



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

**CORRELACIÓN DE LITOFACIES Y GEOQUÍMICA DE BIOTITAS DE IGNIMBRITAS  
CENOZOICAS DE LOS ANDES CENTRALES SUR**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS MENCIÓN  
GEOLOGÍA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

**FRANCISCO ANTONIO HEVIA CRUZ**

**PROFESOR GUÍA:**

ÁNGELO CASTRUCCIO ÁLVAREZ

**PROFESOR CO-GUÍA:**

JOSÉ ANTONIO NARANJO SOZA

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

KATJA DECKART

JORGE DANIEL MONCADA DE LA ROSA

SANTIAGO DE CHILE

2018

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO  
DE: GEÓLOGO Y MAGISTER EN CIENCIAS  
MENCION GEOLOGÍA  
POR: FRANCISCO ANTONIO HEVIA CRUZ  
FECHA: OCTUBRE 2018  
PROFESOR GUÍA: ÁNGELO CASTRUCCIO ÁLVAREZ**

## **CORRELACIÓN DE LITOFACIES Y GEOQUÍMICA DE BIOTITAS DE IGNIMBRITAS CENOZOICAS DE LOS ANDES CENTRALES SUR**

El colapso de calderas está asociado a erupciones catastróficas, capaces de alterar la superficie y la atmósfera terrestre. Este tipo de erupciones no han sido registradas de forma directa, pero el estudio de sus depósitos permite interpretar procesos eruptivos y de sedimentación. En la parte sur de la Zona Volcánica Central (25°-27°S) afloran múltiples ignimbritas, que cubren más de 20.000 km<sup>2</sup>, y que son el foco de este estudio. Trabajos previos identificaron la estratigrafía, temporalidad y la fuente de las diversas calderas y sus depósitos de ignimbrita, sin embargo, dadas sus características similares es necesario utilizar métodos de correlación variados para fundamentar y mejorar dichas correlaciones.

En este trabajo se generaron 30 columnas estratigráficas detalladas, reuniendo la información de más de 400 localidades, cientos de muestras de mano y cortes transparentes, lo que permitió caracterizar las facies de 12 unidades de ignimbrita (Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales, Juncalito, Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés, Los Colorados, Wheelwright, Parinas y Laguna Verde), determinar e interpretar sus variaciones. Además, se estudió la química de biotitas de 35 muestras, para mejorar las correlaciones de facies.

Las ignimbritas Río Frío y Vega Helada presentan características físicas similares en algunas localidades, pero la química de sus biotitas las diferencia claramente, mientras que las características físicas macro y microscópicas de las ignimbritas Pajonales y Juncalito, además de la química de sus biotitas, permiten establecer un origen común de ambas. La Ignimbrita Río Frío fue depositada a partir de dos unidades de flujo y probablemente la segunda tuvo una temperatura mayor, como lo indican sus facies más soldadas y la química de sus biotitas. Las biotitas de las demás unidades resultaron ser muy acotadas en su composición, permitiendo individualizarlas, a excepción de la Ignimbrita Los Colorados, cuya alta dispersión es interpretada como el resultado de una cámara magmática intensamente zonada.

Se pudo reconstruir la historia eruptiva de la Caldera Salar Grande, donde se reconocieron 4 colapsos sectoriales, seguidos de un colapso tipo *downsag*, este último asociado a la erupción del Volcán Chato Aislado, anidado en la parte occidental de la caldera.

Dos lineamientos estructurales y temporales de calderas pudieron ser reconocidos, reflejados en la química de biotitas de sus productos, y se pudo establecer una buena correlación entre las ignimbritas Wheelwright y Laguna Verde con depósitos de caída ubicados en la Cordillera de la Costa, cerca de Antofagasta, publicados por Breitkreuz *et al.* (2014).

*A mis familias.*

*Somos el resultado de todos quienes pasan por nuestras vidas  
y todo lo que en ella acontece.*

*Ustedes son yo.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a los miembros de la comisión, los profesores guía y co-guía, Ángelo Castruccio y José A. Naranjo, respectivamente, por su guía, apoyo y discusiones, así como a los miembros de la comisión Katja Deckart y Daniel Moncada. También al profesor Yuji Orihashi por su colaboración y ayuda.

Al Plan Nacional de Geología del SERNAGEOMIN y a la Universidad de Tokyo que financiaron este estudio.

A mi familia, especialmente a mis padres por apoyarme durante todo este largo largo camino. Este es el resultado de una vida de observación que partió en la piscicultura, donde crecí y aprendí de los mejores ejemplos. Gracias mamá, tatas y a mi hermano que me cuidaron siempre, gracias a mi papá y a mis hermanitos, gracias Julito por ser parte de esta familia.

A Sofi, junto a quien he caminado, trotado y corrido por este difícil camino. También a sus padres que me han ayudado mucho en esta etapa de la vida.

A los tatas Cristián, Tata Yaya y Marcos, por su ayuda, apañe y compañerismo. A mis compañeros de la U, especialmente a mis amigos Tomy, Deivid, Pipe y Chalo. A mis compañeros de atletismo, la vieja y la nueva escuela, con quienes compartí dentro y fuera de la pista: Emiloco, Camiloco, Chispo, Braulio, House, Pradenator, Cotetinha, Nicole(s), Alonso, Escobedo, Joako, Lara, los Quezada, al gran Profe Mario y un largo etc. Cada kilómetro fue una distracción del agobio de la U.

A las secretarias de la U, Blanca y Maritza, a los funcionarios de los laboratorios del Serna, a los compañeros de estudio, de trabajo y de la vida, a todos quienes fueron parte de esto de un modo u otro, a todos quienes se sientan parte o se quieran sentir parte.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CORRELACIÓN DE LITOFACIES Y GEOQUÍMICA DE BIOTITAS DE IGNIMBRITAS CENOZOICAS DE LOS ANDES CENTRALES SUR .....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 UBICACIÓN Y ACCESOS .....	3
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	5
1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	6
1.4 METODOLOGÍAS .....	7
1.4.1 TRABAJO EN TERRENO.....	7
1.4.2 CORRELACIÓN DE LITOFACIES.....	7
1.4.3 GEOQUÍMICA DE BIOTITAS .....	8
1.5 FINANCIAMIENTO.....	10
<b>2 MARCO GEOGRÁFICO.....</b>	<b>11</b>
2.1 GEOGRAFÍA DE LA ZONA.....	11
2.1.1 RELIEVES PRINCIPALES .....	11
2.1.2 PRINCIPALES CUERPOS DE AGUA .....	12
2.2 CLIMA .....	14
<b>3 MARCO GEOLÓGICO .....</b>	<b>17</b>
3.1 CONTEXTO GEODINÁMICO .....	17
3.2 EVOLUCIÓN DE LA PARTE SUR DE LA ZONA VOLCÁNICA CENTRAL.....	21

3.3	GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	23
3.3.1	ESTRATIGRAFÍA DE IGNIMBRITAS .....	24
3.4	CORRELACIÓN DE LITOFACIES Y DEPOSITACIÓN A PARTIR DE UNA <i>FLOW BOUNDARY ZONE</i> .....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>39</b>
4.1	CARACTERIZACIÓN DE IGNIMBRITAS Y VARIACIONES DE LITOFACIES .....	39
4.1.1	IGNIMBRITA RÍO FRÍO .....	40
4.1.2	IGNIMBRITA VEGA HELADA.....	50
4.1.3	IGNIMBRITA PAJONALES.....	55
4.1.4	IGNIMBRITA JUNCALITO .....	60
4.1.5	IGNIMBRITA SALAR GRANDE.....	64
4.1.6	IGNIMBRITA BARRANCAS BLANCAS.....	75
4.1.7	IGNIMBRITA SAN ANDRÉS .....	77
4.1.8	IGNIMBRITA LOS COLORADOS.....	82
4.1.9	IGNIMBRITA WHEELWRIGHT.....	89
4.1.10	IGNIMBRITA PARINAS.....	91
4.1.11	IGNIMBRITA LAGUNA VERDE .....	93
4.2	QUÍMICA DE BIOTITAS.....	101
4.2.1	CLASIFICACIÓN DE BIOTITAS .....	101
4.2.2	CLASIFICACIÓN INDIRECTA DE MAGMAS .....	106
4.2.3	CARACTERIZACIÓN DE GEOQUÍMICA DE BIOTITAS .....	111
4.3	CORRELACIÓN CON DEPÓSITOS DISTALES .....	121
4.4	CASOS DE INTERÉS .....	127
4.4.1	LINEAMIENTOS DE CALDERAS.....	127
4.4.2	RÍO FRÍO-VEGA HELADA .....	130
4.4.3	PAJONALES-JUNCALITO .....	132

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>137</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>139</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>152</b>
7.1	ANEXO A: COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y DESCRIPCIONES DE CADA LOCALIDAD.....	152
7.1.1	LEYENDA COLUMNAS.....	152
7.1.2	DESCRIPCIÓN DE LOCALIDADES.....	153
7.2	ANEXO C: TABLA DE EDADES Y REFERENCIAS .....	199
7.3	ANEXO B: TABLA DE ANÁLISIS QUÍMICOS.....	203
7.4	ANEXO D: CONGRESOS Y PUBLICACIONES RELACIONADOS A ESTA INVESTIGACION.....	219
7.4.1	GOLDSCHMIDT CONFERENCE 2017, PARIS.....	219
7.4.2	GEOSPHERE MAGAZINE, SUBMITTED MANUSCRIPT .....	220
7.4.3	XV CONGRESO GEOLÓGICO CHILENO, TRABAJO ACEPTADO .....	221

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Estratigrafía de ignimbritas indicando su edad, rango de espesores observados, descripción petrográfica, fuente, tipo de fuente y volumen estimado, modificado de Naranjo et al. (2018a). .....	26
Tabla 4.1: Abreviación de minerales según las recomendaciones de la IUGS (Siivola y Schmid, 2007). .....	40
Tabla 4.2: Rangos composicionales de la geoquímica de biotitas de las ignimbritas estudiadas, expresada en porcentaje en peso de óxidos. Los rangos no comprender toda la gama de valores obtenidos, sino que se limitan a los cúmulos que comprenden la mayor cantidad de análisis de cada unidad.....	116
Tabla 7.1: Dataciones radiométricas y referencias de las diferentes unidades de ignimbrita y lavas estudiadas. ....	199
Tabla 7.2: Tabla de análisis geoquímicos. Cada fila representa un cristal y no necesariamente corresponde a un único análisis puntual, sino que podría tratarse del promedio de varios análisis. Los nombres de las muestras no se correlacionan con los nombres asignados a las diferentes litofacies. ....	203



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación y accesos. El recuadro rojo enmarca aproximadamente la zona de estudio y en colores se muestran las distintas rutas para acceder a ella. ....	4
Figura 1.2: Fotografías de la microsonda utilizada para el análisis de biotitas. A la izquierda se aprecia la cámara de vacío donde se ingresa la muestra a analizar, la torre que genera el haz de electrones y los espectrómetros de masa, y a la derecha la interfaz para realizar los análisis. ....	9
Figura 2.1: Principales relieves de la zona de estudio. ....	12
Figura 2.2: Esquema de la circulación atmosférica de primer orden. Modificado de Wallace y Hobbs (2006). ....	15
Figura 3.1: Imagen que muestra el contexto tectónico de la Cordillera de Los Andes y las zonas volcánicas Norte, Centro, Sur y Austral, modificada de Stern (2004). Se destacan en rojo la Zona Volcánica Central y los ridges de Nazca y Juan Fernández. .	18
Figura 3.2: Evolución del ángulo de subducción en la actual zona de subducción plana, que separa las zonas volcánicas Centro y Sur. Tomado de Ramos et al. (2002). ....	19
Figura 3.3 Contexto geodinámico de Chile. Imagen modificada de Tasa Graphic Arts ( <a href="http://tasaclips.com/illustrations.html">http://tasaclips.com/illustrations.html</a> ).....	20
Figura 3.4: Figura tomada de Naranjo et al. (2018a), donde se ilustra la generación de dominios estructurales extensivos intensamente fracturados perpendiculares a un esfuerzo compresivo. El intenso fracturamiento y el esfuerzo extensivo habrían favorecido el ascenso y la acumulación de volúmenes importantes de magma. ....	23
Figura 3.5: Ilustración de la distribución que pudieron haber tenido las ignimbritas Río Frío (línea punteada roja) y Pajonales (línea amarilla), y su fuente, la Caldera Aguilar. Figura tomada de Naranjo et al., (2018a).....	30
Figura 3.6: Distribución de las ignimbritas Salar Grande (línea morada), San Andrés (línea verde) y Los Colorados (línea roja), y ubicación de sus fuentes, las calderas Salar Grande, Pampa de los Bayos y Los Colorados, respectivamente. Figura tomada de Naranjo et al. (2018a).....	32
Figura 3.7: Distribución de las ignimbritas Las Parinas (línea rosada), Wheelwright (línea roja) y Laguna Verde (línea blanca), y sus respectivas fuentes. Figura tomada de Naranjo et al. (2018a).....	35

