



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

ESTIMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE LAS
CÁMARAS MAGMÁTICAS ASOCIADAS AL VOLCÁN PANIRI: DISTRIBUCIÓN DEL
MAGMATISMO EN PROFUNDIDAD

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

NICOLÁS ANDRÉS MUENA LARA

PROFESOR GUÍA:
BENIGNO GODOY NEIRA

PROFESOR CO-GUÍA:
OSVALDO GONZÁLEZ-MAUREL

COMISIÓN:
INÉS RODRÍGUEZ ARANEDA

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto FONDECYT Iniciación N°11200013

SANTIAGO DE CHILE

2022

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Geólogo
POR: Nicolás Andrés Mueña Lara
FECHA: 2022
PROFESOR GUÍA: Benigno Godoy Neira

El volcán Paniri (22°03'S 68°14'W), es un estratovolcán de composición principalmente dacítica que está constituido por siete unidades, las que son (de más antigua a más joven): Malku, Los Gordos, Las Lenguas, Las Negras, Viscachas, Laguna, Llareta. Este está situado en la Cadena Volcánica San Pedro-Linzor (SPLVC) (21°53'S 68°23'W - 22°09'S 67°58'W), que a su vez está ubicada sobre el margen noroeste (NW) del Cuerpo Magmático del Altiplano-Puna (APMB). Este último corresponde a un cuerpo parcialmente fundido que está situado a 10-25 km de profundidad, el cual sería responsable de dar lugar a las grandes erupciones que conforman el Complejo Volcánico del Altiplano-Puna (APVC) (21-24°S). Dicho complejo es una provincia tectono-magmática que cubre un área de más de 50.000 km², el que se enmarca en la Zona Volcánica Central de Los Andes (ZVC) (16°S-28°S). Esta es una de las cuatro zonas en las que se divide el orógeno de Los Andes, y donde la corteza continental alcanza un gran espesor (~50-70 km).

El estudio busca estimar las condiciones preeruptivas de cada una de las últimas seis de sus siete unidades con el fin de proponer un modelo evolutivo que caracterice las condiciones de presión, temperatura y profundidad a la que estuvo sometida su cámara magmática a lo largo de su historia. Estas condiciones se estiman a través de dos métodos basados en termobarometría de piroxenos. La propuesta permite relacionar las características petrográficas y geoquímicas de las unidades del volcán con procesos de escala regional, y también con otros trabajos de volcanes aledaños situados en el margen oeste del APMB que presentan características similares. Destacan las erupciones antiguas (<96 ka) y recientes (<96 ka) del volcán San Pedro y su relación con el cono monogenético La Poruña.

Durante el período estudiado destaca una mayor interacción de la cámara magmática del Paniri con el APMB en una primera etapa, en cual la cámara se mantuvo en estado estacionario por ~1 Ma. Posteriormente hubo una mayor interacción de la cámara con pulsos de magma máfico (<59% SiO₂) provenientes de niveles corticales inferiores que se estancaron en las cercanías de su base. Esto se tradujo en la erupción de un pequeño volumen (0,18 km³) de dicho material hace ~0,4 Ma, evento que desempeñó un rol para que hace ~0,17-0,15 Ma se produjera un ascenso abrupto de ~3 km de la cámara magmática durante su última erupción. Así, la cámara se emplazó definitivamente a <10 km de profundidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resumen y expresión de toda una trayectoria de vida. En él plasmo todo mi esfuerzo por mejorar lo que propongo en cuanto a ideas, hipótesis, y teorías. En las siguientes decenas de miles de palabras doy pie a la conclusión de la etapa más hermosa de mi vida: una de descubrimiento, de muchos errores, y también de muchos aprendizajes, y por, sobre todo, de realización personal, consolidando la pasión que brota en mí por las ciencias naturales, y en particular por nuestra querida Tierra.

Soy una persona de muchas palabras, y por lo general en instancias emotivas o de comunidad la gente espera que dedique palabras de forma espontánea. Me limitaré a recordar brevemente que la historia, unión, solidaridad, cariño, y comprensión de parte de mis padres (Juan y Margarita) y mi hermano (Francisco) son las que me mantuvieron a flote cuando el trabajo se volvía complicado: las palabras no bastan para seguir describiendo cuánto han significado para mí. También quiero agradecer a mis profesores a cargo de este trabajo, en especial a Benigno y Osvaldo quienes siempre me dieron flexibilidad, comprensión y confianza de que durante este período intentaré expresar al máximo la información disponible. Me han dado la oportunidad de trabajar como uno más de ellos. Por último, quiero agradecer a mi grupo de amigos de la carrera: los "geobelles", que siempre me acogieron como si fuéramos una familia, unión que perdura hasta el día de hoy e hizo más amena toda la carrera. También a aquellos que aportaron en mis pocos tiempos libres, alegrándome y ayudando a mi desarrollo humano: aquí destaco a mi mejor amiga, Pía, y al proyecto de mi querido preuniversitario social, que hizo dividirme en dos para cumplir semana a semana con mis estudiantes en Talca viernes y sábado a la par que mantenía mi carrera a flote. Fue una rutina alegremente estresante.

Estoy orgulloso de haber aprendido un montón de conceptos, teorías, y haber enriquecido en cuanto a discusión científica, tanto con profesores, auxiliares, ayudantes, compañeros, e incluso amigos alejados de este mundo que a menudo realizan consultas con las cuales podría hablar por días sin parar. No olvido que el carácter que me enamoró de la ciencia es que no es dogmática, sino que es una oportunidad para desarrollar ideas y acumular evidencias para sustentarlas (o no). Benditos sean aquellos vestigios que la Tierra aun conversa celosamente desde sus tiempos pretéritos: voy en camino a descubrir muchos, y a compartir mis respuestas con el mundo, porque el presente y el pasado es la clave para comprender el futuro.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | I |
| AGRADECIMIENTOS | II |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Formulación del problema | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 4 |
| 1.2.1. Objetivo general | 4 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 4 |
| 1.3. Hipótesis de trabajo | 5 |
| CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES | 6 |
| 2.1. Marco geológico regional..... | 6 |
| 2.1.1. La Zona Volcánica Central (ZVC)..... | 6 |
| 2.1.2. Complejo Volcánico Altiplano - Puna (APVC) | 7 |
| 2.1.3. Cuerpo Magmático Altiplano - Puna (APMB)..... | 11 |
| 2.2. Marco geológico local | 14 |
| 2.2.1. Cadena Volcánica San Pedro - Linzor (SPLVC) | 15 |
| 2.2.2. Volcán Paniri | 19 |
| CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA..... | 28 |
| 3.1. Petrografía | 28 |
| 3.2. Microsonda electrónica (EMP)..... | 29 |
| 3.3. Termobarometría | 30 |
| 3.3.1. Termobarómetro clinopiroxeno-líquido..... | 30 |
| 3.3.2. Termobarómetro de dos piroxenos | 33 |
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS | 36 |
| 4.1. Petrografía | 36 |
| 4.1.1. Unidad Los Gordos (Pg)..... | 36 |
| 4.1.2. Unidad Las Lenguas (Ple)..... | 39 |
| 4.1.3. Unidad Las Negras (Pn)..... | 40 |
| 4.1.4. Unidad Viscachas (Pv)..... | 41 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.5. Unidad Laguna (Pla) | 43 |
| 4.1.6. Unidad Llaretta (Pll)..... | 44 |
| 4.2. Geoquímica | 45 |
| 4.2.1. Roca total | 45 |
| 4.2.2. Piroxeno | 48 |
| 4.3. Termobarómetro clinopiroxeno-líquido | 58 |
| 4.3.1. Influencia del #Mg | 58 |
| 4.3.2. Influencia del %SiO ₂ | 62 |
| 4.3.3. Distribución de profundidades | 64 |
| 4.3.4. Selección del líquido óptimo..... | 72 |
| 4.3.5. Diagramas presión-temperatura..... | 75 |
| 4.4. Termobarómetro de dos piroxenos | 81 |
| 4.4.1. Distribución de profundidades | 82 |
| 4.4.2. Diagramas presión-temperatura..... | 85 |
| CAPÍTULO 5. DISCUSIONES..... | 87 |
| 5.1. Comparación y estadística de los termobarómetros | 87 |
| 5.1.1. Clinopiroxeno-líquido..... | 87 |
| 5.1.2. Dos piroxenos | 90 |
| 5.1.3. Comparación de ambos métodos..... | 91 |
| 5.2. Validez de los métodos | 93 |
| 5.2.1. Termobarómetro clinopiroxeno-líquido | 93 |
| 5.2.2. Termobarómetro de dos piroxenos | 94 |
| 5.3. Ubicación de las cámaras magmáticas..... | 97 |
| 5.4. Historia evolutiva | 99 |
| 5.5. Modelo evolutivo: vista panorámica | 109 |
| CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES..... | 111 |
| CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 116 |
| ANEXOS | 126 |
| ANEXO A: Química mineral..... | 126 |
| ANEXO B: Composición de piroxenos..... | 127 |
| ANEXO C: Resultados del termobarometro clinopiroxeno-líquido..... | 131 |

| | |
|---|-----|
| C.1. Unidad Las Negras | 131 |
| C.2. Unidad Laguna | 141 |
| C.3. Unidad Llaretta | 148 |
| ANEXO D: Determinación del líquido óptimo para termobarómetro clinopiroxeno- líquido | 154 |
| D.1. Espectro de #Mg..... | 154 |
| D.2. Influencia de la composición en la elección del líquido..... | 157 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Composición mineralógica modal (% vol.) de las muestras analizadas en el volcán Paniri según Godoy et al. (2018)..... | 21 |
| Tabla 2. Cortes transparentes pulidos enviados a análisis en microsonda electrónica..... | 29 |
| Tabla 3. Resumen sobre las especificaciones de operación de la microsonda electrónica durante la medición de las muestras utilizadas en este trabajo. | 29 |
| Tabla 4. Estadística de medidas de tendencia central sobre la geoquímica mineral para cada una de las muestras presentes en el diagrama TAS de la figura 9..... | 45 |
| Tabla 5. Estadística de medidas de dispersión sobre la geoquímica mineral para cada una de las muestras presentes en el diagrama TAS de la figura 9 | 46 |
| Tabla 6. Resumen para la distribución de clinopiroxenos y ortopiroxenos para cada una de las muestras de las unidades del volcán Paniri analizadas por la microsonda electrónica | 50 |
| Tabla 7. Análisis de la proporción ortopiroxeno/clinopiroxeno (Opx/Cpx) entre los resultados de la descripción petrográfica y los análisis realizados con microsonda (EMP) según lo expuesto en la tabla 6..... | 51 |
| Tabla 8. Resumen para la distribución de clinopiroxenos y ortopiroxenos para cada una de las muestras de las unidades del volcán Paniri..... | 81 |
| Tabla 9. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en la figura 17 | 88 |
| Tabla 10. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en la figura 18 | 88 |
| Tabla 11. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en las figuras 19 y 20..... | 89 |
| Tabla 12. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en la figura 28 | 90 |

| | |
|--|----|
| Tabla 13. Comparativa de las medidas de tendencia central y dispersión para las distribuciones de ambos métodos..... | 91 |
|--|----|

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de localización y extensión del Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC) (deSilva, 1989) y la proyección en planta del Cuerpo Magmático Altiplano-Puna (APMB) (Spang et al., 2021). | 8 |
| Figura 2. Imagen de Topografía Global Multi-Resolución que muestra la ubicación de distintas estructuras volcánicas pertenecientes a la ZVC alrededor del margen oeste del APMB..... | 13 |
| Figura 3. Mapa de ubicación para la zona de estudio donde se señalan los volcanes que constituyen la Cadena Volcánica San Pedro - Linzor (SPLVC) y otros importantes dentro de la ZVC..... | 14 |
| Figura 4. Imagen satelital (Google Earth™) que muestra la distribución de los edificios volcánicos dentro de la SPLVC, cuyo límite se señala en rojo. | 15 |
| Figura 5. Fotografía panorámica de la SPLVC. En la imagen se aprecian todas las estructuras que conforman la cadena, además de la Dacita Chao. Tomado de Godoy et al. (2014)..... | 17 |
| Figura 6. Mapa geológico del volcán Paniri y sus alrededores señalando las muestras consideradas en el presente trabajo, donde el punto de cada color señala una unidad..... | 20 |
| Figura 7. Microfotografías de los cortes transparentes descritos para cada las primeras tres unidades del volcán Paniri tanto a nícoles paralelos (mitad izquierda de cada imagen) como a nícoles cruzados (mitad derecha de cada imagen)..... | 38 |
| Figura 8. Microfotografías de los cortes transparentes descritos para cada las últimas tres unidades del volcán Paniri tanto a nícoles paralelos (mitad izquierda de cada imagen) como a nícoles cruzados (mitad derecha de cada imagen)..... | 42 |
| Figura 9. Diagrama TAS para las muestras pertenecientes a la CVSPL existentes en la base de datos geoquímicos trabajada para el presente trabajo. Con una estrella se remarca el punto de cada una de las muestras representativas para cada unidad..... | 47 |
| Figura 10. Composición de los clinopiroxenos (según Morimoto 1988) determinados en este estudio para las distintas unidades del volcán Paniri. En paréntesis se señala el número de puntos representados en el gráfico tanto para clinopiroxenos como ortopiroxenos | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 11. Diagramas de caja y bigote de #Mg para cada una de las unidades estudiadas del volcán Paniri. (a) Distribución de ortopiroxenos. (b) Distribución de clinopiroxenos. | 53 |
| Figura 12. Histogramas de distribución del #Mg para cada una de las unidades estudiadas del volcán Paniri. (a) Distribución de ortopiroxenos. (b) Distribución de clinopiroxenos | 56 |
| Figura 13. Diagramas que muestran los límites de equilibrio para el #Mg (primer filtro) según el método clinopiroxeno-líquido expuesto en Putirka (2008) para cada uno de los líquidos señalados en la simbología bajo cada diagrama | 59 |
| Figura 14. Gráfico de porcentaje de puntos que entregan información de presión y temperatura luego de ser sometidos al termobarómetro clinopiroxeno-líquido en función del #Mg _{líquido} seleccionado. | 60 |
| Figura 15. Gráfico de porcentaje de puntos que entregan información de presión y temperatura luego de ser sometidos al termobarómetro clinopiroxeno-líquido en función del #Mg _{líquido} seleccionado | 61 |
| Figura 16. Gráfico de porcentaje de puntos que entregan información de presión y temperatura luego de ser sometidos al termobarómetro clinopiroxeno-líquido en función del % SiO ₂ del líquido en cuestión. Se utilizaron líquidos con un #Mg _{líquido} dentro del rango óptimo para cada unidad..... | 63 |
| Figura 17. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Las Negras que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva..... | 65 |
| Figura 18. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Laguna que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva..... | 67 |
| Figura 19. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Llareta que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva..... | 69 |
| Figura 20. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Llareta que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| Figura 21. Resumen de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de las unidades Las Negras (a), Laguna (b), y Llareta (c) que se encuentran en equilibrio con los líquidos señalados por cada curva..... | 72 |
| Figura 22. Diagrama de caja y bigotes que ilustra el resumen estadístico de la distribución de profundidades para cinco líquidos distintos en cada una de las unidades..... | 74 |
| Figura 23. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Las Negras del volcán Paniri..... | 76 |
| Figura 24. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Laguna del volcán Paniri..... | 77 |
| Figura 25. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Llareta del volcán Paniri..... | 78 |
| Figura 26. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Llareta del volcán Paniri..... | 79 |
| Figura 27. Gráfico de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método de dos piroxenos para cada una de las cinco unidades estudiadas del volcán Paniri | 82 |
| Figura 28. Diagrama de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método de dos piroxenos para cada una de las cinco unidades estudiadas del volcán Paniri. | 84 |
| Figura 29. Diagramas presión-temperatura-profundidad para las cinco unidades estudiadas del volcán Paniri. Cada diagrama corresponde al resultado de aplicar el termobarómetro de dos piroxenos..... | 85 |
| Figura 30. Diagrama de caja y bigotes considerando la estadística expuesta en la tabla 12..... | 96 |
| Figura 31. Evolución propuesta del sistema de cámara magmática del volcán Paniri..... | 108 |
| Figura 32. Vista panorámica del modelo propuesto para la distribución y evolución del sistema magmático que impulsó las erupciones de las unidades Los Gordos, Las Lenguas, Las Negras, Laguna, y Llareta del volcán Paniri..... | 110 |

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Formulación del problema

La Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) está situada en el orógeno de Los Andes. Es una provincia volcano-tectónica activa dentro del Arco Volcánico de los Andes Centrales desde el Oligoceno Superior (Coira et al., 1982). Este último corresponde a un arco magmático que se extiende desde los 14°S hasta los 27°S en el margen oeste de Sudamérica. Corresponde a una de las cuatro áreas volcanológicamente activas en la cual se encuentra dividida la Cordillera de Los Andes. Las otras tres son la Zona Volcánica Norte (2°N-5°S), Zona Volcánica Sur (33°S-46°S), y Zona Volcánica Austral (49°S-55°S) (González-Maurel et al., 2019).

La ZVC es una zona de espesor cortical considerable, alcanzando los 70 km en algunos sectores (Beck et al., 1996; Yuan et al., 2002), contando con una corteza superior félsica que se extiende hasta unos 50 km de profundidad en la zona del Altiplano según Lucassen et al., (2001), y con una corteza inferior máfica que subyace a la félsica, con unos 20-30 km de espesor entre la zona de la Puna y el Altiplano según Prezzi et al., (2009). Finalmente, esta zona volcánica contiene al menos 15 volcanes activos donde destacan los estratovolcanes Sabancaya, Ubinas, y Láscar, así como volcanes con actividad fumarólica o campos geotermales (Francis y de Silva, 1989). Todas estas características convierten a los volcanes de la ZVC en un objeto de estudio particular, ya que comparten un contexto poco usual en la Tierra.

Dentro de la ZVC se encuentra el Complejo Volcánico del Altiplano-Puna (21-24°S), que es una provincia tectono-magmática ubicada en los Andes Centrales, abarcando un área que se dispone en el límite territorial entre Chile, Bolivia, y Argentina. Este complejo cubre un área de más de >70.000 km² y está asociado a la erupción de ignimbritas ricas en sílice (>65% vol.) de gran volumen. Es una de las provincias de estas características más grandes del mundo (de Silva, 1989). Bajo esta provincia se ha detectado una zona parcialmente fundida caracterizada por anomalías térmicas, de conductividad eléctrica, y sísmicas. Esta zona posee una superficie de ~60.000 km² estando situada bajo el APVC y cuyo punto central (o núcleo) se encuentra a ~15 km bajo el nivel del mar (Chmielowsky et al., 1999; Zandt et al., 2003; Leidig y Zandt, 2003; Ward et al., 2014).

Se ha propuesto que este cuerpo magmático es el intrusivo equivalente del volcanismo propio del APVC, ya que tiene una correlación espacial clara con las ignimbritas presentes en el complejo volcánico (deSilva et al., 2006). Este cuerpo parcialmente fundido es conocido como Cuerpo Mágmatco Altiplano - Puna (APMB). Comprender su dinámica y la interacción que tiene con magmas parentales que provienen desde la fusión parcial del manto es esencial para estimar las condiciones preeruptivas de los volcanes que se constituyen el APVC. Las motivaciones que conducen a querer estimar estas condiciones pueden ser diversas: análisis de peligro y riesgo geológico, proponer modelos evolutivos para todo el APVC, estudiar si el complejo volcánico está en una fase de inactividad definitiva o no, etc.

Situado en el límite oeste de la proyección en superficie del APMB se encuentra la Cadena Volcánica San Pedro - Linzor (SPLVC) ($21^{\circ}53'S$ $68^{\circ}23'W$ - $22^{\circ}09'S$ $67^{\circ}58'W$), que corresponde a una cadena volcánica en los Andes Centrales en el norte de Chile. Define un lineamiento de aproximadamente 65 km de longitud con orientación es NW-SE (Godoy et al., 2014). Esta orientación es distinta a la del volcanismo activo en los Andes Centrales, tanto al norte como al sur, donde predominan lineamientos N-S. No obstante, su orientación NW-SE es paralela al de los sistemas de falla más grandes de la región, previamente existentes a la cadena (Salfity, 1985; Marrett et al., 1994; Riller et al., 2001; Tibaldi et al., 2009).

Estas características convierten a los volcanes de la SPLVC en los objetos de estudio ideales para estudiar las características del magmatismo del APMB en sus bordes, ya que existen diversos volcanes con los cuales se pueden estimar condiciones preeruptivas utilizando distintos métodos. Esto permite proponer una historia evolutiva que puede servir a distintos fines, tal como se mencionó anteriormente

El volcán Paniri ($22^{\circ}03'S$ $68^{\circ}14'W$) es un estratovolcán Pleistoceno actualmente inactivo, de orientación NW-SE y que se sitúa dentro SPLVC (Godoy et al., 2018). Este presenta una historia evolutiva que desde aproximadamente el último millón de años dio lugar a siete unidades que construyeron su edificio volcánico, propuesta por Godoy et al. (2018). El rango composicional de estas unidades va de andesitas basálticas de piroxeno-olivino hasta dacitas de piroxeno, destacando solo una unidad particularmente máfica ($<59\% SiO_2$) y poco voluminosa durante la mitad de su historia evolutiva. Esta es una característica que presentan otros estratovolcanes de la SPLVC (Godoy et al., 2019).

Si bien es un volcán que cuenta con un amplio número de muestras, cortes transparentes, análisis isotópicos, y dataciones, aun no dispone de información que permita relacionar de manera directa las características de las unidades y etapas definidas durante su historia evolutiva con los procesos magmáticos asociados a su(s) cámara(s) magmáticas, ni cómo estas han evolucionado a lo largo del tiempo. Es decir, no se sabe con precisión a qué profundidad se emplaza su cámara magmática, ni cómo ha variado con el tiempo.

Por esto se propone un estudio que estime las condiciones preeruptivas (presión, temperatura, y profundidad) de emplazamiento de la cámara magmática del volcán Paniri durante la erupción de cada una de sus unidades. Como se cuenta con dataciones de estas, los resultados del trabajo permitirán proponer un modelo que contemple la distribución de la(s) cámara(s) magmática(s) presente(s) bajo el edificio volcánico, determinando si tuvo períodos sin ascenso, de ascenso continuo, ascensos abruptos, u otras características. Esta información complementaría estudios que se han llevado a cabo en otros volcanes de la SPLVC y que han buscado caracterizar el rol del magmatismo del APMB en la erupción de estos volcanes (e.g. González-Maurel et al. (2019)).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Estimar las condiciones de presión y temperatura al interior de la(s) cámara(s) magmáticas asociadas a las distintas unidades propuestas para el volcán Paniri con el fin de complementar la historia evolutiva propuesta para el volcán, lo que permite comprender la dinámica que dio lugar a las características de este y cómo ha variado en el tiempo.

1.2.2. Objetivos específicos

- i. Definir las fases mineralógicas presentes y sus texturas en las distintas muestras de las unidades del volcán Paniri, generando criterios para la selección de muestras representativas de cada una de las unidades para emplear métodos de termobarometría.
- ii. Estimar la composición química de las fases mineralógicas identificadas, reconociendo características geoquímicas particulares asociadas a cada unidad del volcán.
- iii. Desarrollar un modelo de la distribución de la(s) cámara(s) magmática(s) a partir de las condiciones preeruptivas estimadas.

1.3. Hipótesis de trabajo

Como existe una similitud petrográfica entre la mayoría de las unidades del volcán Paniri (dacitas de piroxeno), entonces las cámaras magmáticas que dieron lugar a las mismas estuvieron sometidas bajo condiciones similares a lo largo de la historia evolutiva del volcán, con excepción de la unidad máfica (Las Negras, andesita-basáltica de piroxeno-olivino), la que constituiría un punto de inflexión dentro de la historia evolutiva del volcán.

En este sentido, se propone la existencia de una única cámara magmática que se emplaza a una determinada profundidad inicial, experimentando un ascenso desde esta profundidad caracterizada por la erupción de la unidad Los Gordos hasta una profundidad de emplazamiento definitivo caracterizada por la erupción de la unidad Llaretá. El proceso de ascenso de la cámara y su emplazamiento final estaría relacionado con eventos de carácter regional asociados a la actividad y evolución del APMB desde hace ~ 1 Ma atrás, que es, aproximadamente, la edad estimada para la unidad más antigua del volcán Paniri (unidad Los Gordos).

Existiría un rol del magmatismo regional del APMB que tendría relación con las características geoquímicas y petrográficas de las unidades del volcán Paniri. Al contrastar los resultados de este estudio con estudios de otros volcanes con características similares, es decir, que se dispongan en el límite oeste del APMB, e idealmente dentro de la SPLVC, se espera obtener conclusiones concordantes.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1. Marco geológico regional

2.1.1. La Zona Volcánica Central (ZVC)

La Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) está situada en el orógeno de Los Andes. Es una provincia volcano-tectónica activa dentro del Arco Volcánico de los Andes Centrales desde el Oligoceno Superior (Coira et al., 1982). Este último corresponde a un arco magmático que se extiende desde los 14°S hasta los 27°S en el margen oeste de Sudamérica, con una posición actual de 300-400 km al este de la fosa. Corresponde a una de las cuatro áreas volcanológicamente activas en la cual se encuentra dividida la Cordillera de Los Andes. Las otras tres son la Zona Volcánica Norte (2°N-5°S), Zona Volcánica Sur (33°S-46°S), y Zona Volcánica Austral (49°S-55°S) (González-Maurel et al., 2019).

Este dominio geográfico (la ZVC), junto a otros a lo largo del margen continental fue construido debido a la subducción de dirección este entre la placa de Nazca que que subduce bajo la placa Sudamericana desde tiempos Jurásicos (Coira et al., 1982), algo que ha ocurrido como consecuencia de un cambio en el ángulo de subducción (Scheuber y Reutter, 1992), el que pasa de ~25° a <10°, dando lugar a gaps de volcanismo que son los que separan las cuatro zonas volcánicas, generando a su vez variaciones en el espesor de la corteza continental (Coira et al., 1982; Charrier et al., 2007).

Actualmente la ZVC alcanza un espesor cortical superior a 70 km en algunos sectores (Beck et al., 1996; Yuan et al., 2002), contando con una corteza superior félsica que se extiende hasta unos 50 km de profundidad en la zona del Altiplano según Lucassen et al., (2001), y con una corteza inferior máfica que subyace a la félsica, con unos 20-30 km de espesor entre la zona de la Puna y el Altiplano según Prezzi et al., (2009). Finalmente, esta zona volcánica contiene al menos 15 volcanes activos donde destacan los estratovolcanes Sabancaya, Ubinas, y Lásca, así como otros volcanes con actividad fumarólica (e.g., Ollagüe, San Pedro, Lastarria) y también importantes campos geotermales (e.g., El Tatio, Sol de Mañana, Apacheta) (Francis y de Silva, 1989).

2.1.2. Complejo Volcánico Altiplano - Puna (APVC)

El Complejo Volcánico del Altiplano-Puna (21-24°S) es una provincia tectono-magmática ubicada en los Andes Centrales, abarcando un área que se dispone en el límite territorial entre Chile, Bolivia, y Argentina. Este complejo cubre un área de más de >70.000 km² y está asociado a la erupción de ignimbritas ricas en sílice (>65% vol.) de gran volumen. Es una de las provincias de estas características más grandes del mundo (de Silva, 1989). Estas ignimbritas se formaron en cuatro pulsos principales asociados a grandes erupciones concentradas desde hace 10 hasta 4 Ma, donde la actividad comenzó a presentar un decrecimiento abrupto en intensidad hasta tiempos actuales (Salisbury et al., 2011). Estas erupciones ignimbríticas son conocidas como eventos de estallido, o *flare-up*, los que estuvieron relacionados con la construcción de batolitos cordilleranos y campos de calderas (Lipman et al., 1972; Decelles et al., 2009; Best et al., 2013). Los pulsos que dieron lugar a dichas ignimbritas indican un alto flujo magmas corticales (de Silva y Kay, 2018), que están directamente relacionados con una alta afluencia de magmas derivados del manto (Hildreth, 1981; de Silva y Gosnold, 2007; de Silva, 2008). De este modo, el escaso magmatismo máfico registrado en la zona ha sido interpretado como resultado de un ascenso rápido, y probablemente directo de magma basáltico muy caliente e hidratado proveniente desde el manto como resultado de tectonismo extensional y relajación cortical (Mattioli et al. 2006).

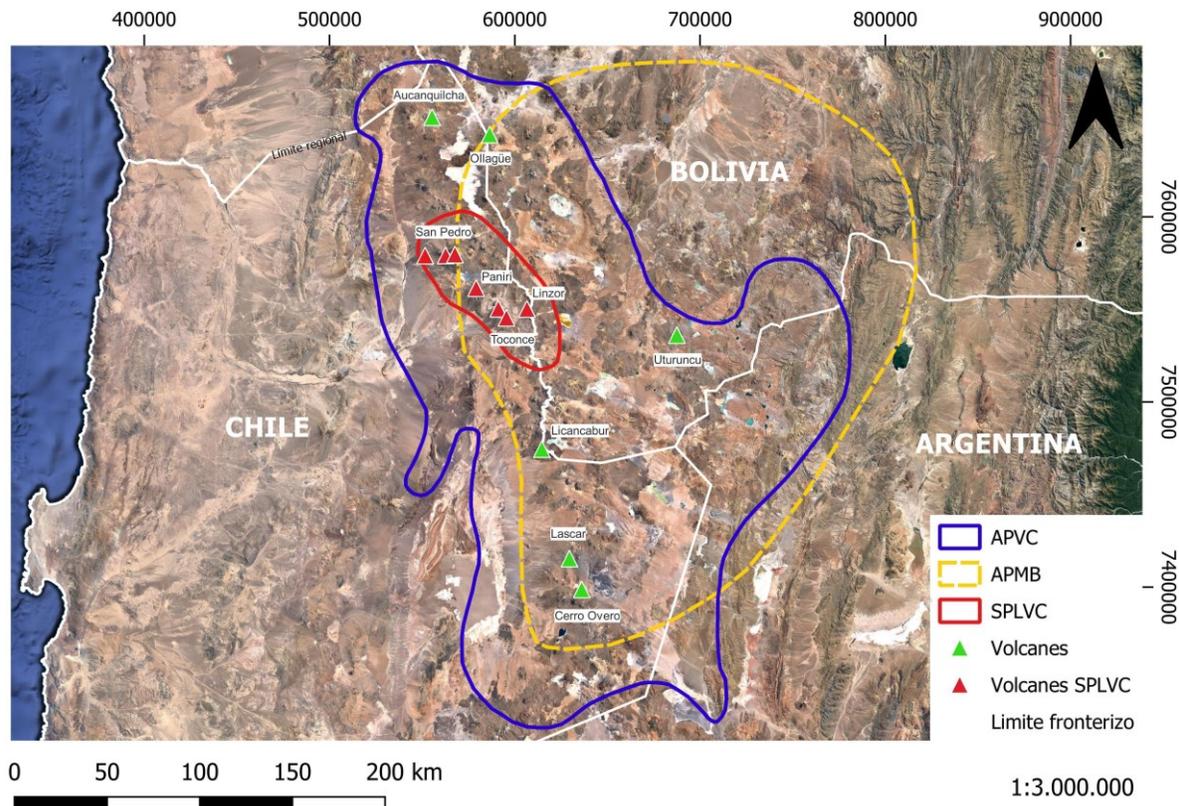


Figura 1. Mapa de localización y extensión del Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC) (deSilva, 1989) y la proyección en planta del Cuerpo Magmático Altiplano-Puna (APMB) (Spang et al., 2021). También se señalan los principales volcanes dentro del APVC, y en particular los de la Cadena volcánica San Pedro - Linzor (SPLVC) (Godoy et al., 2019). Imagen base tomada de Google Earth™. Coordenadas en base al datum WGS 84 / UTM zone 19S. A partir de la coordenada 800000E la proyección pasa a ser WGS 84 / UTM zone 18S, pero como el mapa no contempla puntos dentro de esta zona se desprecia.

Respecto a la actividad del APVC, luego de sus grandes erupciones ignimbríficas (*flare-up events*) presentó un decrecimiento en cuanto a su actividad (Salisbury et al., 2011; Kern et al., 2016), iniciando la que corresponde a la etapa de estado estacionario del magmatismo de arco. Esto se da cuando el pulso magmático proveniente de niveles inferiores de la corteza decrece debido a una disminución en el *input* magmático proveniente desde la fusión parcial del manto (Hildreth, 1981; de Silva y Gosnold, 2007). Más aun, la tasa de producción de magma disminuye de tres a cuatro veces durante el estado estacionario respecto a la etapa de estallido, lo que trae como consecuencia la producción de magmas andesíticos y el desarrollo de estratovolcanes compuestos (de Silva, 2008; Burns et al., 2015). La fase final de la etapa de estado estacionario corresponde a una etapa menguante o *waning stage*, donde la actividad volcánica tiende a disminuir abruptamente (Burns et al., 2015; Tierney et al., 2016; Taussi et al., 2019). De este modo, la actividad más

reciente del APVC comprende la erupción de una serie de flujos/domos de gran volumen y de edad ~ 100 ka (de Silva et al., 1994; Watts et al., 1999; Tierney et al., 2010). Los domos e ignimbritas formados en esta región son de composiciones principales dacíticas a riolíticas (de Silva, 1989a; Salisbury et al., 2011).

En base a esto, Godoy et al. (2019) propone un modelo de evolución para el APVC durante el último millón de años, que es cuando la actividad del complejo comienza a disminuir. La primera etapa corresponde a un estado donde predominan eventos de erupción que dan lugar a ignimbritas en la zona. Estas son erupciones voluminosas, por lo que es un período caracterizado por un alto flujo de magma proveniente de fuentes mantélicas profundas (Salisbury et al., 2011; Burns et al., 2015; de Silva y Kay, 2018). Los últimos eventos asociados con esta etapa del APVC son las erupciones de las ignimbritas Aguilucho (zona norte), El Tatio (zona centro), y Purico (zona sur) (Barquero-Molina, 2003; Salisbury et al., 2011; Burns et al., 2015; Taussi et al., 2019), las que ocurrieron hace ~ 1 Ma. Posteriormente, comienza el período del estado estacionario (steady-state), el que abarca un período de ~ 1 Ma-0,2 Ma, estando caracterizado por una disminución en la densidad poblacional de los pulsos de magma mantélicos que interactuaron con el APMB, pero aun lo suficientemente voluminosos. De este modo, se construyeron los estratovolcanes andesíticos a dacíticos que caracterizan a la ZVC, y en particular a la SPLVC (de Silva, 2008; de Silva et al., 2015; Burns et al., 2015). Esta etapa también se caracteriza por la erupción de pequeños volúmenes de magma máfico hace $\sim 0,9$ Ma (Taussi et al., 2019), y hace $\sim 0,7-0,4$ Ma (Wörner et al., 2000; Godoy et al., 2018), dándose principalmente en los bordes del APVC (e.g. flujos máficos en estratovolcanes Paniri y Ollagüe; La Poruña; Tilocalar).

En una época más reciente dentro del estado estacionario ($< 0,2$ Ma) se dio la extrusión de domos ricos en sílice, representando parte de cámaras magmáticas someras (4-8 km profundidad) genéticamente relacionadas con el período de actividad ignimbrítica. Estas cámaras fueron removilizadas por una nueva oleada de alta densidad poblacional de flujos de magma máfico, algo propuesto gracias a la observación de enclaves máficos en los domos (deSilva et al., 1994; Watts et al., 1999; Burns et al., 2015; Taussi et al., 2019). Además, la erupción de centros monogénicos máficos (La Poruña y Cerro Overo) en los bordes del APVC con similitudes petrográficas con los enclaves mencionados permiten proponer una etapa donde nuevos pulsos de magma máfico tanto o más vigorosos que los del estado de erupción ignimbrítica fueron responsables del magmatismo máfico y dacítico a riolítico durante los últimos 0,2 Ma en el APVC. Otro resultado que sustenta esta propuesta es la erupción contemporánea de flujos máficos durante la

construcción de estratovolcanes como el Lascar Licancabur y San Pedro (e.g. Matthews et al., 1994, 1999; Figueroa et al., 2009; Gardeweg et al., 2011; Sellés y Gardeweg, 2017; Bertín y Amigo, 2019; González-Maurel et al., 2019). Esta nueva etapa propuesta podría significar un reinicio en cuanto al ciclo de actividad volcánica registrado en el APVC (Godoy et al., 2019).

Por otro lado, el área de extensión del APVC coincide, aproximadamente, con la proyección en superficie de una zona de bajas señales de propagación sísmicas, altas temperaturas y alta conductividad eléctrica, localizada entre 4 y 30 km bajo el APVC. Dicha zona es interpretada como un cuerpo parcialmente fundido emplazado dentro de la corteza superior, y es conocido como Cuerpo Magmático Altiplano - Puna (APMB), que representaría capas de corteza donde existirían líquidos anatécicos debidos a la fusión parcial de la corteza continental bajo el APVC (Schilling et al., 1997, 2006; Chmielowsky et al., 1999; Schilling y Partzsch, 2001; Brasse et al., 2002; Zandt et al., 2003).

Este cuerpo de magma ha sido reconocido mediante modelos sismológicos, eléctricos y termales (e.g., Schilling y Partzsch, 2001; Brasse et al. 2002; Zandt et al., 2003; Mai, 2005; Schilling et al., 2006) gracias a la detección de anomalías eléctricas, gravimétricas e isostáticas en la corteza continental gruesa de los Andes Centrales, entre los 21°S y 24°30'S (Schilling et al., 1997; Haberland y Rietbrock, 2001; Schilling y Partzsch, 2001; Brasse et al., 2002; Schnurr et al., 2007; Prezzi et al., 2009). Es interpretado como un batolito dentro de la corteza superior (de Silva y Gosnold, 2007; Kern et al., 2016) dispuesto sobre una zona MASH también situada en la corteza superior (Burns et al., 2015; Ward et al., 2014). Finalmente, se ha propuesto que estos líquidos anatécicos que conforman el APMB son los que han dado origen a las ignimbritas y domos encontrados a lo largo del APVC (de Silva et al., 2006), encontrándose ambos cuerpos (APVC y APMB) distribuidos considerablemente en la misma área (ver figura 1).

2.1.3. Cuerpo Magmático Altiplano - Puna (APMB)

El Cuerpo Magmático Altiplano - Puna (APMB) se define como una zona parcialmente fundida caracterizada por anomalías térmicas, de conductividad eléctrica, y sísmicas. Esta zona posee una superficie de $\sim 60.000 \text{ km}^2$ estando situada bajo el APVC y cuyo punto central (o núcleo) se encuentra a $\sim 15 \text{ km}$ bajo el nivel del mar (Chmielowsky et al., 1999; Zandt et al., 2003; Leidig y Zandt, 2003; Ward et al., 2014). Se ha propuesto que este cuerpo magmático es el intrusivo equivalente del volcanismo propio del APVC, ya que tiene una correlación espacial clara con las ignimbritas presentes en el complejo volcánico (deSilva et al., 2006). Diversos estudios han propuesto espesores para el APMB basados en modelos que contemplan la velocidad de propagación de ondas tipo S, dentro de los que destaca el de Ward et al. (2014), donde se construye un modelo 3D para la extensión del APMB, buscando precisar la LVZ propuesta por estudios previos y complementando lo propuesto por Ward et al. (2013). Así, según el modelo 3D de Ward et al. (2014) el APMB corresponde a una zona de baja velocidad sísmica con un volumen de $\sim 500.000 \text{ km}^3$ que se sitúa a 4-25 km de profundidad, presentando su zona de máxima extensión lateral a $\sim 15 \text{ km}$ de profundidad, relacionándose con una continua deformación superficial bajo el volcán Uturuncu (Pritchard y Simmons, 2004; Fialko y Pearse, 2012). Este último representaría el centro y la zona donde el APMB comienza a aflorar a menor profundidad ($\sim 4 \text{ km}$).

Por otro lado, existen estudios más recientes que el de Ward et al. (2014) que han buscado precisar los límites, espesor, y en particular, la dinámica interna del APMB. Tal es el caso de Spang et al. (2021), que al ser el estudio más reciente es el que ofrece una revisión más minuciosa sobre las consideraciones reológicas implementadas en modelos anteriores. De este modo, propone un modelo más complejo, ya que incorpora factores no considerados por estudios previos (e.g. plasticidad y geometría inicial compleja) e integra de datos de distintas fuentes, entre las que destacan InSAR, anomalías de Bouger, y tomografías sísmicas.

Dicho trabajo permite contrastar con estudios previos distintas características del APMB propuestas en el mismo, entre las que destacan: (1) el grado de fusión parcial del cuerpo en un rango de 15-22% vol., lo que está basado principalmente en modelos de densidad cortical y en la geoquímica de los productos formados durante las erupciones; (2) existe un flujo preferente de magma dentro del *mush*, que va desde el contorno del cuerpo hacia su centro. Dicho transporte de material es conducido por la flotabilidad y no necesariamente por cambios de presión asociada

a intrusiones de magma subyacente; (3) la deformación de la corteza que se encuentra sobre el APMB es consistente con el modelo propuesto. La zona de mayor alzamiento se dispone por sobre el dominio más superficial del cuerpo magmático, mientras que las zonas de subsidencia conforman una geometría de anillo, que es desde donde el material se moviliza hacia el centro; (4) la ralentización del alzamiento cortical al centro del cuerpo magmático estaría asociada a la pérdida de calor y volátiles del sistema, y al aumento en el grado de cristalinidad de este. (Spang et al., 2021).

De este modo, se tiene una redefinición de la proyección en planta del APMB, así como una estimación más certera de su grado de fusión parcial, encontrándose una relación entre los eventos de deformación superficial bajo el volcán Uturuncu y los bordes del APMB con un sentido de flujo y dinámica interna de este. La proyección en planta del APMB basado en Ward et al. (2014) se puede observar en figura 2, donde se condice bien con el de Zandt et al. (2003).

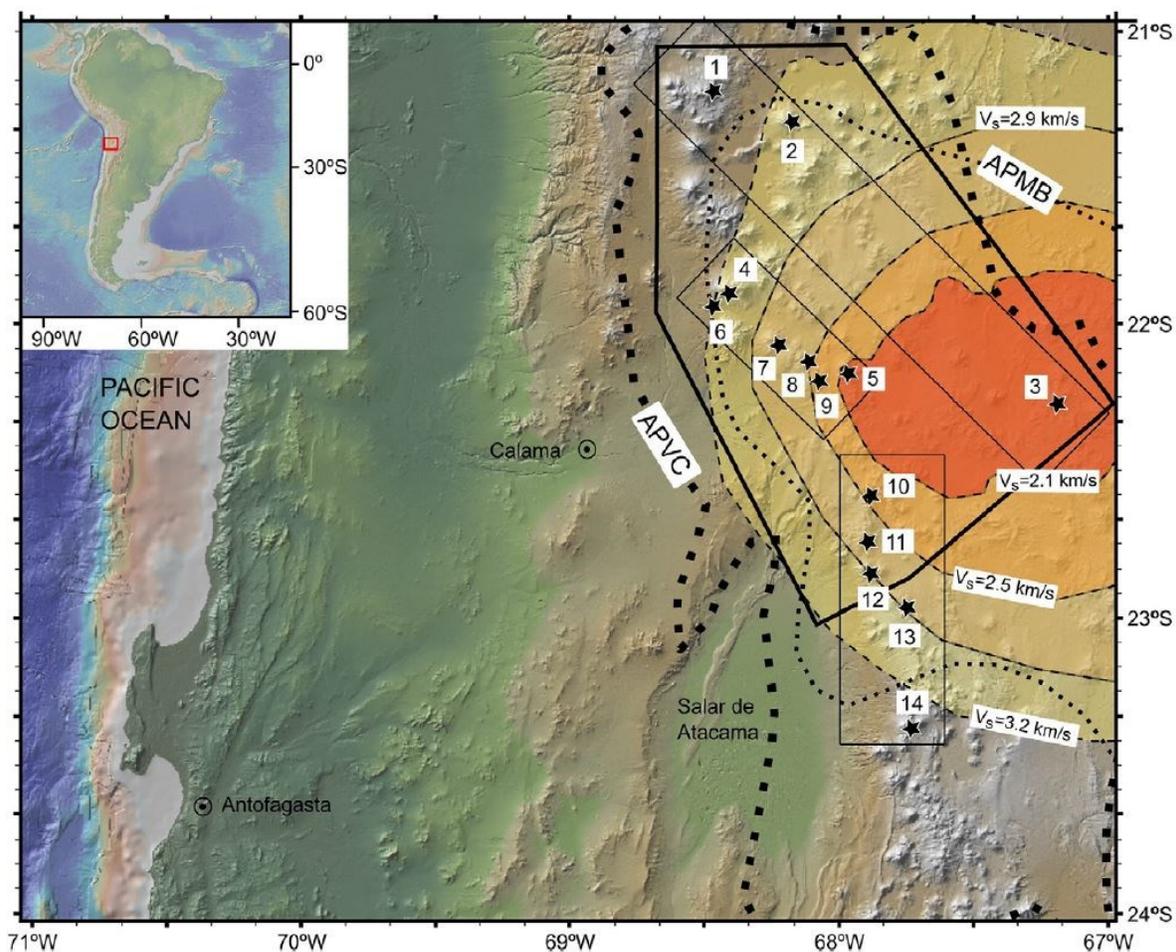


Figura 2. Imagen de Topografía Global Multi-Resolución que muestra la ubicación de distintas estructuras volcánicas pertenecientes a la ZVC alrededor del margen oeste del APMB. Las estructuras de la SPLVC en la imagen corresponden a: volcán San Pedro (4), cono de escoria La Poruña (6), volcán Paniri (7), volcán Cerro del León (8), volcán Toconce (9) y volcán Linzor (5). Las líneas punteadas negras señalan los límites del APVC (gruesa) y APMB (delgada), este último según Zandt et al. (2003). Los polígonos transparentes de tonos amarillos a anaranjados representan zonas con un régimen de velocidad propagación de ondas tipo S determinado para el APMB ($V_s < 3,2$ km/s) a ~ 15 km de profundidad bajo el nivel del mar. Tomado de Godoy et al. (2017).

2.2. Marco geológico local

El estudio del presente trabajo se sitúa dentro de un lugar específico de la ZVC, en particular lo que corresponde al límite este de la Región de Antofagasta en Chile, el suroeste de Bolivia, y el noroeste de Argentina (figura 3).

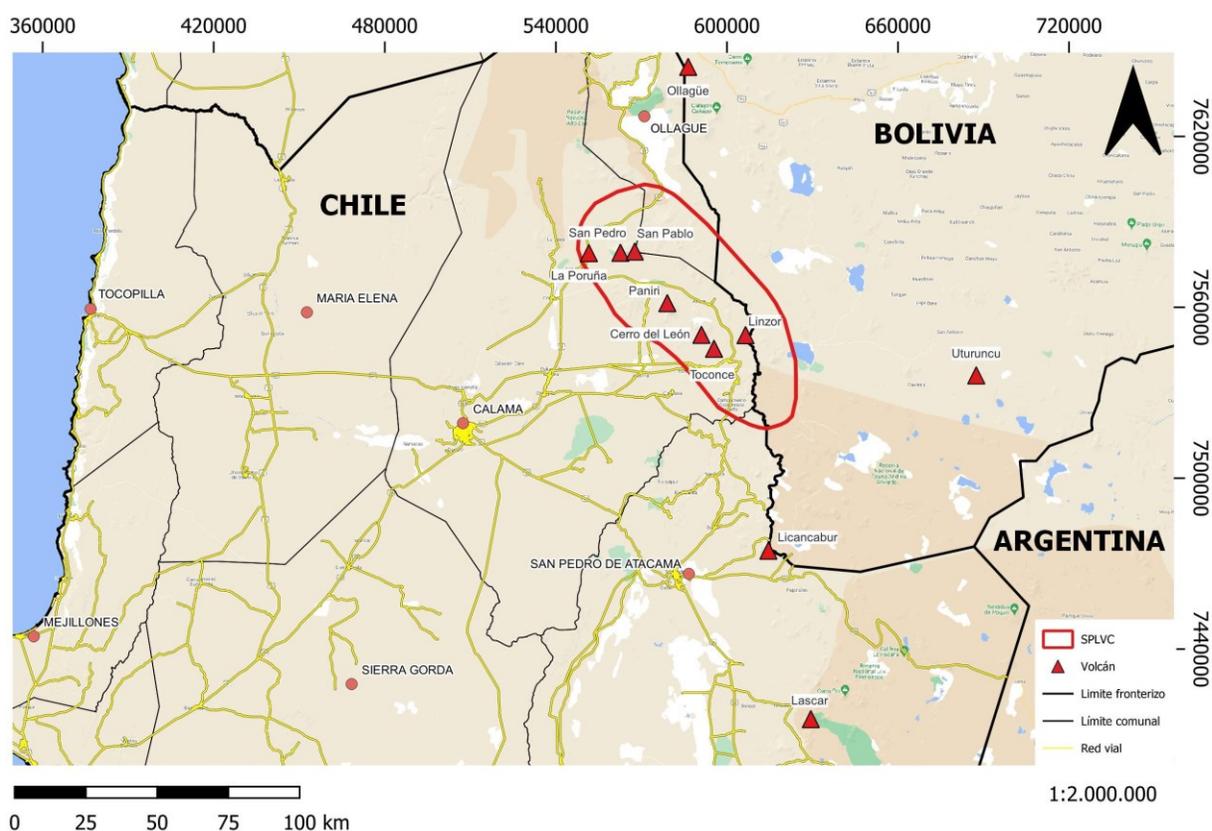


Figura 3. Mapa de ubicación para la zona de estudio donde se señalan los volcanes que constituyen la Cadena Volcánica San Pedro - Linzor (SPLVC) y otros importantes dentro de la ZVC. Se indican tanto límites fronterizos entre Chile, Argentina, y Bolivia, así como límites comunales dentro de la Región de Antofagasta (Chile), donde se sitúan los volcanes de la SPLVC. El límite en el extremo norte del mapa para el sector de Chile corresponde a un límite regional y no a uno fronterizo, algo similar a lo que sucede con su límite oeste, donde se marca el límite de Chile continental con su zona marítima (Océano Pacífico). Imagen base propiedad de Google™. Coordenadas en base al datum WGS 84 / UTM zone 19S.

