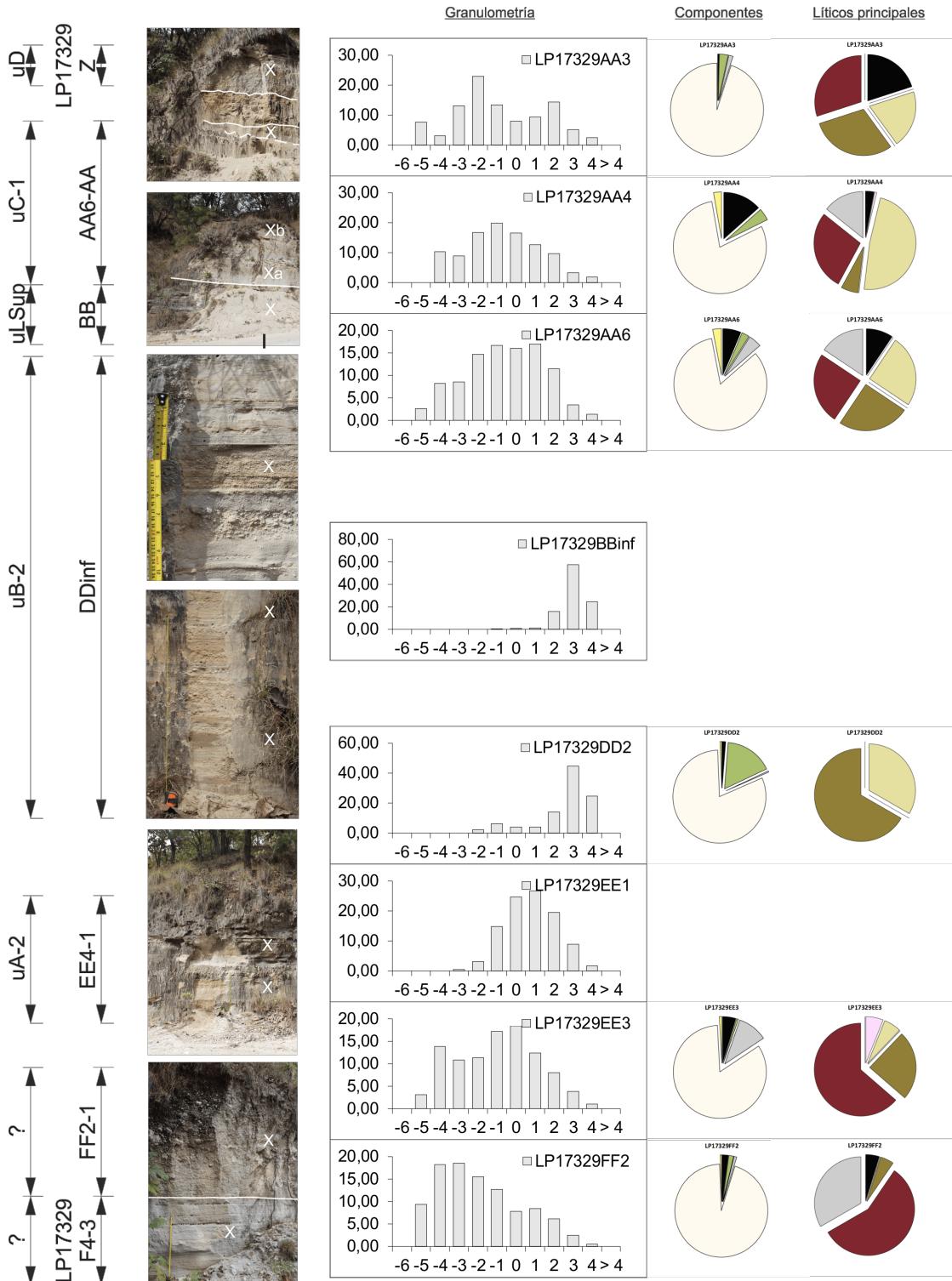


FIGURA B.6: Columna LP17329: Lago entre El Tule y Nejahuete.

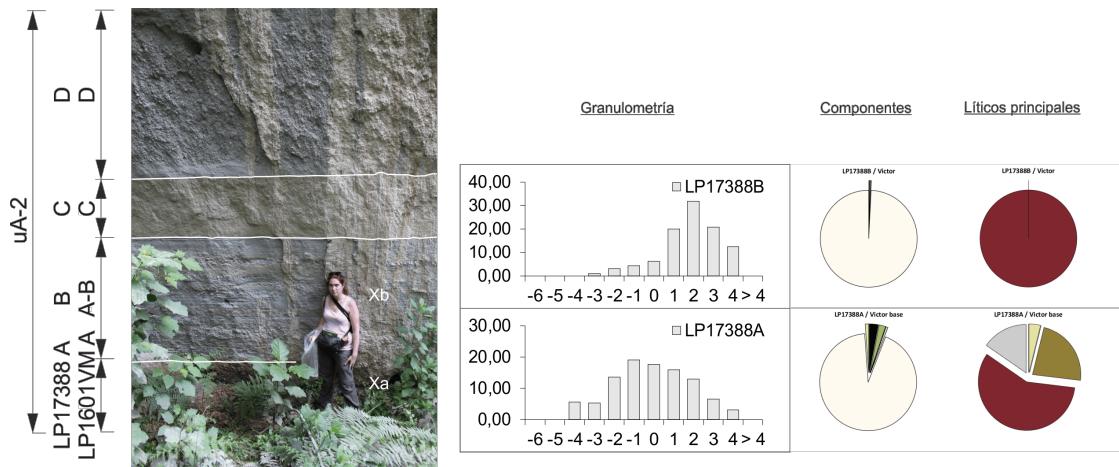


FIGURA B.7: Columna LP17388-LP1601VMA: Lago al sur de Nejahuete.

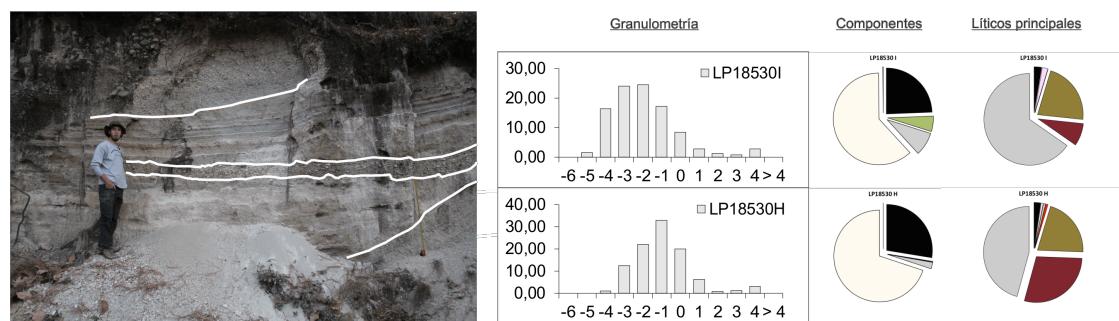


FIGURA B.8: Columna LP18530: Ladera de Nejahuete.

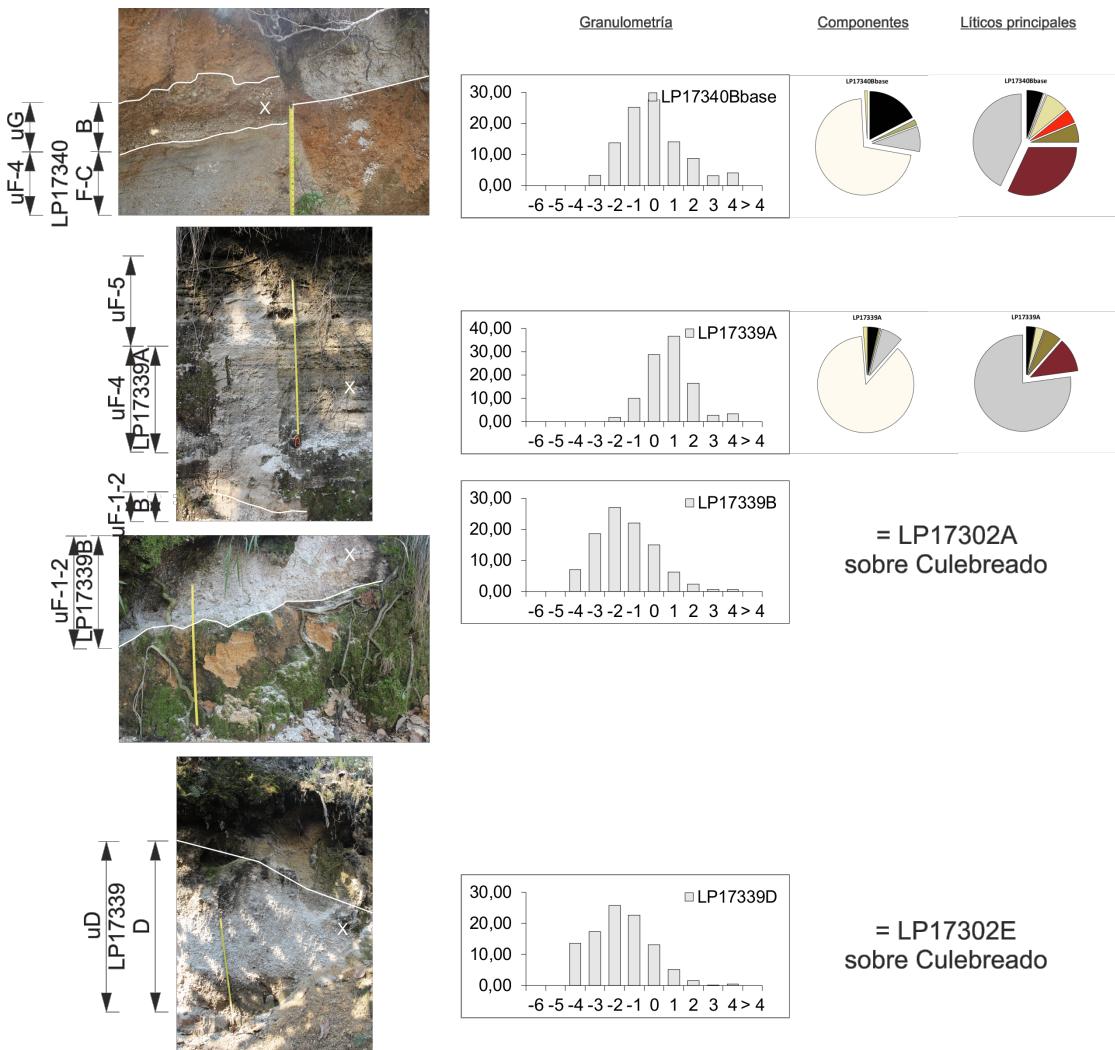


FIGURA B.9: Columna LP17339-340: Cima de Tule.

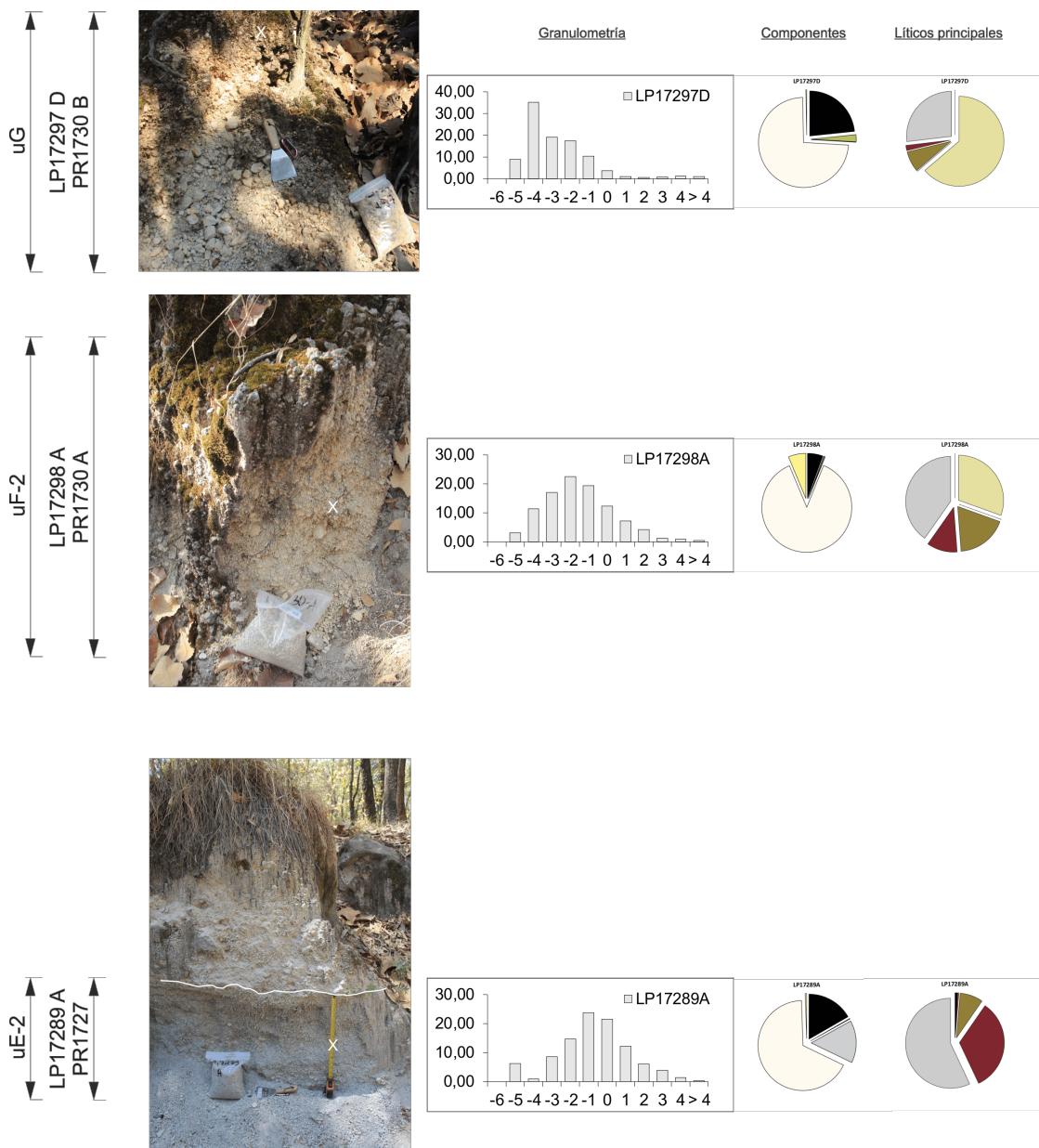


FIGURA B.10: Columna LP17289-298: Cima de Culebreado.

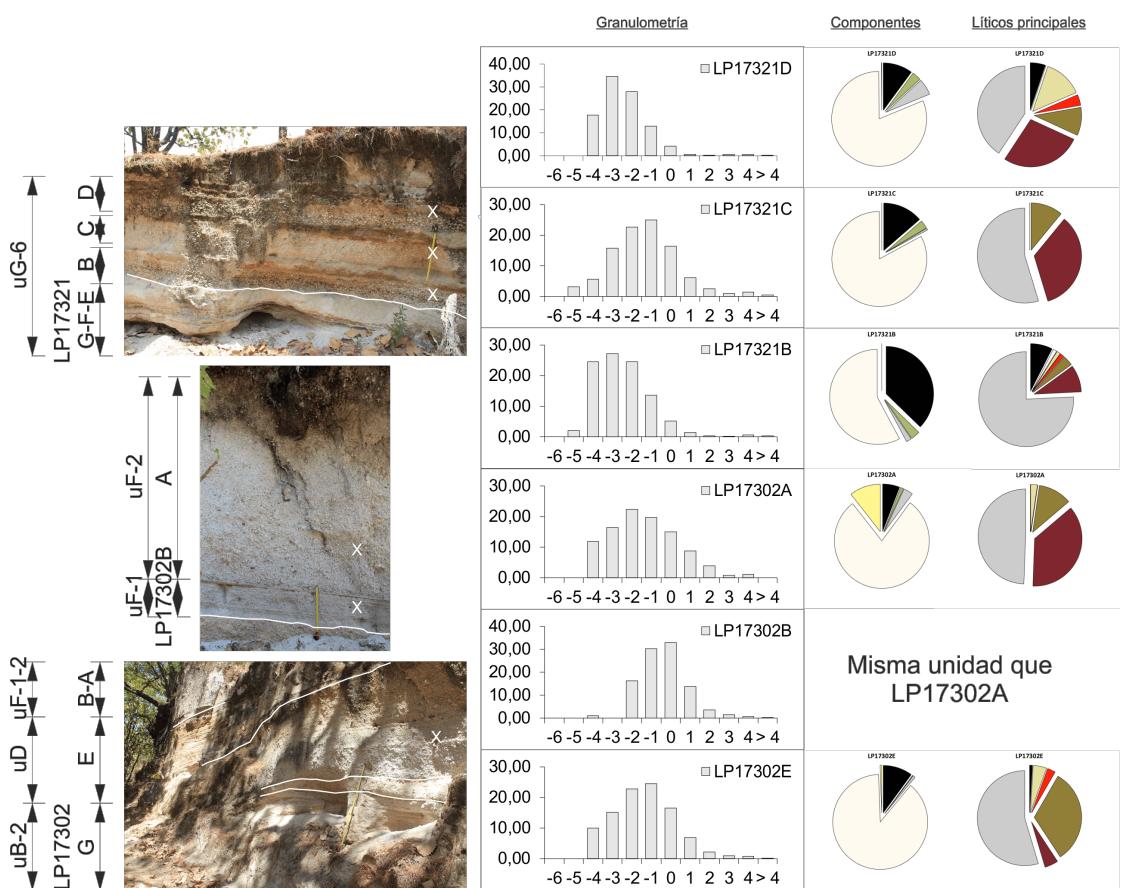


FIGURA B.11: Columna LP17302-319: Cima de Culebreado.

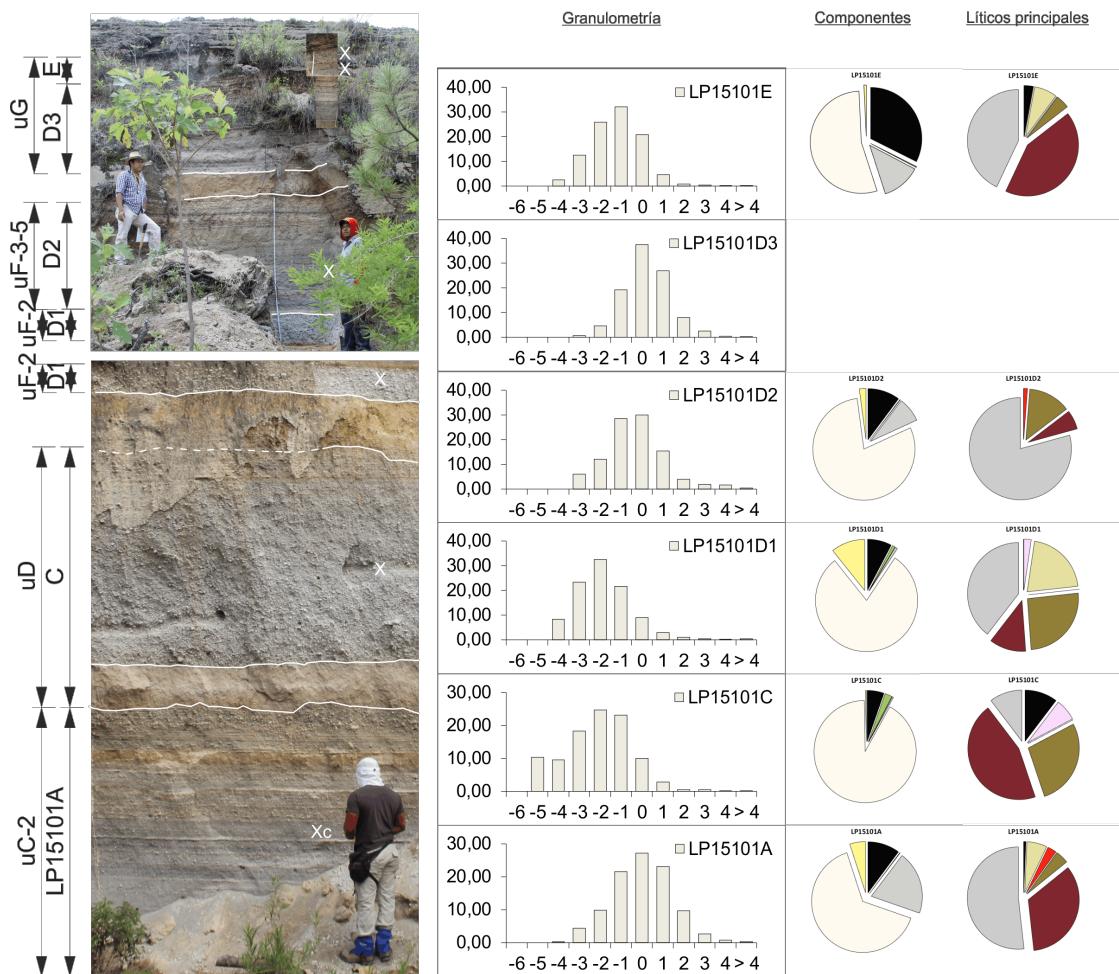


FIGURA B.12: Columna LP15101: Sobre Cuesta.

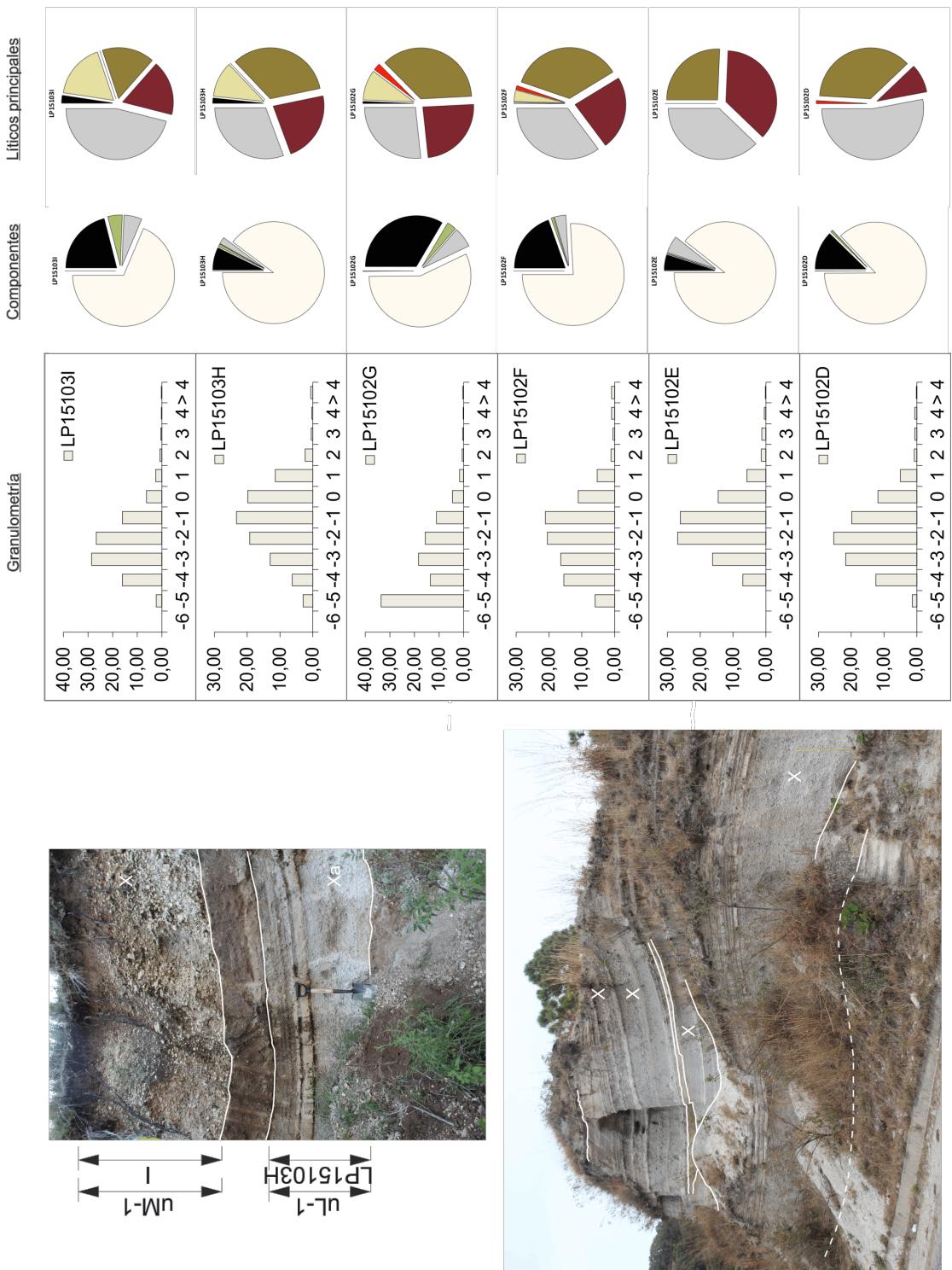


FIGURA B.13: Columna LP15102-103: Sobre Cuesta.

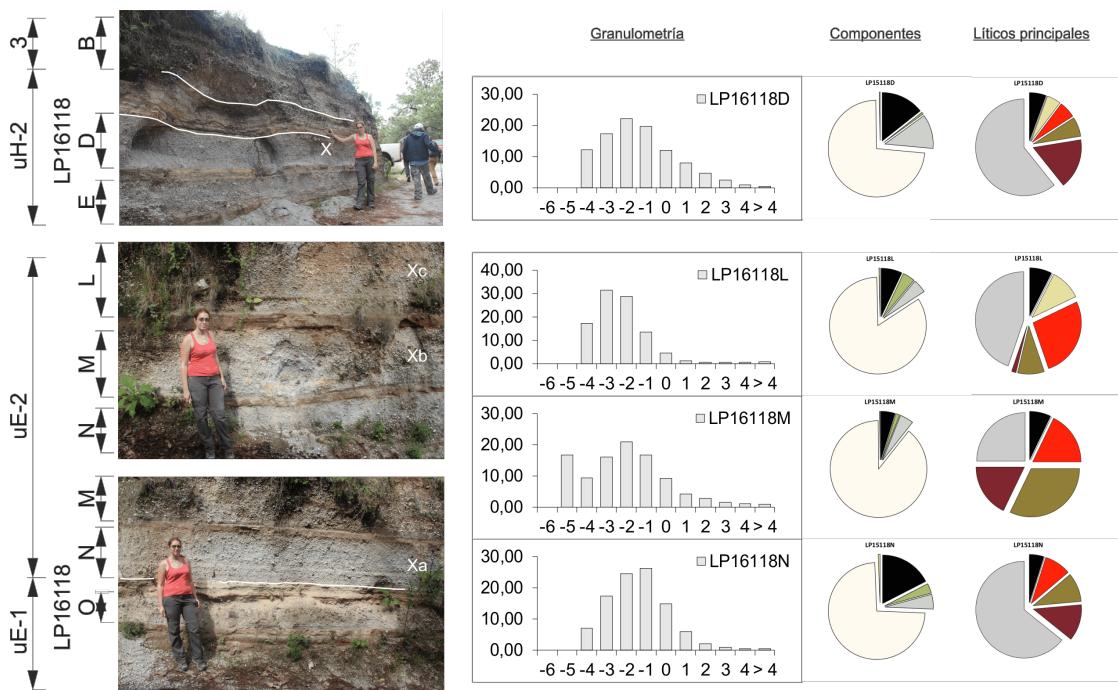


FIGURA B.14: Columna LP16118: Al lado de Llano Grande.

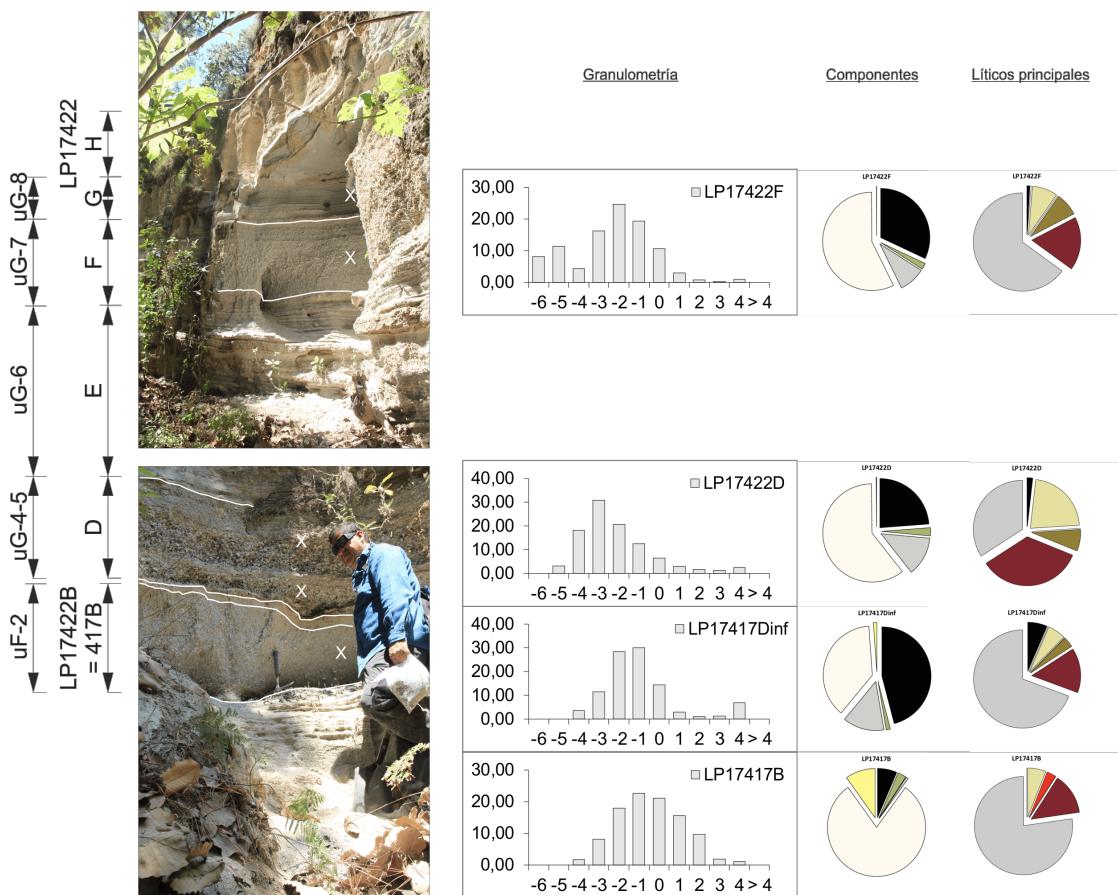


FIGURA B.15: Columna LP17417-422: Sobre la ladera norte de Puerta.

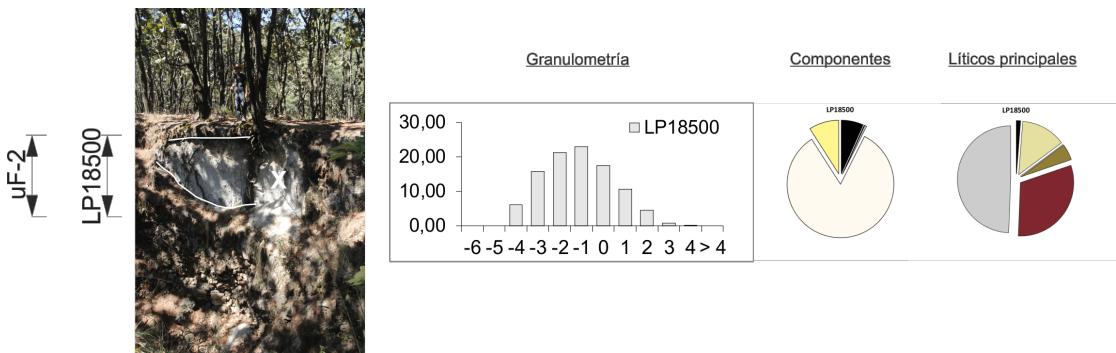


FIGURA B.16: Muestra LP18500: Sobre la ladera este de Puerta.

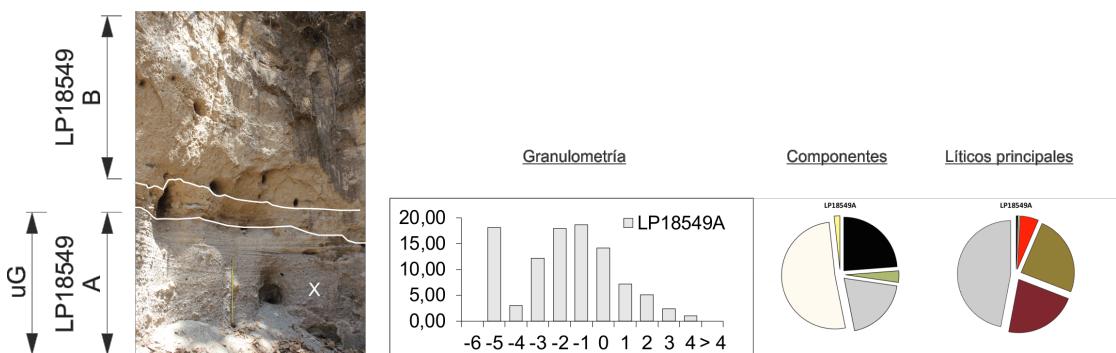


FIGURA B.17: Muestra LP18549A: Sobre la ladera sur de Puerta.

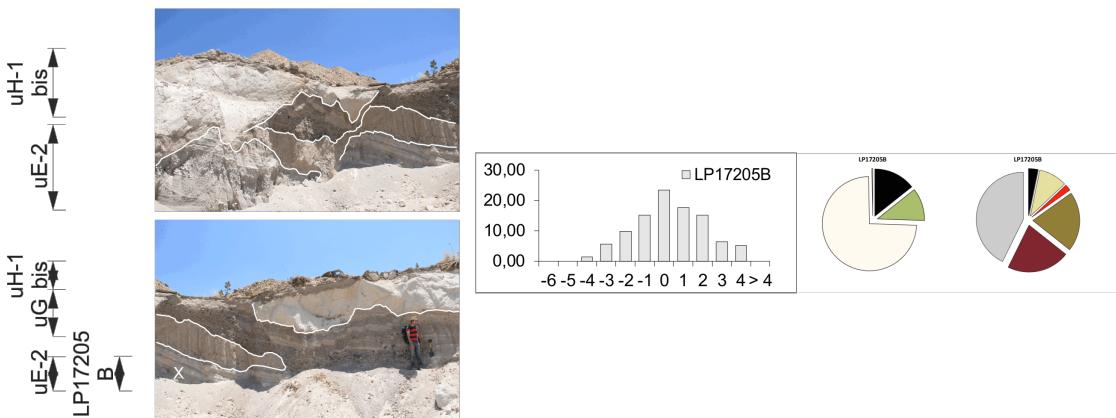
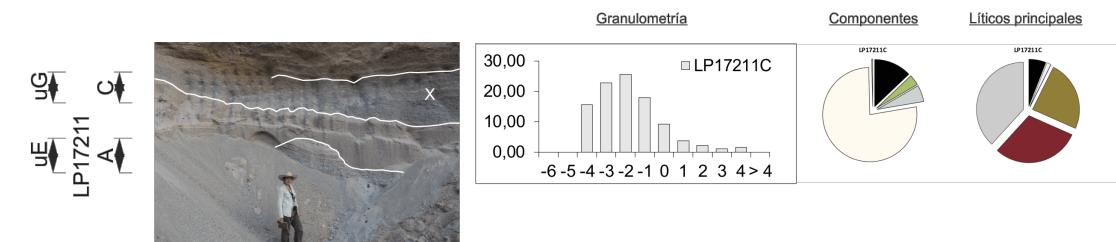


FIGURA B.18: Muestras LP17205-212: Cantera al sur oeste de San Miguel.

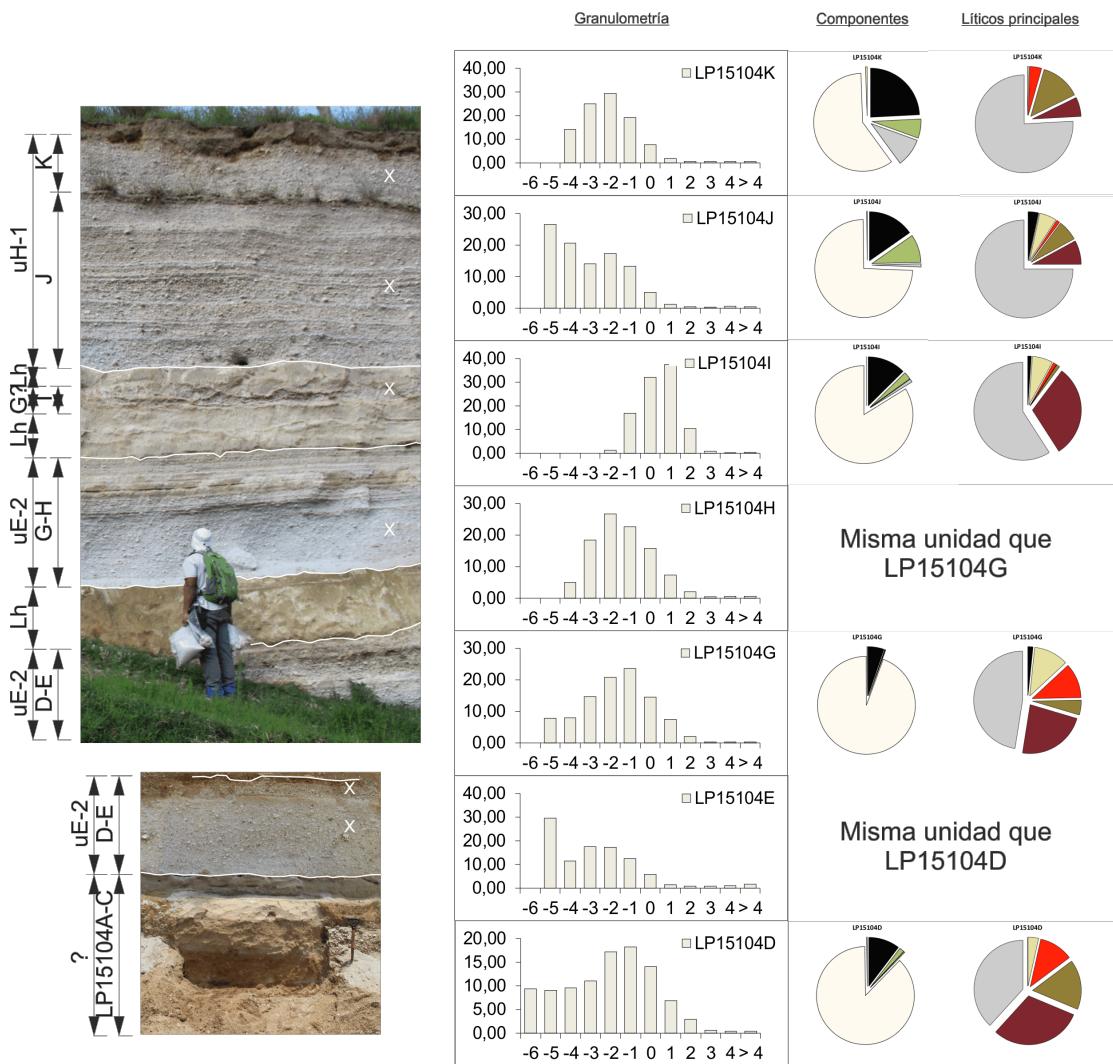


FIGURA B.19: Columna LP15104: Cantera al sur oeste de San Miguel.