Figura 3.8: Ilustración de la zona de borde de flujo (flow boundary zone), que corresponde a la parte baja del flujo y la parte alta del depósito. Modificada de Branney y Kokelaar (2002). h corresponde a la altura dentro del flujo o corriente piroclástica, u corresponde a la velocidad del flujo en un lugar determinado y C corresponde a la concentración de partículas dentro del flujo o del depósito.....	37
Figura 3.9: Miembros extremos de tipos de flow boundary zone o zonas de borde de flujo. En cada caso se grafican las características más típicas del depósito dejado por cada miembro extremo. Tomado de Branney y Kokelaar (2002). .....	38
Figura 4.1: Distribución de las ignimbritas Río Frío y Pajonales, localidades estudiadas y ubicación aproximada de las columnas estratigráficas levantadas. En rojo se muestra el borde de la Caldera Aguilar, que corresponde a la fuente de ambas ignimbritas (Naranjo et al., 2013a, Naranjo et al., 2013b). Las flechas indican la dirección de los flujos que dieron origen a los depósitos estudiados. ....	41
Figura 4.2: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Río Frío. Las letras (A, B, C y D) corresponden a las localidades indicadas en la Figura 4.1 y están orientadas de izquierda a derecha en la dirección de las corrientes a partir de las cuales fueron depositadas. Los números entre paréntesis a la derecha de cada edad se indican en la Tabla 7.1, donde se detalla quién publicó la edad, el método y el material utilizado. ....	42
Figura 4.3: Fotografías de terreno de la subunidad RF-1 de la Ignimbrita Río Frío en el borde oriental del domo resurgente de la Caldera Aguilar (localidad D de las figuras Figura 4.1 y Figura 4.2). A) corresponde al nivel superior, que es el que más aflora en esta localidad. B)-G) corresponden a las diferentes facies reconocidas en esta localidad, con variaciones texturales leves entre sí.....	43
Figura 4.4: Fotomicrografías de la subunidad RF-1 de la Ignimbrita Río Frío. Las imágenes de la izquierda fueron capturadas a nicols paralelos y las de la derecha a nicols cruzados, todas con un aumento de 2X. A y B corresponden a la parte basal de RF-1, su petrografía es la más común observada en RF-1, con abundantes cristales de Pl y Pxs, C y D corresponden a un nivel diluido de RF-1, se observan escasas Pl y una zona con textura esferulítica, E y F corresponden a la parte superior de RF-1, donde se observan cristales de Pl, Opx con textura coronítica, Am y Bt. ....	44
Figura 4.5: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Río Frío en la localidad compuesta A, ubicada al oeste del Salar de Pajonales. A) es una vista al este de varios niveles de la	

subunidad RF-2 de la Ignimbrita Río Frío sobre las Gravas de Atacama (GAT), B) es una vista hacia el sureste de los 6 niveles más comunes de la subunidad RF-2, C) vista hacia noreste de la subunidad RF-1 bajo las Gravas de Atacama (piedmont gravels) y D) es un acercamiento a la base de A. ....	46
Figura 4.6: Fotomicrografías de la subunidad RF-2 de la Ignimbrita Río Frío. A, C y E fueron capturadas a nicoles paralelos y B, D, y E a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. A, B, C y D corresponden al nivel vitrofírico inferior de la subunidad RF-2, muestran escasos cristales de Pl, Opx, Bt y Am, mientras que E y F corresponden a un nivel intermedio de RF-2, muy rico en cristales de Pl, Am y Opx. ....	47
Figura 4.7: Distribución de las ignimbritas Vega Helada y Juncalito. También se muestra la ubicación de las columnas estudiadas y de las localidades analizadas en cada caso. Las flechas indican las direcciones de flujo que se dedujeron a partir de la distribución de facies. ....	50
Figura 4.8: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Vega Helada. Los números que se encuentran entre paréntesis a la derecha de cada datación corresponden a dataciones radiométricas publicadas por Naranjo et al. (2016), detalladas en la Tabla 7.1. La letra de cada columna corresponde a su ubicación en la Figura 4.7 y están ordenadas de izquierda a derecha de proximales a distales. ....	51
Figura 4.9: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Vega Helada en la parte sur de la Sierra del Medio (localidad H de las figuras Figura 4.7 y Figura 4.8). A muestra toda la columna, B un acercamiento hacia VH-2, C un acercamiento al contacto entre VH-1 y VH-2, y D, E y F muestran la gradación desde poco soldada a muy soldada de VH-2. ....	51
Figura 4.10: Fotomicrografías de la subunidad VH-1 de la Ignimbrita Vega Helada, capturadas con un aumento de 2X. A y C fueron tomadas a nicoles paralelos, y B y D a nicoles cruzados. A y B muestran una fiamme desvitrificada con textura esferulítica y contenido de cristales de Pl y Bt, C y D corresponden a un depósito epiclástico con fragmentos de pómez, Pl, Bt y Qtz. ....	52
Figura 4.11: Fotomicrografías de la subunidad VH-2 de la Ignimbrita Vega Helada. A y C fueron capturadas con nicoles paralelos, mientras que B, D, E y F con nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. Todas corresponden a muestras del nivel más soldado. En A, B, C y D se observan cristales de Pl, Am y Pxs, y en E y F se observan glomero-pórfido-cristales de Pl con Pxs. ....	53

Figura 4.12: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Vega Helada, en la parte norte del portezuelo ubicado al este del Salar de Pedernales. A corresponde a una vista hacia el oeste, donde se observa la ignimbrita Vega Helada (en segundo plano) bajo la Ignimbrita Juncalito (en primer plano). B corresponde a un acercamiento de la Ignimbrita Vega Helada, donde se observa la variación en su grado de soldamiento (variación de color) y C y D muestran el detalle de dos muestras de mano, una menos soldada y una más soldada, respectivamente.....	54
Figura 4.13: Gradación normal de líticos e inversa de pómez debido a un descenso en la tasa eruptiva. Modificado de Branney y Kokelaar, 2002.....	55
Figura 4.14: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Pajonales. Las dataciones fueron publicadas por Naranjo et al. (2013a, 2013b), y se detallan en la Tabla 7.1, en Anexos, ordenadas según los números entre paréntesis a la derecha de cada edad. De izquierda a derecha, están ordenadas de proximal a distal. ....	56
Figura 4.15: Fotomicrografías de la Ignimbrita Pajonales. A, C, E y F fueron capturadas a nicoles paralelos, mientras que B y D a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X, a excepción de F que fue capturada con un aumento de 5X. A y B corresponden a la subunidad PAJ (a) y muestran escasos cristales de Pl y Bt en una matriz rica en esquirlas, C y D corresponden a PAJ (b) y muestran cristales de Pl, Bt y una pómez fibrosa, y E y F corresponden a PAJ (c), E muestra cristales de Pl, Bt y una fiamme y F muestra un acercamiento a un cristal de Opx y esquirlas de gran tamaño. ....	57
Figura 4.16: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Pajonales, al sureste del Salar de la Isla (localidad E). A muestra las subunidades PAJ (a) y PAJ (b) en su localidad más proximal, y B y C corresponden a un acercamiento de PAJ (b) y PAJ (c), respectivamente. Se puede observar que el mayor constituyente corresponde a líticos de hasta ~ 40 cm.....	58
Figura 4.17: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Pajonales en el borde oriental del domo resurgente de la Caldera Aguilar (localidad D). A muestra una vista panorámica de las 3 subunidades de la Ignimbrita Pajonales, B muestra el contacto entre PAJ (b) y PAJ (c), donde se observa una capa rica en líticos redondeados negros, C muestra un acercamiento de PAJ (a), D muestra el detalle de una muestra de PAJ (c), en la que se observan pómez fibrosas centimétricas, E corresponde a un fragmento redondeado de	

un clasto vitrofírico de la parte baja de PAJ (c) y F muestra un acercamiento de PAJ (a), donde se observan abundantes fragmentos de pómez y líticos tamaño lapilli medio. ...59

Figura 4.18: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Juncalito. Los números que se encuentran a la derecha de cada datación corresponden a dataciones radiométricas publicadas por Naranjo et al. (2016), detalladas en la Tabla 7.1, en Anexos.....61

Figura 4.19: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Juncalito en la parte norte del portezuelo ubicado al este del Salar de Pedernales (localidad C). A muestra una vista panorámica de la Ignimbrita Juncalito sobre la Ignimbrita Vega Helada, B muestra la relación de contacto entre la brecha basal y Junc(a), C y D muestran el detalle de Junc(a), y E y F el detalle de Junc(b). .....62

Figura 4.20: Fotomicrografías de la Ignimbrita Juncalito. A, C y E fueron capturadas a nicoles paralelos, mientras que B y D a nicoles cruzados. A, B, C y D tienen un aumento de 2X y E de 5X. A y B corresponden a la subunidad Junc(b), C, D y E corresponden a Junc(a). Se observan escasos cristales de Pl, Bt y Opx en una matriz rica en esquirlas. ....63

Figura 4.21: Ubicación de las localidades donde se levantaron columnas estratigráficas de las ignimbritas Salar Grande (A-F) y San Andrés (I-L). Las columnas I, J, K y L también incluyen niveles de las ignimbritas Barrancas Blancas, Los Colorados y Laguna Verde.....64

Figura 4.22: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Salar Grande. Los números que se encuentran entre paréntesis a la derecha de cada columna corresponden a dataciones radiométricas, detalladas en la Tabla 7.1, en Anexos. El orden de las columnas no representa una dirección de flujo, ya que se reconocieron diferentes direcciones, por lo que no es posible ordenarlas según su distribución de facies. La ubicación de cada columna se muestra en la Figura 4.21. ....65

Figura 4.23: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Salar Grande en el extremo sur de la Laguna Seca (localidad E de la Figura 4.22, sector conocido como “La Torta”). Se observan 9 litofacies diferentes. ....66

Figura 4.24: Variación lateral de espesores depositados a partir de una misma corriente con dos períodos agradacionales. SG-1(a) y SG-1(b) corresponden a la separación distal de una misma corriente que agradó dos veces. Modificado de Branney y Kokelaar, 2002. ....67

Figura 4.25: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Salar Grande en el flanco oriental del Cordón de las Chinchillas (localidad D Figura 4.22). A corresponde a una vista panorámica hacia el sur, B es un acercamiento de los niveles SG-2 y SG-3, C y D muestran el contacto entre SA-2(a), SG-2(b) y SG-3, E, F y G muestran el detalle de cada nivel. ....69

Figura 4.26: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Salar Grande en la parte occidental del Cordón de las Chinchillas (localidad C Figura 4.22). A corresponde a una vista panorámica hacia el oeste, B a un acercamiento a la parte alta de A, donde se observan abundantes pipas de desgasificación de la subunidad SG-4(a), detalladas en la imagen C. D corresponde a una imagen que muestra la subunidad SG-4(c) intensamente fracturada y E muestra la relación de contacto entre la ignimbrita Salar Grande y lavas que la cubren.....71

Figura 4.27: Evolución del colapso de la Caldera Salar Grande y distribución de corrientes piroclásticas de densidad. (A) colapso parcial del sector noreste de la caldera, habría generado la subunidad SG-1, (B) segundo colapso parcial del borde SE de la caldera y habría generado la subunidad SG-2, (C) colapso parcial de parte del borde oriental de la caldera, habría generado SG-3 (D) colapso parcial del resto del borde oriental de la caldera que habría generado SG-4 (E) etapa posterior de colapso tipo downsag asociada a la erupción del Volcán Chato Aislado.....72

Figura 4.28: Fotomicrografías de la Ignimbrita Salar Grande. A, C, D y E fueron capturadas a nicoles paralelos y B y F a nicoles cruzados, A, B, E y F con un aumento de 2X y C y D con un aumento de 5X. Se observan cristales de Pl, Bt y menor Am inmersos en una matriz con cantidad variable de líticos y fragmentos cristalinos. A y B corresponden a la subunidad SG-1(a), C y D a la subunidad SG-2(a) y E y F a la subunidad SG-2(b). ....73

Figura 4.29: Fotomicrografías de la Ignimbrita Salar Grande, A, B, D y F a nicoles paralelos y C y E a nicoles cruzados. A, B y C con un aumento de 5X y D, E y F de 2X. A, C y E corresponden a la subunidad SG-2(b) y muestran algunas esquirlas aplastadas (shards), una fiamme desvitrificada con escasos cristales de Pl. D y E corresponden al segundo nivel vitrofórico (SG-4(b)) y muestran un mayor contenido de cristales que las demás subunidades, debido a una mayor compactación. Se observan cristales de Pl, Bt, Opx escaso y un glomero-pórfido-cristal de Pl y Cpx. F corresponde a la subunidad

SG-4(c) y se observan cristales de Pl, Bt y fiammes muy aplastadas, debido a un alto nivel de soldamiento.....	74
Figura 4.30: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Barrancas Blancas en la quebrada homónima (localidad L de la Figura 4.32). Corresponde a la base de esta localidad compuesta, se encuentra intensamente fracturada y está cubierta por la Ignimbrita San Andrés mediante un contacto erosivo. A muestra su relación de contacto con la Ignimbrita San Andrés, B muestra el detalle de dicho contacto y C una muestra de mano de la Ignimbrita Barrancas Blancas. ....	76
Figura 4.31: Fotomicrografías de la Ignimbrita Barrancas Blancas. A fue capturada a nicoles paralelos y B a nicoles cruzados, ambas con un aumento de 2X. Se observan cristales de Pl, Bt y fiammes escasas. ....	77
Figura 4.32: Distribución y dirección de flujo de la Ignimbrita San Andrés a partir de su fuente, la Caldera Pampa de los Bayos. ....	77
Figura 4.33: Correlación de las litofacies reconocidas en las distintas localidades estudiadas de la Ignimbrita San Andrés, indicadas en la Figura 4.32. Las columnas están ordenadas de izquierda a derecha desde más distal a más proximal con respecto a la Caldera Pampa los Bayos, salvo por la localidad K, que se encuentra hacia el norte de dicha caldera. Las dataciones indicadas fueron publicadas por Naranjo et al., 2016, y se detallan en la Tabla 7.1, indicadas con el número entre paréntesis a la derecha de cada edad.....	78
Figura 4.34: Fotografías de terreno de la Ignimbrita San Andrés, al oeste del Salar de Pedernales (localidad H, Figura 4.32). A es una vista panorámica donde se aprecia una tonalidad más rosada de SA-1 en comparación con SA-2, B muestra un acercamiento al afloramiento y C y D muestran el detalle de una muestra de mano de SA-2 y SA-1, respectivamente. ....	79
Figura 4.35: Fotomicrografías de la Ignimbrita San Andrés. A, B y C fueron capturadas a nicoles paralelos y D a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. A y B corresponden a SA-1, se observan cristales de Pl, Bt y pómez en una matriz con abundantes esquirlas. C y D corresponden a SA-2 y se observan cristales de Pl, Bt y Qtz embahiado. ....	80
Figura 4.36: Fotografías de la Ignimbrita San Andrés en la Quebrada Agua del Rincón (localidad I, Figura 4.32). A, B y C muestran las relaciones de contacto de las dos	

subunidades reconocidas, SA-0 corresponde a la brecha basal que se reconoce solo de forma local. D, E y F muestran el detalle de cada nivel.....82

Figura 4.37: Distribución de la Ignimbrita Los Colorados. Se puede observar que la mayor parte se distribuye en territorio argentino, hacia el sur de la Caldera Los Colorados.....83