2.2.1. Cadena Volcánica San Pedro - Linzor (SPLVC)

La Cadena Volcánica San Pedro - Linzor (SPLVC) ($21^{\circ}53'S$ $68^{\circ}23'W$ - $22^{\circ}09'S$ $67^{\circ}58'W$) corresponde a una cadena volcánica en los Andes Centrales en el norte de Chile. Define un lineamiento de aproximadamente 65 km de longitud con orientación es NW-SE (Godoy et al., 2014) y está ubicada en el margen NW del APVC y en el límite oeste del APMB (figura 1). Su orientación es distinta a la del volcanismo activo en los Andes Centrales, tanto al norte como al sur, donde predominan lineamientos N-S. No obstante, su orientación NW-SE es paralela al de los sistemas de falla LÍpez-Coranzuli, Pastos-Grandes y Calama-Olacapato-El Toro, que son los dos más grandes de la región y tienen una edad Paleozoica (Salfity, 1985; Marrett et al., 1994; Riller et al., 2001; Tibaldi et al., 2009).

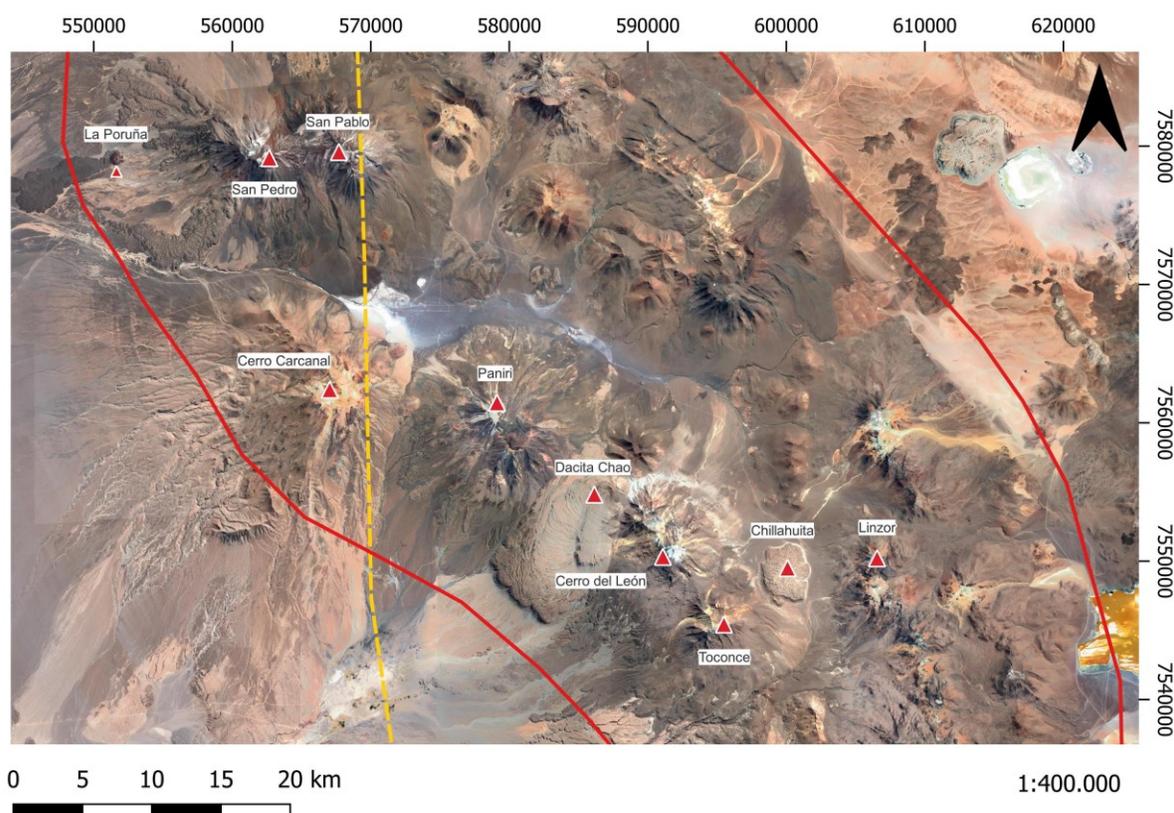


Figura 4. Imagen satelital (Google Earth™) que muestra la distribución de los edificios volcánicos dentro de la SPLVC, cuyo límite se señala en rojo. La ubicación de La Poruña se desplaza un poco hacia el sur para visualizar el edificio. También se señala el límite oeste del APMB según Spang et al. (2021), ubicándose el volcán Paniri al interior de este y cerca del límite. Coordenadas en base al datum WGS 84 / UTM zone 19S.

La cadena volcánica está conformada por una serie de edificios volcánicos complejos, tales como el complejo volcánico San Pedro - San Pablo, y los volcanes Paniri, Cerro del León, Toconce, y Linzor (figuras 4 y 5), los que están constituidos por lavas, flujos piroclásticos y de escoria, y brechas. Respecto a su petrografía, los flujos de lava de estos volcanes varían desde andesitas basálticas a dacitas de hornblenda, con andesitas de piroxeno como el tipo litológico principal. Los flujos piroclásticos son dacíticos, mientras que los flujos de escoria y las brechas varían desde andesitas-basálticas a andesitas (Ramírez y Huete, 1981; Marinovic y Lahsen, 1984; O'Callaghan y Francis, 1986; Lazcano et al., 2012; López et al., 2012; Polanco et al., 2012; Silva et al., 2012; López, 2014; Martínez, 2014; Silva, 2015; Lazcano, 2016).

Asociado a la cadena también está el domo Chillahuita (~100 ka de antigüedad), y el couleé dacítico Chao, que es uno de los más grandes del mundo (Guest y Sanchez, 1969; de Silva et al., 1994; Tierney et al., 2016). El cono de escoria La Poruña, cuya composición de basáltica-andesítica (con aproximadamente 103 ka de antigüedad) es la fuente de un flujo de lava de 8 km de longitud en el extremo NW de la SPLVC, completando así la constitución de la cadena volcánica (O'Callaghan y Francis, 1986; Wörner et al., 2000). Finalmente, la cadena volcánica se sitúa principalmente sobre la Ignimbrita Sifon de composición dacítica (8,3 Ma, Salisbury et al., 2011) y a ignimbritas y volcaniclásticas de la Formación Toconce (6.5-5.6 Ma), sobre sedimentos volcánicos y volcaniclásticos más antiguos (pre-Neogeno) (Ramírez y Huete, 1981; Marinovic y Lahsen, 1984; de Silva, 1989).



Figura 5. Fotografía panorámica de la SPLVC. En la imagen se aprecian todas las estructuras que conforman la cadena, además de la Dacita Chao. Tomado de Godoy et al. (2014).

- *Origen del magmatismo en la SPLVC*

La importancia de la SPLVC queda en evidencia con el estudio de Godoy et al., (2014), ya que concluye que el magmatismo moderno en los Andes Centrales muestra dos regímenes distintos, donde la SPLVC cobra importancia en el segundo. Respecto al primer régimen, este se da principalmente al norte de los 21°30'S, estando dominado por una corteza inferior máfica relativamente gruesa. Esto favorece la erupción de magmas con una fuerte signatura de alta presión donde el granate es una fase mineralógica residual importante, lo que está reflejado en su patrón de REE, específicamente en una alta razón LREE/HREE. Dicha signatura es heredada a partir de la evolución magmática en zonas profundas de la corteza: los denominados reservorios tipo MASH profundos. Para este tipo de régimen los procesos de asimilación cortical dentro de la corteza superior son muy limitados por cuanto el magma ya se diferenció en profundidad, lo que favorece el ascenso de los magmas ya que no interactúan mayormente con la corteza superior (Godoy et al., 2014).

Por otro lado, al sur de los 21°30'S, que es donde se sitúa la SPLVC, se da un régimen denominado como S-MASH, el que se caracteriza por una corteza inferior máfica relativamente delgada y por una sección cortical parcialmente fundida. En este régimen el magma derivado del manto asciende directamente hasta niveles corticales relativamente someros (<40 km profundidad), donde se da una asimilación de material cortical cercana al 50%, lo que disminuye la razón LREE/HREE y por tanto la signatura de alta presión. Además, aumenta la razón

isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Godoy et al., 2014). Es decir, la principal diferencia entre ambos regímenes es la profundidad a la cual se producen los procesos de fusión, asimilación, almacenamiento y homogeneización de los magmas derivados del manto, así como el grado de contaminación cortical (Godoy et al., 2014).

Finalmente, las diferencias entre ambos regímenes se explican por el desarrollo del APMB durante los últimos 10 Ma, el que influye al sur de los $21^{\circ}30'$. No obstante, no es el único factor que explica la diferencia, ya que hay que considerar la variación del espesor cortical, su composición, características termales, y también regímenes tectónicos y presencia de lineamientos estructurales, tales como los sistemas de falla Lípez-Coranzuli, Pastos-Grandes y Calama-Olacapato-El Toro, que pueden contribuir a un rápido ascenso de magma, forzando a un régimen tipo S-MASH (Godoy et al., 2014).

- *Cuerpos magmáticos en la SPLVC*

La información petroquímica (Godoy et al., 2014) sugiere que la SPLVC fue parte de un proceso de cristalización a diferentes profundidades, con al menos dos etapas durante la migración del magma. La primera etapa ocurre a profundidades de ~ 35 km, profundidad obtenida a través de termobarometría de piroxenos, mientras que la segunda etapa a profundidades de 8 km, lo que fue calculado mediante termobarometría en anfíboles. Esto permite contemplar una cámara magmática en el rango de 8-35 km como primera aproximación.

2.2.2. Volcán Paniri

El volcán Paniri (22°03'S 68°14'W) es un estratovolcán Pleistoceno de orientación NW-SE, que al formar parte de la SPLVC se encuentra al NW del APVC perteneciente a la ZVC, superponiéndose a campos de ignimbritas riolíticas de edad Miocena y a una secuencia volcano-sedimentaria de edad Oligocena a Miocena Inferior que aflora al sur (Formación San Pedro) (Godoy et al., 2018). El basamento que se encuentra bajo el volcán Paniri es el Dominio Antofalla, el cual corresponde a uno de los terrenos paleozoicos acrecionados durante la evolución de los Andes Centrales (Godoy et al., 2018). Cabe mencionar que el volcán Paniri es potencialmente activo, tal como lo sugiere la presencia de lavas no erodadas, un pequeño cono de escoria cerca de la cima, y un cráter en la cima bien preservado (Francis y de Silva, 1989).

El estudio más completo dedicado exclusivamente al volcán es el de Godoy et al. (2018), donde se determinó que las erupciones del volcán Paniri dieron lugar a siete unidades volcánicas. Dentro de estas unidades se encuentran, de más antigua a más joven, Unidad Malku, Unidad Los Gordos, Unidad Las Lenguas, Unidad Las Negras, Unidad Viscachas, Unidad Laguna, y Unidad Llareta (Godoy et al., 2018). Dichas unidades se formaron durante cuatro etapas principales que ocurrieron por más de 1 Ma: Escudo tipo plateau (> 800 ka); Edificio Principal (800 - 400 ka); Cono Viejo (400 - 250 ka); y Cono Nuevo (250 - 100 ka). Las edades de estas fueron obtenidas a partir de los datos publicados en el estudio de Seelenfreund et al. (2009) y Godoy et al. (2017), y también a partir de las edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenidas en el estudio de Godoy et al. (2018).

- *Unidades*

A continuación, se resumen algunas características de las unidades del volcán Paniri. Se puede consultar con detalle un resumen de su mineralogía en la tabla 1, mientras que en la figura 6 se aprecia la distribución de las unidades en planta.

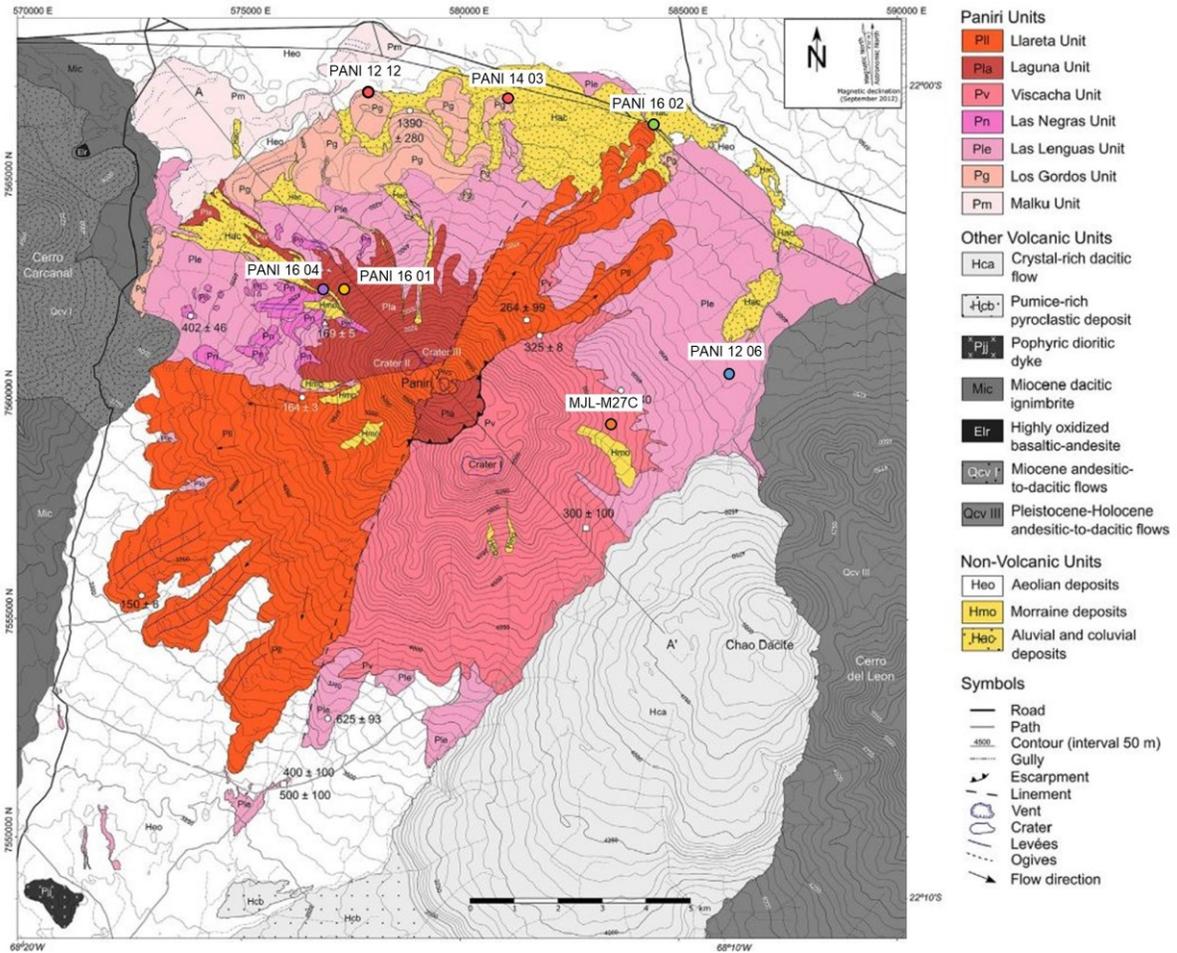


Figura 6. Mapa geológico del volcán Paniri y sus alrededores señalando las muestras consideradas en el presente trabajo, donde el punto de cada color señala una unidad. Se presentan también geocronológicos de Seelenfreund et al. 2009 que están simbolizados con triángulos blancos, mientras que los de Godoy et al. (2017) están simbolizados con cuadrados blancos. Tomado y modificado Godoy et al. (2018).

Tabla 1. Composición mineralógica modal (% vol.) de las muestras analizadas en el volcán Paniri según Godoy et al. (2018). Ol - Olivino, Plg - Plagioclasa, Opx - Ortopiroxeno, Cpx - Clinopiroxeno, Qz - Cuarzo, Bt - Biotita, Hbl - Hornblenda, Rut - Rutilo, Op - Minerales opacos, Inc - Inclusiones andesíticas. Tomado de Godoy et al. (2018).

| Unit | Volcanic Phase | Groundmass | | Phenocrysts | | | | | | | | Inc | |
|-------------------|-------------------|------------|-------|-------------|-------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | | Crysts | Glass | Ol | Plg | Opx | Cpx | Qz | Bt | Hbl | Rut | | Op |
| Malku (Pm) | Lava flows | 15-20 | 40-50 | | < 24 | 2 | 6-8 | | | | | | |
| | Pyroclastic flows | 5 | < 85 | | 6-8 | | | | | < 5 | | | |
| Los Gordos (Pg) | Lava flows | 23 | < 40 | | 15-20 | < 5 | < 2 | | | < 12 | | 1 | < 2 |
| | Pyroclastic flows | 5-10 | < 80 | | 8-10 | | | | | 2 | | | |
| Las Lenguas (Ple) | Lava flows | 20-25 | < 40 | | < 20 | 6-8 | 3-5 | | < 3 | < 5 | | | < 1 |
| | Pyroclastic flows | 3-5 | > 80 | | 5-7 | | | | < 2 | < 5 | | | |
| Las Negras | Lava flows | < 44 | < 15 | < 5 | 20-25 | 3-5 | 2-4 | | < 3 | 1 | < 1 | < 1 | 1 |
| Viscacha (Pv) | Lava flows | < 20 | < 44 | | 20-25 | 5-8 | 2-5 | < 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Laguna (Pla) | Lava flows | < 35 | < 40 | | 15-20 | 2-6 | 2 | | | | | | |
| | Pyroclastic flows | > 5 | > 70 | | 15 | | | | 5 | 5 | | | |
| Llaretta (Pll) | Lava flows | < 28 | 25-30 | | < 28 | 8-10 | 2-5 | | | | | | < 2 |
| | Andesitic bombs | 15-20 | < 65 | | 5-8 | 5 | 3 | | | | | | 1 |

- *Unidad Malku (Pm)*

Esta unidad está expuesta al NW del edificio volcánico, estando compuesta principalmente por flujos de lava erosionados con un espesor promedio de 50 m con una distribución casi radial sobre el basamento de ignimbritas, alcanzando distancias de ~12 km desde el cráter. La unidad tiene un volumen calculado de ~14,7 km³, y está cubierta por los productos más jóvenes del Paniri y también por depósitos evaporíticos, mientras que su química varía de composiciones andesíticas a traqui-dacíticas (Godoy et al., 2018). No existen datos geocronológicos de esta unidad. La sobreyace la unidad Los Gordos

- *Unidad Los Gordos (Pg)*

Está compuesta de flujos de lava brechosos y autobrechosos, además de depósitos piroclásticos. Los flujos de lava tienen un espesor promedio de 200 m, extendiéndose de manera casi radial hasta ~9 km desde el cráter. La unidad tiene un volumen calculado de ~32,4 km³, estando expuesta en los flancos N y NW del volcán, superponiéndose a la Ingimbrita Sifón (9.0 Ma, Marinovic y Lahsen, 1984; de Silva, 1989b) y a la Unidad Malku, mientras que su composición química es principalmente dacítica (Godoy et al., 2018).

Se obtuvo una edad de $1,39 \pm 0,28$ Ma a través del método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en anfíboles de un flujo de lava de esta unidad (Godoy et al., 2017). La sobreyace la unidad Las Lenguas.

- *Unidad Las Lenguas (Ple)*

Se da ampliamente a lo largo del área de estudio, alcanzando distancia de entre 5 y 12 km desde el cráter, y cubren a la mayoría de los flujos de las unidades Malku y Los Gordos. La Unidad Las Lenguas está compuesta de una gran cantidad de flujos de lava brechosos de hasta 50 m de espesor con una textura bandeada de flujo, y escasos depósitos piroclásticos de tefra laminados de poco espesor (< 1 m). Su volumen máximo calculado es de $\sim 7,6$ km³, mientras que su química varía de composiciones andesíticas a dacíticas (Godoy et al., 2018).

Está parcialmente cubierta por las unidades Viscachas, Laguna, y Llareta, contando con edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en anfíboles de 640 ± 140 ka y 620 ± 90 ka (Godoy et al., 2017), mientras que sus edades K/Ar son 400 ± 100 ka y 500 ± 100 ka (Seelenfreund et al., 2009).

- *Unidad Las Negras (Pn)*

Corresponde a flujos de lava aislados que se disponen en el flanco noroeste del Cráter II del volcán (figura 6), los que exhiben estructura de levées y un espesor promedio de 30 m, alcanzando una extensión máxima de 5,5 km desde el volcán. Su volumen total estimado es de $\sim 0,18$ km³, mientras que su composición química varía de andesitas basálticas a andesitas (Godoy et al., 2018). Finalmente, su edad según el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ es de 402 ± 46 ka (Godoy et al., 2017).

- *Unidad Viscachas (Pv)*

Corresponde a flujos de lava que constituyen el sector sureste del volcán, disponiéndose sobre las unidades Las Lenguas y Las Negras. Estos flujos tienen un espesor máximo de 20 y un volumen estimado máximo de $\sim 10,5$ km³ basado en el espesor promedio y extensión estimada, mientras que su química varía de

composiciones dacíticas a riolíticas, con una textura bandeada de flujo e inclusiones andesíticas (Godoy et al., 2018).

Mediciones en sus lavas indican una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 325 ± 8 ka (Godoy et al., 2017) y una edad K/Ar de 300 ± 100 ka (Seelenfreund et al., 2009).

- *Unidad Laguna (Pla)*

Está compuesta de lavas con textura de autobrechas y depósitos piroclásticos, los que están principalmente distribuidos a lo largo del flanco noroeste del volcán, disponiéndose sobre las unidades Malku, Los Gordos, Las Lenguas, Las Negras, y Viscachas. Basándose en su morfología y extensión se estimó un volumen máximo de $9,6 \text{ km}^3$ para esta unidad, mientras que su composición es dacítica (Godoy et al., 2018). Respecto a su edad, un nuevo análisis geocronológico entregó una edad de 169 ± 5 ka.

- *Unidad Llareta (Pll)*

Incluye lavas lobuladas que fueron producto del último cráter activo, las que fluyeron hacia los flancos noreste y suroeste del volcán. El flujo noreste se extiende por sobre 8 km, mientras el suroeste alcanza distancias de hasta 10 km. Ambos se superponen a las unidades Las Lenguas, Las Negras, Viscachas, y Laguna, con un espesor de hasta 40 m y textura de autobrechas. En base a estos datos, se estimó un volumen de $5,0 \text{ km}^3$ para esta unidad, mientras que su composición química varía de andesitas a dacitas (Godoy et al., 2018). Adicionalmente, bombas piroclásticas de hasta 2 m de largo cubren estos flujos lobulados y constituyen la última actividad del volcán Paniri (Francis y de Silva, 1989; de Silva y Francis, 1991).

Finalmente, los datos geocronológicos publicados para esta unidad indican edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 150 ± 6 ka, 164 ± 3 ka, y 264 ± 99 ka (Godoy et al., 2017).

- *Historia evolutiva*

El estratovolcán Paniri está constituido por dos conos, presentando cuatro etapas principales de evolución (figura 6). En orden cronológico estas son (I) Escudo tipo plateau; (II) Edificio Principal; (III) Cono Viejo; y (IV) Cono Joven (Godoy et al., 2018).

- *Etapa I - Escudo tipo plateau (> 800 ka)*

Constituida por las unidades Malku y Los Gordos. Corresponde a la erupción de lavas andesíticas a dacíticas, y flujos piroclásticos andesíticos a dacíticos, formando una morfología tipo plateau debido a la alta erosión y las bajas pendientes que afloran principalmente en el flanco norte del volcán, aunque esta especie de cono ancestral con forma de escudo se encuentra bajo los flujos de lava de unidades subsecuentes (Godoy et al., 2018).

Las lavas de las unidades de esta etapa tienen razones isotópicas de Sr bastante similares, las que sugieren que el magma evolucionó a través de un proceso de cristalización fraccionada. Además, la edad mínima de construcción del Paniri, que corresponde a los $1,39 \pm 0,28$ Ma es similar a las edades de los flujos inferiores de los volcanes Toconce y Cerro del León obtenidas por Baker y Francis (1978), Seelenfreund et al. (2009), y Godoy et al. (2017), lo que sugiere que el comienzo de esta etapa eruptiva coincide con el comienzo de la historia eruptiva de la SPLVC (Godoy et al., 2018).

- *Etapa II - Edificio Volcánico (800-400 ka)*

Fue construida por la erupción de lavas y flujos piroclásticos de las unidades Las Lenguas los flujos aislados de la Unidad Las Negras. Cabe mencionar que hay diferencias composicionales entre ambas unidades. Son los flujos de la Unidad Las Negras los menos diferenciados de todo el edificio volcánico, y constituyen las únicas lavas donde destacan fenocristales de olivino. Esto, junto a características geoquímicas como un mayor contenido de Ni, un mayor #Mg, y una baja razón $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sugieren una disminución en el grado de contaminación cortical durante la erupción de la Unidad Las Negras (~400 ka) (Godoy et al., 2018).

- *Etapa III - Cono Viejo (400-250 ka)*

Corresponde a la construcción del cono reconocido al SE del edificio volcánico, el que está caracterizado por las lavas de la Unidad Viscachas. La composición isotópica de sus muestras ilustra un incremento de la razón de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ con la diferenciación, lo que indica que la evolución de esta unidad fue controlada principalmente por procesos AFC (Godoy et al., 2018).

- *Etapa IV - Cono Joven (250-100 ka)*

Corresponde a una migración de sentido noroeste del cráter, estando caracterizada por la construcción de dos cráteres (Cráter II y III, figura 6), dando lugar a la Unidad Laguna. Luego de esto un nuevo cráter generó los flujos de la Unidad Llareta (Godoy et al., 2018). Un pequeño cono de escoria identificado en la cima del volcán corresponde al último evento eruptivo del volcán Paniri (Francis y de Silva, 1989).

- *Evolución a través de la geoquímica*

La composición isotópica de las muestras de las unidades Laguna y Llareta muestran una relación prácticamente lineal entre la razón $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y el SiO_2 (wt. %) y Sr (ppm), lo que lleva a concluir que la cristalización fraccionada es el proceso principal que controló la evolución de las lavas formadas durante esta etapa (Godoy et al., 2018). Finalmente, la Unidad Llareta preserva estructuras de flujo (ogives y levées) que también han sido reconocidos en lavas de edades similares producidas en el volcán San Pedro y el cono de escoria La Poruña (100-160 ka; Wörner et al., 2000; Bertin y Amigo, 2015; Delunel et al., 2016; Sellés y Gardeweg, 2017).

De este modo, la historia eruptiva del volcán Paniri se resume en una erupción de flujos de lava y flujos piroclásticos durante más de 1 Ma. Dichos productos dieron lugar al volcán en cuatro etapas bien marcadas, donde se puede observar un amplio rango composicional de lavas, las que varían desde andesitas basálticas a riolitas (Godoy et al., 2018).

Respecto a la composición isotópica, las razones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varían entre 0,7070 hasta 0,7075, lo que sumado a la reproducción de modelos de cristalización

fraccionada con asimilación (AFC) indica que la contaminación de magmas primitivos generados por la fusión parcial de la corteza corresponde a la primera etapa de la evolución magmática del volcán. Posteriormente, ocurrió un proceso de cristalización fraccionada de magmas primarios en los productos que estaban menos contaminados corticalmente, como, por ejemplo, la Unidad Las Negras. Bajo este escenario predominó la cristalización de plagioclasa + piroxeno \pm hornblenda, y plagioclasa + olivino \pm piroxeno. La contaminación cortical se generó en niveles someros (<20 km), mientras que los procesos de cristalización fraccionada predominaron en reservorios emplazados a profundidades incluso más someras (\pm 7 km) (Godoy et al., 2018).

Finalmente, cabe recordar que la evolución magmática del volcán Paniri es similar a la de la SPLVC, contando con contaminación cortical de corteza superior parcialmente fundida asociada a la interacción con el APMB. Además, se debe considerar que junto al volcán San Pedro representan la última etapa evolucionaria de la SPLVC. Su última actividad ocurrió, a más tardar, hace \sim 100 ka, ya que ocurrió antes de la erupción de la Dacita Chao (89 ka) y el domo dacítico Chillahuita, que son considerados como parte de un sistema volcánico diferente. Esto implica que el volcán Paniri ha permanecido inactivo durante el Holoceno, y que tiene una relación directa con el volcanismo Pleistoceno en el APVC (Godoy et al., 2018).

- *Cuerpos magmáticos subyacentes*

En el modelo presentado por Kühn et al. (2018), dos anomalías conductivas fueron observadas en la parte este de la zona de estudio de Mancini et al. (2019) a profundidades de 7 km, donde la anomalía dispuesta más al norte yace bajo los complejos Paniri y Lavas de Chao, lo que es consistente con la anomalía C1 encontrada en Mancini et al. (2019) bajo el volcán Paniri, de una profundidad de 4-7 km.

Sin embargo, la anomalía C1 corresponde, probablemente, a un ascenso de fluidos magmáticos más que a una cámara magmática o un conducto dispuesto directamente bajo el edificio volcánico del volcán Paniri. Esto es por la particularmente baja resistividad eléctrica en la parte superior de la anomalía, lo que solo podría ser explicado por fluidos salinos de origen magmático y/o meteórico (Comeau et al., 2015). Estructuras similares han sido observadas bajo el volcán Lastarria (Díaz et al., 2015), el que posee una anomalía conductiva con valores similares de resistividad eléctrica (5-10 Ωm) a profundidades similares (6-8 km), actuando como una fuente de calor para sistemas hidrotermales y fumarolas someras (Mancini et al., 2019).

Finalmente, la profundidad de cristalización obtenida acorde a estudios de termobarometría es 7-20 km (Godoy et al., 2018), lo que es consistente con la disposición espacial de la anomalía C2 (techo, 5 km profundidad; base, 13 km de profundidad), por lo que se descarta que C2 pertenezca a la cámara magmática del volcán San Pedro, ya que su profundidad de cristalización esperada es de unos 24 km (Godoy et al., 2014), lo que confirma que C2 correspondería a una cámara magmática asociada al volcán Paniri (Mancini et al., 2019).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Petrografía

Este trabajo implica la descripción petrográfica de secciones delgadas representativas de cada unidad del volcán Paniri, con un microscopio óptico petrográfico Olympus BX51, perteneciente al Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Las fotomicrografías utilizadas fueron tomadas con la cámara *M Shot* a través del software *M Shot Digital Imaging System*, todas utilizando el objetivo 5x.

La elaboración de las secciones fue previa al comienzo de este trabajo, por lo que la labor petrográfica comenzó con la observación de distintas secciones delgadas para cada una de las unidades descritas para el volcán Paniri, seleccionando aquellas que estuvieran sin alteración, con presencia de fases minerales bien desarrolladas, y a la vez fueran más representativas. Esto se hizo basándose en un promedio dentro del porcentaje y tamaño de cristales observados, y de descripciones hechas en estudios anteriores.

Para la decisión también se consideró la geoquímica de roca total asociada a cada una de las muestras desde las cuales se obtuvieron las secciones transparentes observadas. Sin embargo, el factor más importante para la selección de muestras fue considerar aquellas con la mayor cantidad de datos geoquímicos disponibles, tales como datos de elementos mayores, traza, tierras raras (REE) e isotopía radiogénica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) y estables, esto con el fin de enriquecer a dichas muestras con más información para potenciales trabajos futuros o conclusiones complementarias a trabajos ya realizados.

3.2. Microsonda electrónica (EMP)

Un total de seis secciones delgadas fueron enviadas para análisis de elementos mayores por microsonda electrónica Cameca SX100 en las dependencias del Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften de la Albert-Ludwigs-Universität, Alemania (Instituto de Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente de la Universidad Albert Ludwig de Friburgo, Alemania). Los análisis se en piroxenos.

Las muestras enviadas para análisis se resumen en la tabla 2. Los Gordos fue la única unidad donde se realizó el análisis en ambas muestras, mientras que para Llareta solo se consideró una de las dos enviadas.

Tabla 2. Cortes transparentes pulidos enviados a análisis en microsonda electrónica. La muestra PANI 12 12 fue seleccionada como representativa de la unidad Los Gordos, mientras que PANI 16 02 como la de la unidad Llareta.

| Unidad | Muestra(s) |
|-------------|-------------|
| Los Gordos | PANI 14 03 |
| | PANI 12 12 |
| Las Lenguas | PANI 12 06 |
| Las Negras | PANI 16 01 |
| Viscachas | MJL-M27C |
| Laguna | PANI 16 04 |
| Llareta | PANI 16 02 |
| | BG SPL 044A |

Los parámetros utilizados para el análisis con microsonda se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Resumen sobre las especificaciones de operación de la microsonda electrónica durante la medición de las muestras utilizadas en este trabajo.

| | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Corriente | 20 nA |
| Voltaje | 15 kV |
| Cristales usados | Película de carbono 20 nm |
| Tiempo analizado <i>on peak</i> | 20 s |
| Tiempo analizado en <i>background</i> | 10 s |
| Elementos analizados | Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cr |

3.3. Termobarometría

3.3.1. Termobarómetro clinopiroxeno-líquido

- *Consideraciones previas*

Este método de termobarometría se basa en el equilibrio entre una composición de elementos mayores de un líquido determinado y una composición de elementos mayores de clinopiroxeno dada. Este equilibrio, vía ecuaciones permite obtener un valor de presión y temperatura según Putirka (2008), donde para la presión se preserva el valor entregado por la ecuación 30, mientras que para la temperatura se conserva el valor entregado por la ecuación 33. Los motivos para considerar estas y no las demás ecuaciones yace en que han sido las más probadas y que tienen una constante actualización hasta la fecha, por lo que son más confiables que las otras según trabajos similares (e.g., González-Maurel et al., 2019). El cálculo se realiza en base a planillas públicas que iteran el método. Sin embargo, la secuencia de pasos para completar la iteración es más compleja, ya que, en primer lugar, se debe asegurar que los puntos a considerar corresponden efectivamente clinopiroxenos, y en segundo lugar se debe seleccionar la composición de un líquido óptimo, lo que se comprende como aquel que maximiza el número de cristales de clinopiroxeno que se encuentre en equilibrio con él, y que, a su vez, tenga un sentido geológico (i.e., que se encuentre, al menos, dentro de la SPLVC).

Finalmente, cabe mencionar que como el objetivo del trabajo es aplicar termobarometría de piroxenos, la mayoría de los puntos medidos con la microsonda fueron concentrados en cristales de dicho mineral, seleccionando puntos al azar entre ortopiroxenos y clinopiroxenos, por lo que la proporción de puntos entre ambos tipos de piroxeno debería reflejar el porcentaje presente de ellos en cada muestra. Dicho de otro modo, no se tomaron deliberadamente clinopiroxenos en favor de ortopiroxenos, ya que en este trabajo se utiliza un termobarómetro basado en ambos.

- *Tratamiento de la base de datos*

Al recibir la planilla con los datos entregada por el operador de la microsonda electrónica se filtran los puntos que se señalaron como piroxenos, sin distinguir entre clinopiroxenos y ortopiroxenos, porque dicha distinción no viene reportada. Una vez se tienen aislados solo los piroxenos se verifica que cada punto cumple con que la suma total de elementos mayores está en el intervalo $100 \pm 1,5\%$. Luego, para discriminar entre clinopiroxenos y ortopiroxenos se utiliza una planilla de Excel que calcula el porcentaje normalizado de enstatita, ferrosilita, y wollastonita. Se definen como clinopiroxenos todos aquellos cuyo porcentaje de wollastonita es mayor o igual al 5%, lo que permite hacer un conteo de cuántos puntos hay disponibles para cada unidad, y, por ende, el máximo potencial de datos de presión y temperatura para cada una de ellas.

La secuencia previamente descrita se efectúa para cada una de las seis unidades analizadas en este trabajo. No obstante, no siempre se puede trabajar este método con todas las unidades, ya que el objetivo de este es obtener una distribución de profundidades en base a la presión calculada, lo que hace necesario contar con un gran número de puntos, ya que cada uno de estos refleja una composición diferente, estando asociado un dato de presión y uno de temperatura. De este modo, incluso en un caso optimista, es decir, donde los puntos superan todos los filtros de equilibrio, si la dotación inicial de puntos es baja (e.g., $n < 10$), se obtendrá a lo más ese número de datos. Es poco probable obtener una distribución clara de profundidades. Por lo tanto, todas aquellas unidades donde haya menos de 10 puntos válidos se descartan como candidatas a este método.

- *Iteración del método*

Con la base de datos aislando solo los clinopiroxenos se filtran aquellos puntos cuyo número de magnesio ($\#Mg$) se encuentra dentro de un intervalo de $\#Mg$ al que se le dirá $\#Mg_{cpx}$, descartando los que estén fuera. Este intervalo de $\#Mg_{cpx}$ viene determinado por otro $\#Mg$, el que está asociado a una composición química de roca total de una muestra de lava de algún volcán en particular, al que se le dirá $\#Mg_{líquido}$.

El objetivo es encontrar el $\#Mg_{líquido}$ que maximice el número de puntos de clinopiroxeno que estén dentro del intervalo $\#Mg_{cpx}$, idealmente todos los puntos. A priori, se puede intentar probando un $\#Mg_{líquido}$ que cumpla este requisito, pero para

una posterior interpretación geológica del equilibrio entre el líquido y los clinopiroxenos se necesita que sea un $\#Mg_{\text{líquido}}$ que efectivamente exista para alguna lava. De este modo, se prueban $\#Mg_{\text{líquido}}$ en un rango amplio, desde aproximadamente >40 hasta >50 , pero que estén asociados exclusivamente a muestras de lava de volcanes pertenecientes a la SPLVC. Podemos decir que esto constituye un "primer filtro".

Una vez se tienen los puntos que superan el primer filtro, se utiliza una de las planillas públicas del método, donde se fija la composición del líquido seleccionado y se copian las composiciones de clinopiroxenos que superaron el primer filtro para este $\#Mg_{\text{líquido}}$ en particular. Luego, en dicha planilla se copia un conjunto de resultados que se pegan en otra planilla, donde se aplica un "segundo filtro", que es conocido como el de Diópsido-Hedenbergita en la literatura. Superarán este filtro (i.e., están en equilibrio con el líquido) todos aquellos puntos con un valor inferior a 0,01 en dicho ítem según Putirka (2008). Una vez se completa la secuencia de la iteración descrita se copian los datos del código del punto, la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entregada por la ecuación 33, la presión (kbar) entregada por la ecuación 30, y también la profundidad (km), la que es calculada con la ecuación de presión litostática, considerando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ y $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$ según González-Maurel et al. (2019). Estos valores son considerados como válidos, quedando tabulados (ver anexo D).

- *Resumen de los datos*

La iteración del método se repite para cada líquido que se seleccione, desde el primer filtro (intervalo $\#Mg_{\text{líquido}}$), pasando por el segundo filtro (Diópsido-Hedenbergita), hasta llegar a tabular los datos que finalmente son válidos. De este modo, para los clinopiroxenos de una sola unidad se tendrán tantas tablas de resumen como líquidos se hayan probado. Estas tablas dan lugar a una distribución de profundidades, donde se puede observar el intervalo de profundidad donde se concentran más datos, facilitando el trabajo de interpretación, especialmente de manera gráfica.

3.3.2. Termobarómetro de dos piroxenos

- *Consideraciones previas*

Este método de termobarometría se basa en el equilibrio entre una composición de clinopiroxeno y otra de ortopiroxeno (Putirka, 2008). Por lo general se someten a este termobarómetro pares de piroxeno (uno de cada tipo) de los cuales se sospecha que existe un equilibrio, y con una medición de puntos pensada bajo esa perspectiva. Sin embargo, en este trabajo el análisis de la microsonda no fue empleado pensando en esto, por lo que no se sabe, a priori, los puntos que podrían estar en equilibrio. Para resolver esto se decidió realizar todas las combinaciones posibles, es decir, calcular todos los pares matemáticamente posibles entre la totalidad de clinopiroxenos y ortopiroxenos disponibles, algo que no altera los resultados del método, sino que solo deriva en un proceso que toma más tiempo. Esto parece algo menos eficiente, pero no conduce a errores.

- *Tratamiento de la base de datos*

Desde el tratamiento de datos empleado en la metodología del termobarómetro clinopiroxeno-líquido ya se tiene una separación entre los clinopiroxenos y ortopiroxenos para cada unidad. Finalmente, como todas las unidades tienen puntos que corresponden a ambos tipos de piroxeno, entonces este método se puede emplear para todas las unidades, a diferencia del anterior, el que depende solo de la cantidad de puntos de clinopiroxeno.

- *Iteración del método*

Utilizando la planilla de Excel pública de Putirka (2008) para emplear este método, se copian todas las composiciones de ortopiroxeno en las celdas indicadas en esta, donde además se agregó el código de cada punto. Posteriormente, se copia la composición del primer clinopiroxeno de esa unidad, replicando esa composición para todas las celdas, es decir, la composición del clinopiroxeno es constante para todos los ortopiroxenos en cada iteración. Luego de esto, se debe verificar que la opción de cálculo iterativo esté habilitada en el apartado de fórmulas dentro de las opciones de Excel. De todos modos, estas consideraciones técnicas, junto a otras, están especificadas dentro de la planilla misma. Estas consideraciones son claves

para obtener resultados válidos, porque el método se basa en un sistema de ecuaciones que entrega resuelta una ecuación de presión y temperatura a la vez, por lo que se debe especificar cuál ecuación de presión y cuál de temperatura se desea trabajar dentro de las alternativas disponibles. En este caso, se utiliza la ecuación 36 para la temperatura, y la ecuación 39 para la presión. Los números de las ecuaciones son los de Putirka (2008).

- *Temperatura*

La justificación del uso de la ecuación 36 en desmedro de la 37 yace en que esta última entrega resultados más precisos que la primera siempre y cuando se consideren exclusivamente datos asociados a sistemas ricos en magnesio, lo que se define como sistemas con pares clinopiroxeno-ortopiroxeno tal que $\#Mg_{cpx} > 75$, algo que no se cumple para el grueso de los datos utilizados en este trabajo. En los histogramas de la figura 12 (b) se puede apreciar que, si bien el $\#Mg_{cpx}$ se concentra en torno a 75, son pocos los datos que superan estrictamente dicho valor. Por lo tanto, si se utilizan solo estos datos el número de potenciales pares para implementar el método disminuyen drásticamente, lo que se deduce puede influir en la calidad de los resultados. De esta forma, para aprovechar la gran cantidad de potenciales pares en equilibrio decide utilizar la ecuación 36 para calcular la temperatura, ya que al considerar todo el espectro de $\#Mg_{cpx}$ disponible es incluso más precisa que la ecuación 37 cuando se incluyen todos los datos. Esta última es conveniente siempre que no incluya pares clinopiroxeno-ortopiroxeno tal que $\#Mg_{cpx} < 75$ (ver Putirka, 2008).

Respecto a la presión, se utiliza la ecuación 39 porque es la única de las disponibles que es dependiente de la temperatura. Las especificaciones del método, y la herramienta que calcula los datos requiere solucionar un sistema de ecuaciones entre P y T, por lo que al ser la otra ecuación de presión (ecuación 38) independiente de la temperatura no sirve para este fin.

- *Presión*

Respecto a la obtención del resultado, dentro del mismo archivo, y en una nueva hoja se copia el código de los ortopiroxenos, los datos obtenidos por la ecuación 36 y la 39, y también el resultado de un test de equilibrio basado en el intercambio de Fe-Mg. El método valida como datos de presión y temperatura aquellos donde este valor, llamado $K_{D(Fe-Mg)}$ está en el intervalo [0,95-1,23], por lo que se aplica un filtro a todos los datos obtenidos. Los que se obtienen los valores de presión y temperatura a considerar como válidos. Como en el otro termobarómetro utilizado, se calcula una profundidad utilizando la ecuación de presión litostática bajo las mismas condiciones, aplicando un segundo filtro para datos que, si bien cumplen con el filtro de equilibrio, entregan valores de profundidad negativos, excluyéndolos así de forma automática. Finalmente, este proceso se repite para cada composición de clinopiroxeno de la unidad, ya que la iteración se da fijando este parámetro. Por lo tanto, se crean tantas planillas como datos de clinopiroxenos se tengan dentro de la unidad. De este modo, se copian en una planilla final todos los datos válidos obtenidos, agregando una nueva columna que indica el clinopiroxeno asociado a cada dato. Esto constituye el resultado final de este termobarómetro, lo que establece así los pares en equilibrio.

- *Resumen de los datos*

La iteración del método se repite para cada una de las unidades estudiadas, por lo que es un proceso estándar y cuyo resultado es único para cada unidad. Finalmente, se obtienen múltiples datos de presión, temperatura, profundidad, y los pares que están en equilibrio según el filtro utilizado por el método.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

4.1. Petrografía

A continuación, se describen las características generales para cada una de las muestras seleccionadas en este trabajo.

4.1.1. Unidad Los Gordos (Pg)

Se consideró como representativa de esta unidad a la sección transparente obtenida a partir de la muestra PANI 12 12. Sin embargo, no se cuenta con la descripción petrográfica detallada de esta porque la sección no estuvo disponible en el período en el cual se describieron las demás. Por lo tanto, se realiza la descripción petrográfica de la muestra PANI 14 03, que también es considerada representativa de la unidad.

La muestra exhibe una textura porfírica (38% vol. de fenocristales), con una asociación mineral que consiste en plagioclasa, ortopiroxeno, y clinopiroxeno. La masa fundamental (62% vol.) consiste en vidrio con escasos microlitos de plagioclasa y piroxeno (<0,2 mm) apenas distinguibles. La plagioclasa (27% vol. fenocristales) se da como fenocristales hasta 1,4 mm, euhedrales a subhedrales, los que tienen un aspecto manchado, en particular con minerales opacos y algunos parches de microcristales de piroxeno e inclusiones vítreas. Destaca una alta presencia de fenocristales de plagioclasa con aspecto fracturado. También existe otra población de plagioclasas con formas más esféricas y con bordes redondeados que por lo general están en contacto con clinopiroxenos y ortopiroxenos, a diferencia de las fracturadas.

Los fenocristales de ortopiroxeno (6% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales predominando estos últimos, alcanzando tamaños de hasta 0,8 mm, los que destacan por estar acompañados de minerales opacos, presentar fracturamiento, y bordes difusos. Predominan tamaños en torno a los 0,5 mm y se dan en contacto con plagioclasas. Los fenocristales de clinopiroxeno (3% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, y alcanzan tamaños de hasta 0,6 mm.

Sus bordes son más definidos y suelen exhibir su sección longitudinal, predominando los subhedrales. En general existen pocos cúmulos cristalinos, los que están compuestos por plagioclasa + ortopiroxeno ± clinopiroxeno, acompañados de minerales opacos (2% vol. total), que son de formas cuadradas a rectangulares, no superando los 0,4 mm de diámetro como se ve en la figura 7.a-1.

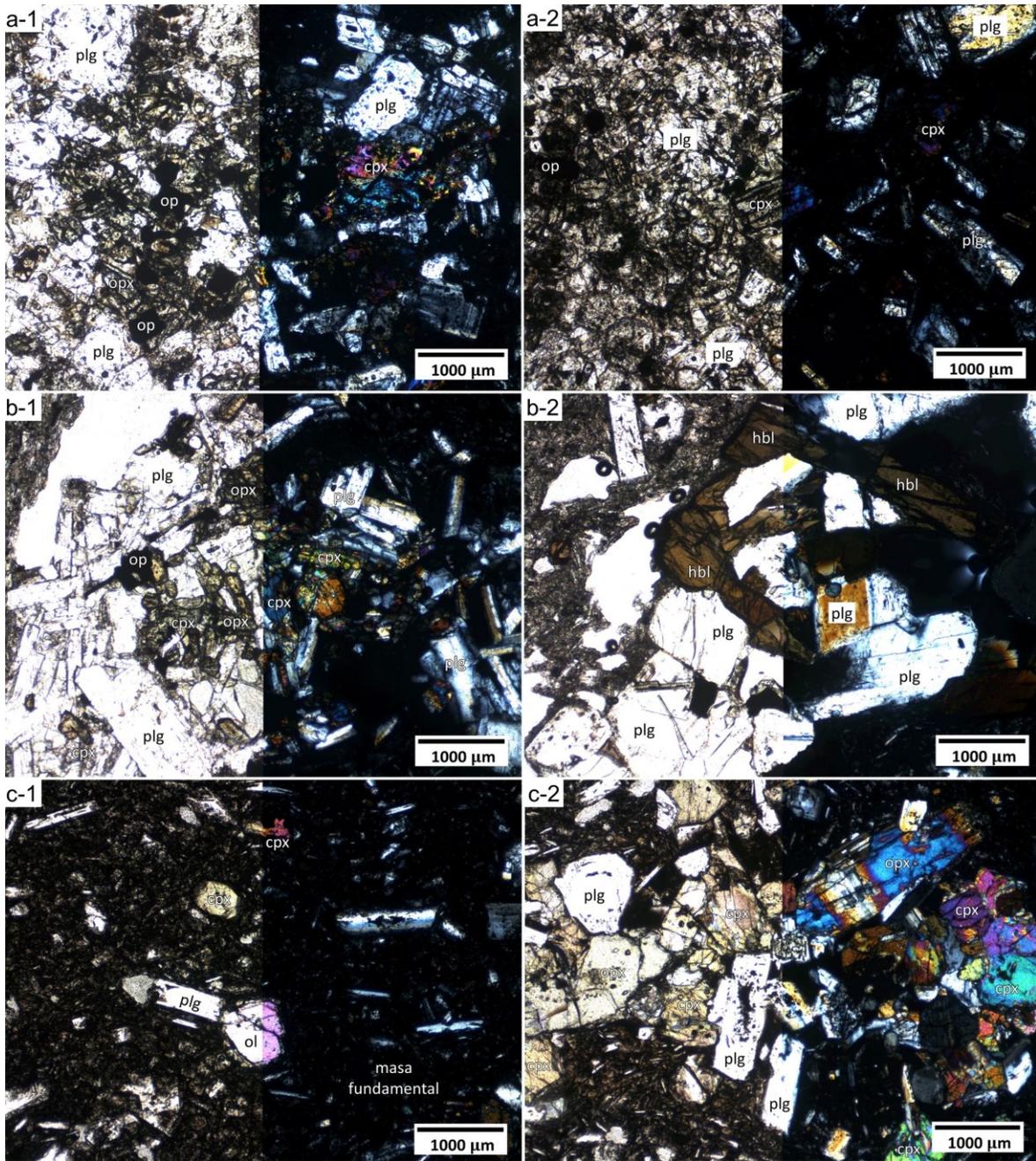


Figura 7. Microfotografías de los cortes transparentes descritos para cada las primeras tres unidades del volcán Paniri tanto a nícoles paralelos (mitad izquierda de cada imagen) como a nícoles cruzados (mitad derecha de cada imagen). a) PANI 14 03 - Unidad Los Gordos; b) PANI 12 06 - Unidad Las Lenguas; c) PANI 16 01 - Unidad Las Negras. Los números 1 y 2 distinguen dos imágenes distintas para la misma muestra, con el fin de dar mayor representatividad.