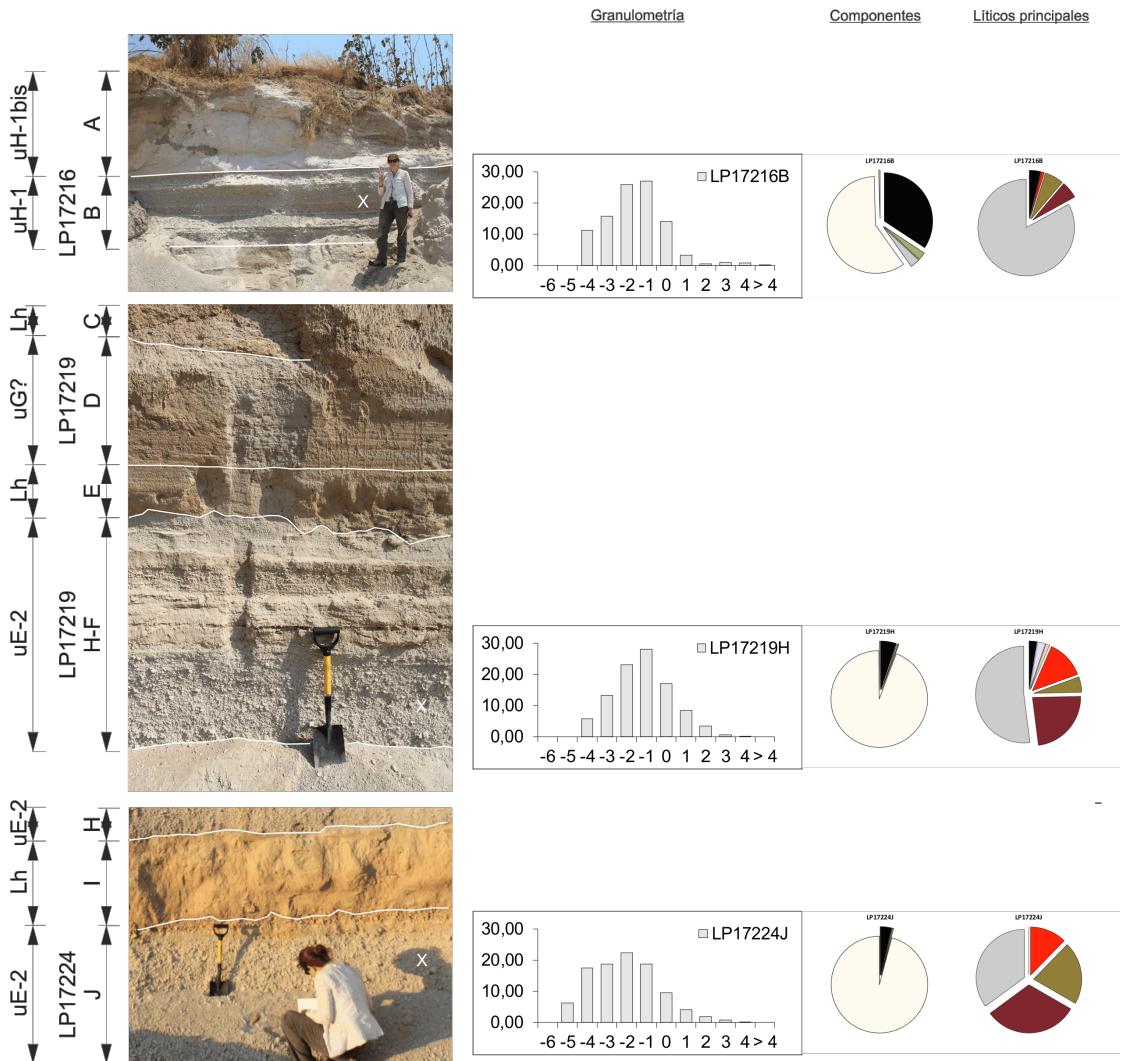


FIGURA B.20: Columna LP17216-224: Cantera al sur oeste de San Miguel.

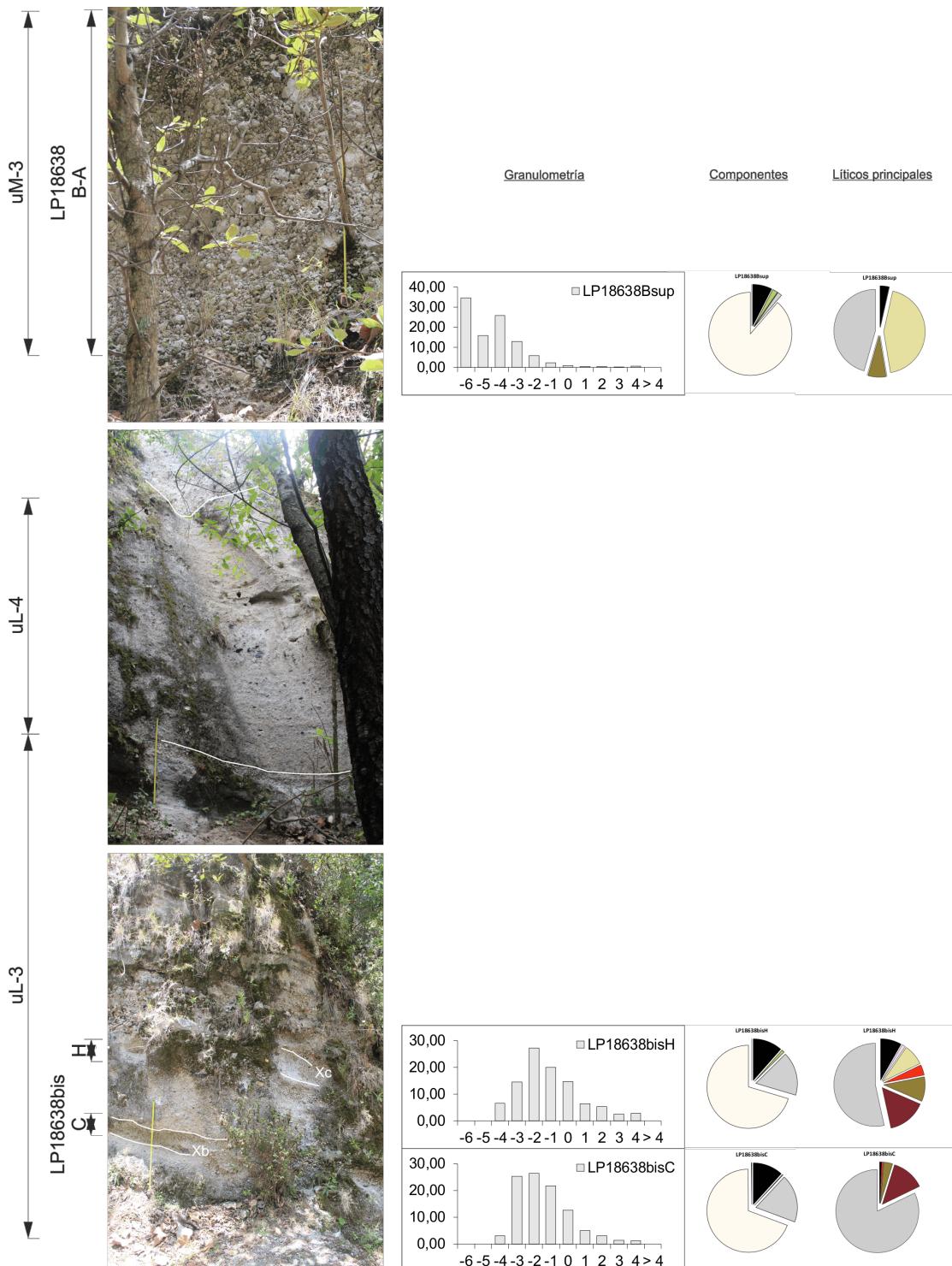


FIGURA B.21: Muestras LP18638-639: Sección sobre la parte basal noroeste de Planillas.

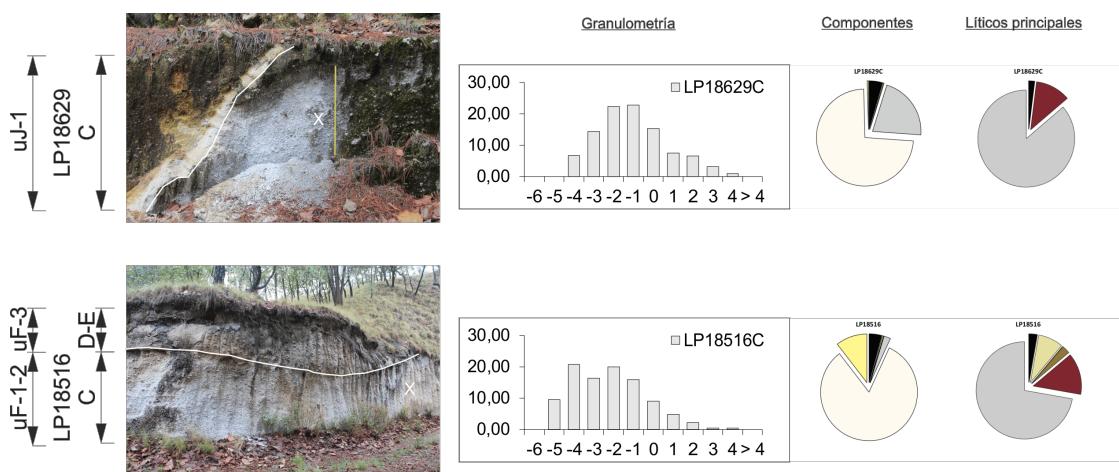


FIGURA B.22: Muestras LP18516-629: Sección sobre la parte basal norte de Planillas.

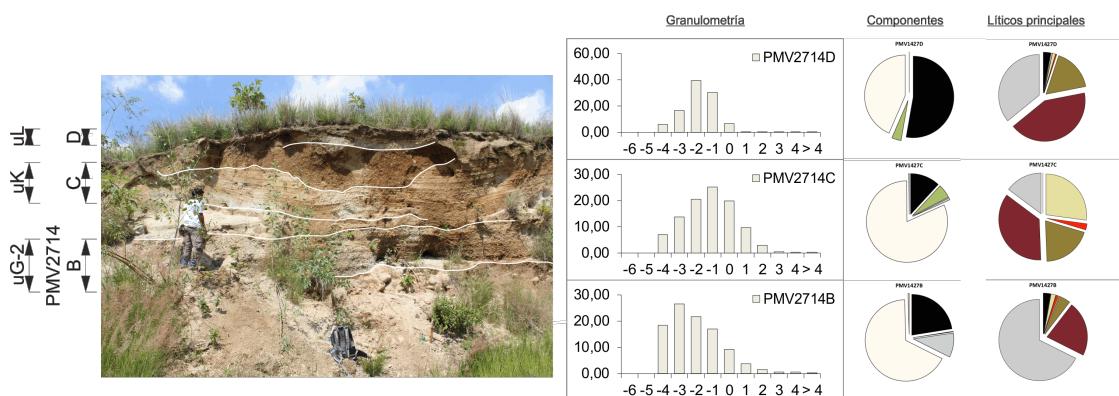


FIGURA B.23: Columna PMV2714: Al lado de la avalancha de Planillas al sur este de Planillas.

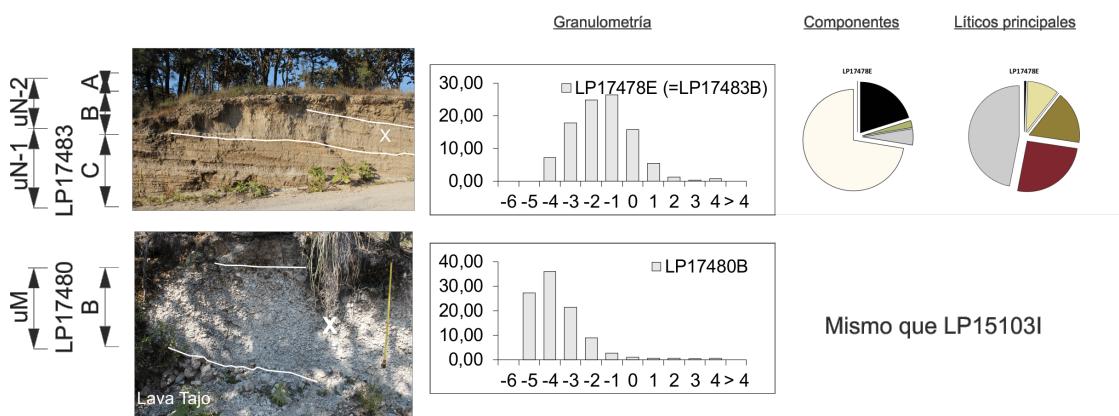


FIGURA B.24: Columna LP17477-483: Cima del domo oeste de Tajo.

Unidad y Subunidad			Sección - Muestra	Parámetros de Inman			
				Φ16	Md = Φ50	Φ84	σΦ
UN	UN2		LP17477-B	-5,00	-2,65	-0,90	2,05
UM	UM3		LP18638-Bsup	-7,10	-5,00	-3,40	1,85
	UM1		LP15103-I	-4,10	-2,90	-1,30	1,40
UL	UL3	Xc	LP18638-bisH	-3,30	-1,80	0,20	1,75
	UL3	Xb	LP18638-bisC	-3,25	-2,25	-0,40	1,43
	UL1	Xa	LP15103-H	-3,35	-1,60	0,00	1,68
UK	UK2		LP15102-G	-6,70	-3,85	-1,80	2,45
	UK1		LP15102-F	-4,25	-2,45	-0,60	1,83
UJ	UJ3		LP18629-C	-3,25	-1,70	0,30	1,78
UI			LP15102-D	-3,85	-2,45	-0,80	1,53
UH	UH2		LP16118-D	-3,65	-2,00	0,10	1,88
	UH1		LP17216-B	-3,55	-2,15	-0,75	1,40
UG	UG7		LP17422-F	-5,30	-2,55	-1,00	2,15
	UG4		LP17422-D	-4,20	-3,10	-1,10	1,55
	UG2		LP1513-K	-3,40	-2,40	-1,05	1,18
UF	UF4		LP15101-D2	-2,15	-0,90	0,50	1,33
	UF2		LP18516-C	-4,50	-2,80	-0,80	1,85
UE	UE2	Xc	LP16118-L	-4,10	-3,00	-1,55	1,28
	UE2	Xb	LP16118-M	-5,00	-2,65	-0,60	2,20
	UE2	Xa	LP16118-N	-3,35	-2,00	-0,35	1,50
UD	UD		LP15101-C	-4,35	-2,50	-1,05	1,65
UC	UC2	Xc	LP15101-A	-1,85	-0,45	0,90	1,38
	UC1	Xb	LP17329AA-4	-3,30	-1,25	0,95	2,13
	UC1	Xa	LP17329AA-6	-3,40	-1,00	1,10	2,25
UB	UB2	Xc	PCE24 caida 2 / LP17157-A	-2,80	-1,60	-0,30	1,25
	UB2	Xb	PCE24 caida inf / LP17157-int	-0,90	0,30	1,80	1,35
	UB2	Xa	PCE24 caida1 / LP17157-B	-2,80	-1,85	-0,80	1,00
UA2	UA2	Xc	LP1513-D	-5,40	-1,10	4,00	4,70
	UA2	Xb	LP17388	0,15	1,50	2,85	1,35
	UA2	Xa	LP17388-base	-2,55	-0,60	1,55	2,05

TABLA B.6: Parámetros de Inman de las unidades piroclásticas PG a N del CVLP.

Unidad y Subunidad			Sección - Muestra	% Cristales				
				Qz	San	Cpx	Fay	Congl.
UN	UN2		LP17477-B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UM	UM3		LP18638-Bsup	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	UM1		LP15103-I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UL	UL3	Xc	LP18638-bisH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	UL3	Xb	LP18638-bisC	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
	UL1	Xa	LP15103-H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UK	UK2		LP15102-G	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
	UK1		LP15102-F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UJ	UJ3		LP18629-C	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00
UI			LP15102-D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
UH	UH2		LP16118-D	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
	UH1		LP17216-B	0,22	0,22	0,00	0,00	0,00
UG	UG7		LP17422-F	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
	UG4		LP17422-D	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00
	UG2		LP1513-K	0,12	0,22	0,00	0,00	0,00
UF	UF4		LP15101-D2	0,50	1,61	0,00	0,00	0,00
	UF2		LP18516-C	9,77	0,70	0,00	0,00	0,00
UE	UE2	Xc	LP16118-L	0,28	0,09	0,00	0,00	0,00
	UE2	Xb	LP16118-M	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
	UE2	Xa	LP16118-N	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00
UD	UD		LP15101-C	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00
UC	UC2	Xc	LP15101-A	2,20	2,54	0,14	0,14	0,00
	UC1	Xb	LP17329AA-4	0,89	1,58	0,00	0,00	0,30
	UC1	Xa	LP17329AA-6	1,27	1,77	0,00	0,00	0,00
UB	UB2	Xc	PCE24 caida 2 / LP17157-A	0,14	0,14	0,00	0,00	0,00
	UB2	Xb	PCE24 caida inf / LP17157-int	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00
	UB2	Xa	PCE24 caida1 / LP17157-B	0,72	0,72	0,00	0,00	0,00
UA2	UA2	Xc	LP1513-D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	UA2	Xb	LP17388	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	UA2	Xa	LP17388-base	0,69	0,46	0,00	0,00	0,00

TABLA B.7: Porcentajes de los cristales de la fracción 1 Φ de las unidades piroclásticas post-caldera post-caldera del CVLP.

Unidad y Subunidad			Sección - Muestra	Lítico	Pómez	% Componentes Blocky juveniles	Cristal	Otro
UN	UN2		LP17477-B	6,36	73,10	19,87	0,00	0,67
UM	UM3		LP18638-Bsup	7,52	88,65	1,72	0,00	2,11
			LP15103-I	21,02	68,63	5,73	0,00	4,62
UL	UL3	Xc	LP18638-bisH	11,48	70,40	17,01	0,00	1,11
		Xb	LP18638-bisC	11,72	69,14	18,74	0,16	0,24
		Xa	LP15103-H	7,15	89,73	2,19	0,00	0,93
UK	UK2		LP15102-G	33,47	56,99	6,46	0,11	2,97
	UK1		LP15102-F	19,60	75,87	3,65	0,00	0,88
UJ	UJ3		LP18629-C	4,44	73,45	21,36	0,42	0,33
UI	UI		LP15102-D	12,29	86,96	0,00	0,05	0,70
UH	UH2		LP16118-D	14,34	73,27	11,47	0,26	0,66
	UH1		LP17216-B	33,40	59,42	3,21	0,43	3,54
UG	UG7		LP17422-F	32,00	57,20	8,66	0,07	2,07
	UG4		LP17422-D	26,35	60,48	12,89	0,14	0,14
	UG2		LP1513-K	30,78	59,75	9,13	0,34	0,00
UF	UF4		LP15101-D2	10,32	79,73	7,84	2,11	0,00
	UF2		LP18516-C	4,65	82,67	2,21	10,47	0,00
UE	UE2	Xc	LP16118-L	7,02	83,90	4,59	0,37	4,12
	UE2	Xb	LP16118-M	4,73	89,20	4,59	0,15	1,33
	UE2	Xa	LP16118-N	17,44	73,70	4,93	0,63	3,30
UD	UD		LP15101-C	5,31	91,69	0,41	0,27	2,32
UC	UC2	Xc	LP15101-A	10,16	64,65	20,04	5,01	0,14
	UC1	Xb	LP17329AA-4	13,39	79,61	4,24	2,76	0,00
	UC1	Xa	LP17329AA-6	6,33	83,42	4,56	3,04	2,65
UB	UB2	Xc	PCE24 caída 2 / LP17157-A	18,75	78,19	2,64	0,28	0,14
	UB2	Xb	PCE24 caida inf / LP17157-int	14,83	77,76	7,05	0,36	0,00
	UB2	Xa	PCE24 caida1 / LP17157-B	51,67	39,71	7,18	1,44	0,00
UA2	UA2	Xc	LP1513-D	0,36	98,16	1,10	0,00	0,38
	UA2	Xb	LP17388	0,16	99,22	0,31	0,00	0,31
	UA2	Xa	LP17388-base	2,99	92,98	0,69	1,15	2,19

TABLA B.8: Porcentajes de los componentes de la fracción 1 Φ de las unidades piroclásticas post-caldera del CVLP.

Unidad y Subunidad			Sección - Muestra	% Líticos principales			
				Gris	Negro-rojo	Negro a cristales	Rojo
UN	UN2		LP17477-B	2,90	0,56	0,00	0,00
UM	UM3		LP18638-Bsup	3,43	0,00	0,53	0,00
	UM1		LP15103-I	9,24	3,50	3,34	0,00
UL	UL3	Xc	LP18638-bisH	5,39	1,52	0,97	0,41
	UL3	Xb	LP18638-bisC	9,57	1,52	0,40	0,08
	UL1	Xa	LP15103-H	2,19	1,61	2,42	0,00
UK	UK2		LP15102-G	8,79	7,94	12,08	0,74
	UK1		LP15102-F	6,90	4,60	7,06	0,24
UJ	UJ3		LP18629-C	3,69	0,50	0,00	0,00
UI			LP15102-D	6,17	1,06	4,31	0,11
UH	UH2		LP16118-D	8,47	2,34	0,91	0,78
	UH1		LP17216-B	27,73	1,93	2,14	0,32
UG	UG7		LP17422-F	20,44	5,54	2,41	0,00
	UG4		LP17422-D	8,07	5,67	1,70	2,55
	UG2		LP1513-K	14,77	4,62	4,96	0,00
UF	UF4		LP15101-D2	8,08	0,62	1,37	0,12
	UF2		LP18516-C	3,02	0,58	0,12	0,00
UE	UE2	Xc	LP16118-L	2,81	0,09	0,56	1,69
	UE2	Xb	LP16118-M	1,04	0,73	1,33	0,73
	UE2	Xa	LP16118-N	9,99	1,89	1,52	1,39
UD	UD		LP15101-C	0,41	1,77	1,09	0,00
UC	UC2	Xc	LP15101-A	5,01	3,29	0,41	0,27
	UC1	Xb	LP17329AA-4	1,87	3,65	0,79	0,00
	UC1	Xa	LP17329AA-6	0,63	1,01	1,01	0,00
UB	UB2	Xc	PCE24 caida 2 / LP17157-A	4,31	0,97	9,44	1,39
	UB2	Xb	PCE24 caida inf / LP17157-int	7,59	3,44	2,53	0,36
	UB2	Xa	PCE24 caida1 / LP17157-B	28,23	6,94	8,13	0,24
UA2	UA2	Xc	LP1513-D	0,18	0,00	0,00	0,00
	UA2	Xb	LP17388	0,00	0,16	0,00	0,00
	UA2	Xa	LP17388-base	0,46	1,73	0,69	0,00

TABLA B.9: Porcentajes de los principales líticos de la fracción 1 Φ de las unidades piroclásticas post-caldera del CVLP.

	TiO ₂	CaO	MnO	FeO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Total	Wo	En	Fs
LP15101A (UC)	0,18	18,93	1,18	25,30	0,00	47,14	0,15	0,30	0,66	93,83	0,48	0,01	0,51
	0,18	19,13	1,18	26,31	-0,01	47,84	0,19	0,39	0,63	95,85	0,48	0,01	0,51
	0,18	18,89	1,12	25,65	0,01	47,17	0,17	0,38	0,64	94,21	0,48	0,01	0,51
	0,27	19,04	1,30	26,74	-0,01	48,11	0,21	0,45	0,62	96,73	0,47	0,02	0,51
LP18500 (UF)	0,14	19,22	1,31	27,62	0,05	48,25	0,21	0,43	0,68	97,91	0,46	0,01	0,52
	0,17	19,19	1,34	26,42	0,01	47,22	0,26	0,40	0,65	95,65	0,48	0,01	0,51
	0,16	19,31	1,52	26,91	0,00	47,95	0,42	0,56	0,69	97,51	0,47	0,02	0,51
	0,14	19,56	1,40	27,27	0,03	47,58	0,16	0,48	0,66	97,28	0,47	0,02	0,51
	0,20	18,54	1,43	28,53	0,01	47,41	0,28	0,44	0,65	97,48	0,45	0,01	0,54
	0,17	19,22	1,38	27,82	-0,02	47,86	0,19	0,49	0,57	97,69	0,46	0,02	0,52
	0,14	19,31	1,36	27,52	0,02	47,60	0,21	0,49	0,63	97,28	0,47	0,02	0,52
	0,20	18,91	1,59	28,75	0,01	47,90	0,18	0,39	0,75	98,67	0,45	0,01	0,54
	0,13	19,12	1,33	27,91	-0,03	47,43	0,19	0,47	0,62	97,17	0,46	0,02	0,52
	0,20	17,54	1,65	29,17	0,02	47,46	0,24	0,45	0,69	97,42	0,43	0,02	0,56
	0,12	14,20	1,18	24,20	-0,01	35,19	11,94	0,32	0,38	87,52	0,42	0,01	0,56
	0,14	17,75	1,21	25,07	0,02	48,87	2,21	0,48	0,70	96,44	0,47	0,02	0,52
PZ77 (GPU)	0,28	18,27	1,37	28,59	0,04	47,16	0,18	0,41	0,51	96,82	0,44	0,01	0,54
	0,27	18,85	1,20	26,99	0,01	47,19	0,18	0,45	0,54	95,67	0,47	0,02	0,52
	0,28	18,32	1,41	28,35	0,00	47,38	0,14	0,42	0,48	96,78	0,45	0,01	0,54
	0,22	18,89	1,55	26,84	0,04	47,13	0,19	0,50	0,60	95,96	0,47	0,02	0,52
	0,28	18,03	1,31	26,54	0,01	48,93	3,04	0,61	0,59	99,33	0,46	0,02	0,52
	0,22	17,68	1,22	26,80	-0,01	48,82	0,31	0,51	0,65	96,19	0,45	0,02	0,53
	0,23	19,12	1,25	28,16	0,00	46,98	0,22	0,38	0,48	96,80	0,46	0,01	0,53
	0,29	18,63	1,62	27,74	-0,01	47,43	0,26	0,42	0,58	96,97	0,46	0,01	0,53
	0,21	18,62	1,45	28,32	0,02	47,41	0,23	0,37	0,44	97,07	0,45	0,01	0,54
	0,26	18,66	1,30	28,48	0,02	47,46	0,19	0,43	0,45	97,26	0,45	0,01	0,54
	0,26	18,50	1,17	29,02	0,00	47,46	0,23	0,42	0,47	97,52	0,44	0,01	0,54
	0,32	18,44	1,27	27,64	0,02	46,99	0,25	0,38	0,46	95,76	0,45	0,01	0,53
	0,26	17,01	1,42	25,76	-0,01	52,49	0,29	0,50	0,66	98,39	0,45	0,02	0,53
	0,26	13,32	0,94	22,19	0,40	43,08	1,48	0,34	0,54	82,55	0,43	0,02	0,56
	0,24	18,39	1,34	27,49	0,00	46,76	0,18	0,39	0,53	95,32	0,46	0,01	0,53
	0,28	16,07	1,18	26,77	0,06	46,75	0,99	0,50	0,55	93,14	0,43	0,02	0,55
	0,29	18,67	1,36	27,05	0,02	46,73	0,23	0,45	0,48	95,27	0,46	0,02	0,52
	0,23	18,80	1,42	26,85	0,00	46,93	0,26	0,42	0,47	95,37	0,47	0,01	0,52
	0,28	17,48	1,35	26,61	-0,01	46,02	2,35	0,40	0,59	95,05	0,45	0,01	0,54
	0,36	17,72	1,57	29,52	-0,01	47,03	0,27	0,37	0,42	97,24	0,43	0,01	0,56
	0,32	17,70	1,48	28,15	0,01	46,78	0,45	0,39	0,45	95,72	0,44	0,01	0,55
	0,30	17,76	1,38	26,51	0,02	45,86	0,61	0,38	0,41	93,24	0,46	0,01	0,53
	0,30	18,04	1,54	29,43	-0,03	47,01	0,26	0,35	0,49	97,39	0,43	0,01	0,55
	0,31	18,49	1,56	27,90	0,00	47,11	0,24	0,29	0,43	96,33	0,45	0,01	0,54
	0,29	18,51	1,41	27,32	0,00	47,47	0,21	0,46	0,43	96,09	0,46	0,02	0,53

TABLA B.10: Resultados de análisis WDS por microsonda para los piroxenos de las muestras LP15101A, LP18500 y PZ77.

	TiO ₂	CaO	MnO	FeO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Total	Wo	En	Fs
PZ120 (Cerrito Colorado Lava)	0,31	18,34	1,37	25,69	0,07	44,00	0,28	0,53	0,44	91,02	0,47	0,02	0,51
	0,27	18,68	1,33	26,09	0,01	46,65	0,21	0,54	0,46	94,24	0,47	0,02	0,51
	0,84	18,11	1,23	25,66	0,03	50,49	0,25	0,59	0,67	97,87	0,46	0,02	0,51
	0,61	17,84	1,28	25,71	0,04	51,13	0,24	0,54	0,63	98,01	0,46	0,02	0,52
	0,46	15,78	1,28	26,37	0,07	52,63	0,40	0,66	0,82	98,47	0,42	0,02	0,55
	0,35	16,83	1,44	27,09	-0,02	49,59	0,31	0,79	0,63	97,00	0,43	0,03	0,54
	0,33	17,68	1,63	25,58	0,00	46,10	0,24	0,63	0,45	92,63	0,46	0,02	0,52
	0,32	17,53	1,49	26,24	0,01	46,44	0,22	0,66	0,47	93,38	0,45	0,02	0,53
	0,36	17,87	1,51	25,73	-0,04	46,75	0,18	0,62	0,55	93,51	0,46	0,02	0,52
	0,35	17,52	1,53	25,80	-0,02	46,46	0,25	0,66	0,53	93,07	0,45	0,02	0,52
	0,33	17,83	1,60	26,46	-0,01	47,15	0,22	0,65	0,62	94,84	0,45	0,02	0,52
	0,29	18,29	1,56	26,37	-0,04	47,56	0,19	0,73	0,46	95,41	0,46	0,03	0,52
	0,31	17,92	1,61	25,34	-0,01	47,36	0,20	0,73	0,44	93,88	0,46	0,03	0,51
	0,30	18,44	1,45	26,47	-0,02	47,32	0,24	0,83	0,46	95,49	0,46	0,03	0,51
	0,33	18,30	1,52	25,35	0,00	47,40	0,19	0,78	0,47	94,33	0,47	0,03	0,51
	0,28	18,29	1,48	25,85	0,01	47,28	0,20	0,81	0,59	94,79	0,46	0,03	0,51
	0,32	17,96	1,48	25,39	0,01	46,08	0,26	0,67	0,44	92,59	0,46	0,02	0,51
	0,30	18,01	1,44	25,41	0,01	48,06	0,24	0,79	0,54	94,79	0,46	0,03	0,51
	0,28	12,74	1,08	23,73	0,08	49,60	1,31	0,93	0,61	90,35	0,39	0,04	0,57
	0,31	17,81	1,44	26,34	0,00	51,26	0,25	0,90	0,51	98,82	0,45	0,03	0,52
	1,01	17,31	1,49	26,29	0,00	50,79	0,30	0,89	0,68	98,75	0,44	0,03	0,53
	0,36	16,39	1,49	26,69	0,03	49,65	0,72	1,12	0,68	97,12	0,42	0,04	0,54
	0,28	18,54	1,42	25,53	-0,04	46,25	0,20	0,63	0,41	93,22	0,47	0,02	0,51
	0,33	18,48	1,39	25,35	0,00	46,91	0,24	0,72	0,50	93,92	0,47	0,03	0,50
	0,30	18,47	1,28	25,48	0,00	46,81	0,19	0,65	0,41	93,59	0,47	0,02	0,51
	0,32	18,36	1,60	26,09	0,00	46,91	0,19	0,66	0,47	94,60	0,46	0,02	0,51
	0,32	18,12	1,52	25,94	0,00	46,98	0,17	0,62	0,50	94,15	0,46	0,02	0,52
	0,29	18,20	1,51	25,28	0,00	46,90	0,20	0,66	0,50	93,54	0,47	0,02	0,51
	0,25	18,33	1,46	25,57	0,04	46,66	0,20	0,61	0,45	93,56	0,47	0,02	0,51
	0,31	18,14	1,46	26,32	0,01	47,10	0,22	0,68	0,55	94,77	0,46	0,02	0,52
	0,32	16,78	1,28	23,98	0,04	49,90	0,36	0,96	0,75	94,35	0,46	0,04	0,51

TABLA B.11: Resultados de análisis WDS por microsonda para los piroxenos de la muestra PZ120.

	TiO ₂	CaO	MnO	FeO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Total	Wo	En	Fs
PZ120 (Cerrito Colorado Lava)	0,30	17,90	1,30	28,06	0,01	43,82	0,30	0,61	0,42	92,72	0,44	0,02	0,54
	0,22	18,26	1,49	28,56	0,05	43,48	0,22	0,52	0,49	93,29	0,44	0,02	0,54
	0,29	18,19	1,25	28,31	0,00	43,72	0,28	0,63	0,49	93,15	0,44	0,02	0,54
	0,32	18,15	1,51	28,61	0,01	43,88	0,24	0,51	0,45	93,68	0,44	0,02	0,54
	0,27	18,15	1,42	28,72	0,03	43,66	0,21	0,56	0,45	93,46	0,44	0,02	0,54
	0,30	17,85	1,43	28,79	0,03	43,29	0,25	0,61	0,46	93,01	0,43	0,02	0,55
	0,27	17,98	1,22	27,62	0,01	43,37	0,28	0,60	0,42	91,76	0,45	0,02	0,53
	0,28	18,15	1,65	28,42	-0,01	43,36	0,22	0,60	0,47	93,13	0,44	0,02	0,54
	0,28	17,73	1,43	28,10	0,01	42,58	0,20	0,61	0,43	91,35	0,44	0,02	0,54
	0,24	17,80	1,50	28,40	0,01	42,98	0,24	0,59	0,42	92,16	0,44	0,02	0,54
	0,21	17,96	1,47	29,08	0,03	43,76	0,27	0,65	0,43	93,84	0,43	0,02	0,55
	0,18	15,63	1,11	27,48	0,04	46,86	0,26	0,58	0,63	92,76	0,41	0,02	0,57
	0,22	14,30	0,98	24,61	0,32	43,65	0,78	0,60	0,71	86,17	0,42	0,02	0,56
	0,20	18,38	1,33	25,31	0,01	46,75	0,15	0,48	0,53	93,14	0,47	0,02	0,51
	0,23	18,88	1,31	25,89	-0,01	46,64	0,17	0,52	0,43	94,06	0,47	0,02	0,51
	0,28	18,41	1,44	25,69	-0,01	47,30	0,18	0,57	0,57	94,43	0,47	0,02	0,51
	0,30	18,19	1,44	26,84	0,00	46,67	0,21	0,70	0,46	94,82	0,45	0,02	0,52
	0,30	18,22	1,38	26,31	0,01	46,94	0,22	0,65	0,52	94,54	0,46	0,02	0,52
	0,30	18,66	1,58	25,09	-0,01	47,40	0,26	0,68	0,55	94,50	0,48	0,02	0,50
	0,31	18,73	1,34	26,27	0,03	47,53	0,21	0,72	0,45	95,61	0,47	0,02	0,51
	0,29	18,89	1,46	25,20	0,02	46,82	0,16	0,59	0,53	93,96	0,48	0,02	0,50
	0,27	18,65	1,26	25,81	0,05	43,66	0,30	0,41	0,52	90,90	0,47	0,01	0,51
	0,30	18,67	1,36	26,11	0,00	47,76	0,17	0,49	0,59	95,44	0,47	0,02	0,51
	0,24	18,69	1,39	24,84	-0,01	47,18	0,21	0,61	0,45	93,60	0,48	0,02	0,50
	0,29	18,34	1,46	27,34	0,00	47,41	0,17	0,55	0,54	96,09	0,45	0,02	0,53
	0,26	16,31	1,26	25,65	0,02	48,47	0,27	0,81	0,49	93,55	0,44	0,03	0,53
	0,28	16,90	1,53	25,26	-0,01	47,81	0,39	0,75	0,48	93,37	0,45	0,03	0,52
	0,27	18,31	1,47	25,57	0,01	47,61	0,19	0,74	0,52	94,69	0,47	0,03	0,51
	0,26	18,27	1,43	25,46	-0,01	47,47	0,16	0,71	0,44	94,18	0,47	0,03	0,51
	0,28	18,21	1,40	25,97	0,02	47,31	0,18	0,66	0,47	94,50	0,46	0,02	0,51
	0,23	18,09	1,31	25,10	0,13	47,79	0,53	0,44	0,54	94,15	0,47	0,02	0,51

TABLA B.12: Resultados de análisis WDS por microsonda para los piroxenos de la muestra PZ120.

	K2O	SrO	CaO	Na2O	SiO2	Al2O3	Total	Or	An	Ab
LP15101A (UC)	8,31	0,00	0,09	5,96	67,54	19,34	101,24	0,48	0,00	0,52
	8,37	0,00	0,05	6,12	67,68	19,15	101,36	0,47	0,00	0,52
	8,39	0,00	0,06	5,85	67,63	19,21	101,14	0,48	0,00	0,51
	8,27	-0,13	0,06	5,88	68,20	19,67	101,96	0,48	0,00	0,52
	8,23	0,01	0,07	5,91	67,35	19,31	100,88	0,48	0,00	0,52
	8,24	-0,10	0,08	5,97	67,48	19,19	100,87	0,47	0,00	0,52
	8,24	-0,10	0,03	6,03	68,06	19,42	101,68	0,47	0,00	0,53
	8,16	-0,14	0,02	5,81	68,31	19,44	101,61	0,48	0,00	0,52
	8,25	-0,01	0,05	5,96	68,21	19,26	101,72	0,48	0,00	0,52
	8,34	-0,01	0,08	5,77	67,66	19,42	101,25	0,49	0,00	0,51
	8,18	-0,22	0,03	5,95	67,72	19,55	101,21	0,47	0,00	0,52
	8,33	0,03	0,05	5,75	67,32	19,03	100,51	0,49	0,00	0,51
	8,25	-0,10	0,08	5,81	68,10	19,02	101,17	0,48	0,00	0,52
	8,17	0,03	0,06	6,06	67,98	19,38	101,68	0,47	0,00	0,53
	8,28	-0,05	0,11	5,88	67,18	19,20	100,61	0,48	0,01	0,52
	8,38	0,00	0,02	5,78	67,97	19,06	101,21	0,49	0,00	0,51
	8,42	0,01	0,07	5,78	67,93	19,31	101,52	0,49	0,00	0,51
	8,30	-0,18	0,08	5,80	68,51	19,42	101,92	0,48	0,00	0,51
	8,30	0,11	0,02	5,93	67,79	19,18	101,33	0,48	0,00	0,52
	8,39	0,05	0,06	5,87	68,43	19,44	102,23	0,48	0,00	0,51
	8,41	-0,08	0,06	5,91	68,98	19,57	102,85	0,48	0,00	0,52
	8,44	0,07	0,06	5,99	68,00	19,33	101,88	0,48	0,00	0,52
	8,37	-0,01	0,07	5,91	69,65	19,78	103,77	0,48	0,00	0,52
	8,18	0,11	0,09	5,98	67,97	19,26	101,59	0,47	0,00	0,52
	8,18	-0,11	0,10	5,98	68,58	19,26	101,99	0,47	0,00	0,52
	8,18	-0,02	0,06	6,00	67,98	19,12	101,31	0,47	0,00	0,53
	8,28	-0,06	0,09	6,09	67,93	19,32	101,64	0,47	0,00	0,53
	8,27	-0,06	0,06	6,03	68,96	19,72	102,98	0,47	0,00	0,52
	8,10	-0,01	0,07	5,95	68,59	19,41	102,10	0,47	0,00	0,53
	8,34	0,11	0,03	5,80	69,16	19,47	102,91	0,49	0,00	0,51
	8,38	0,01	0,05	6,14	68,89	19,56	103,04	0,47	0,00	0,53
	8,44	-0,18	0,05	6,00	67,88	19,68	101,87	0,48	0,00	0,52
	8,15	0,02	0,09	6,36	69,18	19,64	103,44	0,46	0,00	0,54
	8,49	-0,06	0,08	5,87	68,01	19,34	101,73	0,49	0,00	0,51
	8,32	0,07	0,05	5,91	67,58	19,29	101,21	0,48	0,00	0,52

TABLA B.13: Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra LP15101A.

	K2O	SrO	CaO	Na2O	SiO2	Al2O3	Total	Or	An	Ab
LP1401WM (UA)	7,38	-0,11	0,11	6,55	67,97	19,46	101,36	0,42	0,01	0,57
	7,32	-0,18	0,13	6,73	67,78	19,22	101,00	0,41	0,01	0,58
	7,19	-0,09	0,13	5,24	72,12	20,62	105,21	0,47	0,01	0,52
	7,16	-0,02	0,10	6,54	67,64	19,35	100,77	0,42	0,01	0,58
	7,40	0,13	0,09	6,69	67,81	19,28	101,39	0,42	0,00	0,58
	7,39	-0,06	0,10	6,44	68,16	19,45	101,48	0,43	0,00	0,57
	7,34	0,00	0,10	6,50	67,77	19,51	101,22	0,42	0,00	0,57
	7,43	0,02	0,09	6,71	68,57	19,52	102,35	0,42	0,00	0,58
	7,31	-0,05	0,10	6,46	68,26	19,10	101,18	0,42	0,00	0,57
	7,41	0,03	0,10	6,57	68,01	19,04	101,17	0,42	0,00	0,57
	7,44	-0,11	0,15	6,83	68,21	19,40	101,91	0,41	0,01	0,58
	7,60	-0,08	0,05	6,51	67,72	19,26	101,07	0,43	0,00	0,56
	7,54	0,06	0,14	6,52	68,16	19,46	101,88	0,43	0,01	0,56
	7,42	-0,02	0,12	6,50	68,26	19,22	101,50	0,43	0,01	0,57
	7,47	-0,05	0,14	6,37	68,17	19,50	101,60	0,43	0,01	0,56
	7,39	0,01	0,12	6,14	67,88	19,27	100,81	0,44	0,01	0,55
	7,38	-0,11	0,11	6,38	68,27	19,43	101,46	0,43	0,01	0,56
	7,64	0,05	0,11	6,49	68,06	19,16	101,50	0,43	0,01	0,56
	7,35	-0,09	0,13	6,72	68,10	19,35	101,55	0,42	0,01	0,58
	7,54	-0,03	0,12	6,40	67,94	19,37	101,33	0,43	0,01	0,56
	7,58	-0,10	0,13	6,42	67,68	19,09	100,79	0,43	0,01	0,56
	7,49	-0,07	0,12	6,43	67,79	19,36	101,12	0,43	0,01	0,56
	7,29	-0,06	0,11	6,73	68,67	19,70	102,43	0,41	0,01	0,58
	7,58	-0,05	0,11	6,50	69,13	19,60	102,88	0,43	0,01	0,56
	7,40	-0,11	0,13	6,46	68,10	19,28	101,27	0,43	0,01	0,57
	7,61	0,00	0,11	6,61	67,30	18,96	100,58	0,43	0,01	0,57
	7,43	-0,06	0,09	6,46	68,25	19,35	101,52	0,43	0,00	0,57
	7,57	-0,09	0,08	6,43	68,12	19,50	101,61	0,43	0,00	0,56
	7,50	-0,06	0,10	6,61	69,02	19,46	102,64	0,43	0,00	0,57
	7,45	-0,08	0,11	6,61	68,06	19,35	101,50	0,42	0,01	0,57
	7,52	0,08	0,14	6,57	68,16	19,59	102,06	0,43	0,01	0,57
	7,60	-0,09	0,11	6,35	68,59	19,25	101,80	0,44	0,01	0,56
	7,39	-0,07	0,13	6,47	68,07	19,45	101,43	0,43	0,01	0,57
	7,53	0,02	0,11	6,49	68,46	19,40	102,01	0,43	0,01	0,56
	7,39	0,00	0,10	6,69	67,75	19,00	100,93	0,42	0,00	0,58
	7,35	-0,08	0,12	6,70	68,47	19,60	102,16	0,42	0,01	0,58
	7,57	-0,13	0,11	6,67	68,03	19,51	101,76	0,43	0,01	0,57
	7,40	0,09	0,14	6,52	68,60	19,43	102,17	0,42	0,01	0,57

TABLA B.14: Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra LP1401WM.