Figura 4.38: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Los Colorados. Las columnas están ordenadas, de izquierda a derecha, desde la más proximal a la más distal, con respecto a la Caldera Los Colorados, es decir, de norte a sur, siguiendo la flecha que se muestra en la Figura 4.37. Las edades indicadas fueron publicadas por Naranjo et al. (2013a, 2016 y 2018b) y se detallan en la Tabla 7.1, según los números que se encuentran en paréntesis a la derecha de cada datación. ....84

Figura 4.39: Borde sur de la Caldera Los Colorados, donde se puede observar un escarpe de ~700 m de altura. En primer plano se observa un depósito brechoso, rico en clastos de hasta 30 cm en una matriz de ceniza fina de color pardo pálido a rosáceo. Corresponde a la facies más proximal reconocida de la Ignimbrita Los Colorados. ....84

Figura 4.40: Fotografías de terreno de la subunidad COL-1 de Ignimbrita Los Colorados en la localidad A, inmediatamente al sur de la caldera del mismo nombre. En A se observa la Ignimbrita Los Colorados sobre la Granodiorita León Muerto, B y C muestran la variación en el color de COL-1, asociada a un aumento en el grado de soldamiento, D corresponde a una muestra de mano de la litología más característica de la Ignimbrita Los Colorados, que le da su nombre debido a su intenso color rojizo, E, F y G muestran las diferentes texturas reconocidas en el nivel más soldado de la subunidad COL-1. ....85

Figura 4.41: Fotografías de terreno de la subunidad COL-2 de la Ignimbrita Los Colorados en la localidad A, inmediatamente al sur de la caldera del mismo nombre. A muestra una vista panorámica de la ignimbrita cubierta por lavas. De base a techo se reconocen 3 niveles, el primero corresponde a la subunidad COL-2 con un intenso fracturamiento horizontal (Fotografía B), el segundo también corresponde a la subunidad COL-2, pero con una coloración más gris y sin fracturamiento (Fotografía C) y, finalmente, la lava que las cubre (fotografía D). ....86

Figura 4.42: Fotomicrografías de la Ignimbrita Los Colorados, capturadas con un aumento de 2X, todas a nicoles paralelos a excepción de D, que fue tomada a nicoles cruzados. A, B, C y D corresponden a la subunidad COL-1. A muestra esquirlas



abundantes, una pómez fibrosa y escasos cristales de Pl, B muestra esquirlas aplastadas por soldamiento y un cristal de Pl, además de un fragmento lítico milimétrico en la parte superior derecha. C muestra una fiamme intensamente soldada, D muestra cristales de Pl y Bt, que son los constituyentes cristalinos principales de esta unidad. E y F corresponden a la subunidad COL-2, E muestra escasas fiammes y fragmentos cristalinos y F muestra esquirlas menos abundantes y de menor tamaño que las de COL-1.....87

Figura 4.43: Imágenes de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde sobreyaciendo una ignimbrita de color rojizo, probablemente la Ignimbrita Los Colorados, dada su coloración, sus características litológicas macroscópicas y su posición estratigráfica. A) Fotografía panorámica donde se observa una unidad rojiza bajo la Ignimbrita Laguna Verde. B) muestra desde más cerca la relación de contacto entre ambas unidades, C) y F) muestran mayor detalle de la ignimbrita rojiza, probablemente la Ignimbrita Los Colorados, D) y E) muestran el detalle los dos niveles de la Ignimbrita Laguna Verde que se describen más adelante.....89

Figura 4.44: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Wheelwright en las nacientes del Río Juncalito (localidad H de la Figura 4.48). A es una vista panorámica donde se ve la Ignimbrita Wheelwright bajo la Ignimbrita Laguna Verde. B y C muestran mayor detalle de la litología de esta unidad. C muestra una pómez muy vesicular (vesicularita) de color pardo verdoso.....90

Figura 4.45: Fotomicrografías de la Ignimbrita Wheelwright. B fue capturada a nicoles cruzados y A, C y D a nicoles paralelos, todas con un aumento de 2X. En A se observan pómez fibrosas en una matriz rica en esquirlas, B y D muestran cristales de Pl y Bt y C corresponde a un fragmento de pómez muy vesicular. ....91

Figura 4.46: A es una fotografía de terreno de la Ignimbrita Parinas, 15 km al norte de la Quebrada Tres Puntas. B corresponde a una muestra de mano donde se observan abundantes pómez tamaño lapilli.....92

Figura 4.47: Fotomicrografías de la Ignimbrita Parinas. A y C fueron capturadas a nicoles paralelos, B y D a nicoles cruzados, A y B con un aumento de 2X, y C y D con un aumento de 5X. En A y B se observan cristales de Pl y pómez fibrosas, C y D muestran cristales de Qtz con bordes reabsorbidos y Bt. ....93

Figura 4.48: Distribución de la Ignimbrita Laguna Verde. Naranjo et al. (2018a) establecen que la fuente de la Ignimbrita Laguna Verde es el sistema Caldera Laguna Amarga-Laguna Escondida. ....	94
Figura 4.49: Fotomicrografías de la Ignimbrita Laguna Verde. A, C y E fueron capturadas a nicoles paralelos y B, D y F a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. A, B, C y D corresponden a la subunidad LV-1 y E y F corresponden a LV-2. En A y B se observan cristales milimétricos de Qtz reabsorbido y Pl inmersos en una matriz rica en esquirlas (Shards), C y D muestran cristales reabsorbidos de Qtz de ~3 mm y Bt en una matriz rica en esquirlas, y E y F muestran cristales de Qtz reabsorbido y Pl milimétricos. ....	95
Figura 4.50: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Laguna Verde. Las columnas no están ordenadas espacialmente. Las dataciones fueron publicadas por Naranjo et al. (2016) y se encuentran detalladas en la Tabla 7.1. La ubicación de las columnas se indica en la Figura 4.48. ....	96
Figura 4.51: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde en la Quebrada Agua del Rincón (localidad B). En A se observan todos los niveles de esta ignimbrita, B muestra en primer plano la subunidad LV-0 y en segundo plano LV-1, C muestra LV-0 y LV-1 sobre la Ignimbrita San Andrés. Las fotografías D, E, F, G y H muestran con mayor detalle a LV-2 retrabajada, LV-2, LV-1 y LV-0. ....	97
Figura 4.52: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde en la Quebrada Barrancas Blancas (localidad D). A muestra una vista panorámica de LV-2 sobre LV-1, B y C muestran a LV-1 y LV-2 con mayor detalle y D muestra a la Ignimbrita Laguna Verde sobreyaciendo a la Ignimbrita Los Colorados. ....	98
Figura 4.53: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde en el extremo este de la Caldera Pampa de Los Bayos (localidad E), donde muestra su mayor desarrollo vertical. ....	98
Figura 4.54: Ignimbrita Laguna Verde en el borde sur de la laguna homónima. Se observan niveles con variadas estructuras sedimentarias. ....	100
Figura 4.55: Diagramas de clasificación de biotitas de las ignimbritas antiguas (de más de 21 Ma), Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito. Los límites entre flogopitas y biotitas de los diagramas B) y C) fueron trazados de acuerdo con los valores establecidos por Speer (1984) y Deer et al. (1986). A) Diagrama ternario de clasificación	

de biotitas según Foster (1960). Los cationes  $Fe^{+2}$  y  $Fe^{+3}$  fueron recalculados a partir de la fórmula publicada por Droop (1987). B) Diagrama de clasificación de biotitas según Deer et al. (1992). C) Diagrama de clasificación de biotitas de Rieder et al. (1998). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés. .... 102

Figura 4.56: Diagramas de clasificación de biotitas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados. Los límites entre flogopitas y biotitas de los diagramas B) y C) fueron trazados de acuerdo con los valores establecidos por Speer (1984) y Deer et al. (1986). A) Diagrama ternario de clasificación de biotitas según Foster (1960). Los cationes  $Fe^{+2}$  y  $Fe^{+3}$  fueron recalculados a partir de la fórmula publicada por Droop (1987). B) Diagrama de clasificación de biotitas según Deer et al. (1992). C) Diagrama de clasificación de biotitas de Rieder et al. (1998). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés. .... 104

Figura 4.57: Diagramas de clasificación de biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde. Los límites entre flogopitas y biotitas de los diagramas B) y C) fueron trazados de acuerdo con los valores establecidos por Speer (1984) y Deer et al. (1986). A) Diagrama ternario de clasificación de biotitas según Foster (1960). Los cationes  $Fe^{+2}$  y  $Fe^{+3}$  fueron recalculados a partir de la fórmula publicada por Droop (1987). B) Diagrama de clasificación de biotitas según Deer et al. (1992). C) Diagrama de clasificación de biotitas de Rieder et al. (1998). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés. .... 105

Figura 4.58: Diagramas de clasificación de magmas a partir de la geoquímica de biotitas para las ignimbritas Antiguas (más de 21 Ma), Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito. A) y B) según Abdel-Rahman (1994), las letras A, P y C indican magmas alcalinos anorogénicos, peraluminosos (incluyendo los tipo S) y calco-alcalinos orogénicos, respectivamente, y C) según Nachit et al. (1985). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés, Wt% corresponde al porcentaje en peso de óxidos. .... 107

Figura 4.59: Diagramas de clasificación de magmas a partir de la geoquímica de biotitas para las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados. A) y B) según Abdel-Rahman (1994), las letras A, P y C indican magmas alcalinos

anorogénicos, peraluminosos (incluyendo los tipo S) y calco-alcalinos orogénicos, respectivamente, y C) según Nachit et al. (1985). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés, Wt% corresponde al porcentaje en peso de óxidos.....	109
Figura 4.60: Diagramas de clasificación de magmas a partir de la geoquímica de biotitas para las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde. A) y B) según Abdel-Rahman (1994), las letras A, P y C indican magmas alcalinos anorogénicos, peraluminosos (incluyendo los tipo S) y calco-alcalinos orogénicos, respectivamente, y C) según Nachit et al. (1985). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés, Wt% corresponde al porcentaje en peso de óxidos.....	110
Figura 4.61: Distribución de diferentes elementos en función de la cantidad de sílice, expresados como porcentaje en peso de óxidos (Wt%), para los análisis realizados en las biotitas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito. ....	112
Figura 4.62: Distribución de diferentes elementos en función de la cantidad de sílice, expresados como porcentaje en peso de óxidos (Wt%), para los análisis realizados en las biotitas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados.....	114
Figura 4.63: Distribución de diferentes elementos en función de la cantidad de sílice, expresados como porcentaje en peso de óxidos (Wt%), para los análisis realizados en las biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde.....	115
Figura 4.64: Gráfico que compara el contenido de Ti y Al (iv) de las subunidades de la Ignimbrita Río Frío. Las siglas a.p.f.u corresponden a átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés. ....	117
Figura 4.65: Química de biotitas de las diferentes subunidades de la Ignimbrita Los Colorados expresada en porcentaje en peso de óxidos (Wt%) y átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos (a.p.f.u). Se observa una alta variabilidad en la composición química de las biotitas de los diferentes niveles identificados. COL-0 corresponde a la brecha basal de la subunidad COL-1 y no una unidad aparte.....	118

Figura 4.66: Gráficos con datos de análisis químicos de biotitas de la Ignimbrita Salar Grande y de depósitos del Volcán Chato Aislado, expresados en porcentaje en peso de óxidos (Wt%) y átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos (a.p.f.u).....	119
Figura 4.67: Figura modificada de Breitreuz et al. (2014), donde se indica la ubicación aproximada de los depósitos de caída que analizó y las ignimbritas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC en la figura, por sus siglas en inglés). En la parte inferior de la imagen se indica la ubicación aproximada de las ignimbritas estudiadas en el presente trabajo, en la parte sur de la Zona Volcánica Central (ZVCS). .....	122
Figura 4.68: Comparación entre la composición química de biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde y depósitos de caída ubicados en la costa, publicados por Breitreuz et al., 2014. Se muestran los mismos gráficos de correlación que en dicho trabajo. Las líneas punteadas de colores representan los rangos composicionales de las biotitas de las unidades indicadas en la leyenda.....	123
Figura 4.69: Mapa de distribución de las calderas que originaron a las ignimbritas estudiadas en este trabajo. En la parte superior izquierda se indica la ubicación de tres de las localidades estudiadas por Breitreuz et al. (2014), dos de las cuales pudieron ser correlacionadas con ignimbritas de la parte sur de la Zona Volcánica Central. La flecha indica una migración temporal del colapso de las calderas, abarcando desde los ~20 Ma (Caldera Aguilar) hasta los ~3,8 Ma (Caldera Laguna Amarga-Laguna Escondida). .....	124
Figura 4.70: Comparación entre la química de biotitas de las ignimbritas estudiadas en la parte sur de la Zona Volcánica Central con la química de biotitas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC), estas últimas publicadas por Breitreuz et al. (2014). A) contrasta la clasificación de biotitas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito con las del APVC, B) contrasta la clasificación de biotitas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados con las del APVC, C) contrasta la clasificación de biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde con las del APVC, D) contrasta la clasificación de magmas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito con las del APVC, E) contrasta la clasificación de magmas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados con las del APVC, F) contrasta la	

clasificación de magmas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde con las del APVC. ....	125
Figura 4.71: Imágenes de velocidad de propagación de ondas S, tomada de Ward et al. (2014), donde se ve una importante baja en la velocidad de propagación de ondas entre los 10 y los 15 km de profundidad, lo que interpretan como la presencia de un cuerpo magmático de gran volumen. ....	126
Figura 4.72: Figura que muestra el patrón de la variación de la química de biotitas de las ignimbritas Río Frío, Salar Grande, Barrancas Blancas y San Andrés. A) corresponde al diagrama de clasificación de biotitas de Foster (1960) y B) corresponde al diagrama de clasificación de magmas de Nachit et al., 1985. La flecha roja indica el patrón de variación temporal del lineamiento de las calderas que originaron estos depósitos. ....	127
Figura 4.73: Campos de distribución de la química de biotitas de las ignimbritas Río Frío, Salar Grande, Barrancas Blancas y San Andrés. La flecha indica un patrón de variación temporal asociado al lineamiento de las calderas Aguilar, Salar Grande, Barrancas Blancas y Pampa de Los Bayos (Figura 4.75). ....	128
Figura 4.74: Variación temporal de la química de biotitas de los productos del lineamiento de las calderas Wheelwright y Laguna Amarga-Laguna Escondida (Figura 4.75). ....	128
Figura 4.75: Se muestra la ubicación aproximada de las calderas que originaron las diferentes ignimbritas estudiadas en este trabajo. Se reconocen dos lineamientos temporales indicados con flechas negras, el lineamiento de orientación NNW-SSE lo comprenden las calderas Aguilar, Salar Grande, Barrancas Blancas y Pampa de Los Bayos y el lineamiento de orientación WSW-ENE lo conforman las calderas Wheelwright y Laguna Amarga-Laguna Escondida. Las calderas Los Colorados y Alto Parinas no parecen tener una relación física, temporal ni química con los lineamientos antes mencionados. ....	129
Figura 4.76: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Río Frío (A y B) y Vega Helada (C). En A) se observan facies soldadas de la subunidad RF-2 de la Ignimbrita Río Frío, similar a la parte alta de la subunidad VH-2 mostrada en C), y B) muestra una base menos soldada de RF-2 cuyo grado de soldamiento aumenta, similar a lo observado en C) para la Ignimbrita Vega Helada. ....	130