4.1.2. Unidad Las Lenguas (Ple)

Se consideró como representativa de esta unidad a la sección transparente obtenida a partir de la muestra PANI 12 06.

La muestra exhibe una textura porfírica (35% vol. de fenocristales), con una asociación mineral que consiste en plagioclasa, ortopiroxeno, hornblenda, clinopiroxeno, y biotita. La masa fundamental (65% vol.) consiste en microlitos de plagioclasa (<0,2 mm) incipientemente orientados con material vítreo en sus intersticios. La plagioclasa (21% vol. fenocristales) se da como fenocristales de hasta 1,4 mm, euhedrales a subhedrales principalmente alargados, destacando bordes más redondeados y difusos. En algunos ejemplares se observan concavidades asociadas a textura de reabsorción. Predominan fenocristales con patrones de zonación concéntrica.

Los fenocristales de ortopiroxeno (5% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, alcanzando tamaños hasta 0,6 mm, mientras que los fenocristales de clinopiroxeno (2% vol. fenocristales) alcanzan tamaños de hasta 0,4 mm. Tanto ortopiroxenos como clinopiroxenos se dan mayoritariamente en pequeños cúmulos poliminerales de plagioclasa ± ortopiroxeno ± clinopiroxeno, quedando estos últimos subordinados a pequeños dominios dentro de los cúmulos. Son menos frecuentes que los ortopiroxenos. La extensión de los piroxenos en estos cúmulos no supera los 0,4 mm para los fenocristales más grandes, dándose los mayores tamaños en fenocristales más bien aislados, especialmente para los ortopiroxenos. Los fenocristales de hornblenda (5% vol. fenocristales) son euhedrales a subhedrales, dándose principalmente en secciones basales con su clivaje diagnóstico bien marcado y bordes ampliamente ennegrecidos. Son redefinidos como oxihornblenda. Se caracterizan por darse como fenocristales aislados, aunque aparecen en algunos cúmulos junto a plagioclasa, tal como se observa en la figura 7.b-2. Su tamaño alcanza hasta los 1,4 mm. La biotita (2% vol. fenocristales) se da de forma escasa con fenocristales subhedrales alargados de hasta 1,8 mm.

4.1.3. Unidad Las Negras (Pn)

Se consideró como representativa de esta unidad a la sección transparente obtenida a partir de la muestra PANI 16 01.

La muestra exhibe una textura porfírica (38% vol. de fenocristales), con una asociación mineral que consiste en plagioclasa, clinopiroxeno, y ortopiroxeno. La masa fundamental (62% vol.) consiste en microlitos de plagioclasa orientados (<0,2 mm) y material vítreo en sus intersticios, destacando zonas donde su coloración es negra, y otras donde es de un tono gris claro. La plagioclasa (19% vol. fenocristales) se da como fenocristales de hasta 1,6 mm, euhedrales a subhedrales, y con patrones de zonación concéntrica y textura sieve, destacando cristales con minerales opacos sobre los núcleos y otros alterados a arcillas. A diferencia de las otras unidades, las plagioclasas son mucho más uniformes, es decir, preservan estas características prácticamente en toda la muestra, conservando sus bordes bien definidos y forma tabular. Existe una población única de ellas.

Los fenocristales de clinopiroxeno (9% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, alcanzando tamaños de hasta 0,7 mm, aunque también destacan ejemplares de secciones basales euhedrales. Los fenocristales de ortopiroxeno (6% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, y alcanzan tamaños de hasta 1 mm. Los fenocristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno abundan en forma de cúmulos cristalinos. Exhiben maclas idénticas a las polisintéticas de la plagioclasa. La mineralogía de los cúmulos es de plagioclasa \pm clinopiroxeno \pm ortopiroxeno. Existen algunos escasos fenocristales de olivino (4% vol. fenocristales) que son subhedrales con forma aproximadamente esférica y con algunas fracturas internas que le distinguen de la mayoría de los piroxenos. Algunos de estos fenocristales presentan un borde de reacción amarillo de poco espesor. El tamaño de estos fenocristales no supera los 0,4 mm. Uno de estos ejemplares se puede apreciar en la figura 7.c-1

4.1.4. Unidad Viscachas (Pv)

Se consideró como representativa de esta unidad a la sección transparente obtenida a partir de la muestra MJL-M27C.

La muestra exhibe una textura porfírica (27% vol. de fenocristales), con una asociación mineral que consiste en plagioclasa, hornblenda, y biotita. La masa fundamental (73% vol.) consiste en microlitos de plagioclasa orientados (<0,2 mm) y material vítreo en sus intersticios. La plagioclasa (17% vol. fenocristales) se da como fenocristales de hasta 3,2 mm, euhedrales a subhedrales, con patrones de zonación concéntrica y textura sieve, destacando algunos fenocristales con bordes difusos y otros en forma de cuña. Los fenocristales de hornblenda (6% vol. fenocristales) son euhedrales a subhedrales. La mayoría son secciones basales que exhiben su clivaje característico, alcanzando tamaños de hasta 1,2 mm, mientras que los fenocristales de biotita (2% vol. fenocristales) alcanzan tamaños de hasta 1,8 mm. Los fenocristales de hornblenda exhiben bordes ampliamente ennegrecidos, y son redefinidos como oxihornblenda. Algunos ejemplares presentan bordes cóncavos y suaves, tal como se aprecia en la figura 8.a-2. El mineral (oxihornblenda) suele estar acompañado de fenocristales de plagioclasa de gran tamaño. También hay presencia de minerales opacos (2% vol. total), que son de formas cuadradas a rectangulares, no superando los 0,4 mm de diámetro como se ve en la figura 8.a-1.

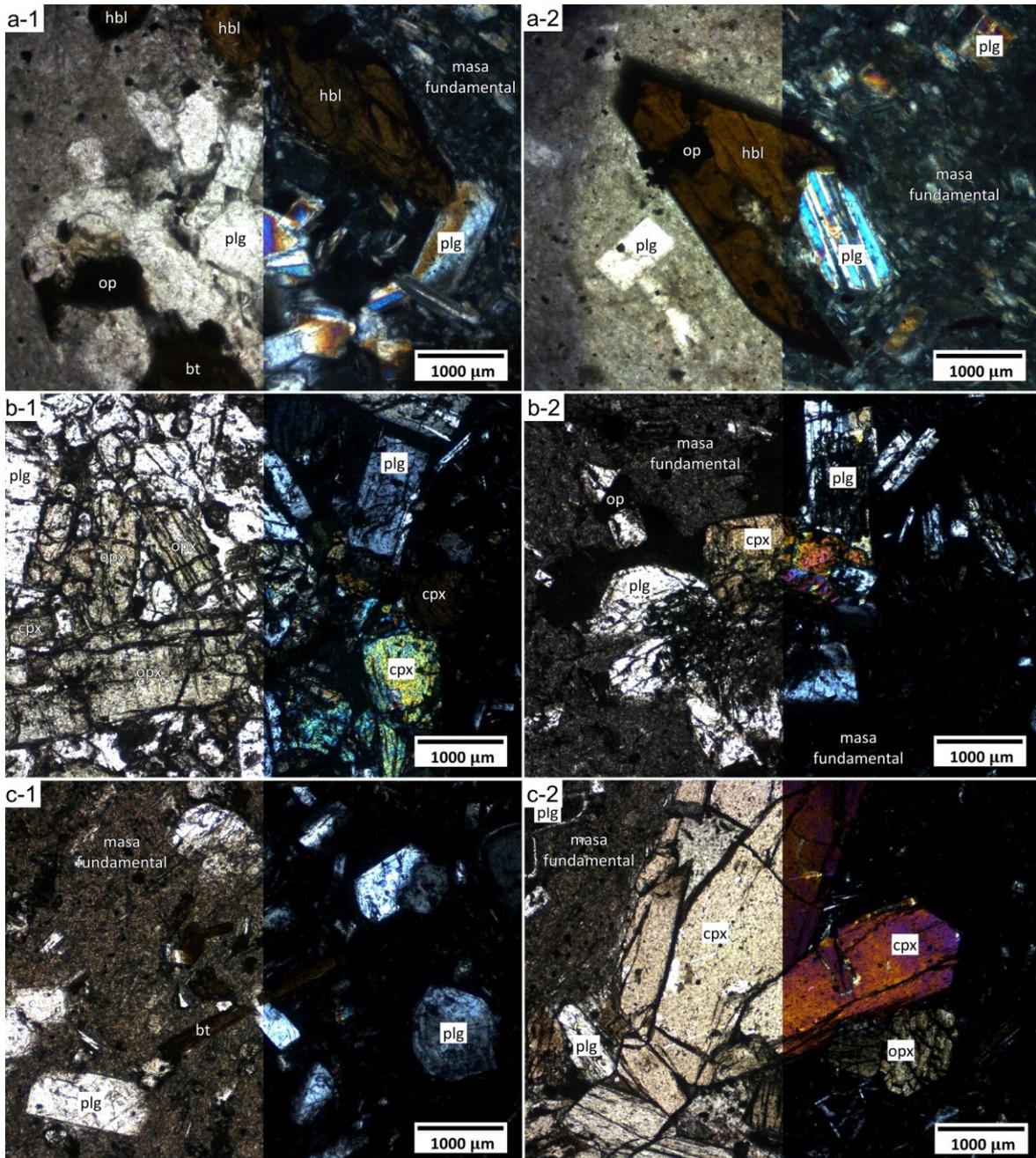


Figura 8. Microfotografías de los cortes transparentes descritos para cada las últimas tres unidades del volcán Paniri tanto a nícoles paralelos (mitad izquierda de cada imagen) como a nícoles cruzados (mitad derecha de cada imagen). a) MJL-M27C - Unidad Viscachas; b) PANI 16 04 - Unidad Laguna; c) PANI 16 02 - Unidad Llaretta. Los números 1 y 2 distinguen dos imágenes distintas para la misma muestra, con el fin de dar mayor representatividad.

4.1.5. Unidad Laguna (Pla)

Se consideró como representativa de esta unidad a la sección transparente obtenida a partir de la muestra PANI 16 04.

La muestra exhibe una textura porfírica (30% vol. de fenocristales), con una asociación mineral que consiste en plagioclasa, ortopiroxeno, y clinopiroxeno. La masa fundamental (70% vol.) consiste en microlitos de plagioclasa y en menor medida de piroxeno (<0,2 mm), con material vítreo en sus intersticios. La plagioclasa (17% vol. fenocristales) se da como fenocristales de hasta 1,8 mm, subhedrales a anhedrales, con dos poblaciones principales: una con textura sieve, destacando núcleos con manchas oscuras y bordes blancos bien definidos, las que son más tabulares. Los otros ejemplares son más fracturados. Existen fenocristales con bordes predominantemente difusos. Adicionalmente, existen algunos fenocristales con borde blanco y un núcleo gris, similar a la masa fundamental.

Los fenocristales de ortopiroxeno (7% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, predominando estos últimos, alcanzando tamaños de hasta 0,8 mm, dándose principalmente en secciones longitudinales y en cúmulos junto a plagioclasa y/o clinopiroxeno. Los fenocristales de clinopiroxeno (5% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, y alcanzan tamaños de hasta 0,8 mm. También suelen exhibir su sección longitudinal, predominando los subhedrales y dándose siempre en contacto con ortopiroxenos y/o plagioclasas. Ambos piroxenos presentan un aspecto fracturado. Así, existe una cantidad y densidad apreciable de cúmulos cristalinos relativo a las otras muestras, los que destacan por el gran tamaño de sus fenocristales, en particular de los piroxenos, donde se concentran algunos minerales opacos (1%), que son de formas cuadradas a rectangulares, no superando los 0,3 mm. Estos cúmulos son de ortopiroxeno \pm plagioclasa \pm clinopiroxeno. Estas características se pueden observar en la figura 8.b-1.

4.1.6. Unidad Llareta (PII)

Se consideró como representativa de esta unidad a la sección transparente obtenida a partir de la muestra PANI 16 02.

La muestra exhibe una textura porfírica (33% vol. de fenocristales), con una asociación mineral que consiste en plagioclasa, ortopiroxeno, y clinopiroxeno. La masa fundamental (67% vol.) consiste en microlitos de plagioclasa y en menor medida de piroxeno (<0,2 mm), con material vítreo en sus intersticios. La plagioclasa (17% vol. fenocristales) se da como fenocristales de hasta 1,4 mm, subhedrales a anhedrales, los que tienen dos poblaciones: una de cristales totalmente blancos, de aspecto fracturado, y de bordes relativamente difusos. La otra población tiene ejemplares con núcleos de tono gris, similar a la masa fundamental, o bien, con bordes de este color gris, pero rodeado por otro borde blanco como el núcleo. En general estos fenocristales tienen bordes nítidos y mejor formados. Predominan fenocristales de plagioclasa de mayor tamaño que en la unidad Laguna, llegando a un tamaño promedio de 0,8 - 1 mm.

Los fenocristales de clinopiroxeno (7% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, y alcanzan tamaños de hasta 0,8 mm. Suelen disponerse de forma dispersa, con bordes difusos, y se dan en los pocos cúmulos a lo largo del corte y por lo general junto a opacos y plagioclasas. Sin embargo, destaca un cúmulo de unos 5 fenocristales prácticamente euhedrales, donde destacan uno o dos de más de 1,5 mm de largo, con bordes bien formados, que también están en contacto con algunas plagioclasas y secciones basales de ortopiroxenos, lo que se ve en la figura 8.c-2. Los fenocristales de ortopiroxeno (5% vol. fenocristales) son subhedrales a anhedrales, predominando los primeros y alcanzando tamaños de hasta 1 mm, los que se dan principalmente en secciones basales, aunque también hay ejemplares de secciones longitudinales. Los minerales se suelen dar en cúmulos de plagioclasa ± clinopiroxeno ± ortopiroxeno.

La biotita (3% vol. fenocristales) exhibe ejemplares que no superan el milímetro de largo, con un ancho inferior a 0,2 mm y distribuidos a lo largo de todo el corte. Esto se puede notar en la figura 8.c-1. También se observa un único fenocristal de una sección longitudinal de hornblenda, con un tamaño de 2,2 mm de largo y 0,8 mm de ancho, con uno de sus bordes con indicios de alteración. Este está en contacto con un fenocristal de plagioclasa y una sección basal de otro fenocristal de hornblenda.

La muestra presenta una leve disminución en la densidad de cúmulos cristalinos relativo a la unidad Laguna, aunque son de naturaleza similar, con presencia de opacos (1%) de formas cuadradas a rectangulares, no superando los 0,3 mm.

4.2. Geoquímica

4.2.1. Roca total

La base de datos geoquímica contempla distintas muestras para cada una de las unidades del volcán, dentro de las cuales se seleccionaron las descritas en el apartado anterior. Los datos provenientes de los análisis de roca total indican que el espectro composicional de las lavas de volcán Paniri va desde andesitas basálticas hasta las dacitas. En la figura 9 se observa cómo ciertas unidades tienen su rango composicional bien definido, destacando el caso de Las Negras, donde la varianza es extremadamente baja, acotando la composición de todas las muestras exclusivamente a andesitas basálticas. Por el contrario, existen algunas unidades cuyo conjunto de datos es mucho más disperso, como Las Lenguas o Llareta, donde la varianza casi duplica a las de las otras unidades, dificultando identificar una muestra representativa bajo el criterio composicional aun cuando el número de datos disponible es relativamente alto respecto otras unidades (ver tabla 4), por lo que la amplia variedad composicional no se debe a una baja densidad de muestras. En casos como estos se seleccionó aquella muestra con la mayor cantidad de información disponible, con el fin de contar con datos adicionales para potenciales estudios en el futuro, o bien, para complementar lo expuesto en este trabajo.

Tabla 4. Estadística de medidas de tendencia central sobre la geoquímica mineral para cada una de las muestras presentes en el diagrama TAS de la figura 9. Los promedios y medianas corresponden al resultado de considerar el número de muestras señalado entre paréntesis en la columna "Unidad". La columna "Muestra sel." Indica las estadísticas de la muestra considerada como representativa para la unidad correspondiente según la información de la tabla 2.

| Unidad | %SiO ₂ | | | % (Na ₂ O + K ₂ O) | | |
|-------------------|-------------------|---------|--------------|--|---------|--------------|
| | Promedio | Mediana | Muestra sel. | Promedio | Mediana | Muestra sel. |
| Los Gordos (n=4) | 64,41 | 63,57 | 63,52 | 7,11 | 6,98 | 6,95 |
| Las Lenguas (n=8) | 63,10 | 63,28 | 66,55 | 6,75 | 6,89 | 7,31 |
| Las Negras (n=6) | 56,20 | 56,17 | 56,43 | 5,30 | 5,38 | 5,37 |
| Laguna (n=9) | 63,74 | 64,08 | 64,08 | 7,01 | 7,13 | 6,98 |
| Llareta (n=10) | 61,80 | 63,40 | 63,77 | 6,58 | 6,88 | 7,01 |

De este modo, las muestras corresponden a: dacita de piroxeno para la unidad Los Gordos (63,52% SiO₂ y 6,95% Na₂O+K₂O); dacita de piroxeno para la unidad Las Lenguas (66,55% SiO₂ y 7,31% Na₂O+K₂O); andesita basáltica de piroxeno-olivino para la unidad Las Negras (56,43% SiO₂ y 5,37% Na₂O+K₂O); dacita de piroxeno para la unidad Laguna (64,07% SiO₂ y 6,98% Na₂O+K₂O); dacita de piroxeno para la unidad Llareta (63,77% SiO₂ y 7,01% Na₂O+K₂O). Estos datos se pueden consultar en la tabla 4, donde también se puede apreciar el promedio y la mediana por unidad en base a las muestras ilustradas de la figura 9

Tabla 5. Estadística de medidas de dispersión sobre la geoquímica mineral para cada una de las muestras presentes en el diagrama TAS de la figura 9. Los promedios y medianas corresponden al resultado de considerar el número de muestras señalado entre paréntesis en la columna "Unidad".

| Unidad | %SiO ₂ | | % (Na ₂ O + K ₂ O) | |
|-------------------|-------------------|----------------|--|----------------|
| | Varianza | Desv. Estándar | Varianza | Desv. Estándar |
| Los Gordos (n=4) | 3,76 | 1,94 | 0,08 | 0,29 |
| Las Lenguas (n=8) | 9,29 | 3,05 | 0,22 | 0,47 |
| Las Negras (n=6) | 0,24 | 0,49 | 0,07 | 0,26 |
| Laguna (n=9) | 2,18 | 1,48 | 0,20 | 0,44 |
| Llareta (n=10) | 9,10 | 3,02 | 0,39 | 0,63 |

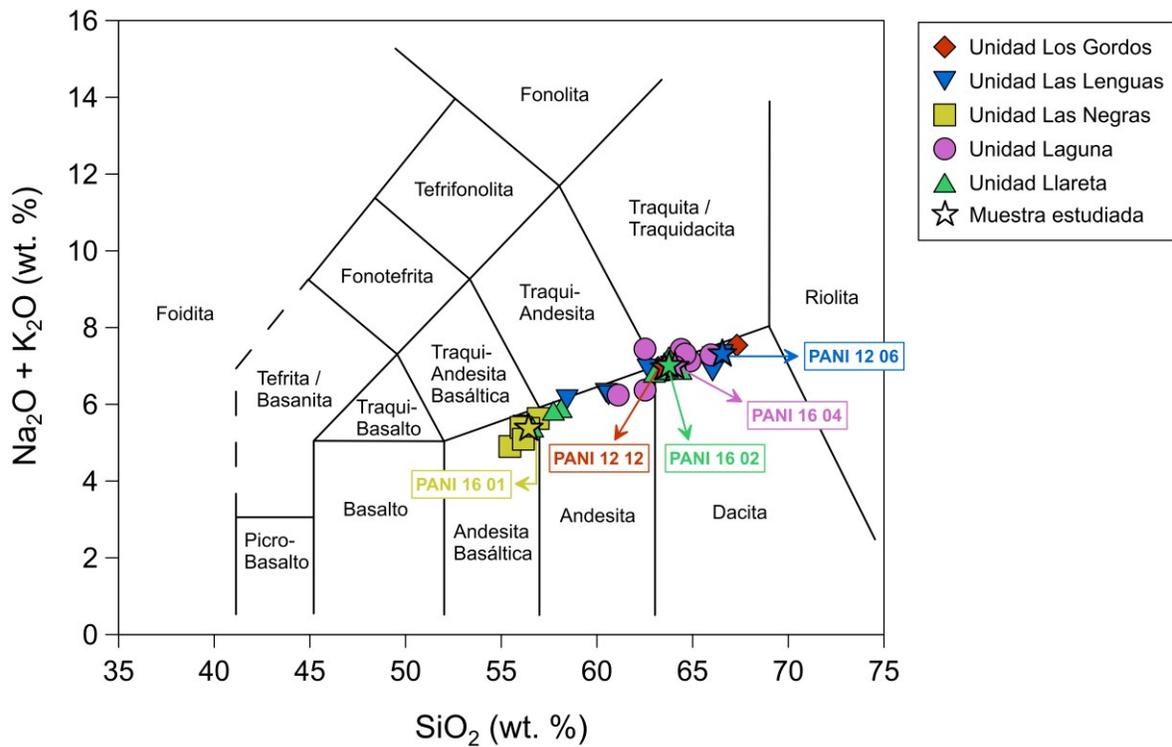


Figura 9. Diagrama TAS para las muestras pertenecientes a la CVSPL existentes en la base de datos geoquímicos trabajada para el presente trabajo. Con una estrella se remarca el punto de cada una de las muestras representativas para cada unidad. La estadística de esta figura se encuentra en las tablas 4 y 5. Unidad Los Gordos - PANI 14 03; Unidad Las Lenguas - PANI 12 06; Unidad Las Negras - PANI 16 01; Unidad Laguna - PANI 16 04; Unidad Llaretta - PANI 16 04.

4.2.2. Piroxeno

- *Clasificación*

Se determinó la composición de diversos puntos en cristales de piroxeno para cada una de las muestras representativas de las distintas unidades del volcán y se graficaron todos los puntos en el diagrama ternario de Morimoto (1988) para piroxenos, resultados que se resumen en la figura 10. En dicha figura se aprecian dos grupos bien marcados. Los clinopiroxenos (cruces) esencialmente augitas, mientras que los ortopiroxenos (rombos) son principalmente enstatitas. Así, se puede decir que en general los clinopiroxenos tienen una composición relativamente homogénea, estando limitados a una zona bien acotada dentro del campo de la augita, cercanos a ser diópsidos, con un rango limitado al 45-55% de enstatita y al 35-35% de wollastonita. Por otro lado, los ortopiroxenos tienen una distribución más dispersa, ya que, si bien su porcentaje de wollastonita es similar para todos, el de enstatita, y por consecuencia el de ferrosilita, presentan un rango más amplio, estando en el intervalo de 60-80% de enstatita.

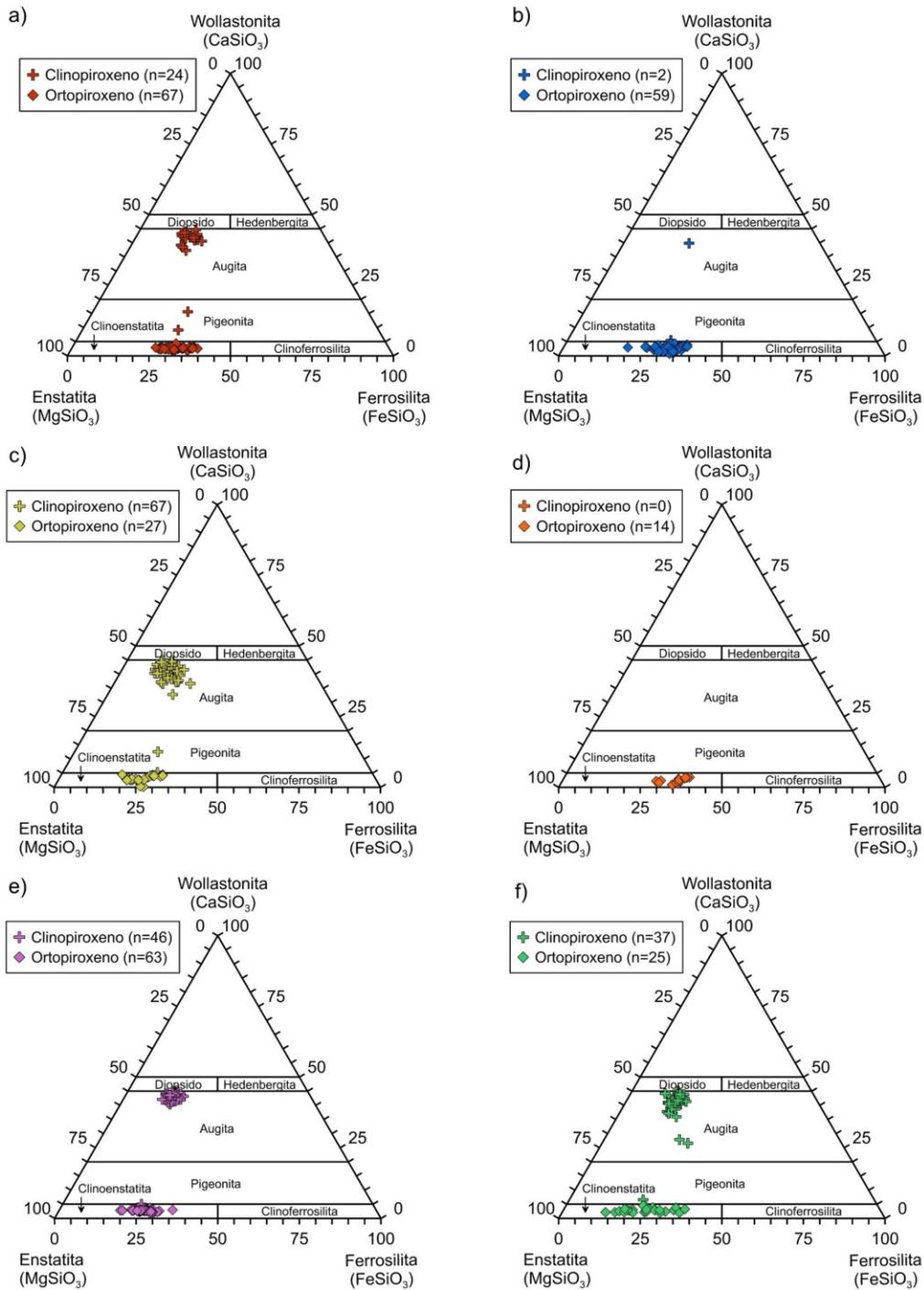


Figura 10. Composición de los clinopiroxenos (según Morimoto 1988) determinados en este estudio para las distintas unidades del volcán volcán Paniri. En paréntesis se señala el número de puntos representados en el gráfico tanto para clinopiroxenos como ortopiroxenos. a) Unidad Los Gordos - PANI 14 03; b) Unidad Las Lenguas - PANI 12 06; c) Unidad Las Negras - PANI 16 01; d) Unidad Viscachas - MJL-M27C; e) Unidad Laguna - PANI 16 04; f) Unidad Llaleta - PANI 16 04.

- *Distribución*

Los "puntos iniciales" corresponden al conjunto inicial de piroxenos medidos por la microsonda, mientras que los "puntos considerados" son aquellos que cumplen con el requisito de que la suma de sus composiciones reportadas en la planilla de la base de datos está dentro del intervalo $100 \pm 1,5\%$. Finalmente, gracias al uso de una planilla adicional se hizo un conteo del número de datos de clinopiroxeno, ortopiroxeno, y su porcentaje respecto al total de puntos considerados. La información para cada unidad se resume en la tabla 6.

Tabla 6. Resumen para la distribución de clinopiroxenos y ortopiroxenos para cada una de las muestras de las unidades del volcán Paniri analizadas por la microsonda electrónica. Se definen como puntos iniciales los entregados en la planilla que están rotulados como piroxenos, mientras que como puntos considerados se definen aquellos cuyo total de elementos mayores está en el intervalo $100 \pm 1,5\%$. #px: número de piroxenos en total; #cpx: número de clinopiroxenos; #opx: número de ortopiroxenos.

| Muestra | Unidad | N° puntos iniciales | N° puntos considerados | N° puntos que son cpx | N° puntos que son opx |
|------------|-------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| PANI 12 12 | Los Gordos | 96 | 91 | 24 (26%) | 67 (74%) |
| PANI 12 06 | Las Lenguas | 61 | 61 | 2 (3%) | 59 (97%) |
| PANI 16 01 | Las Negras | 95 | 94 | 67 (71%) | 27 (29%) |
| MJL-M27C | Viscachas | 14 | 14 | 0 (0%) | 14 (100%) |
| PANI 16 04 | Laguna | 112 | 109 | 46 (42%) | 63 (58%) |
| PANI 16 02 | Llareta | 64 | 62 | 37 (60%) | 25 (40%) |

La Unidad Viscachas no aporta significativamente al conjunto de datos, ya que su sección delgada presentaba una superficie con problemas de pulido, por lo que no fue posible obtener más que tres puntos. Posteriormente, se hizo un análisis similar al de las muestras de las otras unidades, pero no se encontró un número considerable de cristales de piroxeno para calcular composiciones. Cabe mencionar que en esta muestra predominan fenocristales de anfíbol, por lo que aun cuando existan muchos puntos su análisis puede aportar mucho más si se considera un termobarómetro basado en anfíbol, lo que escapa al alcance de este trabajo. Finalmente, en la tabla 6 se puede observar que tanto la unidad Los Gordos como la unidad Las Lenguas cuentan con un número de puntos de clinopiroxeno (n) tal que $n < 10$, por lo que según lo señalado en la metodología también serán unidades excluidas del uso del termobarómetro clinopiroxeno-líquido, aunque dada su gran población de ortopiroxenos sí serán consideradas para el termobarómetro de dos piroxenos. En resumen, la iteración descrita en la metodología del termobarómetro clinopiroxeno-líquido solo será empleada para las unidades Las Negras, Laguna, y Llareta.

Por otro lado, los resultados de la medición de piroxenos son relativamente consistente con las descripciones petrográficas, una comparación que se puede evaluar analizando la tabla 7, donde se descarta a la unidad Viscachas por no tener clinopiroxenos medidos.

Tabla 7. Análisis de la proporción ortopiroxeno/clinopiroxeno (Opx/Cpx) entre los resultados de la descripción petrográfica y los análisis realizados con microsonda (EMP) según lo expuesto en la tabla 6. Los números de la descripción petrográfica corresponden a los porcentajes absolutos de la presencia del mineral en la muestra, mientras que los números del análisis de microsonda son los puntos medidos por la misma identificados como clinopiroxeno y ortopiroxeno en cada caso.

| Unidad | Descripción petrográfica | | | Análisis EMP | | |
|-------------|--------------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|
| | Ortopiroxeno (%) | Clinopiroxeno (%) | Opx/Cpx | Ortopiroxeno (n) | Clinopiroxeno (n) | Opx/Cpx |
| Los Gordos | 6 | 3 | 2,00 | 67 | 24 | 2,79 |
| Las Lenguas | 5 | 2 | 2,50 | 59 | 2 | 29,50 |
| Las Negras | 6 | 9 | 0,67 | 27 | 67 | 0,40 |
| Laguna | 7 | 5 | 1,40 | 63 | 46 | 1,37 |
| Llareta | 5 | 7 | 0,71 | 25 | 37 | 0,68 |

Desde la tabla 7 se observa que, aproximadamente, la correlación entre lo descrito y lo analizado es similar. Sin embargo, existe una amplia diferencia en la unidad Las Lenguas, ya que hay muy pocos puntos identificados como clinopiroxeno. No obstante, en la descripción petrográfica es la proporción más alta entre todas las unidades, por lo que es esperable encontrar pocos clinopiroxenos aptos para mediciones confiables con la microsonda, lo que podría explicar la gran diferencia. Sin embargo, para mejor representatividad de la unidad se debe contar con al menos unos 20 datos más de clinopiroxeno analizados por la microsonda. Finalmente, el resto de las unidades presenta una proporción similar de piroxenos entre su descripción petrográfica y lo medido por la microsonda, por lo que se concluye que el análisis es representativo de la mineralogía de las muestras y por lo tanto no presenta un sesgo considerable para realizar un análisis de resultados.

- *Variación en el #Mg*

Como el #Mg es la clave para uno de los métodos a utilizar es necesario conocer cómo varía este parámetro dentro de los puntos pertenecientes a una misma unidad. Adicionalmente, se hace un estudio de su variación temporal comparando el #Mg entre los conjuntos de datos que representan a cada unidad, ya que todas estas tienen una edad relativa y absoluta, lo que permite, a priori, indicar posibles puntos de inflexión o variaciones que expliquen las distribuciones de profundidad que se espera encontrar. De esta manera, para estudiar la variación de #Mg dentro de una misma unidad se estudian los histogramas (ver figura 12), mientras que para ver de forma más nítida la variación temporal en el #Mg para el volcán Paniri se crea un diagrama de caja y bigotes (ver figura 11).

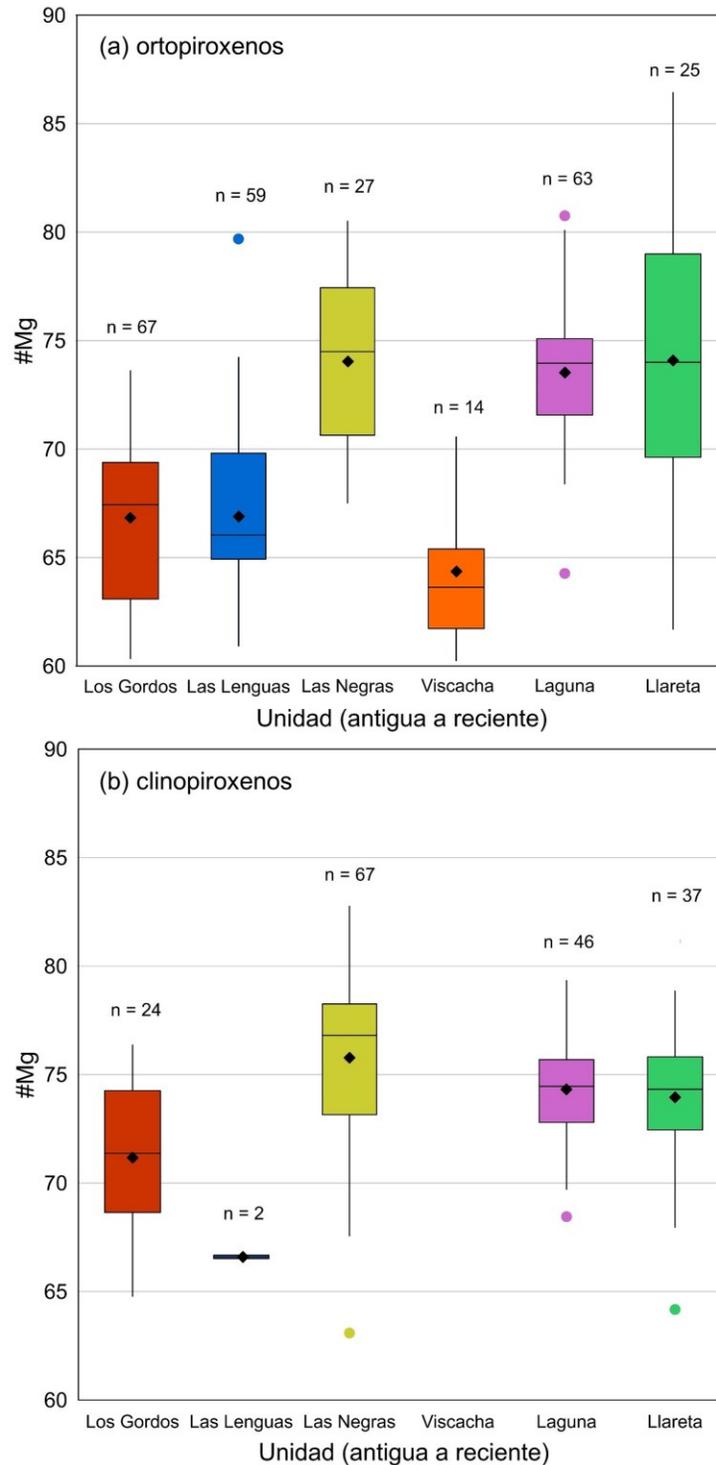


Figura 11. Diagramas de caja y bigote de #Mg para cada una de las unidades estudiadas del volcán Paniri. (a) Distribución de ortopiroxenos. (b) Distribución de clinopiroxenos. Las líneas horizontales dentro de las cajas señalan la mediana del conjunto de datos, mientras que el rombo negro indica el promedio. Los puntos que están fuera de los bigotes son los *outliers*. n: número de puntos considerados. Las figuras están ordenadas de más antigua a más reciente (izquierda a derecha).

La variación en el #Mg en general, tanto de los ortopiroxenos como de los clinopiroxenos indica que este aumenta hacia las unidades más jóvenes del volcán, con excepción de la unidad Viscachas, donde se alcanza el valor mínimo. Cabe mencionar que el número de puntos es un factor importante al momento de considerar el sesgo del conjunto de datos. Por ejemplo, Viscachas es la unidad con un menor número de datos para los ortopiroxenos, y la única unidad sin datos de clinopiroxenos. Considerando esto, si se asume que los datos de la unidad Viscachas no son suficientes o si la muestra realmente carece de representatividad, entonces se puede obviar. Esto permite apreciar un único punto de inflexión situado temporalmente entre la erupción de la unidad Las Lenguas y la unidad Las Negras. En ese punto el #Mg incrementa cerca de 7-8 unidades, pasando de aproximadamente unos 66-67 en las unidades Los Gordos y Las Lenguas, a unos 74-75 desde la unidad Las Negras hacia el presente. De este modo existe una tendencia que mantiene relativamente constante dichos valores entre ambos estados para los ortopiroxenos.

Para los clinopiroxenos el escenario es similar al ya descrito, con la particularidad de que el número de datos es menor para las primeras dos unidades, algo que se acentúa en unidad Las Lenguas, donde solo se cuenta con dos datos. Sin perjuicio de lo anterior, el *trend* es similar al de los ortopiroxenos, con un #Mg de 72 en un comienzo (si se desprecian los dos datos de Las Lenguas), llegando a 77 en la unidad Las Negras, y estabilizándose en 74-75 para Laguna y Llaretá. En este caso los clinopiroxenos marcan una distinción de Las Negras con un #Mg más alto respecto a las dos unidades que le suceden, lo que puede indicar el *peak* de algún evento asociado a esta variación, el que se alcanzaría durante la erupción de la unidad Las Negras. Por otro lado, si bien el *trend* es similar al de los ortopiroxenos, las diferencias numéricas son mucho menores. De este modo existe un rango no superior a 5 unidades de variación. Este aumenta si se considera a Las Lenguas, pero es probable que el escaso número de datos (n=2) pueda corresponder a dos datos puntuales que podrían representar el mínimo, ya que en las otras unidades sí existen datos de clinopiroxenos con #Mg cercano a 67 aun cuando la mediana ronda el valor 72 o superior. Por lo tanto, la presencia de los dos datos en Las Lenguas es útil solo para acotar el rango en el que se podría encontrar la unidad, y es considerado solamente como un dato referencial más que esencial.

Finalmente, si se considerara Viscachas en el análisis se podrían contemplar dos puntos de inflexión: uno es la erupción unidad Las Negras, y otro la erupción unidad Laguna, las que representarían un marcado aumento en el #Mg. Esto se debe corroborar con un mayor número de datos de ortopiroxeno, y con datos de clinopiroxeno. Adicionalmente, hay que considerar que en estos comportamientos es más representativo el gráfico de ortopiroxenos para acentuar la diferencia entre Los Gordos - Las Lenguas con las demás unidades, ya que cuenta con un número robusto de datos relativo al gráfico de los clinopiroxenos, y como este primer gráfico enfatiza un aumento pronunciado en el #Mg en la erupción de Las Negras, entonces es un aspecto estadísticamente considerable en desmedro del de clinopiroxenos. Para concluir, se debe tener en cuenta que la descripción cuantitativa en el texto está hecha en base a la mediana, y no al promedio.

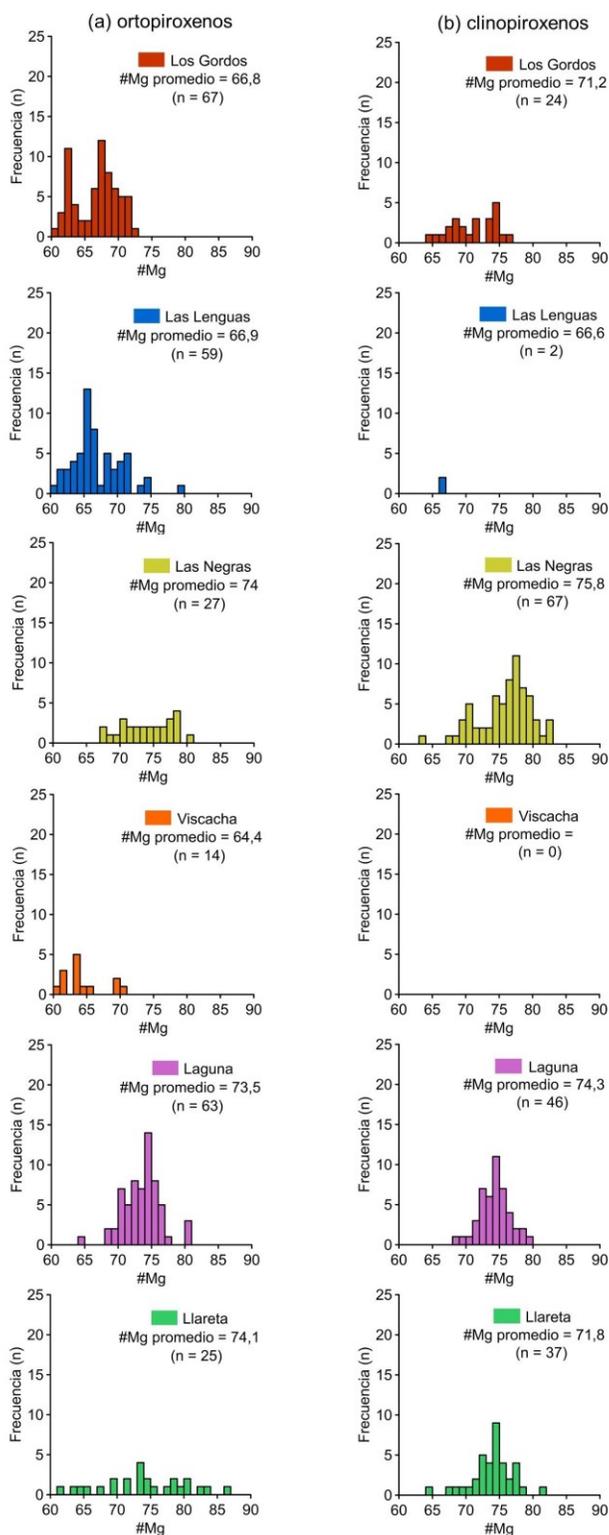


Figura 12. Histogramas de distribución del #Mg para cada una de las unidades estudiadas del volcán Paniri. (a) Distribución de ortopiroxenos. (b) Distribución de clinopiroxenos. n: número de puntos considerados. El promedio señalado coincide con el promedio de la figura 11.

Los histogramas de la figura 12 permiten analizar la dispersión de los datos representados en la figura 11. En ellos se observa que, en general, la dispersión de los datos es similar entre ortopiroxenos y clinopiroxenos asociados a la misma unidad, con un rango que se puede aproximar entre 10 a 15 unidades, aproximadamente. También se aprecia que la unidad Laguna es la que presenta un conjunto de datos menos disperso, y con una distribución aproximadamente normal (relativa a las demás). La distribución es muy similar tanto para ortopiroxenos como clinopiroxenos. Para las demás unidades se puede mencionar que Las Negras y Llaretta también exhiben una distribución aproximadamente normal para sus clinopiroxenos, pero la distribución de sus ortopiroxenos no presenta una moda sobresaliente, algo que se acentúa en los ortopiroxenos de la unidad Llaretta, que es el conjunto de datos más disperso respecto al #Mg. Por lo tanto, los histogramas evidencian una dispersión creciente en cuanto al #Mg de ortopiroxenos hacia el presente, excepto en Laguna. Por el contrario, y a priori debido a los escasos y nulos datos en Las Lenguas y Viscachas, respectivamente, los clinopiroxenos exhiben una dispersión decreciente en el #Mg hacia el presente. No obstante, hay que considerar que los conjuntos de datos más dispersos suelen tener aproximadamente un 50% menos de datos que los menos dispersos, por lo que la cantidad de datos podría ser un factor para considerar para un análisis más detallado.

4.3. Termobarómetro clinopiroxeno-líquido

Dada la metodología de este termobarómetro (ver apartado de metodología), las unidades Las Lenguas y Viscachas quedan fuera de todo análisis. Adicionalmente, la unidad Los Gordos también queda fuera del análisis, ya que si bien contiene un número de datos a priori suficiente ($n=24$), las iteraciones con distintos líquidos condujeron a resultados de pares presión-temperatura que no superaban las 5 a 6 unidades en todos los casos. Esto se consideró insuficiente, ya que este termobarómetro requiere una cierta densidad de puntos para acotar cierta profundidad a la que los clinopiroxenos estarían en equilibrio. También se obtuvieron muchos pares con valores negativos para presión, lo que carece de sentido geológico. De esta manera, solo son estudiadas las unidades Las Negras, Laguna, y Llaretta con este método, es decir, las tres más recientes si se ignora la existencia de Viscachas.

A continuación, se estudian factores que podrían incidir en una variación para las distribuciones de profundidad obtenidas aun cuando se utiliza el mismo conjunto de clinopiroxenos en cada unidad, es decir, se evalúa la sensibilidad de los resultados ante la selección de un líquido que puede variar ampliamente parámetros como su #Mg y su porcentaje de SiO_2 . Cabe mencionar que todos los candidatos a líquido utilizados en el presente trabajo corresponden a muestras tomadas de volcanes pertenecientes a la SPLVC.

4.3.1. Influencia del #Mg

Este parámetro es un factor de primer orden para evaluar el equilibrio entre el conjunto de datos de clinopiroxenos de la unidad y un líquido, ya que implica, en función del $\#Mg_{\text{líquido}}$, un intervalo donde están en equilibrio. Por lo tanto, como primera aproximación se evalúa un rango amplio de $\#Mg_{\text{líquido}}$, comenzando con un intervalo de [39-56] para la unidad Las Negras, y con uno similar para Laguna y Llaretta. Cabe mencionar que se priorizaron líquidos pertenecientes al volcán Paniri, pero también se consideraron algunos de otros volcanes de la SPLVC. De esta manera se acota el rango de $\#Mg_{\text{líquido}}$ que maximiza la cantidad de puntos que supera este primer filtro de equilibrio, el cual es aproximadamente similar para cada una de las tres unidades estudiadas, quedando en aproximadamente 42-46 para Las Negras, Laguna, y Llaretta. Estos rangos corresponden a un primer filtro de equilibrio y se pueden observar en la figura 13.