	K2O	SrO	CaO	Na2O	SiO2	Al2O3	Total	Or	An	Ab
LP17329AA6 (UC)	7,23	0,01	0,13	6,28	68,42	19,47	101,54	0,43	0,01	0,57
	7,40	-0,27	0,12	6,73	68,75	19,84	102,57	0,42	0,01	0,58
	7,53	-0,08	0,09	6,29	67,53	19,36	100,71	0,44	0,00	0,56
	7,54	0,00	0,06	6,24	67,56	19,50	100,89	0,44	0,00	0,56
	7,44	-0,05	0,10	6,39	66,96	19,51	100,36	0,43	0,00	0,56
	7,42	-0,07	0,11	6,12	68,55	19,45	101,58	0,44	0,01	0,55
	7,54	-0,10	0,14	6,36	68,38	19,42	101,73	0,44	0,01	0,56
	7,31	-0,17	0,14	6,87	68,78	19,44	102,36	0,41	0,01	0,58
	7,60	-0,08	0,10	6,74	68,51	19,63	102,49	0,42	0,00	0,57
	7,47	-0,07	0,13	6,38	68,07	19,57	101,54	0,43	0,01	0,56
	7,33	-0,07	0,10	6,24	67,94	19,43	100,97	0,43	0,01	0,56
	7,50	0,08	0,11	6,24	67,77	19,42	101,12	0,44	0,01	0,56
	7,42	-0,16	0,12	6,75	68,34	19,49	101,96	0,42	0,01	0,58
	7,53	-0,19	0,10	6,48	67,74	19,42	101,09	0,43	0,01	0,56
	7,52	-0,15	0,13	6,52	68,18	19,55	101,73	0,43	0,01	0,57
	7,33	-0,10	0,09	6,81	68,31	19,77	102,20	0,41	0,00	0,58
	7,47	0,01	0,12	6,73	67,76	19,48	101,58	0,42	0,01	0,57
	7,45	0,06	0,11	6,54	67,20	19,40	100,75	0,43	0,01	0,57
	7,49	-0,05	0,10	6,47	66,98	19,52	100,51	0,43	0,00	0,57
PZ120 (Cerrito Colorado Lava)	7,58	-0,08	0,14	6,53	67,12	19,30	100,60	0,43	0,01	0,56
	7,58	-0,06	0,09	6,54	67,34	19,44	100,93	0,43	0,00	0,56
	7,69	-0,05	0,07	6,29	67,01	19,07	100,07	0,44	0,00	0,55
	7,58	-0,06	0,11	6,37	67,19	19,14	100,34	0,44	0,01	0,56
	7,48	-0,08	0,10	6,35	70,66	20,38	104,89	0,43	0,00	0,56
	7,55	-0,08	0,09	6,37	67,13	19,41	100,47	0,44	0,00	0,56
	7,35	-0,15	0,12	6,63	67,55	19,25	100,76	0,42	0,01	0,58
	7,18	-0,22	0,11	6,49	67,39	19,13	100,08	0,42	0,01	0,58
	7,31	-0,06	0,11	6,69	66,62	19,08	99,74	0,42	0,01	0,58
	7,24	-0,11	0,08	6,54	67,27	19,34	100,36	0,42	0,00	0,58
	7,37	-0,02	0,09	6,58	67,52	19,37	100,90	0,42	0,00	0,57
	7,51	-0,08	0,08	6,57	67,15	18,88	100,10	0,43	0,00	0,57
	7,33	-0,07	0,11	6,49	67,72	19,40	100,98	0,42	0,01	0,57
	7,39	-0,11	0,13	6,63	67,55	19,16	100,75	0,42	0,01	0,57

TABLA B.15: Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de las muestras LP17329AA6 y PZ120.

	K2O	SrO	CaO	Na2O	SiO2	Al2O3	Total	Or	An	Ab
LP18500 (UF)	8,18	-0,01	0,08	6,16	68,23	19,31	101,94	0,46	0,00	0,53
	8,32	0,03	0,05	5,97	68,57	19,14	102,09	0,48	0,00	0,52
	8,22	-0,15	0,07	5,90	67,84	19,61	101,48	0,48	0,00	0,52
	8,24	-0,09	0,09	6,05	68,22	19,27	101,78	0,47	0,00	0,53
	8,11	-0,08	0,05	6,18	68,23	19,16	101,65	0,46	0,00	0,54
	8,18	-0,05	0,14	5,81	68,43	19,38	101,88	0,48	0,01	0,52
	8,12	-0,07	0,02	5,79	68,34	19,52	101,72	0,48	0,00	0,52
	8,27	0,00	0,05	6,08	68,64	19,41	102,45	0,47	0,00	0,53
	8,20	-0,07	0,06	5,91	68,10	19,18	101,37	0,48	0,00	0,52
	8,25	-0,07	0,09	5,97	68,02	19,39	101,65	0,47	0,00	0,52
	8,21	-0,02	0,12	6,11	67,30	19,40	101,12	0,47	0,01	0,53
	8,28	-0,03	0,07	5,74	68,53	19,44	102,02	0,49	0,00	0,51
	8,31	-0,03	0,10	6,06	67,94	19,45	101,83	0,47	0,00	0,52
	8,15	-0,02	0,07	4,57	70,69	20,12	103,58	0,54	0,00	0,46
	8,33	-0,02	0,05	5,90	68,31	19,19	101,76	0,48	0,00	0,52
	8,24	-0,06	0,08	5,93	68,54	19,58	102,31	0,48	0,00	0,52
	8,17	-0,02	0,09	5,90	68,05	19,32	101,51	0,47	0,00	0,52
	8,11	-0,13	0,04	6,03	68,43	19,55	102,04	0,47	0,00	0,53
	8,15	-0,14	0,07	6,19	67,94	19,20	101,41	0,46	0,00	0,53
	8,10	0,05	0,06	6,18	68,07	19,33	101,78	0,46	0,00	0,54
	8,19	-0,10	0,08	6,05	68,56	19,48	102,25	0,47	0,00	0,53
	8,17	-0,08	0,03	6,02	68,71	19,37	102,22	0,47	0,00	0,53
	8,28	-0,07	0,03	6,09	68,39	19,57	102,29	0,47	0,00	0,53
	8,19	-0,16	0,13	6,10	67,88	19,43	101,57	0,47	0,01	0,53
	8,19	-0,16	0,08	5,98	68,19	19,64	101,92	0,47	0,00	0,52
	8,20	0,03	0,05	6,00	68,09	19,68	102,06	0,47	0,00	0,53
	8,28	-0,11	0,08	5,89	68,30	19,55	101,98	0,48	0,00	0,52
	8,23	0,08	0,08	5,86	68,12	19,33	101,70	0,48	0,00	0,52
	8,03	-0,02	0,07	6,06	68,36	19,43	101,94	0,46	0,00	0,53
	8,14	0,01	0,06	5,99	68,11	19,45	101,76	0,47	0,00	0,53
	8,18	-0,09	0,08	6,07	67,77	19,34	101,34	0,47	0,00	0,53
	8,14	0,02	0,07	6,17	68,41	19,73	102,54	0,46	0,00	0,53
	8,11	-0,02	0,09	6,17	68,47	19,49	102,31	0,46	0,00	0,53
	8,32	-0,05	0,07	5,95	67,93	19,23	101,45	0,48	0,00	0,52
	8,07	-0,13	0,09	6,04	67,85	19,48	101,39	0,47	0,00	0,53

TABLA B.16: Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra LP18500.

	K2O	SrO	CaO	Na2O	SiO2	Al2O3	Total	Or	An	Ab
PZ77 (GPU)	7,55	0,00	0,05	6,26	67,85	19,06	100,76	0,44	0,00	0,56
	7,63	-0,10	0,18	6,56	67,33	19,27	100,87	0,43	0,01	0,56
	7,63	-0,16	0,12	6,33	68,63	19,47	102,02	0,44	0,01	0,55
	7,65	0,00	0,06	6,23	67,75	19,45	101,13	0,45	0,00	0,55
	7,70	0,05	0,09	6,42	66,96	19,20	100,41	0,44	0,00	0,56
	7,42	-0,07	0,10	6,61	68,54	19,51	102,11	0,42	0,00	0,57
	7,51	-0,12	0,11	6,57	67,15	19,08	100,31	0,43	0,01	0,57
	7,63	-0,02	0,07	6,47	68,38	19,24	101,75	0,44	0,00	0,56
	7,75	-0,05	0,07	6,03	69,50	19,60	102,91	0,46	0,00	0,54
	7,54	-0,10	0,07	6,37	68,10	19,24	101,22	0,44	0,00	0,56
	7,63	-0,17	0,10	6,24	67,93	19,32	101,05	0,44	0,00	0,55
	7,76	-0,08	0,08	6,39	67,52	19,45	101,10	0,44	0,00	0,55
	7,58	-0,09	0,10	6,07	68,35	19,52	101,52	0,45	0,00	0,55
	7,84	0,05	0,11	6,21	67,10	19,11	100,42	0,45	0,01	0,54
	7,58	-0,06	0,05	6,32	67,60	19,25	100,73	0,44	0,00	0,56
	7,88	-0,17	0,10	6,41	67,84	19,31	101,37	0,45	0,00	0,55
	7,53	-0,07	0,09	6,25	67,49	18,98	100,27	0,44	0,00	0,56
	7,55	0,03	0,10	6,26	67,53	18,97	100,45	0,44	0,00	0,55
	7,46	0,00	0,07	6,43	67,73	19,34	101,03	0,43	0,00	0,57
	7,53	0,01	0,05	6,41	68,23	19,20	101,43	0,43	0,00	0,56
	7,97	-0,14	0,06	6,20	67,81	19,33	101,23	0,46	0,00	0,54
	7,59	-0,08	0,09	6,24	67,68	19,34	100,86	0,44	0,00	0,55
	7,65	-0,07	0,11	6,48	66,98	19,13	100,28	0,43	0,01	0,56
	7,71	0,02	0,03	6,14	67,38	19,26	100,55	0,45	0,00	0,55
	7,63	-0,01	0,09	6,29	68,73	19,40	102,14	0,44	0,00	0,55
	7,70	0,02	0,09	6,38	67,99	19,30	101,49	0,44	0,00	0,55
	7,75	-0,01	0,10	6,27	67,86	19,30	101,26	0,45	0,00	0,55
	7,25	-0,05	0,12	6,61	68,70	19,76	102,40	0,42	0,01	0,58
	7,85	0,00	0,09	6,46	67,94	19,34	101,68	0,44	0,00	0,55
	7,55	-0,10	0,10	6,30	68,61	19,43	101,88	0,44	0,00	0,56
	7,56	-0,01	0,14	6,47	68,78	19,60	102,53	0,43	0,01	0,56
	7,74	-0,15	0,11	6,42	68,07	19,55	101,73	0,44	0,01	0,55
	7,51	-0,05	0,12	6,98	67,99	19,30	101,84	0,41	0,01	0,58
	7,67	0,01	0,10	6,22	69,04	19,63	102,66	0,45	0,00	0,55
	7,82	0,18	0,10	6,26	68,58	19,39	102,33	0,45	0,00	0,55
	7,66	-0,22	0,09	6,52	67,92	19,56	101,53	0,43	0,00	0,56

TABLA B.17: Resultados de análisis WDS por microsonda para los feldespatos de la muestra PZ77.

	SiO2	TiO2	FeO	MnO	Al2O3	Total	Oxido
LP18500 (UF)	0,097	15,283	79,647	0,913	0,272	96,212	Titano-magnetita
	0,132	15,02	80,014	0,939	0,24	96,345	Titano-magnetita
	0,109	15,426	79,807	0,866	0,294	96,502	Titano-magnetita
	0,099	15,225	81,792	0,993	0,261	98,37	Titano-magnetita
	0,173	15,405	79,265	0,92	0,281	96,044	Titano-magnetita
	0,269	15,356	80,01	0,936	0,311	96,882	Titano-magnetita
	0,121	15,409	79,184	0,971	0,271	95,956	Titano-magnetita
	0,114	15,385	77,454	0,937	0,27	94,16	Titano-magnetita
	0,14	15,434	79,442	1,051	0,283	96,35	Titano-magnetita
	0,138	15,496	79,319	0,941	0,233	96,127	Titano-magnetita
	0,12	15,528	81,734	1,082	0,285	98,749	Titano-magnetita
	6,562	44,56	45,051	1,575	0,84	98,588	Ilmenita
	0,07	49,878	47,426	1,654	0,011	99,039	Ilmenita
	0,066	49,718	48,369	1,623	-0,006	99,77	Ilmenita
	0,338	15,124	75,539	0,866	0,293	92,16	Titano-magnetita
PZ120 (Cerrito Colorado Lava)	0,382	52,036	43,106	1,565	0,109	97,198	Ilmenita
PZ77 (GPU)	0,138	51,362	45,969	1,678	0,113	99,26	Ilmenita

TABLA B.18: Resultados de análisis WDS por microsonda para los óxidos de las muestras LP18500, PZ120 y PZ77.

	U238	Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230	Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
PMV3314D_1	6,50	0,03		3,39	0,07		-0,25
PMV3314D_2	3,43	0,03		2,35	0,04		0,26
PMV3314D_3 (*)	6,11	0,09		3,53	0,17		-0,24
PMV3314D_4	6,70	0,08		3,49	0,09		0,10
PMV3314D_5 (*)	5,73	0,07		3,46	0,11		-0,11
PMV3314D_6	5,24	0,02		2,96	0,05		-0,21
PMV3314D_7	5,69	0,06		3,06	0,05		0,04
PMV3314D_8 (*)	6,62	0,13		3,77	0,09		0,51
PMV3314D_9	6,41	0,14		3,40	0,15		-0,25
WR_PMV3314D	1,11	0,06		1,11	0,17		
LP15103L_1 (*)	4,31	0,04		2,66	0,06		0,06
LP15103L_2 (*)	3,81	0,11		3,81	0,12		0,90
LP15103L_3 (*)	5,48	0,04		3,05	0,07		0,28
LP15103L_4 (*)	6,42	0,09		5,47	0,17		-0,02
LP15103L_5 (*)	14,18	0,73		13,57	0,71		0,99
WR_LP15103L	1,06	0,05		1,06	0,17		
LP15103H_1	4,41	0,04		2,54	0,05		0,36
LP15103H_2	5,68	0,04		3,07	0,06		0,06
LP15103H_3	6,24	0,04		3,27	0,07		0,04
LP15103H_4 (*)	6,52	0,07		3,29	0,07		-0,06
LP15103H_5 (*)	6,51	0,21		6,14	0,30		0,59
LP15103H_6 (*)	5,95	0,07		3,43	0,09		0,35
LP15103H_7 (*)	3,18	0,06		3,14	0,08		0,62
LP15103H_8 (*)	4,77	0,04		3,01	0,07		0,28
LP15103H_9	6,74	0,04		3,52	0,08		-0,15
LP15103H_10 (*)	2,73	0,08		2,76	0,09		0,43
LP15103H_11	4,68	0,02		2,67	0,04		0,37
LP15103H_12	5,11	0,07		2,83	0,06		0,26
LP15103H_13	4,85	0,03		2,75	0,04		0,16
WR_LP15103H	1,05	0,05		1,05	0,17		
PMV2215E_1	3,78	0,08		2,28	0,05		0,49
PMV2215E_2	3,65	0,11		2,18	0,07		0,75
PMV2215E_3 (*)	5,49	0,17		3,05	0,10		0,81
PMV2215E_4	4,48	0,04		2,53	0,05		0,20
PMV2215E_5 (*)	5,90	0,64		3,15	0,29		0,95
PMV2215E_6	5,50	0,06		2,97	0,06		0,23
PMV2215E_7	6,73	0,06		3,42	0,10		-0,05
PMV2215E_8	5,66	0,08		2,97	0,08		0,17
PMV2215E_9	3,89	0,08		2,33	0,05		0,53
PMV2215E_10	5,33	0,03		2,95	0,06		0,11
PMV2215E_11	4,14	0,04		2,43	0,05		0,13
PMV2215E_12	4,68	0,03		2,64	0,05		0,17
PMV2215E_13	5,49	0,09		3,00	0,08		0,38
PMV2215E_14	5,96	0,04		3,20	0,08		-0,23
PMV2215E_15	6,26	0,06		3,34	0,08		-0,03
PMV2215E_16	6,02	0,04		3,24	0,09		0,00
PMV2215E_17	5,53	0,07		2,96	0,07		0,35
WR_PMV2215E	1,04	0,05		1,04	0,16		

TABLA B.19: Coeficientes de actividad de las muestras PMV3314D, LP15103L, LP15103H y PMV2215E.

	U238_Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230_Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
LP15102F_1 (*)	4,59	0,17	2,89	0,08	0,70
LP15102F_2 (*)	5,92	0,06	3,12	0,06	0,42
LP15102F_3	6,72	0,08	3,53	0,08	0,59
LP15102F_4 (*)	4,32	0,14	2,72	0,08	0,91
LP15102F_5	6,14	0,04	3,32	0,09	0,25
LP15102F_6	6,63	0,03	3,57	0,08	0,09
LP15102F_7 (*)	5,08	0,04	5,02	0,11	-0,08
LP15102F_8	4,83	0,04	2,70	0,04	0,31
LP15102F_9	5,23	0,05	2,91	0,06	0,52
LP15102F_10	4,79	0,02	2,74	0,03	0,41
LP15102F_11 (*)	4,61	0,12	4,56	0,24	0,03
LP15102F_12	5,69	0,04	3,15	0,06	0,25
LP15102F_13	4,98	0,04	2,87	0,06	0,36
LP15102F_14	6,64	0,05	3,54	0,08	0,04
LP15102F_15	6,36	0,04	3,40	0,06	0,08
LP15102F_16	5,34	0,01	2,98	0,06	-0,06
WR_LP15102F	1,10	0,06	1,10	0,17	
LP15102D_1	6,50	0,06	3,37	0,06	0,34
LP15102D_2	6,26	0,06	3,37	0,07	0,24
LP15102D_3	7,74	0,06	3,87	0,07	0,25
LP15102D_4 (*)	6,33	0,03	3,28	0,07	0,04
LP15102D_5	7,67	0,03	3,87	0,09	-0,06
LP15102D_6 (*)	6,50	0,01	3,31	0,06	0,04
LP15102D_7	5,18	0,04	2,85	0,04	0,32
LP15102D_8	6,33	0,06	3,33	0,07	0,58
LP15102D_9 (*)	5,46	0,10	3,08	0,06	0,52
LP15102D_10	6,41	0,02	3,39	0,06	0,26
LP15102D_11	6,21	0,04	3,27	0,07	0,16
LP15102D_12 (*)	5,51	0,07	2,93	0,05	0,58
LP15102D_13	5,90	0,05	3,16	0,06	0,41
LP15102D_14	5,55	0,10	3,04	0,07	0,53
LP15102D_15	2,57	0,09	1,76	0,05	0,83
LP15102D_16	4,99	0,17	2,79	0,09	0,87
LP15102D_17	4,84	0,10	2,73	0,06	0,84
LP15102D_18 (*)	5,44	0,09	3,04	0,06	0,69
LP15102D_19	5,98	0,13	3,23	0,07	0,77
LP15102D_20	5,97	0,09	3,14	0,06	0,63
LP15102D_21 (*)	6,79	0,05	3,41	0,08	0,29
LP15102D_22	6,17	0,04	3,22	0,06	0,54
LP15102D_23 (*)	5,54	0,09	2,95	0,06	0,78
LP15102D_24	6,80	0,10	3,55	0,09	0,54
LP15102D_25	6,04	0,07	3,23	0,05	0,48
LP15102D_26	5,80	0,05	3,16	0,05	0,36
LP15102D_27	6,32	0,08	3,25	0,08	0,31
LP15102D_28	6,03	0,09	3,23	0,07	0,41
LP15102D_29	6,10	0,06	3,20	0,06	0,43
LP15102D_30	5,10	0,10	2,86	0,05	0,68
LP15102D_31	6,65	0,02	3,43	0,07	-0,04
LP15102D_32	6,41	0,03	3,41	0,08	0,07
LP15102D_33	5,78	0,03	3,10	0,04	0,33
LP15102D_34	6,63	0,05	3,52	0,06	0,28
WR_LP15102D	1,13	0,06	1,13	0,18	

TABLA B.20: Coeficientes de actividad de las muestras LP15102F y LP15102D.

	U238	Th232_Act	U238	Th232_Act_Int2SE	Th230	Th232_Act	Th230	Th232_Act_Int2SE	rho
LP15104K_1	6,15		0,15		3,28		0,08		0,70
LP15104K_2	7,66		0,08		3,86		0,12		-0,04
LP15104K_3 (*)	6,33		0,19		3,17		0,18		-0,34
LP15104K_4 (*)	5,93		0,26		3,46		0,15		0,77
LP15104K_5	3,05		0,06		1,89		0,05		0,41
LP15104K_6 (*)	5,90		0,02		3,23		0,06		0,19
LP15104K_7 (*)	6,12		0,11		3,41		0,15		0,26
LP15104K_8	6,16		0,09		3,30		0,08		0,38
LP15104K_9 (*)	7,11		0,03		3,84		0,11		-0,03
LP15104K_10	6,33		0,04		3,36		0,09		-0,07
LP15104K_11 (*)	5,97		0,05		3,30		0,09		-0,08
LP15104K_12	7,15		0,20		3,70		0,14		0,60
LP15104K_13 (*)	6,50		0,31		5,02		0,19		0,97
LP15104K_14	4,22		0,11		2,51		0,08		0,83
LP15104K_15 (*)	4,10		0,35		2,55		0,15		0,96
LP15104K_16	6,81		0,10		3,51		0,11		0,20
LP15104K_17 (*)	4,76		0,06		4,24		0,08		0,47
LP15104K_18 (*)	6,61		0,04		3,56		0,07		0,15
LP15104K_19 (*)	5,96		0,07		3,28		0,08		0,37
LP15104K_20 (*)	6,58		0,06		3,58		0,09		0,15
LP15104K_21	6,90		0,19		3,62		0,09		0,60
LP15104K_22 (*)	5,92		0,05		5,84		0,10		0,51
LP15104K_23	5,92		0,06		3,20		0,07		0,05
LP15104K_24	6,32		0,05		3,23		0,10		0,15
LP15104K_25 (*)	6,21		0,06		3,49		0,10		-0,20
LP15104K_26 (*)	6,04		0,06		3,27		0,07		0,31
LP15104K_27	5,60		0,09		2,98		0,10		0,33
LP15104K_28 (*)	6,17		0,10		3,04		0,17		0,01
LP15104K_29	5,05		0,07		2,77		0,04		0,63
WR_LP15104K	1,02		0,05		1,02		0,16		
LP15104J_1	7,05		0,06		3,59		0,07		0,15
LP15104J_2	5,39		0,05		2,93		0,05		0,12
LP15104J_3	1,13		0,10		1,11		0,05		0,91
LP15104J_4	4,38		0,06		2,49		0,04		0,54
LP15104J_5	5,20		0,16		2,86		0,06		0,63
LP15104J_6	4,65		0,03		2,58		0,04		0,56
LP15104J_7 (*)	3,56		0,05		2,26		0,06		0,46
LP15104J_8	5,62		0,02		3,04		0,06		0,28
LP15104J_9	5,70		0,08		3,11		0,07		0,45
LP15104J_10	5,93		0,04		3,24		0,06		-0,01
LP15104J_11	7,15		0,04		3,62		0,10		-0,21
LP15104J_12	4,53		0,03		2,60		0,05		0,32
LP15104J_13 (*)	4,95		0,02		3,00		0,05		0,15
LP15104J_14	5,38		0,05		2,94		0,06		0,14
LP15104J_15	6,44		0,06		3,33		0,09		-0,03
LP15104J_16	6,49		0,05		3,28		0,08		-0,01
LP15104J_17 (*)	6,12		0,04		3,40		0,07		0,07
LP15104J_18	5,65		0,08		3,11		0,09		0,36
LP15104J_19	6,44		0,06		3,47		0,07		0,19
LP15104J_20	1,55		0,03		1,31		0,02		0,64
LP15104J_21	6,77		0,05		3,59		0,10		-0,10
LP15104J_22	7,07		0,18		3,72		0,12		0,38
LP15104J_23	3,49		0,25		2,08		0,05		0,58
LP15104J_24	2,80		0,20		1,73		0,11		0,61
LP15104J_25	7,14		0,09		3,58		0,12		-0,12
LP15104J_26	6,38		0,10		3,27		0,06		0,27
WR_LP15104J	1,07		0,05		1,07		0,17		

TABLA B.21: Coeficientes de actividad de las muestras LP15104K y LP15104J.

	U238	Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230	Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
LP1513K_1	5,21	0,17		3,02		0,08	
LP1513K_2	3,49	0,12		2,30		0,06	
LP1513K_3	5,27	0,07		3,08		0,06	
LP1513K_4	4,95	0,07		2,88		0,06	
LP1513K_5 (*)	6,34	0,09		3,61		0,09	
LP1513K_6	5,39	0,09		3,05		0,06	
LP1513K_7	5,11	0,02		2,93		0,04	
LP1513K_8	6,37	0,05		3,49		0,06	
LP1513K_9 (*)	5,06	0,10		3,06		0,06	
LP1513K_10	5,70	0,06		3,21		0,08	
LP1513K_11	6,18	0,05		3,40		0,06	
LP1513K_12 (*)	5,22	0,33		2,93		0,09	
LP1513K_13 (*)	6,01	0,24		3,23		0,20	
LP1513K_14	4,89	0,05		2,87		0,04	
LP1513K_15	6,04	0,03		3,39		0,07	
LP1513K_16	6,55	0,03		3,50		0,08	
LP1513K_17	5,60	0,11		3,17		0,06	
LP1513K_18 (*)	5,03	0,12		3,02		0,07	
LP1513K_19	6,15	0,07		3,46		0,06	
LP1513K_20	6,59	0,18		3,58		0,09	
LP1513K_21	6,16	0,04		3,39		0,05	
LP1513K_22	6,41	0,09		3,56		0,07	
LP1513K_23	6,30	0,03		3,46		0,07	
WR_LP15110B	1,08	0,05		1,08		0,17	
LP15102B_1	4,86	0,06		2,75		0,04	0,61
LP15102B_2	6,14	0,08		3,23		0,06	0,47
LP15102B_3	6,17	0,05		3,27		0,07	0,09
LP15102B_4	7,38	0,08		3,70		0,10	0,24
LP15102B_5	4,78	0,09		2,71		0,05	0,65
LP15102B_6	5,54	0,08		2,97		0,05	0,57
LP15102B_7	6,47	0,13		3,34		0,06	0,64
LP15102B_8	5,70	0,13		3,04		0,07	0,72
LP15102B_9 (*)	3,51	0,10		2,11		0,05	0,71
LP15102B_10	5,49	0,09		3,02		0,06	0,41
LP15102B_11	5,15	0,04		2,88		0,04	-0,02
LP15102B_12	3,54	0,04		2,17		0,03	0,45
LP15102B_13	6,41	0,03		3,34		0,06	-0,10
LP15102B_14	6,36	0,03		3,30		0,06	0,13
LP15102B_15	7,22	0,04		3,59		0,07	-0,07
LP15102B_16	6,37	0,03		3,36		0,07	-0,23
LP15102B_17 (*)	3,02	0,10		2,11		0,07	0,76
LP15102B_18	6,36	0,11		3,32		0,07	0,42
LP15102B_19	4,81	0,05		2,70		0,04	0,49
LP15102B_20	6,44	0,02		3,44		0,06	0,06
LP15102B_21	6,37	0,05		3,27		0,06	0,20
LP15102B_22 (*)	5,57	0,31		3,27		0,16	0,96
LP15102B_23	6,33	0,02		3,38		0,06	0,10
LP15102B_24 (*)	5,61	0,03		3,13		0,05	0,40
LP15102B_25	6,37	0,02		3,32		0,05	-0,15
LP15102B_26	2,97	0,12		1,96		0,07	0,77
LP15102B_27	5,15	0,03		2,79		0,08	0,06
LP15102B_28	6,50	0,02		3,31		0,05	-0,24
LP15102B_29	6,59	0,02		3,44		0,05	0,04
LP15102B_30	4,78	0,21		2,73		0,10	0,95
LP15102B_31	6,16	0,28		3,25		0,13	0,86
LP15102B_32 (*)	5,51	0,12		3,06		0,08	0,73
LP15102B_33	6,46	0,04		3,42		0,06	-0,03
LP15102B_34	6,77	0,03		3,49		0,06	0,11
LP15102B_35	6,46	0,02		3,36		0,06	0,04
WR_LP15102B	1,11	0,06		1,11		0,18	

TABLA B.22: Coeficientes de actividad de las muestras LP1513K y LP15102B.

	U238	Th232	Act	U238	Th232	Act	Int2SE	Th230	Th232	Act	Th230	Th232	Act	Int2SE	rho
LP1513I_1	4,59				0,11			2,78			0,07				
LP1513I_2 (*)	5,16				0,02			2,95			0,04				
LP1513I_3	4,59				0,22			2,88			0,12				
LP1513I_4	4,74				0,04			2,86			0,04				
LP1513I_5	4,54				0,04			2,82			0,04				
LP1513I_6	4,99				0,15			3,01			0,08				
LP1513I_7	5,69				0,02			3,27			0,05				
LP1513I_8 (*)	6,98				0,05			3,56			0,12				
LP1513I_9	5,36				0,14			3,16			0,07				
LP1513I_10	5,56				0,09			3,24			0,06				
LP1513I_11	5,63				0,18			3,29			0,09				
LP1513I_12	5,72				0,06			3,27			0,05				
LP1513I_13	5,72				0,11			3,30			0,07				
LP1513I_14	6,11				0,03			3,41			0,07				
LP1513I_15	5,40				0,15			3,11			0,08				
LP1513I_16	5,67				0,07			3,24			0,11				
LP1513I_17	6,86				0,10			3,67			0,14				
LP1513I_18	5,45				0,06			3,17			0,07				
LP1513I_19	6,16				0,06			3,47			0,08				
LP1513I_20	6,26				0,07			3,43			0,08				
LP1513I_21	6,10				0,10			3,35			0,06				
LP1513I_22	6,77				0,08			3,66			0,18				
LP1513I_23	4,90				0,07			2,93			0,07				
LP1513I_24	5,80				0,16			3,26			0,09				
LP1513I_25	6,02				0,05			3,28			0,08				
WR_LP15101D1	1,12				0,06			1,12			0,18				
LP15101C_1	6,17				0,03			3,55			0,07			-0,11	
LP15101C_2	6,11				0,10			3,65			0,09			0,56	
LP15101C_3	5,98				0,16			3,52			0,10			0,59	
LP15101C_4	6,61				0,06			3,85			0,08			0,29	
LP15101C_5	7,00				0,07			4,01			0,09			0,55	
LP15101C_6	6,34				0,04			3,78			0,10			-0,20	
LP15101C_7	4,60				0,08			2,85			0,05			0,65	
LP15101C_8	4,37				0,10			2,77			0,07			0,46	
LP15101C_9	3,60				0,16			2,34			0,08			0,37	
LP15101C_10	5,16				0,10			3,13			0,07			0,61	
LP15101C_11	7,14				0,10			4,12			0,10			0,55	
LP15101C_12	4,69				0,06			2,88			0,06			0,34	
LP15101C_13	6,44				0,08			3,77			0,11			-0,27	
LP15101C_14	6,31				0,05			3,72			0,08			-0,03	
LP15101C_15	6,73				0,13			3,98			0,11			0,32	
LP15101C_16	6,01				0,08			3,57			0,08			0,60	
LP15101C_17	5,80				0,08			3,44			0,07			0,37	
LP15101C_18	6,32				0,05			3,74			0,10			0,09	
LP15101C_19	6,13				0,05			3,62			0,11			0,03	
LP15101C_20	5,04				0,08			3,07			0,10			0,49	
LP15101C_21	6,22				0,03			3,65			0,07			-0,25	
LP15101C_22	6,35				0,12			3,62			0,11			0,17	
LP15101C_23	4,74				0,04			2,95			0,07			0,29	
LP15101C_24	4,75				0,07			2,96			0,06			0,48	
LP15101C_25	5,14				0,05			3,14			0,05			0,34	
LP15101C_26	5,17				0,02			3,18			0,06			0,01	
LP15101C_27	6,09				0,03			3,52			0,09			-0,20	
LP15101C_28	6,08				0,05			3,57			0,07			0,20	
LP15101C_29	5,92				0,04			3,58			0,09			-0,02	
LP15101C_30	6,38				0,05			3,66			0,08			0,35	
LP15101C_31	4,49				0,06			2,87			0,08			0,40	
LP15101C_32	5,95				0,12			3,49			0,10			0,53	
LP15101C_33	4,84				0,04			3,02			0,07			0,30	
LP15101C_34	6,10				0,03			3,55			0,10			-0,04	
LP15101C_35	5,89				0,12			3,43			0,09			0,65	
LP15101C_36	5,00				0,06			3,10			0,09			0,61	
LP15101C_37	4,80				0,03			2,98			0,05			0,39	
WR_LP15101C	1,01				0,05			1,01			0,16				

TABLA B.23: Coeficientes de actividad de las muestras LP1513I y LP15101C.

	U238	Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230	Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
LP15101A_1	6,18	0,03		3,63	0,07		0,20
LP15101A_2	3,22	0,03		2,21	0,05		0,21
LP15101A_3	5,29	0,08		3,15	0,12		-0,27
LP15101A_4 (*)	6,86	0,06		4,82	0,14		0,04
LP15101A_5	5,66	0,04		3,38	0,08		0,07
LP15101A_6	6,19	0,03		3,55	0,08		-0,02
LP15101A_7	4,39	0,09		2,75	0,07		0,74
LP15101A_8	6,76	0,14		4,03	0,13		0,37
LP15101A_9	6,42	0,18		3,73	0,12		0,48
LP15101A_10	6,30	0,06		3,80	0,11		0,11
LP15101A_11	5,01	0,04		3,08	0,07		0,24
LP15101A_12	6,01	0,03		3,53	0,08		-0,10
LP15101A_13	4,51	0,07		2,78	0,05		0,76
LP15101A_14	5,87	0,09		3,43	0,07		0,66
LP15101A_15	4,69	0,17		2,99	0,10		0,77
LP15101A_16	5,39	0,05		3,33	0,07		0,64
LP15101A_17	3,28	0,06		2,19	0,05		0,54
LP15101A_18	6,04	0,03		3,53	0,07		-0,10
LP15101A_19	3,52	0,05		2,32	0,04		0,60
LP15101A_20	4,96	0,14		3,04	0,09		0,74
LP15101A_21	5,74	0,09		3,36	0,09		0,46
LP15101A_22	5,99	0,03		3,56	0,08		0,07
LP15101A_23	5,60	0,05		3,33	0,06		0,18
LP15101A_24	6,27	0,09		3,65	0,07		0,56
LP15101A_25	5,70	0,05		3,44	0,09		-0,27
LP15101A_26	5,73	0,12		3,42	0,09		0,56
LP15101A_27	5,08	0,18		3,03	0,10		0,81
LP15101A_28	5,29	0,04		3,13	0,07		0,35
LP15101A_29	6,03	0,04		3,55	0,08		0,26
LP15101A_30	6,51	0,07		3,71	0,07		0,22
LP15101A_31	5,89	0,04		3,50	0,07		0,12
LP15101A_32	3,89	0,05		2,52	0,05		0,59
LP15101A_33	5,24	0,04		3,17	0,07		0,22
LP15101A_34	6,49	0,04		3,79	0,09		0,13
WR_LP15101A	1,02	0,05		1,02	0,16		
LP1513G_1	5,09	0,06		3,14	0,07		0,20
LP1513G_2	5,90	0,15		3,51	0,14		0,15
LP1513G_3	4,92	0,10		3,15	0,12		-0,22
LP1513G_4	4,45	0,06		2,77	0,04		0,37
LP1513G_5	5,80	0,05		3,50	0,09		0,12
LP1513G_6	5,32	0,12		3,20	0,11		0,54
LP1513G_7	5,41	0,08		3,30	0,09		0,54
LP1513G_8	4,70	0,04		2,97	0,07		0,09
LP1513G_9	5,54	0,05		3,41	0,09		0,00
LP1513G_10	6,03	0,08		3,61	0,15		0,12
LP1513G_11	5,34	0,05		3,27	0,07		0,11
LP1513G_12	5,95	0,03		3,50	0,08		-0,11
LP1513G_13	5,57	0,09		3,46	0,12		0,01
LP1513G_14	5,92	0,09		3,46	0,13		0,40
LP1513G_15	5,81	0,11		3,49	0,11		-0,05
LP1513G_16	6,53	0,09		3,82	0,18		0,07
LP1513G_17	6,36	0,08		3,86	0,13		0,15
LP1513G_18	6,47	0,15		3,91	0,20		0,33
LP1513G_19	5,77	0,09		3,28	0,12		0,08
LP1513G_20	4,94	0,07		2,99	0,06		0,31
LP1513G_21	4,03	0,07		2,69	0,09		0,51
LP1513G_22	5,64	0,06		3,39	0,10		0,07
LP1513G_23	5,53	0,11		3,35	0,08		0,26
LP1513G_24	6,85	0,28		3,94	0,22		0,36
WR_LP1513G	1,01	0,05		1,01	0,16		

TABLA B.24: Coeficientes de actividad de las muestras LP15101A y LP1513G.

	U238	Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230	Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
LP1513F_1	6,37	0,08		3,69	0,13		-0,30
LP1513F_2	5,40	0,07		3,32	0,08		0,15
LP1513F_3	5,68	0,13		3,49	0,15		0,46
LP1513F_4	4,92	0,05		2,97	0,07		-0,08
LP1513F_5	5,31	0,09		3,18	0,07		0,10
LP1513F_6	5,34	0,06		3,26	0,06		0,48
LP1513F_7	5,40	0,09		3,35	0,09		0,40
LP1513F_8	5,79	0,17		3,50	0,11		0,65
LP1513F_9	4,83	0,03		2,86	0,08		0,06
LP1513F_10	5,71	0,04		3,40	0,07		-0,13
LP1513F_11	5,87	0,04		3,52	0,07		0,17
LP1513F_12	4,82	0,04		3,00	0,08		0,29
LP1513F_13	3,96	0,16		2,57	0,10		0,58
LP1513F_14	4,91	0,10		2,87	0,09		0,20
LP1513F_15	6,01	0,09		3,73	0,12		0,42
LP1513F_16	5,33	0,08		3,36	0,14		0,08
LP1513F_17	5,24	0,04		3,21	0,06		0,41
LP1513F_18	4,99	0,04		3,04	0,10		0,28
LP1513F_19	5,12	0,07		3,11	0,06		0,23
LP1513F_20	5,56	0,04		3,35	0,06		-0,35
LP1513F_21	5,86	0,06		3,47	0,07		0,28
LP1513F_22	5,50	0,04		3,45	0,08		-0,10
LP1513F_23	5,32	0,05		3,18	0,10		-0,22
LP1513F_24	6,26	0,06		3,75	0,14		-0,27
LP1513F_25	5,71	0,07		3,50	0,13		0,65
LP1513F_26	4,55	0,04		2,85	0,08		0,07
LP1513F_27	5,94	0,07		3,52	0,09		0,15
LP1513F_28	5,36	0,07		3,28	0,06		0,32
LP1513F_29	5,31	0,05		3,23	0,12		-0,10
LP1513F_30	2,66	0,05		1,89	0,06		0,57
LP1513F_31	3,65	0,05		2,39	0,06		0,36
LP1513F_32	4,17	0,03		2,67	0,05		0,12
LP1513F_33	4,04	0,05		2,61	0,08		-0,05
LP1513F_34 (*)	5,26	0,17		3,18	0,20		0,23
LP1513F_35	4,18	0,13		2,78	0,08		0,33
LP1513F_36	5,57	0,08		3,25	0,13		-0,20
LP1513F_37	5,62	0,03		3,30	0,05		0,01
LP1513F_38	4,02	0,06		2,51	0,04		0,64
LP1513F_39	5,34	0,04		3,28	0,06		0,05
LP1513F_40	4,48	0,04		2,80	0,05		0,28
LP1513F_41	6,94	0,08		3,99	0,11		0,16
LP1513F_42	4,90	0,08		3,01	0,06		0,32
WR_LP1513F	1,01	0,05		1,01	0,16		

TABLA B.25: Coeficientes de actividad de la muestra LP1513F.