Figura 4.77: Diagramas composicionales de las biotitas de las ignimbritas Río Frío y Vega Helada, expresados en porcentaje de óxidos (Wt%). Se observa una clara diferencia entre ambas unidades, especialmente en el contenido de $TiO_2$ , $MnO$ y $Al_2O_3$ . .....	132
Figura 4.78: Fotografías de muestras de mano y fotomicrografías de las ignimbritas Pajonales y Juncalito. A) y B) muestran fotografías de terreno de las ignimbritas Pajonales y Juncalito, respectivamente, C) y D) son fotomicrografías de la Ignimbrita Pajonales y E), F) y G) son fotomicrografías de la Ignimbrita Juncalito. En ambos casos se observan pómez, cristales de Pl y Bt, y una matriz rica en esquirlas. C), D), E) y G) fueron capturadas a nicoles paralelos y F) a nicoles cruzados; C), E) y F) con un aumento de 2X y D) y G) con un aumento de 5X. ....	133
Figura 4.79: Comparación de la química de biotitas de las ignimbritas Pajonales y Juncalito, expresada en porcentaje en peso de óxidos. Se observa una fuerte correlación entre ambas unidades. ....	134
Figura 4.80: Gráfico con el contenido de Ti y Fe de las subunidades de las ignimbritas Pajonales (A) y Juncalito (B). ....	135
Figura 4.81: Composición de las figuras Figura 4.1 y Figura 4.7. La Ignimbrita Juncalito correspondería a las facies más australes y occidentales de la ignimbrita Pajonales, mientras que la Ignimbrita Vega Helada no estaría asociada al colapso de la Caldera Aguilar. ....	136
Figura 7.1: Leyenda utilizada en las diferentes columnas estratigráficas presentadas en el capítulo 4 de resultados y discusiones y en las columnas que se presentan en este Anexo. En las columnas de los anexos las lavas fueron graficadas únicamente con un color negro. ....	152

# 1 INTRODUCCIÓN

El colapso de calderas representa uno de los fenómenos geológicos más catastróficos registrados en la Tierra. Da origen a grandes erupciones, capaces de afectar dramáticamente la superficie y atmósfera terrestre, por lo que profundizar en el conocimiento de este tipo de erupciones y sus depósitos es de gran interés. Si bien el colapso de calderas no ha sido registrado de forma directa, se puede estudiar mediante el análisis de sus depósitos (las ignimbritas) y su distribución (variaciones de facies).

En la alta cordillera, en el límite entre las regiones de Atacama y Antofagasta, aproximadamente entre los 25°-27°S y los 68°-69°W, existen grandes depósitos de ignimbritas cenozoicas, de entre ~25 y ~4 Ma, que en conjunto cubren áreas de más de 20.000 km<sup>2</sup> y alcanzan volúmenes superiores a los 2.500 km<sup>3</sup> (Naranjo *et al.*, 2013a, 2013b, 2016, 2018a), y que son el foco de este estudio. Debido a su corto tiempo de emplazamiento, son excelentes guías cronoestratigráficos y, por las grandes áreas que cubren, tienen gran importancia desde el punto de vista cartográfico. Por otro lado, la magnitud de las erupciones que las originan representa un gran peligro geológico, por lo que es necesario estudiarlas en detalle, para conocer su real magnitud y alcance.

Naranjo *et al.* (2018a) identificaron y caracterizaron las ignimbritas que afloran en esta zona y sus fuentes. Sin embargo, algunas de las unidades estudiadas presentan características físicas y edades radiométricas muy similares, lo que dificulta su identificación y correlación, por lo que es necesario caracterizarlas en detalle, con el fin de individualizarlas (Hildreth y Mahood, 1985, de Silva, 1989). Por otra parte, una misma ignimbrita puede cambiar drásticamente según su distancia desde la fuente o el nivel de emplazamiento, mostrando diferentes facies (Branney y Kokelaar, 2002).

Existen diversos métodos de correlación de ignimbritas, entre los que destaca la química de minerales como apoyo a los métodos más tradicionales de correlación: estratigrafía, continuidad lateral de unidades, dataciones radiométricas, petrografía, entre otros (Hildreth y Mahood, 1985, de Silva y Francis, 1989, Lindsay *et al.*, 2001, Folkes *et al.*, 2011, Breitzkreuz *et al.*, 2014). Cabe destacar que las edades



radiométricas mediante Ar/Ar en biotitas y anfíbola se pueden ver uniformemente rejuvenecidas debido a la pérdida de argón por eventos de calentamiento (como la depositación de una ignimbrita más joven, Naranjo et al, 2018b, Dickin, 2005), mientras que la datación mediante U-Pb en circones permite conocer las edades de cristalización, pero no necesariamente la edad eruptiva, por lo que deben ser tratadas con precaución y complementadas con otros métodos.

A través de este estudio se pretende caracterizar las distintas facies de dichas ignimbritas, determinar sus variaciones e interpretar las condiciones de los flujos a partir de los que fueron depositadas. Para ello, se cuenta con información y fotografías de terreno, abundantes muestras de mano y cortes transparentes, y datos geocronológicos previamente publicados. Además, gracias al apoyo del Dr. Yuji Orihashi, profesor asistente en la Facultad de Ciencias e investigador en el Earthquake Research Institute (ERI) de la Universidad de Tokyo, quien puso a disposición una Microsonda Electrónica para realizar análisis, se busca caracterizar la química de minerales de biotita, con el fin de corroborar y mejorar las correlaciones físicas de las unidades estudiadas.

Adicionalmente, Breitkreuz *et al.* (2014) realizaron una correlación mediante geoquímica de biotitas entre ignimbritas del Complejo Volcánico Altiplano Puna (APVC, por sus siglas en inglés) y depósitos de caída, ubicados en la Cordillera de la Costa, cerca de la ciudad de Antofagasta. Algunos de los depósitos que estudiaron no pudieron ser asignados a ignimbritas del APVC, y podrían estar relacionados a las ignimbritas involucradas en este estudio, lo que se busca resolver comparando los datos publicados por dichos autores con los análisis realizados en este trabajo.

## 1.1 UBICACIÓN Y ACCESOS

La zona de estudio se encuentra entre los 25° y 27°S, en el límite entre las regiones de Atacama y Antofagasta, en la alta cordillera de Taltal y Chañaral (Figura 1.1). Para acceder al ella, conviene tomar la ruta C-13 (hacia Salvador y Potrerillos), desde la ruta 5 Norte hacia el este, pasando Diego de Almagro, para, luego, en el desvío hacia Salvador, a unos 25 km al este de Diego de Almagro, tomar la ruta C-163 por 34 km en dirección este. Desde ahí se puede seguir nuevamente la ruta C-13 hacia el norte y luego, la ruta C-173 hacia el este, subiendo por la Cuesta Montando hasta llegar al Salar de Pedernales, o continuar hacia el este por la ruta C-177 por 25 km, desviarse a la izquierda y tomar la cuesta que lleva directamente hasta Pedernales. Alternativamente, se puede tomar la ruta 31 CH, que une Copiapó con el paso internacional de San Francisco.

La zona de estudio se puede recorrer por huellas y caminos secundarios, algunos de los cuales se muestran en la Figura 1.1. En la mayor parte del área solo se puede circular en vehículos doble tracción, ya que no existen caminos habilitados y el suelo por el que se debe transitar es muy blando y poco consolidado.

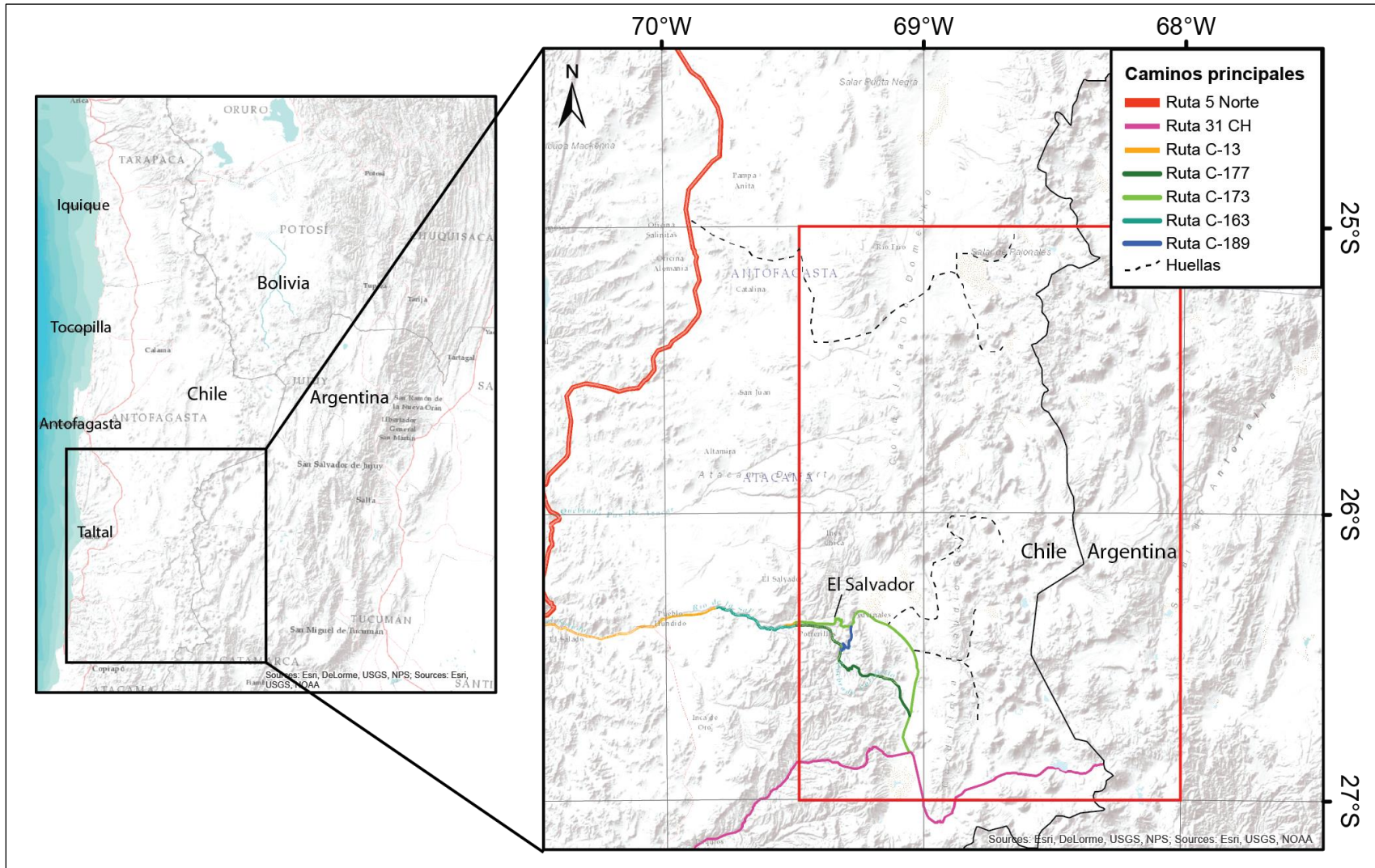


Figura 1.1: Ubicación y accesos. El recuadro rojo enmarca aproximadamente la zona de estudio y en colores se muestran las distintas rutas para acceder a ella.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar y analizar la variación de litofacies de ignimbritas neógenas de la parte sur de la Zona Volcánica Central

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Caracterizar las litofacies de múltiples ignimbritas neógenas de la Zona Volcánica Central Sur
- Estudiar las variaciones espaciales de dichas litofacies
- Caracterizar y comparar la química de biotitas de las unidades estudiadas
- Comparar y correlacionar la química de biotitas de las unidades estudiadas con datos publicados de depósitos distales de caída de cenizas, ubicados en la Cordillera de la Costa, cerca de Antofagasta

### 1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO

Por una parte, las características físicas de las ignimbritas reflejan los procesos de emplazamiento y enfriamiento en los flujos a partir de los que se depositaron (Branney y Kokelaar, 2002) y, por otra parte, la geoquímica de minerales, en particular de biotitas, es una característica intrínseca de las ignimbritas, por lo que es una buena herramienta para su caracterización y correlación (de Silva y Francis, 1989, Lindsay *et al.*, 2001, Folkes *et al.*, 2011, entre otros).

## **1.4 METODOLOGÍAS**

### **1.4.1 TRABAJO EN TERRENO**

Durante febrero y marzo de 2014 y febrero de 2015 se llevaron a cabo dos campañas de terreno, sumando 20 días efectivos de terreno. Además, se utilizaron muestras, datos de terreno y fotografías obtenidas en campañas previas, asociadas al mapeo de las cartas geológicas de las áreas Salar de Pajonales y Cerro Moño, Salar de Aguilar y Portezuelo del León Muerto, y Cerro Panteón de Aliste y Cerro Colorado (Naranjo *et al.*, 2013a, 2013b, 2016), abarcando desde 2011 hasta 2015, con más de 400 localidades revisadas. Ahí, se realizaron observaciones y descripciones estratigráficas, petrográficas y de distribución de afloramientos, perfiles y columnas esquemáticos, además de la toma de fotografías y muestras, que son fundamentales para el desarrollo de las etapas posteriores del estudio.