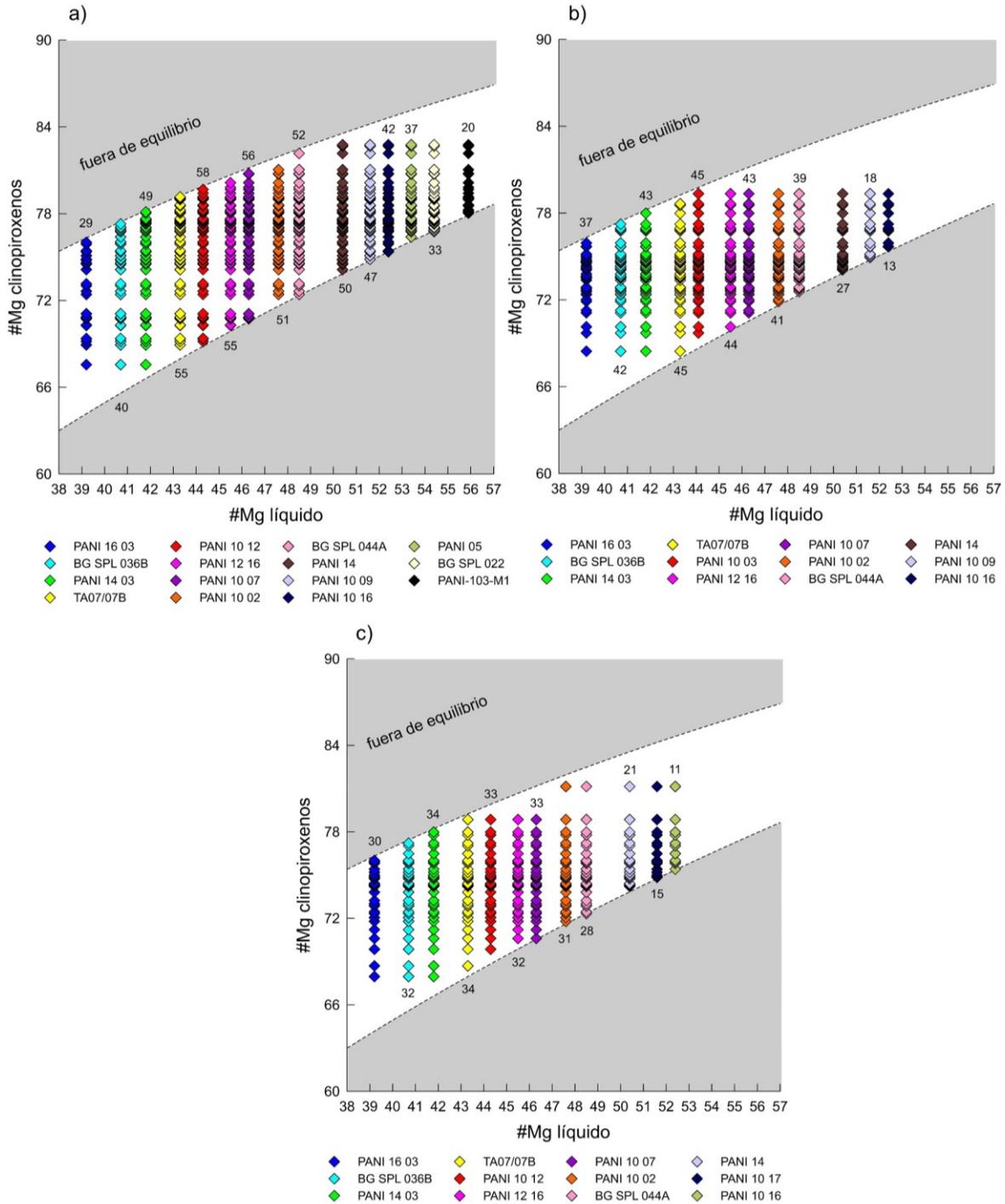


Figura 13. Diagramas que muestran los límites de equilibrio para el #Mg (primer filtro) según el método clinopiroxeno-líquido expuesto en Putirka (2008) para cada uno de los líquidos señalados en la simbología bajo cada diagrama. Cada uno de los diagramas representa una unidad. a) Unidad Las Negras; b) Unidad Laguna; c) Unidad Llaret.

Por otro lado, cabe recordar que existe un segundo filtro químico para el conjunto de datos y el líquido en cuestión (Diópsido-Hedenbergita (Di-Hd)), por lo que se

realizó la iteración del método tanto con los líquidos expuestos en la figura 13 como con los considerados para el rango acotado en base a dicha figura. Para cada una de esas iteraciones se recopilaban los datos del punto, temperatura, y profundidad, tal como detalla la metodología. Con estos resultados se construyó un gráfico (figura 14) donde se estudia cómo varía el porcentaje de puntos que entregan datos de presión y temperatura válidos (i.e. superaron ambos filtros) en función del $\#Mg_{líquido}$ en cuestión.

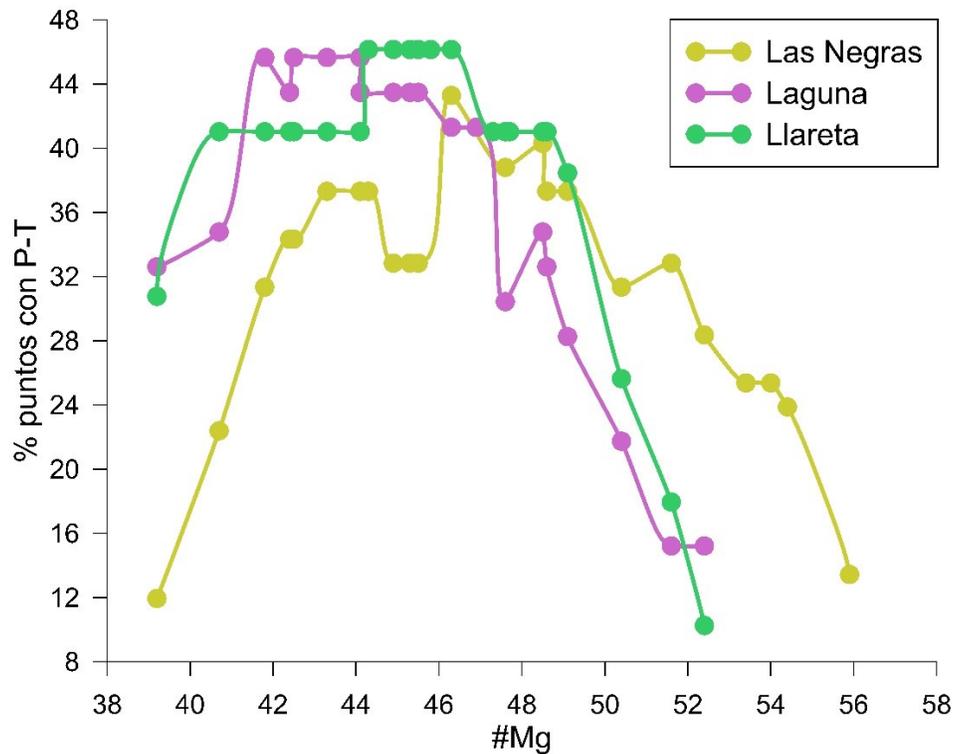


Figura 14. Gráfico de porcentaje de puntos que entregan información de presión y temperatura luego de ser sometidos al termobarómetro clinopiroxeno-líquido en función del $\#Mg_{líquido}$ seleccionado. Cada punto representa una iteración del método, a través de la cual se recopila el número de puntos con datos P-T, lo que permite calcular el porcentaje de puntos con datos sobre el total de puntos iniciales considerados. Cálculos sobre un rango amplio de $\#Mg_{líquido}$.

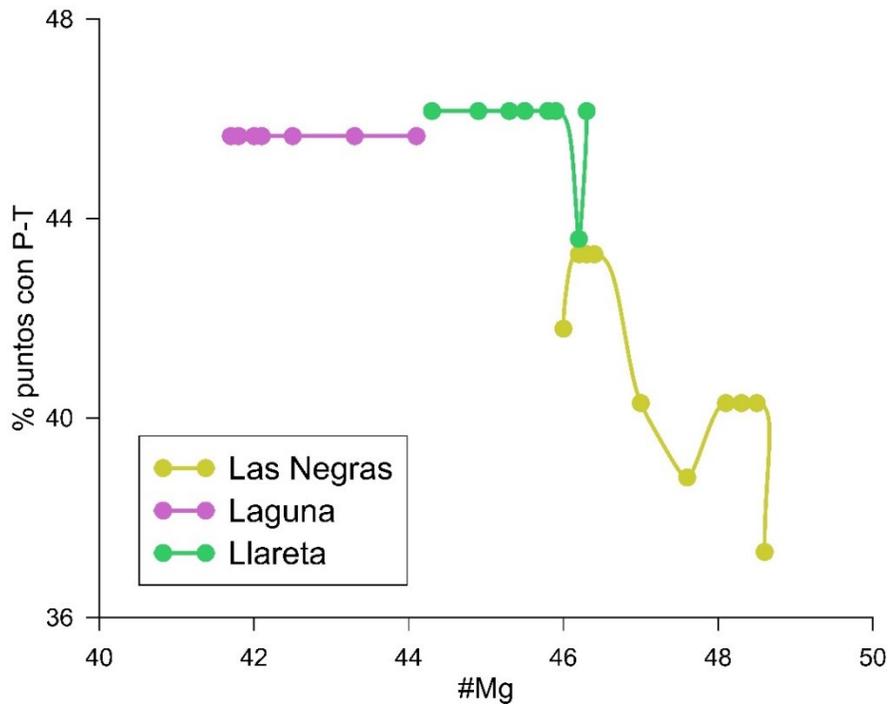


Figura 15. Gráfico de porcentaje de puntos que entregan información de presión y temperatura luego de ser sometidos al termobarómetro clinopiroxeno-líquido en función del #Mg_{líquido} seleccionado. Cada punto representa una iteración del método, a través de la cual se recopila el número de puntos con datos P-T, lo que permite calcular el porcentaje de puntos con datos sobre el total de puntos iniciales considerados. Cálculos sobre el rango acotado y óptimo de #Mg_{líquido} para cada unidad.

La figura 14 es análoga a la figura 13 debido a que indica de forma nítida un intervalo donde el número de pares presión-temperatura es máximo. La diferencia es que la figura 13 indica el potencial número de pares, ya que no han sido sometidos al filtro Di-Hd, mientras que la figura 14 ilustra el porcentaje de pares que efectivamente indican información válida, es decir, presiones y temperaturas positivas. Se construye la figura 14 en base a porcentaje, ya que el conjunto de datos inicial en cada una de las unidades difiere. De este modo se pueden hacer análisis y comparaciones de manera uniforme.

Respecto a la información de la figura 14 se aprecia que las tres unidades presentan un decrecimiento abrupto en el porcentaje de pares P-T a partir de un #Mg_{líquido} igual a aproximadamente 48. Por otro lado, se puede observar que cada unidad alcanza su máximo de pares P-T en intervalos que no coinciden, pero que son sucesivos. Estos son: 46-49 para Las Negras, 41-44 para Laguna, y 44-47 para Llareta. Como

se puede notar, Laguna está en equilibrio con un líquido cuyo $\#Mg$ es relativamente bajo; Llaretá con uno relativamente intermedio; y Las Negras con uno relativamente alto. Esta secuencia en el intervalo del $\#Mg_{\text{líquido}}$ óptimo no está ordenada temporalmente, ya que se pasa del mayor (Las Negras), al mínimo (Laguna), para terminar con el intermedio (Llaretá). Adicionalmente, constituye una diferencia con lo observado en la figura 13, donde los intervalos que maximizan el número de potenciales pares P-T en equilibrio con los líquidos son casi idénticos (42-46). Sin embargo, el resultado de la figura 14 es el determinante para la distribución de profundidades, ya que es resultado de la iteración completa del método.

Finalmente, existe una diferencia entre la unidad Las Negras y las demás, que significa una leve sensibilidad en cuanto al $\#Mg$ del líquido seleccionado dentro del intervalo acotado, la que hace variar en hasta un 5% el número de pares P-T obtenido, lo que en número significan aproximadamente dos pares de diferencia. Esto no ocurre para Laguna y Llaretá, ya que dentro del intervalo acotado mencionado la variación es prácticamente nula (figura 15).

4.3.2. Influencia del $\%SiO_2$

Un potencial factor que podría variar los resultados de profundidad para cada una de las unidades es el porcentaje de sílice del líquido. Para esto se realizaron iteraciones del método con distintos líquidos, desde los menos hasta los más diferenciados dentro de la base de datos y que pertenecen a la SPLVC, y cuyo $\#Mg$ está dentro de los intervalos definidos a partir de la figura 14 para cada una de las tres unidades. Para la unidad Las Negras es 46-49; para la unidad Laguna es 41-44; y para la unidad Llaretá es 44-47. Se utilizan intervalos porque la base de datos disponible no contiene un espectro amplio de $\%SiO_2$ con un $\#Mg_{\text{líquido}}$ exactamente constante, por lo que se trabajó con el espectro composicional ($\%SiO_2$) más amplio posible y que, a su vez, difiera lo menos posible en el $\#Mg_{\text{líquido}}$, quedando dentro de los intervalos mencionados para cada unidad. Los resultados se presentan en la figura 16.

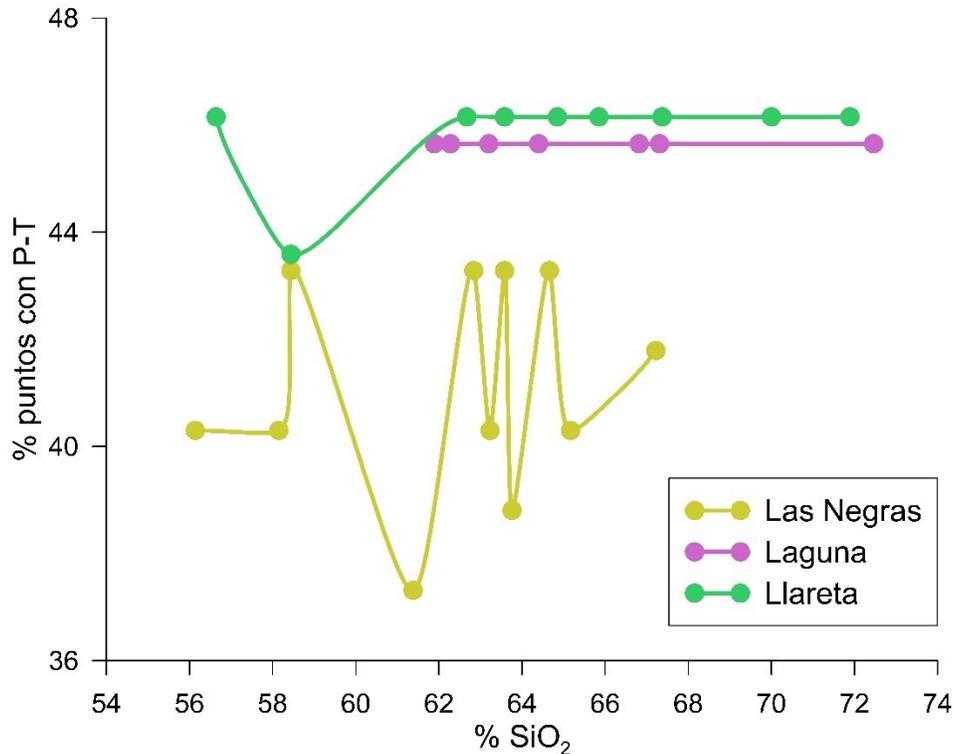


Figura 16. Gráfico de porcentaje de puntos que entregan información de presión y temperatura luego de ser sometidos al termobarómetro clinopiroxeno-líquido en función del % SiO₂ del líquido en cuestión. Se utilizaron líquidos con un #Mg_{líquido} dentro del rango óptimo para cada unidad.

La figura 16 ilustra un patrón relativamente constante para la unidad Llareta, mientras que ilustra uno casi idéntico para Laguna, por lo que se puede observar que el porcentaje de sílice no es un factor que determina la calidad de los datos obtenidos. Se comprende como calidad el número de pares P-T obtenidos. No obstante, para la unidad Las Negras la situación varía, ya que existe un comportamiento oscilatorio de la curva en la figura 16, es decir, no existe una relación clara entre el porcentaje de sílice y el porcentaje de pares P-T obtenidos tanto para las unidades Laguna como Llareta, pero sí una sensibilidad, ya que hay una variación evidente. Sin embargo, la variación no supera el 8%, es decir, 3 pares P-T. Esto sugiere que hay ciertos valores de #Mg_{líquido} óptimos para esta unidad, lo que permite obtener unos pocos pares P-T adicionales, los que a priori permitirían obtener una distribución de profundidades más nítida. No obstante, se debe contemplar que falta evaluar cómo el porcentaje de sílice incide en la distribución de profundidades, que es lo que se utiliza para la interpretación, lo que es más relevante que el número de datos obtenidos.

4.3.3. Distribución de profundidades

El principal resultado del termobarómetro clinopiroxeno-líquido es un diagrama que ilustra una distribución de profundidades, las que se calculan con los datos de presión obtenidos a partir de la iteración del método. Cada líquido representa una distribución de profundidad, a priori, única dada un conjunto de datos de clinopiroxenos. De esta forma, el análisis se separa por unidad, variando exclusivamente el líquido en cuestión. En base a los resultados de los apartados anteriores los candidatos se han acotado a un intervalo de $\#Mg_{\text{líquido}}$ reducido. Además, si se tiene en cuenta que el número de pares P-T obtenidos se ha maximizado, se seleccionan 5 candidatos para cada unidad (6 en el caso de Llaretá), donde la mayoría pertenece al volcán Paniri, pero también hay presencia de líquidos de otros volcanes de la SPLVC. Esto se hace con el fin de disponer de un repertorio de líquidos con amplias variaciones en parámetros entre ellos, como, por ejemplo, el $\%SiO_2$. Esto permite analizar si la variación de este factor afecta el resultado de la distribución de profundidades o no.

El diagrama de distribución de profundidad consta de un gráfico donde el eje vertical corresponde a la frecuencia o número de datos, mientras que en el eje horizontal se señala la profundidad (km) a la que está este número de datos. Es importante considerar que está hecho en base a intervalos. Por ejemplo, la profundidad 10 km acumula todos los datos que se encuentran en el intervalo $[9, 10[$ km. Las curvas de distribución son bastante similares dentro de cada unidad, independientemente del líquido utilizado, lo que fue considerado como criterio de selección de candidatos.

Lo anterior quiere decir que en caso de que una distribución fuera muy similar a otra se descarta si presenta *peaks* con menor frecuencia, o en el caso de que ambas fueran idénticas se considera la que tenga una característica distinta a la mayoría. Por ejemplo, ser de otro volcán de la SPLVC o tener un $\%SiO_2$ más alto o más bajo que el promedio es una característica distintiva. A continuación, se presentan los resultados para cada unidad.

• **Unidad Las Negras**

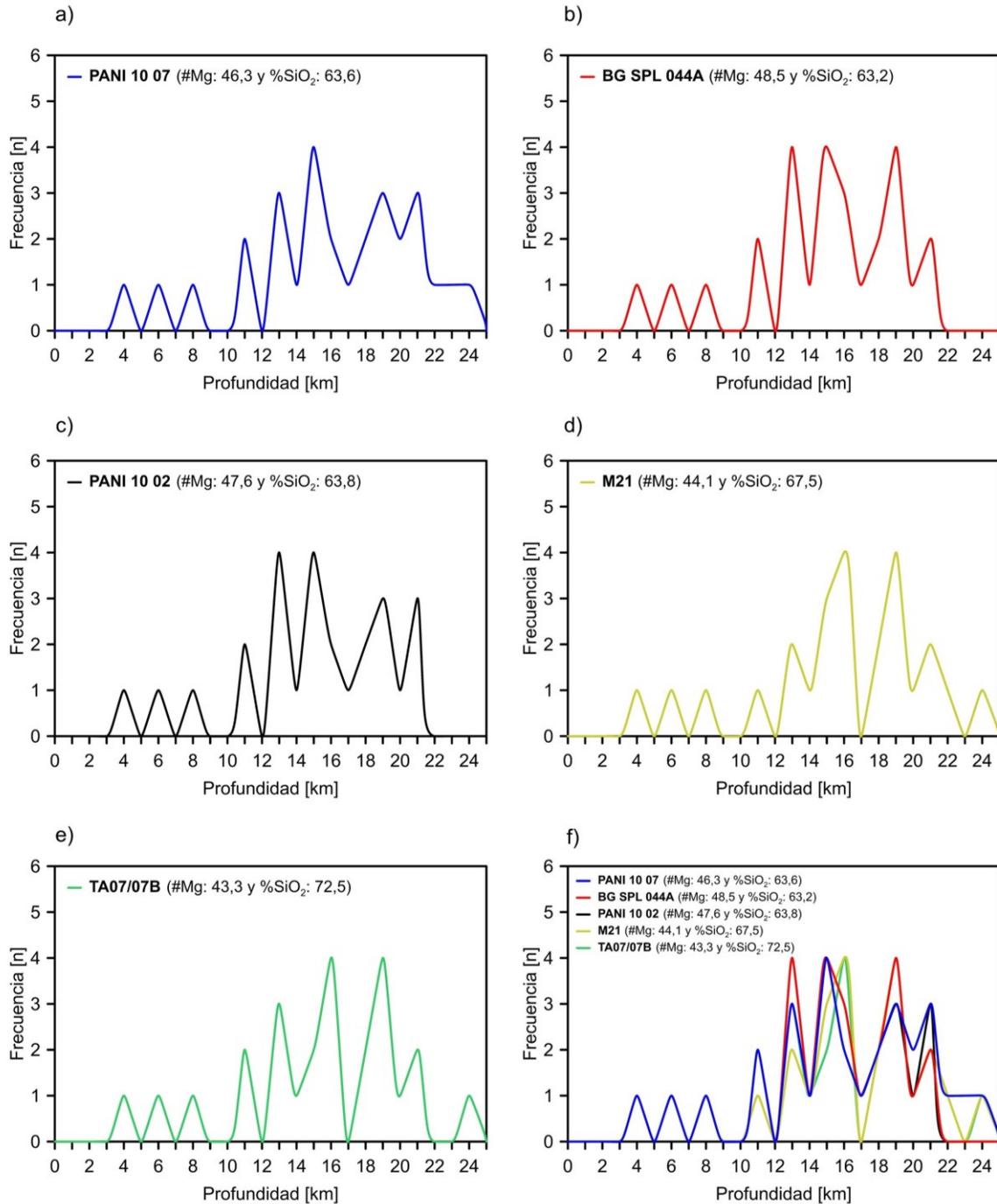


Figura 17. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Las Negras que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva. Las curvas están ordenadas de mayor a menor (a-e) respecto al porcentaje de puntos con datos P-T. f) señala la superposición de las curvas de la a) a la e), en ese orden. En el extremo superior izquierdo se señala el líquido utilizado en cada curva, junto con su #Mg y %SiO₂.

La distribución de profundidades de la figura 17 es similar entre cada uno de los líquidos utilizados. No existe gran variación entre la frecuencia total de cada curva, alcanzándose un máximo de $n=29$, que a su vez es lo máximo para todas las distribuciones del termobarómetro en el presente trabajo, transversal a todas las unidades. Sin embargo, a pesar de esto no existe un intervalo claramente definido, ya que los intervalos de profundidad con mayor frecuencia corresponden a $[12, 13[$; $[14, 15[$; $[15, 16[$; $[18, 19[$ km de profundidad. Considerando estos *peaks* se podría acotar una profundidad en el intervalo $[12, 19]$ km. Sin embargo, este intervalo puede ampliarse a un intervalo de $[10, 21[$ km si se contemplan todos los *peaks* de frecuencia tal que todos los *peaks* hasta "n-1" son relevantes. "n" corresponde a la frecuencia del *peak* más alto de toda la distribución.

Si se analiza cada una de las 5 distribuciones (desde a hasta e en la figura 17) se puede distinguir que hay una tendencia a que los *peaks* de frecuencia 4 indican mayor profundidad en líquidos cuyo $\%SiO_2$ es mayor, mientras que indican una menor profundidad en líquidos con un $\%SiO_2$ menor. No obstante, no es un rasgo que marque una diferencia acentuada, ya que se compensa con *peaks* de frecuencia 3 en profundidades con la tendencia contraria a la señalada para los de frecuencia 4. El líquido que escapa a estas características es el de b) dentro de la figura 17. De este modo, la distribución de profundidades no es indicativa de un intervalo de profundidad acotado si se selecciona solo un líquido en particular.

• **Unidad Laguna**

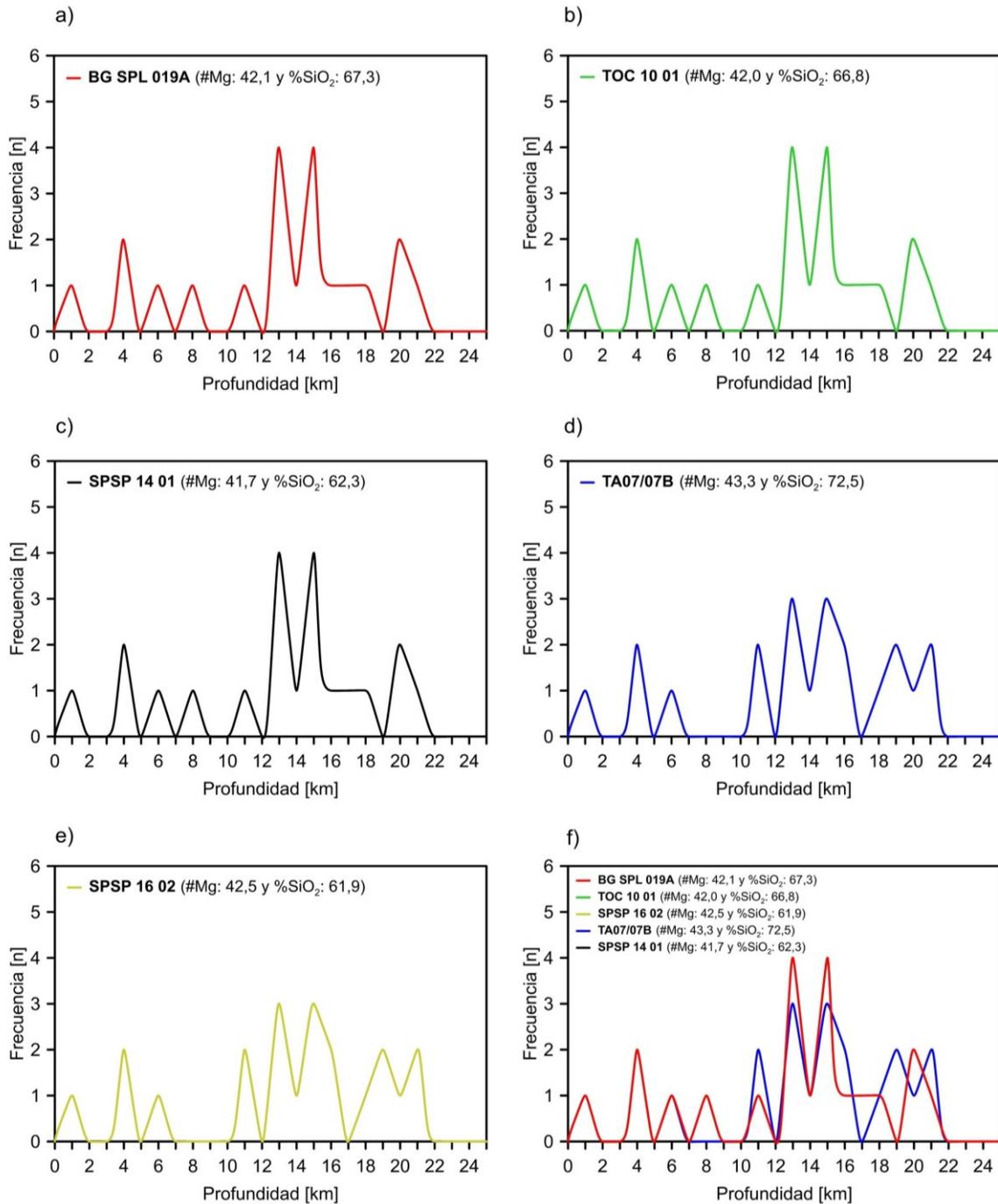


Figura 18. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Laguna que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva. Las curvas están ordenadas de mayor a menor (a-e) respecto al porcentaje de puntos con datos P-T. f) señala la superposición de las curvas de la a) a la e), en ese orden. En el extremo superior izquierdo se señala el líquido utilizado en cada curva, junto con su #Mg y %SiO₂.

En este caso la distribución de la figura 18 es similar a la de la figura 17 en el sentido de la similitud relativa entre cada uno de los líquidos utilizados. Es más, la similitud es mayor por cuanto se aprecia el mismo patrón que destaca dos *peaks* marcados en profundidades de [12, 13[y [14, 15[km. Además, no existen *peaks* "n-1" tal que n es la frecuencia del *peak* más alto, que en este caso es 4 nuevamente, por lo que es sencillo acotar la profundidad al intervalo [12, 15] km.

Finalmente, para la unidad Laguna no se da esta tendencia de que el %SiO₂ hace que la distribución varíe levemente, al contrario, las distribuciones a), b) y c) de la figura 18 coinciden exactamente en cada punto, algo que las hace indistinguibles en la sección f) de la misma figura una vez se superponen las curvas. Además, si se considera el líquido más diferenciado, es decir, d) en la figura 18, la morfología de la curva sigue la tendencia de las demás. De este modo, se puede definir un intervalo de profundidad con mucha menor incertidumbre asociado a esta unidad.

• **Unidad Llaretá**

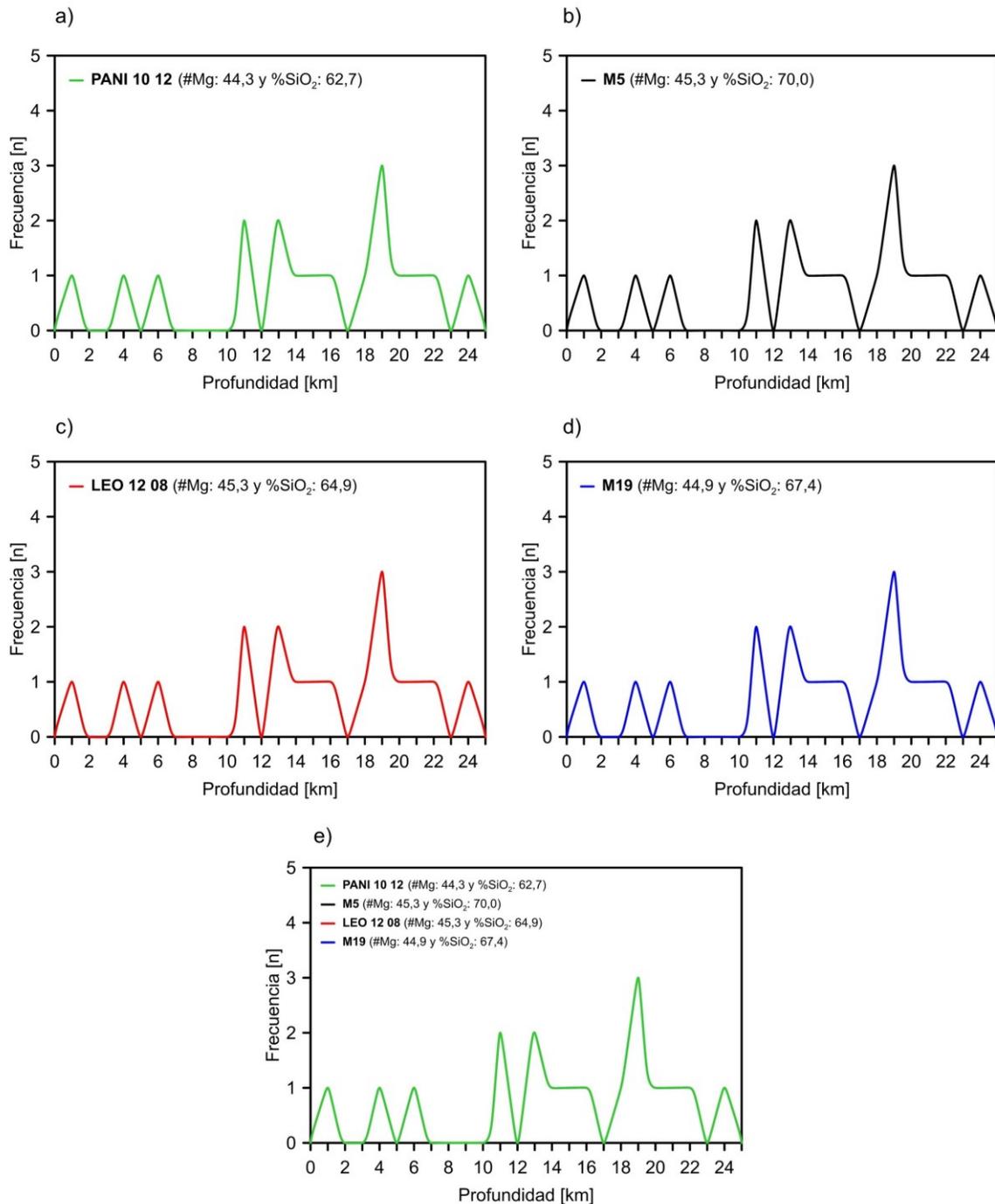


Figura 19. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Llaretá que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva. Las curvas están ordenadas de mayor a menor (a-d) respecto al porcentaje de puntos con datos P-T. e) señala la superposición de las curvas de la a) a la d), en ese orden. En el extremo superior izquierdo se señala el líquido utilizado en cada curva, junto con su #Mg y %SiO₂.

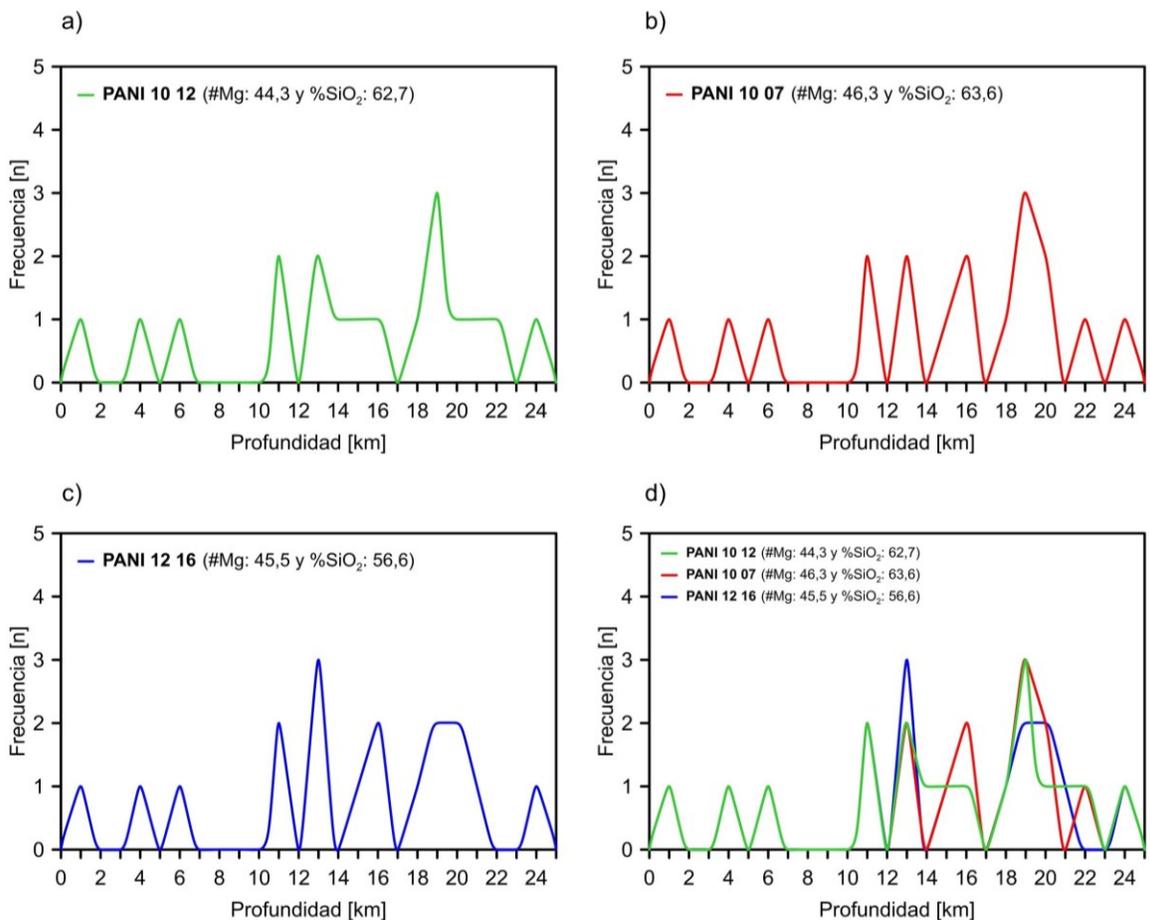


Figura 20. Gráficos de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de la unidad Llaret que se encuentran en equilibrio con el líquido señalado por cada curva. En este caso se consideran líquidos del volcán Paniri para estudiar distribuciones con leves variaciones. En el extremo superior izquierdo se señala el líquido utilizado en cada curva, junto con su #Mg y %SiO₂.

La unidad Llaret continúa acentuando la similitud en las curvas de distribución, llevándola al caso extremo, es decir, para 4 líquidos con características diferentes el patrón es idéntico (figura 19). Se debe apreciar que los líquidos pertenecen a distintos volcanes y varían su %SiO₂, por lo que los clinopiroxenos de Llaret son el conjunto de datos más independientes de estos factores. De este modo, se ve un único *peak* de frecuencia 3 en el intervalo [18, 19[km y dos de frecuencia 2 en los intervalos [10, 11[y [12, 13[km de profundidad.

Por otro lado, la figura 20 ilustra lo mismo que la figura 19, pero considerando dos nuevos líquidos del mismo volcán, y con mayor variación en el %SiO₂, para ilustrar que existen líquidos donde la distribución sí varía levemente. Las curvas de

distribución de estos son las b) y c) en la figura. Finalmente, no existen amplias diferencias respecto a la figura 19, salvo que para el intervalo $[12, 13[$ km de profundidad la frecuencia es 3 si se considera el líquido c) de la figura 20. Considerando la ponderación de las distribuciones de la figura 19 y 20 es plausible que con un mayor número de datos los *peaks* que se acentúen sean los de $[10, 11[$ y $[12, 13[$ km, algo que se debería comprobar con el líquido PANI 12 16, es decir, el b) de la figura 20. Esto es porque presenta una frecuencia de 5 si se suman las de ambos intervalos. Esto permite, a priori, acotar la profundidad de la unidad Llaleta al intervalo $[10, 13]$ km.

4.3.4. Selección del líquido óptimo

La figura 21 ilustra un resumen de las mejores distribuciones de profundidad para las unidades estudiadas.

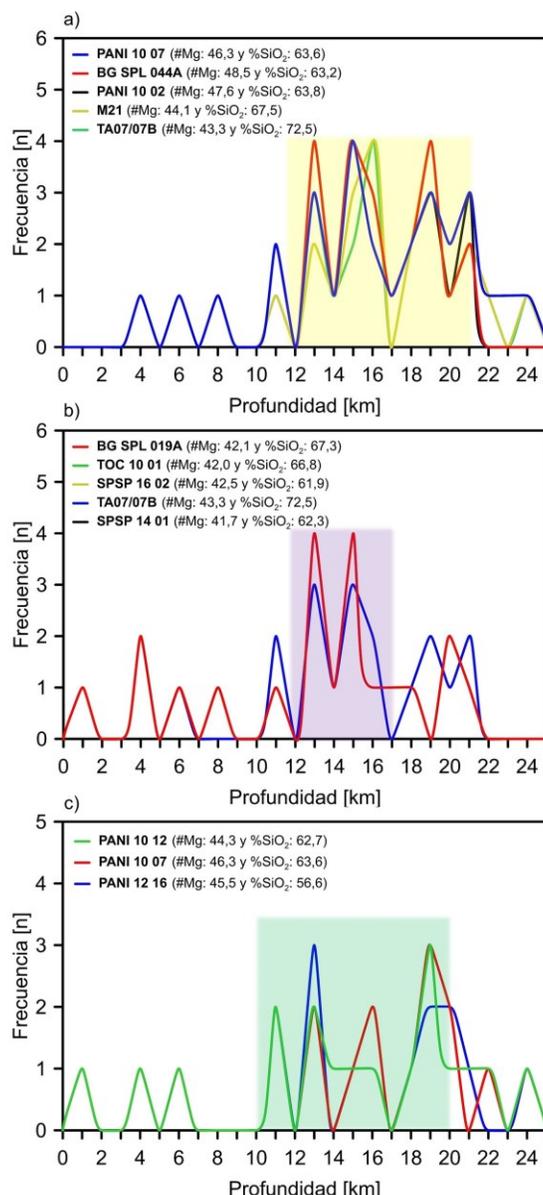


Figura 21. Resumen de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método clinopiroxeno-líquido para los clinopiroxenos de las unidades Las Negras (a), Laguna (b), y Llaret (c) que se encuentran en equilibrio con los líquidos señalados por cada curva. En este caso En el extremo superior izquierdo se señala el líquido utilizado en cada curva, junto con su #Mg y %SiO₂. El área sombreada representa el intervalo donde se emplaza la cámara magmática al momento de hacer erupción la unidad correspondiente.

La distribución de profundidades es dispersa para cada una de las tres unidades ya estudiadas, por lo que no se puede acotar la profundidad asociada a cada unidad a un intervalo bien acotado. El escaso número de datos y la dispersión de estos no permite obtener *peaks* predominantes, por lo que las áreas sombreadas con el color representativo de la unidad están sujetas a estimaciones y supuestos sujetos a un gran grado de incertidumbre. También se puede observar que ningún líquido por sí solo ilustra un intervalo definido para la profundidad, pero la conjunción de los que preservan el mayor número de datos permite obtener una aproximación.

De este modo, la unidad Las Negras estaría asociada a una profundidad en el intervalo 12-19 km, con una estimación de 14-16 km si se considera la distribución a) de la figura 21. Por otro lado, Laguna estaría asociada a una profundidad de 12-15 km, mientras que Llaretta a una profundidad de 10-13 km. De estas, la de menor incertidumbre es Laguna, seguida por Las Negras, y terminando en Llaretta, que es la menos nítida.

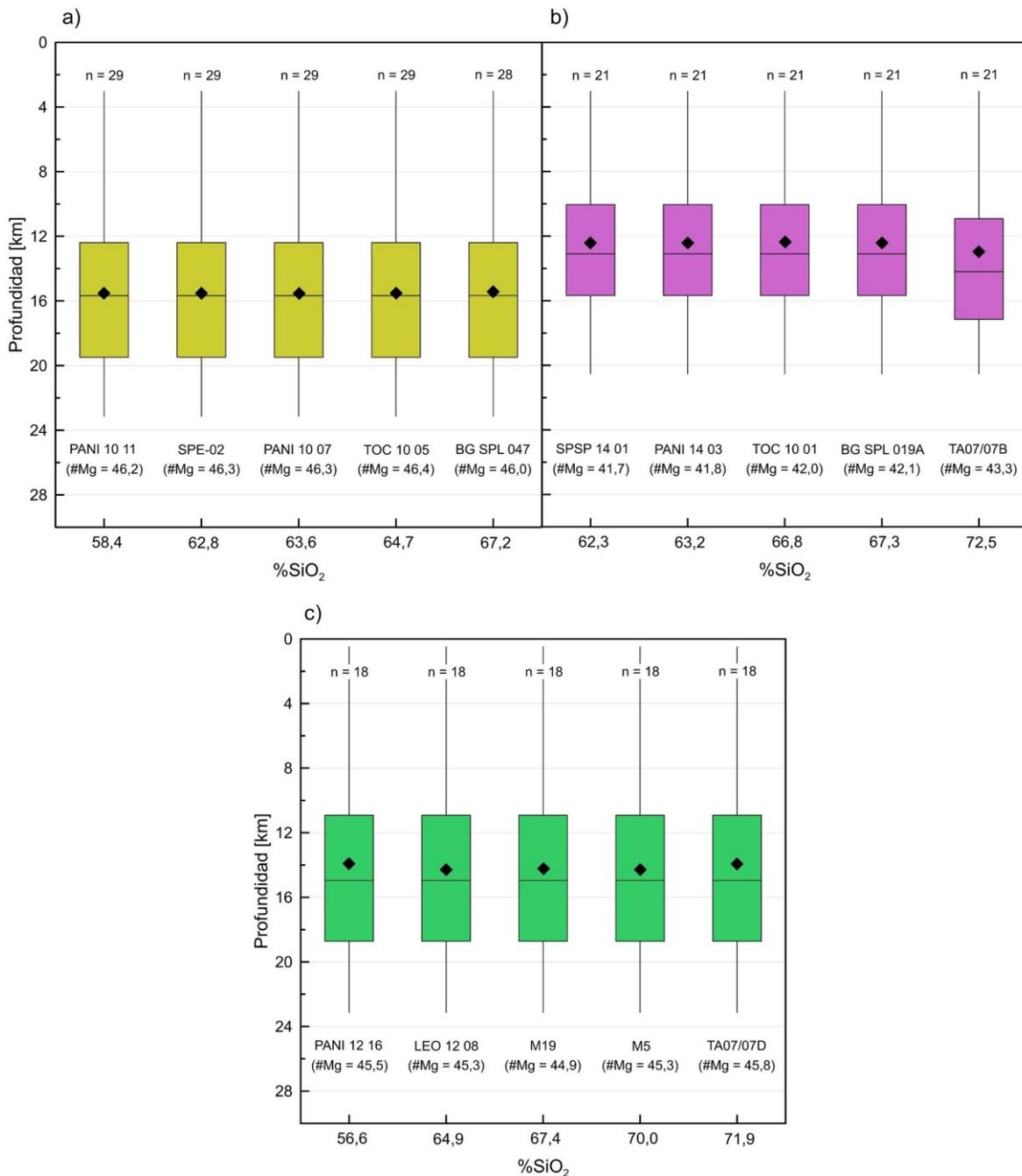


Figura 22. Diagrama de caja y bigotes que ilustra el resumen estadístico de la distribución de profundidades para cinco líquidos distintos en cada una de las unidades. Estos se seleccionaron con el fin de maximizar obtención de datos según la figura 14, lo que se muestra en la parte superior de cada caja (n). La selección de líquidos se hizo procurando mantener un #Mg relativamente constante a la vez que se varía el %SiO₂ lo máximo posible. Las líneas horizontales dentro de las cajas indican la mediana, mientras que los rombos negros el promedio. El eje X no está a escala, ya que solo indica el dato puntual.

Finalmente, la figura 22 indica el rol del %SiO₂ en la distribución de profundidades para cada una de las tres unidades estudiadas cuando $\Delta\#Mg_{\text{líquido}} < 1$, lo que da resultados prácticamente idénticos. También se puede ver cómo la mediana de la profundidad para cada unidad se condice con los intervalos previamente mencionados, a excepción de Llaretá, donde la dispersión es mayor.

4.3.5. Diagramas presión-temperatura

Se realizaron gráficos de presión-temperatura-profundidad para cada una de las muestras analizadas. Dentro de cada muestra se realizó esto considerando cada uno de los líquidos ilustrados en el apartado anterior, con el fin de estudiar si el patrón de la distribución de profundidades también se refleja cuando se considera la temperatura, y cómo varía esta al cambiar el líquido utilizado para la iteración del método.

- *Unidad Las Negras*

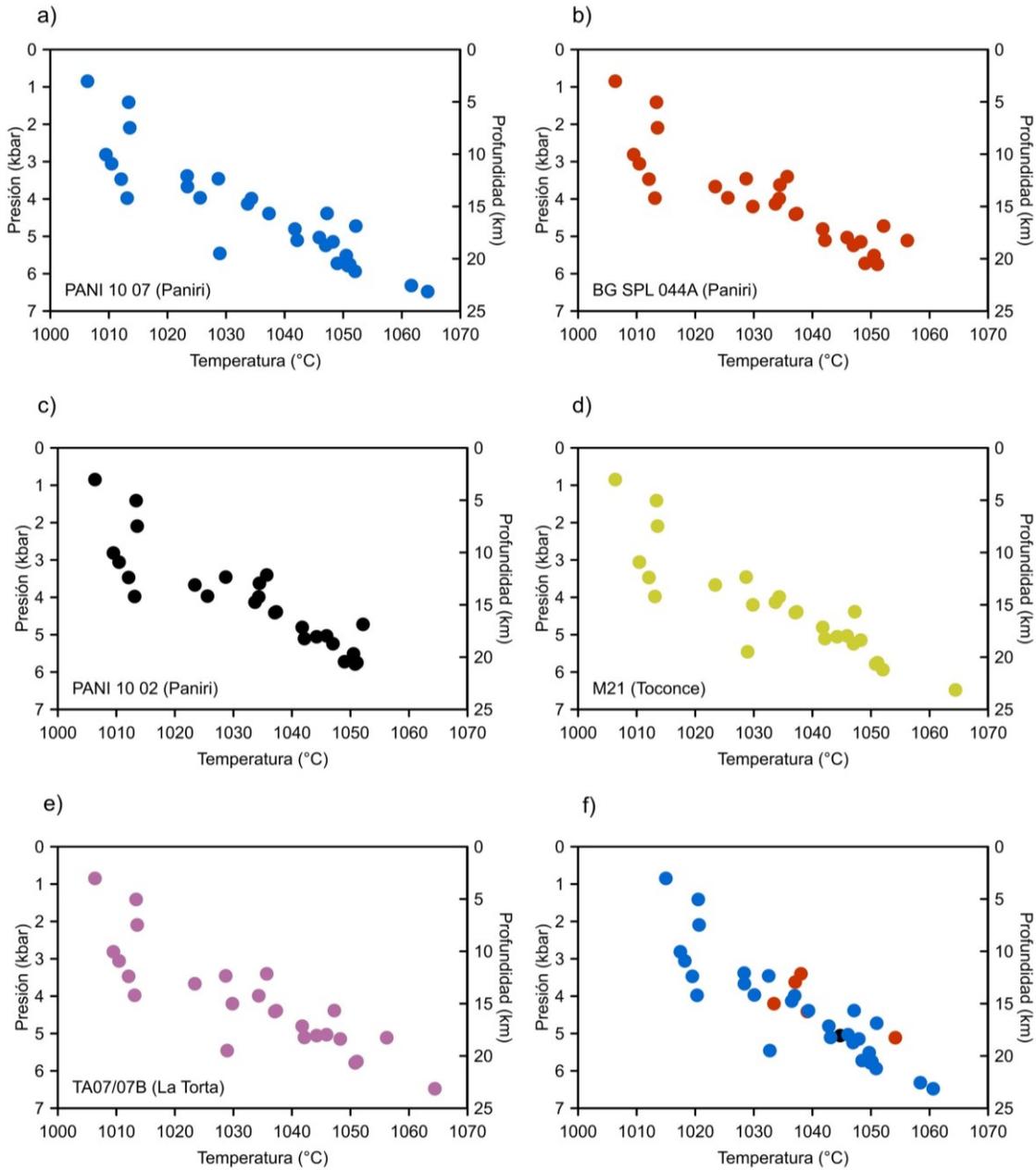


Figura 23. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Las Negras del volcán Paniri. Cada diagrama corresponde al resultado de aplicar el termobarómetro clinopiroxeno-líquido con la composición del líquido indicado en la esquina inferior izquierda del diagrama. Los líquidos seleccionados corresponden a los de la figura 17. f) corresponde a la superposición de los conjuntos de datos desde a) hasta e).