	U238_Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230_Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
LPZ0_1 (*)	6,71	0,06	5,23	0,15	0,46
LPZ0_2	6,00	0,03	3,81	0,04	0,43
LPZ0_3 (*)	3,77	0,12	2,89	0,09	0,93
LPZ0_4 (*)	4,71	0,05	3,56	0,05	0,57
LPZ0_5 (*)	6,81	0,24	4,51	0,13	0,54
LPZ0_6 (*)	5,73	0,36	4,08	0,29	0,73
LPZ0_7 (*)	6,13	0,08	4,54	0,09	0,79
LPZ0_8	5,20	0,04	3,45	0,04	0,53
LPZ0_9 (*)	10,25	0,14	7,19	0,22	0,16
LPZ0_10 (*)	6,34	0,06	4,54	0,12	-0,01
LPZ0_11	8,82	0,15	5,53	0,19	0,40
LPZ0_12	6,48	0,22	4,08	0,11	0,27
LPZ0_13 (*)	4,70	0,07	4,55	0,11	0,72
LPZ0_14 (*)	6,32	0,04	3,97	0,06	0,46
LPZ0_15 (*)	6,80	0,13	4,88	0,16	0,46
LPZ0_16	5,45	0,13	3,59	0,07	0,88
LPZ0_17 (*)	6,78	0,04	5,07	0,08	0,47
LPZ0_18 (*)	6,04	0,09	4,20	0,15	0,71
LPZ0_19	4,99	0,06	3,31	0,04	0,73
LPZ0_20 (*)	7,51	0,19	4,91	0,21	0,85
LPZ0_21 (*)	4,16	0,05	3,14	0,06	0,73
LPZ0_22	4,65	0,12	3,13	0,08	0,95
LPZ0_23	4,66	0,04	3,16	0,04	0,34
LPZ0_24 (*)	8,46	0,19	7,96	0,29	-0,03
LPZ0_25	5,97	0,02	3,95	0,06	0,10
LPZ0_26	5,05	0,12	3,38	0,07	0,92
LPZ0_27 (*)	7,26	0,13	5,13	0,14	0,60
LPZ0_28	6,19	0,21	3,98	0,11	0,85
LPZ0_29 (*)	5,54	0,10	3,51	0,06	0,76
LPZ0_30 (*)	3,50	0,08	3,47	0,08	0,86
LPZ0_31 (*)	5,91	0,07	4,19	0,13	-0,02
LPZ0_32 (*)	5,99	0,01	3,81	0,04	0,29
LPZ0_33 (*)	6,47	0,03	4,56	0,07	-0,19
LPZ0_34 (*)	5,43	0,07	4,03	0,09	0,59
WR_LPZ0	0,97	0,05	0,97	0,15	

TABLA B.26: Coeficientes de actividad de la muestra LPZ0.

	U238	Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230	Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
PMV14417C_1	5,89	0,06		4,41	0,09		4,41
PMV14417C_2	5,28	0,04		4,01	0,10		4,01
PMV14417C_3	5,37	0,10		4,11	0,10		4,11
PMV14417C_4	6,30	0,05		4,65	0,10		4,65
PMV14417C_5	3,00	0,03		2,44	0,05		2,44
PMV14417C_6	5,24	0,07		3,89	0,13		3,89
PMV14417C_7	6,54	0,08		4,83	0,12		4,83
PMV14417C_8	6,98	0,07		5,18	0,10		5,18
PMV14417C_9	2,96	0,06		2,49	0,10		2,49
PMV14417C_10	5,33	0,09		3,91	0,21		3,91
PMV14417C_11	5,41	0,02		4,10	0,08		4,10
PMV14417C_12	5,95	0,03		4,37	0,08		4,37
PMV14417C_13	6,96	0,14		5,08	0,19		5,08
PMV14417C_14	5,79	0,06		4,25	0,09		4,25
PMV14417C_15	5,91	0,07		4,36	0,09		4,36
PMV14417C_16	5,12	0,05		3,80	0,10		3,80
PMV14417C_17	6,80	0,10		4,91	0,23		4,91
PMV14417C_18	6,45	0,08		4,77	0,11		4,77
PMV14417C_19	3,39	0,09		2,84	0,16		2,84
PMV14417C_20	4,96	0,04		3,72	0,08		3,72
PMV14417C_21	4,19	0,04		3,25	0,05		3,25
PMV14417C_22	6,74	0,04		4,97	0,09		4,97
PMV14417C_23	5,95	0,05		4,44	0,10		4,44
PMV14417C_24	5,99	0,05		4,47	0,10		4,47
PMV14417C_25	5,96	0,05		4,45	0,07		4,45
PMV14417C_26	1,93	0,15		1,71	0,10		1,71
PMV14417C_27	6,47	0,13		4,67	0,20		4,67
PMV14417C_28	6,64	0,08		4,98	0,11		4,98
PMV14417C_29	2,42	0,13		2,11	0,16		2,11
PMV14417C_30	5,30	0,09		4,09	0,11		4,09
PMV14417C_31	4,07	0,04		3,13	0,07		3,13
PMV14417C_32	2,09	0,14		1,88	0,10		1,88
PMV14417C_33	6,53	0,10		4,78	0,16		4,78
PMV14417C_34	5,86	0,06		4,46	0,13		4,46
PMV14417C_35	6,33	0,05		4,74	0,08		4,74
PMV14417C_36	6,15	0,03		4,62	0,06		4,62
PMV14417C_37	6,03	0,11		4,48	0,09		4,48
PMV14417C_38	2,06	0,04		1,78	0,03		1,78
PMV14417C_39	3,38	0,17		2,52	0,12		2,52
PMV14417C_40	6,12	0,05		4,60	0,08		4,60
PMV14417C_41	7,05	0,03		5,21	0,11		5,21
PMV14417C_42	2,17	0,09		1,82	0,09		1,82
PMV14417C_43	4,79	0,08		3,69	0,11		3,69
PMV14417C_44	5,76	0,04		4,31	0,09		4,31
PMV14417C_45	6,90	0,04		5,19	0,09		5,19
PMV14417C_46	5,22	0,02		3,97	0,06		3,97
WR_PMV14417C	1,13	0,06		1,13	0,18		

TABLA B.27: Coeficientes de actividad de la muestra PMV14417C.

	U238	Th232_Act	U238_Th232_Act_Int2SE	Th230	Th232_Act	Th230_Th232_Act_Int2SE	rho
PR9-2985_1	3,57	0,02		3,58	0,04		-0,11
PR9-2985_2	8,66	0,04		8,63	0,07		0,28
PR9-2985_3	4,75	0,09		4,75	0,11		0,78
PR9-2985_4	3,94	0,03		3,95	0,05		0,69
PR9-2985_5	6,69	0,10		6,74	0,10		0,88
PR9-2985_6	6,34	0,10		6,33	0,12		0,66
PR9-2985_7	3,93	0,18		3,98	0,17		0,91
PR9-2985_8	3,43	0,03		3,48	0,03		0,74
PR9-2985_9	5,15	0,21		5,15	0,19		0,99
PR9-2985_10	7,14	0,21		7,34	0,47		0,00
PR9-2985_11	5,04	0,16		5,06	0,17		0,71
PR9-2985_12	7,63	0,47		7,36	0,36		0,62
PR9-2985_13	3,02	0,03		3,11	0,04		0,79
PR9-2985_14	9,17	0,43		9,11	0,47		0,95
PR9-2985_15	19,78	0,63		19,37	0,62		0,73
PR9-2985_16	3,02	0,02		3,11	0,03		0,55
PR9-2985_17	9,29	0,17		9,37	0,24		-0,18
PR9-2985_18	3,49	0,04		3,51	0,04		0,77
PR9-2985_19	6,13	0,14		6,13	0,14		0,97
PR9-2985_20	2,42	0,05		2,49	0,05		0,93
PR9-2985_21	6,30	0,16		6,33	0,16		0,96
PR9-2985_22	5,18	0,04		5,24	0,05		0,69
PR9-2985_23	3,23	0,10		3,30	0,09		0,93
PR9-2985_24	5,61	0,09		5,70	0,09		0,93
PR9-2985_25	5,38	0,13		5,48	0,12		0,96
PR9-2985_26	6,08	0,12		6,11	0,12		0,97
PR9-2985_27	4,33	0,05		4,46	0,08		0,82
WR_PR9-2985	1,30	0,06		1,30	0,21		

TABLA B.28: Coeficientes de actividad de la muestra PR9-2985.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
PMV3314D_1_Modelo_1	63374,33801	6189,148616	5856,654581	63,37	6,19	5,86
PMV3314D_1_Modelo_2	63420,42495	6236,777784	5899,284889	63,42	6,24	5,90
PMV3314D_1_Modelo_3	65539,17757	8001,206972	7454,037792	65,54	8,00	7,45
PMV3314D_1_Modelo_4	67341,76238	5838,390353	5541,619453	67,34	5,84	5,54
PMV3314D_1_Modelo_5	73597,83442	6212,572462	5877,624416	73,60	6,21	5,88
PMV3314D_1_Modelo_6	75309,05458	7268,550184	6814,184583	75,31	7,27	6,81
PMV3314D_1_Modelo_7	76803,81123	9949,978604	9117,510627	76,80	9,95	9,12
PMV3314D_1_Modelo_8	83818,21323	8541,21615	7920,528927	83,82	8,54	7,92
PMV3314D_1_Modelo_9	109279,1572	8905,059641	8232,422828	109,28	8,91	8,23
LP15103H_Modelo_1	59425,58345	5726,393715	5440,623029	59,4	5,7	5,4
LP15103H_Modelo_2	63920,8268	6049,737467	5731,672078	63,9	6,0	5,7
LP15103H_Modelo_3	63968,45433	5868,081641	5568,36143	64,0	5,9	5,6
LP15103H_Modelo_4	68271,28746	5818,913813	5524,070048	68,3	5,8	5,5
LP15103H_Modelo_5	71544,39468	6428,085464	6070,159256	71,5	6,4	6,1
LP15103H_Modelo_6	74034,6974	6081,18367	5759,890167	74,0	6,1	5,8
LP15103H_Modelo_7	75129,40651	6006,343038	5692,706941	75,1	6,0	5,7
LP15103H_Modelo_8	76589,5432	6506,365038	6139,914512	76,6	6,5	6,1
LP15103H_Modelo_9	77052,69711	7133,987971	6695,787887	77,1	7,1	6,7
LP15103H_Modelo_10	92294,13475	8571,240073	7946,339289	92,3	8,6	7,9
LP15103H_Modelo_11	283700,3728	171051,0869	63589,46886	283,7	171,1	63,6
LP15103H_Modelo_12	397368,0472		83256,84157	397,4		83,3
LP15103H_Modelo_13	445160,1375		107348,4287	445,2		107,3
PMV2215E_Modelo_1	60809,01267	6068,755342	5748,739515	60,8	6,1	5,7
PMV2215E_Modelo_2	64115,30429	6200,387134	5866,716755	64,1	6,2	5,9
PMV2215E_Modelo_3	66523,46379	6231,967594	5894,981148	66,5	6,2	5,9
PMV2215E_Modelo_4	66619,17587	6516,843354	6149,2446	66,6	6,5	6,1
PMV2215E_Modelo_5	66895,89551	6094,278107	5771,635841	66,9	6,1	5,8
PMV2215E_Modelo_6	67464,04623	6684,914189	6298,666732	67,5	6,7	6,3
PMV2215E_Modelo_7	67879,84444	6136,189375	5809,212155	67,9	6,1	5,8
PMV2215E_Modelo_8	68474,20834	22001,10241	18298,70682	68,5	22,0	18,3
PMV2215E_Modelo_9	69587,21439	6522,019704	6153,853093	69,6	6,5	6,2
PMV2215E_Modelo_10	71257,86667	6540,219298	6170,05287	71,3	6,5	6,2
PMV2215E_Modelo_11	71764,02456	8357,519909	7762,324375	71,8	8,4	7,8
PMV2215E_Modelo_12	73430,82928	6389,719951	6035,936984	73,4	6,4	6,0
PMV2215E_Modelo_13	73941,99785	6196,299279	5863,057006	73,9	6,2	5,9
PMV2215E_Modelo_14	79782,55316	6830,571197	6427,810809	79,8	6,8	6,4
PMV2215E_Modelo_15	82320,29806	9514,904039	8750,887215	82,3	9,5	8,8
PMV2215E_Modelo_16	83067,81571	7939,824439	7400,738724	83,1	7,9	7,4
PMV2215E_Modelo_17	84446,14904	7825,761142	7301,547382	84,4	7,8	7,3

TABLA B.29: Edades modelos de las muestras PMV3314D, LP15103H y PMV2215E.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
LP15102F_Modelo_1	64134,13472	5688,333235	5406,25587	64,1	5,7	5,4
LP15102F_Modelo_2	64557,51557	6027,682037	5711,871535	64,6	6,0	5,7
LP15102F_Modelo_3	66263,70716	5954,161375	5645,812493	66,3	6,0	5,6
LP15102F_Modelo_4	66915,16194	5867,972387	5568,263055	66,9	5,9	5,6
LP15102F_Modelo_5	67826,18455	6075,935402	5755,181733	67,8	6,1	5,8
LP15102F_Modelo_6	67875,32153	6397,409398	6042,797844	67,9	6,4	6,0
LP15102F_Modelo_7	71270,03697	6519,214923	6151,356054	71,3	6,5	6,2
LP15102F_Modelo_8	71778,79276	6135,840232	5808,899237	71,8	6,1	5,8
LP15102F_Modelo_9	72028,77204	6296,445752	5952,640723	72,0	6,3	6,0
LP15102F_Modelo_10	72209,34128	6107,064838	5783,102922	72,2	6,1	5,8
LP15102F_Modelo_11	75995,86889	5808,680325	5514,846739	76,0	5,8	5,5
LP15102F_Modelo_12	76804,40158	6702,315392	6314,112311	76,8	6,7	6,3
LP15102F_Modelo_13	91227,6355	10696,941825	9740,715659	91,2	10,7	9,7
LP15102F_Modelo_14	91973,92088	11252,222486	10198,96031	92,0	11,3	10,2
LP15102F_Modelo_15	371497,3952		92758,02247	371,5		92,8
LP15102F_Modelo_16	408459,7983		81185,47567	408,5		81,2
LP15102D_Modelo_1	58606,46161	5212,615143	4974,766696	58,6	5,2	5,0
LP15102D_Modelo_2	59369,75144	5872,610614	5572,439313	59,4	5,9	5,6
LP15102D_Modelo_3	59498,2251	5697,432933	5414,474626	59,5	5,7	5,4
LP15102D_Modelo_4	60787,10775	5440,239972	5181,676504	60,8	5,4	5,2
LP15102D_Modelo_5	61986,90906	5733,562084	5447,093239	62,0	5,7	5,4
LP15102D_Modelo_6	62411,60815	6069,842728	5749,715211	62,4	6,1	5,7
LP15102D_Modelo_7	62721,47855	5461,246615	5200,729926	62,7	5,5	5,2
LP15102D_Modelo_8	63029,14549	5717,079869	5432,215091	63,0	5,7	5,4
LP15102D_Modelo_9	63410,4264	5830,138533	5534,184848	63,4	5,8	5,5
LP15102D_Modelo_10	63636,65013	6299,361953	5955,247008	63,6	6,3	6,0
LP15102D_Modelo_11	64443,96451	6096,743647	5773,847125	64,4	6,1	5,8
LP15102D_Modelo_12	64456,95221	6043,890203	5726,423362	64,5	6,0	5,7
LP15102D_Modelo_13	64486,68966	5952,185136	5644,035655	64,5	6,0	5,6
LP15102D_Modelo_14	64838,52601	6074,786323	5754,150791	64,8	6,1	5,8
LP15102D_Modelo_15	65581,76134	6007,608250	5693,843429	65,6	6,0	5,7
LP15102D_Modelo_16	65655,03247	5436,699341	5178,464395	65,7	5,4	5,2
LP15102D_Modelo_17	65679,51494	5855,795178	5557,297091	65,7	5,9	5,6
LP15102D_Modelo_18	65688,91583	6334,514714	5986,653578	65,7	6,3	6,0
LP15102D_Modelo_19	65869,38592	5947,227596	5639,578059	65,9	5,9	5,6
LP15102D_Modelo_20	66321,84689	6041,708760	5724,465083	66,3	6,0	5,7
LP15102D_Modelo_21	66410,67056	5967,906034	5658,168632	66,4	6,0	5,7
LP15102D_Modelo_22	66599,52462	6351,063676	6001,432301	66,6	6,4	6,0
LP15102D_Modelo_23	67031,48895	5776,816249	5486,117521	67,0	5,8	5,5
LP15102D_Modelo_24	67201,23127	6163,717143	5833,87778	67,2	6,2	5,8
LP15102D_Modelo_25	67824,17156	6854,449415	6448,950963	67,8	6,9	6,4
LP15102D_Modelo_26	68741,92711	6137,058692	5809,991266	68,7	6,1	5,8
LP15102D_Modelo_27	69716,5156	6852,104109	6446,874974	69,7	6,9	6,4
LP15102D_Modelo_28	70456,06296	6127,624496	5801,535382	70,5	6,1	5,8
LP15102D_Modelo_29	72332,96452	6696,265777	6308,743106	72,3	6,7	6,3
LP15102D_Modelo_30	72539,13041	8957,696969	8277,384875	72,5	9,0	8,3
LP15102D_Modelo_31	72935,92662	6678,143450	6292,655661	72,9	6,7	6,3
LP15102D_Modelo_32	73932,9007	6868,068855	6461,004783	73,9	6,9	6,5
LP15102D_Modelo_33	73971,41511	6845,116755	6440,689498	74,0	6,8	6,4
LP15102D_Modelo_34	108894,3118	13202,304894	11775,11713	108,9	13,2	11,8

TABLA B.30: Edades modelos de las muestras LP15102F y LP15102D.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
LP15104K_Modelo_1	61279,90082	6343,472111	5994,653331	61,3	6,3	6,0
LP15104K_Modelo_2	62543,7294	6688,467558	6301,821136	62,5	6,7	6,3
LP15104K_Modelo_3	62581,80467	7563,383917	7072,641484	62,6	7,6	7,1
LP15104K_Modelo_4	64197,35504	7127,191797	6689,800875	64,2	7,1	6,7
LP15104K_Modelo_5	66040,33756	6565,640379	6192,672066	66,0	6,6	6,2
LP15104K_Modelo_6	66153,12091	6969,741256	6550,899865	66,2	7,0	6,6
LP15104K_Modelo_7	66177,68854	6787,248924	6389,433917	66,2	6,8	6,4
LP15104K_Modelo_8	66770,74902	6538,668744	6168,672893	66,8	6,5	6,2
LP15104K_Modelo_9	67267,06474	5761,589021	5472,382742	67,3	5,8	5,5
LP15104K_Modelo_10	67596,29804	6517,909744	6150,194039	67,6	6,5	6,2
LP15104K_Modelo_11	67799,45891	6262,071790	5921,909854	67,8	6,3	5,9
LP15104K_Modelo_12	68038,58802	6034,169966	5717,696944	68,0	6,0	5,7
LP15104K_Modelo_13	68951,21459	6373,196286	6021,190754	69,0	6,4	6,0
LP15104K_Modelo_14	69658,16947	5977,907961	5667,158281	69,7	6,0	5,7
LP15104K_Modelo_15	69721,06185	6076,857539	5756,009051	69,7	6,1	5,8
LP15104K_Modelo_16	70206,9195	6618,964800	6240,086771	70,2	6,6	6,2
LP15104K_Modelo_17	70706,73899	6813,764092	6412,925704	70,7	6,8	6,4
LP15104K_Modelo_18	71780,36438	8989,941506	8304,907827	71,8	9,0	8,3
LP15104K_Modelo_19	72631,23306	6997,970797	6575,831418	72,6	7,0	6,6
LP15104K_Modelo_20	79269,19732	11561,124378	10452,0462	79,3	11,6	10,5
LP15104K_Modelo_21	81314,54472	8868,124070	8200,848957	81,3	8,9	8,2
LP15104K_Modelo_22	88234,65393	8597,174467	7968,623413	88,2	8,6	8,0
LP15104K_Modelo_23	91742,33897	23554,745612	19359,53482	91,7	23,6	19,4
LP15104K_Modelo_24	145602,8928	29544,107532	23222,1297	145,6	29,5	23,2
LP15104K_Modelo_25	225523,0524	36634,696939	27373,52363	225,5	36,6	27,4
LP15104K_Modelo_26	415348,6801		80812,22289	415,3		80,8
LP15104J_Modelo_1	58871,38553	6200,789133	5867,076641	58,9	6,2	5,9
LP15104J_Modelo_2	59639,97616	5877,683765	5577,00679	59,6	5,9	5,6
LP15104J_Modelo_3	60097,91432	5569,012464	5298,36564	60,1	5,6	5,3
LP15104J_Modelo_4	60469,62406	5364,916607	5113,299197	60,5	5,4	5,1
LP15104J_Modelo_5	61402,1984	5899,816215	5596,928435	61,4	5,9	5,6
LP15104J_Modelo_6	62355,31369	5885,060632	5583,647637	62,4	5,9	5,6
LP15104J_Modelo_7	64445,70583	7258,499015	6805,350389	64,4	7,3	6,8
LP15104J_Modelo_8	65506,73022	6579,783862	6205,252357	65,5	6,6	6,2
LP15104J_Modelo_9	67859,22187	5956,983483	5648,349746	67,9	6,0	5,6
LP15104J_Modelo_10	68084,22944	5822,786443	5527,559969	68,1	5,8	5,5
LP15104J_Modelo_11	68493,2464	6038,253957	5721,363559	68,5	6,0	5,7
LP15104J_Modelo_12	68957,3535	6496,603811	6131,221408	69,0	6,5	6,1
LP15104J_Modelo_13	69189,59104	6002,019582	5688,823171	69,2	6,0	5,7
LP15104J_Modelo_14	69495,71085	6051,461214	5733,219272	69,5	6,1	5,7
LP15104J_Modelo_15	69784,9816	7476,775585	6996,854924	69,8	7,5	7,0
LP15104J_Modelo_16	70904,05409	6934,380416	6519,652991	70,9	6,9	6,5
LP15104J_Modelo_17	71046,78614	6725,935409	6335,070364	71,0	6,7	6,3
LP15104J_Modelo_18	71479,71659	6111,897869	5787,436498	71,5	6,1	5,8
LP15104J_Modelo_19	75032,97888	6709,995908	6320,928177	75,0	6,7	6,3
LP15104J_Modelo_20	76544,1598	7121,100423	6684,434152	76,5	7,1	6,7
LP15104J_Modelo_21	83720,3192	14758,854000	12997,34788	83,7	14,8	13,0
LP15104J_Modelo_22	84218,58638	6686,485113	6300,0613	84,2	6,7	6,3
LP15104J_Modelo_23	88316,86251	19634,002643	16632,416	88,3	19,6	16,6
LP15104J_Modelo_24	93124,2689	9468,144746	8711,323897	93,1	9,5	8,7
LP15104J_Modelo_25	184939,9832	23200,385012	19119,80947	184,9	23,2	19,1
LP15104J_Modelo_26	318154,286		89336,43615	318,2		89,3

TABLA B.31: Edades modelos de las muestras LP15104K y LP15104J.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
LP1513K_Modelo_1	66187,17456	6047,055624	5729,264824	66,2	6,0	5,7
LP1513K_Modelo_2	67192,20756	11556,402618	10448,18743	67,2	11,6	10,4
LP1513K_Modelo_3	69024,94496	7215,745613	6767,756382	69,0	7,2	6,8
LP1513K_Modelo_4	69642,76705	5898,071562	5595,358334	69,6	5,9	5,6
LP1513K_Modelo_5	70056,60174	6030,611948	5714,502338	70,1	6,0	5,7
LP1513K_Modelo_6	70264,10952	6064,379207	5744,812689	70,3	6,1	5,7
LP1513K_Modelo_7	70472,01294	5812,567875	5518,350731	70,5	5,8	5,5
LP1513K_Modelo_8	71517,51767	6515,011568	6147,613665	71,5	6,5	6,1
LP1513K_Modelo_9	72998,27206	6833,354425	6430,27534	73,0	6,8	6,4
LP1513K_Modelo_10	73211,45944	6348,402900	5999,056433	73,2	6,3	6,0
LP1513K_Modelo_11	73425,06442	6225,310734	5889,024573	73,4	6,2	5,9
LP1513K_Modelo_12	73639,08865	12421,393259	11150,05312	73,6	12,4	11,2
LP1513K_Modelo_13	73853,53377	6934,636647	6519,879479	73,9	6,9	6,5
LP1513K_Modelo_14	74283,69333	6962,940268	6544,891603	74,3	7,0	6,5
LP1513K_Modelo_15	74932,13117	7214,088077	6766,298317	74,9	7,2	6,8
LP1513K_Modelo_16	75802,75702	5881,209275	5580,180653	75,8	5,9	5,6
LP1513K_Modelo_17	77787,45847	7102,921307	6668,414334	77,8	7,1	6,7
LP1513K_Modelo_18	78010,22731	9111,765983	8408,757471	78,0	9,1	8,4
LP1513K_Modelo_19	78905,88169	6938,740081	6523,506473	78,9	6,9	6,5
LP1513K_Modelo_20	79808,95359	6612,247496	6234,116328	79,8	6,6	6,2
LP1513K_Modelo_21	83263,68735	8311,773191	7722,848734	83,3	8,3	7,7
LP1513K_Modelo_22	84440,02355	7743,215479	7229,64317	84,4	7,7	7,2
LP1513K_Modelo_23	100738,1275	12346,975052	11090,06449	100,7	12,3	11,1
LP15102B_Modelo_1	58055,27796	5489,319593	5226,181724	58,1	5,5	5,2
LP15102B_Modelo_2	58888,79514	5725,880132	5440,159435	58,9	5,7	5,4
LP15102B_Modelo_3	60351,64727	5455,293295	5195,330864	60,4	5,5	5,2
LP15102B_Modelo_4	61884,63817	5799,919362	5506,94929	61,9	5,8	5,5
LP15102B_Modelo_5	62082,69524	5347,723458	5097,678902	62,1	5,3	5,1
LP15102B_Modelo_6	62485,69588	6147,795446	5819,612948	62,5	6,1	5,8
LP15102B_Modelo_7	62678,7228	5488,645163	5225,570413	62,7	5,5	5,2
LP15102B_Modelo_8	63258,20721	5483,549945	5220,95181	63,3	5,5	5,2
LP15102B_Modelo_9	63310,39806	5378,025599	5125,205801	63,3	5,4	5,1
LP15102B_Modelo_10	63321,62214	5417,692443	5161,217678	63,3	5,4	5,2
LP15102B_Modelo_11	63400,10507	5660,674369	5381,266643	63,4	5,7	5,4
LP15102B_Modelo_12	63603,19502	6180,158621	5848,60416	63,6	6,2	5,8
LP15102B_Modelo_13	64613,72944	6023,942706	5708,513749	64,6	6,0	5,7
LP15102B_Modelo_14	64699,6919	5876,422471	5575,871256	64,7	5,9	5,6
LP15102B_Modelo_15	64863,53649	5936,107340	5629,577826	64,9	5,9	5,6
LP15102B_Modelo_16	65044,31137	9604,284303	8826,425323	65,0	9,6	8,8
LP15102B_Modelo_17	65432,43828	5573,506451	5302,433194	65,4	5,6	5,3
LP15102B_Modelo_18	66344,89797	5777,876961	5487,074134	66,3	5,8	5,5
LP15102B_Modelo_19	66389,62223	5728,264971	5442,312113	66,4	5,7	5,4
LP15102B_Modelo_20	66506,71481	6724,085868	6333,429575	66,5	6,7	6,3
LP15102B_Modelo_21	67037,53602	5989,310869	5677,40521	67,0	6,0	5,7
LP15102B_Modelo_22	68527,3071	6699,678167	6311,771769	68,5	6,7	6,3
LP15102B_Modelo_23	70600,05763	6873,749805	6466,031841	70,6	6,9	6,5
LP15102B_Modelo_24	71472,93531	7409,098483	6937,555494	71,5	7,4	6,9
LP15102B_Modelo_25	72116,75053	6104,128799	5780,470122	72,1	6,1	5,8
LP15102B_Modelo_26	72575,78531	5816,992982	5522,338954	72,6	5,8	5,5
LP15102B_Modelo_27	73237,19729	6338,179232	5989,926469	73,2	6,3	6,0
LP15102B_Modelo_28	74095,76094	6466,623796	6104,512759	74,1	6,5	6,1
LP15102B_Modelo_29	74755,95185	6950,516067	6533,913749	74,8	7,0	6,5
LP15102B_Modelo_30	75555,89287	10516,108159	9590,560102	75,6	10,5	9,6
LP15102B_Modelo_31	79546,62665	13471,838574	11988,99848	79,5	13,5	12,0
LP15102B_Modelo_32	83387,01055	8980,406989	8296,771025	83,4	9,0	8,3
LP15102B_Modelo_33	86576,49477	7226,425332	6777,14989	86,6	7,2	6,8
LP15102B_Modelo_34	101603,8429	14415,936048	12730,74827	101,6	14,4	12,7
LP15102B_Modelo_35	114032,41	15192,660180	13332,48309	114,0	15,2	13,3

TABLA B.32: Edades modelos de las muestras LP1513K y LP15102B.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
LP1513I_Modelo_1	60914,48532	6277,722242	5935,903883	60,9	6,3	5,9
LP1513I_Modelo_2	66789,08212	7473,062889	6993,603608	66,8	7,5	7,0
LP1513I_Modelo_3	67799,70388	8836,636294	8173,916389	67,8	8,8	8,2
LP1513I_Modelo_4	68614,99971	6490,701428	6125,96418	68,6	6,5	6,1
LP1513I_Modelo_5	69436,43718	6431,897858	6073,55869	69,4	6,4	6,1
LP1513I_Modelo_6	70056,60174	6293,847582	5950,318559	70,1	6,3	6,0
LP1513I_Modelo_7	72149,66616	6195,570039	5862,40411	72,1	6,2	5,9
LP1513I_Modelo_8	73211,45944	6620,167049	6241,155275	73,2	6,6	6,2
LP1513I_Modelo_9	73211,45944	7943,327192	7403,781708	73,2	7,9	7,4
LP1513I_Modelo_10	75366,5752	7616,669709	7119,213145	75,4	7,6	7,1
LP1513I_Modelo_11	75584,44802	6007,302363	5693,568665	75,6	6,0	5,7
LP1513I_Modelo_12	75802,75702	6552,117076	6180,640528	75,8	6,6	6,2
LP1513I_Modelo_13	76021,50395	8064,284398	7508,750201	76,0	8,1	7,5
LP1513I_Modelo_14	76460,31866	6382,975037	6029,918125	76,5	6,4	6,0
LP1513I_Modelo_15	76900,90636	6761,313141	6366,445025	76,9	6,8	6,4
LP1513I_Modelo_16	78457,13493	7195,969234	6750,357204	78,5	7,2	6,8
LP1513I_Modelo_17	79356,48278	9082,557754	8383,87841	79,4	9,1	8,4
LP1513I_Modelo_18	82331,6705	7664,304006	7160,80933	82,3	7,7	7,2
LP1513I_Modelo_19	84203,73893	6918,100535	6505,260732	84,2	6,9	6,5
LP1513I_Modelo_20	84203,73893	9385,236653	8641,097797	84,2	9,4	8,6
LP1513I_Modelo_21	84676,82127	8501,340327	7886,22884	84,7	8,5	7,9
LP1513I_Modelo_22	90519,93192	14361,072084	12687,95607	90,5	14,4	12,7
LP15101C_Modelo_1	74926,96006	8197,347282	7623,973373	74,9	8,2	7,6
LP15101C_Modelo_2	75785,72872	6921,810867	6508,541213	75,8	6,9	6,5
LP15101C_Modelo_3	76257,59846	7049,543706	6621,347822	76,3	7,0	6,6
LP15101C_Modelo_4	76494,15461	6594,794920	6218,600963	76,5	6,6	6,2
LP15101C_Modelo_5	76900,07231	7161,569616	6720,078421	76,9	7,2	6,7
LP15101C_Modelo_6	77084,82439	7156,397701	6715,524512	77,1	7,2	6,7
LP15101C_Modelo_7	78226,80398	7270,644339	6816,02499	78,2	7,3	6,8
LP15101C_Modelo_8	78268,11927	6700,011690	6312,067776	78,3	6,7	6,3
LP15101C_Modelo_9	78642,37727	8113,276874	7551,204786	78,6	8,1	7,6
LP15101C_Modelo_10	78965,77154	7623,095775	7124,82663	79,0	7,6	7,1
LP15101C_Modelo_11	79123,75103	6933,394780	6518,781752	79,1	6,9	6,5
LP15101C_Modelo_12	79529,71699	6943,095616	6527,356016	79,5	6,9	6,5
LP15101C_Modelo_13	79570,45651	8033,387547	7481,958122	79,6	8,0	7,5
LP15101C_Modelo_14	79881,86976	8711,139908	8066,431531	79,9	8,7	8,1
LP15101C_Modelo_15	80284,10757	8117,354507	7554,736667	80,3	8,1	7,6
LP15101C_Modelo_16	80355,7912	6936,298682	6521,34857	80,4	6,9	6,5
LP15101C_Modelo_17	80769,32255	8202,561919	7628,483546	80,8	8,2	7,6
LP15101C_Modelo_18	80872,01262	7658,270868	7155,542833	80,9	7,7	7,2
LP15101C_Modelo_19	81129,01578	7537,671421	7050,153561	81,1	7,5	7,1
LP15101C_Modelo_20	81374,88665	6953,248627	6536,328403	81,4	7,0	6,5
LP15101C_Modelo_21	81883,70577	7685,713252	7179,493662	81,9	7,7	7,2
LP15101C_Modelo_22	82299,19375	7749,444506	7235,07273	82,3	7,7	7,2
LP15101C_Modelo_23	84694,60969	7615,327219	7118,040334	84,7	7,6	7,1
LP15101C_Modelo_24	84725,69989	8468,286762	7857,779379	84,7	8,5	7,9
LP15101C_Modelo_25	85413,60219	9078,900478	8380,762336	85,4	9,1	8,4
LP15101C_Modelo_26	85719,35416	7098,838081	6664,815417	85,7	7,1	6,7
LP15101C_Modelo_27	87363,35722	8230,981417	7653,056683	87,4	8,2	7,7
LP15101C_Modelo_28	87511,70946	6888,426572	6479,016993	87,5	6,9	6,5
LP15101C_Modelo_29	88126,78851	7796,729041	7276,26959	88,1	7,8	7,3
LP15101C_Modelo_30	88493,9237	7715,209648	7205,224585	88,5	7,7	7,2
LP15101C_Modelo_31	88862,07606	7888,739929	7356,338767	88,9	7,9	7,4
LP15101C_Modelo_32	88963,77877	8913,194904	8239,374482	89,0	8,9	8,2
LP15101C_Modelo_33	89561,30701	8286,195243	7700,763624	89,6	8,3	7,7
LP15101C_Modelo_34	89579,69235	7585,111194	7091,636225	89,6	7,6	7,1
LP15101C_Modelo_35	92749,31058	9504,223460	8741,853073	92,7	9,5	8,7
LP15101C_Modelo_36	94570,30912	9115,853557	8412,238211	94,6	9,1	8,4
LP15101C_Modelo_37	97549,52199	14245,286339	12597,52084	97,5	14,2	12,6

TABLA B.33: Edades modelos de las muestras LP1513I y LP15101C.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
LP15101A_Modelo_1	75276,0607	6517,706222	6150,012838	75,3	6,5	6,2
LP15101A_Modelo_2	76019,18852	6844,440293	6440,090628	76,0	6,8	6,4
LP15101A_Modelo_3	78360,4338	8674,454670	8034,968029	78,4	8,7	8,0
LP15101A_Modelo_4	78369,09934	7250,907687	6798,67719	78,4	7,3	6,8
LP15101A_Modelo_5	78919,05906	6468,348458	6106,049605	78,9	6,5	6,1
LP15101A_Modelo_6	78940,56514	7329,133757	6867,400433	78,9	7,3	6,9
LP15101A_Modelo_7	79108,43344	7414,194375	6942,022976	79,1	7,4	6,9
LP15101A_Modelo_8	79502,26263	6704,514568	6316,064003	79,5	6,7	6,3
LP15101A_Modelo_9	79503,96594	7725,638039	7214,318583	79,5	7,7	7,2
LP15101A_Modelo_10	79559,05393	7346,039018	6882,239895	79,6	7,3	6,9
LP15101A_Modelo_11	80076,38024	7220,263146	6771,730058	80,1	7,2	6,8
LP15101A_Modelo_12	80854,37139	7161,080907	6719,648126	80,9	7,2	6,7
LP15101A_Modelo_13	81589,58562	6913,135020	6500,870153	81,6	6,9	6,5
LP15101A_Modelo_14	81664,96272	7024,101694	6598,898678	81,7	7,0	6,6
LP15101A_Modelo_15	81856,95146	7134,209320	6695,98287	81,9	7,1	6,7
LP15101A_Modelo_16	81926,28871	8966,653089	8285,031059	81,9	9,0	8,3
LP15101A_Modelo_17	82128,42693	8269,124086	7686,018274	82,1	8,3	7,7
LP15101A_Modelo_18	82256,66203	8662,395666	8024,621196	82,3	8,7	8,0
LP15101A_Modelo_19	82396,90737	7519,969415	7034,665763	82,4	7,5	7,0
LP15101A_Modelo_20	82468,44416	10278,533496	9392,594981	82,5	10,3	9,4
LP15101A_Modelo_21	83646,84667	8123,012696	7559,637154	83,6	8,1	7,6
LP15101A_Modelo_22	83937,89848	7536,394627	7049,036629	83,9	7,5	7,0
LP15101A_Modelo_23	84267,73936	7802,262746	7281,088671	84,3	7,8	7,3
LP15101A_Modelo_24	86496,08897	9961,993042	9127,596638	86,5	10,0	9,1
LP15101A_Modelo_25	87058,11531	7960,253083	7418,483344	87,1	8,0	7,4
LP15101A_Modelo_26	87817,1273	7915,195659	7379,337543	87,8	7,9	7,4
LP15101A_Modelo_27	87950,61952	7729,514167	7217,698315	88,0	7,7	7,2
LP15101A_Modelo_28	90920,58295	8931,902825	8255,356917	90,9	8,9	8,3
LP15101A_Modelo_29	94219,06588	12078,884222	10873,3416	94,2	12,1	10,9
LP15101A_Modelo_30	97037,79497	8662,136111	8024,398469	97,0	8,7	8,0
LP15101A_Modelo_31	99989,85262	8682,852401	8042,172172	100,0	8,7	8,0
LP15101A_Modelo_32	103317,0158	9940,273101	9109,361454	103,3	9,9	9,1
LP15101A_Modelo_33	109205,0037	9805,897786	8996,396661	109,2	9,8	9,0
LP15101A_Modelo_34	115128,3422	12006,291540	10814,49209	115,1	12,0	10,8
LP1513G_Modelo_1	74952,44837	8723,080383	8076,668171	75,0	8,7	8,1
LP1513G_Modelo_2	76418,60521	12304,470503	11055,76832	76,4	12,3	11,1
LP1513G_Modelo_3	79272,36389	8718,230910	8072,51094	79,3	8,7	8,1
LP1513G_Modelo_4	79490,25703	6787,668329	6389,805583	79,5	6,8	6,4
LP1513G_Modelo_5	79515,30702	9474,776814	8716,937235	79,5	9,5	8,7
LP1513G_Modelo_6	81671,4822	9971,986649	9135,984623	81,7	10,0	9,1
LP1513G_Modelo_7	82578,09634	9725,085863	8928,337272	82,6	9,7	8,9
LP1513G_Modelo_8	82887,1435	8882,617994	8213,241256	82,9	8,9	8,2
LP1513G_Modelo_9	83401,0084	8033,043160	7481,659408	83,4	8,0	7,5
LP1513G_Modelo_10	83658,56026	7568,673179	7077,266195	83,7	7,6	7,1
LP1513G_Modelo_11	83700,04917	9052,741292	8358,468533	83,7	9,1	8,4
LP1513G_Modelo_12	84560,20621	9211,325596	8493,467984	84,6	9,2	8,5
LP1513G_Modelo_13	84802,87544	7618,342433	7120,674411	84,8	7,6	7,1
LP1513G_Modelo_14	84826,27443	8384,906194	7785,941721	84,8	8,4	7,8
LP1513G_Modelo_15	85386,62023	11545,743399	10439,47526	85,4	11,5	10,4
LP1513G_Modelo_16	85397,03823	8151,616305	7584,403122	85,4	8,2	7,6
LP1513G_Modelo_17	86186,52827	7806,055981	7284,391783	86,2	7,8	7,3
LP1513G_Modelo_18	87478,63672	7848,649347	7321,466907	87,5	7,8	7,3
LP1513G_Modelo_19	87485,46569	8075,243110	7518,249599	87,5	8,1	7,5
LP1513G_Modelo_20	89215,74804	9654,621701	8868,916814	89,2	9,7	8,9
LP1513G_Modelo_21	89590,55275	7599,428949	7104,149426	89,6	7,6	7,1
LP1513G_Modelo_22	92183,15406	8088,542738	7529,775792	92,2	8,1	7,5
LP1513G_Modelo_23	94816,71691	11046,914513	10030,02614	94,8	11,0	10,0
LP1513G_Modelo_24	103420,5014	11287,519465	10227,94549	103,4	11,3	10,2