### **1.4.2 CORRELACIÓN DE LITOFACIES**

Se caracterizaron las litofacies de las diferentes unidades estudiadas en base a los datos registrados en las libretas de terreno y las fotografías tomadas en las campañas antes mencionadas, apoyadas con la descripciones petrográficas de muestras de mano y de cortes transparentes. Además, se utilizó el software Google Earth Pro, con lo que se pudo seleccionar las localidades tipo para realizar perfiles, columnas y correlaciones de niveles estratigráficos.

En total se describieron más de 200 cortes transparentes y una cantidad similar de muestras de mano, por medio de lupa, lupa binocular y microscopio óptico, en los laboratorios de SERNAGEOMIN, poniendo especial énfasis en características especiales, como tipos de pómez, arreglo cristalino, tamaño y morfología de esquiras, textura y fracturamiento de los cristales, glomero-pórfido cristales, entre otros.

Con el apoyo de los programas Google Earth Pro, ArcGis, Sedlog y Adobe Illustrator, se generaron 30 columnas estratigráficas, detallando las diferentes litofacies

reconocidas en cada una de las localidades estudiadas, las que posteriormente fueron correlacionadas con columnas de otras localidades, para poder interpretar sus variaciones laterales y verticales, según los criterios definidos por Branney y Kokelaar (2002), detallados más adelante.

### **1.4.3 GEOQUÍMICA DE BIOTITAS**

#### **1.4.3.1 SELECCIÓN DE MUESTRAS**

El análisis previo y discusiones grupales con los profesores guía y geólogos del SERNAGEOMIN permiten seleccionar un número acotado de localidades tipo y muestras para analizar. Se opta por estudiar biotitas, ya que, según la bibliografía revisada, son el mejor mineral máfico para caracterizar y correlacionar ignimbritas (de Silva y Francis, 1989, Lindsay *et al.*, 2001, Folkes *et al.*, 2011, Breitzkreuz *et al.*, 2014, entre otros) y por ser el único mineral máfico presente en todas las unidades que abarca este estudio.

#### **1.4.3.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

La preparación de las muestras se llevó a cabo en los laboratorios del SERNAGEOMIN. Las muestras seleccionadas fueron chancadas y tamizadas, para seleccionar las fracciones que contuvieran mayor cantidad de biotitas, basándose en las descripciones petrográficas antes realizadas (0,125 mm-2 mm). Luego, las biotitas fueron separadas del resto mediante métodos magnéticos y físicos. Finalmente, los concentrados de biotita fueron montados en briquetas de resina (epoxy) de 20 mm de alto y 12,5 mm de diámetro, cortadas y pulidas.

En el ERI de la Universidad de Tokyo, las muestras fueron pulidas con pasta de diamantina, y metalizadas con carbono para aumentar su conductividad.

### 1.4.3.3 ANÁLISIS GEOQUÍMICO

Para el montaje de las muestras, se utiliza un pegamento conductor y cinta adhesiva de carbono, para garantizar la conductividad de la muestra.

Se analiza la química de elementos mayores y menores mediante Microsonda Electrónica (EPMA) en las dependencias del ERI de la Universidad de Tokyo, en Japón. La microsonda utilizada corresponde al modelo JEOL JXA-8800, que cuenta con 5 espectrómetros de masa (Figura 1.2). Los elementos analizados fueron Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, F y Cl, y el resultado de los análisis se obtuvo en porcentajes en peso. Se utilizó un voltaje de aceleración de 15 kv, una corriente de 12 nA y un haz de 5  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Antes de analizar cada grupo de muestras se analizaron estándares internacionales para comprobar la correcta calibración de la microsonda. Se analizó un total de 35 muestras, con un promedio de 15 minerales por muestra y 2 a 3 puntos de análisis por cristal, llegando excepcionalmente a los 10 puntos de análisis en un solo cristal. En total, se cuenta con más de 1.200 puntos analizados.

Los análisis con un error mayor al 5% no fueron considerados.



*Figura 1.2: Fotografías de la microsonda utilizada para el análisis de biotitas. A la izquierda se aprecia la cámara de vacío donde se ingresa la muestra a analizar, la torre que genera el haz de electrones y los espectrómetros de masa, y a la derecha la interfaz para realizar los análisis.*



## **1.5 FINANCIAMIENTO**

Este trabajo fue financiado en parte por el proyecto n°8011 del Plan Nacional de Geología del SERNAGEOMIN, que permitió realizar las campañas de terreno, la preparación de cortes transparentes, estudios petrográficos en su laboratorio de petrografía y la preparación de briquetas de resina con concentrados de biotita. La Universidad de Tokio financió una parte importante de este estudio, al facilitar sus instalaciones para el análisis de geoquímica de minerales mediante microsonda electrónica y costear una estadía de un mes para la realización de dichos análisis.

## **2 MARCO GEOGRÁFICO**

### **2.1 GEOGRAFÍA DE LA ZONA**

El mayor número de afloramientos y muestras estudiadas se ubica inmediatamente al oeste del arco volcánico del Cenozoico superior, que conforma la Cordillera de los Andes, con un ancho variable de 120 a 200 km. Sin embargo, los depósitos se extienden varios kilómetros hacia el oeste, principalmente en valles y quebradas, por lo que a continuación se detallan las características de los distintos relieves que se encuentran en el área involucrada.

#### **2.1.1 RELIEVES PRINCIPALES**

Los relieves más importantes en la zona de estudio, de oeste a este, corresponden a la Cordillera de la Costa, de Domeyko, de Claudio Gay y de Los Andes (Figura 2.1).

La Cordillera de la Costa es un cordón montañoso de orientación norte-sur, paralelo a la línea de costa, cuyas dimensiones pocas veces superan los 50 km de ancho y los 1500 m s.n.m. Hacia el este se encuentra la Depresión Central, una planicie de aproximadamente 50 km de ancho con una suave pendiente hacia el oeste. Luego, se encuentra la Cordillera de Domeyko, otro cordón montañoso de orientación aproximadamente norte-sur, tiene un ancho de aproximadamente 50 km y sus cumbres más altas superan los 4.000 m s.n.m. A continuación, se encuentra la Cordillera de Claudio Gay, relieve de menor envergadura, pero que alcanza alturas más allá de los 5.000 m s.n.m, es de orientación aproximadamente norte-sur y atraviesa las cuencas de los salares de Pedernales y Maricunga. Alcanza un ancho máximo cercano a los 15 km. Por último, en la parte más oriental, se encuentra la Cordillera de Los Andes que está conformada por conos compuestos y monogenéticos, domos, cráteres, calderas y cordones volcánicos, tiene orientación aproximada N-S y alcanza alturas superiores a los 6.000 m s.n.m. (Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b, Naranjo *et al.*, 2016).

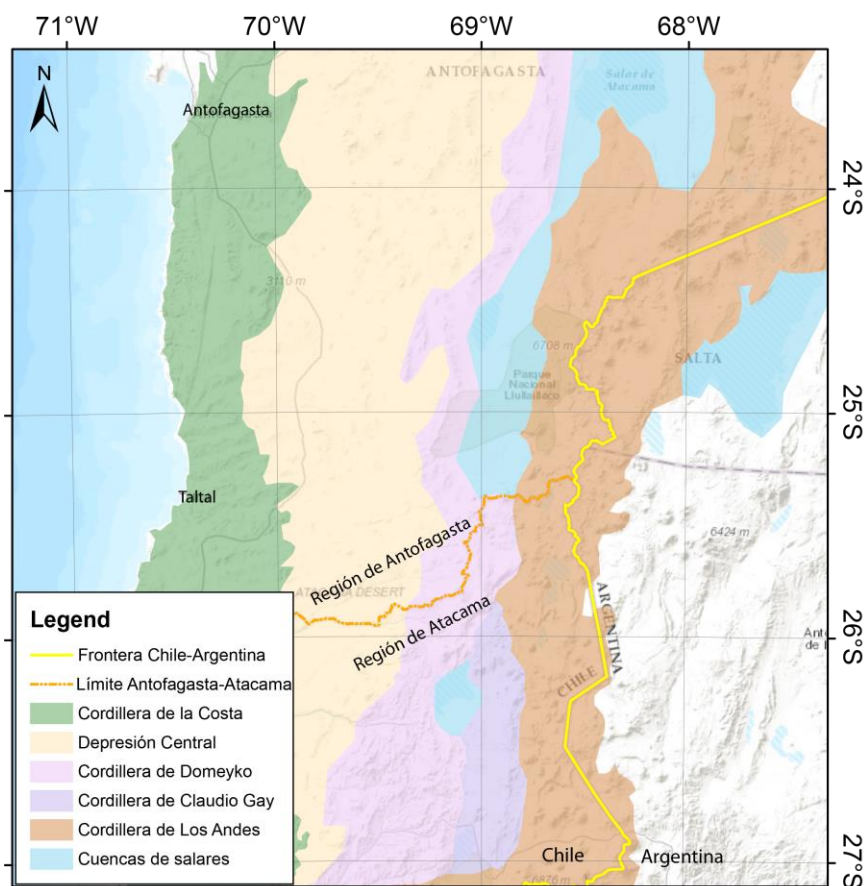


Figura 2.1: Principales relieves de la zona de estudio.

## 2.1.2 PRINCIPALES CUERPOS DE AGUA

La presencia de numerosos edificios volcánicos controla la disposición de la trama de drenaje y genera una gran cantidad de cuencas salinas endorreicas, permitiendo la existencia de lagunas y salares, concentrados en las zonas azules de la Figura 2.1 (Cuencas de salares). Por otro lado, debido a las bajas temperaturas en las partes más altas de la Cordillera de Los Andes se puede encontrar algunos glaciaretos y glaciares de montaña. A continuación, se detallan los principales lagos, salares, glaciares y drenajes (Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b, Naranjo *et al.*, 2016, Clavero *et al.*, 2012, Risacher *et al.*, 1999 vol. 3 y 4, Ramírez, 2014).

### 2.1.2.1 LAGUNAS

De norte a sur, las principales lagunas son: Lago de la Azufrera (4.242 m s.n.m, 3,23 km<sup>2</sup>), Lagunas las Parinas (4.297 m s.n.m, 0,1 km<sup>2</sup>), Lagunas Bravas (0,9 km<sup>2</sup>

(Norte), 0,7 km<sup>2</sup> (Centro), 4.250 m s.n.m, 8,4 km<sup>2</sup> (Sur)), Laguna del Bayo (4.250 m s.n.m, 1,2 km<sup>2</sup>), Laguna del Jilguero (4.150 m s.n.m, 2,3 km<sup>2</sup> (Este), 1,1 km<sup>2</sup> (Oeste)), Laguna Escondida (4.353 m s.n.m, 3,8 km<sup>2</sup>), Laguna de Eulogio o Wheelwright (4.220 m s.n.m, 4 km<sup>2</sup>), Laguna Verde (4.350 m s.n.m, 15 km<sup>2</sup>).

### **2.1.2.2 SALARES**

De norte a sur, los principales salares son: Salar de Aguas Calientes (3.665 m s.n.m, 19,5 km<sup>2</sup>), Depósitos salinos del Lago de la Azufrera (4.250 m s.n.m, 5,22 km<sup>2</sup>), Salar de Pajonales (3.537 m s.n.m, 104 km<sup>2</sup>), Un pequeño salar sin nombre al sur del Volcán Quebrado (3.555 m s.n.m, 0,24 km<sup>2</sup> (Oeste), 0,76 km<sup>2</sup> (Este)), Salar de Gorbea (3.950 m s.n.m, 27 km<sup>2</sup>), Salar Escondido (3.900 m s.n.m, 4,86 ha), Salar de la Azufrera (3.580 m s.n.m, 3,3 km<sup>2</sup>), Salar Ignorado (4.250 m s.n.m, 0,7 km<sup>2</sup>), Salar de Agua Amarga (3.558 m s.n.m, 23 km<sup>2</sup>), Salar de la Isla (3.950 m s.n.m, 152 km<sup>2</sup>), Salar de Aguilar (3.320 m s.n.m, 71 km<sup>2</sup>), Salar de las Parinas (3.987 m s.n.m, 40 km<sup>2</sup>), Salar de Infieles (3.520 m s.n.m, 6,7 km<sup>2</sup>), Salar Grande (3.950 m s.n.m, 29 km<sup>2</sup>), Salar de Pedernales (3.370 m s.n.m, 335 km<sup>2</sup>), Salar de la Laguna (3.494 m s.n.m, 0,55 km<sup>2</sup>), Salar de Piedra Parada (4.150 m s.n.m, 28 km<sup>2</sup>), Salar de Wheelwright (4.220 m s.n.m, 6,3 km<sup>2</sup>), Un salar sin nombre unos 6 km al oeste de la Laguna Verde (4.410 m s.n.m, 1 km<sup>2</sup>), Salar de Maricunga (3.760 m s.n.m, 145 km<sup>2</sup>).

### **2.1.2.3 GLACIARES**

Los únicos glaciares de la zona se encuentran sobre los 5.600 m s.n.m, en las partes más altas de la Sierra Nevada, Volcán Peña Blanca, Falso Azufre y Complejo Volcánico Barrancas Blancas y corresponden a glaciaretos y glaciares de montaña. Inmediatamente al sur, el número de glaciares aumenta, asociado al aumento de las alturas máximas del Nevado Tres Cruces, Ojos del Salado, Cerro el Muerto y Volcán Incahuasi. Hacia el este, en territorio argentino, hay glaciaretos en el Cerro el Cóndor y Nevado San Francisco (Inventario Glaciar Randolph, 2015; Inventario de glaciares DGA, 2011).

#### **2.1.2.4 DRENAJES**

El único río perenne es el Río Juncalito, ubicado en el extremo sur de la zona de estudio. Desciende en dirección norte desde la Cordillera de Claudio Gay y desemboca en la cuenca del Salar de Pedernales, tras virar hacia el oeste en la intersección con el Río Negro. Sus únicos tributarios importantes corresponden al Río Negro, que desciende hacia el suroeste desde la Sierra Nevada y el Cerro Azufrera de Los Cuyanos, y el Río Vega Ancha, que desciende desde la quebrada homónima (Clavero *et al.*, 2012, Ramírez, 2014, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

Desde el Llano Leoncito fluye un pequeño riachuelo, Río Leoncito, de este a oeste, que luego pasa a llamarse Río La Ola y que desemboca hacia el norte en la cuenca del Salar de Pedernales.