- *Unidad Laguna*

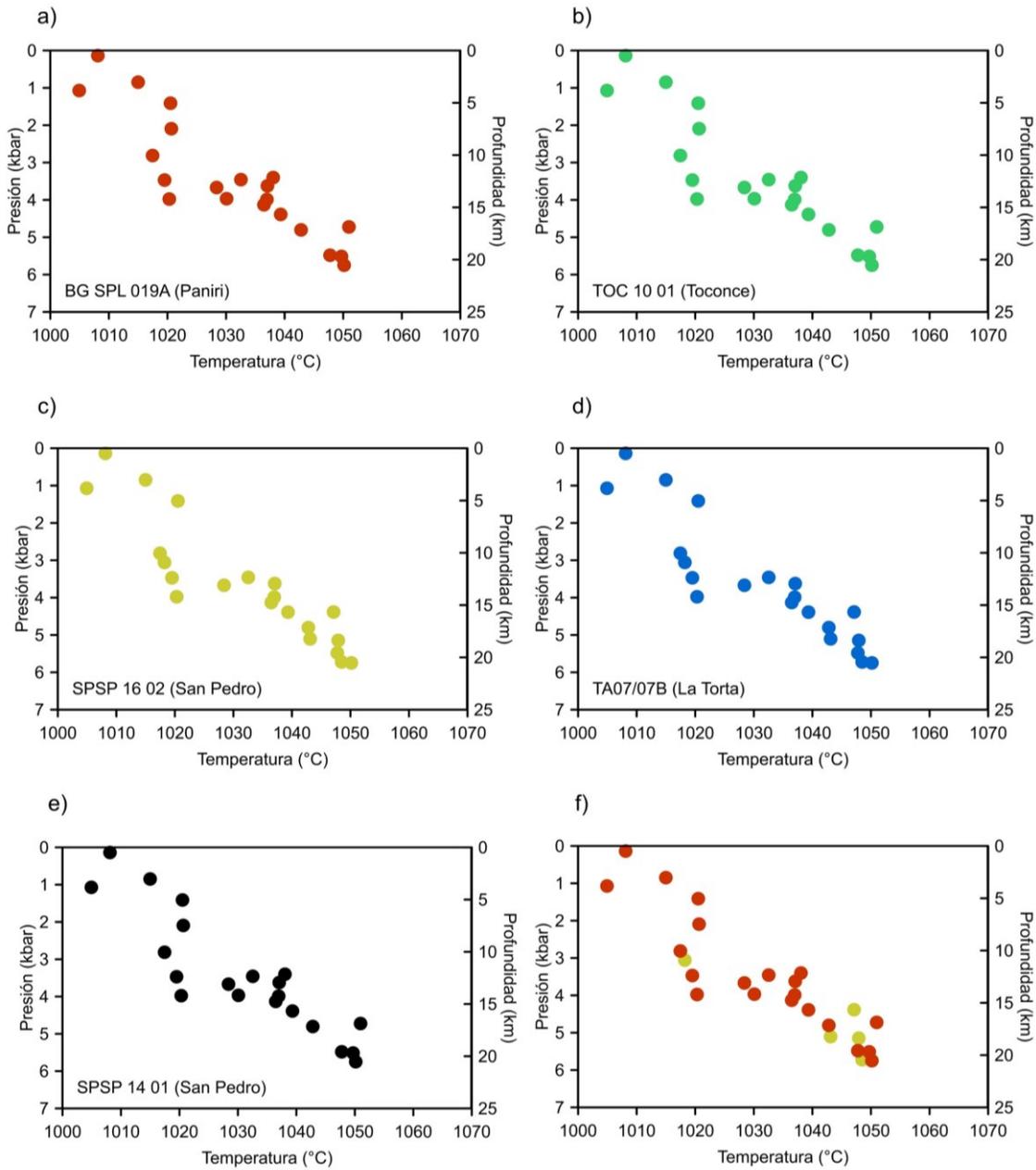


Figura 24. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Laguna del volcán Paniri. Cada diagrama corresponde al resultado de aplicar el termobarómetro clinopiroxeno-líquido con la composición del líquido indicado en la esquina inferior izquierda del diagrama. Los líquidos seleccionados corresponden a los de la figura 18. f) corresponde a la superposición de los conjuntos de datos desde a) hasta e).

- *Unidad Llareta*

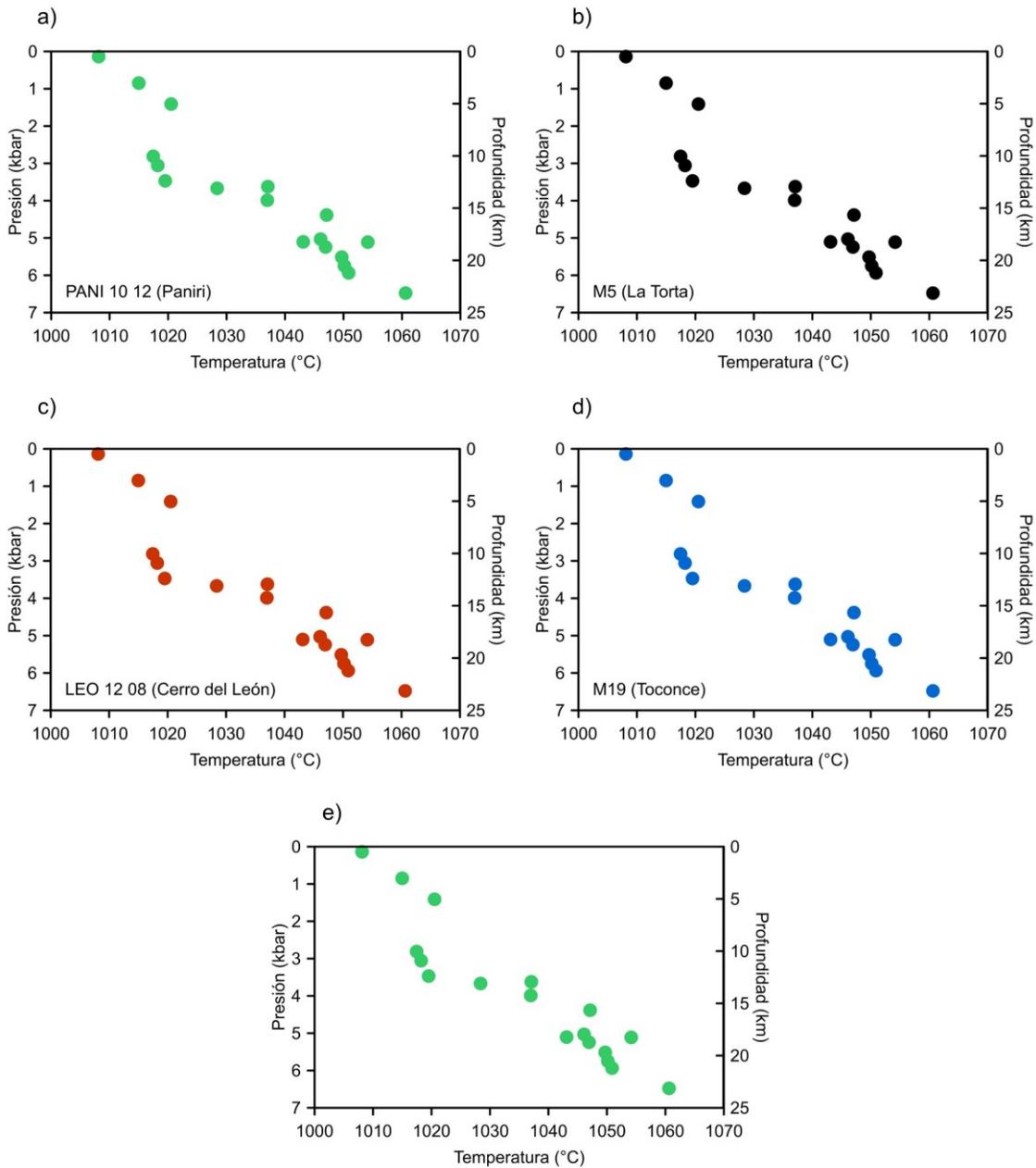


Figura 25. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Llareta del volcán Paniri. Cada diagrama corresponde al resultado de aplicar el termobarómetro clinopiroxeno-líquido con la composición del líquido indicado en la esquina inferior izquierda del diagrama. Los líquidos seleccionados corresponden a los de la figura 19. e) corresponde a la superposición de los conjuntos de datos desde a) hasta d).

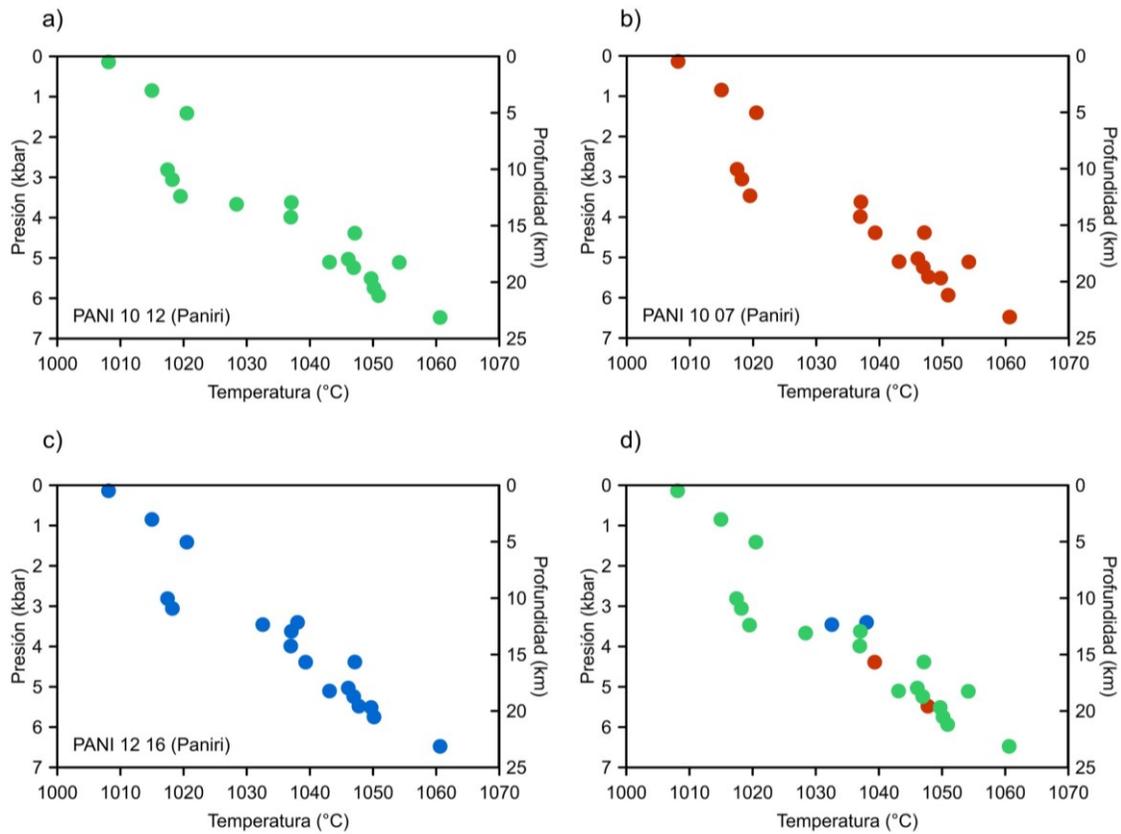


Figura 26. Diagramas presión-temperatura-profundidad para la unidad Llaretta del volcán Paniri. Cada diagrama corresponde al resultado de aplicar el termobarómetro clinopiroxeno-líquido con la composición del líquido indicado en la esquina inferior izquierda del diagrama. Los líquidos seleccionados corresponden a los de la figura 20. d) corresponde a la superposición de los conjuntos de datos desde a) hasta c).

De manera transversal los diagramas representan una buena correlación entre presión-profundidad y temperatura. De hecho, definen una tendencia lineal: la presión-profundidad versus la temperatura son magnitudes proporcionales. Respecto a las variaciones, las tres unidades presentan una tendencia que difiere solo en algunos puntos según el líquido utilizado para la iteración del método. También se aprecia cómo en cada una de las unidades los puntos que más se alejan de esta tendencia lineal corresponden a unos 3-4 puntos (según la unidad) que están entre 10 y 15 km de profundidad, los que tienen una temperatura unos 20°C inferior a la tendencia que describe el resto del conjunto de datos.

Por otro lado, no se pueden individualizar claramente las diferencias para compararlas con las del apartado de la distribución de profundidades. Por ejemplo, es complejo ver si en la figura 23 si b) y d) coinciden perfectamente, ya que no se ven en f) de la misma figura. Sin embargo, al revisar la distribución de profundidades de estos líquidos utilizados en unidad Las Negras, sus distribuciones no coinciden exactamente, algo que es esperable para los diagramas presión-temperatura. La forma de comprobarlo es superponer dos diagramas P-T de dos líquidos cuyas distribuciones sean idénticas, como sucede en algunos líquidos de la unidad Llaretá. Esto se comprueba en la figura 25, donde todos los diagramas P-T coinciden exactamente, tal como sucede con sus distribuciones de profundidad.

4.4. Termobarómetro de dos piroxenos

Los resultados de este método están basados en la estadística por cuanto no se midieron puntos en contacto o con evidencias de pares ortopiroxeno-clinopiroxeno en equilibrio, sino que todos los datos se sometieron al *test* de equilibrio (detallado en la metodología del termobarómetro). Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 8. El número de pares en equilibrio descrito como potencial se refiere a todas las combinaciones posibles, mientras que el número real de pares son todos aquellos que superan el filtro de equilibrio, y que además indican un valor de presión y temperatura positivo.

Tabla 8. Resumen para la distribución de clinopiroxenos y ortopiroxenos para cada una de las muestras de las unidades del volcán Paniri y el número de pares clinopiroxeno-ortopiroxeno que, como máximo, podrían estar en equilibrio (potencial), y los que realmente lo están (real). En paréntesis se indica el porcentaje de pares de piroxenos en equilibrio sobre el total indicado en la columna de potenciales.

| Muestra | Unidad | Número de puntos | | Número de pares en equilibrio | |
|------------|-------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------|
| | | Clinopiroxeno | Ortopiroxeno | Potencial | Real |
| PANI 12 12 | Los Gordos | 24 (10%) | 67 (90%) | 1608 | 306 (19%) |
| PANI 12 06 | Las Lenguas | 2 (3%) | 59 (97%) | 118 | 30 (25%) |
| PANI 16 01 | Las Negras | 67 (71%) | 27 (29%) | 1809 | 519 (29%) |
| PANI 16 04 | Laguna | 46 (42%) | 63 (58%) | 2898 | 1249 (43%) |
| PANI 16 02 | Llaretá | 39 (61%) | 25 (39%) | 975 | 211 (22%) |

Debido a la naturaleza de este método, y a diferencia del termobarómetro clinopiroxeno-líquido, las variables que inciden en los resultados no pueden ser analizadas, ya que no existe una composición de líquido a seleccionar. Por lo tanto, no se puede hablar de la influencia del #Mg o del %SiO₂ en los resultados, ya que las únicas composiciones utilizadas en el termobarómetro de dos piroxenos son las de los ortopiroxenos y clinopiroxenos como tal.

4.4.1. Distribución de profundidades

De un modo similar al termobarómetro clinopiroxeno-líquido se obtienen los diagramas de distribución de profundidad. A diferencia del termobarómetro clinopiroxeno-líquido, existe un único para cada unidad. Cabe mencionar que el número de puntos considerado para ellos es distinto al expuesto en la tabla 8, ya que los datos de profundidad ilustrados llegan hasta los de 25 km.

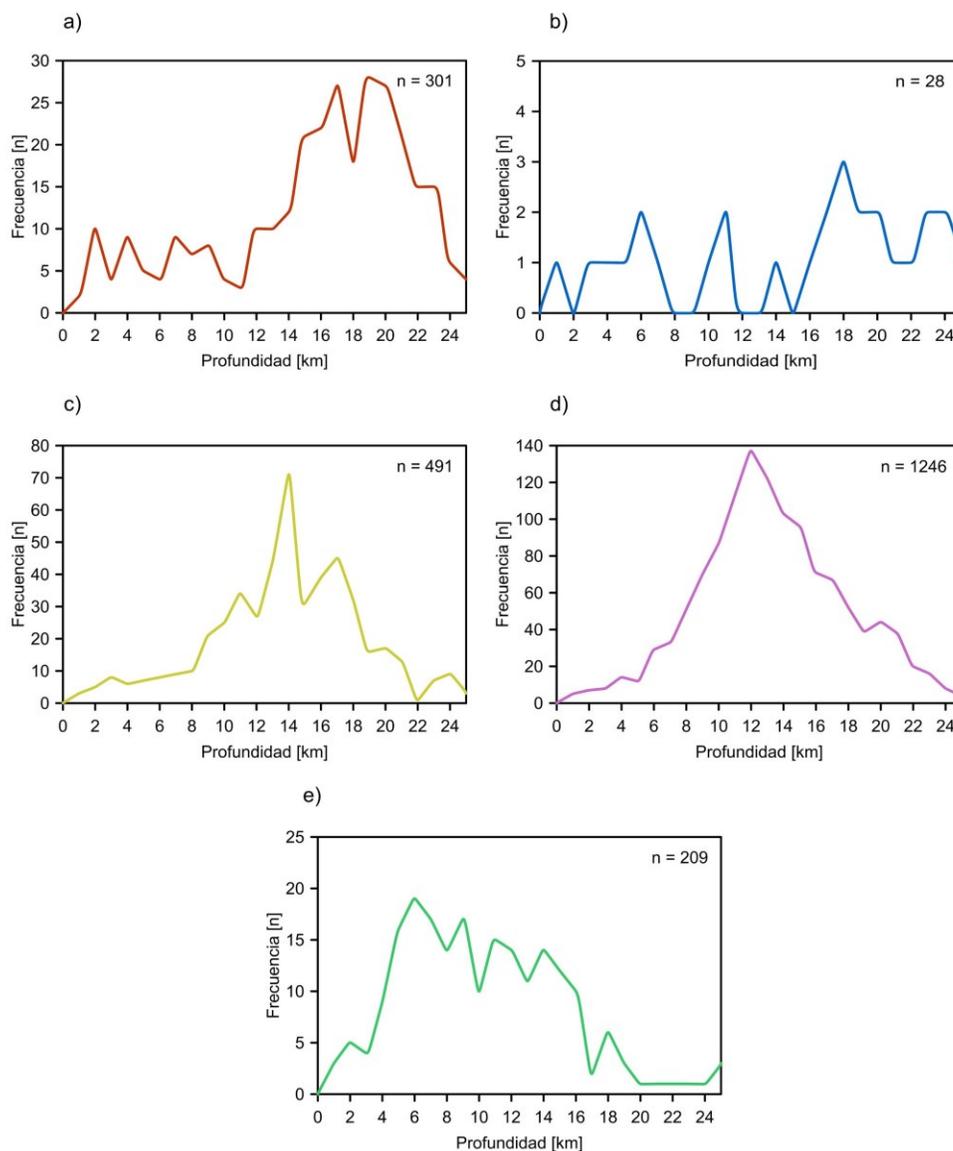


Figura 27. Gráfico de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método de dos piroxenos para cada una de las cinco unidades estudiadas del volcán Paniri. En la esquina superior derecha se indica el número de puntos considerado para obtener cada una de las distribuciones. a) Unidad Los Gordos; b) Unidad Las Lenguas; c) Unidad Las Negras; d) Unidad Laguna; e) Unidad Llareta.

La densidad de datos es mucho mayor que la obtenida a través del método clinopiroxeno-líquido, por lo que la frecuencia de los *peaks* relevantes también es mayor. Para la unidad Los Gordos la profundidad se puede acotar al intervalo 16-20 km, mientras que para Las Lenguas se tiene una situación similar que para el método clinopiroxeno-líquido, imposibilitando acotar un intervalo, aunque el *peak* se da en el intervalo 17-18 km, el que se puede acotar a 17-20 km si se desprecian los *peaks* de profundidades más superficiales por estar mucho más distanciados el uno del otro.

Respecto a la unidad Las Negras, se cuenta con el segundo conjunto de datos más numeroso, marcándose con gran diferencia un *peak* en el intervalo 13-14 km (n=70), por lo que la profundidad asociada a esta unidad queda bien definida, aunque existe un segundo *peak* no despreciable en el intervalo 16-17 km (n=45). La unidad Laguna presenta un único *peak* fuertemente marcado, es decir, las profundidades convergen continuamente hacia dicho intervalo, lo que le da una característica de distribución normal. De este modo, la unidad Laguna está asociada a un intervalo de profundidad de 11-12 km. Finalmente, Llaretta exhibe una distribución mucho más dispersa, con *peaks* que definen un intervalo más amplio, pero que se puede acotar a 5-9 km.

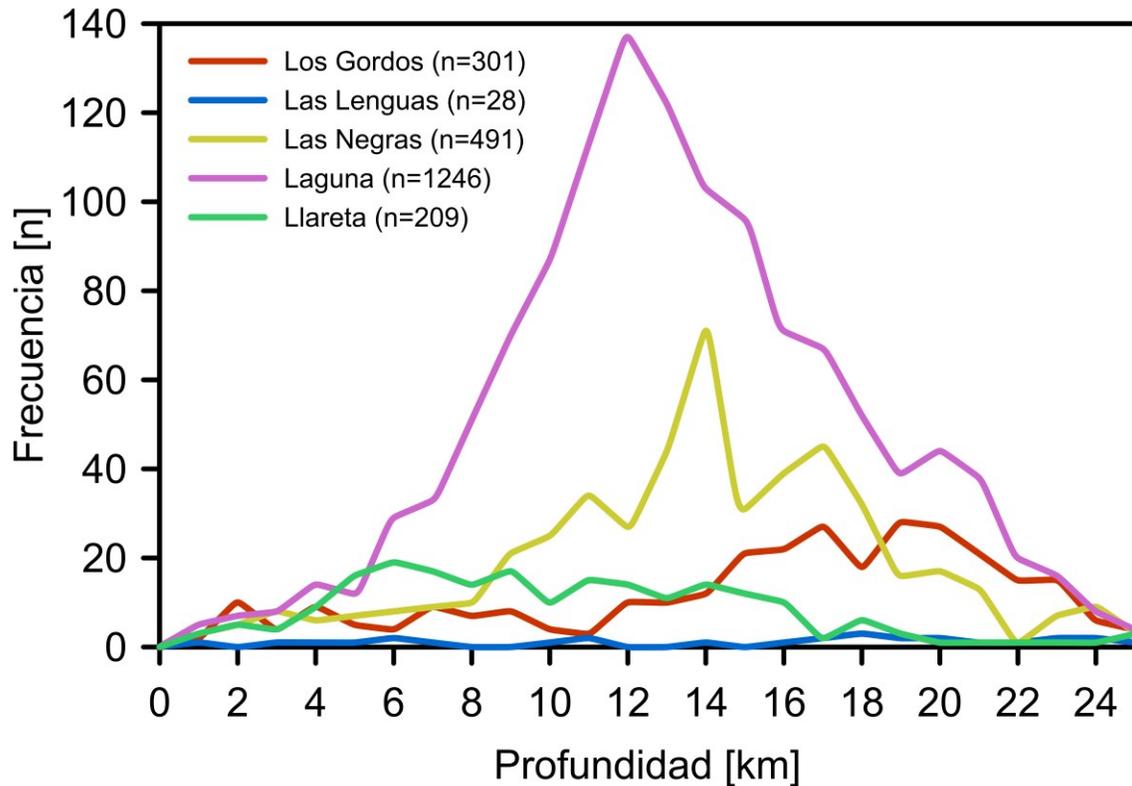


Figura 28. Diagrama de distribución de profundidades calculadas a partir de los datos obtenidos a través del método de dos piroxenos para cada una de las cinco unidades estudiadas del volcán Paniri. El número de puntos asociado a cada distribución se puede consultar en la tabla 8.

La figura 28 ilustra el resumen de la distribución de profundidades del método de dos piroxenos, es decir, que la diferencia en el número de datos considerado para cada unidad hace que las distribuciones de unidades que cuentan con pocos datos sean poco nítidas a esta escala, ya que sus *peaks* se ven minimizados por los *peaks* de unidades que cuentan con un mayor número de datos, como, por ejemplo, la unidad Laguna. Sin embargo, existe una clara tendencia donde la profundidad comienza a disminuir a medida que se analizan las unidades más jóvenes. La unidad Llareta es la más difícil de asociar a un intervalo de profundidad. No obstante, como existe una gran densidad de datos, salvo en Las Lenguas, la estadística puede permitir obtener una buena aproximación y correlación con la distribución gráfica.

4.4.2. Diagramas presión-temperatura

Se realizaron diagramas de presión-temperatura-profundidad para cada una de las muestras analizadas. A diferencia del termobarómetro clinopiroxeno-líquido, en este caso cada unidad tiene solo un posible gráfico, pero con un número de puntos que corresponde al de la columna "número de pares en equilibrio real" de la tabla 8. Se obtiene una figura (figura 29) con un número de puntos que supera con creces la ya ilustrada en subcapítulo previo (4.3.5.). En la figura 29 se ilustran los resultados, donde los rangos de presión y temperatura son de (~ 887 - 1076 °C y ~ 8 - 920 MPa) para Los Gordos; (~ 939 - 1111 °C y ~ 1 - 1099 MPa) para Las Lenguas; (~ 790 - 1185 °C y ~ 1 - 866 MPa) para Las Negras; (~ 881 - 1133 °C y ~ 4 - 794 MPa) para Laguna; (~ 903 - 1171 °C y ~ 10 - 960 MPa) para Llaleta.

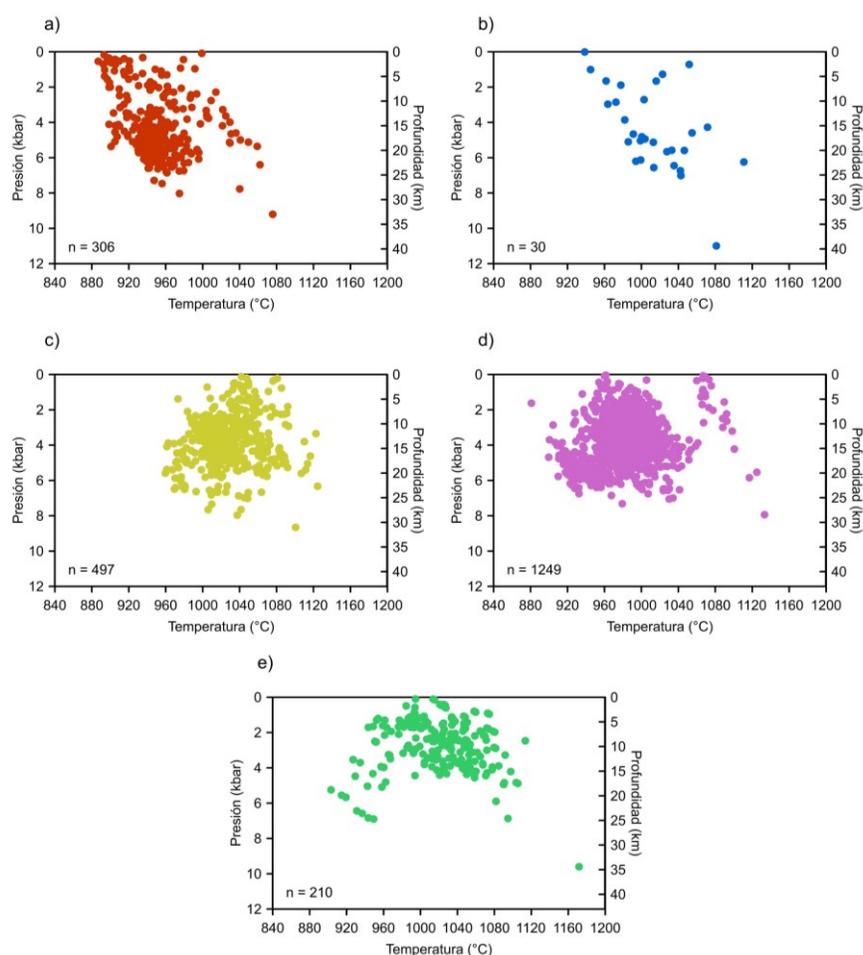


Figura 29. Diagramas presión-temperatura-profundidad para las cinco unidades estudiadas del volcán Paniri. Cada diagrama corresponde al resultado de aplicar el termobarómetro de dos piroxenos, con un número de puntos (n) indicado en la esquina inferior izquierda para cada caso. a) Unidad Los Gordos; b) Unidad Las Lenguas; c) Unidad Las Negras; d) Unidad Laguna; e) Unidad Llaleta.

La primera consideración es que hubo puntos que se excluyeron de la figura 29, ya que indicaban profundidades que distorsionaban la escala del diagrama (>50 km), lo que no permitía definir límites constantes en los ejes para los cinco casos, lo que se procuró mantener para la comparación entre unidades. Esto explica la diferencia en el número de datos expuesto en la figura 28 en relación con el que se encuentra en la tabla 8. Se puede calcular el número de puntos excluidos restando estas cantidades.

En lo que a los diagramas respecta, no se aprecia una tendencia clara, con excepción de la unidad Las Lenguas, ya que el número de datos es ínfimo en comparación al resto de las unidades. De hecho, es similar a lo observado en los diagramas P-T obtenido con el método clinopiroxeno-líquido para las otras unidades. Solo la unidad Los Gordos parece indicar una tendencia entre presión y temperatura, seguido de Llaretá, aunque en esta última destaca una dispersión de datos mayor, ya que hay puntos con temperaturas sobre 1080 °C e inferiores a 960 °C a la vez, algo que no destaca nítidamente en el resto de las unidades, salvo en Laguna.

Finalmente, respecto a Las Negras y Laguna, la gran densidad de datos no permite apreciar una tendencia porque constituye un *cluster* de puntos con una tendencia hacia temperaturas inferiores a 1000 °C fuertemente marcada en Laguna, y que se da independientemente de la profundidad a la que se evalúe el conjunto de datos. Finalmente, existe un subconjunto de unos 20 puntos con temperaturas sobre 1080 °C independiente de la profundidad, que se da en gran parte de las unidades, salvo en Los Gordos, donde predominan puntos inferiores a 920 °C.

CAPÍTULO 5. DISCUSIONES

5.1. Comparación y estadística de los termobarómetros

Ambos termobarómetros indican resultados de profundidad con un mayor o menor grado de incertidumbre. En el caso del clinopiroxeno-líquido, la metodología es más rigurosa, por lo que los datos tienen menor incertidumbre, pero la poca densidad de datos no permite acotar un intervalo pequeño o un número concreto para la profundidad de cada unidad. Por otro lado, el de dos piroxenos otorga un mayor número de datos, pero una mayor incertidumbre arraigada a la metodología, lo que permite acotar de forma más precisa los intervalos de profundidad. Sin embargo, para estudiar las variables y consideraciones para interpretar los resultados se hace un análisis estadístico para contemplar parámetros como la dispersión de los datos y otros relevantes.

5.1.1. Clinopiroxeno-líquido

Las siguientes tablas muestran el detalle estadístico de los datos con los que se construyó cada curva de las distribuciones de profundidad del apartado 4.3.3. cada fila representa un líquido que se utilizó para realizar una iteración del método con el conjunto de datos de las unidades. Se señalan tanto medidas de tendencia central como medidas de dispersión.

- *Las Negras*

Los resultados se resumen en la tabla 9, donde se puede apreciar una alta dispersión de los datos. Cabe destacar que no existe relación entre el número de datos y la dispersión, por lo que los datos adicionales que tiene, por ejemplo, PANI 10 07 frente a M21 no significan una gran variación. La diferencia entre el promedio y la mediana entre cada uno de los líquidos supera levemente la unidad en algunos casos, por lo que la incidencia de cuál de estos se escoja es mínima y no altera fuertemente los resultados. De este modo, considerar el promedio del promedio o la mediana de cada líquido sería una buena aproximación para obtener un número exacto, y para evaluar si coincide con los intervalos propuestos a partir de las distribuciones de profundidad.

Tabla 9. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en la figura 17. Estas están asociadas al método clinopiroxeno-líquido y corresponden a la unidad Las Negras. n indica el número de puntos que tiene la distribución. También se agrega información sobre el #Mg y %SiO₂ para cada uno de los líquidos utilizados. El promedio total es el promedio simple de las filas superiores a dicha fila para cada uno de los parámetros estadísticos.

| Líquido | Volcán | #Mg | SiO ₂ (%) | Promedio (km) | Mediana (km) | Varianza (km ²) | Desv. estándar (km) |
|--------------------|----------|------|----------------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| PANI 10 07 (n=29) | Paniri | 46,3 | 63,6 | 15,5 | 15,7 | 25,4 | 5,0 |
| BG SPL 044A (n=27) | Paniri | 48,5 | 63,2 | 14,4 | 14,8 | 19,6 | 4,4 |
| PANI 10 02 (n=26) | Paniri | 47,6 | 63,8 | 14,5 | 14,5 | 21,2 | 4,6 |
| M21 (n=25) | Toconce | 44,1 | 67,5 | 15,3 | 15,7 | 24,1 | 4,9 |
| TA07/07B (n=25) | La Torta | 43,3 | 72,5 | 14,8 | 15,7 | 23,8 | 4,9 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | 14,9 | 15,3 | 22,8 | 4,8 |

- *Laguna*

Su información se resume en la tabla 10. Constituye un caso muy similar al de unidad Las Negras, con la salvedad de que las medidas de dispersión son de mayor magnitud, lo que tiene relación con un menor número de datos. Nuevamente, considerar un promedio total sería una buena aproximación más que seleccionar solo uno de los líquidos expuestos.

Tabla 10. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en la figura 18. Estas están asociadas al método clinopiroxeno-líquido y corresponden a la unidad Laguna. n indica el número de puntos que tiene la distribución. También se agrega información sobre el #Mg y %SiO₂ para cada uno de los líquidos utilizados. El promedio total es el promedio simple de las filas superiores a dicha fila para cada uno de los parámetros estadísticos.

| Líquido | Volcán | #Mg | SiO ₂ (%) | Promedio (km) | Mediana (km) | Varianza (km ²) | Desv. estándar (km) |
|--------------------|-----------|------|----------------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| BG SPL 019A (n=21) | Paniri | 42,1 | 67,3 | 12,4 | 13,1 | 31,4 | 5,6 |
| TOC 10 01 (n=21) | Toconce | 42,0 | 66,8 | 12,4 | 13,1 | 31,4 | 5,6 |
| SPSP 16 02 (n=21) | San Pedro | 42,5 | 61,9 | 13,0 | 14,2 | 33,3 | 5,8 |
| TA07/07B (n=21) | La Torta | 43,3 | 72,5 | 13,0 | 14,2 | 33,3 | 5,8 |
| SPSP 14 01 (n=21) | San Pedro | 41,7 | 62,3 | 12,4 | 13,1 | 31,4 | 5,6 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | 12,6 | 13,5 | 32,2 | 5,7 |

- *Llaretá*

La información se presenta en la tabla 11. Aquí la dispersión de los datos mantiene su tendencia creciente a medida que se analizan unidades más recientes. Sin embargo, la variación entre los líquidos es menor que en las unidades anteriores, lo que habla de cierta independencia del conjunto de datos frente al líquido seleccionado. En este sentido, también se considera el promedio total del conjunto de datos.

Tabla 11. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en las figuras 19 y 20. Estas están asociadas al método clinopiroxeno-líquido y corresponden a la unidad Llaretá. n indica el número de puntos que tiene la distribución. También se agrega información sobre el #Mg y %SiO₂ para cada uno de los líquidos utilizados. El promedio total es el promedio simple de las filas superiores a dicha fila para cada uno de los parámetros estadísticos.

| Líquido | Volcán | #Mg | SiO ₂ (%) | Promedio (km) | Mediana (km) | Varianza (km ²) | Desv. estándar (km) |
|-------------------|----------------|------|----------------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| PANI 10 12 (n=18) | Paniri | 44,3 | 62,7 | 14,2 | 15,0 | 41,1 | 6,4 |
| M5 (n=18) | La Torta | 45,3 | 70,0 | 14,2 | 15,0 | 41,1 | 6,4 |
| LEO 12 08 (n=18) | Cerro del León | 45,3 | 64,9 | 14,2 | 15,0 | 41,1 | 6,4 |
| M19 (n=18) | Toconce | 44,9 | 67,4 | 14,2 | 15,0 | 41,1 | 6,4 |
| PANI 10 07 (n=18) | Paniri | 46,3 | 63,6 | 14,3 | 15,7 | 40,5 | 6,4 |
| PANI 12 16 (n=18) | Paniri | 45,5 | 56,6 | 13,9 | 15,0 | 39,2 | 6,3 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | 14,2 | 15,1 | 40,7 | 6,4 |

5.1.2. Dos piroxenos

De forma similar al apartado anterior, pero con una mayor relevancia, la estadística permite proponer un intervalo más nítido, y un número exacto para proponer una profundidad con la cual asociar a cada una de las unidades del volcán Paniri. En dicho sentido, la densidad de datos es muy grande, aunque la dispersión también, a pesar de este hecho. Se corrobora que a mayor número de datos menor es la dispersión, y lo más destacado: a medida que se analiza una unidad más joven, menor es la profundidad, con diferencias que están en el intervalo de aproximadamente 0,5 - 1 km entre cada una, salvo de Laguna a Llareta, donde la diferencia de profundidades es de aproximadamente 3 km. Estas diferencias se replican al analizar las medianas, que a priori serían un dato más confiable. Sin embargo, queda sujeto a interpretación cuál parámetro usar, ya que la mediana de Las Lenguas supera la de Los Gordos, algo que no sucede con el promedio. Esto está sujeto a que el número de datos es aproximadamente 10 veces menor, y la dispersión aumenta en cerca de un 50%. Toda esta información se puede revisar en la tabla 12.

Tabla 12. Estadística de medidas de tendencia central y de dispersión sobre cada una de las distribuciones de profundidad ilustradas en la figura 28. Cada unidad tiene un único resultado, el que se calculó, tal como el de cada líquido en el otro termobarómetro, considerando el total de datos que da lugar a la curva de distribución de profundidad correspondiente.

| Unidad | Promedio (km) | Mediana (km) | Varianza (km ²) | Desv. estándar (km) |
|--------------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| Los Gordos (n=301) | 15,06 | 16,49 | 35,38 | 5,95 |
| Las Lenguas (n=28) | 14,58 | 16,93 | 52,21 | 7,23 |
| Las Negras (n=491) | 13,39 | 13,53 | 21,76 | 4,66 |
| Laguna (n=1246) | 12,80 | 12,57 | 19,85 | 4,46 |
| Llareta (n=209) | 9,71 | 9,06 | 25,08 | 5,01 |

5.1.3. Comparación de ambos métodos

Ambos métodos son complementarios, ya que como se aprecia en la tabla 13, la unidad Los Gordos y Las Lenguas no tienen datos de profundidad según el método clinopiroxeno-líquido, por lo que solo se pueden considerar las del método de dos piroxenos. Sin embargo, existe una alta incertidumbre respecto a esto en la unidad Las Lenguas debido a la poca cantidad de datos. Sin embargo, si se pone en contexto con distribuciones como la variación en el #Mg de los ortopiroxenos, se ve un comportamiento similar, con una profundidad muy similar a la de Los Gordos. Posteriormente, la profundidad de Las Negras más confiable es la de dos piroxenos, ya que se tiene el contexto de la profundidad anterior, a diferencia del método clinopiroxeno-líquido, donde la profundidad promedio de 14,90 km no tiene un precedente que indique si es más somera o profunda que en Los Gordos o Las Lenguas.

Tabla 13. Comparativa de las medidas de tendencia central y dispersión para las distribuciones de ambos métodos. Para el método clinopiroxeno-líquido se tomaron los números correspondientes a la fila "promedio total". Notar que Los Gordos y Las Lenguas carecen de datos para este método, situación detallada en apartados anteriores.

| Unidad | Método clinopiroxeno-líquido | | | | Método dos piroxenos | | | |
|-------------|------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| | Promedio (km) | Mediana (km) | Varianza (km ²) | Desv. estándar (km) | Promedio (km) | Mediana (km) | Varianza (km ²) | Desv. estándar (km) |
| Los Gordos | - | - | - | - | 15,06 | 16,49 | 35,38 | 5,95 |
| Las Lenguas | - | - | - | - | 14,58 | 16,93 | 52,21 | 7,23 |
| Las Negras | 14,90 | 15,25 | 22,83 | 4,77 | 13,39 | 13,53 | 21,76 | 4,66 |
| Laguna | 12,62 | 13,54 | 32,15 | 5,67 | 12,80 | 12,57 | 19,85 | 4,46 |
| Llaretá | 14,17 | 15,07 | 40,72 | 6,38 | 9,71 | 9,06 | 25,08 | 5,01 |

Finalmente, Laguna es la que mejor se correlaciona con ambos métodos, algo que tiene que ver con su buena distribución de profundidades en ambos métodos, ya que si bien en el clinopiroxeno-líquido no tenía *peaks* de mucha frecuencia, sí son bastante marcados relativo a las otras unidades. Esto se correlaciona con la distribución normal en el #Mg de los ortopiroxenos y clinopiroxenos, por lo que se concluye que un conjunto de datos de piroxenos bien distribuido y poco disperso contribuye a obtener buenos resultados de profundidad vía ambos métodos. Por último, Llaretá es la profundidad más discutible, ya que su dispersión de datos decanta en un promedio y mediana muy profundos respecto a lo expuesto por los

diagramas de distribución de profundidades, por lo que la estadística no es confiable por sí misma, al menos para el método clinopiroxeno-líquido, ya que si se pone en el contexto del diagrama el intervalo propuesto es de 10-13 km, algo alejado de los 14-15 calculados con la estadística más simplista. Por otro lado, el método de dos piroxenos indica una profundidad mucho más somera para Llaretá, situándola en el intervalo 9-10 km, algo más cercano al intervalo propuesto a partir del diagrama de distribución del método clinopiroxeno-líquido. Por lo tanto, se considera que, debido a la mayor densidad de datos, y a esta aproximada correlación entre los 9-10 km y los 10-13 km, Llaretá es la unidad más somera, con una mayor incertidumbre, pero que no excede los 10 km de profundidad.

En resumen, se considerarán como representativos los datos numéricos del método de dos piroxenos (el promedio) porque la estadística del método clinopiroxeno-líquido es insuficiente por sí misma debido a la falta de una mayor densidad de datos. Sin embargo, tiene relevancia al momento de contrastar resultados, porque más robusto el modelo de evolución de la cámara magmática durante cada una de sus erupciones, las que dieron lugar a las unidades.

5.2. Validez de los métodos

5.2.1. Termobarómetro clinopiroxeno-líquido

- *Factores que afectan el equilibrio en los métodos*

Los resultados del termobarómetro clinopiroxeno-líquido indican que la variable que controla el porcentaje de cristales de piroxeno que están equilibrio con el líquido asociado es el #Mg de este último. Se demostró que variables como el %SiO₂ no son determinantes, por lo que para efectos de este trabajo es irrelevante qué tan félsico es el líquido considerado, ya que se obtuvieron distribuciones de profundidad casi idénticas para un rango amplio del SiO₂% conservando un #Mg del líquido relativamente constante (figura 22).

Adicionalmente, los resultados tampoco varían significativamente al considerar líquidos de distintos volcanes, ya que las distribuciones de profundidad para las tres unidades sometidas al termobarómetro clinopiroxeno-líquido son similares aun cuando los líquidos son del volcán Paniri, Toconce, Cerro del León, Cerro La Torta, o San Pedro. Como solo se consideraron líquidos de volcanes pertenecientes a la SPLVC queda propuesto estudiar cómo varían los resultados si se considera un líquido de un volcán que no pertenece a esta cadena. Se esperan resultados similares, ya que cuantitativamente el método solo considera #Mg del líquido, y como se estudiaron líquidos con un rango muy amplio de ambos parámetros, entonces es difícil encontrar un líquido que sea diferente a los estudiados.

Por lo tanto, se concluye que la rigurosidad que se emplea al momento de aplicar el método debe concentrarse en escoger un líquido cuyo #Mg_{líquido} maximice el número de cristales de clinopiroxeno en equilibrio con él. No obstante, también se debe ser riguroso al estudiar la variación en las distribuciones obtenidas. Por ejemplo, dos o más líquidos son los que maximizan el porcentaje de cristales de clinopiroxeno en equilibrio, pero nada asegura que la distribución de profundidad asociada a cada uno sea idéntica o similar. Esto implica que siempre se debe emplear el método con todos los líquidos que maximicen el porcentaje de cristales en equilibrio.

Finalmente, queda propuesto evaluar qué sucede al variar otros parámetros geoquímicos además del %SiO₂, y también estudiar qué sucede con las distribuciones de profundidad cuando el porcentaje de cristales de piroxeno en equilibrio con el líquido es mucho mayor, es decir, cuando los *peaks* de las distribuciones de profundidad son más marcadas. Existen estudios (e.g. González-Maurel et al., 2019) donde los *peaks* ilustran una densidad de puntos que supera los 20-30 datos, y obtiene curvas similares a las vistas en este trabajo para el método de dos piroxenos, pero utilizando el termobarómetro clinopiroxeno líquido. Por lo tanto, para obtener distribuciones de profundidad donde la ubicación de la cámara magmática esté mejor definida se necesita una gran dotación inicial de composiciones de cristales de clinopiroxeno. Basándose en los resultados de González-Maurel et al. (2020) de termobarometría clinopiroxeno-líquido esto sería un $n > 200$, por lo menos.

5.2.2. Termobarómetro de dos piroxenos

En el presente trabajo este termobarómetro es el que permite acotar a una profundidad exacta o a un intervalo más reducido la profundidad asociada a cada una de las unidades. Sin embargo, siempre se debe tener presente que es un método arraigado a un mayor grado de incertidumbre, en especial si se sometieron a los *tests* de equilibrio los datos de ortopiroxenos y clinopiroxenos sin haber estudiado petrográficamente qué pares efectivamente podrían estar en equilibrio al ver características como, por ejemplo, que estuviesen en contacto. Por lo tanto, todos los resultados presentados en el trabajo se sustentan en la rigurosidad al momento de realizar las iteraciones con todas las combinaciones posibles. De este modo, se concluye que el termobarómetro de dos piroxenos puede resultar útil, e incluso indicar resultados más concretos que el termobarómetro clinopiroxeno-líquido cuando el número de cristales de clinopiroxeno estudiados es relativamente bajo ($n < 200$). El motivo está detallado en el apartado anterior.

Por otro lado, es importante notar cómo se pueden obtener interpretaciones muy distintas al considerar el resultado de uno u otro termobarómetro por separado (clinopiroxeno-líquido y dos piroxenos). Por ejemplo, los resultados del termobarómetro clinopiroxeno-líquido indican que la unidad Llaretá (más joven) está asociada a una mayor profundidad que la unidad Laguna (previa a Llaretá), lo que puede conducir a concluir que la cámara magmática se mantuvo a una profundidad

similar en dicho período. Por otro lado, los resultados del termobarómetro de dos piroxenos indican que la unidad Llaretá está a una profundidad mucho menor (<10 km) respecto a la unidad Laguna, lo que permitiría concluir que hubo un ascenso durante ese período, y que de hecho constituye el ascenso de mayor magnitud.

Se concluye que la implementación de más de un termobarómetro es clave como medida de control para las conclusiones de este trabajo. El termobarómetro clinopiroxeno-líquido presenta errores analíticos menores que el termobarómetro de dos piroxenos, pero en este contexto la cantidad de cristales de clinopiroxeno en equilibrio utilizando el primero es muy baja como para indicar de forma nítida la profundidad de la cámara magmática. Este hecho conduce a utilizar el termobarómetro de dos piroxenos, que, si bien tiene un mayor error analítico, indica resultados más concretos, acotando la profundidad de la cámara magmática a intervalos más acotados.