TABLA B.34: Edades modelos de las muestras LP15101A y LP1513G.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
LP1513F_Modelo_1	76745,29752	7282,579639	6826,512822	76,7	7,3	6,8
LP1513F_Modelo_2	77334,30611	8464,782311	7854,762129	77,3	8,5	7,9
LP1513F_Modelo_3	78824,71213	8940,292665	8262,522822	78,8	8,9	8,3
LP1513F_Modelo_4	79068,62644	8298,510601	7711,398444	79,1	8,3	7,7
LP1513F_Modelo_5	79730,70546	6379,408700	6026,735401	79,7	6,4	6,0
LP1513F_Modelo_6	80479,8607	7628,952887	7129,942567	80,5	7,6	7,1
LP1513F_Modelo_7	80548,06321	8083,188656	7525,135964	80,5	8,1	7,5
LP1513F_Modelo_8	80575,11294	7300,812099	6842,529956	80,6	7,3	6,8
LP1513F_Modelo_9	81817,99354	6694,916896	6307,54586	81,8	6,7	6,3
LP1513F_Modelo_10	82023,74671	8230,810522	7652,908954	82,0	8,2	7,7
LP1513F_Modelo_11	82177,10231	7137,679330	6699,039454	82,2	7,1	6,7
LP1513F_Modelo_12	82287,2131	7640,575321	7140,092741	82,3	7,6	7,1
LP1513F_Modelo_13	82592,75063	8622,534457	7990,404455	82,6	8,6	8,0
LP1513F_Modelo_14	83597,81416	7095,271453	6661,671619	83,6	7,1	6,7
LP1513F_Modelo_15	83811,37689	7609,106983	7112,605936	83,8	7,6	7,1
LP1513F_Modelo_16	84305,21445	9776,439331	8971,597662	84,3	9,8	9,0
LP1513F_Modelo_17	84372,61095	14086,027533	12472,8508	84,4	14,1	12,5
LP1513F_Modelo_18	85134,52545	8660,225839	8022,75922	85,1	8,7	8,0
LP1513F_Modelo_19	85284,75117	7410,237182	6938,553806	85,3	7,4	6,9
LP1513F_Modelo_20	85527,93531	7231,339646	6781,471768	85,5	7,2	6,8
LP1513F_Modelo_21	85670,12009	9714,857100	8919,716032	85,7	9,7	8,9
LP1513F_Modelo_22	86022,41159	7692,656444	7185,551668	86,0	7,7	7,2
LP1513F_Modelo_23	86418,47361	7226,532768	6777,244378	86,4	7,2	6,8
LP1513F_Modelo_24	86523,4419	7215,283281	6767,349692	86,5	7,2	6,8
LP1513F_Modelo_25	86624,56086	7956,303583	7415,053234	86,6	8,0	7,4
LP1513F_Modelo_26	86686,8894	11404,296201	10323,71858	86,7	11,4	10,3
LP1513F_Modelo_27	86712,25164	9357,633372	8617,694942	86,7	9,4	8,6
LP1513F_Modelo_28	87399,15723	8329,608724	7738,242997	87,4	8,3	7,7
LP1513F_Modelo_29	88472,07694	9131,123128	8425,238753	88,5	9,1	8,4
LP1513F_Modelo_30	88644,42136	9006,419540	8318,967151	88,6	9,0	8,3
LP1513F_Modelo_31	89297,37826	8352,979771	7758,40799	89,3	8,4	7,8
LP1513F_Modelo_32	90029,92293	7796,895564	7276,414616	90,0	7,8	7,3
LP1513F_Modelo_33	90087,55562	8444,370193	7837,184192	90,1	8,4	7,8
LP1513F_Modelo_34	90087,93566	7571,757750	7079,96302	90,1	7,6	7,1
LP1513F_Modelo_35	90981,6917	7903,628855	7369,283449	91,0	7,9	7,4
LP1513F_Modelo_36	92230,79883	10722,146792	9761,608492	92,2	10,7	9,8
LP1513F_Modelo_37	95172,89922	8121,881851	7558,657781	95,2	8,1	7,6
LP1513F_Modelo_38	96406,45139	9724,192093	8927,584024	96,4	9,7	8,9
LP1513F_Modelo_39	97406,45773	13934,832532	12354,19231	97,4	13,9	12,4
LP1513F_Modelo_40	99886,39635	9830,007592	9016,683831	99,9	9,8	9,0
LP1513F_Modelo_41	102247,3379	12302,768502	11054,3945	102,2	12,3	11,1
LP1513F_Modelo_42	119201,8025	13284,979673	11840,82238	119,2	13,3	11,8

TABLA B.35: Edades modelos de la muestra LP1513F.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
LPZ0_Modelo_1	90888,99714	6897,977594	6487,465412	90,8889971	6,90	6,49
LPZ0_Modelo_2	91104,68027	10260,22925	9377,309655	91,1046803	10,26	9,38
LPZ0_Modelo_3	91564,58482	11116,63711	10087,46122	91,5645848	11,12	10,09
LPZ0_Modelo_4	92232,07404	8541,379719	7920,669576	92,232074	8,54	7,92
LPZ0_Modelo_5	92860,3031	7141,078645	6702,033588	92,8603031	7,14	6,70
LPZ0_Modelo_6	93654,22145	7271,495671	6816,773147	93,6542214	7,27	6,82
LPZ0_Modelo_7	96052,76242	11591,50067	10476,86342	96,0527624	11,59	10,48
LPZ0_Modelo_8	98049,43019	12664,22363	11345,2859	98,0494302	12,66	11,35
LPZ0_Modelo_9	100380,8415	9756,79358	8955,052427	100,380842	9,76	8,96
LPZ0_Modelo_10	101408,8823	8167,93791	7598,529487	101,408882	8,17	7,60
LPZ0_Modelo_11	101890,9705	8395,583385	7795,14651	101,89097	8,40	7,80
LPZ0_Modelo_12	102113,0545	7888,261324	7355,922605	102,113055	7,89	7,36
LPZ0_Modelo_13	102121,9073	12255,84269	11016,50174	102,121907	12,26	11,02
LPZ0_Modelo_14	103828,8152	10616,73571	9674,172611	103,828815	10,62	9,67
LPZ0_Modelo_15	105445,7379	11564,59606	10454,88318	105,445738	11,56	10,45
LPZ0_Modelo_16	106385,8932	8443,065432	7836,060386	106,385893	8,44	7,84
LPZ0_Modelo_17	112854,0081	13062,08287	11663,47187	112,854008	13,06	11,66
LPZ0_Modelo_18	114717,0294	11772,90129	10624,80537	114,717029	11,77	10,62
LPZ0_Modelo_19	115995,3736	9841,14345	9026,051298	115,995374	9,84	9,03
LPZ0_Modelo_20	117095,8925	12137,07257	10920,46261	117,095893	12,14	10,92
LPZ0_Modelo_21	117746,8755	13415,66206	11944,49926	117,746875	13,42	11,94
LPZ0_Modelo_22	119465,1408	32266,45007	24866,88597	119,465141	32,27	24,87
LPZ0_Modelo_23	120353,596	12076,3764	10871,30974	120,353596	12,08	10,87
LPZ0_Modelo_24	121419,1869	14076,22859	12465,16944	121,419187	14,08	12,47
LPZ0_Modelo_25	129916,7173	12347,84736	11090,76809	129,916717	12,35	11,09
LPZ0_Modelo_26	130891,5293	12296,46816	11049,30867	130,891529	12,30	11,05
LPZ0_Modelo_27	132778,0551	11473,92817	10380,73768	132,778055	11,47	10,38
LPZ0_Modelo_28	135967,4473	12541,06232	11246,36367	135,967447	12,54	11,25
LPZ0_Modelo_29	136772,2368	11297,50768	10236,14451	136,772237	11,30	10,24
LPZ0_Modelo_30	142366,6016	20549,72798	17284,35344	142,366602	20,55	17,28
LPZ0_Modelo_31	148453,549	17226,82827	14872,99151	148,453549	17,23	14,87
LPZ0_Modelo_32	289326,3521	129787,7771	57595,69443	289,326352	129,79	57,60
LPZ0_Modelo_33	359101,3912	227307,1136	68583,64325	359,101391	227,31	68,58
LPZ0_Modelo_34	420152,6385		91455,89854	420,152638		91,46

TABLA B.36: Edades modelos de la muestra LPZ0.

Muestra	Edad	Incertidumbre + 2S	Incertidumbre - 2S	Edad	+ 2S	- 2S
PMV14417C_Modelo_1	123126,7789	18538,87279	15840,30423	123,126779	18,5388728	15,8403042
PMV14417C_Modelo_2	123144,6184	16839,86736	14583,81051	123,144618	16,8398674	14,5838105
PMV14417C_Modelo_3	126049,0656	16279,42379	14161,78614	126,049066	16,2794238	14,1617861
PMV14417C_Modelo_4	126896,7692	14402,20457	12720,04174	126,896769	14,4022046	12,7200417
PMV14417C_Modelo_5	127293,8849	11612,73664	10494,20559	127,293885	11,6127366	10,4942056
PMV14417C_Modelo_6	127484,9727	20799,33703	17460,44193	127,484973	20,799337	17,4604419
PMV14417C_Modelo_7	127847,4868	10897,66884	9906,857216	127,847487	10,8976688	9,90685722
PMV14417C_Modelo_8	128816,0545	12190,52996	10963,7124	128,816055	12,19053	10,9637124
PMV14417C_Modelo_9	129084,2831	12631,62248	11319,12051	129,084283	12,6316225	11,3191205
PMV14417C_Modelo_10	129383,0398	11389,1961	10311,34491	129,38304	11,3891961	10,3113449
PMV14417C_Modelo_11	129497,5862	11837,31738	10677,23278	129,497586	11,8373174	10,6772328
PMV14417C_Modelo_12	129681,9742	13476,76477	11992,88973	129,681974	13,4767648	11,9928987
PMV14417C_Modelo_13	129973,333	12799,69301	11453,86159	129,973333	12,799693	11,4538616
PMV14417C_Modelo_14	130867,7189	15891,04427	13867,08723	130,867719	15,8910443	13,8670872
PMV14417C_Modelo_15	131195,3223	12951,87273	11575,54094	131,195322	12,9518727	11,5755409
PMV14417C_Modelo_16	131203,197	11987,32448	10799,10417	131,203197	11,9873245	10,7991042
PMV14417C_Modelo_17	131213,2276	13279,14911	11836,19151	131,213228	13,2791491	11,8361915
PMV14417C_Modelo_18	131896,7237	26561,44634	21342,1929	131,896724	26,5614463	21,3421929
PMV14417C_Modelo_19	132315,9968	12814,84054	11465,9869	132,315997	12,8148405	11,4659869
PMV14417C_Modelo_20	132850,9036	12349,57045	11092,15789	132,850904	12,3495705	11,0921579
PMV14417C_Modelo_21	133244,8197	11220,01576	10172,49788	133,24482	11,2200158	10,1724979
PMV14417C_Modelo_22	133290,1512	12582,24289	11279,46201	133,290151	12,5822429	11,279462
PMV14417C_Modelo_23	134075,6668	12461,80376	11182,59713	134,075667	12,4618038	11,1825971
PMV14417C_Modelo_24	134094,8489	13223,96138	11792,33713	134,094849	13,2239614	11,7923371
PMV14417C_Modelo_25	134142,9658	12491,04384	11206,13162	134,142966	12,4910438	11,2061316
PMV14417C_Modelo_26	134262,416	11844,01865	10682,68362	134,262416	11,8440186	10,6826836
PMV14417C_Modelo_27	134565,0782	12449,00575	11172,29279	134,565078	12,4490058	11,1722928
PMV14417C_Modelo_28	134911,7503	10689,15351	9734,258006	134,91175	10,6891535	9,73425801
PMV14417C_Modelo_29	136182,8667	11629,84584	10508,17322	136,182867	11,6298458	10,5081732
PMV14417C_Modelo_30	137582,2831	12808,81619	11461,16488	137,582283	12,8088162	11,4611649
PMV14417C_Modelo_31	138172,7794	12136,26568	10919,8095	138,172779	12,1362657	10,9198095
PMV14417C_Modelo_32	138371,7654	13556,88562	12056,28888	138,371765	13,5568856	12,0562889
PMV14417C_Modelo_33	139564,2316	15558,03386	13612,92588	139,564232	15,5580339	13,6129259
PMV14417C_Modelo_34	141538,2775	16004,14975	13953,1013	141,538277	16,0041498	13,9531013
PMV14417C_Modelo_35	142485,1935	13998,2476	12403,99648	142,485194	13,9982476	12,4039965
PMV14417C_Modelo_36	143476,842	16290,06058	14169,83131	143,476842	16,2900606	14,1698313
PMV14417C_Modelo_37	144386,2731	18160,98016	15563,76939	144,386273	18,1609802	15,5637694
PMV14417C_Modelo_38	146325,2599	13383,08478	11918,67492	146,32526	13,3830848	11,9186749
PMV14417C_Modelo_39	166379,2379	17942,18765	15402,90014	166,379238	17,9421877	15,4029001
PMV14417C_Modelo_40	181801,799	33668,52165	25688,74764	181,801799	33,6685217	25,6887476
PMV14417C_Modelo_41	182443,4309	47163,48013	32815,70065	182,443431	47,1634801	32,8157006
PMV14417C_Modelo_42	184142,2201	48960,99668	33668,53766	184,14222	48,9609967	33,6685377
PMV14417C_Modelo_43	200819,0732	28092,90771	22317,92315	200,819073	28,0929077	22,3179231
PMV14417C_Modelo_44	205009,0631	97379,93849	50608,04086	205,009063	97,3799385	50,6080409
PMV14417C_Modelo_45	221425,0027	123611,8217	56450,05394	221,425003	123,611822	56,4500539
PMV14417C_Modelo_46	231640,3309	123983,165	56521,13646	231,640331	123,983165	56,5211365

TABLA B.37: Edades modelos de la muestra PMV14417C.

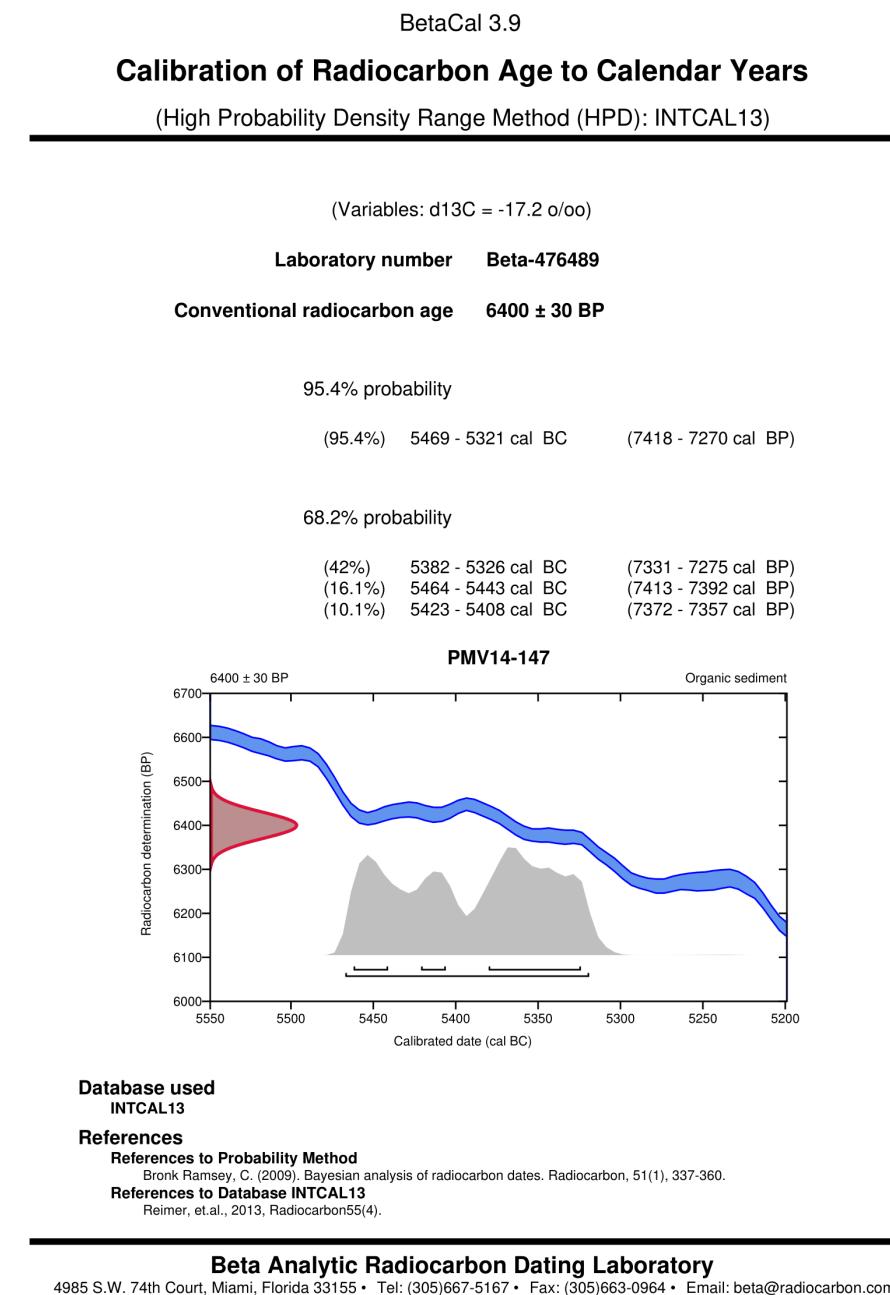


FIGURA B.25: Edad C^{14} del paleosuelo debajo de uO al lado del estadio de Guadalajara.

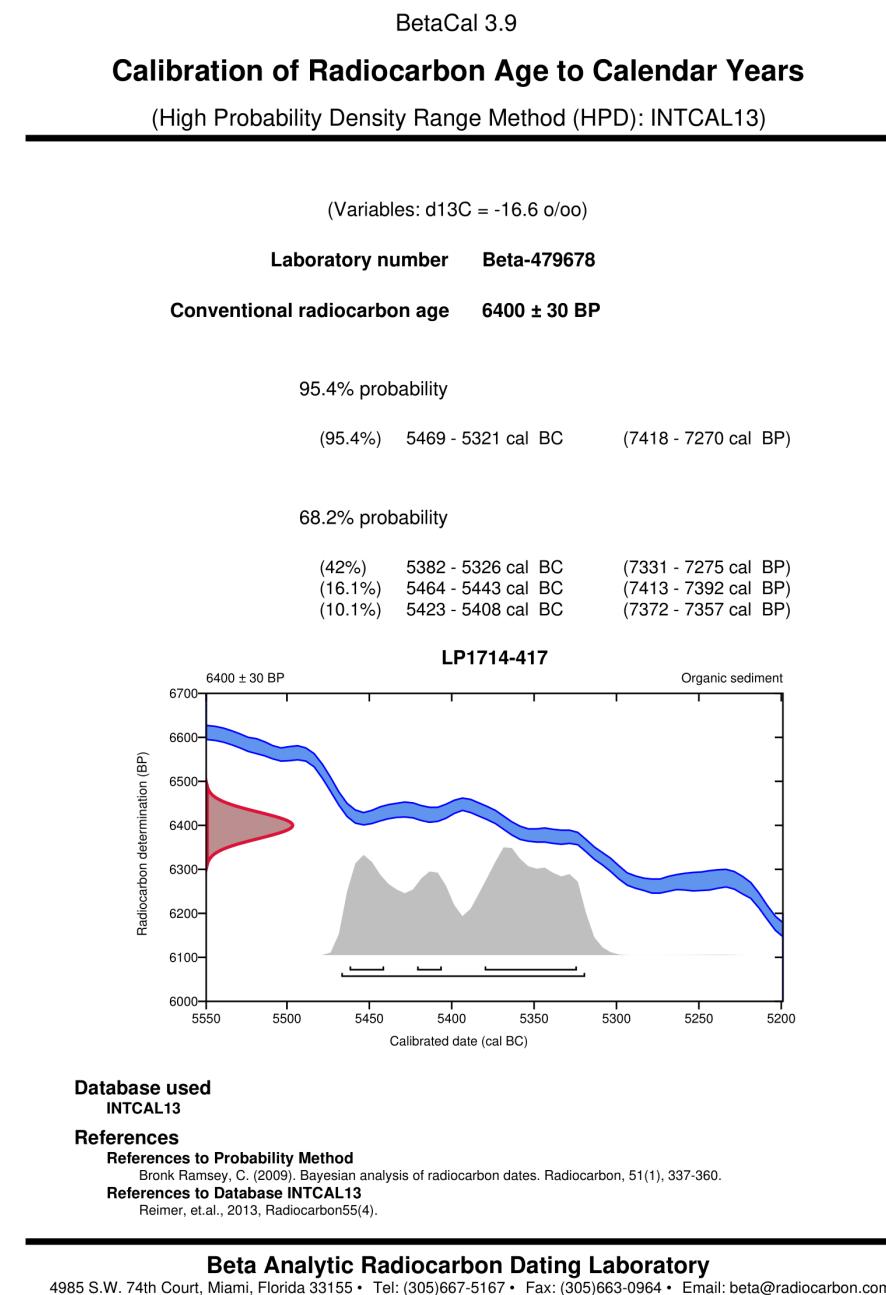


FIGURA B.26: Edad C¹⁴ del paleosuelo debajo de uO al lado del estadio de Guadalajara.



International Chemical Analysis Inc.
10585 NW 53rd ST.
Sunrise, FL 33351

Sample Report

Submitter Name: Jose Luis Macias Vazquez
Company Name: Universidad Nacional Autónoma de Mexico
Address: Instituto de Geofísica. Unidad de Michoacan
 Av. Universidad #3000 Col UNAM C.U. Delg. Coyoacan Ciudad de Mexico C.P. 04510 Mexico
Date Received: November 12, 2018
Date Reported: November 20, 2018

ICA ID	Submitter ID	Material Type	Pretreatment	Conventional Age	Calibrated Age
180S/1115	LP18S67	Sediment	AO	12790 +/- 150 BP	Cal 13850 - 12700 BC

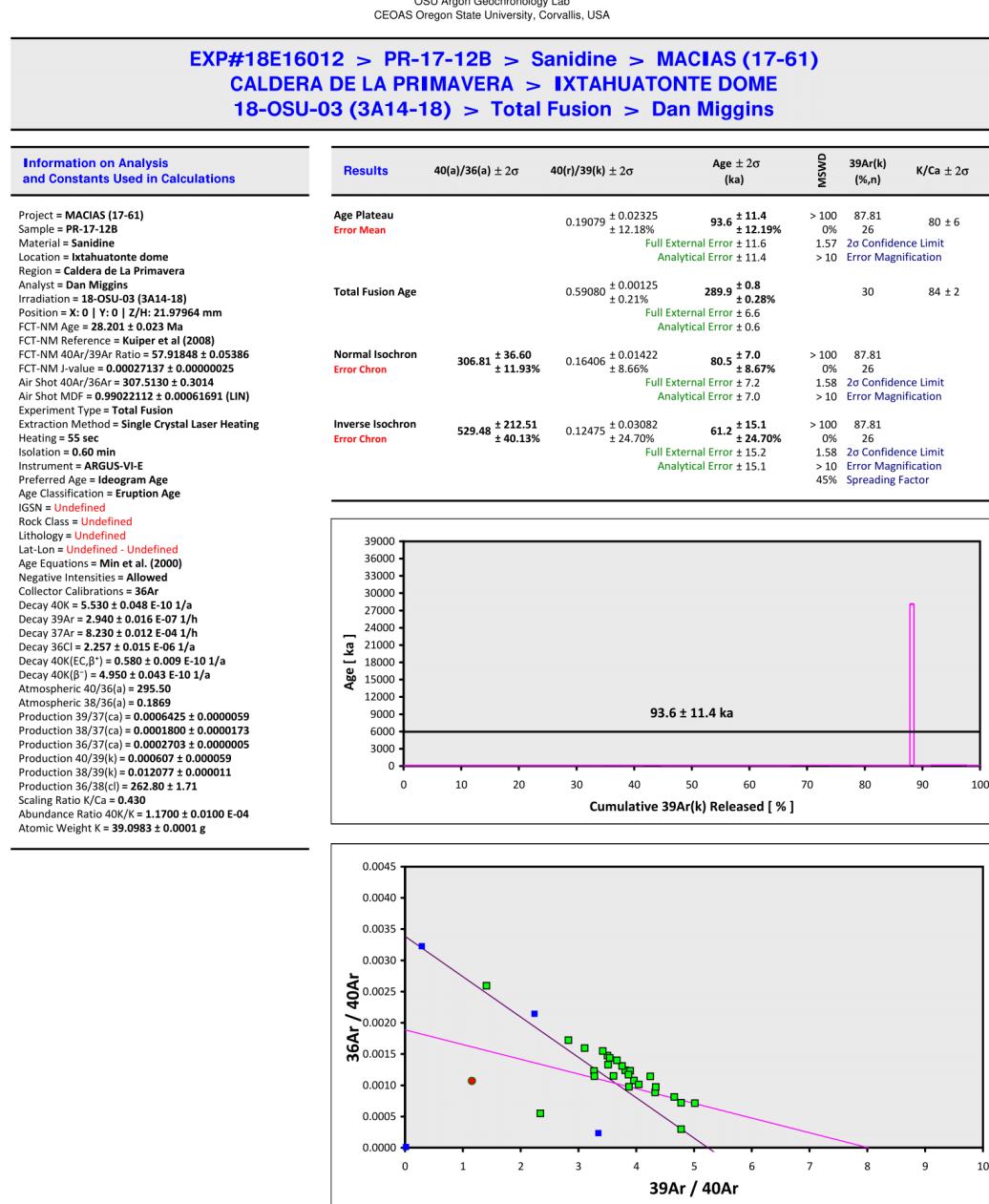
- Calibrated ages are attained using INTCAL13: *IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP*. Paula J Reimer, Edouard Bard, Alex Bayliss, J Warren Beck, Paul G Blackwell, Christopher Bronk Ramsey, Caitlin E Buck, Hai Cheng, R Lawrence Edwards, Michael Friedrich, Pieter M Grootes, Thomas P Guilderson, Halldóra Hafidason, Irka Hajdas, Christine Hatté, Timothy J Heaton, Dirk L Hoffmann, Alan G Hogg, Konrad A Hughen, K Felix Kaiser, Bernd Kromer, Sturt W Manning, Mu Niu, Ron W Reimer, David A Richards, E Marian Scott, John R Southon, Richard A Staff, Christian S M Turney, Johannès van der Plicht. *Radiocarbon* 55(4), Pages 1869-1887.
- Unless otherwise stated, 2 sigma calibration (95% probability) is used.
- Conventional ages are given in BP (BP=Before Present, 1950 AD), and have been corrected for fractionation using the delta C13.

1 of 2

FIGURA B.27: Edad C¹⁴ del paleosuelo debajo de uM en una cantera del sur-este de Guadalajara.

Sample name	Formation	Location UTM 13Q		Material analyzed	Calibrated age (ky)	Probability %
		X	Y			
PMV14417	Paleosoil below UO	660538	2286425	C ¹⁴ from soil	6,4	0,03
LP18567	Paleosoil below UM	658639	227095	C ¹⁴ from soil	13,85	12,7

TABLA B.38: Paleosuelos medidas en el CVLP.



18E16012.one-pager.xls printed at 13-07-2018 (09:55)
ArArCALC v2.7.0 -- Beta Version

FIGURA B.28: Resultado Ar/Ar de la muestra PR1712B del domo Ixtahuatonte.

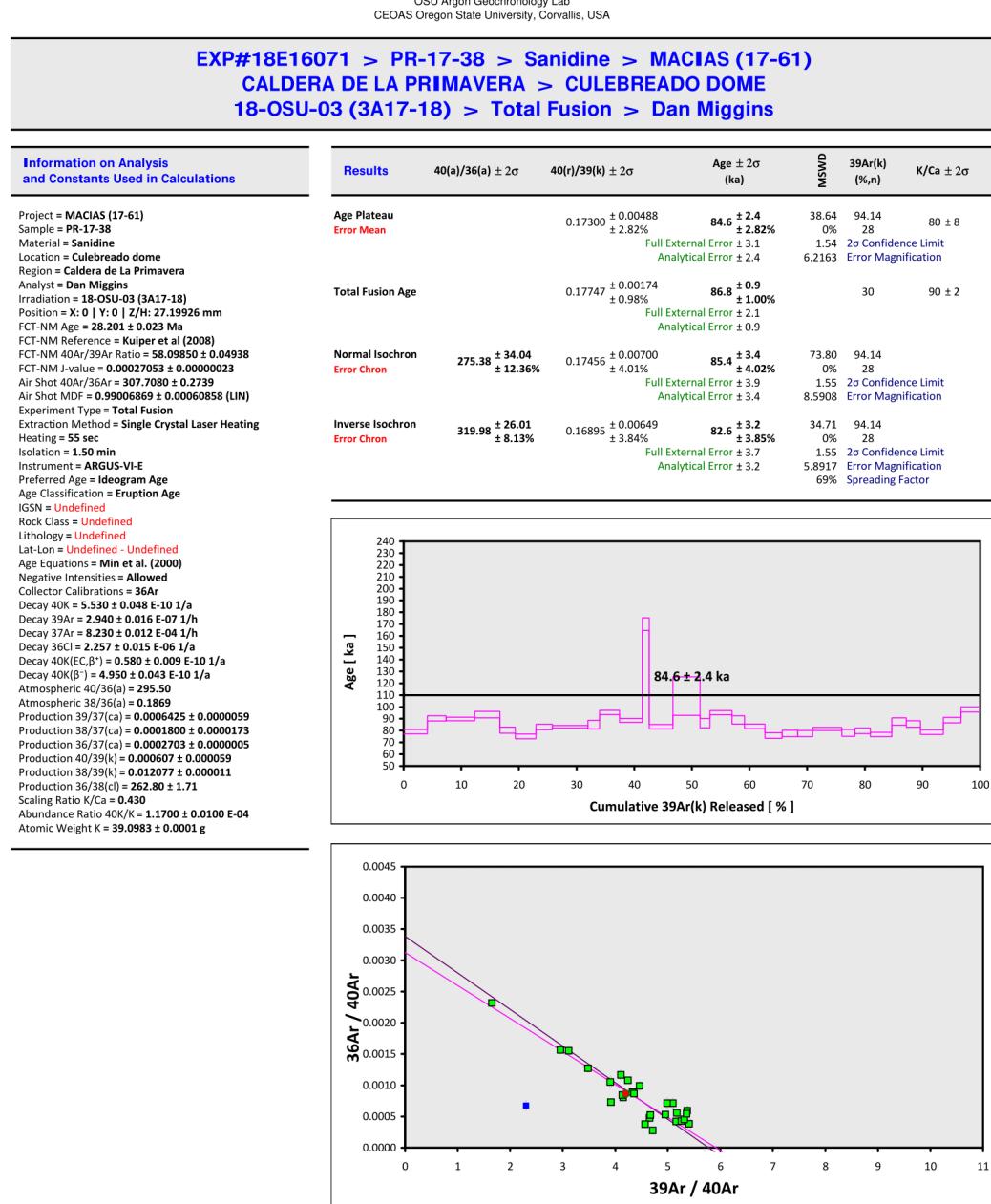
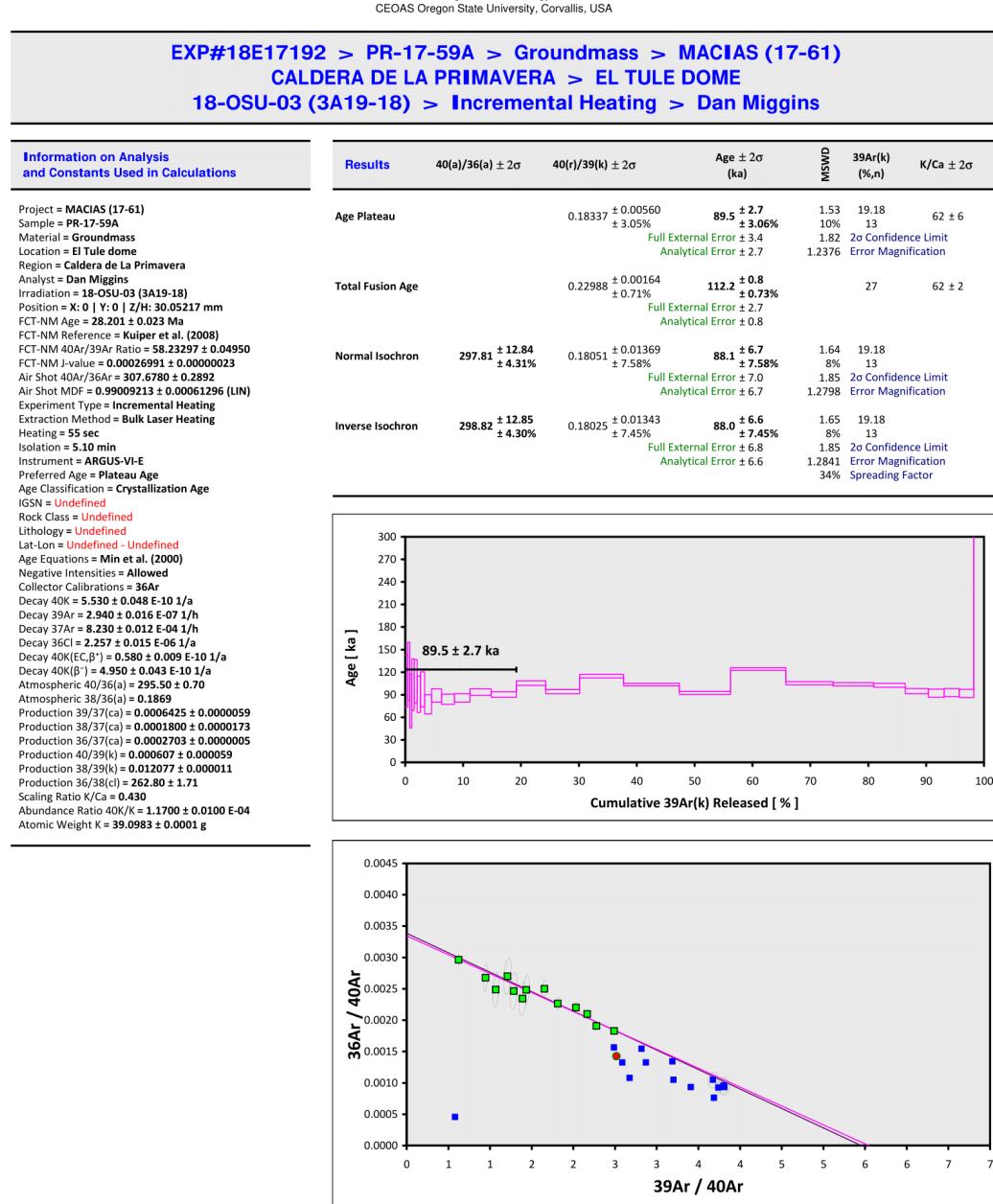


FIGURA B.29: Resultado Ar/Ar de la muestra PR1738 del domo Viejo Culebreado.



18E17192.one-pager.xls printed at 13-07-2018 (09:56)
ArArCALC v2.7.0 -- Beta Version

FIGURA B.30: Resultado Ar/Ar de la muestra PR1759A del domo Tule.

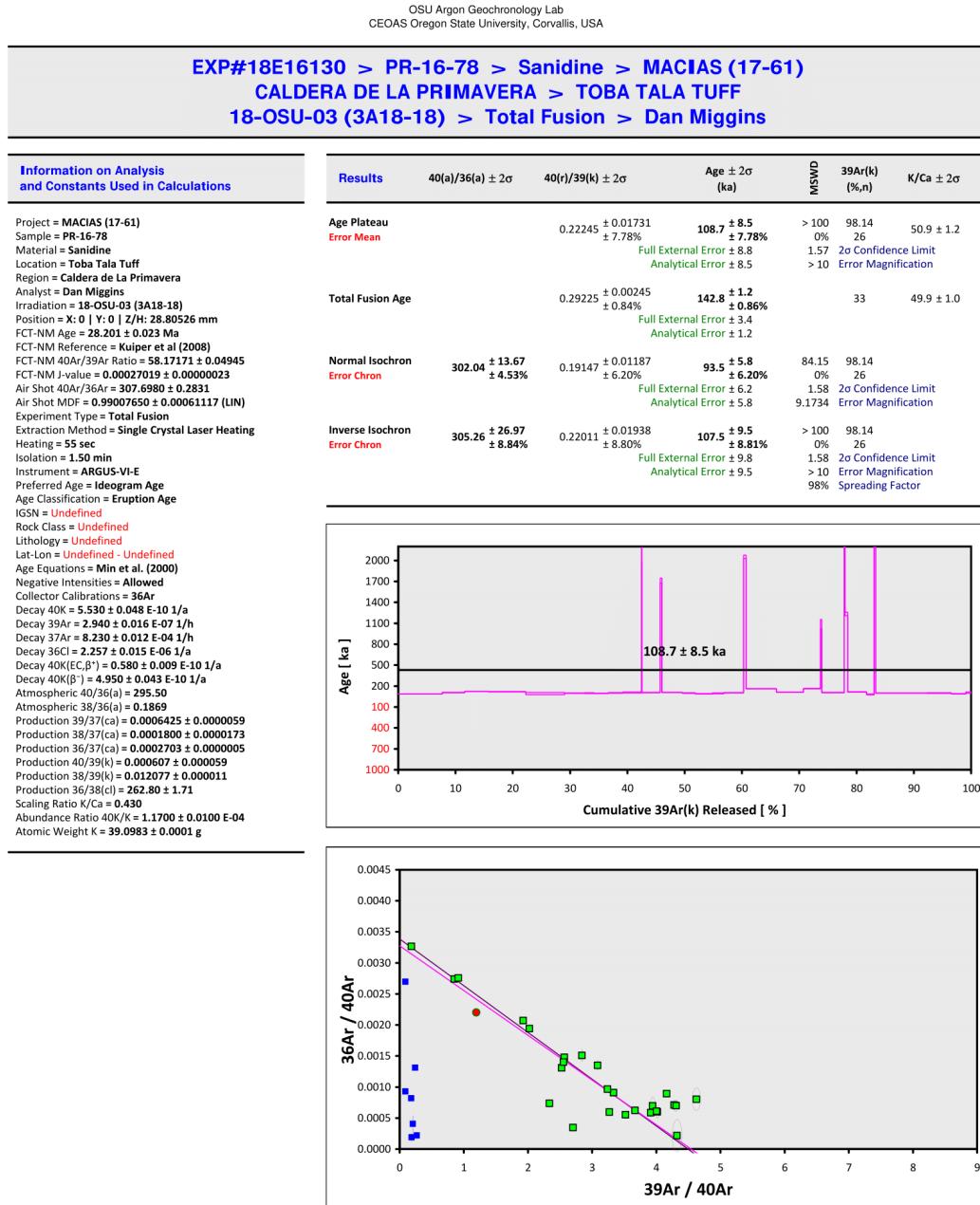


FIGURA B.31: Resultado Ar/Ar de la muestra PR1678 de la caída de la ignimbrita Tala.