Más al oeste, el Río de la Sal fluye en dirección NE-SW, aproximadamente desde el extremo noroccidental del Salar de Pedernales, hasta el desvío hacia la mina El Salvador, donde pasa a llamarse Río Salado, que fluye hacia el oeste y desemboca en Chañaral (Cornejo *et al.*, 2012, Tomlinson *et al.*, 1999).

En el extremo sur de la zona de estudio se encuentra el Río Peñas Blancas, que fluye en dirección oeste-este, desde el volcán homónimo, y desemboca en la Laguna Verde (Clavero *et al.*, 2012).

## **2.2 CLIMA**

La zona de estudio presenta un clima desértico marginal de altura con escasas precipitaciones de nieve en invierno, por la influencia del Océano Pacífico, y pluviales en la temporada estival, debido a la humedad proveniente desde la Selva Amazónica. Las temperaturas son generalmente frías y tienen una fuerte oscilación diaria (Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

La hiperaridez característica de esta zona está controlada por 4 factores principales; la presencia del anticiclón del pacífico, que desvía las masas de aire húmedo provenientes del Océano Pacífico hacia el sur, la Corriente de Humboldt, que fluye desde altas latitudes paralela a la línea de costa, bajando dramáticamente la temperatura del mar y reduciendo la tasa de evaporación y el aporte de humedad hacia el continente, la presencia de la Cordillera de los Andes, que frena las corrientes de aire provenientes desde el Amazonas con una alta carga de agua y, por último, la latitud, cercana a la intersección de las celdas de Hadley y Ferrel (Figura 2.2), que se caracteriza por corrientes descendentes de aire seco, que han perdido sus cargas de agua en las zonas ecuatoriales y en su contacto con las celdas polares (Dunai *et al.*, 2005, Wallace y Hobbs, 2006).

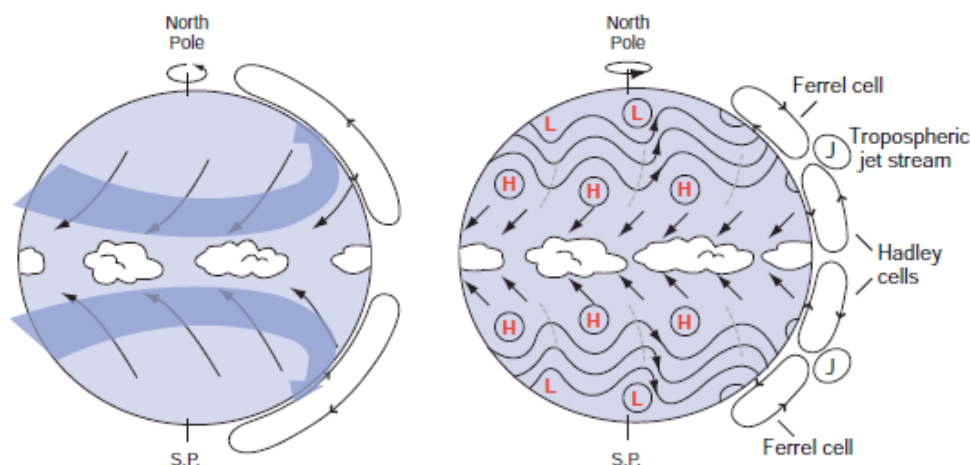


Figura 2.2: Esquema de la circulación atmosférica de primer orden. Modificado de Wallace y Hobbs (2006).

Típicamente se utilizan dos líneas de evidencia para argumentar acerca del comienzo de la etapa hiperárida en el Desierto de Atacama; la primera de ellas consiste en el fin del enriquecimiento supérgeno entre los 35 y los 14 Ma (Sillitoe y McKee, 1996) y la segunda se relaciona con el cambio en las tasas de sedimentación hacia la Depresión Central, indicando el paso de un clima semiárido a hiperárido recién hace 3 Ma (Hartley y Chong, 2002). Sin embargo, Dunai *et al.* (2005) contraargumentan que la hiperaridez comenzó hace aproximadamente 25 Ma, en base al estudio de isótopos cosmogénicos, en zonas protegidas de eventos puntuales de crecidas en ríos y abanicos aluviales o remociones en masa. La conservación de edificios volcánicos y geomorfologías apuntan a una intensa desertificación a partir del Mioceno medio, probablemente asociando a la intensificación de la proto corriente de Humboldt y al

progresivo alzamiento andino (Farías *et al.*, 2005, Charrier *et al.*, 2013, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

Localmente, se ha podido reconocer un cordón morrénico lateral y depósitos solifluidales, ubicados predominantemente sobre los flancos sur y suroriental de algunos volcanes a alturas comprendidas entre 4.000 y 5.000 m s.n.m. Estos depósitos evidencian condiciones climáticas que favorecieron la presencia de glaciares en el Mioceno medio y ambientes periglaciales desde el Pleistoceno (Naranjo *et al.*, 2013a).

Los patrones de erosión eólica indican un viento predominante de dirección NW-SE, sin embargo, Breitkreuz *et al.* (2014) argumentan que, bajo condiciones favorables, existen corrientes de viento con dirección opuesta, lo que es relevante para la distribución de las cenizas asociadas a las ignimbritas que son el foco de este estudio.

Las condiciones de hiperaridez son determinantes para la preservación de los depósitos estudiados, ya que muchos de ellos son muy poco consolidados y en un clima más húmedo habrían sido rápidamente erodados y meteorizados.

### **3 MARCO GEOLÓGICO**

#### **3.1 CONTEXTO GEODINÁMICO**

La Cordillera de Los Andes se extiende por más de 7.500 km, con una orientación aproximadamente norte-sur, unos 250 km al este de la costa oeste de Sudamérica, y se genera debido a la subducción de las placas de Nazca y Antártica bajo la placa Sudamericana. Esta cadena montañosa incluye cuatro segmentos con actividad volcánica, conocidos como Zonas Volcánicas Norte, Centro, Sur y Austral (Stern, 2004; ver Figura 3.1).

La Zona Volcánica Central (ZVC) se extiende desde los 14°S hasta los 27°S y se subdivide a su vez en los Andes Centrales Norte, formados por el segmento peruano de orientación NW-SE, y los Andes Centrales Sur, distribuidos con orientación N-S en el norte de Chile y Argentina, separados por el Oroclino Boliviano (Figura 3.1).



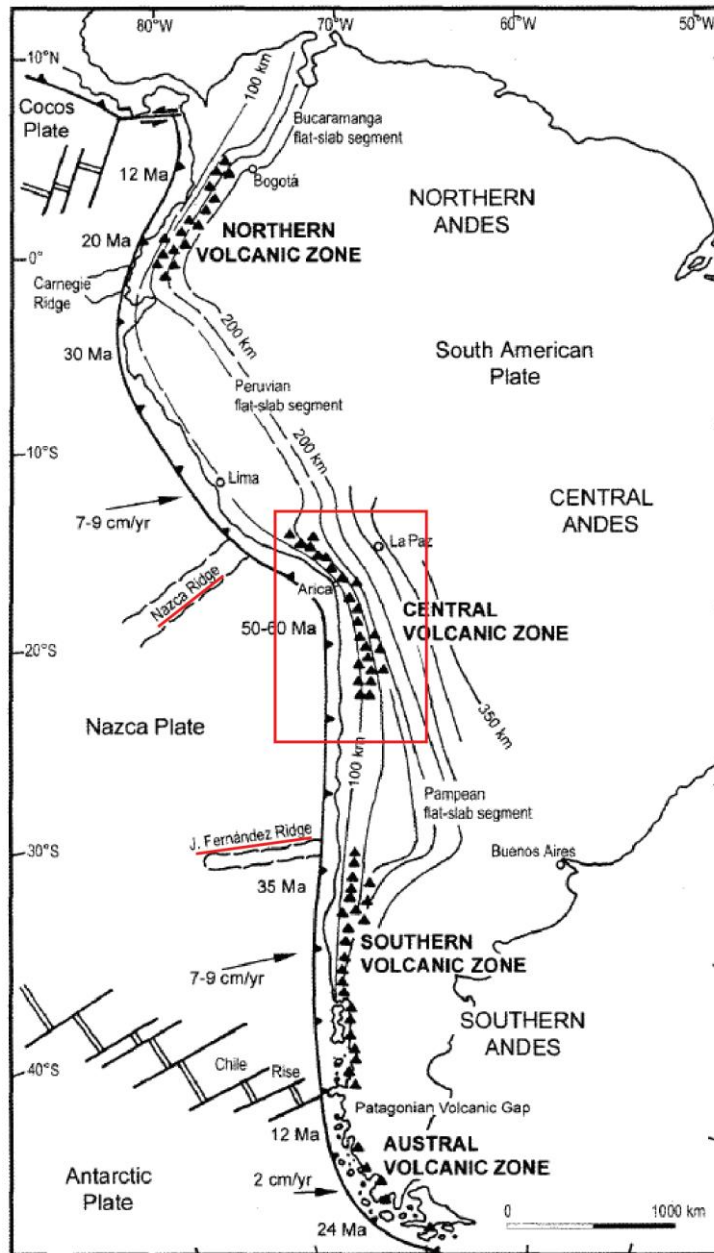


Figura 3.1: Imagen que muestra el contexto tectónico de la Cordillera de Los Andes y las zonas volcánicas Norte, Centro, Sur y Austral, modificada de Stern (2004). Se destacan en rojo la Zona Volcánica Central y los ridges de Nazca y Juan Fernández.

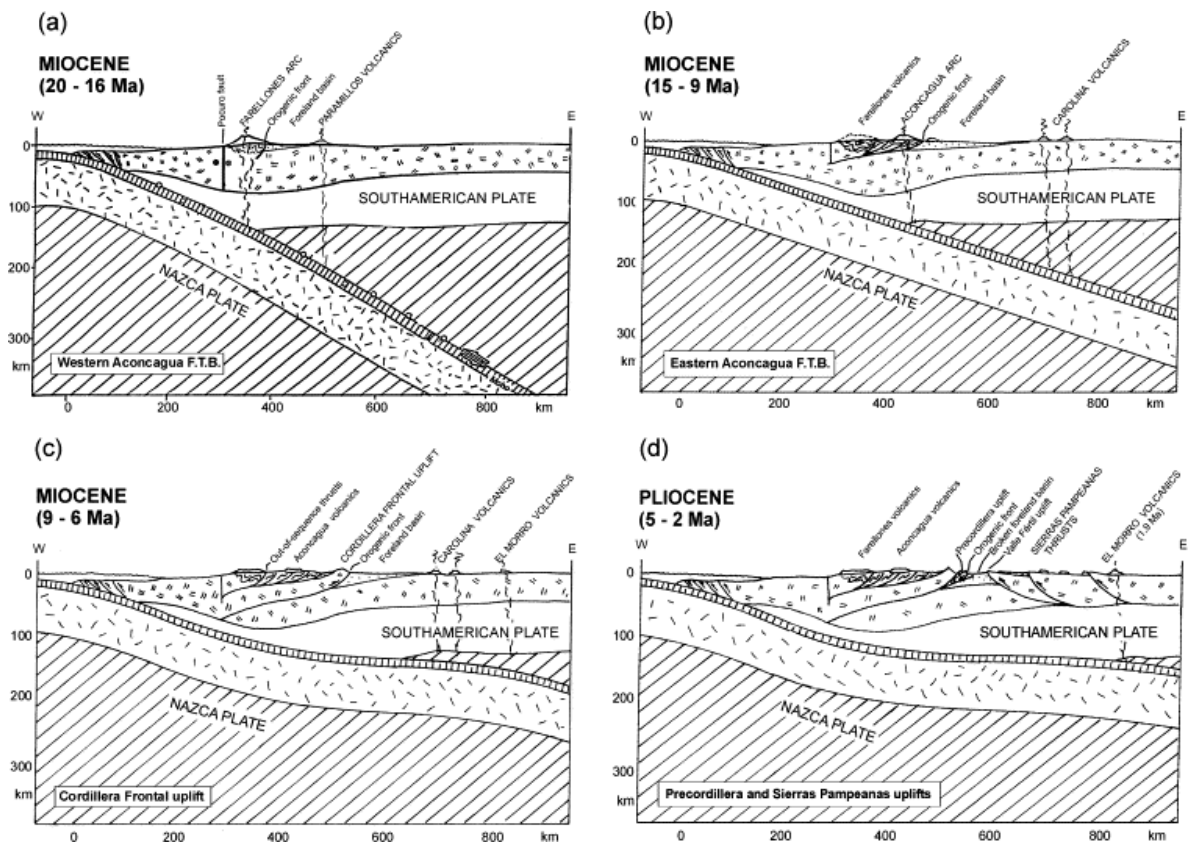


Figura 3.2: Evolución del ángulo de subducción en la actual zona de subducción plana, que separa las zonas volcánicas Centro y Sur. Tomado de Ramos et al. (2002).

La posición y distribución de la ZVC está asociada a la actual configuración tectónica en la que se enmarca (Jarrad, 1986, Dewey y Lamb, 1992, Tassara y Yañez, 2003). Sus límites norte y sur están dados por dos zonas sin actividad volcánica, debido a la presencia de los ridges de Nazca y de Juan Fernández, que generan las zonas de subducción plana Peruana y Pampeana, respectivamente (*Peruvian and Pampean flat-slab segments* en Figura 3.1 y Figura 3.2). Estos cordones montañosos submarinos, generados por hot-spots, rejuvenecen y reducen la densidad de la placa oceánica que subduce, lo que conlleva la generación de zonas de subducción plana o de bajo ángulo y la no-deshidratación de la placa subducida, evitando la hidratación de la cuña litosférica bajo la placa continental, por lo que no se genera magma para alimentar un sistema volcánico (Barazangi y Isacks, 1976, 1979, Ramos et al., 2002).