De este modo debe existir un *trade-off* entre minimizar los errores analíticos asociados a los resultados, es decir, seleccionar el método que garantice esto, y obtener resultados concluyentes, es decir, profundidades bien acotadas para cada unidad. En este contexto particular se necesita gran precisión en cuanto a las profundidades obtenidas, ya que rangos muy amplios para todas las unidades no permiten proponer una historia evolutiva por cuanto no se podrían ordenar de mayor a menor profundidad, y por ende no existiría una variación espaciotemporal marcada (figura 30). Sin embargo, esto depende del contexto, ya que, si el objetivo del trabajo es simplemente estimar una profundidad para la cámara magmática el volcán sin separarla por cada unidad, entonces probablemente la obtención de un rango de profundidad relativamente amplio sería suficiente.

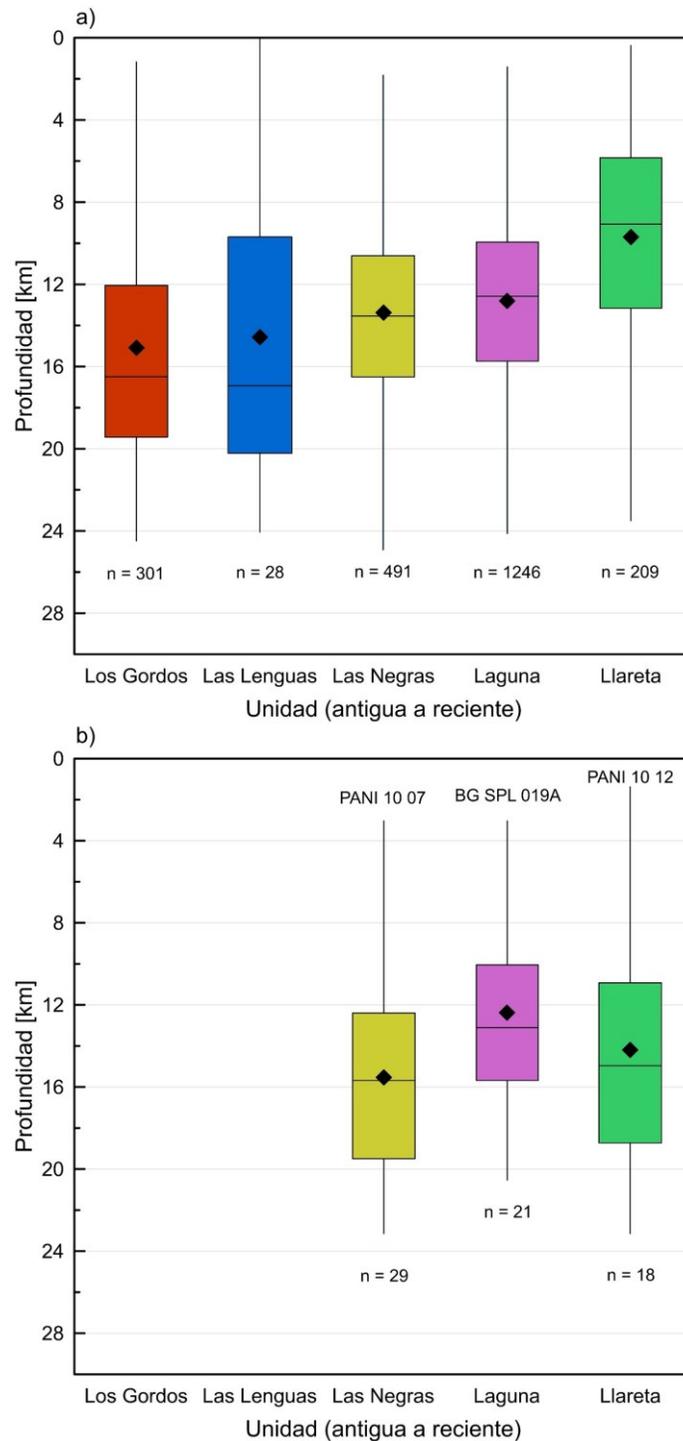


Figura 30. Diagrama de caja y bigotes considerando la estadística expuesta en la tabla 12 para a), ya que ilustra la distribución de profundidad asociada al método de dos piroxenos. b) representa la distribución de profundidades en base al método clinopiroxeno-líquido, donde en lugar de seleccionar el promedio de los 5 líquidos se consideró el primero de cada tabla (9, 10 y 11) que representa a las unidades Las Negras, Laguna, y Llareta.

5.3. Ubicación de las cámaras magmáticas

La profundidad de la cámara magmática está acotada a los intervalos presentados en las tablas del apartado 5.1., y con mayor precisión en el subapartado 5.1.3., información que se presenta de manera gráfica en la figura 30.

Tal como se mencionó al final del apartado anterior (5.2.2.), existen factores que inciden en la calidad de los resultados, en particular para el termobarómetro clinopiroxeno-líquido, donde el porcentaje de cristales de clinopiroxeno en equilibrio con el líquido no es lo suficientemente alto como para indicar una distribución de profundidad que permita acotar un intervalo de profundidad más pequeño. El factor que incide en esto es la cantidad inicial de clinopiroxenos medidos por la microsonda. Por lo tanto, para proponer una ubicación de la cámara magmática se considera también el resultado del termobarómetro de dos piroxenos.

En la figura 30 se presentan las distribuciones de profundidad de cada unidad según los resultados de ambos termobarómetros. Cabe mencionar que para el termobarómetro clinopiroxeno-líquido se escogió solo una distribución por unidad, ya que todas eran similares. Los resultados de este último indican que la cámara magmática experimentó un ascenso de ~ 4 km entre la erupción de la unidad Las Negras y la unidad Laguna cuando se considera el promedio del conjunto de datos (el rombo negro dentro de cada caja). Sin embargo, reporta que hubo un descenso de unos ~ 2 km de la cámara magmática entre la erupción de la unidad Laguna y Llaretá. Por el contrario, el termobarómetro de dos piroxenos, además de reportar valores de profundidad para la unidad Los Gordos y Las Lenguas, reporta un ascenso continuo de la cámara magmática, con un ascenso relativamente constante entre una y otra unidad, a excepción de Laguna a Llaretá, donde existe un ascenso marcado de ~ 3 km.

De este modo, se tienen dos termobarómetros que conducen a interpretaciones opuestas sobre la historia evolutiva de la cámara magmática. Como los resultados del termobarómetro clinopiroxeno-líquido no contemplan a las dos primeras unidades (Los Gordos y Las Lenguas), no se sabe si existe otro instante donde hay un descenso de la cámara magmática. Por otro lado, hay que considerar la cantidad de datos con la que se obtuvieron los diagramas de caja y bigotes (figura 30). La densidad de datos del termobarómetro de dos piroxenos es al menos 10 veces mayor que la densidad de datos del termobarómetro clinopiroxeno-líquido (excepto

para la unidad Las Lenguas). Por lo tanto, se decide considerar los resultados que gozan de una mayor densidad de datos, ya que el promedio y la mediana del conjunto es mucho más representativa. Así, el termobarómetro de dos piroxenos permite proponer un modelo evolutivo más coherente porque contempla a más unidades que el termobarómetro clinopiroxeno-líquido, y porque exhibe un continuo ascenso de la cámara. De este modo los resultados del termobarómetro de dos piroxenos son los que serán utilizados para el resto del trabajo.

Los resultados del termobarómetro clinopiroxeno-líquido son más concluyentes cuando se analizan en simultáneo varias distribuciones de profundidad para una misma unidad porque definen un intervalo de profundidades a partir de ese análisis, tal como ilustra la figura 21. Esto es porque no existe una distribución que por sí sola indique un *peak* o rango de profundidad acotado, lo que tiene que ver con el bajo número de cristales de clinopiroxeno que resultan en equilibrio con los líquidos.

5.4. Historia evolutiva

En base a los resultados se propone un modelo de distribución de cámara magmática única para el volcán Paniri, la cual tiene su profundidad bien acotada a 9-17 km si se consideran los resultados de termobarometría de dos piroxenos sin que se estudien por separado las unidades sobre las cuales se obtuvieron estos resultados. Esto coincide con lo propuesto por Ward et al. (2014) y Zandt et al. (2003) para el APMB, quienes proponen que esta zona parcialmente fundida se encuentra a una profundidad de 4-30 km dentro de la corteza continental. Por lo tanto, la profundidad de la cámara magmática del volcán Paniri se encuentra a una profundidad que coincide con la profundidad media del APMB.

Si ahora se considera la profundidad de cada unidad del volcán Paniri por separado, y también se contempla que cada una de ellas tiene una edad propuesta, entonces se puede proponer un modelo evolutivo, donde se estudia la variación de la profundidad de la cámara magmática con el transcurso del tiempo. De este modo, y analizando la figura 30 (a), la propuesta consiste en una cámara magmática única que asciende progresivamente, emplazándose a unos ~ 15 km de profundidad durante la erupción de la unidad Los Gordos hace $\sim 1,4$ Ma, y alcanzando una profundidad mucho más somera (~ 9 km) al culminar su actividad hace $\sim 0,15$ Ma luego de la erupción de la unidad Llareta. Cabe mencionar que las profundidades estudiadas varían levemente si se considera el promedio o la mediana de los conjuntos de datos. Al mencionar el intervalo general (9-17 km) se considera el valor mínimo y máximo ya sea de la mediana o del promedio, mientras que para el modelo evolutivo propuesto se considera solo el promedio de los resultados del termobarómetro de dos piroxenos.

- Etapa I (~1,4 Ma - ~0,4 Ma)

Contempla la erupción de las unidades Los Gordos y Las Lenguas, donde las profundidades de emplazamiento están acotadas a 15-17 km, el magma es más bien andesítico a dacítico, y el #Mg de los piroxenos es relativamente bajo (<70). Se interpreta la coexistencia de la cámara magmática con un período relativamente estable de actividad dentro del APMB, es decir, un estado donde no hay intervención de fuentes de calor externas o similares que puedan perturbar el sistema cámara magmática (e.g. pulsos de magma provenientes de niveles corticales inferiores), ya que las condiciones en la cámara magmática del Paniri permanecen relativamente constantes durante un largo período de tiempo (~1 Ma), lo que queda evidenciado en las similitudes petrográficas entre las unidades mencionadas y la presión y profundidad a la que cada una está asociada.

Por otro lado, no es del todo claro si existe un ascenso continuo de la cámara magmática durante esta etapa o si se mantiene emplazada prácticamente a la misma profundidad durante este ~1 Ma. Esto es porque los resultados del análisis de la muestra representativa de la unidad Las Lenguas varía si se considera el promedio o la mediana del conjunto de datos (ver tabla 13). Si se toma en cuenta el promedio se tiene un ascenso de ~0,6 km respecto a la cámara durante la erupción a la unidad Los Gordos, mientras que si se considera la mediana, entonces hay un descenso de ~0,5 km respecto a la erupción que dio lugar a la unidad Los Gordos, lo que hace más plausible concluir que la cámara magmática se mantuvo relativamente a la misma profundidad entre la erupción del material que constituye ambas unidades, o bien, considerar solo el escenario del ascenso, es decir, conservar el promedio como el dato exacto de profundidad de aquí en adelante. Tal como se mencionó anteriormente, se considerará el promedio y no la mediana del conjunto de datos por la razón expuesta en este párrafo.

Cabe mencionar que esta contradicción de un ascenso o un descenso al considerar el promedio o la mediana, respectivamente, tiene que ver con el conjunto de datos de Las Lenguas. La medición de solo dos cristales de clinopiroxeno decanta en una densidad de datos particularmente baja respecto a los de otras unidades, por lo que se propone reevaluar las características de esta etapa luego de contar con una densidad considerable de clinopiroxenos medidos. Por lo pronto, se propone que ambas unidades (Los Gordos y Las Lenguas) se emplazan aproximadamente a ~15 km de profundidad, y exhiben señales de un leve ascenso de la cámara magmática, aunque puede considerarse un estado relativamente estacionario de esta. Además

de un cierto grado de asimilación con el APMB, lo que se puede ver en la figura 31.a.

Finalmente, que Los Gordos y Las Lenguas sean unidades con un mayor grado de interacción con el APMB es consistente con lo propuesto por González-Maurel et al. (2019), donde al estudiar 14 volcanes y conos monogenéticos situados en el límite oeste del cuerpo parcialmente fundido propone que la extensión de este fue levemente mayor en el pasado, comenzando a encogerse desde al menos el Plioceno. Esto se propone porque al comparar volcanes que se disponen en la misma zona de velocidad de propagación de la onda S, los del Plioceno (e.g. Araral y Ascotán), que son más antiguos que los del Cuaternario (e.g. Cerro del Azufre, Apacheta, Paniri), presentan razones isotópicas mayores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Por lo tanto, para explicar que actualmente volcanes situados en una zona donde el grado de fusión parcial del APMB es el mismo tengan distintos grados de asimilación cortical, es necesario considerar que los que tienen mayor grado de asimilación (mayor razón de Sr) interactuaron con zonas del APMB donde el grado de fusión fue mayor en el pasado.

Complementariamente, Godoy et al. (2017) propone que el grado de asimilación cortical de los magmas que ascienden a través del APMB es mayor mientras mayor es la magnitud de la columna vertical que atraviesan del cuerpo magmático para erupciones ocurridas hace <2 Ma. Ambas conclusiones propuestas permiten proponer que, si la extensión del APMB fue mayor durante la erupción de Los Gordos y/o Las Lenguas, entonces los magmas que generaron ambas unidades atravesaron una columna de mayor espesor del APMB. Esto se evidenciaría en un mayor $\% \text{SiO}_2$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, y menor $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ respecto a las unidades posteriores (Las Negras, Laguna, Llaretá).

Sin perjuicio de lo anterior, la propuesta de González-Maurel et al. (2019) sobre la mayor extensión del APMB en el pasado es válida en un periodo del Plioceno hacia el pasado. Es por esto por lo que, para concluir que Los Gordos y Las Lenguas interactuaron con una zona del APMB cuyo grado de fusión fue mayor respecto de la que interactuó con las otras unidades del volcán Paniri en el futuro (Las Negras, Laguna, Llaretá) se necesita realizar un análisis similar al de González-Maurel et al. (2019), pero solo con las unidades del volcán Paniri. Por lo pronto, el mayor grado de asimilación propuesto para la cámara magmática del Paniri con el APMB en este período se puede atribuir a un mayor tiempo de interacción de la cámara con el cuerpo magmático. Esta idea proviene de que ambas unidades contemplan un

período cercano a 1 Ma, un período muy superior a los 0,3 Ma en que ocurren las erupciones de las otras tres unidades restantes.

- Etapa II (~0,4 Ma - 0,17 Ma)

Se define por la erupción de la unidad Las Negras, donde ocurre un ascenso de ~1,6 km de la cámara magmática respecto a la Etapa I emplazándose a ~13,4 km de profundidad si se considera como resultado el promedio del conjunto de datos proveniente del método de dos piroxenos, que es el que se tiene en cuenta para todo el modelo, pues es el único que entrega resultados para todas las unidades. En particular para la unidad Las Negras este resultado es producto de una densidad de datos superior a la considerada para la etapa I, y donde el promedio y la mediana comienzan a tener un mayor grado de convergencia, dando consistencia al valor propuesto. Algunos de los rasgos característicos de esta etapa es la erupción de material relativamente máfico (<59% SiO₂), la presencia de olivino, el aumento del #Mg de piroxenos a valores máximos para los cristales analizados en todas las muestras (~75 en ortopiroxenos y >75 en clinopiroxenos), y la erupción volumen particularmente pequeño de material (~0,18 km³) relativo al resto de las unidades, el que supera con creces los pares, y para algunas unidades la decena de km³.

Por otro lado, la edad determinada para la unidad Las Negras (~0,4 Ma) coincide con la erupción otros de flujos relativamente máficos pertenecientes a otros estratovolcanes también situados en los bordes del APVC, y, por ende, dentro de los bordes del APMB (e.g. flujos máficos del Complejo Volcánico Apacheta-Aguilucho, estratovolcán Ollagüe; Tilocalar; La Poruñita) (Wörner et al., 2000; Godoy et al., 2018). Esta correlación permite concluir que la erupción de la unidad Las Negras obedece a un régimen regional donde la erupción de material máfico es la característica dominante.

Para intentar explicar el mecanismo de ascenso y el rol de estos pulsos de magma máfico se considera el estudio de González-Maurel et al. (2019), quien abarca, entre otras cosas, la petrogénesis del cono monogenético La Poruña, situado en el borde oeste del APMB tal como el volcán Paniri. La erupción de este cono monogenético data de hace ~100 ka (Bertin y Amigo, 2019) y es contemporánea con las últimas erupciones del volcán San Pedro (González-Maurel et al., 2019). Es importante notar que esta erupción también es relativamente contemporánea con la erupción de la unidad Laguna y Llaretta del volcán Paniri, las que datan de hace ~170 ka y ~150 ka, respectivamente, y que el cono monogenético La Poruña, el volcán San

Pedro y el volcán Paniri pertenecen a la SPLVC, situándose los tres en el borde oeste del APMB.

Respecto a La Poruña, el comportamiento de sus razones isotópicas (particularmente de Sr) define *trends* opuestos a los esperados para procesos asimilación y cristalización fraccionada, ya que estos contemplan un aumento de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a medida que aumenta la asimilación de material con composiciones mayores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ durante la diferenciación, mientras que los resultados de las muestras de La Poruña indican lo contrario: una disminución de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cuando aumenta el %SiO₂, es decir, a mayor diferenciación menor razón isotópica de estroncio. Además, existe una disminución de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a medida que disminuye la concentración de Sr (ppm), lo que también es un comportamiento que no puede ser explicado por modelos que expliquen procesos AFC (González-Maurel et al., 2019).

Sin embargo, sí existe otro proceso que explica estas características geoquímicas. Huppert y Sparks (1985) indicaron que la disminución en el grado de asimilación a medida que aumenta el grado de diferenciación está asociada con el ascenso de magmas máficos bajo condiciones turbulentas. Este proceso se describe como asimilación durante ascenso turbulento (ATA; Huppert y Sparks, 1985; Moorbath y Thompson, 1980). De este modo, el rápido ascenso de magmas máficos muy calientes produce una fusión y asimilación selectiva de la corteza en escalas de tiempo relativamente pequeñas, incluso llegando al caso extremo en el que los magmas más máficos tengan las razones isotópicas de estroncio más altas (e.g. Huppert y Sparks, 1985; Kerr et al., 1995; Maro et al., 2017; Peccerillo et al., 2004).

También se debe considerar que La Poruña está genéticamente relacionada con las erupciones más antiguas del volcán San Pedro, las que ocurrieron entre 160 y 96 ka hacia el pasado (>96 ka) (Bertin y Amigo, 2019; Delunel et al., 2016; González-Maurel et al., 2019), es decir, estas erupciones comenzaron relativamente entre la erupción de la unidad Laguna y Llaretta del volcán Paniri, por lo que al encontrarse en el borde del APMB y dentro de la misma cadena volcánica (SPLVC) es plausible considerar que los procesos que involucran estas erupciones del San Pedro tienen relación con el volcán Paniri dentro de un contexto regional. Esto es válido si se consideran similitudes petrográficas entre ambos, como que las erupciones del San Pedro involucraron lavas dacíticas de piroxeno (62-64 %SiO₂) y en menor medida andesitas a andesitas basálticas de olivino-piroxeno (<59% SiO₂) (González-Maurel et al., 2019), algo similar al Paniri, donde las lavas dacíticas de piroxeno son las unidades Laguna y Llaretta, y las andesitas basálticas la unidad Las

Negras. Quedan fuera de análisis las unidades Los Gordos y Las Lenguas, pues temporalmente están muy alejadas de las erupciones antiguas del San Pedro entre 160-96 ka.

González-Maurel et al. (2019) propone que como las erupciones más antiguas del San Pedro son máficas, entonces existió un período inicial de inyecciones de pulsos máficos previo al volcanismo de La Poruña hace unos 100 ka. Se propone que las erupciones máficas responden a un aumento en el *input* de magmas máficos derivados del manto provenientes de fuentes profundas. Estos magmas se acumularon en la base de las cámaras magmáticas félsicas debido a diferencias de densidad, tal como propone Huber (2009), y para explicar que no hayan asimilado una cantidad considerable de material cortical durante su ascenso, este debió darse de forma más bien rápida, acumulándose en la corteza media a superior, diferenciándose levemente, y convirtiéndose en magmas pobres en sílice (<59% SiO₂), los que posteriormente ascendieron de forma directa previo a su erupción.

Si a este hecho se le añade que existen debilidades estructurales (fallas) que son paralelas a la disposición de los volcanes y conos monogenéticos de la SPLVC, entonces se concluye que estos lineamientos preexistentes facilitaron el rápido ascenso de estos pulsos de magma máfico (e.g. Giambiagi et al., 2016; Marín, 2016; Sellés y Gardeweg, 2017; Tibaldi et al., 2017).

En base a estas evidencias, principalmente estudiadas por González-Maurel et al. (2019), se propone que la erupción de la unidad Las Negras del volcán Paniri, que es la única unidad máfica, y también la menos voluminosa de este, se debe a una expresión de un aumento en el *input* de pulsos de magma máficos en la base de la cámara magmática del volcán Paniri y en la base del APMB en general. Estos magmas máficos no entraron directamente a asimilar el APMB en su parte central, sino que se desviaron y concentraron preferencialmente en los bordes, rodeando la zona más distal de velocidad de propagación de ondas S [2,9 km/s - 3,2 km/s] dado que es más dúctil según lo propuesto por Ward et al. (2014). Esta disposición les permitió estancarse en los bordes, fraccionándose y diferenciándose levemente a profundidades de 13-19 km, dando lugar a composiciones andesíticas a andesíticas-basálticas, generando la erupción de unidades máficas en algunos estratovolcanes y conos de escoria como La Poruña (González-Maurel et al., 2019), cuyos pulsos responsables de la erupción ascendieron rápidamente gracias a debilidades estructurales como fallas orientadas paralelamente a la cadena volcánica (SPLVC).

Lo anterior implica una evolución magmática que contempla una etapa de diferenciación por mezcla de magma al interactuar levemente con el APMB y/o por asimilación-cristalización fraccionada (AFC), y una posterior etapa de asimilación por ascenso turbulento (ATA). Este último explica por qué hay una erupción como la de la unidad Las Negras. No obstante, habría que comprobar si se cumple la condición del *trend* de Sr v/s %SiO₂ en la unidad Las Negras para confirmar que existió ATA. De todos modos, parecen existir similitudes entre lo que ocurrió en el sistema San Pedro - La Poruña respecto a la dinámica del Paniri desde la erupción de Las Negras hasta Llareta.

- Etapa III (~0,17 Ma - 0,15 Ma)

Representa el estadio final de evolución de la cámara magmática del volcán Paniri. Se caracteriza por ser la etapa evolutiva más breve y la única que evidencia un ascenso abrupto de la cámara magmática según los resultados de termobarometría de dos piroxenos. Una de sus características es que la composición vuelve a ser similar a la de las unidades Los Gordos y Las Lenguas, con la salvedad de que aumenta el número de cúmulos cristalinos. Como es una etapa enmarcada dentro de las erupciones más antiguas del volcán San Pedro, y posterior a la erupción máfica de la unidad Las Negras, su contexto es similar al propuesto por González-Maurel et al. (2019) para explicar las características geoquímicas y petrográficas de La Poruña, información expuesta y discutida en la etapa II.

Durante esta etapa (III) la cámara magmática experimentó, tal como de la etapa I a la etapa II, un ascenso de ~0,6 km, ya que pasó de emplazarse a ~13,4 km durante la erupción de la unidad Las Negras a ~12,8 km durante la erupción de la unidad Laguna hace ~0,17 Ma. Es decir, mantuvo una tasa de ascenso relativamente constante respecto a la transición entre las dos primeras etapas. Sin embargo, hay que considerar que entre la unidad Las Negras y Laguna se sitúa la unidad Viscachas, la más voluminosa después de Los Gordos (10,45 km³) y con una edad de ~0,33 Ma. Como no se cuenta con resultados de profundidad asociados a esta unidad se deja fuera del análisis, aunque se puede decir a partir de su descripción petrográfica que tiene más similitudes con Laguna y Llareta, e incluso con Las Lenguas que, pero no con Las Negras, por lo que de incluirse en algunas de las etapas del presente modelo sería en la etapa III, iniciando esta. De este modo, en el presente trabajo se deja de lado el análisis de Viscachas y se contempla solo a las unidades Laguna y Llareta como parte de la etapa III.

La unidad Laguna, con una edad de $\sim 0,17$ Ma y asociada a una profundidad de $\sim 12,8$ km para la cámara magmática al momento de su erupción representa una erupción precursora a un evento de ascenso abrupto y emplazamiento somero de la misma. El contexto regional propuesto por Godoy et al. (2019) y por González-Maurel et al. (2019) sugiere que en este período pulsos de magma máfico se acumularon en la corteza media a superior, interactuando en mayor o menor medida con cámaras magmáticas emplazadas en los bordes del APMB. Esto parece indicar condiciones similares a las descritas para explicar el origen unidad Las Negras. Sin embargo, si se considera la propuesta de Godoy et al. (2019), los eventos de la etapa III están dentro de la etapa menguante/nueva fase de recarga dentro del ciclo que explica la evolución del APVC. Es decir, en una etapa distinta del ciclo respecto al pulso que dio lugar a la unidad Las Negras. Esta diferencia permite sugerir que quizás hubo una mayor densidad poblacional de pulsos en este período de tiempo ($< 0,2$ Ma), o bien, estos tenían una naturaleza distinta a los que interactuaron con la cámara magmática hace $\sim 0,4$ Ma, lo que impidió que aparecieran como producto eruptivo. Esta diferencia entre los pulsos cobra relevancia cuando se considera que los de la etapa III ($< 0,2$ Ma) fueron capaces de manifestarse como enclaves máficos dentro de domos ricos en sílice en el APVC, para lo cual fue necesario transferir una gran cantidad de calor con el fin de removilizar estos grandes volúmenes de magma altamente viscoso que se emplazaba a profundidades someras (4-8 km). Parece ser que las condiciones de la cámara magmática del volcán Paniri en los últimos 0,2 Ma presentaban diferencias en relación con sus condiciones de hace $\sim 0,4$ Ma, lo que combinado a una posible diferencia en la densidad y naturaleza de los pulsos más recientes impidió que estos pudieran ascender rápidamente y constituir productos volcánicos asociados a Laguna y Llaleta, a diferencia de lo que ocurrió con el pulso máfico de hace $\sim 0,4$ Ma, el que sí se manifestó como un producto del volcán Paniri.

Así, el rol del pulso de magma máfico en esta etapa dio lugar a una erupción que evidencia el comienzo de un proceso precursor de ascenso abrupto de la cámara magmática (Laguna, $\sim 0,17$ Ma), como se muestra en la figura 31 c., el que culminó con el emplazamiento de esta a $\sim 9,7$ km de profundidad al momento de la erupción que dio lugar a la unidad Llaleta ($\sim 0,15$ Ma), lo que implica el ascenso de $\sim 3,1$ km en un período de ~ 20 ka. Este ascenso fue el más destacado y el último a lo largo de la historia del volcán Paniri, porque luego de esto su actividad cesó, lo que estaría asociado a la menor influencia de *inputs* térmicos de los pulsos máficos bajo la cámara magmática del volcán, migrando estos hacia zonas aún más distales de los bordes del APMB. Esto se puede observar en en la figura 31.d. Esta migración volvería reiniciaría el ciclo máfico-"féisico" descrito, solo que para el sistema San Pedro-La Poruña, comenzando a la vez que entraba en erupción Llaleta.

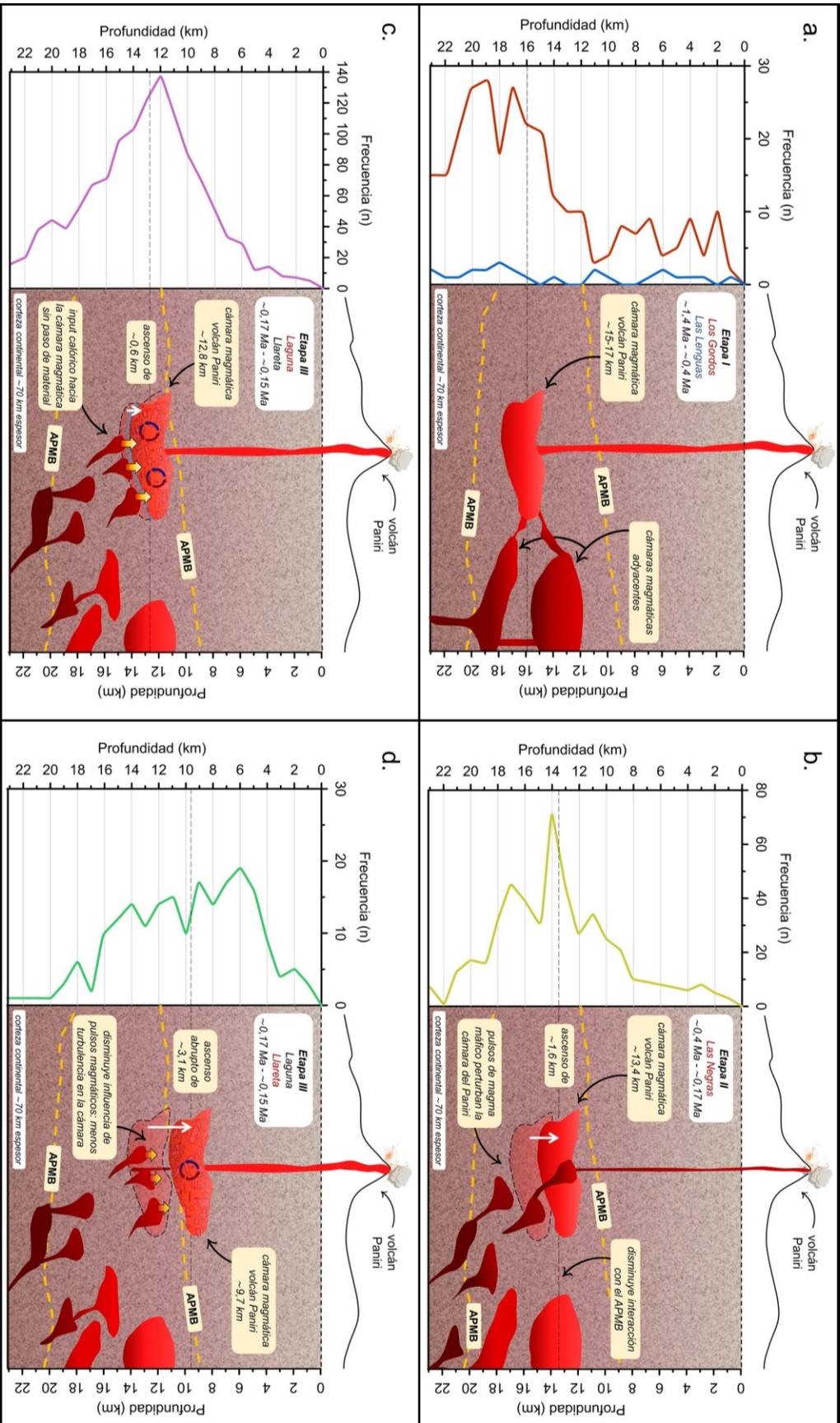


Figura 31. (página anterior). Evolución propuesta del sistema de cámara magmática del volcán Paniri. a. Etapa I: interacción de la cámara magmática con el APMB, dando lugar a la erupción de las unidades Los Gordos y Las Lenguas. b. Etapa II: leve ascenso, disminución de la interacción de la cámara magmática del Paniri con el APMB, y acercamiento de pulsos de magma máfico hacia la base de la cámara, ascendiendo hasta generar la erupción de la unidad Las Negras (poco voluminosa $\sim 0,18 \text{ km}^3$). Etapa III (Laguna): la interacción con mayor densidad de pulsos de magma máfico residuales de la Etapa II. d. Etapa III (Llaretá): ascenso abrupto de la cámara magmática como expresión definitiva de los pulsos máficos residuales. A la izquierda se ilustra la distribución de profundidades según el método de dos piroxenos en cada unidad (figura 28), Las dimensiones y densidad de los cuerpos de magmas y la escala horizontal son esquemáticas. Construido en base a González-Maurel et al. (2019).

5.5. Modelo evolutivo: vista panorámica

En base al modelo evolutivo propuesto para el volcán Paniri basado en el trabajo de González-Maurel et al. (2019) y Godoy et al. (2019) parece haber una contradicción, porque se considera que la unidad Las Negras (~400 ka) tiene una dinámica similar a las erupciones más antiguas del San Pedro (160-96 ka) en cuanto al mecanismo de ascenso y al proceso de ATA. Al mismo tiempo, se considera que la unidad Laguna y Llareta (170-150 ka), que son contemporáneas a las erupciones antiguas del San Pedro, tienen una dinámica, a priori, distinta a la unidad Las Negras, y por ende a las del San Pedro. Esto último se propone porque no hay erupciones de unidades máficas en el Paniri durante Laguna y Llareta. No obstante, no se necesitan erupciones máficas para explicar que estos pulsos sí desempeñan un rol en la dinámica de la cámara magmática del volcán Paniri. Esto queda demostrado porque el modelo propuesto por González-Maurel et al. (2019) para las erupciones del San Pedro (<96 ka y <96 ka) y La Poruña implican la erupción de productos que representan a prácticamente todo el espectro composicional del volcán Paniri.

Si se considerara un resumen de las ideas expuestas en el modelo, las erupciones del volcán San Pedro y La Poruña son una representación de la historia evolutiva del volcán Paniri desde la unidad Las Negras hasta la unidad Llareta, ya que el San Pedro contempla una etapa inicial de erupción de magma menos diferenciado (equivalente Paniri = Las Negras) hace <96 ka, culminando con productos jóvenes (<96 ka) (equivalente Paniri = Laguna y Llareta) más diferenciados debido a un mayor grado de asimilación cortical y contaminación de los magmas parentales, lo que se ve facilitado por un mayor *input* de magma máfico que altera termalmente a la corteza, aumentando el grado de contaminación de los magmas parentales (González-Maurel et al., 2019). Este último hecho es consistente con lo propuesto por Godoy et al. (2019), donde un aumento en el *input* de magmas máficos en la corteza estaría reiniciando el ciclo propuesto para la evolución del APVC. Sin embargo, este proceso ocurre con cierto *delay*, ya que desde hace <0,2 Ma en el Paniri el *input* máfico habría disminuido debido a que desde la erupción de Llareta los pulsos máficos siguieron migrando hacia posiciones más distales del APMB, comenzando con la historia de San Pedro - La Poruña que está bien descrita en González-Maurel et al. (2019) y que sería un símil de los últimos estadios eruptivos del Paniri.

El modelo de la figura 32 resume lo planteado por González-Maurel et al. (2019) y contiene los resultados de termobarometría de dos piroxenos sobre las muestras representativas de cada unidad del volcán Paniri. En él se ilustra una cámara magmática emplazada inicialmente a ~15 km de profundidad, la que asciende continuamente hasta emplazarse a ~9 km de profundidad. También se incluye el dominio del APMB. Su límite lo constituye la línea que separa la zona de propagación de velocidad de 2,9 y 3,2 km/s para las ondas S. Cabe destacar que los *inputs* de magma máfico tienden a rodear el APMB desviándose a través de la zona dúctil (verde).

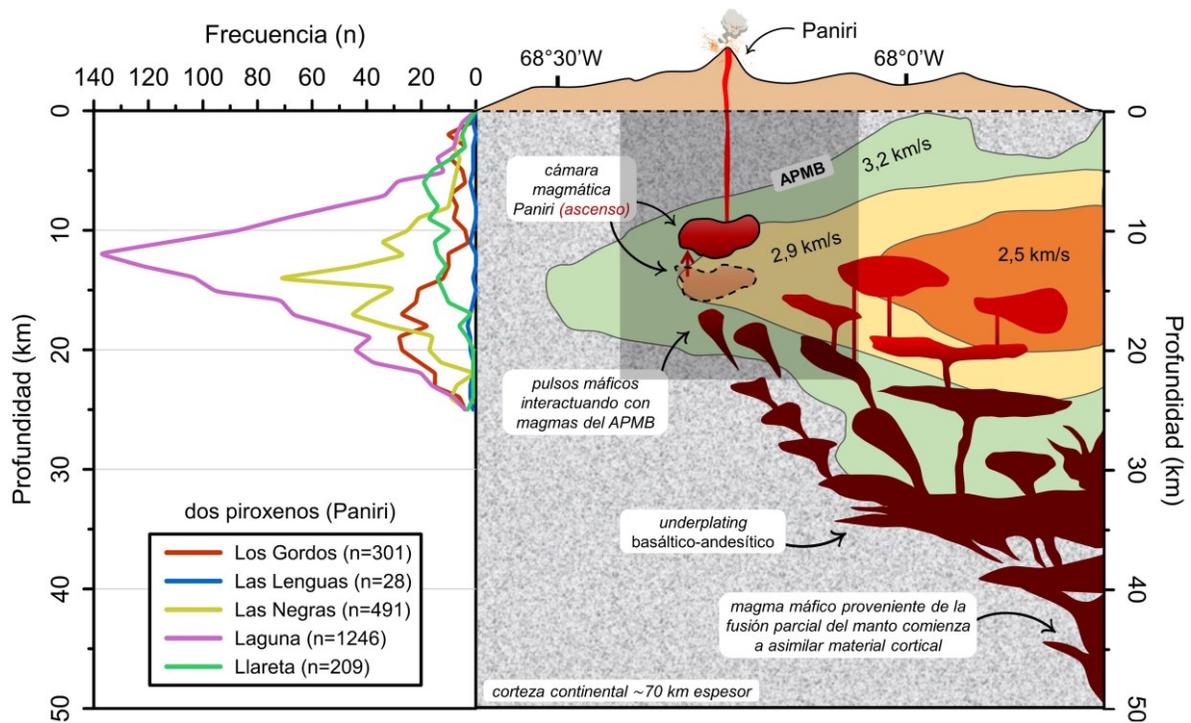


Figura 32. Vista panorámica del modelo propuesto para la distribución y evolución del sistema magmático que impulsó las erupciones de las unidades Los Gordos, Las Lenguas, Las Negras, Laguna, y Llaretta del volcán Paniri. A la izquierda se ilustra la distribución de profundidades según el método de dos piroxenos (figura 28). Las dimensiones y densidad de los cuerpos magmáticos son esquemáticas. La tonalidad oscura indica magma máfico (<59% SiO₂), mientras que tonos de rojo más claros indican magmas con mayor porcentaje en peso de SiO₂. Las zonas verde, amarilla y naranja representan dominios de velocidad de propagación de ondas tipo S según Ward et al. (2014). La extensión del APMB se restringe a la zona naranja y amarilla, mientras que la zona verde facilita el movimiento y ascenso del magma máfico cuyo camino se remite a niveles inferiores de la corteza. Modificado de González-Maurel et al. (2019).

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Se analizaron los flujos de lava pertenecientes al volcán Paniri que definen las unidades Los Gordos, Las Lenguas, Las Negras, Viscachas, Laguna, y Llareta para el volcán. Para cada una de las seis unidades se seleccionó una muestra representativa con el objetivo de implementar los métodos de termobarometría clinopiroxeno-líquido y dos piroxenos. La unidad Viscachas quedó fuera del análisis porque no se encontraron cristales de clinopiroxeno durante el análisis con microsonda electrónica, lo que es un requisito para utilizar cualquiera de los dos termobarómetros. Por lo tanto, todas las consideraciones termobarométricas de este trabajo se limitan a las unidades Los Gordos, las Lenguas, Las Negras, Laguna, y Llareta.

La medición de puntos para cada una de las muestras se hizo de forma general, evitando preferir cristales de clinopiroxeno sobre ortopiroxeno. El número de puntos de piroxenos medidos para cada una de las unidades fue de 96 para Los Gordos, 61 para Las Lenguas, 94 para Las Negras, 112 para Laguna, y 64 para Llareta. No obstante, algunos puntos no superaron la condición de que la suma de sus composiciones de óxidos estuviera dentro del intervalo $100 \pm 1,5\%$, por lo que los puntos finalmente considerados fueron 91 para Los Gordos (24 cpx - 67 opx), 61 para Las Lenguas (2 cpx - 59 opx), 94 para Las Negras (67 cpx - 27 opx), 109 para Laguna (46 cpx - 63 opx), y 62 para Llareta (37 cpx - 25 opx).

Los piroxenos tienen, en general, una composición bastante homogénea entre las unidades. La gran mayoría de los clinopiroxenos augitas (15-35% Fs; 35-45% Wo; 30-40% En), y los ortopiroxenos enstatitas (15-40% Fs; <5% Wo; 55-80% En). Por otro lado, los ortopiroxenos son más dispersos en cuanto a su distribución, en especial los de la unidad Llareta, que es la más reciente. Cabe mencionar que hay puntos que escapan a estos rangos generales, en particular algunas augitas que en realidad son pigeonitas, pero es un número tan despreciable de puntos (2-3) que en general se dice que son augitas.

Respecto al #Mg, se aprecia que hay un aumento progresivo en este a medida que se avanza de unidades más antiguas a más jóvenes. En particular, los ortopiroxenos de las unidades Los Gordos y Las Lenguas tienen un #Mg promedio de 66,8 y 66,9, respectivamente, mientras que Las Negras destaca por ser la unidad con un #Mg

promedio más alto, alcanzando el valor de 74. Finalmente, Laguna y Llaretta se mantienen en un #Mg promedio alto, con valores promedio de 73,5 y 74,1.

Por otro lado, los clinopiroxenos exhiben un comportamiento similar, pero comenzando con un #Mg mayor. La unidad Los Gordos presenta un #Mg promedio de 71,2, mientras que Las Lenguas exhibe un valor de 66,6. Esto representa una diferencia respecto a los ortopiroxenos, donde los valores son similares. Sin embargo, este promedio es tomado solo con dos puntos. Finalmente, Las Negras mantiene el valor de #Mg promedio más alto, con un valor de 75,8, mientras que Laguna y Llaretta se quedan en 74,3 y 71,8, presentando una diferencia en cuanto al #Mg en ortopiroxenos, donde Llaretta superaba a Laguna.

Los métodos empleados fueron el termobarómetro clinopiroxeno-líquido y de dos piroxenos según Putirka (2008). La metodología asociada a cada es dependiente de la cantidad de clinopiroxenos del conjunto de datos, y en particular el termobarómetro clinopiroxeno-líquido, ya que no trabaja con ortopiroxenos, a diferencia del de dos piroxenos que usa ambos tipos de piroxeno. Esto produjo que las unidades con un menor número de clinopiroxenos (Los Gordos y Las Lenguas) no hayan reportado clinopiroxenos en equilibrio con ninguno de los líquidos utilizados para el *test* de equilibrio del termobarómetro clinopiroxeno-líquido. Por lo tanto, este termobarómetro solo entregó resultados para las unidades Las Negras, Laguna, y Llaretta.

Los resultados del termobarómetro clinopiroxeno líquido no reportaron valores de profundidad en un intervalo acotado, ya que los valores de profundidad obtenidos no se concentraron marcadamente en torno a un valor. Esto sucedió para las tres unidades, e independientemente del líquido seleccionado, por lo que se estimaron intervalos de profundidad al analizar distintas distribuciones (cambiando en líquido) para una misma unidad. La unidad Las Negras está asociada a una profundidad de 12-19 km; unidad Laguna a 12-15 km; unidad Llaretta a 10-13 km. Esto implica un ascenso relativamente constante para la cámara magmática del volcán Paniri si se consideran los valores promedio de estos intervalos.

No obstante, si se selecciona el líquido que entrega la distribución con una mayor cantidad de puntos se tiene que las profundidades promedio para cada unidad son: 14,90 km para Las Negras (n = 29); 12,62 km para Laguna (n = 21); 14,17 km para Llaretta (n = 18). Esto contradice lo inferido a partir de los intervalos, y se atribuye a la baja cantidad de datos (n) con los que se calcula la estadística.

Por otro lado, el termobarómetro de dos piroxenos reportó resultados para las cinco unidades estudiadas, destacando una gran densidad de pares de piroxeno en equilibrio (n): 301 para Los Gordos, 28 para Las Lenguas, 491 para Las Negras, 1246 para Laguna, y 209 para Llaretá. Esto se tradujo en distribuciones de profundidad con valores marcados para cada unidad. Se obtuvo un valor promedio de 15,06 km de profundidad para Los Gordos; 14,58 km para Las Lenguas; 13,39 km para Las Negras; 12,80 km para Laguna; 9,71 km para Llaretá. Como las unidades se ordenan temporalmente, esto indica un continuo ascenso de la cámara magmática a lo largo de la historia del volcán Paniri, con ascensos relativamente constantes entre cada unidad, a excepción del último, es decir, de Laguna a Llaretá, donde el ascenso fue de ~3 km y en el menor período de tiempo, ya que son las unidades temporalmente más cercanas entre sí (~0,02 Ma).

Respecto a sus rangos de temperatura y presión estos son de, respectivamente: (~887-1076 °C y ~8-920 MPa) para Los Gordos; (~939-1111 °C y ~1-1099 MPa) para Las Lenguas; (~790-1185 °C y ~1-866 MPa) para Las Negras; (~881-1133 °C y ~4-794 MPa) para Laguna; (~903-1171 °C y ~10-960 MPa) para Llaretá.

De este modo, los resultados del termobarómetro de dos piroxenos son los que se utilizan para proponer un modelo evolutivo de la cámara magmática del volcán Paniri, por incluir a todas las unidades, reportar valores estadísticos calculados con una gran densidad de datos (al menos 10 veces superior al otro termobarómetro), y por presentar un ascenso continuo en la cámara magmática, mostrando que esta se emplaza cada vez a profundidades más someras.

Respecto al termobarómetro clinopiroxeno-líquido se concluye que es más restrictivo, ya que cuenta con distintos filtros de equilibrio, por lo que puede ser útil cuando el número de puntos que reporta como valores de presión y temperatura, y por ende profundidad, es mayor. Para asegurar una distribución donde se marque un valor de profundidad más concreto se necesita un número inicial de puntos mucho mayor al utilizado en este trabajo, es decir, $n \gg 100$.

Sin embargo, si bien los resultados del termobarómetro clinopiroxeno líquido no se aplicaron al modelo evolutivo, se desprendió de su análisis que tanto el número de clinopiroxenos en equilibrio es prácticamente independiente al %SiO₂ del líquido

considerado para estar en equilibrio con los cristales, y también a la distancia que tenga con el origen de estos, ya que se usaron líquidos de distintos volcanes de la SPLVC. Se concluye que solo el #Mg del líquido es el que determina la cantidad de puntos en equilibrio, por lo que al emplear el método no es necesario seleccionar líquidos con otras características geoquímicas similares al objeto de estudio, en este caso, el volcán Paniri.

Con los resultados expuestos, y considerando la bibliografía respecto a la dinámica del APMB y el estudio de erupciones máficas en el borde oeste de este cuerpo parcialmente fundido, se propone un modelo evolutivo de tres etapas para la cámara magmática del volcán Paniri. Este modelo consta de tres etapas porque la información del #Mg de los piroxenos en conjunto con las distribuciones de profundidad indican la existencia de dos características que dan lugar a dos puntos de inflexión: emisión de material máfico que constituye parte del edificio volcánico del Paniri (Las Negras) hace $\sim 0,4$ Ma, y un ascenso abrupto de la cámara magmática hace $\sim 0,17-0,15$ Ma.

La definición de la Etapa I ($\sim 1,4 - 0,4$ Ma) se basa en que entre Los Gordos y Las Lenguas existe similitud geoquímica y petrográfica, además de que las profundidades asociadas son de ~ 15 km. Esta etapa se caracteriza por una cámara magmática relativamente estacionaria que perdura a la misma profundidad durante ~ 1 Ma, con el mayor grado de interacción con el APMB a lo largo de la historia del volcán. Se propone esta idea porque puede tener relación o bien con que durante ese período el APMB estaba encogiéndose, y por lo tanto la columna vertical del cuerpo fundido que interactuó con la cámara magmática del Paniri en ese momento era mayor dado que la extensión del APMB era mayor (González-Maurel et al., 2019), o bien porque el tiempo de interacción de la cámara magmática con el APMB fue mucho mayor que para el resto de las etapas. Cabe mencionar que la primera propuesta es válida a partir de observaciones de volcanes Pliocenos, mucho más antiguos que el Paniri.

La Etapa II ($\sim 0,4 - 0,17$ Ma) definida por la unidad Las Negras con una cámara que experimentó un ascenso de $\sim 1,6$ km y dio lugar a la erupción de un pequeño volumen ($\sim 0,18$ km³) de material máfico ($< 59\%$ SiO₂) producto de la interacción con pulsos de magma máfico provenientes de niveles corticales más profundos. Es la única etapa con erupción de material máfico, y obedece a un régimen regional, donde otros estratovolcanes hicieron erupción de lavas relativamente máficas

(Godoy et al. 2019), y también a un proceso de ascenso abrupto de magma parental máfico provenientes desde el manto, el que se emplazó bajo la cámara magmática del Paniri, diferenciándose levemente hasta composiciones andesíticas a andesíticas-basálticas mediante procesos de cristalización fraccionada, asimilación, y ascenso turbulento (ATA), aprovechando debilidades estructurales de la SPLVC. Cabe mencionar que esta explicación es válida a partir de observaciones de las erupciones del volcán San Pedro y su relación con La Poruña desde hace 160 ka (González-Maurel et al., 2019).