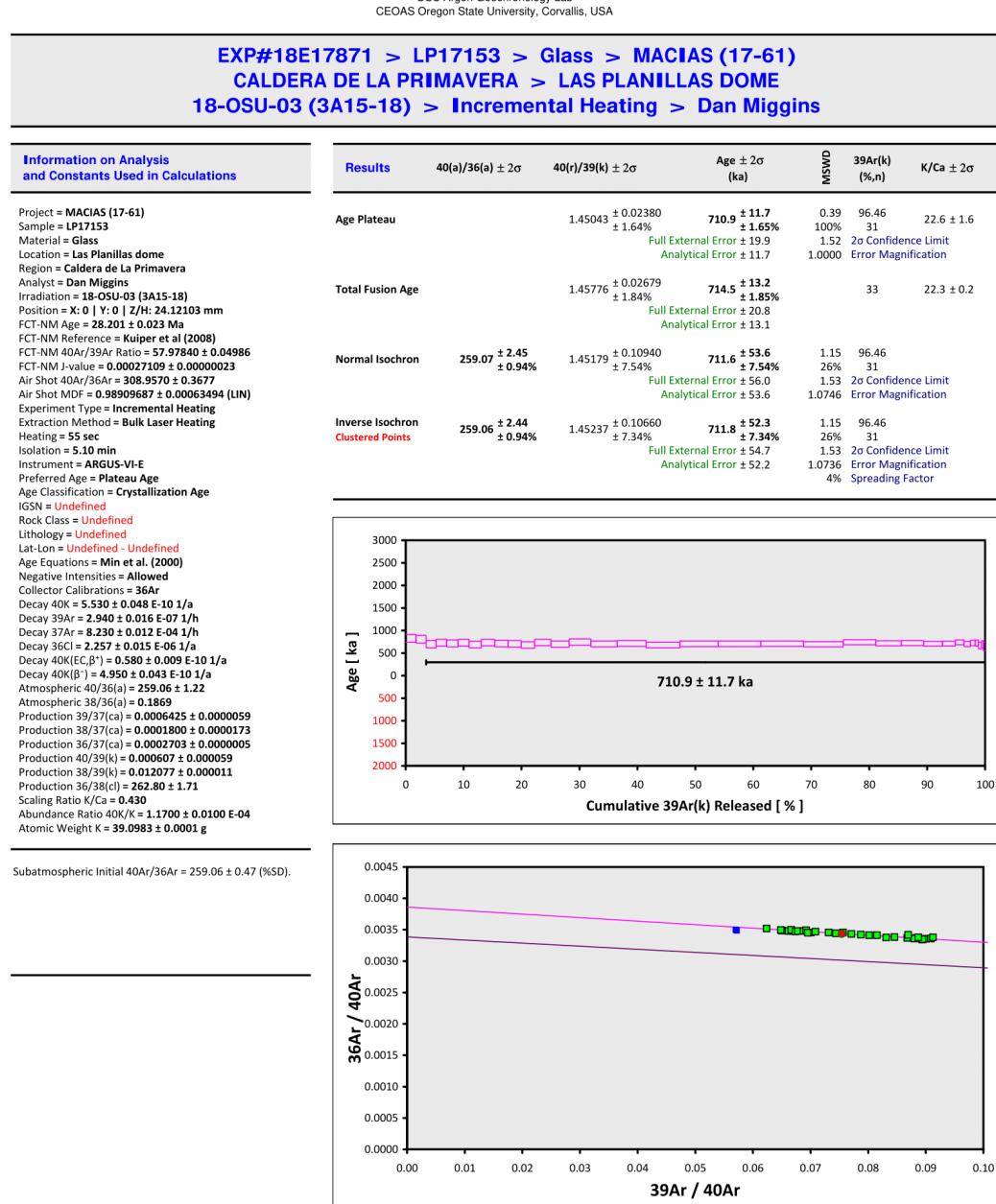


FIGURA B.32: Resultado Ar/Ar de la muestra LP17153 del domo Arroyo Colorado.

		Unit	CTU	PCU	GPU1-2	GPU3	GPU3		UA	UA	UA	UA	UA	UA	
			Package	2	1	3	Gio	Gio	3	2	3	Gio	Gio	Gio	
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	PR16-02	PMV-14-417-C	PZ-117-4	VM-04	VM-02	LP-17-329-FF2	LP-15-13D-EE3	LP-17-329-A	LP16-01VM-B	LP16-01VM-D	LP16-01VM-D2	
SiO ₂	%	0,01	FUS-ICP	64,5	72,73	72,04	74,61	73,04	71,77	72,76	73,47	72,32	73,1	73,21	73,56
Al ₂ O ₃	%	0,01	FUS-ICP	16,21	11,14	11,35	11,37	11,09	11,61	11,25	10,61	10,82	11,22	11,02	11,05
Fe ₂ O ₃ (T)	%	0,01	FUS-ICP	3,44	2,01	2,27	2,02	1,94	2,26	2,2	2,18	2,09	2,16	2,14	2,16
MnO	%	0,001	FUS-ICP	0,088	0,042	0,046	0,049	0,042	0,049	0,055	0,049	0,049	0,048	0,051	0,054
MgO	%	0,01	FUS-ICP	0,06	0,02	0,03	0,02	0	0,02	0,02	0	0,03	0,03	0,03	0,03
CaO	%	0,01	FUS-ICP	0,19	0,2	0,23	0,22	0,19	0,24	0,25	0,23	0,26	0,29	0,24	0,26
Na ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	2,49	3,37	2,54	4,04	3,21	1,73	3,21	2,63	2,44	2,41	2,37	2,47
K ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	3,51	4,33	4,36	4,54	4,39	4,48	4,57	4,36	4,33	4,48	4,48	4,41
TiO ₂	%	0,001	FUS-ICP	0,156	0,097	0,159	0,144	0,144	0,166	0,16	0,141	0,146	0,16	0,142	0,146
P ₂ O ₅	%	0,01	FUS-ICP	0,02	< 0,01	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0,01	0,02	0
LOI	%		FUS-ICP	8,44	4,79	7,35	3,22	4,57	6,45	5,21	5,39	6,16	6,2	6,13	6,01
Total	%	0,01	FUS-ICP	99,11	98,7	100,4	100,3	98,65	98,78	99,67	99,06	98,65	100,1	99,85	100,2
Sc	ppm	1	FUS-ICP	2	< 1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
Be	ppm	1	FUS-ICP	16	8	5	5	4	4	4	5	4	5	4	4
V	ppm	5	FUS-ICP	10	< 5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Cr	ppm	20	FUS-MS	< 20	< 20	60	40	30	0	50	30	30	30	30	20
Co	ppm	1	FUS-MS	4	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	ppm	1	TD-ICP	6	< 1	2	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Cu	ppm	1	TD-ICP	7	5	3	3	2	4	5	4	4	3	2	3
Zn	ppm	1	TD-ICP	135	139	105	96	95	111	97	114	102	93	100	100
Cd	ppm	0,5	TD-ICP	< 0,5	< 0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	%	0,001	TD-ICP	0,003	0,004	0,014	0,002	0,006	0,005	0,004	0,004	0,007	0,002	0,01	0,007
Ga	ppm	1	FUS-MS	41	29	25	25	24	25	28	24	24	25	25	25
Ge	ppm	0,5	FUS-MS	3,1	2,3	1,6	1,9	1,7	1,4	2	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8
As	ppm	5	FUS-MS	6	< 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	ppm	1	FUS-MS	160	194	144	127	126	135	139	138	129	127	133	126
Sr	ppm	2	FUS-ICP	41	4	3	0	0	2	4	0	7	10	4	6
Y	ppm	0,5	FUS-MS	120	76,9	51,3	51,9	50,8	52,9	58,1	55,1	53,4	52,1	54,5	52
Zr	ppm	1	FUS-ICP	849	464	518	536	533	581	560	541	513	534	519	529
Nb	ppm	0,2	FUS-MS	103	50,8	38,8	36,3	36,3	55,3	47,5	50,1	37,7	36	37,8	37,7
Mo	ppm	2	FUS-MS	4	5	4	5	4	6	6	5	5	4	5	5
Ag	ppm	0,3	TD-ICP	0,8	1,4	1,6	1,5	1,5	1,5	1,2	1,4	1,5	1,4	1,5	1,6
In	ppm	0,1	FUS-MS	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0	0,1
Sn	ppm	1	FUS-MS	10	5	3	3	3	4	5	4	3	3	4	3
Sb	ppm	0,2	FUS-MS	1,7	1	0,3	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0
Cs	ppm	0,1	FUS-MS	5,4	4,1	4,1	2,5	2,8	2,6	3,2	2,7	2,5	2,6	2,7	2,5
Ba	ppm	2	FUS-ICP	155	< 2	24	16	12	24	31	22	30	40	25	28

TABLA B.39: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de PCU, uPG y uA.

			Unit	CTU	PCU	GPU1-2	GPU3	GPU3		UA	UA	UA	UA	UA	UA
			Package	2	1	3	Gio	Gio	3	2	3	Gio	Gio	Gio	Gio
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	PR16-02	PMV-14-417-C	PZ-117-4	VM-04	VM-02	LP-17-329-FF2	LP-15-13-D	LP-17-329-EE3	LP16-01VM-A	LP16-01VM-B	LP16-01VM-D	LP16-01VM-D2
La	ppm	0,05	FUS-MS	61,4	48,8	77,6	78,4	79,4	76,6	94,2	74,2	77	80,4	81,7	77,1
Ce	ppm	0,05	FUS-MS	120	108	156	160	158	157	191	148	157	162	167	158
Pr	ppm	0,01	FUS-MS	17,4	12,9	17	16,9	17,2	17,1	21	16,2	16,6	17,2	18,1	16,9
Nd	ppm	0,05	FUS-MS	65,4	48	59,3	59,6	60,3	61,4	73,3	57,9	59,7	61,3	62,2	59,8
Sm	ppm	0,01	FUS-MS	17,7	11,8	11,4	11,2	11,2	11,8	13,9	10,8	11,2	11,7	11,9	11,1
Eu	ppm	0,005	FUS-MS	0,265	0,105	0,119	0,131	0,134	0,172	0,172	0,141	0,146	0,177	0,143	0,135
Gd	ppm	0,01	FUS-MS	18	10,8	9,35	9,68	9,31	9,59	11,3	9,82	9,37	9,68	10,2	9,37
Tb	ppm	0,01	FUS-MS	3,17	2,08	1,49	1,57	1,56	1,56	1,8	1,6	1,52	1,53	1,62	1,5
Dy	ppm	0,01	FUS-MS	20,8	13,3	9,1	9,23	9,03	9,22	11,1	9,74	9,01	9,39	9,63	9,22
Ho	ppm	0,01	FUS-MS	4,17	2,62	1,81	1,8	1,79	1,78	2,17	1,86	1,77	1,82	1,89	1,75
Er	ppm	0,01	FUS-MS	12,1	7,83	5,15	5,28	5,17	5,47	6,51	5,46	5,17	5,36	5,7	5,23
Tm	ppm	0,005	FUS-MS	1,9	1,21	0,764	0,823	0,78	0,785	1,03	0,826	0,803	0,833	0,844	0,786
Yb	ppm	0,01	FUS-MS	12,6	7,97	5,46	5,49	5,31	5,44	6,44	5,81	5,38	5,69	5,79	5,35
Lu	ppm	0,002	FUS-MS	1,82	1,17	0,842	0,871	0,829	0,868	1,02	0,869	0,858	0,866	0,935	0,862
Hf	ppm	0,1	FUS-MS	26,1	14,1	10,8	11,3	11,6	13,3	12	12,6	10,9	11,2	11,3	11,1
Ta	ppm	0,01	FUS-MS	10,3	5,17	8,43	3,07	3,2	3,03	4,69	3,14	3,07	3,14	3,18	3
W	ppm	0,5	FUS-MS	2	171	6	3,2	2,9	1,1	2,5	1,7	26,7	2,9	3	2,4
Tl	ppm	0,05	FUS-MS	0,81	0,46	0,25	0,07	0	0,3	0,46	0,34	0	0	0	0
Pb	ppm	3	TD-ICP	46	18	7	9	9	5	17	6	9	10	10	10
Bi	ppm	0,1	FUS-MS	0,2	0,2	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0,1	0	0,1
Th	ppm	0,05	FUS-MS	42,9	19,4	15,7	16,4	16,7	15,6	19,4	15,4	15,6	15,7	16,6	15,9
U	ppm	0,01	FUS-MS	12,4	7,22	4,86	5,4	5,39	4,7	6,13	4,84	5,22	5,29	5,56	5,2
Au	ppb	2	INAA	< 2	< 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
As	ppm	0,5	INAA	12,4	3,6	6,8	3	2,1	2,5	2,4	5,7	0	0	0	4,1
Br	ppm	0,5	INAA	1,5	< 0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	ppm	5	INAA	9	< 5	45	43	40	23	40	21	16	15	34	31
Ir	ppb	5	INAA	< 5	< 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sc	ppm	0,1	INAA	2,3	0,7	0,9	0,8	0,7	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1
Se	ppm	3	INAA	< 3	< 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sb	ppm	0,2	INAA	1,7	0,6	0,5	0	0	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0	0,4
Mass	g		INAA	4,59	6,27	6,36	7,08	6,58	6,72	6,73	7,34	6,91	6,59	6,61	7,27

TABLA B.40: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de PCU, uPG y uA.

			Unit	UB	UB	UB	UB	UC	UC	UC	UC	UD	UD
			Package	2	1	2	2	1	3	3	3	3	1
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	LP-15-13-F1	LP-15-13-G	LP-17-144-C	LP-17-144-D	LP-15-101-A	LP-17-329-AA3	LP-17-329-CC	LP-17-401-D	LP-17-302-E	LP-15-101-C
SiO ₂	%	0.01	FUS-ICP	73.43	72.77	73.19	72.67	73.85	72.9	73.92	72.92	73.33	73.33
Al ₂ O ₃	%	0.01	FUS-ICP	11.27	11.57	11.24	11.37	10.85	11.45	11.24	10.97	11.14	10.97
Fe ₂ O ₃ (T)	%	0.01	FUS-ICP	2.19	2.42	1.99	2	1.89	2.25	2.18	1.92	1.91	1.9
MnO	%	0.001	FUS-ICP	0.048	0.046	0.044	0.043	0.042	0.056	0.055	0.045	0.045	0.042
MgO	%	0.01	FUS-ICP	0.02	0.03	0.02	0.02	< 0.01	0.04	0.03	0.01	0	< 0.01
CaO	%	0.01	FUS-ICP	0.23	0.26	0.22	0.22	0.21	0.26	0.23	0.21	0.22	0.21
Na ₂ O	%	0.01	FUS-ICP	2.31	2.92	3.35	3.38	4.12	3.29	3.42	3.05	3.88	3.73
K ₂ O	%	0.01	FUS-ICP	4.57	4.45	4.49	4.57	4.44	5.03	4.61	4.57	4.33	4.6
TiO ₂	%	0.001	FUS-ICP	0.111	0.123	0.113	0.113	0.106	0.156	0.132	0.107	0.108	0.106
P ₂ O ₅	%	0.01	FUS-ICP	0	< 0.01	0	0	< 0.01	0	0	0	0	< 0.01
LOI	%		FUS-ICP	6.03	5.77	4.88	4.96	3.83	4.78	4.41	5	4.61	4.71
Total	%	0.01	FUS-ICP	100.2	100.4	99.54	99.35	99.34	100.2	100.2	98.81	99.58	99.6
Sc	ppm	1	FUS-ICP	0	2	1	0	1	1	1	0	0	1
Be	ppm	1	FUS-ICP	5	6	5	6	5	5	5	5	5	5
V	ppm	5	FUS-ICP	0	< 5	0	0	< 5	0	0	0	0	< 5
Cr	ppm	20	FUS-MS	0	< 20	0	0	< 20	30	40	20	20	< 20
Co	ppm	1	FUS-MS	0	6	0	0	20	0	0	0	0	31
Ni	ppm	1	TD-ICP	3	< 1	0	1	< 1	2	4	0	1	< 1
Cu	ppm	1	TD-ICP	2	2	12	6	19	5	4	3	3	2
Zn	ppm	1	TD-ICP	105	107	100	101	107	114	117	116	113	106
Cd	ppm	0.5	TD-ICP	0	< 0.5	0	0	< 0.5	0	0	0	0	< 0.5
S	%	0.001	TD-ICP	0.004	0.01	0.005	0.008	0.004	0.01	0.004	0.008	0.005	0.002
Ga	ppm	1	FUS-MS	25	27	25	26	26	26	25	24	24	27
Ge	ppm	0.5	FUS-MS	2	2.2	2	2.2	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	2
As	ppm	5	FUS-MS	0	6	0	0	< 5	0	0	0	0	< 5
Rb	ppm	1	FUS-MS	146	137	140	142	141	147	146	145	143	143
Sr	ppm	2	FUS-ICP	4	5	3	4	< 2	0	0	0	0	< 2
Y	ppm	0.5	FUS-MS	55.9	55.8	54.5	56.3	56.9	76.4	54.9	53.9	56.4	61.1
Zr	ppm	1	FUS-ICP	477	465	453	464	467	592	522	453	471	434
Nb	ppm	0.2	FUS-MS	39.7	42.4	40	39	42.3	46.2	49.7	44.7	53	41.7
Mo	ppm	2	FUS-MS	4	5	10	4	4	5	4	4	4	4
Ag	ppm	0.3	TD-ICP	0.9	1.1	0.9	0.9	0.4	1.5	1.3	1	1.1	0.9
In	ppm	0.1	FUS-MS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.1
Sn	ppm	1	FUS-MS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Sb	ppm	0.2	FUS-MS	0.3	1	0.5	0.2	0.9	0.3	0	0	0	0.9
Cs	ppm	0.1	FUS-MS	3.3	3.3	3.1	3.4	3	2.6	2.8	2.7	2.8	3.2
Ba	ppm	2	FUS-ICP	18	17	10	14	8	19	21	16	8	7

TABLA B.41: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas en Sc a Ba wt % de uB, uC y uD.

			Unit	UB	UC	UB	UB	UC	UC	UC	UC	UD	UD
			Package	2	1	2	2	1	3	3	3	3	1
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	LP-15-13-F1	LP-15-13-G	LP-17-144-C	LP-17-144-D	LP-15-101-A	LP-17-329-AA3	LP-17-329-CC	LP-17-401-D	LP-17-302-E	LP-15-101-C
La	ppm	0.05	FUS-MS	57.8	54.2	56.4	57.5	53.8	101	60.7	50.4	53.5	56.3
Ce	ppm	0.05	FUS-MS	123	118	123	123	115	159	131	110	114	118
Pr	ppm	0.01	FUS-MS	14.3	12.9	13.8	13.9	13.1	22.5	13.9	12.2	13	13.8
Nd	ppm	0.05	FUS-MS	51.4	47	49.6	49.7	47.2	80	49.9	43.7	46.1	49.6
Sm	ppm	0.01	FUS-MS	11.2	10.3	10.2	10.9	10.2	13.9	10.2	9.58	9.94	10.8
Eu	ppm	0.005	FUS-MS	0.099	0.119	0.118	0.106	0.094	0.261	0.104	0.084	0.099	0.111
Gd	ppm	0.01	FUS-MS	9.89	8.51	9.56	9.54	8.84	12.6	9.49	8.58	9.44	9.24
Tb	ppm	0.01	FUS-MS	1.68	1.52	1.55	1.61	1.59	1.99	1.54	1.45	1.51	1.63
Dy	ppm	0.01	FUS-MS	10.5	9.52	9.74	9.99	9.92	12.3	9.45	8.94	9.66	10.5
Ho	ppm	0.01	FUS-MS	2.08	1.87	1.92	1.99	1.97	2.37	1.86	1.84	1.86	2.02
Er	ppm	0.01	FUS-MS	6.27	5.56	5.45	5.82	5.82	6.76	5.36	5.38	5.48	6.33
Tm	ppm	0.005	FUS-MS	0.929	0.863	0.81	0.899	0.875	0.964	0.809	0.808	0.842	0.936
Yb	ppm	0.01	FUS-MS	6.05	5.81	5.47	5.78	6.17	6.73	5.74	5.26	5.72	6.06
Lu	ppm	0.002	FUS-MS	0.96	0.867	0.861	0.877	0.896	0.984	0.915	0.89	0.877	0.927
Hf	ppm	0.1	FUS-MS	9.9	13	11	10.5	12.9	11.8	12.6	10.7	12.9	13.1
Ta	ppm	0.01	FUS-MS	4.73	3.97	3.86	4.13	4.11	3.24	3.27	3.36	3.27	4.05
W	ppm	0.5	FUS-MS	7.8	45.4	12.6	7.1	276	4	2.8	1.2	1.8	178
Tl	ppm	0.05	FUS-MS	0.59	0.37	0.64	0.57	0.24	0.32	0.42	0.29	0.45	0.32
Pb	ppm	3	TD-ICP	10	17	10	9	14	5	7	7	7	14
Bi	ppm	0.1	FUS-MS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1
Th	ppm	0.05	FUS-MS	18	16.9	16.7	17.4	17	16.5	16.2	15.5	16	17.4
U	ppm	0.01	FUS-MS	5.99	5.59	5.71	5.93	5.68	4.93	5.09	5.04	5.27	5.75
Au	ppb	2	INAA	0	< 2	0	0	< 2	0	0	0	0	< 2
As	ppm	0.5	INAA	3	7.4	8.6	5.4	3.2	4.4	3.1	4	1.1	3.6
Br	ppm	0.5	INAA	0	1.2	0	1.5	< 0.5	0	0	1.2	0	< 0.5
Cr	ppm	5	INAA	7	< 5	24	24	< 5	22	38	15	12	< 5
Ir	ppb	5	INAA	0	< 5	0	0	< 5	0	0	0	0	< 5
Sc	ppm	0.1	INAA	0.9	1.4	1.1	1.1	0.9	1.3	1	0.8	0.6	1
Se	ppm	3	INAA	0	< 3	0	6	< 3	0	0	0	0	< 3
Sb	ppm	0.2	INAA	0.5	0.4	0.6	0.3	< 0.2	0.5	0.4	0.5	0.4	< 0.2
Mass	g		INAA	6.34	6.38	7.44	6.23	6.47	7.3	7.46	6.97	6.98	5.78

TABLA B.42: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de uB, uC y uD.

Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	Unit	UE	UE	UF	UF	UF	UG	UG	UG	UG	UG
				Package	2	2	1	3	3	1	1	1	2	3
SiO ₂	%	0,01	FUS-ICP	74,78	74,2	74,38	71,74	73,19	73,68	74,09	73,46	73,98	74,18	
Al ₂ O ₃	%	0,01	FUS-ICP	11,34	10,92	11,21	12,61	11,05	11,06	11,43	12,08	11,41	11,39	
Fe ₂ O ₃ (T)	%	0,01	FUS-ICP	1,86	1,79	1,55	1,85	1,59	1,52	1,61	1,75	1,67	1,6	
MnO	%	0,001	FUS-ICP	0,04	0,04	0,038	0,04	0,039	0,037	0,04	0,043	0,038	0,04	
MgO	%	0,01	FUS-ICP	0	0	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0	
CaO	%	0,01	FUS-ICP	0,23	0,22	0,22	0,2	0,2	0,21	0,23	0,22	0,21	0,22	
Na ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	4,15	4,18	3,94	3,08	3,43	3,78	3,2	3,38	3,57	3,67	
K ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	4,36	4,26	4,25	4,82	4,6	4,51	4,87	4,68	4,69	4,53	
TiO ₂	%	0,001	FUS-ICP	0,079	0,075	0,072	0,091	0,072	0,072	0,081	0,09	0,08	0,073	
P ₂ O ₅	%	0,01	FUS-ICP	0,01	0,02	< 0,01	0	0	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,06	0	
LOI	%		FUS-ICP	3,76	4,19	4,42	5,29	4,66	4,6	4,75	4,98	4,63	4,4	
Total	%	0,01	FUS-ICP	100,6	99,9	100,1	99,76	98,85	99,46	100,3	100,7	100,4	100,1	
Sc	ppm	1	FUS-ICP	0	0	< 1	1	0	< 1	1	< 1	0	0	
Be	ppm	1	FUS-ICP	5	5	6	7	6	6	5	6	5	5	
V	ppm	5	FUS-ICP	0	0	< 5	0	0	< 5	< 5	< 5	0	0	
Cr	ppm	20	FUS-MS	0	0	< 20	40	40	< 20	< 20	< 20	0	0	
Co	ppm	1	FUS-MS	0	0	35	0	0	23	18	10	0	0	
Ni	ppm	1	TD-ICP	7	5	< 1	1	1	< 1	2	1	2	0	
Cu	ppm	1	TD-ICP	7	6	5	4	3	1	7	3	3	3	
Zn	ppm	1	TD-ICP	93	92	94	114	109	98	98	100	98	106	
Cd	ppm	0,5	TD-ICP	0	0	< 0,5	0	0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0	0	
S	%	0,001	TD-ICP	0,003	0,002	0,003	0,005	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,005	
Ga	ppm	1	FUS-MS	25	24	26	27	26	26	26	28	23	23	
Ge	ppm	0,5	FUS-MS	2	1,8	1,8	2,1	1,8	2,1	2	2,1	1,7	1,6	
As	ppm	5	FUS-MS	0	0	< 5	0	0	< 5	< 5	< 5	0	0	
Rb	ppm	1	FUS-MS	146	146	158	153	163	153	155	142	143	151	
Sr	ppm	2	FUS-ICP	2	0	< 2	0	0	< 2	2	2	0	0	
Y	ppm	0,5	FUS-MS	53,5	52,7	57,9	69,6	58,1	56,2	55,1	54,7	51,1	52,9	
Zr	ppm	1	FUS-ICP	308	295	292	365	322	290	298	319	331	306	
Nb	ppm	0,2	FUS-MS	37,5	36,4	41,1	57,5	48,7	39,8	39,8	44,4	38,4	39,5	
Mo	ppm	2	FUS-MS	6	5	4	3	3	4	4	4	3	3	
Ag	ppm	0,3	TD-ICP	0,6	0,6	0,8	0,9	0,9	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	
In	ppm	0,1	FUS-MS	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0	
Sn	ppm	1	FUS-MS	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	
Sb	ppm	0,2	FUS-MS	0,4	0,6	1	0	0	0,9	0,9	0,9	0,3	0	
Cs	ppm	0,1	FUS-MS	3,1	3,1	3,6	3,3	3,2	3,5	3,3	3,4	2,9	3	
Ba	ppm	2	FUS-ICP	8	7	4	8	6	5	12	22	6	4	

TABLA B.43: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de uE, uF y uG.

Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	Unit	UE	UE	UF	UF	UF	UG	UG	UG	UG	UG
				Package	2	2	1	3	3	1	1	1	2	3
					LP-15-118-D	LP-15-118-N	LP-15-101-D1	LP-17-417-B	LP-17-302-A	LP-15-102-C	LP-15-104-J	LP-15-104-K	LP-15-110-B	LP-17-422-F
La	ppm	0,05	FUS-MS	39,3	39,2	35,2	41,7	38,7	38,6	38,8	39,7	37,5	35,8	
Ce	ppm	0,05	FUS-MS	86,6	84,2	78,3	87,8	81,2	82	85,6	93,7	83,9	78,1	
Pr	ppm	0,01	FUS-MS	10,1	10,1	9,39	11,2	9,47	9,9	9,72	10,1	9,77	9,05	
Nd	ppm	0,05	FUS-MS	37,1	36,1	34,5	41	33,8	36,1	35,3	36	35,7	32,8	
Sm	ppm	0,01	FUS-MS	8,84	8,62	8,75	10,3	8,44	9,04	8,45	8,79	8,82	8,19	
Eu	ppm	0,005	FUS-MS	0,066	0,085	0,062	0,114	0,055	0,071	0,079	0,087	0,056	0,055	
Gd	ppm	0,01	FUS-MS	8,46	8,36	7,83	10,2	8,8	7,82	7,83	7,72	8,69	8	
Tb	ppm	0,01	FUS-MS	1,47	1,43	1,51	1,84	1,48	1,51	1,41	1,44	1,52	1,36	
Dy	ppm	0,01	FUS-MS	9	9,02	9,51	11,7	9,55	9,79	9,28	9,27	9,45	9,05	
Ho	ppm	0,01	FUS-MS	1,85	1,83	1,92	2,3	1,91	1,9	1,83	1,82	1,91	1,75	
Er	ppm	0,01	FUS-MS	5,41	5,27	5,68	6,74	5,5	5,54	5,47	5,46	5,48	5,16	
Tm	ppm	0,005	FUS-MS	0,819	0,838	0,882	1,02	0,828	0,833	0,853	0,858	0,884	0,795	
Yb	ppm	0,01	FUS-MS	5,38	5,37	5,85	6,8	5,97	5,81	5,78	5,69	5,72	5,19	
Lu	ppm	0,002	FUS-MS	0,808	0,82	0,865	1,02	0,84	0,846	0,787	0,839	0,86	0,822	
Hf	ppm	0,1	FUS-MS	8,1	8,4	10,3	11,6	10,2	10,2	10,5	11,3	7,6	8,6	
Ta	ppm	0,01	FUS-MS	3,78	3,78	4,1	4,01	3,65	3,96	3,97	4,29	4,39	3,51	
W	ppm	0,5	FUS-MS	7	0,6	150	3,5	4	89,9	132	114	7,9	7,4	
Tl	ppm	0,05	FUS-MS	0,53	0,53	0,39	0,56	0,55	0,39	0,42	0,41	0,52	0,39	
Pb	ppm	3	TD-ICP	10	10	14	9	9	14	13	15	11	7	
Bi	ppm	0,1	FUS-MS	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	
Th	ppm	0,05	FUS-MS	16,2	15,8	16,2	18	17,7	16,6	16,3	17,4	16,5	14,9	
U	ppm	0,01	FUS-MS	5,88	5,84	5,98	6,25	5,73	6,06	5,75	5,85	5,83	5,26	
Au	ppb	2	INAA	0	0	< 2	0	0	< 2	< 2	< 2	0	0	
As	ppm	0,5	INAA	4,2	3,4	2,1	4,2	2,6	1,8	2,8	3,4	4,1	1	
Br	ppm	0,5	INAA	1,8	0	< 0,5	2,7	1,5	1,6	< 0,5	1,6	0,8	1,5	
Cr	ppm	5	INAA	13	12	< 5	30	22	< 5	< 5	< 5	12	19	
Ir	ppb	5	INAA	0	0	< 5	0	0	< 5	< 5	< 5	0	0	
Sc	ppm	0,1	INAA	0,8	0,9	0,6	0,9	0,9	0,7	1	1,3	1	0,6	
Se	ppm	3	INAA	0	0	< 3	0	0	< 3	< 3	< 3	0	0	
Sb	ppm	0,2	INAA	0,6	0,6	< 0,2	0,4	0,6	< 0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	
Mass	g		INAA	7,88	6,77	6,13	6,62	6,98	5,83	5,86	5,57	7,21	6,32	

TABLA B.44: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de uE, uF y uG.

Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Unit	UI	UJ	UK	UK	UK	UL	UM	UM	UM	UN	UO
			Package	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1
			Sample Method	LP-15-102-D	LP-15-102-E	LP-15-102-F1	LP-15-102-F2	LP-15-102-G	LP-15-103-H	LP-15-103-I	LP-15-103-J	PMV-33-14-D	LP-17-477-B	PMV-14-417-Dsup
SiO2	%	0,01	FUS-ICP	74,74	74,14	74,99	73,21	73,34	74,02	73,02	72,72	74,67	74,41	74,33
Al2O3	%	0,01	FUS-ICP	11,31	11,23	11,1	11,52	11,17	11,33	11,43	12,16	11,3	11,26	11,24
Fe2O3(T)	%	0,01	FUS-ICP	1,64	1,6	1,54	1,59	1,54	1,61	1,61	1,8	1,56	1,65	1,25
MnO	%	0,001	FUS-ICP	0,038	0,038	0,039	0,038	0,039	0,04	0,04	0,042	0,038	0,049	0,039
MgO	%	0,01	FUS-ICP	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
CaO	%	0,01	FUS-ICP	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,24	0,28
Na2O	%	0,01	FUS-ICP	3,88	4,15	4,03	3,75	3,84	3,74	3,47	3,27	3,74	4,11	4,03
K2O	%	0,01	FUS-ICP	4,02	4,17	4,25	3,93	4,29	4,57	4,75	4,6	4,67	4,38	4,32
TiO2	%	0,001	FUS-ICP	0,073	0,073	0,075	0,075	0,075	0,081	0,082	0,094	0,075	0,075	0,056
P2O5	%	0,01	FUS-ICP	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
LOI	%		FUS-ICP	4,2	4,3	4,49	4,48	4,49	4,55	4,6	5,3	4,58	4,07	3,27
Total	%	0,01	FUS-ICP	100,1	99,93	100,8	98,82	99,03	100,2	99,25	100,2	100,8	100,3	98,84
Sc	ppm	1	FUS-ICP	< 1	< 1	1	< 1	1	1	1	1	1	< 1	1
Be	ppm	1	FUS-ICP	6	6	5	5	5	5	5	6	5	5	6
V	ppm	5	FUS-ICP	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cr	ppm	20	FUS-MS	50	30	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	40	< 20
Co	ppm	1	FUS-MS	42	22	18	20	25	21	22	14	36	< 1	12
Ni	ppm	1	TD-ICP	< 1	2	< 1	< 1	< 1	< 1	1	1	< 1	< 1	< 1
Cu	ppm	1	TD-ICP	2	7	8	2	2	1	7	2	1	3	3
Zn	ppm	1	TD-ICP	99	95	97	97	97	96	96	100	95	97	76
Cd	ppm	0,5	TD-ICP	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
S	%	0,001	TD-ICP	0,002	0,002	0,003	0,013	0,002	0,008	0,006	0,031	0,002	0,006	0,002
Ga	ppm	1	FUS-MS	25	26	26	27	26	26	26	27	26	22	24
Ge	ppm	0,5	FUS-MS	1,9	2	2	2	2,1	1,9	1,9	2,1	2	1,4	1,9
As	ppm	5	FUS-MS	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb	ppm	1	FUS-MS	148	152	147	150	148	147	146	137	156	158	163
Sr	ppm	2	FUS-ICP	4	< 2	< 2	4	< 2	< 2	2	2	2	< 2	< 2
Y	ppm	0,5	FUS-MS	54,2	55,3	55,3	56,3	55,9	56,9	52,8	55	54,7	56,1	49,5
Zr	ppm	1	FUS-ICP	284	292	291	283	284	302	288	353	291	288	173
Nb	ppm	0,2	FUS-MS	31,9	40,7	37,9	33,1	38,7	39,7	36,1	49,3	40,2	44,5	35,2
Mo	ppm	2	FUS-MS	5	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
Ag	ppm	0,3	TD-ICP	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	1,1	0,8	0,8	0,3
In	ppm	0,1	FUS-MS	0,1	0,1	0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1	0,1
Sn	ppm	1	FUS-MS	4	5	4	4	4	4	4	5	6	4	4
Sb	ppm	0,2	FUS-MS	0,8	0,9	1	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,4	1
Cs	ppm	0,1	FUS-MS	3,4	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9
Ba	ppm	2	FUS-ICP	< 2	4	7	3	7	8	11	16	7	14	6

TABLA B.45: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de uI, uJ, uK, uL, uM, uN y uO.

			Unit	UI	UJ	UK	UK	UK	UL	UM	UM	UM	UN	UO
Package				1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	LP-15-102-D	LP-15-102-E	LP-15-102-F1	LP-15-102-F2	LP-15-102-G	LP-15-103-H	LP-15-103-I	LP-15-103-J	PMV-33-14-D	LP-17-477-B	PMV-14-417-Dsup
La	ppm	0,05	FUS-MS	36,4	36,4	37,7	38	37,9	41,4	37,3	41	37,1	39,9	33,6
Ce	ppm	0,05	FUS-MS	79,6	80,5	82,6	82,8	83,2	87,6	93,5	92,5	81,9	88,1	76
Pr	ppm	0,01	FUS-MS	9,29	9,37	9,73	9,73	9,83	10,7	9,44	9,67	9,52	9,96	8,86
Nd	ppm	0,05	FUS-MS	33,6	34,3	34,6	35,9	36,1	38,4	34,7	35	34,6	37,6	32,5
Sm	ppm	0,01	FUS-MS	8,65	8,65	8,85	8,8	8,66	9,34	8,26	8,14	8,28	9,3	8,05
Eu	ppm	0,005	FUS-MS	0,067	0,064	0,082	0,078	0,064	0,079	0,065	0,062	0,05	0,055	0,035
Gd	ppm	0,01	FUS-MS	7,6	7,64	7,91	7,7	7,94	8,03	7,56	7,42	7,66	8,07	6,86
Tb	ppm	0,01	FUS-MS	1,43	1,48	1,49	1,48	1,5	1,54	1,43	1,42	1,46	1,49	1,28
Dy	ppm	0,01	FUS-MS	9,34	9,37	9,33	9,63	9,66	9,63	9,02	9,33	8,97	9,41	8,14
Ho	ppm	0,01	FUS-MS	1,82	1,84	1,9	1,88	1,89	1,95	1,75	1,8	1,79	1,87	1,61
Er	ppm	0,01	FUS-MS	5,36	5,46	5,51	5,57	5,5	5,57	5,4	5,23	5,41	5,5	5,04
Tm	ppm	0,005	FUS-MS	0,832	0,863	0,871	0,843	0,865	0,855	0,827	0,797	0,816	0,882	0,762
Yb	ppm	0,01	FUS-MS	5,75	5,6	5,56	5,59	5,7	5,75	5,25	5,37	5,45	5,79	5,19
Lu	ppm	0,002	FUS-MS	0,844	0,848	0,842	0,849	0,837	0,827	0,819	0,789	0,844	0,869	0,772
Hf	ppm	0,1	FUS-MS	8,5	10,4	10,3	9,2	9,8	10,4	9,8	11,9	10,7	8,8	7,3
Ta	ppm	0,01	FUS-MS	3,66	3,95	4,06	3,99	3,9	4,15	3,87	4,29	3,97	3,76	3,68
W	ppm	0,5	FUS-MS	46	124	150	156	121	196	176	120	133	2,6	158
Tl	ppm	0,05	FUS-MS	0,42	0,38	0,4	0,4	0,41	0,45	0,41	0,44	0,4	0,44	0,52
Pb	ppm	3	TD-ICP	14	14	15	14	13	14	15	19	13	14	13
Bi	ppm	0,1	FUS-MS	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	< 0,1	0,2
Th	ppm	0,05	FUS-MS	15,8	15,7	16,4	16,3	16,3	17	16,3	17,5	15,7	15,6	18,1
U	ppm	0,01	FUS-MS	5,85	5,7	5,91	5,91	5,82	5,85	5,7	5,6	5,71	6,09	6,5
Au	ppb	2	INAA	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	11	< 2	< 2	< 2	< 2
As	ppm	0,5	INAA	< 0,5	2,7	2,2	< 0,5	4	1,3	4,1	4,7	4,2	2,2	5,6
Br	ppm	0,5	INAA	1,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,1	2	1	< 0,5
Cr	ppm	5	INAA	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	49	< 5
Ir	ppb	5	INAA	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sc	ppm	0,1	INAA	0,8	0,9	1	1	0,8	1	1	1,4	0,9	0,7	1,2
Se	ppm	3	INAA	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Sb	ppm	0,2	INAA	< 0,2	0,3	0,5	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,6	0,6
Mass	g		INAA	5,45	6,61	6,27	6,48	6,14	6,11	5,69	5,72	5,75	6,68	6,53

TABLA B.46: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de uI, uJ, uK, uL, uM, uN y uO.

			Formation	BJ	Basement lavas				Scoria cone	Lava Pre	aa	bb	dd	Chi	
					4	4	4	4							
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	PR9-29-85	PR1-600-605	PR11-1717-1720	PR12-2300-2303	PR2-1358-1361	LP-18-614-3	LP-18-614-2	LP-18-606	LP-17-153	LP-18-608	LP-18-590	LP-18-594
SiO ₂	%	0,01	FUS-ICP	61,31	46,66	51,02	50,54	51,51	54,1	55,48	71,76	75,47	75	72,09	74,2
Al ₂ O ₃	%	0,01	FUS-ICP	12,5	15,81	17	16,55	18,67	17,99	18,35	15,01	11,08	12,47	12,21	11,34
Fe ₂ O ₃ (T)	%	0,01	FUS-ICP	5,12	9,22	10,27	7,97	8,39	7,47	7,27	2,2	1,61	2,32	1,82	2,29
MnO	%	0,001	FUS-ICP	0,203	0,127	0,099	0,232	0,194	0,115	0,111	0,052	0,04	0,083	0,053	0,07
MgO	%	0,01	FUS-ICP	1,97	6,02	4,68	7,34	3,93	4,07	4,14	0,1	0	0,02	0,05	0,05
CaO	%	0,01	FUS-ICP	7,34	7,4	7,21	6,04	6,91	7,92	7,76	0,49	0,19	0,09	0,28	0,24
Na ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	2,22	3,66	3,37	2,42	3,59	3,59	3,68	5,33	4,24	4,42	3,81	3,93
K ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	4,53	0,93	0,9	2,89	0,29	1,21	1,17	4,22	4,46	4,75	5	4,9
TiO ₂	%	0,001	FUS-ICP	0,707	1,356	1,892	0,771	1,567	1,016	0,958	0,344	0,075	0,138	0,096	0,147
P ₂ O ₅	%	0,01	FUS-ICP	0,14	0,37	0,39	0,15	0,38	0,18	0,18	0,03	0	< 0,01	0,02	< 0,01
LOI	%		FUS-ICP	3,87	8,11	3,51	4,76	4,72	1	0,32	0,71	3,04	0,38	3,34	2,92
Total	%	0,01	FUS-ICP	99,91	99,66	100,3	99,66	100,2	98,65	99,42	100,3	100,2	99,67	98,78	100,1
Sc	ppm	1	FUS-ICP	13	26	25	25	21	19	19	6	0	2	1	< 1
Be	ppm	1	FUS-ICP	1	2	2	1	1	1	1	3	5	5	5	5
V	ppm	5	FUS-ICP	95	172	279	194	198	167	164	7	0	6	< 5	< 5
Cr	ppm	20	FUS-MS	120	200	190	300	70	150	80	20	40	90	60	50
Co	ppm	1	FUS-MS	13	32	30	32	26	26	25	< 1	0	< 1	< 1	< 1
Ni	ppm	1	TD-ICP	21	107	80	121	41	53	62	< 1	1	2	< 1	< 1
Cu	ppm	1	TD-ICP	25	32	28	9	93	36	36	1	4	2	8	3
Zn	ppm	1	TD-ICP	695	74	86	86	87	68	69	57	106	91	101	102
Cd	ppm	0,5	TD-ICP	2,6							0				
S	%	0,001	TD-ICP	0,039	0,032	0,003	0,007	0,003	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,02	0,008
Ga	ppm	1	FUS-MS	14	17	20	17	21	20	19	19	25	25	25	23
Ge	ppm	0,5	FUS-MS	1	1,1	1,4	1,2	1,3	1,1	1	1,2	1,9	1,5	1,4	1,5
As	ppm	5	FUS-MS	13	< 5	7	36	< 5	< 5	< 5	< 5	0	< 5	< 5	< 5
Rb	ppm	1	FUS-MS	170	21	11	96	3	19	18	91	150	147	160	137
Sr	ppm	2	FUS-ICP	171	474	640	399	772	661	676	56	0	3	3	3
Y	ppm	0,5	FUS-MS	26	24,4	26,2	16,5	26	18,2	20,5	38,4	53,9	25	79,9	52,6
Zr	ppm	1	FUS-ICP	204	129	179	78	153	114	104	361	316	449	344	527
Nb	ppm	0,2	FUS-MS	5	7,5	16,4	3	11,6	7,3	6,2	27,8	59,8	51,3	35,6	43,5
Mo	ppm	2	FUS-MS	2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	4	3	3	4	4
Ag	ppm	0,3	TD-ICP	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,4	< 0,3	0,6	0,8	1	0,9	1,5
In	ppm	0,1	FUS-MS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0	0,1	< 0,1	< 0,1
Sn	ppm	1	FUS-MS	1	1	1	< 1	1	< 1	< 1	2	5	4	5	4
Sb	ppm	0,2	FUS-MS	2,1	0,5	0,6	3,1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,4	0	0,3	0,4	0,4
Cs	ppm	0,1	FUS-MS	5	2	0,9	6,3	2	0,4	0,3	1	3	1,5	3,1	2,7
Ba	ppm	2	FUS-ICP	907	356	661	1254	346	362	365	1117	7	31	12	30

TABLA B.47: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de las lavas del basamento, cono de escoria, lava y domos pre-caldera.