La placa de Nazca, en su contacto con la Placa Sudamericana, tiene edades que varían desde recientes en su extremo sur, en la Dorsal de Chile (Chile Rise, Figura 3.1), hasta los 50-60 Ma a los 23°S, en la parte central de la ZVC, la dirección de

convergencia con la placa Sudamericana es  $\sim 27^\circ$ , en sentido antihorario con respecto a la normal en la ZVC Sur (Dewey y Lamb, 1992, Stern, 2004), y el ángulo de subducción es cercano a los  $25^\circ$  en todo este segmento (Dorbath *et al.*, 1996), salvo en las zonas de subducción plana (donde el ángulo de subducción es cercano a los  $5\text{-}10^\circ$ ), con una tasa de convergencia de entre 7 y 9 cm/año (Figura 3.1, Figura 3.2; Pardo-Casas and Molnar, 1987, DeMets *et al.*, 1994, Somoza, 1998, Norambuena *et al.*, 1998, Angermann *et al.*, 1999).

Debido a la hiperaridez y el bajo aporte de sedimentos a la fosa oceánica (“lubricación” de la fosa), a la alta tasa de subducción y el alto acoplamiento que caracteriza la subducción en esta zona, hay una importante deformación, que generan un acortamiento y engrosamiento de la corteza continental, alcanzando más de 70 km de espesor bajo la ZVC, y, además, las tasas de erosión por subducción del margen continental son muy altas, alcanzando hasta un 4% del total de la placa oceánica subductada (Figura 3.1 y Figura 3.3; James, 1971, Schmitz, 1994, Beck *et al.*, 1996, Dorbath *et al.*, 1996, Schmitz *et al.*, 1999, Swenson *et al.*, 2000, ANCORP working group, 2003, Stern, 2004, entre otros).

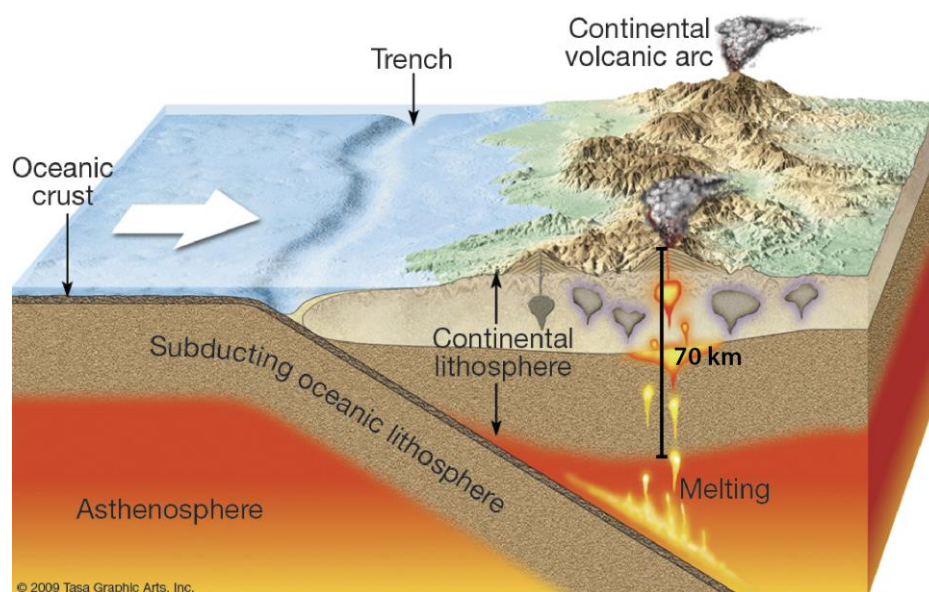


Figura 3.3 Contexto geodinámico de Chile. Imagen modificada de Tasa Graphic Arts (<http://tasaclips.com/illustrations.html>).

### 3.2 EVOLUCIÓN DE LA PARTE SUR DE LA ZONA VOLCÁNICA CENTRAL

Los Andes evolucionaron a partir de variaciones en el régimen de la subducción en el margen continental (James, 1970). Diversos autores establecen que durante el período Jurásico se reactiva la subducción después de un período de quiescencia (Coira *et al.*, 1982, Jordan *et al.*, 1983, Ramos, 1988, Mpodozis y Ramos, 1989, entre otros), sin embargo, nuevos trabajos apuntan a una subducción activa desde el Paleozoico (del Rey *et al.*, 2016, Coloma *et al.*, 2013). Hasta mediados del cretácico se forma un arco volcánico subsidente, en la actual línea de costa del norte de Chile (Pichowiak *et al.*, 1990). En el Cretácico temprano se produce un cambio en la dinámica de placas, debido a un aumento en la producción de corteza oceánica, lo que habría llevado a una subducción de tipo chilena, caracterizada por un bajo ángulo de subducción y alto acoplamiento, lo que habría generado una fase compresiva (conocida como Fase Peruana), junto a la migración del arco volcánico hacia el este (formando la cordillera de Domeyko en la actual precordillera), el alzamiento andino y engrosamiento cortical, y un aumento en la tasa de deformación y erosión (Mpodozis y Ramos, 1989, Allmendinger *et al.*, 1997, Farías *et al.*, 2005, Charrier *et al.*, 2007, Charrier *et al.*, 2013).

Durante el Eoceno medio se produce otro evento compresivo (conocido como la Fase Incaica), que habría generado la denominada Cordillera Incaica, en la actual posición del arco volcánico, con tasas de alzamiento y erosión muy elevadas (Steinmann, 1929, MaksaeV, 1978, Charrier *et al.*, 2007, Charrier *et al.*, 2009, entre otros). Desde entonces, el arco ha mantenido una posición “cuasi-estática” (Coira *et al.*, 1982, 1993, Kay *et al.*, 1999, Wörner *et al.*, 2000, Victor *et al.*, 2004) y se habría configurado el relieve actual, caracterizado por las unidades morfoestructurales indicadas en la Figura 2.1. A partir de entonces, también se habrían formado los grandes pórfidos y depósitos epitermales en el norte de Chile.

En el Oligoceno tardío la ruptura de la placa Farallon en las placas de Cocos y Nazca produce una aceleración y una reorientación en el movimiento de la placa oceánica, aumentando cerca de tres veces la tasa de convergencia de las placas

(Cande y Leslie, 1986, Pardo-Casas y Molnar, 1987, Tabbens y Cande, 1997, Somoza, 1998).

Desde el límite Oligoceno-Mioceno, la subducción de la Dorsal de Juan Fernández habría migrado hacia el sur, desde los 27°S hasta su actual posición a los 33°S, aproximadamente en el período comprendido entre los 20 y los 10 Ma antes del presente (Kay *et al.*, 1999, Yañez, 2001, Kay y Mpodozis, 2002, Ramos *et al.*, 2002, Kay y Coira, 2009). Algunos autores asocian esta migración con la formación del Complejo Volcánico Altiplano-Puna y la generación de un *flare-up* de edad miocena. Este *flare-up*, consiste en la producción y acumulación de grandes cantidades de magma, con una importante fusión parcial de la corteza continental y, consecuentemente, abundante volcanismo explosivo y la generación de grandes calderas y sus respectivos depósitos de ignimbritas, como resultado de un alto flujo calórico. Al aumentar el ángulo de la subducción, se produciría una descompresión del manto hidratado, con la consecuente fusión parcial de éste y una alta producción de magma (Kay *et al.*, 1995, Kay *et al.*, 1999, Yañez, 2001, Kay y Coira, 2009). Además, de Silva y Kay (2018) discuten que, debido a la delaminación de la parte inferior de la corteza, la fusión parcial del manto hidratado habría sido aun mayor.

En este contexto, algunos autores discuten que las unidades estudiadas en este trabajo de tesis podrían estar asociadas a este mismo *flare-up*, como una prolongación hacia el sur de la actividad magmática explosiva del Complejo Volcánico Altiplano-Puna (Allmendinger *et al.*, 1997). Sin embargo, Schnur *et al.* (2007) establecen que las unidades de ignimbrita que afloran en la zona de estudio están asociadas a procesos de diferenciación desde un magma andesítico y no a un flujo de calor mayor desde el manto, evidenciado por una contaminación cortical menor. Además, Naranjo *et al.* (2018a) reconocen un fuerte control tectónico de las calderas que las habrían originado; la intensa compresión y deformación desde el límite Oligoceno-Mioceno habría favorecido la generación de dominios extensionales intensamente fracturados, permitiendo el ascenso y la acumulación de volúmenes importantes de magma (Figura 3.4).

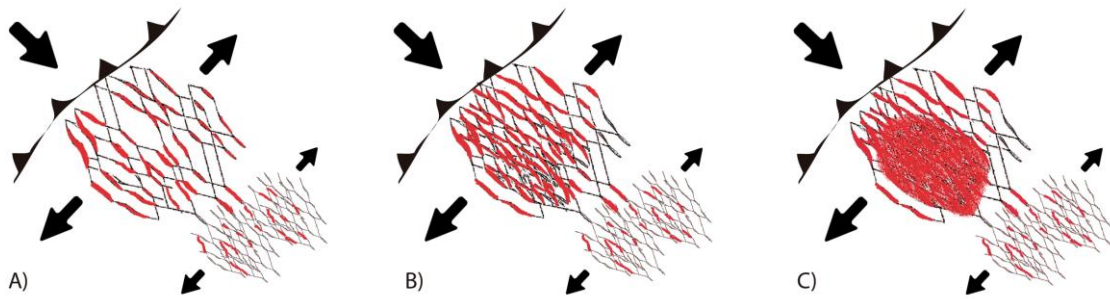


Figura 3.4: Figura tomada de Naranjo *et al.* (2018a), donde se ilustra la generación de dominios estructurales extensivos intensamente fracturados perpendiculares a un esfuerzo compresivo. El intenso fracturamiento y el esfuerzo extensivo habrían favorecido el ascenso y la acumulación de volúmenes importantes de magma.

### 3.3 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El basamento de la zona de estudio corresponde a rocas paleozoicas sedimentarias y volcanoclásticas de las formaciones Chinchas, La Tabla, Pantanoso y cuerpos intrusivos, como Granitos y Pórfidos Sierra de Aliste, Granito Parinas, Granodiorita León Muerto y Granitos Permotriásicos, y rocas cretácicas de las formaciones Quebrada Monardes e Intrusivos Hipabisales Andesíticos (García, 1967, Mercado, 1982, Clavero *et al.*, 2012, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

Sobreyacen las unidades Fm. Vizcachera, Estratos de Huidobro y Estratos de la Vertiente, del Eoceno-Oligoceno, y luego los Estratos de Claudio Gay, Estratos León Muerto, Estratos Río Juncalito y la Formación Gravas de Atacama, del Oligoceno-Mioceno, además de variadas estructuras volcánicas con edades similares (Mortimer, 1973, Mpodozis *et al.*, 1996, Kraemer *et al.*, 1999, Zappettini y Blasco, 1999, Clavero *et al.*, 2012, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

Sobre las unidades antes mencionadas se encuentran unidades de edad miocena, entre las que se encuentran las ignimbritas que son el foco de este estudio.

Del Mioceno inferior son las unidades Estratos Sierra de Aliste, Estratos de Piedra Pómez, Estratos de Pajonales y las ignimbritas Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito. También, existen múltiples estructuras volcánicas y cuerpos hipabisales coetáneos (Naranjo y Puig, 1984, Clavero *et al.*, 1997, Clavero *et al.*, 2012, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

En el Mioceno medio se depositan los Estratos Río Lamas, las ignimbritas Salar Grande y Chixi, estructuras volcánicas, cuerpos hipabisales y depósitos de remociones en masa (Naranjo y Cornejo, 1992, Clavero *et al.*, 2012, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

En el Mioceno superior se emplazan las ignimbritas Barrancas Blancas, San Andrés, Los Colorados, Wheelwright, Las Parinas, Depósitos Lacustres de la Quebrada Aliste, Gravas de Quebrada Manantiales, estructuras volcánicas variadas, depósitos morrénicos y depósitos aluviales antiguos (Clark *et al.*, 1967, Naranjo y Cornejo, 1992, Clavero *et al.*, 2012, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b, Naranjo *et al.*, 2016).

Finalmente, afloran la Ignimbrita Laguna Verde, múltiples estructuras volcánicas (como estratovolcanes, depósitos de piroclastos, complejos volcánicos, distintos tipos de coladas de lava, entre otros), depósitos salinos, aluviales, coluviales, solifluidales y, en la parte sur, depósitos glaciales y la Ignimbrita San Francisco (Clavero *et al.*, 1997, Clavero *et al.*, 2012, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b, Naranjo *et al.*, 2016). Esta última no fue considerada dentro de este estudio, por estar en el límite sur y no haber muestras ni datos de terreno disponibles.

### **3.3.1 ESTRATIGRAFÍA DE IGNIMBRITAS**

Naranjo *et al.* (2018a) establecieron la estratigrafía de ignimbritas de la zona de estudio, identificaron su distribución y sus fuentes, calcularon sus volúmenes y pudieron reconocer su contexto geotectónico e historia eruptiva. En la Tabla 3.1 se resumen las características de las unidades de ignimbrita que son el foco de este estudio (estratigrafía de ignimbritas, principales características, edades radiométricas, sus fuentes y volúmenes estimados).

En la zona de estudio afloran escasas ignimbritas previas a la Ignimbrita Río Frío, con un rango de edades de entre 25 y 20 Ma, agrupadas como Ignimbritas Antiguas. Se restringen a afloramientos aislados, sin mayor continuidad lateral, y sus

fuentes no han sido detectadas. Debido a la escasa cantidad de afloramientos, sus facies no fueron analizadas en profundidad en este estudio.

### **3.3.1.1 IGNIMBRITA RÍO FRÍO**

Definida por Naranjo y Puig (1984) y redefinida por Naranjo *et al.* (2013b), corresponde a un conjunto de unidades de flujo con alto grado de soldamiento, de colores grises y rosados, aunque también se reconocen brechas líticas asociadas a esta unidad.

Estratigráficamente, se encuentra sobre unidades volcánicas más antiguas, bajo unidades volcánicas más jóvenes e intercalada entre las Gravas de Atacama (Naranjo *et al.*, 2013b).



Tabla 3.1: Estratigrafía de ignimbritas indicando su edad, rango de espesores observados, descripción petrográfica, fuente, tipo de fuente y volumen estimado, modificado de Naranjo et al. (2018a).