Etapa III (~0,17 - 0,15 Ma) definida por las unidades Laguna y Llaretta, con la primera evidenciando un evento precursor a un ascenso abrupto de la cámara hacia los ~0,15 Ma, produciéndose un ascenso de ~3,1 km, emplazándose a <10 km dentro de la corteza y de forma definitiva. Esto es contemporáneo a las erupciones más antiguas y máficas del volcán San Pedro (96-160 ka), que posteriormente transicionaron a erupciones de material más diferenciado (dacitas) hace <96 ka, y que fueron estudiadas por González-Maurel et al. (2019). Todo esto constituye una representación de la historia del volcán Paniri desde Las Negras hasta Llaretta, pero considerando una escala temporal mucho más reducida y en tiempos más recientes, lo que tiene sentido con una migración de los pulsos máficos hacia el NW.

Todos estos datos permiten proponer que la cámara magmática del volcán Paniri es solo una, y experimentó un ascenso continuo de ~5-7 km durante un período de ~1,25 Ma (~1,4 - ~0,15 Ma). Los pulsos de magma máfico que rodearon el APMB a través de su zona dúctil ($V_s > 2,9$ km/s) son los principales responsables de impulsar el magmatismo del APMB, ya que, al estancarse, acumularse, y comenzar a diferenciarse en niveles corticales medianos-someros (13-19 km), aportaron material máfico (andesitas a andesitas-basálticas). Este material se manifestó como producto volcánico en algunos estratovolcanes y conos monogenéticos situados en los bordes del APMB, como el caso de la unidad Las Negras en el volcán Paniri, o los productos máficos durante las erupciones antiguas del volcán San Pedro (<96 ka).

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

Baker, M.C.W., y Francis, P.W. (1978). Upper Cenozoic volcanism in the Central Andes – Ages and volumes. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 41, p. 175-187.

Barquero-Molina, M. (2003). *$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology and paleomagnetism of ignimbrites and lavas from the central volcanic zone, northern Chile, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology of silicic ignimbrites from Honduras and Nicaragua*. University of Wisconsin--Madison.

Beck, S. L., & Zandt, G. (2002). The nature of orogenic crust in the central Andes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B10), ESE-7.

Bertin, D., & Amigo, Á. (2015). Geología y peligros del volcán San Pedro, II Región. In *Actas XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile* (Vol. 3, pp. 128-131).

Bertín, D., Amigo, A. (2019). Geología del Volcán San Pedro, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica. pp. 1 mapa escala 1:50.000. Santiago, Chile.

Best, M. G., Christiansen, E. H., & Gromme, S. (2013). Introduction: The 36–18 Ma southern Great Basin, USA, ignimbrite province and flareup: Swarms of subduction-related supervolcanoes. *Geosphere*, 9(2), 260-274.

Brasse, H., Lezaeta, P., Rath, V., Schwalenberg, K., Soyer, W., & Haak, V. (2002). The Bolivian altiplano conductivity anomaly. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B5), EPM-4.

Burns, D.H., de Silva, S.L., Tepley III, F., Schmitt, A.K., Loewen, M.W. (2015). Recording the transition from flare-up to steady-state arc magmatism at the Purico-Chascon volcanic complex, northern Chile. *Earth Planet Sci. Lett.* 422, 75–86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.04.002>.

Chmielowski, J., Zandt, G., Haberland, C. (1999). The central Andean Altiplano-Puna magma body. *Geophys. Res. Lett.* 26 (6), 783–786. <http://dx.doi.org/10.1029/1999GL900078>.

Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C., & Ramos, V. (1982). Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth-Science Reviews*, 18(3-4), 303-332.

- Comeau, M. J., Unsworth, M. J., Ticona, F., & Sunagua, M. (2015). Magnetotelluric images of magma distribution beneath Volcán Uturuncu, Bolivia: Implications for magma dynamics. *Geology*, 43(3), 243–246. <https://doi.org/10.1130/G36258.1>
- de Silva, S. L. (1989). Geochronology and stratigraphy of the ignimbrites from the 21° 20'S to 23° 30' S portion of Central Andes of northern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 37(2), 93–131. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(89\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0377-0273(89)90065-6).
- de Silva, S.L. (1989a). Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes. *Geology* 17 (12), 1102–1106. <http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613>.
- de Silva, S.L. (1989b). Geochronology and stratigraphy of the ignimbrites from the 21°30'S to 23°30'S portion of the Central Andes of northern Chile. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 37 (2), 93–131. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-0273\(89\)90065-6](http://dx.doi.org/10.1016/0377-0273(89)90065-6).
- de Silva, S. L., & Francis, P.W. (1991). *Volcanoes of the Central Andes*, vol. 21. Berlin: Springer-Verlag. No. 6.
- de Silva, S., Self, S., Francis, P. W., Drake, R. E., & Carlos, R. R. (1994). Effusive silicic volcanism in the Central Andes: the Chao dacite and other young lavas of the Altiplano-Puna Volcanic Complex. *Journal of Geophysical Research*, 99(B9), 17,805–17,825. <https://doi.org/10.1029/94JB00652>
- de Silva, S., Zandt, G., Trumbull, R., & Viramonte, J. (2006). Large-scale silicic volcanism—The result of thermal maturation of the crust. In *Advances in Geosciences: Volume 1: Solid Earth (SE)* (pp. 215-230).
- de Silva, S.L., Gosnold, W.D. (2007). Episodic construction of batholiths: insights from the spatiotemporal development of an ignimbrite flare-up. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 167 (1–4), 320–335. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.07.015>.
- de Silva, S. (2008). Arc magmatism, calderas, and supervolcanoes. *Geology*, 36(8), 671-672.
- de Silva, S. L., Riggs, N. R., & Barth, A. P. (2015). Quickening the pulse: fractal tempos in continental arc magmatism. *Elements*, 11(2), 113-118.
- de Silva, S. L., & Kay, S. M. (2018). Turning up the heat: high-flux magmatism in the Central Andes. *Elements: An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology*, 14(4), 245-250.
- DeCelles, P. G., Ducea, M. N., Kapp, P., & Zandt, G. (2009). Cyclicity in Cordilleran orogenic systems. *Nature Geoscience*, 2(4), 251-257.

Delunel, R., Blard, P.H., Martin, L.C.P., Nomade, S., Schlunegger, F. (2016). Long term low latitude and high elevation cosmogenic ^3He production rate inferred from a 107 ka old lava flow in northern Chile; 22°S-3400 m a.s.l. *Geochem. Cosmochim. Acta* 184, 71–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2016.04.023>.

Díaz, D., Heise, W., & Zamudio, F. (2015). Three-dimensional resistivity image of the magmatic system beneath Lastarria volcano and evidence for magmatic intrusion in the back arc (Northern Chile). *Geophysical Research Letters*, 42, 5212–5218. <https://doi.org/10.1002/2015GL064426>

Fialko, Y., & Pearce, J. (2012). Sombrero uplift above the Altiplano-Puna magma body: Evidence of a ballooning mid-crustal diapir. *Science*, 338(6104), 250-252.

Figueroa, O., Déruelle, B., & Demaiffe, D. (2009). Genesis of adakite-like lavas of Licancabur volcano (Chile—Bolivia, Central Andes). *Comptes Rendus Geoscience*, 341(4), 310-318.

Francis, P.W., de Silva, S.L. (1989). Application of the Landsat Thematic Mapper to the identification of potentially active volcanoes in the central Andes. *Remote Sens. Environ.* 28, 245–255. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90117-X](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(89)90117-X).

Gardeweg, M., Amigo, A., Matthews, S.J., Sparks, R.S.J., Clavero, J. (2011). Geología del Volcán Láscar, Región de Antofagasta. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, nº 131. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile escala 1:50000.

Godoy, B., Wörner, G., Kojima, S., Aguilera, F., Simon, K., & Hartmann, G. (2014). Low-pressure evolution of arc magmas in thickened crust: The San Pedro-Linzor volcanic chain, Central Andes, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 52, 24–42. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.02.004>

Godoy, B., Wörner, G., Le Roux, P., de Silva, S., Parada, M., Kojima, S., et al. (2017). Sr- and Nd- isotope variations along the Pleistocene San Pedro-Linzor volcanic chain, N. Chile: Tracking the influence of the upper crustal Altiplano-Puna Magma Body. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 341, 172–186. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.030>

Godoy, B., Lazcano, J., Rodríguez, I., Martínez, P., Parada, M., Le Roux, P., et al. (2018). Geological evolution of Paniri volcano, Central Andes, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 84, 184–200. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.03.013>

Godoy, B., Taussi, M., González-Maurel, O., Renzulli, A., Hernández-Prat, L., le Roux, P., ... & Menzies, A. (2019). Linking the mafic volcanism with the magmatic

stages during the last 1 Ma in the main volcanic arc of the Altiplano-Puna Volcanic Complex (Central Andes). *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 102295.

Godoy, B., McGee, L., González-Maurel, O., Rodríguez, I., le Roux, P., Morata, D., & Menzies, A. (2020). Upper crustal differentiation processes and their role in 238U-230Th disequilibria at the San Pedro-Linzor volcanic chain (Central Andes). *Journal of South American Earth Sciences*, 102, 102672.

González, G., Cembrano, J., Aron, F., Veloso, E. E., & Shyu, J. B. H. (2009). Coeval compressional deformation and volcanism in the central Andes, case studies from northern Chile (23 S–24 S). *Tectonics*, 28(6).

González-Maurel, O., le Roux, P., Godoy, B., Troll, V. R., Deegan, F. M., & Menzies, A. (2019). The great escape: Petrogenesis of low-silica volcanism of Pliocene to Quaternary age associated with the Altiplano-Puna Volcanic Complex of northern Chile (21 10'–22 50' S). *Lithos*, 346, 105162.

González-Maurel, O., Godoy, B., le Roux, P., Rodríguez, I., Marin, C., Menzies, A., Bertin, D., Morata, D., Vargas, M. (2019). Magmatic differentiation at La Poruña scoria cone, Central Andes, northern Chile: evidence for assimilation during turbulent ascent processes, and genetic links with mafic eruptions at adjacent San Pedro volcano. *Lithos* 338–339, 128–140. <https://doi.org/10.016/j.lithos.2019.03.033>.

González-Maurel, O., Deegan, F. M., Le Roux, P., Harris, C., Troll, V. R., & Godoy, B. (2020). Constraining the sub-arc, parental magma composition for the giant Altiplano-Puna Volcanic Complex, northern Chile. *Scientific reports*, 10(1), 1-10.

Guest, J.E., y Sanchez, J. (1969). A large dacitic lava flow in Northern Chile. *Bulletin of Volcanology*, v. 33, p. 778-790.

Haberland, C., Rietbrock, A. (2001). Attenuation tomography in the western central Andes: A detailed insight into the structure of a magmatic arc. *J. Geophys. Res.* 106 (B6): 11151–11167. <http://dx.doi.org/10.1029/2000JB900472>

Hildreth, W. (1981). Gradients in silicic magma chambers: implications for lithospheric magmatism. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B11), 10153-10192.

Huber, C., Bachmann, O., Manga, M. (2009). Homogenization processes in silicic magma chambers by stirring and mushification (latent heat buffering). *Earth and Planetary Science Letters*, 283:38-47. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.03.029>.

Huppert, H.E., Sparks, R.S.J. (1985). Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 74(4):371-386. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(85\)80009-1](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(85)80009-1).

Kern, J.M., de Silva, S.L., Schmitt, A.K., Kaiser, J.F., Iriarte, A.R., Economos, R. (2016). Geochronological imaging of an episodically constructed subvolcanic batholith: U-Pb in zircon chronochemistry of the Altiplano-Puna Volcanic Complex of the Central Andes. *Geosphere* 12 (4):1–24. <http://dx.doi.org/10.1130/GES01258.1>.

Kerr, A. C., Kempton, P. D., Thompson, R. N. (1995). Crustal assimilation during turbulent magma ascent (ATA); new isotopic evidence from the Mull Tertiary lava succession, NW Scotland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 119(2-3):142-154. <https://doi.org/10.1007/BF00307277>.

Kühn, C., Brasse, H., & Schwarz, G. (2018). Three-dimensional electrical resistivity image of the volcanic arc in northern Chile —An appraisal of early magnetotelluric data. *Pure and Applied Geophysics*, 175(6), 2153–2165. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1764-y>

Lazcano, J., Godoy, B., Aguilera, F., y Wilke, H.G. (2012). Volcanological evolution of Paniri volcano, Central Andes, northern Chile. Abstract V21A-2759, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 3-7 Diciembre.

Lazcano, J. (2016). Evolución volcanológica del Volcán Paniri (Región de Antofagasta, Chile). (Dissertation, Bachelor's Degree Thesis). Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.

Leidig, M., & Zandt, G. (2003). Modeling of highly anisotropic crust and application to the Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B1), ESE-5.

Lipman, P.W., Prostka, H.J., Christiansen, R.L. (1972). Cenozoic volcanism and plate tectonic evolution of the western United States. I. Early and Middle Cenozoic. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A Math. Phys. Sci.* 271 (1213), 217–248. www.jstor.org/stable/74007.

López, C., Aguilera, F., Godoy, B., Wörner, G., y Kojima, S. (2012). Evolución del sistema volcánico Toconce (Región de Antofagasta, Chile) mediante interpretación fotogeológica, petrográfica y geoquímica. *In XII Congreso Geológico Chileno*, T4, p.594-596, Antofagasta, Chile, 5-9 Agosto.

López, C. (2014). Evolución geológica del Volcán Toconce, Región de Antofagasta, Chile. (Dissertation, Bachelor's Degree Thesis). Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.

Lucassen, F., Becchio, R., Harmon, R., Kasemann, S., Franz, G., Trumbull, R., Wilke H., G., Romer, R., Dulski, P. (2001). Composition and density model of the continental crust at an active continental margin - the Central Andes between 21° and 27°S. *Tectonophysics*, 341(1-4), 195-223.

Mai, K. (2005). The Altiplano (Central Andes) high conductivity zone: Interpretation and modelling of magnetotelluric data. Unpublished Diploma Thesis, Technical University Berlin, Berlin, Alemania, 96 pp.

Mancini, R., Díaz, D., Brasse, H., Godoy, B., & Hernández, M. J. (2019). Conductivity distribution beneath the San Pedro-Linzor volcanic chain, North Chile, using 3-D magnetotelluric modeling *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 4386–4398. <https://doi.org/10.1029/2018JB016114>

Marinovic, N., y Lahsen, A. (1984). Carta geológica de Chile, Hoja Calama, Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta n° 58, Santiago, Chile

Maro, G., Caffè, P.J., Romer, R.L., Trumbull, R.B. (2017). Neogene Mafic Magmatism in the Northern Puna Plateau, Argentina: Generation and Evolution of a Back-arc Volcanic Suite. *Journal of Petrology*, 58(8):1591-1617. <https://doi.org/10.1093/petrology/egx066>.

Marrett, R.A., Allmendinger, R.W., Alonso, R.N., Drake, R.E. (1994). Late cenozoic tectonic evolution of the Puna plateau and adjacent foreland, northwestern Argentine Andes. *J. S. Am. Earth Sci.* 7 (2), 179–207. [http://dx.doi.org/10.1016/0895-9811\(94\)90007-8](http://dx.doi.org/10.1016/0895-9811(94)90007-8)

Martínez, P. (2014). Petrología y geoquímica de lavas recientes, al noroeste del Campo Geotermal del Tatio. (Dissertation, Bachelor's Degree Thesis). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Matthews, S. J., Jones, A. P., & Gardeweg, M. C. (1994). Lascar Volcano, Northern Chile; evidence for steady-state disequilibrium. *Journal of Petrology*, 35(2), 401-432.

Matthews, S.J., Sparks, R.S.J., Gardeweg, M.C., (1999). The Piedras Grandes – soncor eruptions, Lascar volcano, Chile; evolution of a zoned magma chamber in the Central Andean upper crust. *J. Petrol.* 40 (12), 1891–1919. <https://doi.org/10.1093/etroj/40.12.1891>.

Mattioli, M., Renzulli, A., Menna, M., & Holm, P. M. (2006). Rapid ascent and contamination of magmas through the thick crust of the CVZ (Andes, Ollagüe region): Evidence from a nearly aphyric high-K andesite with skeletal olivines. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158(1-2), 87-105.

O'Callaghan, L.J., y Francis, P.W. (1986). Volcanological and petrological evolution of San Pedro volcano, Provincia El Loa, North Chile. *Journal of the Geological Society, London*, v. 143, p. 275-286.

Peccerillo, A., Dallai, L., Frezzotti, M.L., Kempton, P.D. (2004). Sr-Nd-Pb-O isotopic evidence for decreasing crustal contamination with ongoing magma evolution at Alicudi volcano (Aeolian arc, Italy): implications for style of magma-drust interaction and for mantle source compositions. *Lithos*, 78(1-2):217-233. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.01.040>.

Polanco, E., Clavero, J., y Giaveli, A. (2012). Geología de la cadena volcánica Paniri- Toconce, Zona Volcánica Central, Altiplano de la Región de Antofagasta, Chile. *In XII Congreso Geológico Chileno*, T4, p.462-464, Antofagasta, Chile, 5-9 Agosto.

Prezzi, C. B., Götze, H. J., & Schmidt, S. (2009). 3D density model of the Central Andes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 177(3-4), 217-234.

Putirka, K. D. (2008). Thermometers and barometers for volcanic systems. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 69(1), 61-120.

Pritchard, M. E., & Simons, M. (2004). An InSAR-based survey of volcanic deformation in the southern Andes. *Geophysical research letters*, 31(15).

Ramírez, C., y Huete, C. (1981). Carta geológica de Chile, Hoja Ollagüe. Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta nº 40, Santiago, Chile.

Riller, U., Petrinovic, I., Ramelow, J., Strecker, M., Oncken, O. (2001). Late Cenozoic tectonism, collapse caldera and plateau formation in the central Andes. *Earth Planet Sci. Lett.* 188 (3/4), 299–311. [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00333-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00333-8).

Salfity, J.A. (1985). Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste Argentino. *In: Actas IV Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta, Chile, vol. 2. pp. 119–137.

Salisbury, M. J., Jicha, B. R., De Silva, S. L., Singer, B. S., Jiménez, N. C., & Ort, M. H. (2011). ⁴⁰Ar/³⁹Ar chronostratigraphy of Altiplano-Puna volcanic complex ignimbrites reveals the development of a major magmatic province. *Geological Society of America Bulletin*, 123(5-6), 821–840. <https://doi.org/10.1130/B30280.1>

Scheuber, E., & Reutter, K. J. (1992). Magmatic arc tectonics in the Central Andes between 21 and 25 S. *Tectonophysics*, 205(1-3), 127-140.

Schilling, F. R., Partzsch, G. M., Brasse, H., & Schwarz, G. (1997). Partial liquidation below the magmatic arc in the central Andes deduced from geoelectromagnetic field experiments and laboratory data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 103(1-2), 17-31.

Schilling, F. R., & Partzsch, G. M. (2001). Quantifying partial liquid fraction in the crust beneath the central Andes and the Tibetan Plateau. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(4-5), 239-246.

Schilling, F.R., Trumbull, R.B., Brasse, H., Haberland, C., Asch, G., Bruhn, D., Mai, K., Haak, V., Giese, P., Muñoz, M., Ramelow, J., Rietbrock, A., Ricaldi, E., Vietor, T. (2006). Partial liquidation in the Central Andean crust: a review of geophysical, petrophysical, and petrologic evidence. In: Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Giese, P., Götze, H.-J., Ramos, V.A., Strecker, M.R., Wigger, P. (Eds.), *The Andes Active Subduction Orogeny*, *Frontiers in Earth Sciences*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 459–474. https://doi.org/10.1007/978-3-540-48684-8_22.

Schnurr, W.B.W., Trumbull, R.B., Clavero, J., Hahne, K., Siebel, W., Gardeweg, M. (2007). Twenty-five million years of silicic volcanism in the southern central volcanic zone of the Andes: Geochemistry and magma genesis of ignimbrites from 25 to 27°S, 67 to 72°W. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 166 (1):17–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.06.005>.

Seelenfreund, A., Fonseca, E., Llona, F., Lera, L., Sinclair, C., y Rees, C. (2009). Geochemical analysis of vitreous rocks exploited during the Formative period in the Atacama region, northern Chile. *Archaeometry*, v. 51, n° 1, p. 1-25.

Sellés, D., Gardeweg, M. (2017). Geología del área Ascotán-Cerro Inacaliri, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 190:73 pp., 1 mapa escala 1:100.000.

Silva, F., Aguilera, F., Godoy, B., Wörner, G., y Kojima, S. (2012). Evolución del sistema volcánico Cerro del León (Región de Antofagasta, Chile) mediante interpretación fotogeológica, petrográfica y geoquímica. *In XII Congreso Geológico Chileno*, T4, p.597-599, Antofagasta, Chile, 5-9 Agosto.

Silva, F. (2015). Evolución geológica del Volcán Cerro del León, Región de Antofagasta, Chile. Dissertation, Bachelor's Degree Thesis. Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.

Spang, A., Baumann, T. S., & Kaus, B. J. P. (2021). A multiphysics approach to constrain the dynamics of the Altiplano-Puna magmatic system. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2021JB021725. <https://doi.org/10.1029/2021JB021725>

Taussi, M., Godoy, B., Piscaglia, F., Morata, D., Agostini, S., le Roux, P., González-Maurel, O., Gallmeyer, G., Menzies, A., Renzulli, A. (2019). The upper crustal magma plumbing system of the Pleistocene Apacheta-Aguilucho Volcanic Complex area (Altiplano-Puna, northern Chile) as inferred from the erupted lavas and their enclaves. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 373, 179–198. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.01.021>.

Tibaldi, A., Corazzato, C., Rovida, A. (2009). Miocene-Quaternary structural evolution of the Uyuni-Atacama region, Andes of Chile and Bolivia. *Tectonophysics* 471 (1–2), 114–135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.09.011>.

Tierney, C., de Silva, S. L., Schmitt, A. K., Jicha, B., & Singer, B. S. (2010). U-series in zircon and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology reveal the most recent stage of a supervolcanic cycle in the Altiplano-Puna Volcanic Complex, Central Andes. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2010, pp. V41B-2277).

Tierney, C.R., Schmitt, A.K., Lovera, O.M., de Silva, S.L. (2016). Voluminous plutonism during volcanic quiescence revealed by thermochemical modeling of zircon. *Geology* 44 (8), 683–686. <http://dx.doi.org/10.1130/G37968.1>.

Ward, K. M., Porter, R. C., Zandt, G., Beck, S. L., Wagner, L. S., Minaya, E., & Tavera, H. (2013). Ambient noise tomography across the Central Andes. *Geophysical Journal International*, 194(3), 1559-1573.

Ward, K.M., Zandt, G., Beck, S.L., Christensen, D.H., McFarlin, H. (2014). Seismic imaging of the magmatic underpinnings beneath the Altiplano-Puna volcanic complex from the joint inversion of surface wave dispersion and receiver functions. *Earth Planet Sci. Lett.* 404, 43–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.07.022>.

Watts, R.B., de Silva, S.L., Jimenez de Rios, G., y Croudace, I. (1999). Effusive eruption of viscous silicic magma triggered and driven by recharge: A case study of the Cerro Chascon-Runtu Jarita Dome Complex in Southwest Bolivia. *Bulletin of Volcanology*, v. 60, p. 241-264.

Wörner, G., Hammerschmidt, K., Henjes-Kunst, F., Lezaun, J., y Wilke, H.G. (2000). Geochronology ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, K-Ar and He-exposure ages) of Cenozoic magmatic rocks from northern Chile (18–22°S): Implications for magmatism and tectonic evolution of the central Andes. *Revista Geológica de Chile*, v. 27, n°2, p. 205-240.

Yuan, X., Sobolev, S. V., & Kind, R. (2002). Moho topography in the central Andes and its geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 199(3–4), 389-402.

Zandt, G., Leidig, M., Chmielowski, J., Baumont, D., & Yuan, X. (2003). Seismic detection and characterization of the Altiplano-Puna magma body, central Andes. *Pure and Applied Geophysics*, 160(3), 789-807.

ANEXOS

ANEXO A: Química mineral

A continuación, se adjuntan las tablas con la información de cada muestra a partir de la cual se obtuvieron las secciones delgadas analizadas por la microsonda electrónica. FeO* hace referencia al óxido de hierro total, es decir, la suma del férrico (Fe_2O_3) y el ferroso (FeO).

| Unidad | Muestra | Coordenadas (UTM) | | Coordenadas (Lat/Long) | | Referencia | Revista |
|-------------|-------------|-------------------|--------|------------------------|-------------|--------------------|---------|
| | | N | E | Latitud | Longitud | | |
| Los Gordos | PANI 14 03 | 7567188 | 581073 | 21° 59' 53" | 68° 12' 53" | Godoy et al., 2018 | JSAES |
| Las Lenguas | PANI 12 06a | 7559604 | 586036 | 22° 3' 59" | 68° 9' 58" | Godoy et al., 2018 | JSAES |
| Las Negras | PANI 16 01 | 7562359 | 576653 | 22° 2' 31" | 68° 15' 26" | Godoy et al., 2018 | JSAES |
| Viscachas | PANI 12 08 | 7559086 | 583098 | 22° 4' 16" | 68° 11' 41" | Godoy et al., 2018 | JSAES |
| Laguna | PANI 16 04 | 7562366 | 576111 | 22° 2' 30" | 68° 15' 45" | Godoy et al., 2018 | JSAES |
| Llaretá | PANI 16 02 | 7566304 | 584293 | 22° 0' 21" | 68° 11' 0" | Godoy et al., 2018 | JSAES |

| Unidad | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO* | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Total | #Mg |
|-------------|------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|------|
| Los Gordos | 63,20 | 0,60 | 16,6 | 3,92 | 0,07 | 1,58 | 4,23 | 3,89 | 3,07 | 0,16 | 97,33 | 41,8 |
| Las Lenguas | 66,55 | 0,53 | 14,91 | 2,72 | 0,05 | 1,08 | 3,32 | 3,49 | 3,82 | 0,14 | 96,61 | 41,4 |
| Las Negras | 56,43 | 0,84 | 16,70 | 6,26 | 0,10 | 4,23 | 7,36 | 3,47 | 1,90 | 0,21 | 97,51 | 54,6 |
| Viscachas | 64,66 | 0,67 | 15,53 | 3,94 | 0,07 | 2,00 | 4,49 | 3,75 | 2,98 | 0,16 | 98,24 | 47,5 |
| Laguna | 64,08 | 0,62 | 15,80 | 4,01 | 0,07 | 2,07 | 4,18 | 3,55 | 3,43 | 0,17 | 97,99 | 47,9 |
| Llaretá | 63,77 | 0,58 | 15,59 | 3,90 | 0,07 | 2,15 | 4,16 | 3,52 | 3,49 | 0,15 | 97,37 | 49,6 |

ANEXO B: Composición de piroxenos

A continuación, se adjuntan las composiciones químicas determinadas por la microsonda electrónica para los clinopiroxenos. Estas tablas solo contemplan aquellos clinopiroxenos que superaron el requisito de la suma de sus composiciones reportadas están dentro del intervalo $100 \pm 1,5\%$. FeO* hace referencia al óxido de hierro total, es decir, la suma del férrico (Fe_2O_3) y el ferroso (FeO).

- *Unidad Los Gordos (n = 8)*

| Punto | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO* | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | Total | #Mg |
|------------|------------------|------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|
| 1403_p0 | 52,23 | 0,22 | 1,75 | 19,4 | 0,67 | 22,5 | 2,57 | 0,08 | 0,1 | -0,02 | 99,53 | 67,40 |
| 1403_p012 | 51,35 | 0,39 | 1,58 | 9,74 | 0,33 | 14,81 | 21,08 | 0,43 | 0 | 0,01 | 99,72 | 73,05 |
| 1403_p014 | 50,04 | 0,5 | 2,06 | 9,35 | 0,37 | 14,46 | 21,59 | 0,39 | -0,01 | 0,02 | 98,78 | 73,38 |
| 1403_p034 | 51,09 | 0,43 | 1,49 | 8,73 | 0,39 | 14,71 | 21,9 | 0,33 | -0,01 | -0,01 | 99,07 | 75,02 |
| 1403_p060 | 50,77 | 0,28 | 1,27 | 9,94 | 0,43 | 14,33 | 21,23 | 0,5 | -0,01 | 0 | 98,75 | 71,99 |
| 1403_p061 | 52,02 | 0,24 | 1,09 | 8,97 | 0,38 | 15,36 | 21,27 | 0,43 | 0 | 0,01 | 99,77 | 75,32 |
| 1403_p0108 | 51,2 | 0,34 | 1,31 | 9,08 | 0,31 | 14,75 | 21,88 | 0,4 | 0,01 | 0 | 99,29 | 74,33 |
| 1403_p0109 | 49,73 | 0,68 | 2,45 | 9,51 | 0,32 | 14,2 | 21,53 | 0,31 | 0,03 | 0,02 | 98,77 | 72,69 |

- *Unidad Las Lenguas (n = 2)*

| Punto | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO* | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | Total | #Mg |
|------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-------|
| 1206_p012 | 51,11 | 0,12 | 1,13 | 20,69 | 0,74 | 23,06 | 2,8 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 99,71 | 66,52 |
| 1206_p0112 | 50,02 | 0,55 | 2,32 | 12,59 | 0,36 | 14,13 | 19,55 | 0,41 | 0,02 | 0,28 | 100,23 | 66,67 |

- *Unidad Las Negras (n = 67)*

| Punto | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO* | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | Total | #Mg |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-------|
| 1601_p02 | 51 | 0,61 | 2,56 | 8,27 | 0,19 | 15,86 | 21,66 | 0,27 | 0,01 | 0 | 100,43 | 77,37 |
| 1601_p03 | 49,27 | 1,04 | 4,13 | 10,7 | 0,26 | 15,76 | 19,39 | 0,33 | 0,03 | 0,04 | 100,94 | 72,42 |
| 1601_p06 | 48,95 | 0,9 | 4,56 | 8,98 | 0,22 | 15,47 | 20,28 | 0,31 | 0,01 | 0,13 | 99,82 | 75,43 |
| 1601_p07 | 50 | 0,7 | 3,66 | 7,56 | 0,16 | 15,94 | 21,48 | 0,31 | 0,01 | 0,3 | 100,13 | 78,98 |
| 1601_p010 | 51,09 | 0,5 | 2,39 | 9,11 | 0,24 | 16,2 | 20,6 | 0,31 | 0,01 | 0,05 | 100,49 | 76,02 |
| 1601_p012 | 50,86 | 0,41 | 2,2 | 8,72 | 0,27 | 15,4 | 21,55 | 0,4 | 0 | 0,22 | 100,05 | 75,89 |
| 1601_p013 | 48,72 | 0,87 | 4,29 | 8,45 | 0,22 | 15,7 | 20,49 | 0,31 | 0,01 | 0,26 | 99,33 | 76,81 |
| 1601_p020 | 49,33 | 0,72 | 4,23 | 7,97 | 0,15 | 15,4 | 21,17 | 0,36 | 0,01 | 0,3 | 99,63 | 77,50 |
| 1601_p021 | 49,43 | 0,64 | 3,62 | 7,55 | 0,14 | 16,02 | 21,57 | 0,31 | 0,02 | 0,31 | 99,6 | 79,09 |
| 1601_p022 | 50,15 | 0,7 | 3,54 | 8,18 | 0,2 | 15,9 | 20,98 | 0,31 | 0 | 0,28 | 100,24 | 77,60 |
| 1601_p023 | 49,73 | 0,67 | 3,48 | 7,71 | 0,18 | 15,83 | 21,29 | 0,25 | 0,02 | 0,21 | 99,38 | 78,54 |
| 1601_p024 | 51,43 | 0,39 | 2,11 | 6,55 | 0,17 | 17,53 | 21,14 | 0,28 | 0 | 0,21 | 99,81 | 82,67 |
| 1601_p025 | 49,74 | 0,63 | 3,59 | 7,83 | 0,14 | 15,73 | 21,75 | 0,32 | 0 | 0,04 | 99,78 | 78,17 |
| 1601_p030 | 47,25 | 1,24 | 5,17 | 11,05 | 0,2 | 15,24 | 18,56 | 0,32 | 0,01 | 0,1 | 99,14 | 71,09 |
| 1601_p031 | 49,18 | 0,98 | 2,55 | 11,96 | 0,34 | 15,18 | 18,09 | 0,29 | 0,03 | -0,01 | 98,59 | 69,35 |
| 1601_p038 | 49,27 | 0,59 | 3 | 8,02 | 0,21 | 15,56 | 21,59 | 0,33 | 0,01 | 0,14 | 98,72 | 77,57 |
| 1601_p039 | 48,08 | 0,96 | 3,91 | 9,23 | 0,22 | 15,2 | 20,61 | 0,34 | 0,01 | 0,2 | 98,76 | 74,59 |
| 1601_p042 | 49,58 | 0,58 | 3,91 | 7,16 | 0,14 | 15,74 | 21,63 | 0,3 | 0,01 | 0,08 | 99,13 | 79,67 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|
| 1601_p043 | 49,66 | 0,69 | 4,43 | 8,18 | 0,17 | 15,16 | 20,69 | 0,77 | 0,07 | 0,08 | 99,9 | 76,76 |
| 1601_p044 | 49,87 | 0,66 | 3,48 | 8,33 | 0,16 | 15,46 | 21,24 | 0,34 | 0 | 0,03 | 99,57 | 76,79 |
| 1601_p045 | 50,97 | 0,49 | 2,19 | 9,47 | 0,3 | 17,19 | 18,12 | 0,27 | 0,03 | 0,1 | 99,13 | 76,39 |
| 1601_p050 | 49,14 | 0,73 | 4,31 | 8,15 | 0,18 | 15,89 | 20,53 | 0,32 | 0,01 | 0,27 | 99,54 | 77,66 |
| 1601_p051 | 50,67 | 0,46 | 2,23 | 9 | 0,25 | 17,35 | 18,5 | 0,23 | 0,02 | 0,11 | 98,83 | 77,46 |
| 1601_p052 | 48,25 | 1 | 5,68 | 7,9 | 0,18 | 15,75 | 20,36 | 0,36 | -0,01 | 0,06 | 99,54 | 78,04 |
| 1601_p053 | 49,24 | 0,75 | 3,51 | 9,43 | 0,28 | 15,96 | 19,69 | 0,29 | 0,01 | 0,08 | 99,23 | 75,11 |
| 1601_p054 | 49,96 | 0,59 | 3,97 | 6,76 | 0,14 | 16,21 | 21,46 | 0,33 | 0,01 | 0,2 | 99,63 | 81,04 |
| 1601_p055 | 49,32 | 0,87 | 3,19 | 9,8 | 0,28 | 14,88 | 20,57 | 0,36 | 0,02 | 0,03 | 99,31 | 73,02 |
| 1601_p064 | 49,84 | 0,62 | 3,29 | 8,31 | 0,17 | 15,56 | 21,34 | 0,37 | 0,02 | 0,04 | 99,56 | 76,95 |
| 1601_p065 | 50,34 | 0,6 | 3,36 | 8,47 | 0,23 | 15,97 | 20,16 | 0,41 | 0,07 | 0,02 | 99,62 | 77,07 |
| 1601_p066 | 49,31 | 0,72 | 4,8 | 7,95 | 0,17 | 14,79 | 20,34 | 0,34 | 0,05 | 0,08 | 98,55 | 76,83 |
| 1601_p067 | 48,78 | 1,77 | 4,79 | 13,09 | 0,24 | 12,55 | 16,06 | 0,71 | 0,68 | 0,05 | 98,71 | 63,09 |
| 1601_p068 | 50,68 | 0,37 | 2,52 | 8,67 | 0,23 | 14,88 | 21,9 | 0,4 | -0,01 | 0 | 99,65 | 75,37 |
| 1601_p069 | 50,63 | 0,58 | 3,12 | 7,78 | 0,18 | 16,03 | 20,69 | 0,24 | 0,01 | 0,19 | 99,46 | 78,60 |
| 1601_p079 | 50,37 | 0,71 | 1,53 | 11,8 | 0,39 | 15,65 | 18,49 | 0,26 | 0,01 | -0,01 | 99,2 | 70,27 |
| 1601_p084 | 51,07 | 0,56 | 3,68 | 6,76 | 0,19 | 17,47 | 20,02 | 0,41 | 0,01 | 0,55 | 100,73 | 82,16 |
| 1601_p085 | 50,74 | 0,53 | 2,77 | 8,34 | 0,24 | 15,96 | 21,21 | 0,29 | 0 | 0,03 | 100,11 | 77,33 |
| 1601_p088 | 48,71 | 1,15 | 4,65 | 12,6 | 0,3 | 16,73 | 16,18 | 0,28 | -0,02 | 0,08 | 100,67 | 70,30 |
| 1601_p089 | 48,78 | 1,21 | 4,46 | 11,07 | 0,28 | 15,26 | 19,18 | 0,35 | 0,03 | 0,06 | 100,67 | 71,08 |
| 1601_p092 | 50,96 | 0,37 | 1,81 | 10,7 | 0,3 | 14,51 | 21,33 | 0,44 | -0,01 | -0,07 | 100,42 | 70,74 |
| 1601_p093 | 50,07 | 0,67 | 3,4 | 7,87 | 0,18 | 15,89 | 21,18 | 0,3 | 0,01 | 0,25 | 99,81 | 78,26 |
| 1601_p096 | 50,71 | 0,46 | 3,22 | 6,2 | 0,16 | 16,7 | 21,55 | 0,34 | 0,01 | 0,47 | 99,82 | 82,76 |
| 1601_p097 | 48,18 | 1,03 | 5,28 | 10,42 | 0,27 | 15,52 | 18,48 | 0,32 | 0,04 | 0,06 | 99,61 | 72,64 |
| 1601_p0100 | 49,16 | 0,92 | 3,77 | 9,25 | 0,23 | 15,17 | 21,25 | 0,35 | 0,02 | 0 | 100,12 | 74,51 |
| 1601_p0101 | 48,15 | 1,15 | 4,93 | 9,65 | 0,19 | 14,75 | 20,55 | 0,34 | 0,01 | 0,09 | 99,8 | 73,15 |
| 1601_p0108 | 49,66 | 0,76 | 3,98 | 8,27 | 0,21 | 15,79 | 20,89 | 0,31 | 0,01 | 0,18 | 100,05 | 77,29 |
| 1601_p0116 | 48,38 | 1,04 | 5 | 8,32 | 0,2 | 16,07 | 19,96 | 0,35 | -0,01 | 0,09 | 99,39 | 77,49 |
| 1601_p0117 | 51,28 | 0,97 | 3,42 | 11,09 | 0,28 | 13,8 | 18,23 | 0,58 | 0,48 | -0,05 | 100,14 | 68,93 |
| 1601_p0122 | 50,09 | 0,76 | 2,39 | 10,91 | 0,3 | 14,88 | 20,4 | 0,43 | 0 | 0,02 | 100,19 | 70,86 |
| 1601_p0123 | 49,66 | 0,63 | 2,92 | 8,98 | 0,22 | 14,99 | 21,2 | 0,41 | 0,01 | 0 | 99,03 | 74,85 |
| 1601_p0124 | 49,17 | 0,73 | 3,67 | 8,15 | 0,17 | 15,35 | 21,5 | 0,38 | 0,01 | 0,05 | 99,18 | 77,05 |
| 1601_p0125 | 49,07 | 0,92 | 4,19 | 9,26 | 0,23 | 14,89 | 21,54 | 0,35 | 0,03 | 0,04 | 100,52 | 74,14 |
| 1601_p0130 | 48,34 | 0,89 | 4,61 | 8,42 | 0,2 | 15 | 20,78 | 0,36 | -0,01 | 0,15 | 98,77 | 76,05 |
| 1601_p0131 | 51,29 | 0,77 | 1,8 | 11,72 | 0,35 | 14,75 | 18 | 0,42 | 0,15 | 0,01 | 99,27 | 69,17 |
| 1601_p0138 | 50,58 | 0,36 | 1,3 | 11,98 | 0,37 | 14 | 20,56 | 0,47 | 0,01 | 0,02 | 99,63 | 67,57 |
| 1601_p0139 | 49,63 | 0,64 | 3,38 | 7,51 | 0,19 | 15,87 | 21,69 | 0,28 | 0 | 0,32 | 99,51 | 79,02 |
| 1601_p0140 | 49,21 | 0,76 | 4,71 | 7,75 | 0,13 | 15,52 | 20,9 | 0,3 | -0,01 | 0,12 | 99,41 | 78,12 |
| 1601_p0141 | 49,54 | 0,54 | 3,36 | 8,94 | 0,21 | 14,91 | 21,07 | 0,32 | 0,01 | 0,33 | 99,23 | 74,83 |
| 1601_p0145 | 51,52 | 0,51 | 1,52 | 16,67 | 0,37 | 22,67 | 6,4 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 99,82 | 70,80 |
| 1601_p0146 | 51,46 | 0,15 | 1,18 | 8,84 | 0,45 | 14,95 | 22,21 | 0,4 | 0 | 0,01 | 99,64 | 75,09 |
| 1601_p0147 | 49,56 | 0,63 | 3,38 | 7,1 | 0,17 | 15,75 | 22,33 | 0,29 | 0,02 | 0,29 | 99,52 | 79,82 |
| 1601_p0149 | 50,41 | 0,59 | 2,31 | 9,85 | 0,27 | 16,39 | 19,21 | 0,22 | 0,02 | 0,06 | 99,32 | 74,79 |
| 1601_p0150 | 50,73 | 0,51 | 2,87 | 7,43 | 0,16 | 16,82 | 20,87 | 0,34 | 0 | 0,19 | 99,91 | 80,14 |
| 1601_p0151 | 49,95 | 0,64 | 3,38 | 7,33 | 0,17 | 15,86 | 21,64 | 0,36 | 0,01 | 0,27 | 99,61 | 79,41 |
| 1601_p0153 | 53,39 | 0,42 | 1,01 | 18,4 | 0,49 | 23,38 | 2,62 | 0,16 | 0,12 | -0,02 | 100 | 69,37 |
| 1601_p0154 | 51,33 | 0,39 | 2,04 | 8,06 | 0,22 | 17,17 | 20,51 | 0,22 | -0,01 | 0,16 | 100,11 | 79,15 |
| 1601_p0155 | 51,11 | 0,47 | 2,66 | 7,34 | 0,17 | 17,3 | 20,12 | 0,28 | 0,02 | 0,28 | 99,75 | 80,77 |
| 1601_p0158 | 51,73 | 0,23 | 1,92 | 6,94 | 0,17 | 16,32 | 22,36 | 0,41 | 0 | 0,17 | 100,25 | 80,74 |

- *Unidad Laguna (n = 46)*

| Punto | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO* | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | Total | #Mg |
|------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-------|
| 1604_p06 | 48,65 | 0,99 | 3,89 | 9,81 | 0,2 | 14,41 | 20,51 | 0,32 | -0,01 | 0,05 | 98,84 | 72,36 |
| 1604_p018 | 50,81 | 0,42 | 1,46 | 10,89 | 0,43 | 14,06 | 20,39 | 0,44 | 0 | 0,01 | 98,9 | 69,71 |
| 1604_p019 | 48,05 | 1,16 | 4,69 | 10,23 | 0,21 | 13,48 | 20,79 | 0,39 | 0,04 | 0,02 | 99,06 | 70,14 |
| 1604_p023 | 51,15 | 0,24 | 0,97 | 9,71 | 0,54 | 14,02 | 21,8 | 0,28 | 0,02 | 0,01 | 98,74 | 72,02 |
| 1604_p029 | 51,41 | 0,8 | 2,59 | 15,42 | 0,28 | 25,43 | 2,5 | 0,72 | 0,02 | 0,13 | 99,29 | 74,62 |
| 1604_p030 | 49,98 | 0,47 | 2,1 | 11,1 | 0,46 | 13,51 | 20,85 | 0,48 | 0,01 | 0,02 | 98,99 | 68,45 |
| 1604_p031 | 50,38 | 0,51 | 2,66 | 8,37 | 0,13 | 15,6 | 21,21 | 0,29 | 0,02 | 0,08 | 99,27 | 76,86 |
| 1604_p032 | 49,7 | 0,71 | 3,79 | 7,48 | 0,16 | 15,36 | 21,43 | 0,34 | 0 | 0,32 | 99,28 | 78,54 |
| 1604_p033 | 49,35 | 0,76 | 4,38 | 7,61 | 0,18 | 15,12 | 21,25 | 0,38 | 0,02 | 0,22 | 99,28 | 77,98 |
| 1604_p040 | 50,5 | 0,43 | 2,51 | 8,79 | 0,26 | 14,74 | 21,03 | 0,41 | 0,03 | -0,02 | 98,7 | 74,93 |
| 1604_p041 | 49,34 | 0,84 | 3,56 | 9,49 | 0,21 | 14,3 | 20,81 | 0,3 | 0,03 | -0,04 | 98,88 | 72,87 |
| 1604_p042 | 49,52 | 0,61 | 3,99 | 7,66 | 0,16 | 15,82 | 20,37 | 0,38 | 0 | 0,39 | 98,91 | 78,64 |
| 1604_p043 | 49,73 | 0,65 | 2,78 | 9,66 | 0,25 | 15,03 | 20,17 | 0,3 | 0,02 | 0,01 | 98,59 | 73,50 |
| 1604_p055 | 49,9 | 0,85 | 3,11 | 10,07 | 0,31 | 14,81 | 20,19 | 0,32 | 0,04 | 0 | 99,58 | 72,39 |
| 1604_p062 | 51,91 | 0,15 | 0,73 | 9,37 | 0,64 | 13,99 | 22,1 | 0,31 | 0,02 | 0,02 | 99,24 | 72,69 |
| 1604_p063 | 50,59 | 0,45 | 2,1 | 9,4 | 0,39 | 14,73 | 20,81 | 0,32 | 0,01 | -0,01 | 98,8 | 73,64 |
| 1604_p065 | 49,53 | 0,7 | 3,22 | 8,97 | 0,2 | 15,11 | 20,65 | 0,28 | 0,02 | 0,04 | 98,71 | 75,02 |
| 1604_p067 | 49,71 | 0,77 | 3,06 | 9,1 | 0,21 | 14,72 | 21,01 | 0,27 | 0,03 | -0,01 | 98,89 | 74,25 |
| 1604_p069 | 49,07 | 0,93 | 3,49 | 9,71 | 0,23 | 14,41 | 20,68 | 0,34 | 0,05 | 0,01 | 98,91 | 72,57 |
| 1604_p074 | 50,95 | 0,53 | 2,11 | 9,56 | 0,26 | 15,71 | 19,89 | 0,25 | 0 | 0,03 | 99,29 | 74,55 |
| 1604_p075 | 50,27 | 0,62 | 2,91 | 9,13 | 0,24 | 15,19 | 20,78 | 0,31 | 0,04 | 0 | 99,49 | 74,78 |
| 1604_p076 | 48,12 | 1,1 | 4,47 | 10,15 | 0,21 | 14,01 | 20,51 | 0,32 | 0,01 | 0 | 98,89 | 71,10 |
| 1604_p077 | 49,93 | 0,81 | 4,07 | 9,51 | 0,28 | 13,64 | 21,16 | 0,47 | 0,11 | 0,03 | 100,01 | 71,88 |
| 1604_p079 | 50,76 | 0,53 | 2,45 | 8,26 | 0,15 | 15,72 | 20,83 | 0,29 | 0,02 | 0,06 | 99,06 | 77,23 |
| 1604_p082 | 52,5 | 0,24 | 0,51 | 9,12 | 0,27 | 15,93 | 20,37 | 0,24 | 0,01 | 0,04 | 99,23 | 75,69 |
| 1604_p083 | 49,02 | 0,95 | 3,53 | 9,29 | 0,31 | 14,46 | 21,22 | 0,33 | 0,05 | 0,02 | 99,18 | 73,51 |
| 1604_p098 | 50,44 | 0,45 | 3,38 | 7,48 | 0,19 | 16,11 | 20,53 | 0,34 | 0,02 | 0,3 | 99,24 | 79,34 |
| 1604_p099 | 48,41 | 0,97 | 4,18 | 9,2 | 0,21 | 14,37 | 20,93 | 0,32 | 0,01 | 0,01 | 98,61 | 73,57 |
| 1604_p0100 | 50,83 | 0,54 | 1,9 | 9,28 | 0,33 | 15,27 | 21,08 | 0,31 | 0 | -0,03 | 99,54 | 74,57 |
| 1604_p0101 | 50,58 | 0,57 | 2,64 | 8,69 | 0,25 | 15,18 | 21,63 | 0,32 | 0,02 | 0,03 | 99,89 | 75,69 |
| 1604_p0102 | 51,47 | 0,18 | 0,9 | 8,93 | 0,53 | 14,53 | 22,19 | 0,33 | 0,02 | 0,02 | 99,09 | 74,36 |
| 1604_p0103 | 49,62 | 0,82 | 3,61 | 9,25 | 0,17 | 14,61 | 21,48 | 0,35 | 0,02 | 0,02 | 99,96 | 73,79 |
| 1604_p0104 | 51,11 | 0,31 | 1,43 | 9,12 | 0,49 | 14,68 | 21,56 | 0,33 | 0,01 | 0 | 99,04 | 74,16 |
| 1604_p0105 | 49,37 | 0,85 | 3,32 | 8,95 | 0,18 | 14,82 | 20,9 | 0,32 | 0 | 0,04 | 98,75 | 74,69 |
| 1604_p0106 | 50,07 | 0,75 | 3,17 | 9,5 | 0,21 | 15,23 | 20,01 | 0,33 | -0,02 | 0,01 | 99,28 | 74,08 |
| 1604_p0107 | 55,35 | 0,34 | 8,24 | 6,22 | 0,25 | 10,56 | 15,08 | 2,45 | 2,16 | -0,02 | 100,65 | 75,16 |
| 1604_p0110 | 50,53 | 0,59 | 2,54 | 8,7 | 0,25 | 15,18 | 20,96 | 0,27 | 0,01 | 0,03 | 99,06 | 75,67 |
| 1604_p0111 | 48,74 | 1,07 | 3,9 | 10,19 | 0,29 | 14,18 | 19,99 | 0,33 | 0,03 | 0,03 | 98,76 | 71,27 |
| 1604_p0116 | 48,7 | 0,86 | 4,08 | 9,48 | 0,18 | 14,23 | 20,77 | 0,37 | 0,01 | 0,02 | 98,71 | 72,79 |
| 1604_p0117 | 48,91 | 0,9 | 3,52 | 9,29 | 0,28 | 14,35 | 21,12 | 0,36 | 0 | 0 | 98,74 | 73,36 |
| 1604_p0118 | 50,43 | 0,52 | 2,73 | 8,27 | 0,19 | 15,49 | 21,26 | 0,29 | 0,01 | 0,07 | 99,25 | 76,95 |
| 1604_p0124 | 50,03 | 0,53 | 2,79 | 8,25 | 0,2 | 15,29 | 21,52 | 0,28 | -0,02 | 0 | 98,88 | 76,76 |
| 1604_p0125 | 50,15 | 0,49 | 2,02 | 8,87 | 0,3 | 14,66 | 21,68 | 0,37 | 0 | -0,01 | 98,53 | 74,66 |
| 1604_p0126 | 48,14 | 0,86 | 5,52 | 8,57 | 0,19 | 14,53 | 20,57 | 0,33 | 0 | 0,06 | 98,77 | 75,14 |
| 1604_p0127 | 49,9 | 0,66 | 3,64 | 8,12 | 0,17 | 15,14 | 21,25 | 0,29 | -0,01 | 0,1 | 99,28 | 76,87 |
| 1604_p0132 | 49,84 | 0,56 | 3,07 | 8,45 | 0,23 | 14,95 | 21,12 | 0,32 | 0 | 0,1 | 98,64 | 75,93 |