			Unit	BJ	Basement lavas				Scoria cone		Lava Pre	aa	bb	dd	Chi
			Package		4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	PR9-29-85	PR1-600-605	PR11-1717-1720	PR12-2300-2303	PR2-1358-1361	LP-18-614-3	LP-18-614-2	LP-18-606	LP-17-153	LP-18-608	LP-18-590	LP-18-594
La	ppm	0,05	FUS-MS	21,4	17,2	21,8	10	21,1	14,7	14,5	61,5	36,9	35	53,9	84,4
Ce	ppm	0,05	FUS-MS	46,9	38,8	49,4	22,7	46	29,8	28,3	58,9	82,3	103	119	173
Pr	ppm	0,01	FUS-MS	5,83	4,84	6,22	2,84	5,82	3,73	3,76	11,4	9,36	6,97	12,9	18,1
Nd	ppm	0,05	FUS-MS	23,3	20,5	26,8	12,7	24,6	15,6	16,1	38,8	34,1	25,2	46,5	63,4
Sm	ppm	0,01	FUS-MS	5,3	4,64	5,93	2,98	5,35	3,58	3,54	7,15	8,4	4,76	11,1	12
Eu	ppm	0,005	FUS-MS	0,966	1,46	1,89	1,01	1,67	1,2	1,14	1,21	0,068	0,101	0,175	0,148
Gd	ppm	0,01	FUS-MS	4,6	4,4	5,4	2,97	4,84	3,39	3,62	6,52	8,28	3,79	10,5	9,37
Tb	ppm	0,01	FUS-MS	0,75	0,65	0,84	0,47	0,77	0,51	0,52	1	1,38	0,67	1,84	1,55
Dy	ppm	0,01	FUS-MS	4,38	4,38	5,16	3,02	4,76	3,24	3,44	6,02	8,64	4,41	12,4	9,45
Ho	ppm	0,01	FUS-MS	0,88	0,8	0,9	0,55	0,85	0,6	0,61	1,23	1,78	0,96	2,7	1,87
Er	ppm	0,01	FUS-MS	2,57	2,29	2,55	1,6	2,48	1,58	1,82	3,46	5,09	3,32	8,47	5,8
Tm	ppm	0,005	FUS-MS	0,39	0,328	0,348	0,228	0,345	0,24	0,257	0,514	0,784	0,563	1,31	0,894
Yb	ppm	0,01	FUS-MS	2,6	2,19	2,31	1,41	2,28	1,51	1,61	3,24	5,52	3,97	8,56	5,72
Lu	ppm	0,002	FUS-MS	0,377	0,343	0,355	0,252	0,345	0,251	0,268	0,493	0,786	0,643	1,34	0,876
Hf	ppm	0,1	FUS-MS	5,9	3,2	4,7	2,3	4,1	3,1	3	8,3	12,6	11,6	9,2	11,8
Ta	ppm	0,01	FUS-MS	0,46	0,5	1,02	0,18	0,8	0,51	0,44	2,24	2,9	3,67	3,9	3,38
W	ppm	0,5	FUS-MS	6,9	0,6	3,6	1,1	1,3	6,5	2,1	< 0,5	3,5	4,9	3,7	5,8
Tl	ppm	0,05	FUS-MS	0,76	0,06	< 0,05	1,19	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,19	0,26	0,53	0,92	0,45
Pb	ppm	3	TD-ICP	234	3	4	12	4	< 3	< 3	12	8	10	18	10
Bi	ppm	0,1	FUS-MS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	0,2	< 0,1
Th	ppm	0,05	FUS-MS	8,51	2,04	2,04	1,74	2,34	1,67	1,63	8,05	15,7	14,5	17,3	16,1
U	ppm	0,01	FUS-MS	3,63	0,72	0,87	0,62	0,84	0,57	0,56	2,86	5,57	4,28	5,98	5,57
Au	ppb	2	INAA	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	0	< 2	< 2	< 2
As	ppm	0,5	INAA	12,3	5,3	4,9	47,6	< 0,5	1,3	< 0,5	3,4	2	< 0,5	4,6	< 0,5
Br	ppm	0,5	INAA	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0	< 0,5	5,6	< 0,5
Cr	ppm	5	INAA	88	197	191	300	74	152	88	19	35	89	60	53
Ir	ppb	5	INAA	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	0	< 5	< 5	< 5
Sc	ppm	0,1	INAA	9,1	23,3	22,3	22	18,7	16,9	17	5,3	0,6	1,9	1,2	0,9
Se	ppm	3	INAA	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	0	< 3	< 3	< 3
Sb	ppm	0,2	INAA	2,5	0,2	0,6	3,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,6	0,5	< 0,2	0,4	0,3
Mass	g		INAA	7,99	6,92	8,08	7,95	7,81	6,36	8,04	7,31	7,75	7,21	7,66	7,3

TABLA B.48: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt% de las lavas del basamento, cono de escoria, lava y domos pre-caldera.

Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Formation	A L N O S					AA II2 DD1 FF HH1 HH2					
				Package		4	4	3	4	3	4	4	4	4
				Sample Method		LP-18-579	LP-18-581	PZ-120	LP-18-577	LP-18-281	LP-18-598	LP-17-480	LP-18-667	LP-18-558
SiO ₂	%	0,01	FUS-ICP	74,02	74,71	73,44	73,35	76,26	74,47	74,01	73,37	75,9	76,64	74,4
Al ₂ O ₃	%	0,01	FUS-ICP	12,11	11,56	11,5	11,45	11,52	12,08	11,52	11,57	11,59	11,93	12,39
Fe ₂ O ₃ (T)	%	0,01	FUS-ICP	2,4	2,37	2,08	2,3	1,99	2,42	1,66	1,68	2,04	1,74	1,77
MnO	%	0,001	FUS-ICP	0,067	0,069	0,052	0,068	0,047	0,067	0,048	0,05	0,055	0,047	0,052
MgO	%	0,01	FUS-ICP	0,02	0,02	0,04	0,18	0	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02
CaO	%	0,01	FUS-ICP	0,25	0,3	0,25	0,28	0,23	0,24	0,22	0,19	0,23	0,09	0,24
Na ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	4,45	4,33	4,1	3,85	4,46	4,52	4,16	4,13	4,49	4,44	4,1
K ₂ O	%	0,01	FUS-ICP	4,68	4,65	4,79	5,16	4,48	4,67	4,39	4,41	4,46	4,39	4,41
TiO ₂	%	0,001	FUS-ICP	0,156	0,152	0,155	0,15	0,113	0,155	0,075	0,074	0,108	0,079	0,082
P2O ₅	%	0,01	FUS-ICP	< 0,01	< 0,01	0	0,02	0	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
LOI	%		FUS-ICP	1,31	1,33	2,94	2,88	0,53	1,27	3,34	3,39	0,6	0,34	3,17
Total	%	0,01	FUS-ICP	99,47	99,49	99,35	99,67	99,62	99,9	99,42	98,85	99,49	99,72	100,6
Sc	ppm	1	FUS-ICP	< 1	1	1	< 1	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Be	ppm	1	FUS-ICP	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
V	ppm	5	FUS-ICP	< 5	< 5	0	< 5	0	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cr	ppm	20	FUS-MS	70	60	50	50	50	70	30	40	60	30	40
Co	ppm	1	FUS-MS	< 1	8	0	< 1	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1
Ni	ppm	1	TD-ICP	1	1	1	1	2	< 1	1	1	< 1	1	1
Cu	ppm	1	TD-ICP	3	3	5	4	3	4	3	2	2	2	7
Zn	ppm	1	TD-ICP	100	101	108	101	115	103	95	99	109	89	106
Cd	ppm	0,5	TD-ICP			0		0						
S	%	0,001	TD-ICP	0,001	0,001	0,004	0,003	0,004	0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	0,001	0,001
Ga	ppm	1	FUS-MS	24	23	25	22	26	25	23	23	24	23	24
Ge	ppm	0,5	FUS-MS	1,6	1,3	1,9	1,5	2	1,1	1,4	1,2	1,7	1,5	1,5
As	ppm	5	FUS-MS	< 5	< 5	0	< 5	0	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb	ppm	1	FUS-MS	136	135	132	133	143	136	155	156	147	154	149
Sr	ppm	2	FUS-ICP	2	< 2	0	3	0	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2
Y	ppm	0,5	FUS-MS	52,2	53,7	52,7	51,2	57,3	53,2	52,2	54,3	57	34,8	53
Zr	ppm	1	FUS-ICP	520	531	529	482	482	543	280	284	424	267	299
Nb	ppm	0,2	FUS-MS	43,5	39,2	55	39,7	47,4	43,3	35,6	33,3	41,3	42,5	40
Mo	ppm	2	FUS-MS	5	5	5	4	4	5	4	3	4	3	4
Ag	ppm	0,3	TD-ICP	1,4	1,6	1,4	1,4	1,1	1,5	0,7	0,8	1,2	0,8	0,8
In	ppm	0,1	FUS-MS	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sn	ppm	1	FUS-MS	4	3	5	4	4	4	4	4	4	5	5
Sb	ppm	0,2	FUS-MS	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4
Cs	ppm	0,1	FUS-MS	2,7	2,5	2,5	2,6	2,8	2,4	3,2	3,2	2,8	2,3	3,1
Ba	ppm	2	FUS-ICP	22	20	13	32	7	20	13	11	13	13	17

TABLA B.49: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas Sc a Ba en wt % de los domos, lavas y estratovolcanes post-caldera.

			Unit	A	L	N	O	S	AA	II2	DD1	FF	HH1	HH2
Package				4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4
Analyte Symbol	Unit Symbol	Detection Limit	Sample Method	LP-18-579	LP-18-581	PZ-120	LP-18-577	LP-17-281	LP-18-598	LP-17-480	LP-18-667	LP-18-558	LP-18-660-B	PR-17-55
La	ppm	0,05	FUS-MS	81,6	84,9	82,3	83,1	57,4	85,7	38,3	37,5	58,6	23,5	40,5
Ce	ppm	0,05	FUS-MS	162	167	166	163	120	168	84,7	83,9	119	92,7	87,2
Pr	ppm	0,01	FUS-MS	17,5	18,2	18,1	17,5	13,5	18,4	9,79	9,61	13,5	6,44	9,79
Nd	ppm	0,05	FUS-MS	60,9	61,8	64,3	63,3	48,1	64,3	35,4	33,4	50,2	23,4	36,2
Sm	ppm	0,01	FUS-MS	11,8	11,7	11,8	11,3	10,4	12,2	9,06	8,68	11,2	6,34	8,51
Eu	ppm	0,005	FUS-MS	0,132	0,142	0,127	0,143	0,088	0,109	0,114	0,042	0,081	0,048	0,08
Gd	ppm	0,01	FUS-MS	9,01	9,6	10	9,02	9,28	9,31	7,44	7,95	9,06	4,89	7,71
Tb	ppm	0,01	FUS-MS	1,62	1,61	1,59	1,56	1,49	1,58	1,4	1,37	1,53	0,98	1,5
Dy	ppm	0,01	FUS-MS	9,08	9,55	9,76	9,14	9,59	9,41	8,98	9,17	10,2	6,85	8,9
Ho	ppm	0,01	FUS-MS	1,83	1,95	1,91	1,76	1,86	1,89	1,78	1,85	1,86	1,43	1,81
Er	ppm	0,01	FUS-MS	5,49	5,72	5,5	5,32	5,56	5,44	5,45	5,48	5,73	4,34	5,5
Tm	ppm	0,005	FUS-MS	0,854	0,863	0,813	0,859	0,819	0,887	0,835	0,809	0,9	0,692	0,858
Yb	ppm	0,01	FUS-MS	5,81	5,63	5,61	5,7	5,72	5,74	5,4	5,54	5,58	5,03	5,64
Lu	ppm	0,002	FUS-MS	0,955	0,888	0,902	0,901	0,874	0,901	0,85	0,894	0,926	0,805	0,887
Hf	ppm	0,1	FUS-MS	11,8	11,3	19,8	10,2	12	12,9	8,6	8,3	10,5	7,8	9,1
Ta	ppm	0,01	FUS-MS	3,6	3,43	2,48	3,4	3,25	3,66	3,67	3,7	3,69	3,9	4,18
W	ppm	0,5	FUS-MS	4,3	4,6	4,2	2,7	4,2	5,2	2,6	3,1	4,6	3,1	2,8
Tl	ppm	0,05	FUS-MS	0,41	0,46	0,46	0,52	0,36	0,4	0,63	1,32	0,35	0,77	0,54
Pb	ppm	3	TD-ICP	11	10	5	11	6	11	13	15	13	11	13
Bi	ppm	0,1	FUS-MS	< 0,1	< 0,1	0	< 0,1	0	< 0,1	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Th	ppm	0,05	FUS-MS	16,5	16,1	16,4	16	16,4	17,1	15,5	15,9	16,7	16,7	16,6
U	ppm	0,01	FUS-MS	5,33	5,35	5,07	5,44	5,29	5,51	6,07	6,11	5,99	5,5	5,98
Au	ppb	2	INAA	< 2	< 2	0	< 2	0	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As	ppm	0,5	INAA	3,2	1,9	6,6	2,6	2	3,7	4	4,3	3,7	3	3,3
Br	ppm	0,5	INAA	< 0,5	< 0,5	0	< 0,5	0,9	< 0,5	< 0,5	1,3	2,2	< 0,5	< 0,5
Cr	ppm	5	INAA	65	56	36	58	43	67	41	37	65	39	34
Ir	ppb	5	INAA	< 5	< 5	0	< 5	0	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sc	ppm	0,1	INAA	0,8	1,1	0,9	0,9	0,7	0,9	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7
Se	ppm	3	INAA	< 3	< 3	0	< 3	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Sb	ppm	0,2	INAA	< 0,2	< 0,2	0,3	< 0,2	0,3	< 0,2	0,4	0,8	0,4	0,6	0,3
Mass	g		INAA	7,98	8,32	7,64	7,65	8,8	7,49	7,77	7,79	7,78	7,48	7,47

TABLA B.50: Resultados de análisis FUS-ICP, TD-ICP, FUS-MS y INAA de elementos mayores y trazas La a Sb en wt % de los domos, lavas y estratovolcanes post-caldera.

Elemento	Método	Límite de detección	Incertidumbre (2s)				
			Paquete 1	Paquete 2	Paquete 3	Paquete 4	Paquete Giovanni
Au	INAA	2 ppb	38,76	30,83	6,16	7,06	30,05
As	INAA	0,5 ppm	63,98	0,00	0,58	0,24	38,89
Br	INAA	0,5 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	INAA	5 ppm	4,08	2,97	0,00	0,00	3,18
Ir	INAA	5 ppb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc	INAA	0,1 ppm	0,16	0,19	0,00	0,00	0,04
Se	INAA	3 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	INAA	0,2 ppm	0,50	0,22	0,02	0,02	0,60
SiO ₂	FUS-ICP	0,01%	0,66	0,49	0,64	0,36	0,30
Al ₂ O ₃	FUS-ICP	0,01%	0,42	0,21	0,26	0,24	0,28
Fe ₂ O ₃ (T)	FUS-ICP	0,01%	0,13	0,07	0,15	0,36	0,28
MnO	FUS-ICP	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,53	0,00
MgO	FUS-ICP	0,01%	0,09	0,13	0,12	0,17	0,08
CaO	FUS-ICP	0,01%	0,36	0,32	0,37	0,38	0,29
Na ₂ O	FUS-ICP	0,01%	0,10	0,07	0,04	0,09	0,10
K ₂ O	FUS-ICP	0,01%	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05
TiO ₂	FUS-ICP	0,00%	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02
P ₂ O ₅	FUS-ICP	0,01%	0,01	0,02	0,66	0,08	0,03
Sc	FUS-ICP	1 ppm	0,39	0,37	0,45	0,39	0,35
Be	FUS-ICP	1 ppm	0,16	0,15	0,13	0,16	0,14
V	FUS-MS	5 ppm	45,53	0,00	8,33	4,68	7,50
V	FUS-ICP	5 ppm	47,90	47,95	28,99	100,28	51,43
Cr	FUS-MS	20 ppm	6,33	6,43	4,94	5,92	6,47
Co	FUS-MS	1 ppm	1,66	2,43	1,57	1,34	2,56
Ni	FUS-MS	20 ppm	7,22	1,11	5,04	6,35	77,64
Ni	TD-ICP	1 ppm	1,32	6,29	23,12	4,41	12,66
Cu	TD-ICP	1 ppm	27,10	59,21	120,52	78,27	102,99
Cu	FUS-MS	10 ppm	21,83	13,29	25,26	29,24	8,32
Zn	TD-ICP	1 ppm	5,29	11,49	59,43	30,33	16,29
Zn	FUS-MS	30 ppm	12,44	2,08	3,62	3,67	6,60
Cd	TD-ICP	0,5 ppm	0,53	0,33	0,14	0,14	0,24
S	TD-ICP	0,001 ppm	0,00	0,01	0,01	0,39	0,02
Ga	FUS-MS	1 ppm	0,65	0,93	0,56	1,68	0,85
Ge	FUS-MS	0,5 ppm	0,29	0,17	0,30	0,38	0,46
As	FUS-MS	5 ppm	0,79	0,38	1,30	1,71	0,74

TABLA B.5.1: Incertidumbre y límites de detección de los elementos Au a As de las muestras analizadas en roca total. Paquete 1 (Julio de 2016): LP15101A, LP15101C, LP15101D1, LP15102C, LP15102D, LP15102E, LP15102F1, LP15102F2, LP15102G, LP15103H, LP15103I, LP15103J, LP15104J, LP15104K, LP1513G, PMV14417C, PMV14417Dsup y PMV3314D. Paquete 2 (Julio de 2017): LP151108B, LP1513D, LP1513F1, LP15118D, LP15118N, PR16-02, LP17144C y LP17144D. Paquete 3 (Enero de 2018): LP17153, LP17281, LP17302A, LP17302E, LP17329AA3, LP17329CC, LP17329EE3, LP17329FF2, LP17401D, LP17417B y LP17422F. Paquete 4 (Noviembre de 2018): LP18590, LP17480, LP18577, LP18558, LP18598, LP18579, LP18608, LP18660B, LP18667, PR1-600-605, PR11-1717-1720, PR12-2300-2303, PR2-1358-1361, PR1755, PR1501I, LP18581, LP18606, LP18594, LP18614-3, LP18614-2 y LP17477B. Paquete Giovanni (Septiembre de 2017): VM-04, LP16-01VM-A, LP16-01VM-B, LP16-01VM-D, LP16-01VM-D2 y VM-02.

Elemento	Método	Límite de detección	Incertidumbre (2s)				
			Paquete 1	Paquete 2	Paquete 3	Paquete 4	Paquete Giovanni
Rb	FUS-MS	1 ppm	6,99	13,25	10,71	3,01	12,24
Sr	FUS-MS	2 ppm	5,67	0,00	4,52	4,06	4,26
Sr	FUS-ICP	2 ppm	5,88	4,25	22,72	108,56	2,78
Y	FUS-MS	0,5 ppm	14,58	5,46	11,38	8,05	12,12
Y	FUS-ICP	1 ppm	2,35	0,00	2,28	6,84	1,88
Zr	FUS-ICP	1 ppm	3,81	5,87	4,72	7,31	9,85
Nb	FUS-MS	0,2 ppm	0,29	0,12	0,20	0,29	0,45
Mo	FUS-MS	2 ppm	0,53	0,74	0,76	0,86	0,86
Ag	TD-ICP	0,3 ppm	0,50	0,05	0,96	1,21	0,69
In	FUS-MS	0,1 ppm	0,27	0,11	0,10	0,12	0,00
Sn	FUS-MS	1 ppm	0,39	0,37	0,05	0,39	0,36
Sb	FUS-MS	0,2 ppm	0,20	0,04	0,07	0,06	0,10
Cs	FUS-MS	0,1 ppm	0,75	0,52	1,03	1,16	0,39
Ba	FUS-MS	3 ppm	16,86	0,00	20,38	36,72	29,64
Ba	FUS-ICP	2 ppm	6,06	6,70	7,42	674,84	5,77
La	FUS-MS	0,05 ppm	11,56	17,37	7,18	17,81	10,93
Ce	FUS-MS	0,05 ppm	24,34	36,31	12,46	39,21	28,03
Pr	FUS-MS	0,01 ppm	3,70	3,73	3,65	1,02	1,49
Nd	FUS-MS	0,05 ppm	37,05	21,18	16,62	40,30	7,91
Sm	FUS-MS	0,01 ppm	2,79	3,77	1,66	3,69	2,22
Eu	FUS-MS	0,005 ppm	0,21	1,42	0,76	0,76	1,45
Gd	FUS-MS	0,01 ppm	6,08	2,17	3,23	3,98	4,54
Tb	FUS-MS	0,01 ppm	0,90	0,44	0,39	0,28	0,23
Dy	FUS-MS	0,01 ppm	1,41	0,93	1,82	6,25	1,77
Ho	FUS-MS	0,01 ppm	0,49	0,75	0,53	1,00	0,96
Er	FUS-MS	0,01 ppm	1,26	0,40	0,79	0,94	0,24
Tm	FUS-MS	0,005 ppm	0,55	0,74	0,56	0,15	0,64
Yb	FUS-MS	0,01 ppm	0,54	1,21	1,11	2,27	1,03
Lu	FUS-MS	0,002 ppm	0,20	0,09	0,09	0,20	0,12
Hf	FUS-MS	0,1 ppm	0,13	0,17	0,13	0,16	0,13
Ta	FUS-MS	0,01 ppm	0,05	0,08	0,05	0,06	0,03
W	FUS-MS	0,5 ppm	11,77	40,85	19,46	23,53	7,10
Tl	FUS-MS	0,05 ppm	0,13	0,05	0,03	0,06	0,07
Pb	FUS-MS	5 ppm	0,00	2,55	0,00	0,00	0,00
Pb	TD-ICP	3 ppm	15,88	9,25	40,42	22,62	7,26
Bi	FUS-MS	0,1 ppm	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
Th	FUS-MS	0,05 ppm	1,27	1,39	1,38	1,47	1,07
U	FUS-MS	0,01 ppm	5,16	8,22	10,19	12,72	13,83

TABLA B.52: Incertidumbre y límites de detección de los elementos Rb a U de las muestras analizadas en roca total. Paquete 1 (Julio de 2016): LP15101A, LP15101C, LP15101D1, LP15102C, LP15102D, LP15102E, LP15102F1, LP15102F2, LP15102G, LP15103H, LP15103I, LP15103J, LP15104J, LP15104K, LP1513G, PMV14417C, PMV14417Dsup y PMV3314D. Paquete 2 (Julio de 2017): LP151108B, LP1513D, LP1513F1, LP15118D, LP15118N, PR16-02, LP17144C y LP17144D. Paquete 3 (Enero de 2018): LP17153, LP17281, LP17302A, LP17302E, LP17329AA3, LP17329CC, LP17329EE3, LP17329FF2, LP17401D, LP17417B y LP17422F. Paquete 4 (Noviembre de 2018): LP18590, LP17480, LP18577, LP18558, LP18598, LP18579, LP18608, LP18660B, LP18667, PR1-600-605, PR11-1717-1720, PR12-2300-2303, PR2-1358-1361, PR1755, PR1501I, LP18581, LP18606, LP18594, LP18614-3, LP18614-2 y LP17477B. Paquete Giovanni (Septiembre de 2017): VM-04, LP16-01VM-A, LP16-01VM-B, LP16-01VM-D, LP16-01VM-D2 y VM-02.

Muestra	SiO2	Al2O3	MgO	FeO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	MnO	P2O5	Total
PZ77 (GPU)	74,73	11,60	-0,01	1,81	0,22	4,21	4,32	0,10	0,10	-0,01	97,06
	74,05	11,52	0,00	1,93	0,25	4,29	4,41	0,13	0,03	0,03	96,62
	74,42	11,69	-0,03	1,57	0,25	3,65	4,33	0,15	0,10	0,03	96,13
	74,01	11,60	0,01	1,66	0,26	4,18	4,62	0,09	0,08	-0,02	96,48
	75,10	11,64	0,00	1,92	0,18	4,73	4,47	0,13	0,11	0,06	98,35
	74,97	11,85	-0,01	1,81	0,26	4,14	4,52	0,15	0,08	0,04	97,80
	74,44	11,50	0,00	1,77	0,24	4,09	4,34	0,12	0,05	0,01	96,57
	74,29	11,65	0,03	1,57	0,17	4,35	4,60	0,15	-0,05	0,01	96,75
	74,85	11,59	-0,02	1,75	0,25	3,98	4,58	0,11	0,04	0,03	97,16
	75,13	11,66	-0,01	1,92	0,19	4,34	4,62	0,10	-0,01	0,00	97,94
	74,55	11,60	0,03	1,74	0,16	3,94	4,46	0,07	0,07	-0,01	96,61
	75,02	11,65	-0,01	1,88	0,21	4,51	4,57	0,14	0,06	-0,02	98,00
	74,39	11,63	-0,03	1,85	0,21	4,18	4,42	0,08	0,04	-0,02	96,76
	75,01	11,78	0,02	1,91	0,18	4,12	4,32	0,12	0,04	-0,04	97,46
	74,60	11,77	-0,03	1,68	0,21	3,73	4,66	0,16	0,06	0,02	96,86
	74,90	11,59	0,00	1,90	0,21	3,89	4,45	0,13	0,00	0,01	97,08
	74,54	11,85	0,01	1,97	0,25	3,47	4,46	0,11	0,07	0,07	96,81
	74,81	11,73	0,03	1,73	0,23	4,30	4,39	0,14	0,09	-0,03	97,41
	74,43	11,43	-0,02	1,73	0,17	4,04	4,41	0,11	0,04	0,04	96,38
LP1401WM (UA)	74,98	12,05	0,00	1,57	0,20	2,10	4,23	0,12	0,03	-0,01	95,28
	73,76	11,56	0,00	1,87	0,20	3,29	4,89	0,15	0,03	0,03	95,78
	76,02	11,85	0,01	1,79	0,23	0,65	3,76	0,12	-0,05	0,02	94,41
	76,12	11,82	0,01	1,72	0,25	1,10	3,70	0,17	0,06	0,03	94,98
	73,92	11,57	-0,02	1,92	0,23	2,34	4,74	0,13	0,07	-0,03	94,86
	72,82	11,59	0,02	1,86	0,25	3,45	5,12	0,11	0,05	0,06	95,32
	72,96	11,65	0,00	1,84	0,18	3,59	4,86	0,13	0,04	-0,01	95,24
	73,49	11,45	0,00	1,82	0,24	4,02	4,85	0,11	0,14	0,00	96,13
	73,84	11,68	0,01	1,77	0,23	3,91	4,82	0,14	0,02	0,01	96,42
	74,21	11,58	-0,01	1,68	0,22	4,43	4,99	0,15	0,10	-0,01	97,34
	73,29	11,54	-0,01	1,77	0,24	3,03	5,02	0,14	0,04	-0,01	95,05
	72,22	11,34	0,01	1,70	0,20	2,30	4,80	0,14	0,02	0,00	92,73
	73,83	11,76	0,02	1,83	0,21	3,76	5,02	0,12	0,04	-0,02	96,57
	73,34	11,58	0,02	1,89	0,25	2,29	4,37	0,15	0,06	0,03	93,97
	74,71	11,59	0,02	1,73	0,23	2,07	4,44	0,13	0,14	0,02	95,07
	71,56	11,13	-0,01	1,79	0,25	2,35	5,06	0,17	0,07	0,01	92,38
	74,55	11,48	-0,01	1,83	0,26	1,89	4,46	0,13	0,08	0,03	94,69
	72,81	11,39	0,02	1,84	0,20	3,76	4,72	0,10	0,08	-0,01	94,91
	73,46	11,59	0,02	1,79	0,28	3,62	5,05	0,13	0,00	-0,04	95,87
	73,41	11,59	0,01	1,77	0,24	2,81	5,23	0,16	0,09	0,03	95,34
	73,29	11,59	-0,01	1,75	0,24	2,29	4,85	0,13	0,04	0,03	94,19
	68,89	10,90	-0,02	1,66	0,26	2,09	4,19	0,12	0,07	-0,02	88,13

TABLA B.53: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras PZ77 y LP1401WM.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P2O ₅	Total
LP1513F1 (UB)	73.90	11.50	-0.01	1.67	0.25	3.13	4.84	0.09	0.08	-0.02	95.43
	73.95	11.58	-0.01	1.95	0.18	3.42	5.07	0.14	0.02	0.03	96.32
	73.66	11.51	-0.01	1.63	0.18	3.29	4.93	0.13	0.03	0.06	95.41
	73.81	11.34	0.00	1.68	0.21	3.07	4.93	0.10	0.10	0.01	95.24
	73.98	11.60	-0.01	1.46	0.22	2.76	4.79	0.11	0.06	0.01	94.98
	73.99	11.59	-0.01	1.77	0.22	3.40	4.61	0.09	0.02	0.01	95.70
	73.25	11.53	-0.02	1.36	0.25	3.18	4.75	0.09	0.06	0.07	94.51
	73.07	11.36	0.00	1.61	0.17	2.22	4.78	0.09	0.06	-0.01	93.36
	74.72	11.61	-0.01	1.47	0.14	2.76	4.84	0.09	0.09	0.00	95.69
	75.12	11.71	0.00	1.79	0.22	2.51	4.51	0.12	0.03	0.01	96.00
	73.07	11.39	0.02	1.49	0.21	2.17	4.49	0.10	0.15	0.08	93.16
	73.70	11.48	-0.02	1.50	0.19	3.60	4.88	0.07	0.11	0.01	95.52
	73.64	11.48	0.01	1.40	0.25	3.25	5.10	0.12	0.07	0.01	95.31
	74.00	11.59	0.02	1.57	0.17	2.32	4.90	0.08	0.02	-0.03	94.64
	74.21	11.46	-0.05	1.65	0.13	3.70	4.76	0.08	0.00	0.05	95.99
	72.96	11.31	-0.02	1.66	0.20	4.03	4.44	0.06	-0.01	0.00	94.64
	73.03	11.42	-0.01	1.65	0.30	3.67	4.95	0.15	0.04	0.02	95.21
	73.57	11.56	0.01	1.66	0.23	4.11	4.82	0.09	0.02	-0.03	96.04
	73.30	11.31	0.00	1.40	0.20	4.17	4.50	0.11	0.06	0.01	95.04
LP1513G (UB)	74.01	11.63	0.00	1.63	0.21	4.18	4.41	0.09	0.09	0.01	96.24
	73.50	12.20	0.00	1.69	0.29	3.17	4.51	0.13	0.10	0.03	95.62
	72.50	11.36	0.00	1.50	0.25	3.95	4.30	0.11	0.06	0.04	94.07
	72.25	11.42	-0.01	1.67	0.22	3.29	4.27	0.09	0.03	0.02	93.26
	73.27	11.59	0.03	1.53	0.26	4.04	4.49	0.10	-0.02	-0.04	95.24
	73.92	11.57	0.00	1.64	0.25	4.38	4.36	0.12	0.03	-0.02	96.25
	73.67	11.64	-0.01	1.45	0.22	4.02	4.31	0.08	0.06	0.03	95.48
	73.88	11.63	0.02	1.74	0.26	4.54	4.43	0.10	0.05	-0.03	96.63
	74.67	11.60	-0.01	1.64	0.22	2.29	4.12	0.10	0.08	-0.04	94.66
	73.10	11.51	0.00	1.40	0.24	3.95	4.47	0.13	0.08	0.00	94.86
	73.70	11.55	-0.02	1.65	0.24	4.46	4.36	0.11	0.06	-0.03	96.06
	73.38	11.57	0.00	1.58	0.24	4.44	4.12	0.10	0.04	0.01	95.47
	73.01	11.53	-0.01	1.51	0.29	3.90	4.39	0.15	0.06	-0.05	94.78
	72.73	11.69	0.01	1.72	0.21	4.33	4.37	0.09	0.08	-0.02	95.22
	72.91	11.58	0.00	1.48	0.20	4.30	4.33	0.11	-0.03	0.02	94.90
	73.52	11.64	0.01	1.77	0.14	4.15	4.49	0.10	0.00	0.01	95.84
	73.54	11.50	0.04	1.50	0.22	4.19	4.55	0.09	0.04	0.00	95.68
	73.01	11.45	-0.01	1.52	0.21	4.14	4.28	0.10	-0.02	0.00	94.69
	73.88	11.65	-0.01	1.72	0.25	4.20	4.43	0.11	0.05	0.01	96.29

TABLA B.54: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP1513F1 y LP15101A.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P2O ₅	Total
LP15101A (UC)	74.09	11.58	0.00	1.77	0.20	4.33	4.18	0.10	0.03	0.02	96.31
	73.83	11.66	-0.02	1.76	0.21	4.32	4.31	0.12	0.00	-0.06	96.13
	74.24	11.63	0.00	1.85	0.19	4.43	4.29	0.05	0.04	0.01	96.72
	74.10	11.64	0.01	1.78	0.18	4.36	4.27	0.10	-0.03	-0.01	96.39
	74.00	11.70	-0.02	1.59	0.20	4.08	4.41	0.10	0.05	0.02	96.13
	72.33	11.40	0.02	1.62	0.19	4.51	4.43	0.08	0.03	0.01	94.62
	74.65	11.87	0.01	1.46	0.17	4.68	4.29	0.11	0.04	0.00	97.28
	74.38	11.67	-0.02	1.65	0.15	3.88	4.25	0.10	0.05	0.01	96.11
	74.88	11.50	0.00	1.80	0.16	4.12	4.22	0.08	0.05	-0.01	96.79
	74.36	11.64	0.01	1.64	0.16	4.18	4.26	0.09	0.05	0.02	96.41
	73.86	11.56	0.01	1.65	0.24	4.16	4.33	0.11	0.07	0.02	95.98
	75.53	11.73	-0.03	1.72	0.18	4.17	4.20	0.11	0.04	0.03	97.67
	73.99	11.60	0.00	1.31	0.16	4.58	4.10	0.05	0.02	-0.02	95.80
	74.72	11.44	-0.02	1.94	0.19	4.47	4.37	0.06	-0.01	0.04	97.21
	73.78	11.58	-0.02	1.68	0.16	4.32	4.18	0.11	0.02	0.00	95.81
	74.22	11.63	0.01	1.61	0.19	4.21	4.39	0.10	0.03	0.02	96.40
	74.81	11.51	0.00	1.80	0.18	3.99	4.19	0.10	0.07	-0.03	96.61
	74.00	11.51	0.00	1.93	0.15	4.35	4.26	0.11	0.07	-0.02	96.35
	74.85	11.73	-0.01	1.68	0.20	4.59	4.22	0.10	0.04	0.01	97.39
	29.65	0.04	0.21	66.59	0.14	-0.05	0.04	0.01	3.20	-0.05	99.79
	74.16	11.70	-0.03	1.69	0.24	4.24	4.25	0.10	-0.03	0.01	96.33
LP17329AA6 (UC)	74.24	11.59	0.00	1.50	0.17	4.47	4.35	0.08	0.01	-0.03	96.38
	73.49	11.45	-0.03	1.65	0.17	4.07	4.41	0.09	0.10	-0.02	95.37
	72.59	11.63	-0.01	1.70	0.16	4.34	4.15	0.07	-0.01	0.01	94.63
	73.55	11.49	0.00	1.49	0.15	3.84	4.37	0.06	-0.03	-0.06	94.87
	73.76	11.51	0.00	1.69	0.14	4.66	4.33	0.10	0.10	0.04	96.33
	73.00	11.47	-0.03	1.62	0.23	4.06	4.38	0.08	0.03	0.00	94.83
	73.09	11.54	0.01	1.60	0.16	3.93	4.19	0.12	0.11	-0.01	94.73
	73.13	11.41	-0.02	1.58	0.21	3.94	4.32	0.09	0.03	0.03	94.71
	72.90	11.51	0.00	1.68	0.20	4.54	4.22	0.08	0.03	-0.01	95.16
	72.55	11.40	-0.01	1.68	0.27	3.67	4.53	0.15	0.08	0.02	94.33
	73.24	11.46	0.02	2.01	0.22	4.38	4.42	0.13	0.02	0.01	95.89
	72.64	11.42	-0.03	2.01	0.23	3.90	4.48	0.14	0.04	0.01	94.83
	72.99	11.60	0.00	1.76	0.29	3.96	4.48	0.10	0.07	0.03	95.28
	73.69	11.42	-0.02	1.97	0.21	4.39	4.43	0.13	0.09	-0.05	96.25
	73.00	11.75	0.01	1.88	0.22	4.54	4.39	0.15	0.06	-0.02	95.97
	73.12	11.38	0.00	1.75	0.20	4.17	4.33	0.16	0.05	0.01	95.17
	73.00	11.45	-0.01	1.83	0.25	4.07	4.56	0.14	0.01	-0.01	95.29
	72.97	11.72	0.01	1.77	0.25	3.90	4.46	0.15	0.03	0.05	95.30
	74.23	11.55	-0.01	1.74	0.23	3.94	4.73	0.13	0.02	0.02	96.56

TABLA B.55: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP1513G y LP17329AA6.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Total
LP15101C (UD)	70,10	11,18	-0,02	1,49	0,26	4,34	4,36	0,11	0,03		91,86
	73,02	11,65	-0,01	1,55	0,26	4,10	4,47	0,10	0,07		95,20
	71,52	10,96	-0,01	1,50	0,20	3,81	4,81	0,09	0,13		93,02
	72,07	11,30	0,00	1,56	0,25	4,19	4,26	0,12	0,08		93,83
	72,02	11,52	0,01	1,63	0,20	4,23	4,41	0,07	0,08		94,15
	72,79	11,40	0,00	1,57	0,20	3,92	4,71	0,10	0,07		94,75
	73,00	11,47	-0,02	1,57	0,28	4,07	4,68	0,12	0,09		95,26
	73,31	11,64	-0,01	1,73	0,32	4,09	4,37	0,09	0,06		95,59
	73,08	11,33	-0,02	1,59	0,20	4,02	4,53	0,12	0,04		94,90
	72,50	11,52	0,02	1,49	0,22	4,12	4,70	0,07	-0,01		94,62
	71,68	11,29	0,02	1,71	0,33	4,48	4,42	0,12	0,01		94,05
	72,95	11,41	-0,03	1,63	0,17	3,98	4,50	0,09	0,15		94,85
	73,32	11,53	0,01	1,50	0,27	4,20	4,26	0,12	0,13		95,33
	72,88	11,33	0,01	1,59	0,25	3,63	5,05	0,06	0,04		94,83
	73,88	11,92	0,00	1,82	0,20	4,05	4,40	0,11	0,09		96,45
	73,02	11,45	-0,01	1,49	0,27	4,07	4,51	0,12	0,01		94,93
	70,81	11,53	0,02	1,66	0,23	3,81	4,47	0,08	0,04		92,64
	73,27	11,66	-0,01	1,74	0,27	3,95	4,44	0,12	0,01		95,46
	73,63	11,66	0,00	1,58	0,19	3,94	4,45	0,11	0,10		95,66
	73,34	11,41	0,00	1,67	0,15	4,24	4,32	0,09	0,03		95,24
	73,30	11,74	-0,02	1,71	0,23	4,16	4,33	0,12	0,05		95,61
	72,76	11,53	0,01	1,47	0,30	4,10	4,60	0,12	-0,03		94,85