- *Unidad Llaretá (n = 37)*

| Punto | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO* | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | Total | #Mg |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-------|
| 1602_p3 | 51,8 | 0,14 | 0,86 | 8,85 | 0,52 | 14,39 | 22,09 | 0,36 | 0,02 | -0,02 | 99,03 | 74,35 |
| 1602_p4 | 48,57 | 1,15 | 5,08 | 9,05 | 0,13 | 14,31 | 21,05 | 0,33 | 0,01 | 0,1 | 99,81 | 73,81 |
| 1602_p5 | 50,64 | 0,56 | 3,12 | 11,11 | 0,4 | 15,86 | 17,24 | 0,41 | 0,09 | 0,02 | 99,44 | 71,79 |
| 1602_p6 | 51,98 | 0,2 | 0,95 | 8,9 | 0,6 | 14,45 | 21,8 | 0,42 | 0,01 | 0,04 | 99,35 | 74,32 |
| 1602_p8 | 50,14 | 0,59 | 3,39 | 8,51 | 0,17 | 15,53 | 20,37 | 0,24 | 0,01 | 0,2 | 99,15 | 76,49 |
| 1602_p10 | 49,06 | 0,83 | 4,09 | 10,45 | 0,26 | 14,5 | 19,27 | 0,28 | 0,07 | 0,01 | 98,82 | 71,21 |
| 1602_p13 | 49,64 | 0,92 | 3,98 | 10,14 | 0,2 | 14,87 | 20,11 | 0,3 | 0,03 | 0,01 | 100,19 | 72,33 |
| 1602_p28 | 48,19 | 1,09 | 4,85 | 10,22 | 0,21 | 14,78 | 19,76 | 0,32 | 0,03 | 0,04 | 99,48 | 72,05 |
| 1602_p30 | 56,01 | 0,97 | 9,27 | 7,4 | 0,18 | 9,62 | 14,15 | 1,19 | 1,66 | 0,01 | 100,46 | 69,85 |
| 1602_p36 | 49,71 | 0,64 | 2,78 | 10,26 | 0,26 | 15,75 | 18,9 | 0,24 | 0,02 | -0,03 | 98,56 | 73,24 |
| 1602_p37 | 50,96 | 0,72 | 3,68 | 8,6 | 0,25 | 13,89 | 20,37 | 0,41 | 0,26 | 0,03 | 99,18 | 74,22 |
| 1602_p40 | 51,59 | 0,38 | 1,63 | 9,15 | 0,21 | 17,22 | 18,92 | 0,2 | 0,01 | 0,06 | 99,36 | 77,04 |
| 1602_p48 | 50,58 | 0,63 | 3,41 | 8,16 | 0,21 | 16,21 | 20,16 | 0,31 | 0,01 | 0,17 | 99,87 | 77,98 |
| 1602_p49 | 56,46 | 0,87 | 7,87 | 8,3 | 0,21 | 10,22 | 14,61 | 0,76 | 1,46 | 0,04 | 100,79 | 68,70 |
| 1602_p56 | 48,4 | 1,1 | 4,58 | 10,13 | 0,23 | 13,65 | 20,97 | 0,3 | 0,01 | 0,02 | 99,39 | 70,60 |
| 1602_p64 | 49,98 | 0,53 | 3,26 | 7,53 | 0,19 | 15,75 | 21,39 | 0,3 | 0,01 | 0,27 | 99,21 | 78,85 |
| 1602_p66 | 45,91 | 2,23 | 9,03 | 12,53 | 0,28 | 14,91 | 11,8 | 1,82 | 0,75 | -0,01 | 99,26 | 67,96 |
| 1602_p67 | 55,43 | 1,41 | 8,99 | 10,4 | 0,24 | 10,45 | 8,21 | 1,88 | 1,92 | 0,03 | 98,95 | 64,17 |
| 1602_p70 | 49,46 | 0,87 | 4,43 | 9,15 | 0,21 | 15,56 | 19,74 | 0,31 | 0 | 0,15 | 99,88 | 75,19 |
| 1602_p78 | 50,62 | 0,64 | 3 | 8,27 | 0,22 | 16,24 | 19,98 | 0,29 | 0,02 | 0,17 | 99,45 | 77,78 |
| 1602_p88 | 48,75 | 0,78 | 4,14 | 9,13 | 0,21 | 15,16 | 20,01 | 0,3 | 0,02 | 0,06 | 98,55 | 74,75 |
| 1602_p90 | 50,7 | 0,54 | 2,74 | 9,53 | 0,22 | 16,85 | 18,48 | 0,22 | 0,02 | -0,02 | 99,28 | 75,91 |
| 1602_p91 | 48,45 | 0,85 | 4,12 | 8,87 | 0,19 | 14,84 | 20,84 | 0,28 | 0,04 | 0,08 | 98,56 | 74,89 |
| 1602_p103 | 50,55 | 0,31 | 3,42 | 6,56 | 0,12 | 15,84 | 21,49 | 0,45 | 0,01 | 0,16 | 98,91 | 81,15 |
| 1602_p107 | 48,69 | 0,99 | 4,47 | 9,47 | 0,22 | 15,45 | 19,39 | 0,32 | 0,03 | 0,14 | 99,16 | 74,41 |
| 1602_p108 | 51,57 | 0,32 | 3,22 | 14,56 | 0,28 | 25,61 | 3,32 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 98,96 | 75,82 |
| 1602_p109 | 48,02 | 1,05 | 4,98 | 9,67 | 0,21 | 15,29 | 19,35 | 0,28 | 0,01 | 0,12 | 98,98 | 73,81 |
| 1602_p112 | 48,9 | 0,87 | 4,39 | 8,98 | 0,22 | 15,45 | 19,49 | 0,36 | 0,02 | 0,2 | 98,87 | 75,41 |
| 1602_p114 | 49,04 | 0,82 | 3,99 | 8,96 | 0,2 | 14,95 | 20,59 | 0,26 | 0,01 | 0,1 | 98,92 | 74,84 |
| 1602_p116 | 50,38 | 0,78 | 3,59 | 9,51 | 0,18 | 15,39 | 19,95 | 0,32 | 0,03 | -0,01 | 100,13 | 74,26 |
| 1602_p118 | 50,2 | 0,68 | 3,66 | 8,56 | 0,16 | 16,27 | 20,06 | 0,31 | 0,01 | 0,24 | 100,16 | 77,21 |
| 1602_p141 | 48,21 | 0,83 | 4,34 | 9,5 | 0,21 | 14,32 | 20,79 | 0,33 | 0,03 | 0,03 | 98,58 | 72,88 |
| 1602_p142 | 49,67 | 1,09 | 5,62 | 9,46 | 0,19 | 15,91 | 18,53 | 0,4 | 0,03 | 0,03 | 100,94 | 74,99 |
| 1602_p143 | 48,26 | 0,91 | 4,72 | 9,68 | 0,21 | 14,28 | 20,62 | 0,36 | 0,03 | 0,01 | 99,07 | 72,45 |
| 1602_p144 | 51,32 | 0,39 | 1,62 | 9,57 | 0,24 | 17,01 | 18,44 | 0,2 | 0,01 | 0 | 98,81 | 76,01 |
| 1602_p145 | 47,98 | 1,14 | 4,87 | 9,43 | 0,18 | 14,2 | 21,14 | 0,32 | 0,02 | 0,06 | 99,35 | 72,86 |
| 1602_p149 | 48,69 | 0,93 | 4,33 | 9,79 | 0,2 | 14,86 | 20,21 | 0,33 | 0,05 | 0,05 | 99,44 | 73,01 |

ANEXO C: Resultados del termobarometro clinopiroxeno-líquido

A continuación, se adjunta el resumen de cada iteración del método clinopiroxeno-líquido para un líquido en particular. Los resultados se agrupan por unidad, donde cada tabla indica el código de la muestra cuya composición fue utilizada como líquido, el #Mg asociado a cada una, y el volcán al que pertenece. Para obtener la presión basta utilizar la ecuación de presión litostática.

C.1. Unidad Las Negras

- *Líquidos volcán Paniri*

| LÍQUIDO - PANI 10 09 (PANIRI) - #Mg: 51,6 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p021 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p022 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p023 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p042 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p052 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p053 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p054 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p068 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p069 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p084 | 1050,881 | 21,200 |
| Pani_1601_p085 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p093 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p096 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p0108 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p0116 | 1054,152 | 18,254 |
| Pani_1601_p0123 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0130 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0140 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0147 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0150 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0155 | 1032,731 | 19,487 |

| LÍQUIDO - PANI 05 (PANIRI) - #Mg: 53,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p07 | 1008,115 | 0,489 |
| Pani_1601_p021 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p022 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p025 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p043 | 1047,758 | 19,575 |
| Pani_1601_p045 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p065 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p066 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p069 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p084 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p096 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p0108 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p0116 | 1050,881 | 21,200 |
| Pani_1601_p0124 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p0140 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p0151 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0155 | 1020,654 | 7,478 |

| LÍQUIDO - BG SPL 020 (PANIRI) - #Mg: 54,0 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p07 | 1008,115 | 0,489 |
| Pani_1601_p021 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p022 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p025 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p043 | 1047,758 | 19,575 |
| Pani_1601_p050 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p054 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p066 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p069 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p084 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p0108 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p0116 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p0139 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p0140 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p0147 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p0150 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p0155 | 1050,972 | 16,871 |

| LÍQUIDO - PANI-103-M1 (PANIRI) - #Mg: 55,9 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p021 | 1008,115 | 0,489 |
| Pani_1601_p042 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p054 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p069 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p084 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p093 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p096 | 1047,758 | 19,575 |
| Pani_1601_p0140 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p0151 | 1014,986 | 3,027 |

| LÍQUIDO - BG SPL 022 (PANIRI) - #Mg: 54,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p07 | 1008,115 | 0,489 |
| Pani_1601_p022 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p023 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p025 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p042 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p050 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p051 | 1047,758 | 19,575 |
| Pani_1601_p052 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p054 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p066 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p093 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p096 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p0139 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p0140 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p0150 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p0155 | 1049,693 | 19,689 |

| LÍQUIDO - PANI 14 (PANIRI) - #Mg: 50,4 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p021 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p022 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p023 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p039 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p044 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p051 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p052 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p053 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p066 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p069 | 1050,881 | 21,200 |
| Pani_1601_p084 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p085 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p093 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p0108 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0116 | 1050,972 | 16,871 |
| Pani_1601_p0125 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0140 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0141 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0150 | 1032,731 | 19,487 |

| | | |
|-----------------|----------|--------|
| Pani_1601_p0155 | 1033,435 | 15,004 |
|-----------------|----------|--------|

| LÍQUIDO - PANI 01 (PANIRI) - #Mg: 49,1 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p021 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p022 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p023 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p039 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p044 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p051 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p052 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p053 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p065 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p066 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p069 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p084 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p085 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p093 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p0100 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0101 | 1050,972 | 16,871 |
| Pani_1601_p0108 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0116 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0123 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0130 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0139 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0140 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0150 | 1039,130 | 15,755 |
| Pani_1601_p0151 | 1033,435 | 15,004 |

| LÍQUIDO - BG SPL 044A (PANIRI) - #Mg: 48,5 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p039 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p044 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p051 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p052 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p053 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p065 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p066 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p069 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p084 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p085 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p093 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p097 | 1054,152 | 18,254 |
| Pani_1601_p0100 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0101 | 1050,972 | 16,871 |
| Pani_1601_p0108 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0116 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0123 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0130 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0139 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0140 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0150 | 1039,130 | 15,755 |
| Pani_1601_p0151 | 1033,435 | 15,004 |

| LÍQUIDO - PANI 10 02 (PANIRI) - #Mg: 47,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p039 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p044 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p051 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p052 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p053 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p065 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p066 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p069 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p085 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p093 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p097 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p0101 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0108 | 1050,972 | 16,871 |
| Pani_1601_p0116 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0124 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0139 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0140 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0141 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0150 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0151 | 1039,130 | 15,755 |
| Pani_1601_p0155 | 1044,749 | 18,052 |

| LÍQUIDO - PANI 10 07 (PANIRI) - #Mg: 46,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p030 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p043 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p050 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p051 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p052 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p053 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p064 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p065 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p066 | 1050,881 | 21,200 |
| Pani_1601_p069 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p085 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p089 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p093 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p097 | 1050,972 | 16,871 |
| Pani_1601_p0100 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0101 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0108 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0123 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0124 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0125 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0130 | 1058,421 | 22,559 |
| Pani_1601_p0140 | 1032,731 | 19,487 |
| Pani_1601_p0141 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0150 | 1028,351 | 12,079 |

| LÍQUIDO - PANI 12 16 (PANIRI) - #Mg: 45,5 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p030 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p043 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p050 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p051 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p052 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p053 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p065 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p066 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p069 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p085 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p089 | 1054,152 | 18,254 |
| Pani_1601_p097 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0100 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0101 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0123 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0140 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0141 | 1039,130 | 15,755 |

| LÍQUIDO - PANI 10 12 (PANIRI) - #Mg: 44,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p030 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p042 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p045 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p050 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p051 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p052 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p064 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p065 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p066 | 1050,881 | 21,200 |
| Pani_1601_p069 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p089 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p093 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p097 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0100 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0116 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0125 | 1032,731 | 19,487 |
| Pani_1601_p0130 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0131 | 1039,130 | 15,755 |
| Pani_1601_p0139 | 1033,435 | 15,004 |
| Pani_1601_p0140 | 1044,749 | 18,052 |

| LÍQUIDO - PANI 12 12 (PANIRI) - #Mg: 42,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p022 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p023 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p025 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p030 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p039 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p052 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p053 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p055 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p068 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p069 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p085 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p089 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p0101 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0108 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0116 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0123 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0124 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0125 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0130 | 1058,421 | 22,559 |
| Pani_1601_p0131 | 1067,918 | 24,705 |
| Pani_1601_p0140 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0141 | 1039,130 | 15,755 |

| LÍQUIDO - PANI 14 03 (PANIRI) - #Mg: 41,8 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p022 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p025 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p039 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p043 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p050 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p053 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p055 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p064 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p065 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p085 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p089 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p0100 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p0101 | 1054,152 | 18,254 |
| Pani_1601_p0108 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0116 | 1050,972 | 16,871 |
| Pani_1601_p0117 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0123 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0130 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0131 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0140 | 1058,421 | 22,559 |

| LÍQUIDO - PANI 16 03 (PANIRI) - #Mg: 39,2 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p030 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p053 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p055 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p089 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p0101 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p0125 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p0130 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p0131 | 1060,615 | 23,136 |

| LÍQUIDO - PANI 10 16 (PANIRI) - #Mg: 52,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p021 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p022 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p023 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p042 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p052 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p054 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p064 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p065 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p069 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p084 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p093 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p096 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p0108 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p0116 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p0130 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0140 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0150 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0155 | 1020,304 | 14,203 |

- *Líquidos de otros volcanes de la SPLVC*

| LÍQUIDO - M21 (TOCONCE) - #Mg: 44,1 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p030 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p042 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p045 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p050 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p051 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p052 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p064 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p065 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p066 | 1050,881 | 21,200 |
| Pani_1601_p069 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p089 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p093 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p097 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0100 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0116 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0125 | 1032,731 | 19,487 |
| Pani_1601_p0130 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0131 | 1039,130 | 15,755 |
| Pani_1601_p0139 | 1033,435 | 15,004 |
| Pani_1601_p0140 | 1044,749 | 18,052 |

| LÍQUIDO - M19 (TOCONCE) - #Mg: 44,9 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p030 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p043 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p050 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p051 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p052 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p053 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p065 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p066 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p069 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p085 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p089 | 1054,152 | 18,254 |
| Pani_1601_p097 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0100 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0101 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0123 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0140 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0141 | 1039,130 | 15,755 |

| LÍQUIDO - SPSP 16 02 (SAN PEDRO) - #Mg: 42,5 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p022 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p023 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p025 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p030 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p039 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p052 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p053 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p055 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p068 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p069 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p085 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p089 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p0101 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0108 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0116 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0123 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0124 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0125 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0130 | 1058,421 | 22,559 |
| Pani_1601_p0131 | 1067,918 | 24,705 |
| Pani_1601_p0140 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0141 | 1039,130 | 15,755 |

| LÍQUIDO - BG SPL 030 (LINZOR) - #Mg: 48,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p013 | 1004,929 | 3,824 |
| Pani_1601_p021 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p022 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p023 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p039 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p042 | 1037,064 | 12,940 |
| Pani_1601_p052 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p053 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p054 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p066 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p069 | 1050,881 | 21,200 |
| Pani_1601_p084 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p085 | 1046,936 | 18,720 |
| Pani_1601_p093 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p097 | 1049,693 | 19,689 |
| Pani_1601_p0101 | 1036,468 | 14,750 |
| Pani_1601_p0108 | 1050,972 | 16,871 |
| Pani_1601_p0116 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0124 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0139 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0140 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0141 | 1048,490 | 20,440 |
| Pani_1601_p0150 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0151 | 1039,130 | 15,755 |
| Pani_1601_p0155 | 1044,749 | 18,052 |

| LÍQUIDO - LEO 12 08 (CERRO DEL LEÓN) - #Mg: 45,3 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p030 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p043 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p050 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p051 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p052 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p053 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p065 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p066 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p069 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p085 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p089 | 1054,152 | 18,254 |
| Pani_1601_p097 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0100 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0101 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0123 | 1030,087 | 14,171 |
| Pani_1601_p0140 | 1049,915 | 20,662 |
| Pani_1601_p0141 | 1039,130 | 15,755 |

| LÍQUIDO - TA07/07B (CERRO LA TORTA) - #Mg: 43,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| Pani_1601_p010 | 1046,079 | 17,967 |
| Pani_1601_p020 | 1020,514 | 5,038 |
| Pani_1601_p021 | 1039,327 | 15,674 |
| Pani_1601_p022 | 1036,974 | 14,245 |
| Pani_1601_p023 | 1028,389 | 13,101 |
| Pani_1601_p030 | 1047,115 | 15,660 |
| Pani_1601_p043 | 1014,986 | 3,027 |
| Pani_1601_p050 | 1050,151 | 20,532 |
| Pani_1601_p051 | 1019,505 | 12,390 |
| Pani_1601_p052 | 1032,539 | 12,348 |
| Pani_1601_p053 | 1060,615 | 23,136 |
| Pani_1601_p065 | 1018,220 | 10,917 |
| Pani_1601_p066 | 1043,110 | 18,230 |
| Pani_1601_p069 | 1038,045 | 12,148 |
| Pani_1601_p085 | 1017,459 | 10,042 |
| Pani_1601_p089 | 1054,152 | 18,254 |
| Pani_1601_p097 | 1020,654 | 7,478 |
| Pani_1601_p0100 | 1047,915 | 18,380 |
| Pani_1601_p0101 | 1042,805 | 17,154 |
| Pani_1601_p0117 | 1020,304 | 14,203 |
| Pani_1601_p0130 | 1032,731 | 19,487 |
| Pani_1601_p0131 | 1049,92 | 20,66 |
| Pani_1601_p0139 | 1039,13 | 15,75 |
| Pani_1601_p0140 | 1033,43 | 15,00 |
| Pani_1601_p0141 | 1044,75 | 18,05 |

C.2. Unidad Laguna

- *Líquidos volcán Paniri*

| LÍQUIDO - PANI 01 (PANIRI) - #Mg: 49,1 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p031 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p041 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p063 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p065 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p067 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p074 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p075 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p0105 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0106 | 1060,615 | 23,136 |
| 1604_p0117 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0118 | 1043,110 | 18,230 |
| 1604_p0126 | 1046,936 | 18,720 |
| 1604_p0127 | 1017,459 | 10,042 |

| LÍQUIDO - PANI 03 (PANIRI) - #Mg: 46,9 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p032 | 1046,079 | 17,967 |
| 1604_p033 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p041 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p042 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p043 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p055 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p065 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p074 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p077 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p079 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p0103 | 1038,045 | 12,148 |
| 1604_p0105 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0110 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1050,972 | 16,871 |
| 1604_p0116 | 1020,654 | 7,478 |
| 1604_p0118 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0126 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0127 | 1030,087 | 14,171 |

| LÍQUIDO - PANI 12 12 (PANIRI) - #Mg: 42,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p030 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p032 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p033 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p040 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p041 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p043 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p055 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p067 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p075 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p076 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p077 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p099 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0105 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0106 | 1054,152 | 18,254 |
| 1604_p0111 | 1020,654 | 7,478 |
| 1604_p0116 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0117 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0126 | 1030,087 | 14,171 |
| 1604_p0127 | 1048,490 | 20,440 |

| LÍQUIDO - PANI 10 03 (PANIRI) - #Mg: 44,1 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p031 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p033 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p040 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p041 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p043 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p055 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p063 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p069 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p076 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p077 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p079 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0103 | 1038,045 | 12,148 |
| 1604_p0105 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0110 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1050,972 | 16,871 |
| 1604_p0116 | 1020,654 | 7,478 |
| 1604_p0118 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0126 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0127 | 1030,087 | 14,171 |

| LÍQUIDO - PANI 16 03 (PANIRI) - #Mg: 39,2 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p030 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p041 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p043 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p055 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p067 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p075 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p083 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p099 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0103 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0106 | 1038,045 | 12,148 |
| 1604_p0110 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0111 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0117 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0126 | 1020,654 | 7,478 |

| LÍQUIDO - BG SPL 044A (PANIRI) - #Mg: 48,5 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p033 | 1046,079 | 17,967 |
| 1604_p040 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p042 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p043 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p055 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p067 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p075 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p098 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p099 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0103 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0106 | 1038,045 | 12,148 |
| 1604_p0110 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0116 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0118 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0126 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0127 | 1042,805 | 17,154 |

| LÍQUIDO - PANI 10 02 (PANIRI) - #Mg: 47,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p032 | 1046,079 | 17,967 |
| 1604_p033 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p041 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p042 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p043 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p055 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p065 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p074 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p083 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0101 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0105 | 1046,936 | 18,720 |
| 1604_p0106 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0116 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0132 | 1020,304 | 14,203 |

| LÍQUIDO - PANI 10 16 (PANIRI) - #Mg: 52,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p032 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p042 | 1060,640 | 21,723 |
| 1604_p079 | 1046,079 | 17,967 |
| 1604_p0101 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p0110 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p0118 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p0127 | 1047,758 | 19,575 |

| LÍQUIDO - PANI 12 16 (PANIRI) - #Mg: 45,5 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p019 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p032 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p040 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p041 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p042 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p043 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p055 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p063 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p069 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p076 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p077 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p079 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p099 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0105 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0106 | 1054,152 | 18,254 |
| 1604_p0111 | 1020,654 | 7,478 |
| 1604_p0116 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0117 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0126 | 1030,087 | 14,171 |
| 1604_p0127 | 1048,490 | 20,440 |

| LÍQUIDO - PANI 10 07 (PANIRI) - #Mg: 46,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p032 | 1046,079 | 17,967 |
| 1604_p033 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p041 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p042 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p043 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p055 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p065 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p074 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p077 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p079 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p0103 | 1038,045 | 12,148 |
| 1604_p0105 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0110 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1050,972 | 16,871 |
| 1604_p0116 | 1020,654 | 7,478 |
| 1604_p0118 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0126 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0127 | 1030,087 | 14,171 |

| LÍQUIDO - PANI 14 03 (PANIRI) - #Mg: 41,8 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p030 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p033 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p040 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p041 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p043 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p055 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p063 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p069 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p076 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p077 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p079 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0103 | 1038,045 | 12,148 |
| 1604_p0105 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1049,693 | 19,689 |
| 1604_p0110 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1050,972 | 16,871 |
| 1604_p0116 | 1020,654 | 7,478 |
| 1604_p0118 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0126 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0127 | 1030,087 | 14,171 |

| LÍQUIDO - PANI 14 (PANIRI) - #Mg: 50,4 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p031 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p042 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p067 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p074 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p075 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p098 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p0110 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p0118 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0127 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0132 | 1043,110 | 18,230 |

| LÍQUIDO - PANI 10 09 (PANIRI) - #Mg: 51,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p032 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p042 | 1046,079 | 17,967 |
| 1604_p065 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p079 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p098 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p0118 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p0127 | 1014,986 | 3,027 |

- *Líquidos de otros volcanes de la SPLVC*

| LÍQUIDO - M21 (TOCONCE) - #Mg: 44,1 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p031 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p033 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p040 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p041 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p042 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p043 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p055 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p067 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p075 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p076 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p077 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p098 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p099 | 1043,110 | 18,230 |
| 1604_p0103 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0116 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0124 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0126 | 1048,490 | 20,440 |

| LÍQUIDO - M19 (TOCONCE) - #Mg: 44,9 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p031 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p033 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p040 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p041 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p042 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p043 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p055 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p067 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p075 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p076 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p077 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p098 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p099 | 1043,110 | 18,230 |
| 1604_p0103 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0116 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0124 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0126 | 1048,490 | 20,440 |

| LÍQUIDO - SPSP 16 02 (SAN PEDRO) - #Mg: 42,5 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p030 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p032 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p033 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p040 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p041 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p042 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p043 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p055 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p065 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p074 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p075 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p076 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p083 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p099 | 1043,110 | 18,230 |
| 1604_p0103 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0116 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0124 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0126 | 1048,490 | 20,440 |

| LÍQUIDO - BG SPL 030 (LINZOR) - #Mg: 48,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p031 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p041 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p043 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p063 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p065 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p069 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p074 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p099 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p0101 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p0105 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0106 | 1043,110 | 18,230 |
| 1604_p0110 | 1038,045 | 12,148 |
| 1604_p0116 | 1046,936 | 18,720 |
| 1604_p0117 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0126 | 1050,972 | 16,871 |

| LÍQUIDO - LEO 12 08 (CERRO DEL LEÓN) - #Mg: 45,3 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p031 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p033 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p040 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p041 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p042 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p043 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p055 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p067 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p075 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p076 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p077 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p098 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p099 | 1043,110 | 18,230 |
| 1604_p0103 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0116 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0124 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0126 | 1048,490 | 20,440 |

| LÍQUIDO - TA07/07B (CERRO LA TORTA) - #Mg: 43,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p030 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p032 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p033 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p040 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p041 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p042 | 1047,758 | 19,575 |
| 1604_p043 | 1047,115 | 15,660 |
| 1604_p055 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p065 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p074 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p075 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p076 | 1032,539 | 12,348 |
| 1604_p083 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p099 | 1043,110 | 18,230 |
| 1604_p0103 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0106 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0111 | 1047,915 | 18,380 |
| 1604_p0116 | 1042,805 | 17,154 |
| 1604_p0124 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0126 | 1048,490 | 20,440 |

| LÍQUIDO - BG SPL 036B (CERRO DEL LEÓN) - #Mg: 40,7 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1604_p018 | 1008,115 | 0,489 |
| 1604_p030 | 1004,929 | 3,824 |
| 1604_p040 | 1020,514 | 5,038 |
| 1604_p041 | 1039,327 | 15,674 |
| 1604_p043 | 1036,974 | 14,245 |
| 1604_p055 | 1028,389 | 13,101 |
| 1604_p065 | 1037,064 | 12,940 |
| 1604_p074 | 1014,986 | 3,027 |
| 1604_p077 | 1050,151 | 20,532 |
| 1604_p079 | 1019,505 | 12,390 |
| 1604_p0101 | 1018,220 | 10,917 |
| 1604_p0105 | 1046,936 | 18,720 |
| 1604_p0106 | 1017,459 | 10,042 |
| 1604_p0111 | 1036,468 | 14,750 |
| 1604_p0127 | 1020,304 | 14,203 |
| 1604_p0132 | 1030,087 | 14,171 |

C.3. Unidad Llareta

- *Líquidos volcán Paniri*

| LÍQUIDO - PANI 10 01 (PANIRI) - #Mg: 47,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p13 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p36 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p37 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p48 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p70 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p78 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p91 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p109 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p112 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p141 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p143 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p144 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p145 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p149 | 1017,459 | 10,042 |

| LÍQUIDO - PANI 10 02 (PANIRI) - #Mg: 47,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p13 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p36 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p37 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p48 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p70 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p78 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p91 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p109 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p112 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p141 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p143 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p144 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p145 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p149 | 1017,459 | 10,042 |

| LÍQUIDO - PANI 10 14 (PANIRI) - #Mg: 47,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p13 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p36 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p37 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p48 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p70 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p78 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p91 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p109 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p112 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p141 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p143 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p144 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p145 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p149 | 1017,459 | 10,042 |

| LÍQUIDO - PANI 10 16 (PANIRI) - #Mg: 52,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p78 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p112 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p118 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p144 | 1028,389 | 13,101 |

| LÍQUIDO - PANI 10 17 (PANIRI) - #Mg: 51,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p70 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p78 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p91 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p103 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p112 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p114 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p118 | 1047,115 | 15,660 |

| LÍQUIDO - BG SPL 044A (PANIRI) - #Mg: 48,5 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p36 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p37 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p48 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p64 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p70 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p78 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p88 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p90 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p91 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p114 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p116 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p118 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p144 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p145 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p149 | 1050,881 | 21,200 |

| LÍQUIDO - PANI 12 14 (PANIRI) - #Mg: 48,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p36 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p37 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p48 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p64 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p70 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p78 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p88 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p90 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p91 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p114 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p116 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p118 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p144 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p145 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p149 | 1050,881 | 21,200 |

| LÍQUIDO - PANI 12 15 (PANIRI) - #Mg: 47,7 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p13 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p36 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p37 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p48 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p70 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p78 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p91 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p109 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p112 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p141 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p143 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p144 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p145 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p149 | 1017,459 | 10,042 |

| LÍQUIDO - PANI 12 16 (PANIRI) - #Mg: 45,5 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p37 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p48 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p56 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p64 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p88 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p107 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p109 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p112 | 1060,615 | 23,136 |
| 1602_p118 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p141 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p143 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p144 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p145 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p149 | 1049,693 | 19,689 |

| LÍQUIDO - PANI 16 03 (PANIRI) - #Mg: 39,2 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p10 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p13 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p36 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p37 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p56 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p109 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p112 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p143 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p144 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p145 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p149 | 1046,936 | 18,720 |

| LÍQUIDO - PANI 14 03 (PANIRI) - #Mg: 41,8 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p90 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p91 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p107 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p114 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p116 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p118 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p141 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p143 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p144 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1036,468 | 14,750 |

| LÍQUIDO - PANI 12 12 (PANIRI) - #Mg: 42,4 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p90 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p91 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p107 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p114 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p116 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p118 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p141 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p143 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p144 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1036,468 | 14,750 |

| LÍQUIDO - PANI 10 12 (PANIRI) - #Mg: 44,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p56 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p78 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p91 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p107 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p109 | 1060,615 | 23,136 |
| 1602_p116 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p118 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p141 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p143 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p144 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p145 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1054,152 | 18,254 |

| LÍQUIDO - PANI 10 07 (PANIRI) - #Mg: 46,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p37 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p48 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p56 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p64 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p88 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p107 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p109 | 1060,615 | 23,136 |
| 1602_p116 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p118 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p141 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p143 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p144 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p145 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1054,152 | 18,254 |

| LÍQUIDO - PANI 01 (PANIRI) - #Mg: 49,1 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p36 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p37 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p48 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p64 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p70 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p78 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p88 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p90 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p91 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p114 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p116 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p118 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p145 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p149 | 1043,110 | 18,230 |

| LÍQUIDO - PANI 14 (PANIRI) - #Mg: 50,4 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p6 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p48 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p70 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p78 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p88 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p90 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p91 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p107 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p114 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p144 | 1019,505 | 12,390 |

- *Líquidos de otros volcanes de la SPLVC*

| LÍQUIDO - M21 (TOCONCE) - #Mg: 44,1 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p90 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p91 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p107 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p114 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p116 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p118 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p141 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p143 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p144 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1036,468 | 14,750 |

| LÍQUIDO - M19 (TOCONCE) - #Mg: 44,9 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p56 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p78 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p91 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p107 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p109 | 1060,615 | 23,136 |
| 1602_p116 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p118 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p141 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p143 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p144 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p145 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1054,152 | 18,254 |

| LÍQUIDO - SPSP 16 02 (SAN PEDRO) - #Mg: 42,5 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p90 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p91 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p107 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p114 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p116 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p118 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p141 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p143 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p144 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1036,468 | 14,750 |

| LÍQUIDO - BG SPL 030 (LINZOR) - #Mg: 48,6 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p36 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p37 | 1004,929 | 3,824 |
| 1602_p48 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p64 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p70 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p78 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p88 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p90 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p91 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p114 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p116 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p118 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p144 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p145 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p149 | 1050,881 | 21,200 |

| LÍQUIDO - LEO 12 08 (CERRO DEL LEÓN) - #Mg: 45,3 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p56 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p78 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p91 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p107 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p109 | 1060,615 | 23,136 |
| 1602_p116 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p118 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p141 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p143 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p144 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p145 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1054,152 | 18,254 |

| LÍQUIDO - TA07/07B (CERRO LA TORTA) - #Mg: 43,3 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p48 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p90 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p91 | 1019,505 | 12,390 |
| 1602_p107 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p114 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p116 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p118 | 1050,881 | 21,200 |
| 1602_p141 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p143 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p144 | 1049,693 | 19,689 |
| 1602_p149 | 1036,468 | 14,750 |

| LÍQUIDO - BG SPL 036B (CERRO DEL LEÓN) - #Mg: 40,7 | | |
|---|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p37 | 1028,389 | 13,101 |
| 1602_p56 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p88 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p107 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p109 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p112 | 1060,615 | 23,136 |
| 1602_p118 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p141 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p143 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p144 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p145 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p149 | 1049,693 | 19,689 |

| LÍQUIDO - TA07/07D (CERRO LA TORTA) - #Mg: 45,8 | | |
|--|-----------------|------------------|
| Punto | T (°C) (eq. 33) | Profundidad (km) |
| 1602_p4 | 1008,115 | 0,489 |
| 1602_p8 | 1046,079 | 17,967 |
| 1602_p28 | 1020,514 | 5,038 |
| 1602_p36 | 1039,327 | 15,674 |
| 1602_p37 | 1036,974 | 14,245 |
| 1602_p48 | 1047,758 | 19,575 |
| 1602_p56 | 1047,115 | 15,660 |
| 1602_p64 | 1037,064 | 12,940 |
| 1602_p88 | 1014,986 | 3,027 |
| 1602_p107 | 1050,151 | 20,532 |
| 1602_p109 | 1032,539 | 12,348 |
| 1602_p112 | 1060,615 | 23,136 |
| 1602_p118 | 1018,220 | 10,917 |
| 1602_p141 | 1043,110 | 18,230 |
| 1602_p143 | 1038,045 | 12,148 |
| 1602_p144 | 1046,936 | 18,720 |
| 1602_p145 | 1017,459 | 10,042 |
| 1602_p149 | 1049,693 | 19,689 |

ANEXO D: Determinación del líquido óptimo para termobarómetro clinopiroxeno-líquido

D.1. Espectro de #Mg

Este apartado contiene las tablas que resumen la información de todas las iteraciones realizadas con el método clinopiroxeno-líquido para cada una de las unidades. La información está ordenada por el #Mg líquido (#Mg_{rt}) de menor a mayor. La columna más importante la del porcentaje de puntos con P-T, ya que es el porcentaje de datos que entrega información respecto al total de los del anexo C, que es el dato que se desea maximizar. Esta información da lugar a un intervalo de #Mg líquido más acotado para buscar otras opciones de líquido idóneo.

- *Unidad Las Negras*

| Muestra | Volcán | #Mg _{líquido} | Total datos | 1° filtro | % 1° filtro | 2° filtro | % puntos con P-T |
|-------------|----------------|------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------------|
| PANI 16 03 | Paniri | 39,2 | 67 | 29 | 43,28% | 8 | 11,94% |
| BG SPL 036B | Cerro del León | 40,7 | 67 | 40 | 59,70% | 15 | 22,39% |
| PANI 14 03 | Paniri | 41,8 | 67 | 49 | 73,13% | 21 | 31,34% |
| PANI 12 12 | Paniri | 42,4 | 67 | 52 | 77,61% | 23 | 34,33% |
| SPSP 16 02 | San Pedro | 42,5 | 67 | 52 | 77,61% | 23 | 34,33% |
| TA07/07B | La Torta | 43,3 | 67 | 55 | 82,09% | 25 | 37,31% |
| M21 | Toconce | 44,1 | 67 | 57 | 85,07% | 25 | 37,31% |
| PANI 10 12 | Paniri | 44,3 | 67 | 58 | 86,57% | 25 | 37,31% |
| M19 | Toconce | 44,9 | 67 | 56 | 83,58% | 22 | 32,84% |
| LEO 12 08 | Cerro del León | 45,3 | 67 | 55 | 82,09% | 22 | 32,84% |
| PANI 12 16 | Paniri | 45,5 | 67 | 55 | 82,09% | 22 | 32,84% |
| PANI 10 07 | Paniri | 46,3 | 67 | 56 | 83,58% | 29 | 43,28% |
| PANI 10 02 | Paniri | 47,6 | 67 | 51 | 76,12% | 26 | 38,81% |
| BG SPL 044A | Paniri | 48,5 | 67 | 52 | 77,61% | 27 | 40,30% |
| BG SPL 030 | Linzor | 48,6 | 67 | 51 | 76,12% | 25 | 37,31% |
| PANI 01 | Paniri | 49,1 | 67 | 52 | 77,61% | 25 | 37,31% |
| PANI 14 | Paniri | 50,4 | 67 | 50 | 74,63% | 21 | 31,34% |
| PANI 10 09 | Paniri | 51,6 | 67 | 47 | 70,15% | 22 | 32,84% |
| PANI 10 16 | Paniri | 52,4 | 67 | 42 | 62,69% | 19 | 28,36% |
| PANI 05 | Paniri | 53,4 | 67 | 37 | 55,22% | 17 | 25,37% |
| BG SPL 020 | Paniri | 54 | 67 | 36 | 53,73% | 17 | 25,37% |
| BG SPL 022 | Paniri | 54,4 | 67 | 33 | 49,25% | 16 | 23,88% |
| PANI-103-M1 | Paniri | 55,9 | 67 | 20 | 29,85% | 9 | 13,43% |

- *Unidad Laguna*

| Muestra | Volcán | #Mg _{líquido} | Total datos | 1° filtro | % 1° filtro | 2° filtro | % puntos con P-T |
|-------------|----------------|------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------------|
| PANI 16 03 | Paniri | 39,2 | 46 | 37 | 80,43% | 15 | 32,61% |
| BG SPL 036B | Cerro del León | 40,7 | 46 | 42 | 91,30% | 16 | 34,78% |
| PANI 14 03 | Paniri | 41,8 | 46 | 43 | 93,48% | 21 | 45,65% |
| PANI 12 12 | Paniri | 42,4 | 46 | 44 | 95,65% | 20 | 43,48% |
| SPSP 16 02 | San Pedro | 42,5 | 46 | 45 | 97,83% | 21 | 45,65% |
| TA07/07B | La Torta | 43,3 | 46 | 45 | 97,83% | 21 | 45,65% |
| PANI 10 03 | Paniri | 44,1 | 46 | 45 | 97,83% | 21 | 45,65% |
| M21 | Toconce | 44,1 | 46 | 45 | 97,83% | 20 | 43,48% |
| M19 | Toconce | 44,9 | 46 | 45 | 97,83% | 20 | 43,48% |
| LEO 12 08 | Cerro del León | 45,3 | 46 | 45 | 97,83% | 20 | 43,48% |
| PANI 12 16 | Paniri | 45,5 | 46 | 44 | 95,65% | 20 | 43,48% |
| PANI 10 07 | Paniri | 46,3 | 46 | 43 | 93,48% | 19 | 41,30% |
| PANI 03 | Paniri | 46,9 | 46 | 43 | 93,48% | 19 | 41,30% |
| PANI 10 02 | Paniri | 47,6 | 46 | 41 | 89,13% | 14 | 30,43% |
| BG SPL 044A | Paniri | 48,5 | 46 | 39 | 84,78% | 16 | 34,78% |
| BG SPL 030 | Linzor | 48,6 | 46 | 37 | 80,43% | 15 | 32,61% |
| PANI 01 | Paniri | 49,1 | 46 | 34 | 73,91% | 13 | 28,26% |
| PANI 14 | Paniri | 50,4 | 46 | 27 | 58,70% | 10 | 21,74% |
| PANI 10 09 | Paniri | 51,6 | 46 | 18 | 39,13% | 7 | 15,22% |
| PANI 10 16 | Paniri | 52,4 | 46 | 13 | 28,26% | 7 | 15,22% |

- *Unidad Llareta*

| Muestra | Volcán | #Mg _{líquido} | Total datos | 1° filtro | % 1° filtro | 2° filtro | % puntos con P-T |
|-------------|----------------|------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------------|
| PANI 16 03 | Paniri | 39,2 | 37 | 30 | 76,92% | 12 | 32,43% |
| BG SPL 036B | Cerro del León | 40,7 | 37 | 32 | 82,05% | 16 | 43,24% |
| PANI 14 03 | Paniri | 41,8 | 37 | 34 | 87,18% | 16 | 43,24% |
| PANI 12 12 | Paniri | 42,4 | 37 | 34 | 87,18% | 16 | 43,24% |
| SPSP 16 02 | San Pedro | 42,5 | 37 | 34 | 87,18% | 16 | 43,24% |
| TA07/07B | La Torta | 43,3 | 37 | 34 | 87,18% | 16 | 43,24% |
| M21 | Toconce | 44,1 | 37 | 34 | 87,18% | 16 | 43,24% |
| PANI 10 12 | Paniri | 44,3 | 37 | 33 | 84,62% | 18 | 48,65% |
| M19 | Toconce | 44,9 | 37 | 33 | 84,62% | 18 | 48,65% |
| LEO 12 08 | Cerro del León | 45,3 | 37 | 33 | 84,62% | 18 | 48,65% |
| PANI 12 16 | Paniri | 45,5 | 37 | 32 | 82,05% | 18 | 48,65% |
| TA07/07D | La Torta | 45,8 | 37 | 32 | 82,05% | 18 | 48,65% |
| PANI 10 07 | Paniri | 46,3 | 37 | 33 | 84,62% | 18 | 48,65% |
| PANI 10 01 | Paniri | 47,3 | 37 | 31 | 79,49% | 16 | 43,24% |
| PANI 10 02 | Paniri | 47,6 | 37 | 31 | 79,49% | 16 | 43,24% |
| PANI 10 14 | Paniri | 47,6 | 37 | 31 | 79,49% | 16 | 43,24% |
| PANI 12 15 | Paniri | 47,7 | 37 | 31 | 79,49% | 16 | 43,24% |
| BG SPL 044A | Paniri | 48,5 | 37 | 28 | 71,79% | 16 | 43,24% |
| BG SPL 030 | Linzor | 48,6 | 37 | 28 | 71,79% | 16 | 43,24% |
| PANI 12 14 | Paniri | 48,6 | 37 | 28 | 71,79% | 16 | 43,24% |
| PANI 01 | Paniri | 49,1 | 37 | 27 | 69,23% | 15 | 40,54% |
| PANI 14 | Paniri | 50,4 | 37 | 21 | 53,85% | 10 | 27,03% |
| PANI 10 17 | Paniri | 51,6 | 37 | 15 | 38,46% | 7 | 18,92% |
| PANI 10 16 | Paniri | 52,4 | 37 | 11 | 28,21% | 4 | 10,81% |

D.2. Influencia de la composición en la elección del líquido

Este apartado es similar al E.1, solo que trabajando sobre el intervalo de #Mg_{rt} que maximiza el porcentaje de datos que entregan información sobre presión y temperatura. Para un cierto intervalo de #Mg del líquido se prueba todo el rango composicional (reflejado en el % SiO₂) para detectar posibles variaciones en la distribución de profundidades. Las tablas están ordenadas en base al % SiO₂ de manera creciente.

- *Unidad Las Negras*

| Muestra | Volcán | #Mg _{líquido} | %SiO ₂ | Total datos | 1° filtro | % 1° filtro | 2° filtro | % puntos con P-T |
|-------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------------|
| PANI-15 | Paniri | 48,1 | 56,14 | 67 | 52 | 77,61% | 27 | 40,30% |
| LEO 12 02 | Cerro del León | 47 | 58,15 | 67 | 51 | 76,12% | 27 | 40,30% |
| PANI 10 11 | Paniri | 46,2 | 58,44 | 67 | 56 | 83,58% | 29 | 43,28% |
| BG SPL 030 | Linzor | 48,6 | 61,38 | 67 | 51 | 76,12% | 25 | 37,31% |
| SPE-02 | San Pedro | 46,3 | 62,84 | 67 | 56 | 83,58% | 29 | 43,28% |
| BG SPL 044A | Paniri | 48,5 | 63,23 | 67 | 52 | 77,61% | 27 | 40,30% |
| PANI 10 07 | Paniri | 46,3 | 63,58 | 67 | 56 | 83,58% | 29 | 43,28% |
| PANI 10 02 | Paniri | 47,6 | 63,76 | 67 | 51 | 76,12% | 26 | 38,81% |
| TOC 10 05 | Toconce | 46,4 | 64,66 | 67 | 56 | 83,58% | 29 | 43,28% |
| TOC 12 05 | Toconce | 48,3 | 65,17 | 67 | 52 | 77,61% | 27 | 40,30% |
| BG SPL 047 | Toconce | 46 | 67,22 | 67 | 56 | 83,58% | 28 | 41,79% |

- *Unidad Laguna*

| Muestra | Volcán | #Mg _{líquido} | %SiO ₂ | Total datos | 1° filtro | % 1° filtro | 2° filtro | % puntos con P-T |
|-------------|-----------|------------------------|-------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------------|
| SPSP 16 02 | San Pedro | 42,5 | 61,89 | 46 | 45 | 97,83% | 21 | 45,65% |
| SPSP 14 01 | San Pedro | 41,7 | 62,28 | 46 | 43 | 93,48% | 21 | 45,65% |
| PANI 14 03 | Paniri | 41,8 | 63,2 | 46 | 43 | 93,48% | 21 | 45,65% |
| PANI 10 03 | Paniri | 44,1 | 64,4 | 46 | 45 | 97,83% | 21 | 45,65% |
| TOC 10 01 | Toconce | 42 | 66,82 | 46 | 43 | 93,48% | 21 | 45,65% |
| BG SPL 019A | Paniri | 42,1 | 67,31 | 46 | 43 | 93,48% | 21 | 45,65% |
| TA07/07B | La Torta | 43,3 | 72,46 | 46 | 45 | 97,83% | 21 | 45,65% |

- *Unidad Llareta*

| Muestra | Volcán | #Mg _{líquido} | %SiO ₂ | Total datos | 1° filtro | % 1° filtro | 2° filtro | % puntos con P-T |
|------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------------|
| PANI 12 16 | Paniri | 45,5 | 56,64 | 39 | 32 | 82,05% | 18 | 46,15% |
| PANI 10 11 | Paniri | 46,2 | 58,44 | 39 | 32 | 82,05% | 17 | 43,59% |
| PANI 10 12 | Paniri | 44,3 | 62,67 | 39 | 33 | 84,62% | 18 | 46,15% |
| PANI 10 07 | Paniri | 46,3 | 63,58 | 39 | 33 | 84,62% | 18 | 46,15% |
| LEO 12 08 | Cerro del León | 45,3 | 64,85 | 39 | 33 | 84,62% | 18 | 46,15% |
| TOC 10 06 | Toconce | 45,9 | 65,85 | 39 | 32 | 82,05% | 18 | 46,15% |
| M19 | Toconce | 44,9 | 67,37 | 39 | 33 | 84,62% | 18 | 46,15% |
| M5 | La Torta | 45,3 | 70 | 39 | 33 | 84,62% | 18 | 46,15% |
| TA07/07D | La Torta | 45,8 | 71,89 | 39 | 32 | 82,05% | 18 | 46,15% |