TABLA B.56: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP15101C.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P2O ₅	Total
LP16118M (UE)	73,75	11,69	-0,01	1,50	0,21	3,71	4,49	0,06	0,09	0,00	95,49
	74,44	11,77	-0,03	1,38	0,17	3,78	4,58	0,05	0,03	0,00	96,15
	74,06	11,59	0,01	1,31	0,26	3,91	4,55	0,03	0,05	0,00	95,77
	74,04	11,93	0,01	1,29	0,23	3,44	4,58	0,05	0,08	0,02	95,65
	73,47	11,60	-0,04	1,27	0,23	3,70	4,35	0,07	0,02	-0,03	94,62
	74,16	11,62	-0,02	1,41	0,19	3,60	4,57	0,08	0,01	0,00	95,61
	74,24	11,76	0,01	1,43	0,17	4,20	4,62	0,06	0,09	-0,02	96,56
	74,85	11,75	-0,01	1,36	0,27	4,04	4,34	0,08	0,06	0,01	96,75
	74,83	11,76	-0,03	1,49	0,26	3,60	4,73	0,07	0,05	-0,01	96,75
	74,38	11,87	0,02	1,39	0,23	3,39	4,19	0,09	-0,03	0,05	95,59
	74,49	11,81	0,01	1,55	0,21	3,78	4,47	0,09	0,06	0,00	96,45
	74,57	11,81	-0,03	1,34	0,26	3,75	4,40	0,09	0,04	-0,01	96,21
	74,51	11,73	-0,03	1,34	0,24	3,62	4,60	0,06	0,02	0,01	96,09
	74,14	11,85	-0,04	1,49	0,23	3,66	4,90	0,09	0,00	0,02	96,34
	75,16	11,66	-0,03	1,47	0,28	3,62	4,36	0,11	-0,02	0,04	96,64
	74,14	11,78	0,02	1,26	0,22	3,69	4,79	0,06	0,11	0,00	96,07
	74,80	11,87	-0,01	1,23	0,24	3,60	4,31	0,08	-0,08	0,00	96,04
	74,29	11,58	-0,03	1,46	0,28	3,71	4,50	0,09	0,04	0,01	95,92
	74,69	11,78	-0,01	1,24	0,24	3,85	4,40	0,06	0,09	0,02	96,37
	75,68	11,87	0,00	1,49	0,21	3,89	4,80	0,05	0,04	0,01	98,02
	74,57	11,68	-0,01	1,44	0,26	3,70	4,70	0,06	0,01	0,00	96,40
	74,04	11,75	0,02	1,32	0,23	3,57	4,46	0,07	0,09	0,01	95,57
	74,31	11,82	0,03	1,42	0,26	3,61	4,61	0,08	-0,01	0,04	96,16
	74,71	11,88	-0,02	1,40	0,22	3,76	4,48	0,04	0,05	0,00	96,52
	74,18	11,68	0,00	1,44	0,20	3,75	4,81	0,08	0,04	0,01	96,19
	74,86	11,64	-0,02	1,23	0,24	4,16	4,56	0,06	0,01	-0,01	96,73
	74,60	11,68	-0,01	1,48	0,24	3,81	4,60	0,07	-0,04	-0,01	96,41
	74,69	11,90	0,01	1,40	0,26	3,94	4,40	0,09	0,09	-0,03	96,76
	74,94	11,75	-0,01	1,36	0,23	4,03	4,83	0,05	0,05	0,03	97,27
	74,39	11,74	0,03	1,48	0,19	3,72	4,53	0,05	0,08	0,00	96,20
	74,25	11,64	-0,02	1,21	0,24	3,92	4,37	0,06	0,01	0,01	95,69
	74,36	11,77	0,01	1,18	0,26	4,02	4,53	0,08	0,01	0,01	96,23
	74,54	11,94	-0,02	1,58	0,25	3,83	4,63	0,04	0,07	-0,01	96,86
	74,20	11,61	-0,02	1,33	0,25	3,91	4,56	0,08	-0,01	0,00	95,92

TABLA B.57: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP16118M.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P2O ₅	Total
LP15104E (UE)	73,55	11,65	-0,01	1,20	0,23	4,17	4,18	0,09	0,06	-0,04	95,07
	74,00	11,66	0,01	1,37	0,17	3,95	4,22	0,08	0,04	-0,05	95,44
	72,97	11,51	-0,04	1,44	0,28	3,63	4,20	0,06	-0,04	-0,02	94,00
	72,54	11,79	0,01	1,20	0,19	4,30	4,36	0,06	0,03	0,05	94,53
	73,11	11,60	0,02	1,19	0,23	3,76	4,06	0,05	0,00	0,03	94,06
	72,69	11,63	0,00	1,47	0,21	4,12	4,00	0,07	0,00	0,01	94,22
	71,06	14,77	0,00	1,03	0,14	6,37	4,57	0,04	-0,04	-0,06	97,87
	73,03	11,61	-0,02	1,41	0,23	4,39	4,17	0,10	0,05	0,03	95,00
	72,48	11,61	-0,01	1,38	0,24	3,93	4,09	0,07	0,08	-0,02	93,85
	72,52	11,68	0,00	1,40	0,23	3,94	4,25	0,08	0,05	-0,05	94,08
	71,54	11,53	0,02	1,27	0,20	4,06	4,22	0,05	0,07	0,00	92,97
	74,41	11,94	0,00	1,46	0,22	1,27	3,66	0,08	0,08	0,03	93,15
	75,06	12,00	0,02	1,33	0,24	0,90	3,40	0,07	0,09	0,01	93,12
	72,77	11,52	0,00	1,37	0,26	4,20	4,00	0,08	0,07	0,01	94,28
	73,00	11,67	-0,02	1,30	0,21	3,59	4,13	0,08	0,02	0,02	94,01
	73,07	11,77	0,00	1,36	0,21	3,96	4,56	0,08	0,02	0,00	95,03
	71,89	11,60	0,01	1,32	0,25	3,25	4,36	0,07	0,03	-0,01	92,77
	73,85	11,84	-0,01	1,49	0,21	3,47	5,12	0,04	-0,03	0,04	96,02
	73,45	12,07	0,00	1,46	0,24	4,07	4,20	0,08	0,00	0,01	95,56
LP15104G (UE)	74,27	11,72	0,00	1,31	0,20	4,21	4,21	0,08	0,05	-0,01	96,03
	72,84	11,55	0,02	1,10	0,22	3,56	4,58	0,08	0,06	-0,03	93,97
	74,84	11,86	-0,01	1,39	0,20	3,92	4,16	0,06	-0,03	-0,01	96,38
	73,98	11,90	-0,03	1,26	0,25	4,24	4,27	0,07	0,07	0,03	96,05
	73,46	11,86	0,00	1,23	0,25	4,19	4,36	0,05	0,09	0,00	95,49
	73,90	11,77	-0,02	1,56	0,19	3,75	4,18	0,05	0,01	0,02	95,42
	72,74	11,30	-0,01	1,30	0,21	3,75	4,50	0,11	0,05	0,02	93,96
	74,84	12,13	0,02	1,33	0,23	2,73	4,05	0,07	0,02	0,01	95,42
	73,50	11,83	0,01	1,37	0,12	3,91	4,15	0,09	0,03	0,01	95,02
	74,79	12,02	-0,02	1,44	0,18	4,51	4,16	0,08	0,08	-0,01	97,22
	73,43	11,55	-0,02	1,29	0,23	4,02	4,16	0,06	0,03	-0,03	94,71
	74,10	11,76	-0,02	1,49	0,21	4,08	4,18	0,09	0,09	-0,05	95,92
	73,68	11,76	0,02	1,54	0,20	4,25	4,08	0,10	0,05	0,03	95,72
	74,14	11,81	0,01	1,32	0,22	4,55	4,23	0,06	0,09	0,01	96,44
	73,27	11,88	0,00	1,37	0,23	4,16	4,24	0,09	0,03	-0,01	95,24
	74,53	11,79	0,00	1,57	0,19	4,18	4,15	0,06	0,05	0,03	96,55
	74,02	11,87	0,00	1,30	0,25	4,20	4,28	0,08	0,04	0,02	96,07
	73,96	11,89	-0,03	1,44	0,26	4,02	4,70	0,07	0,07	0,05	96,41
	74,96	12,11	-0,01	1,36	0,24	3,91	4,07	0,07	0,07	0,02	96,80
	74,53	11,80	0,01	1,39	0,16	4,13	4,15	0,05	0,03	-0,01	96,25

TABLA B.58: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP15104E y LP15104G.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Total
LP18500 (UF)	74,84	11,89	0,00	1,35	0,17	4,22	4,11	0,05	0,04	0,01	96,67
	74,01	11,80	-0,02	1,20	0,17	4,45	4,01	0,09	0,00	-0,01	95,70
	73,90	11,90	-0,03	1,39	0,19	4,63	3,96	0,08	-0,03	0,02	96,01
	74,08	11,80	-0,01	1,34	0,16	4,37	4,11	0,06	-0,02	0,01	95,91
	73,67	11,70	-0,01	1,27	0,22	4,50	4,04	0,05	0,11	0,00	95,53
	73,60	11,81	-0,01	1,35	0,15	4,13	4,09	0,04	0,05	0,01	95,22
	75,12	11,99	-0,01	1,26	0,22	4,02	4,15	0,05	-0,01	-0,01	96,77
	74,56	11,95	-0,02	1,45	0,17	4,66	4,15	0,08	0,05	0,02	97,06
	74,45	12,05	0,00	1,27	0,18	4,31	3,98	0,06	0,00	-0,01	96,27
	71,91	11,75	-0,01	1,07	0,19	4,32	4,21	0,07	0,03	0,03	93,59
	72,72	11,55	0,01	1,28	0,24	4,03	4,08	0,05	0,02	-0,01	93,97
	73,38	11,75	-0,02	1,24	0,18	4,25	4,05	0,11	0,04	-0,01	94,98
	73,98	11,92	-0,02	1,17	0,18	4,20	4,16	0,04	0,08	0,00	95,72
	74,16	11,86	-0,02	1,23	0,16	4,51	4,05	0,06	0,03	0,01	96,05
	74,43	11,69	0,00	1,15	0,16	4,20	4,21	0,07	0,05	-0,02	95,94
	76,11	12,24	-0,01	1,31	0,20	3,86	3,98	0,07	0,00	-0,01	97,76
	73,81	11,79	-0,03	1,35	0,20	4,30	4,02	0,09	0,10	0,02	95,64
	74,49	12,23	-0,01	1,36	0,18	4,93	3,95	0,07	0,04	-0,06	97,18
	73,91	11,94	-0,03	1,47	0,19	3,72	4,26	0,02	0,06	0,02	95,56
	73,76	11,86	0,04	1,41	0,18	3,21	4,03	0,07	0,01	0,02	94,59
	71,85	12,15	0,02	1,29	0,20	3,40	3,67	0,04	0,06	0,00	92,70
	71,77	12,46	0,01	1,40	0,22	3,52	4,24	0,04	0,01	0,03	93,68
	74,25	11,92	-0,02	1,40	0,16	4,27	4,16	0,04	0,02	0,03	96,23
	72,65	11,60	0,02	1,40	0,21	3,76	4,14	0,05	0,02	0,03	93,87
	75,02	12,15	-0,01	1,09	0,18	4,82	4,18	0,04	0,02	-0,07	97,43
	72,99	11,51	-0,03	1,32	0,17	4,00	4,26	0,10	0,11	0,01	94,42
	68,78	13,71	0,03	1,23	0,21	3,58	3,77	0,06	-0,02	-0,02	91,33
	72,38	11,77	0,00	1,27	0,20	4,12	3,97	0,06	0,03	-0,01	93,78
	74,76	12,12	0,00	1,21	0,18	4,27	3,94	0,04	0,03	0,04	96,58
	73,39	11,74	0,03	1,33	0,24	4,25	4,06	0,08	0,02	0,02	95,16

TABLA B.59: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP18500.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P2O ₅	Total
LP17422F (UG)	72,11	11,81	0,00	1,30	0,18	3,98	4,35	0,04	0,04	-0,01	93,79
	73,48	11,67	0,02	1,23	0,22	4,08	4,19	0,09	-0,01	-0,02	94,94
	72,80	11,72	0,00	1,44	0,24	3,84	4,09	0,09	0,07	0,02	94,30
	73,86	13,98	0,01	1,34	0,25	4,14	4,23	0,07	0,03	-0,01	97,90
	73,76	11,73	-0,02	1,40	0,22	4,43	4,32	0,06	-0,03	0,03	95,91
	73,32	11,71	0,00	1,27	0,21	4,17	4,22	0,06	0,00	0,03	94,99
	72,54	11,65	0,03	1,36	0,23	3,99	4,16	0,07	0,05	-0,03	94,05
	74,16	12,01	0,01	1,33	0,18	3,88	4,10	0,09	0,01	-0,01	95,74
	73,72	12,00	0,00	1,44	0,23	4,29	4,22	0,09	0,06	-0,01	96,03
	71,73	11,31	0,00	1,36	0,21	3,67	4,10	0,08	0,08	-0,01	92,52
	74,03	11,86	0,00	1,33	0,17	3,57	4,44	0,09	0,02	0,01	95,52
	74,11	12,07	0,00	1,19	0,18	3,94	4,39	0,06	0,01	0,02	95,97
	73,37	11,76	0,00	1,23	0,22	3,74	4,26	0,06	-0,02	0,03	94,66
	73,19	11,81	-0,01	1,26	0,20	4,43	4,14	0,03	0,05	0,02	95,12
	73,92	11,57	-0,01	1,40	0,20	3,94	4,14	0,10	0,05	0,01	95,33
	73,31	11,67	0,01	1,17	0,21	4,12	4,32	0,07	0,08	-0,02	94,93
	74,11	11,87	0,00	1,37	0,18	4,33	4,09	0,04	0,03	-0,01	96,01
	73,84	11,56	0,00	1,35	0,19	4,08	4,34	0,08	0,03	0,01	95,47
	74,28	11,79	0,00	1,37	0,21	4,60	4,13	0,06	-0,08	0,00	96,36
	74,77	12,04	0,00	1,41	0,18	4,36	4,10	0,07	0,02	0,03	96,97
	74,35	11,72	-0,01	1,27	0,19	4,29	4,28	0,06	0,07	-0,06	96,15
	73,25	11,71	-0,01	1,37	0,15	4,36	4,18	0,04	0,00	0,00	95,03
LP1513K1 (UG)	73,61	11,73	0,00	1,38	0,22	4,03	4,07	0,06	0,00	0,02	95,12
	73,59	12,00	0,01	1,39	0,21	4,02	4,06	0,07	0,05	-0,02	95,38
	73,73	11,62	-0,01	1,36	0,22	4,57	4,25	0,05	-0,01	0,01	95,78
	73,30	11,56	0,02	1,21	0,19	4,57	4,19	0,06	-0,02	0,03	95,11
	73,41	11,89	-0,02	1,40	0,20	4,84	4,20	0,08	0,08	-0,02	96,06
	73,30	11,88	0,00	1,27	0,22	4,42	4,19	0,06	0,06	0,04	95,43
	73,73	11,74	-0,01	1,35	0,18	4,26	3,94	0,05	0,07	-0,02	95,28
	74,00	11,89	-0,02	1,25	0,20	2,28	3,89	0,07	0,04	0,03	93,64
	73,05	11,77	-0,01	1,25	0,28	4,28	4,12	0,04	0,06	0,02	94,86
	73,65	11,65	-0,01	1,35	0,21	4,66	4,07	0,04	0,06	-0,02	95,65
	71,94	11,86	-0,02	1,19	0,24	4,14	4,22	0,07	-0,01	-0,02	93,60
	73,65	11,71	-0,01	1,47	0,19	4,08	4,21	0,08	0,06	0,02	95,45
	73,76	11,52	0,02	1,39	0,20	4,05	4,17	0,09	-0,01	-0,04	95,14
	73,39	11,51	-0,03	1,39	0,23	4,39	4,08	0,07	0,00	-0,01	95,01
	70,12	11,33	-0,03	1,14	0,21	3,91	4,10	0,07	0,08	-0,01	90,91
	74,42	11,65	0,01	1,27	0,17	4,46	3,97	0,06	0,07	-0,03	96,05
	69,89	11,24	0,00	1,28	0,21	3,78	4,08	0,06	0,03	-0,06	90,50
	74,39	11,79	0,00	1,17	0,17	4,45	4,09	0,10	0,00	-0,06	96,10
	73,10	11,66	-0,03	1,44	0,25	4,30	4,06	0,06	0,00	-0,02	94,82
	73,01	11,81	0,00	1,21	0,20	4,08	4,17	0,06	-0,06	-0,01	94,47
	73,65	11,61	-0,02	1,38	0,18	4,53	4,01	0,06	0,02	-0,02	95,39

TABLA B.60: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP17422F y LP1513K1.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P2O ₅	Total
LP15102D (UI)	73,23	11,54	0,01	1,42	0,26	4,25	4,18	0,05	0,09		95,03
	73,39	11,57	0,00	1,37	0,27	4,32	4,13	0,10	0,02		95,15
	73,45	11,60	0,00	1,28	0,22	4,16	4,23	0,07	0,06		95,07
	72,79	11,80	0,03	1,22	0,22	4,08	4,24	0,10	0,09		94,55
	72,60	11,62	-0,01	1,32	0,19	3,99	4,28	0,08	0,03		94,08
	71,37	11,50	0,00	1,27	0,19	4,09	4,29	0,10	0,06		92,88
	72,87	11,73	0,02	1,36	0,20	4,07	4,21	0,09	-0,05		94,48
	73,13	11,71	0,01	1,36	0,31	4,02	4,25	0,07	0,01		94,85
	73,08	11,55	-0,01	1,31	0,29	4,09	4,07	0,05	0,08		94,51
	73,09	11,70	0,00	1,26	0,19	4,38	4,47	0,05	0,08		95,22
	72,83	11,65	0,00	1,30	0,23	4,09	4,33	0,08	-0,01		94,49
	71,69	11,49	0,01	1,29	0,26	4,44	4,18	0,05	0,01		93,41
	72,64	11,76	0,00	1,33	0,26	4,19	4,29	0,07	0,00		94,53
	73,42	11,65	0,00	1,29	0,23	4,02	4,22	0,06	0,07		94,95
	69,91	11,29	0,00	1,30	0,27	4,27	4,18	0,06	0,03		91,31
	72,14	11,60	0,00	1,27	0,26	4,04	4,18	0,07	0,05		93,60
	71,68	11,54	-0,01	1,23	0,22	4,19	4,47	0,05	0,10		93,47
	72,67	11,68	-0,02	1,24	0,25	4,05	4,45	0,06	-0,03		94,35
	71,52	11,49	0,03	1,24	0,19	4,29	4,33	0,06	0,03		93,18
	72,56	11,61	-0,01	1,30	0,21	4,37	4,18	0,05	0,04		94,32
	72,03	11,49	0,02	1,38	0,20	4,40	4,24	0,06	0,00		93,81
	72,50	11,70	-0,02	1,22	0,27	4,11	4,45	0,09	0,02		94,34
	72,51	11,46	-0,01	1,32	0,23	2,50	4,21	0,06	0,01		92,29
	72,29	11,61	-0,02	1,31	0,35	3,99	4,30	0,07	0,02		93,92
	73,08	11,62	-0,01	1,26	0,26	4,08	4,21	0,07	0,06		94,62
	65,98	10,98	0,01	1,23	0,25	3,77	4,10	0,09	0,04		86,43
	72,56	11,75	0,00	1,42	0,22	4,38	4,14	0,07	0,01		94,55
	73,10	11,89	0,01	1,33	0,22	4,27	4,25	0,07	0,07		95,20
	73,29	11,60	-0,01	1,19	0,27	4,13	4,28	0,07	0,06		94,88
	72,29	11,64	0,00	1,10	0,22	4,11	4,35	0,07	0,01		93,78
	72,33	11,57	0,00	1,38	0,22	4,00	4,21	0,10	0,01		93,81

TABLA B.61: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP15102D.

Muestra	SiO2	Al2O3	MgO	FeO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	MnO	P2O5	Total
LP18629C (UJ)	70,81	11,12	-0,01	1,45	0,23	3,29	4,53	0,08	0,05	-0,02	91,52
	73,49	11,71	0,01	1,61	0,22	3,46	4,52	0,06	0,07	0,01	95,15
	71,23	11,20	0,02	1,34	0,23	3,49	4,40	0,06	0,07	-0,02	92,00
	71,86	11,07	-0,01	1,46	0,25	3,17	4,45	0,11	0,09	-0,05	92,40
	74,30	11,79	0,00	1,15	0,21	3,60	4,49	0,06	0,09	0,00	95,70
	73,66	11,77	-0,01	1,34	0,26	3,29	4,42	0,05	0,03	-0,04	94,76
	73,69	11,88	0,01	1,32	0,22	3,99	4,37	0,06	0,03	0,03	95,59
	73,06	11,61	-0,01	1,37	0,25	3,61	4,38	0,06	0,08	-0,05	94,36
	73,18	11,49	0,00	1,31	0,19	3,73	4,50	0,10	0,08	0,02	94,59
	74,09	11,82	-0,03	1,31	0,20	3,37	4,48	0,06	0,02	-0,01	95,30
	73,73	11,80	0,02	1,32	0,26	3,78	4,27	0,07	0,04	0,01	95,29
	74,14	11,78	0,00	1,24	0,22	3,59	4,51	0,07	0,04	0,06	95,64
	75,45	11,74	-0,02	1,29	0,24	3,99	4,41	0,05	-0,01	0,00	97,15
	74,43	11,83	0,03	1,43	0,19	3,77	4,38	0,07	0,07	-0,01	96,19
	74,96	11,87	0,01	1,32	0,22	3,57	4,48	0,05	0,01	-0,01	96,47
	74,84	11,97	-0,02	1,26	0,20	2,14	4,39	0,09	0,06	0,01	94,94
	73,53	11,61	0,04	1,37	0,20	3,26	4,27	0,08	-0,01	-0,02	94,33
	74,45	11,88	0,00	1,48	0,23	4,08	4,44	0,07	0,05	-0,01	96,65
	73,88	11,89	-0,02	1,32	0,22	3,42	4,33	0,07	0,04	0,02	95,17
	74,91	11,92	0,01	1,43	0,27	3,59	4,45	0,04	0,01	-0,04	96,59
	74,65	12,07	0,02	1,33	0,17	3,52	4,40	0,11	-0,01	-0,02	96,24
	74,26	11,91	-0,02	1,18	0,23	3,62	4,35	0,05	-0,01	0,02	95,59
	74,46	11,98	0,00	1,46	0,30	3,75	4,37	0,08	0,12	0,03	96,55
	74,34	12,01	0,01	1,29	0,26	3,47	4,35	0,05	0,09	-0,04	95,83
	74,57	12,19	-0,01	1,24	0,21	3,81	4,33	0,10	0,06	-0,01	96,47
	74,38	11,81	0,01	1,37	0,19	3,48	4,39	0,10	0,02	0,01	95,74
	74,57	11,86	-0,02	1,45	0,21	3,86	4,42	0,04	-0,05	0,01	96,36
	74,40	11,79	0,00	1,46	0,20	3,33	4,52	0,08	-0,01	-0,03	95,74
	73,13	11,63	0,00	1,22	0,22	3,09	4,47	0,06	0,03	0,03	93,87
	74,74	12,01	0,03	1,44	0,29	3,86	4,49	0,02	0,01	-0,07	96,82
	73,73	11,99	0,00	1,47	0,21	3,56	4,41	0,06	0,08	-0,02	95,50
	73,69	11,70	0,04	1,23	0,21	3,35	4,32	0,06	-0,05	-0,01	94,54
	74,87	11,77	0,00	1,37	0,24	3,67	4,40	0,05	0,09	0,01	96,46
	71,90	11,04	0,00	1,21	0,24	3,70	4,66	0,06	0,06	-0,03	92,84
	74,18	11,54	-0,01	1,36	0,20	3,58	4,47	0,06	0,10	0,05	95,54
	73,79	11,57	-0,01	1,42	0,24	3,52	4,43	0,09	0,02	-0,04	95,02
	73,14	11,63	0,01	1,37	0,26	3,83	4,51	0,06	0,04	0,04	94,88
	74,10	11,75	0,00	1,31	0,19	3,59	4,45	0,07	0,05	-0,03	95,47
	74,11	11,78	-0,02	1,27	0,20	3,65	4,51	0,11	-0,01	-0,01	95,60
	74,13	11,57	0,01	1,31	0,29	3,76	4,46	0,09	0,03	0,03	95,67
	74,02	11,98	-0,01	1,55	0,19	3,73	4,35	0,06	0,02	-0,01	95,88

TABLA B.62: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP18629C.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P2O ₅	Total
LP15102F1 (UK)	74,13	11,70	0,02	1,17	0,20	4,29	4,08	0,05	0,05	-0,03	95,66
	73,50	11,70	0,00	1,25	0,18	3,98	4,20	0,10	0,01	-0,03	94,88
	74,15	11,88	0,01	1,22	0,18	4,13	4,09	0,07	0,03	-0,03	95,72
	74,48	11,64	0,02	1,42	0,22	3,91	4,34	0,01	0,01	-0,05	96,01
	73,42	11,82	0,02	1,35	0,24	4,05	4,06	0,07	-0,03	-0,01	94,98
	74,97	11,92	-0,01	1,31	0,24	4,44	4,16	0,09	0,04	0,00	97,15
	74,56	11,85	-0,01	1,24	0,21	4,23	4,07	0,07	0,12	-0,02	96,31
	74,95	11,93	0,02	1,48	0,23	3,90	4,09	0,09	0,04	0,00	96,73
	73,42	11,72	-0,02	1,31	0,19	4,19	3,97	0,08	0,03	0,02	94,91
	73,06	11,78	0,00	1,34	0,25	4,41	4,24	0,07	0,04	-0,03	95,16
	74,92	11,67	0,01	1,35	0,24	4,07	4,19	0,05	0,05	-0,02	96,52
	74,00	11,82	0,00	1,28	0,21	4,00	3,95	0,08	0,05	-0,03	95,35
	73,97	12,01	0,00	1,26	0,22	4,01	4,29	0,05	-0,03	-0,01	95,76
	72,82	11,79	0,01	1,39	0,24	3,93	4,28	0,04	-0,01	-0,01	94,47
	74,46	11,87	0,01	1,26	0,18	4,14	4,04	0,06	0,11	0,03	96,15
	74,27	11,96	0,03	1,34	0,25	4,05	4,29	0,10	0,09	0,03	96,40
	73,71	11,99	-0,01	1,35	0,20	4,70	4,21	0,08	0,01	0,02	96,25
	73,63	11,89	0,01	1,24	0,20	4,16	4,26	0,09	0,00	0,01	95,48
	74,55	11,94	-0,01	1,27	0,24	4,62	4,12	0,10	0,00	-0,04	96,79
	71,89	11,47	0,01	1,26	0,20	4,24	4,03	0,11	0,03	-0,01	93,22
	73,33	11,89	-0,01	1,30	0,24	4,41	4,18	0,11	0,04	0,03	95,51
LP15102F2 (UK)	74,35	11,76	0,01	1,38	0,19	4,19	4,10	0,09	0,07	-0,02	96,11
	72,51	14,48	-0,02	1,55	0,19	4,12	4,15	0,07	0,01	-0,01	97,05
	70,49	11,32	0,02	1,21	0,24	3,85	4,12	0,05	0,04	0,06	91,38
	74,31	11,92	0,03	1,29	0,16	4,02	4,15	0,06	0,04	0,00	95,98
	75,28	12,12	-0,02	1,22	0,18	4,54	4,10	0,09	0,04	-0,01	97,53
	73,14	11,70	-0,02	1,43	0,24	4,44	4,16	0,09	0,03	-0,02	95,18
	75,41	11,90	0,00	1,28	0,26	4,12	4,25	0,07	0,05	-0,01	97,31
	72,73	11,66	-0,01	1,25	0,19	4,04	4,06	0,11	0,05	-0,02	94,06
	74,55	11,76	-0,01	1,33	0,24	4,31	4,20	0,08	0,06	-0,01	96,51
	72,97	14,29	0,01	1,28	0,25	4,37	4,09	0,05	0,03	-0,02	97,33
	74,60	11,89	0,01	1,38	0,18	4,14	4,10	0,07	0,03	-0,02	96,36
	75,66	12,32	0,01	1,24	0,26	3,95	4,29	0,07	0,04	0,04	97,89
	73,81	11,84	0,01	1,33	0,22	4,33	4,24	0,06	0,00	-0,03	95,80
	74,45	11,66	-0,01	1,47	0,26	4,05	4,24	0,06	-0,07	-0,02	96,07
	75,31	12,20	0,00	1,41	0,20	3,84	4,25	0,03	0,09	0,02	97,35
	74,69	11,93	0,00	1,18	0,19	4,47	4,01	0,09	0,03	0,01	96,60
	74,27	11,71	-0,01	1,16	0,23	3,57	4,04	0,05	0,09	-0,05	95,06
	74,22	11,80	0,02	1,37	0,20	4,26	4,22	0,06	0,02	0,06	96,22
	74,08	11,86	-0,02	1,50	0,27	4,24	4,14	0,06	0,03	0,00	96,16
	75,43	11,92	-0,01	1,34	0,22	4,38	4,18	0,09	0,09	-0,01	97,65

TABLA B.63: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP15102F1 y LP15102F2.

Muestra	SiO2	Al2O3	MgO	FeO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	MnO	P2O5	Total
LP15103H (UL)	74,39	12,10	-0,03	1,51	0,22	4,43	4,13	0,10	0,03	0,04	96,93
	73,99	11,66	0,00	1,22	0,25	4,53	4,09	0,06	-0,01	-0,04	95,76
	74,28	11,67	-0,01	1,19	0,18	4,27	4,11	0,08	0,05	-0,02	95,80
	73,70	11,78	-0,01	1,46	0,20	4,20	4,09	0,05	0,03	0,01	95,50
	74,16	12,00	0,00	1,49	0,24	4,49	4,09	0,06	0,08	0,00	96,59
	74,43	11,92	0,01	1,51	0,27	4,40	4,24	0,05	0,04	0,00	96,87
	74,07	11,87	-0,01	1,12	0,21	4,39	4,08	0,07	0,09	0,04	95,94
	73,77	11,86	-0,01	1,38	0,24	4,23	4,06	0,08	0,05	0,00	95,65
	74,18	11,74	0,01	1,48	0,22	3,78	4,18	0,09	0,05	0,05	95,78
	73,91	11,88	0,00	1,27	0,22	4,64	4,01	0,06	0,05	-0,02	96,02
	74,65	11,86	0,01	1,40	0,23	4,36	3,90	0,06	0,06	-0,01	96,51
	73,68	11,95	0,01	1,40	0,24	4,08	4,05	0,08	0,01	-0,04	95,45
	73,84	11,99	-0,01	1,50	0,21	3,92	4,06	0,08	0,04	-0,03	95,60
	73,62	11,88	-0,02	1,19	0,21	3,74	4,09	0,08	0,09	-0,05	94,82
	73,87	11,85	0,01	1,47	0,23	4,75	4,01	0,07	-0,05	-0,02	96,20
	74,07	11,86	0,00	1,32	0,18	4,20	4,11	0,06	0,00	0,02	95,81
	73,68	11,92	0,00	1,53	0,25	4,12	4,15	0,07	0,00	0,01	95,72
	73,70	11,97	-0,02	1,44	0,22	3,96	4,01	0,04	0,06	0,00	95,39
	74,91	12,02	0,01	1,16	0,23	3,77	4,21	0,07	0,08	-0,01	96,46
	73,30	11,56	0,01	1,33	0,21	4,45	4,27	0,06	0,04	-0,06	95,16
	73,73	11,88	-0,02	1,24	0,21	4,11	4,02	0,06	0,07	0,05	95,35
LP15103I (UM)	73,89	11,60	-0,02	1,43	0,20	4,73	4,15	0,07	0,00	-0,05	96,01
	74,55	11,90	-0,04	1,46	0,22	3,84	4,21	0,08	0,00	0,02	96,24
	73,80	11,73	0,02	1,43	0,23	4,21	4,15	0,11	0,08	0,01	95,77
	74,45	11,80	0,00	1,29	0,23	4,69	4,17	0,08	0,04	0,03	96,77
	74,56	11,71	-0,02	1,62	0,21	4,05	4,19	0,08	0,02	-0,05	96,37
	74,96	11,92	0,02	1,40	0,21	3,86	4,57	0,07	0,07	-0,01	97,07
	72,19	12,18	0,00	1,26	0,23	3,95	4,88	0,06	0,02	-0,04	94,74
	73,93	11,77	0,00	1,23	0,17	3,97	4,53	0,04	-0,04	-0,03	95,57
	73,95	11,88	0,00	1,28	0,19	3,11	4,98	0,04	0,02	0,01	95,47
	75,21	11,85	0,00	1,26	0,23	4,28	4,26	0,06	0,10	-0,03	97,23
	73,93	11,72	-0,02	1,13	0,20	4,41	4,25	0,07	0,09	-0,02	95,74
	75,38	12,01	-0,01	1,22	0,24	4,02	4,25	0,06	0,06	-0,02	97,22
	75,28	12,20	0,00	1,21	0,26	4,37	4,32	0,06	-0,01	0,05	97,73
	74,47	11,61	0,00	1,42	0,24	4,04	4,33	0,04	0,00	0,00	96,16
	73,09	11,64	0,00	1,33	0,22	3,84	4,41	0,07	0,04	0,02	94,65
	74,44	11,80	0,01	1,30	0,23	4,13	4,26	0,07	-0,03	-0,05	96,18
	74,72	11,82	-0,01	1,25	0,20	4,29	4,22	0,05	0,00	0,01	96,54

TABLA B.64: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de las muestras LP15103H y LP15103I.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P205	Total
LP17271	73,74	11,24	-0,02	1,38	0,27	3,32	4,57	0,08	0,06	-0,04	94,61
	74,54	11,58	-0,01	1,15	0,21	3,46	4,53	0,04	-0,01	0,03	95,52
	74,43	11,49	0,00	1,31	0,23	3,58	4,60	0,07	0,12	0,00	95,82
	73,50	11,45	-0,02	1,22	0,22	3,42	4,39	0,05	0,02	-0,02	94,22
	74,09	11,45	0,01	1,22	0,23	3,52	4,47	0,07	0,04	-0,01	95,10
	74,10	11,45	-0,02	1,25	0,20	3,49	4,40	0,08	0,05	0,04	95,03
	73,89	11,54	0,00	1,30	0,32	3,35	4,48	0,08	0,04	0,00	95,00
	73,61	11,51	-0,04	1,35	0,20	3,46	4,57	0,08	0,02	0,03	94,79
	73,45	11,29	0,01	1,24	0,21	3,69	4,53	0,09	0,04	-0,01	94,53
	74,38	11,72	-0,02	1,38	0,27	3,67	4,39	0,06	0,04	0,00	95,89
	73,94	11,57	0,01	1,55	0,18	3,50	4,38	0,07	0,07	0,01	95,27
	74,47	11,39	0,00	1,42	0,22	3,37	4,48	0,05	0,08	0,01	95,47
	73,85	11,35	0,01	1,59	0,31	3,81	4,64	0,08	0,01	-0,02	95,62
	73,86	11,49	-0,03	1,34	0,23	3,38	4,49	0,07	0,04	0,02	94,89
	73,60	11,30	0,01	1,33	0,21	3,78	4,47	0,06	0,03	0,03	94,83
	74,42	11,68	0,02	1,58	0,27	3,54	4,41	0,08	-0,01	-0,01	95,98
	74,29	11,55	0,00	1,32	0,24	3,58	4,50	0,06	-0,01	0,02	95,56
	73,11	11,50	0,02	1,24	0,25	3,58	4,52	0,04	0,05	0,00	94,30
	74,48	11,57	0,03	1,29	0,18	3,69	4,62	0,06	0,03	-0,01	95,94
	74,32	11,48	-0,02	1,37	0,29	3,44	4,49	0,09	0,03	0,04	95,52
	73,66	11,33	0,02	1,21	0,20	3,73	4,50	0,05	0,07	-0,02	94,76
	75,25	11,32	0,00	1,44	0,21	3,11	4,53	0,09	0,02	0,01	95,98
	73,79	11,96	-0,01	1,22	0,24	3,90	4,22	0,09	0,03	0,01	95,43
	74,60	11,49	0,00	1,29	0,23	3,18	4,45	0,06	0,04	0,01	95,35
	73,87	11,32	0,00	1,29	0,25	3,42	4,59	0,10	-0,01	-0,03	94,80
	74,06	11,25	-0,02	1,09	0,22	4,11	4,58	0,08	0,02	-0,03	95,36
	74,91	11,31	0,01	1,26	0,24	3,50	4,54	0,11	0,03	-0,01	95,89
	74,16	11,62	0,02	1,26	0,27	3,55	4,55	0,07	-0,02	0,00	95,48
	74,47	11,55	0,02	1,31	0,24	2,98	4,39	0,09	0,07	-0,01	95,10
	74,22	11,38	0,02	1,37	0,18	3,76	4,44	0,09	0,06	-0,02	95,49

TABLA B.65: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra LP17271.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P205	Total
PZ120 (Cerrito Colorado Lava)	74,29	11,77	0,02	1,84	0,16	4,31	4,37	0,10	0,08	0,03	96,95
	45,10	0,37	0,67	25,40	17,13	0,42	0,00	0,26	1,23	0,06	90,64
	74,12	11,68	0,00	1,89	0,18	4,36	4,40	0,11	0,03	-0,02	96,76
	77,55	12,08	0,02	1,75	0,17	1,64	4,65	0,12	0,02	0,02	98,02

TABLA B.66: Resultados de análisis WDS por microsonda en vidrios de la muestra PZ120.

Element	Samples group 1		Samples group 2		Samples group 3	
	Mean	Std (2S)	Mean	Std (2S)	Mean	Std (2S)
TiO ₂	0,05	0,04	0,04	0,02	0,04	0,02
MnO	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
CaO	0,05	0,02	0,02	0,00	0,03	0,03
K ₂ O	0,10	0,08	0,21	0,04	0,13	0,11
FeO	0,14	0,21	0,15	0,07	0,15	0,17
Na ₂ O	0,22	0,12	0,39	0,15	0,48	0,69
SiO ₂	0,48	0,88	0,61	0,20	0,52	0,41
Al ₂ O ₃	0,33	0,24	0,13	0,03	0,24	0,18
MgO						
P ₂ O ₅						

Element	Samples group 4		Samples group 5		Samples group 6	
	Mean	Std (2S)	Mean	Std (2S)	Mean	Std (2S)
TiO ₂	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04
MnO	0,03	0,06	0,02	0,03	0,04	0,04
CaO	0,02	0,05	0,02	0,03	0,05	0,05
K ₂ O	0,43	0,44	0,14	0,06	0,10	0,16
FeO	0,20	0,10	0,20	0,16	0,19	0,13
Na ₂ O	0,67	0,58	0,66	0,40	0,13	0,13
SiO ₂	0,56	0,79	0,60	0,61	0,34	0,69
Al ₂ O ₃	0,46	0,21	0,69	0,24	0,56	0,17
MgO						
P ₂ O ₅						

TABLA B.67: Promedio e incertidumbre de las muestras analizadas a la microsonda.

Grupo 1: LP15103H, LP17422F, LP15101A, LP15102F2, PZ120 y PZ77;

Grupo 2: LP15104E, LP17329AA6, LP1513K1, LP1401WM, LP18500 y LP15104G;

Grupo 3: LP15103I, LP15102F1, LP1513G y LP1513F1;

Grupo 4: LP16118M y LP17271; Grupo 5: LP18629C; Grupo 6: LP15101C y LP15102D.

Muestra	206Pb/204Pb	1SD % (% std err)	207Pb/204Pb	1SD % (% std err)	208Pb/204Pb	1SD % (% std err)
LP1513D	18,7206	0,015	15,5776	0,015	38,4132	0,015
LP1513F1	18,7211	0,012	15,5788	0,012	38,4184	0,013
LP15101A	18,7223	0,013	15,5803	0,013	38,4230	0,014
LP17302E	18,7215	0,013	15,5794	0,014	38,4199	0,014
LP17302A	18,7235	0,013	15,5835	0,014	38,4356	0,013
LP15102D	18,7205	0,013	15,5839	0,014	38,4352	0,017
LP15102E	18,7220	0,013	15,5847	0,016	38,4389	0,018
LP15102G	18,7286	0,017	15,5927	0,017	38,4636	0,017
LP15103H	18,7189	0,013	15,6105	0,013	38,4270	0,014
LP15103I	18,7183	0,013	15,5803	0,014	38,4245	0,017
LP15118N	18,7238	0,016	15,5876	0,016	38,4486	0,017
LP17422F	18,7187	0,013	15,5808	0,013	38,4263	0,013
PZ0	18,7157	0,016	15,5771	0,017	38,4140	0,017
PR-15-O1D	18,7228	0,013	15,5836	0,012	38,4314	0,013
PR9-2985	18,6982	0,016	15,5847	0,016	38,4394	0,015

TABLA B.68: Resultados e incertidumbres de las mediciones de isótopos.