Época	Ignimbrita	Edad [Ma]	Espesor [m]	Petrografía	Fuente (caldera)	Tipo	Volumen [km <sup>3</sup> ]
Plioceno	Laguna Verde	~4	15-100	Amplio depósito endurecido-soldado, capa inferior rosada y superior gris claro. Presenta pómez granulares grises a amarillas aplastadas, matriz fina rica en esquirlas, abundantes biotitas y cuarzo embahiado	Laguna Escondida (40x16 km), Laguna Amarga (~30 km), Peinado (>18 km)	Pistón	500
	Las Parinas	~5	<40	Ignimbrita no consolidada rosada a blanca rica en pómez y cenizas. Sus principales cristales son biotita, plagioclasa y cuarzo	Alto Parinas (~10 km)	Pistón	~10
	Wheelwright	~5	80-160	Dos niveles no consolidados, toba masiva de lapilli, brechas de arrastre (lag breccia) locales y capas ricas en pómez amarillas vesiculares y grises, matriz cinerítica beige rica en biotita y esquirlas	Wheelwright (~19 km)	Pistón	80
Mioceno superior	Los Colorados	9,8-8,1	15-75	De base a techo, toba masiva de lapilli rosado claro a intenso, contiene una brecha basal masiva (lag breccia). Abundantes pómez fibrosas, biotita y cuarzo, matriz rica en esquirlas. Su soldamiento aumenta progresivamente, forma un nivel vitrofírico fibroso negro con fiammes decimétricas. Proximalmente, este nivel es marrón a gris, con fracturamiento columnar pervasivo ( <i>tiny normal jointing</i> ) debido a su emplazamiento en un ambiente subacuático	Los Colorados (~33 km)	Pistón	185
	San Andrés	9,8-9,2	15	Toba masiva de lapilli rosada-blanca con espesores de ~15 m. Biotita y cuarzo son sus principales cristales, matriz rica en esquirlas	Pampa de los Bayos (~14 km)	Pistón	60
	Barrancas Blancas	~9,3	~2	Solo aflora su parte más alta, con fracturamiento columnar de 3-20 cm de diámetro. Ignimbrita soldada rosada claro con pómez grises aplastadas < 1,5 cm, plagioclasa < 1 mm, cuarzo y escasos líticos porfíricos < 2 mm, matriz de ceniza rica en esquirlas	Barrancas Blancas (35x25 km)	Downsag?, resurgente	>10

Época	Ignimbrita	Edad [Ma]	Espesor [m]	Petrografía	Fuente (caldera)	Tipo	Volumen [km <sup>3</sup> ]
Mioceno medio	Salar Grande	12-11	110-130	Capas de tobas masivas de lapilli rosadas, blancas y amarillas, con capas de brechas líticas masivas (lag breccia) y niveles intensamente soldados. Contiene biotita ± hornblenda ± piroxenos y escaso cuarzo. Usualmente presenta pómez fibrosas y fiammes en una matriz desvitrificada de ceniza rica en esquirlas	Salar Grande (50x25 km)	Downsag, Trap-door	100
Mioceno inferior	Juncalito	~16	30	Marrón claro a rosada, abundantes pómez fibrosas rosadas y blancas tamaño bomba en matriz cinerítica con biotita, anfíbola ± cuarzo y esquirlas. Localmente presenta facies soldadas	Desconocida	n/a	2.000-2.500
	Pajonales	~16,5		2 unidades. (1) Qatatiña: brecha lítica masiva (lag breccia), a niveles ricos en pómez y cenizas. (2) Las Cuevas tiene abundantes pómez fibrosas gris claro, poblaciones y vesicularidad variadas, en gradación inversa sutil. Matriz cinerítica rica en esquirlas, con plagioclasa y biotita. Su soldamiento aumenta hacia el techo, donde presenta cavidades y fiammes < 8 cm. En el domo resurgente incluye pómez oblongas de hasta 90 cm sub-paralelas a la base y bombas de obsidiana de hasta 70 cm cerca de la base con gradación inversa. 100 km al norte es rosada-blanquecina, cinerítica, rica en esquirlas, con lapilli de pómez y biotita	Aguilar (~45 km)	Pistón-resurgente	
	Vega Helada	19-16	20	El 20% inferior es rosada no soldada, 80% superior es nivel vitrofírico marrón-gris oscuro. Contiene abundantes fiammes, su matriz es rica en esquirlas, con biotita, anfíbola ± cuarzo	Desconocida	n/a	
	Río Frío	22-17	20-200	Toba cristalina soldada a muy soldada, compuesta principalmente por hornblenda, fiammes ± dos piroxenos ± biotita, con niveles vitrofíricos	Aguilar (~45 km)	Pistón-resurgente	
	Antiguas	25-22	<15	Tobas masivas de lapilli no consolidadas rosadas-blanquecinas, con cristales de biotita ± anfíbola y cuarzo, matriz rica en esquirlas	Desconocida	n/a	

Su fuente corresponde a la Caldera Aguilar, una estructura de colapso sub-circular de ~40 km de diámetro que se encuentra obliterada, debido a la intensa actividad tectónica y volcánica posterior a su formación, y su dispersión fue principalmente hacia el oeste (Figura 3.5). En su centro se reconoce un domo resurgente de ~25 km de diámetro (Naranjo *et al.*, 2013b).

Siebel *et al.* (2001) clasifica la Ignimbrita Río Frío como tobas dacíticas ricas en potasio, a partir de análisis geoquímicos realizados en la matriz de 4 muestras, con valores entre 67,1% y 69,9% de SiO<sub>2</sub>.

Diversos autores han realizado múltiples dataciones radiométricas por medio de distintos métodos, obteniendo edades de entre 23 Ma y 17 Ma (Naranjo y Puig, 1984, Naranjo y Cornejo, 1992, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b, Naranjo *et al.*, 2016), sin embargo, Naranjo *et al.* (2018a) acotan su edad a 19-17 Ma.

Tiene una razón de aspecto (alto del depósito dividido por el ancho del depósito) muy baja (1/24.000), por lo que Naranjo *et al.* (2013b) concluyen una tasa eruptiva muy alta.

### **3.3.1.2 IGNIMBRITA VEGA HELADA**

Definida por Clavero *et al.* (1997), corresponde a un conjunto de depósitos de flujos piroclásticos, formados por tobas vítreas y cristalinas, con escasos líticos y pómez. Su espesor máximo llega a los 30 m y presenta un nivel vitrofírico de color negro.

Esta unidad se encuentra intensamente fallada y plegada formando una franja discontinua de afloramientos de 32 km de largo y 15 km de ancho, con su eje orientado N-S. Se emplaza sobre los Estratos de Sierra de Aliste (de forma concordante sobre depósitos volcánicos, pero en discordancia sobre sus depósitos lacustres, menos competentes e intensamente plegados). Subyace a depósitos volcánicos posteriores.

Clavero *et al.* (1997) obtuvieron edades radiométricas de  $18,7 \pm 0,7$  y  $19,1 \pm 0,7$  Ma.

### **3.3.1.3 IGNIMBRITA PAJONALES**

Fue definida por Naranjo y Cornejo (1992) y emendada por Naranjo *et al.* (2013a). Dado su bajo grado de soldamiento y mediana consolidación, solo se exponen afloramientos aislados, sin embargo, es posible que su extensión original haya sido similar a la de la Ignimbrita Río Frío. Su fuente también corresponde a la Caldera Aguilar, antes descrita, y su distribución habría sido principalmente hacia el oeste (Figura 3.5; Naranjo *et al.*, 2013b, 2018a).

Sobreyace a la ignimbrita Río Frío y depósitos volcánicos previos, mientras que engrana lateralmente y subyace a depósitos volcánicos coetáneos y posteriores, respectivamente.

Tiene edades reportadas de entre 16,5 y 15,5 Ma (Naranjo y Cornejo 2002, Naranjo *et al.*, 2013a, Naranjo *et al.*, 2013b).

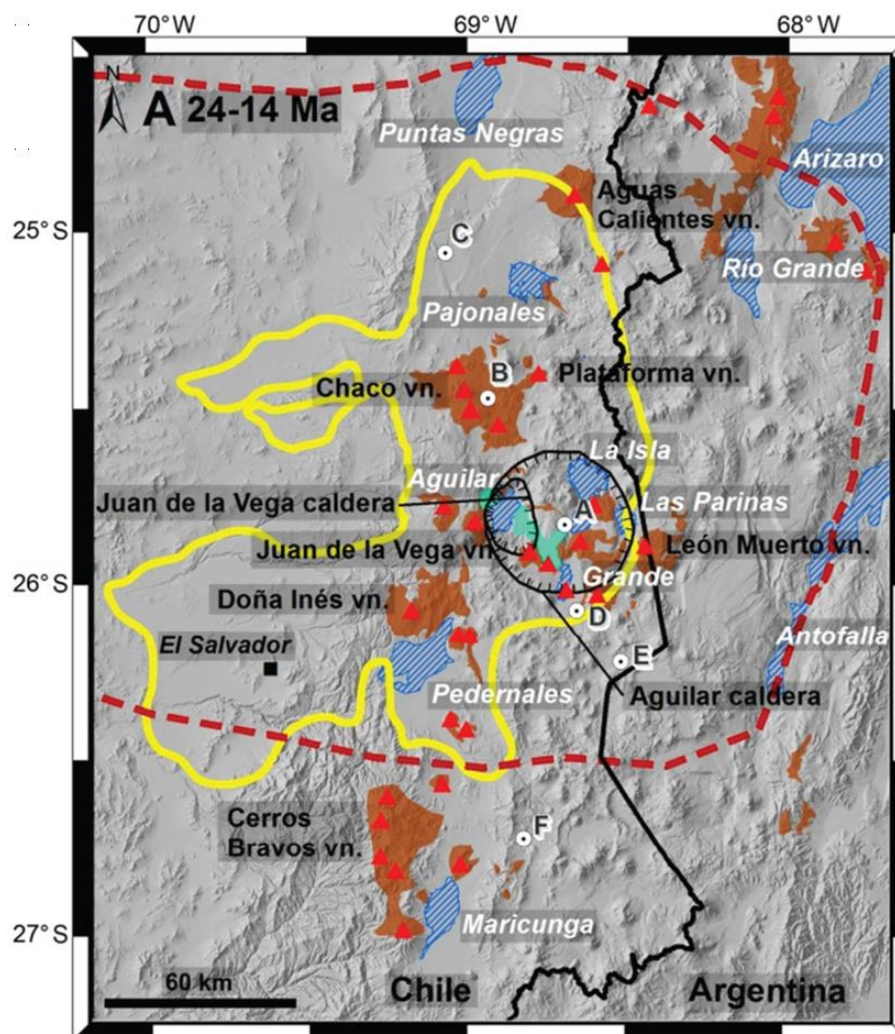


Figura 3.5: Ilustración de la distribución que pudieron haber tenido las ignimbritas Río Frío (línea punteada roja) y Pajonales (línea amarilla), y su fuente, la Caldera Aguilar. Figura tomada de Naranjo *et al.*, (2018a).

### 3.3.1.4 IGNIMBRITA JUNCALITO

Definida originalmente por Clavero *et al.* (1997), corresponde a una ignimbrita riodacítica no soldada a débilmente soldada. Sobreyace a rocas calcáreas de la Secuencia Río Juncalito y a la ignimbrita Vega Helada, y subyace a gravas del Mioceno superior a Plioceno y depósitos salinos (Naranjo *et al.*, 2016).

Presenta edades radiométricas de  $16,8 \pm 1,6$  Ma y  $16,4 \pm 0,6$  Ma (Clavero *et al.*, 1997).

### **3.3.1.5 IGNIMBRITA SALAR GRANDE**

Definida por Naranjo y Cornejo (1992), fue emendada por Naranjo *et al.* (2013b). Corresponde a una sucesión de unidades de flujo rosáceas, blancas y amarillas, con grado de soldamiento variable, sobreyace lavas del Mioceno inferior a medio y a las ignimbritas Río Frío y Pajonales, y subyace a lavas del Mioceno medio a superior y algunos niveles sedimentarios no consolidados, asignados a la Formación Gravas de Atacama (Naranjo *et al.*, 2013b).

Aflora en las inmediaciones del Salar Grande, únicamente dentro de la Caldera Salar Grande (ver Figura 3.6, más adelante), y a 3,5 km al SE de éste aflora una sucesión de 165 m, donde se observan las distintas unidades de flujo y enfriamiento que forman esta unidad, entre las que se observan tobas vítreas con distinto grado de soldamiento, de colores rosado, blanco y amarillo, niveles vitrofíricos y brechas residuales de arrastre o lag breccia. No se observan quiebres significativos entre los distintos niveles, por lo que Naranjo *et al.* (2013b) concluyen que fueron depositados en un lapso breve. Su fuente corresponde a la Caldera Salar Grande.

Presenta edades radiométricas concordantes, de entre 11 Ma y 12 Ma (Naranjo y Cornejo, 1992, Ramírez, 2014, Naranjo *et al.*, 2018a).

### **3.3.1.6 IGNIMBRITA BARRANCAS BLANCAS**

Corresponde a la parte más basal de la Ignimbrita Narnia, definida por Clavero *et al.* (1997), pero que luego fue diferenciada en distintas unidades, correspondientes a las ignimbritas Barrancas Blancas, San Andrés, Los Colorados y Laguna Verde (Naranjo *et al.*, 2016, Naranjo *et al.*, 2018a). Tiene una edad de ~9,3 Ma (Naranjo *et al.*, 2018a).

### **3.3.1.7 IGNIMBRITA SAN ANDRÉS**

Fue definida por Clark *et al.* (1967) como un depósito de flujo piroclástico pumíceo no soldado de composición riolítica, que cubre en discordancia de erosión y,

en parte, angular a depósitos de bloque y ceniza de los Estratos de Sierra de Aliste y que engranan lateralmente con gravas polimícticas adosadas al borde occidental de la Sierra de Aliste (Naranjo *et al.*, 2016).

Esta unidad ha sido reconocida extensamente hacia el oeste de su fuente (la Caldera Pampa de los Bayos) principalmente encajonada en quebradas (Figura 3.6), con edades reportadas cercanas a los 9-10 Ma (Clark *et al.*, 1967, Naranjo y Cornejo, 1992, Clavero *et al.*, 1997, Tomlinson *et al.*, 1999, Naranjo *et al.*, 2016, Naranjo *et al.*, 2018a).

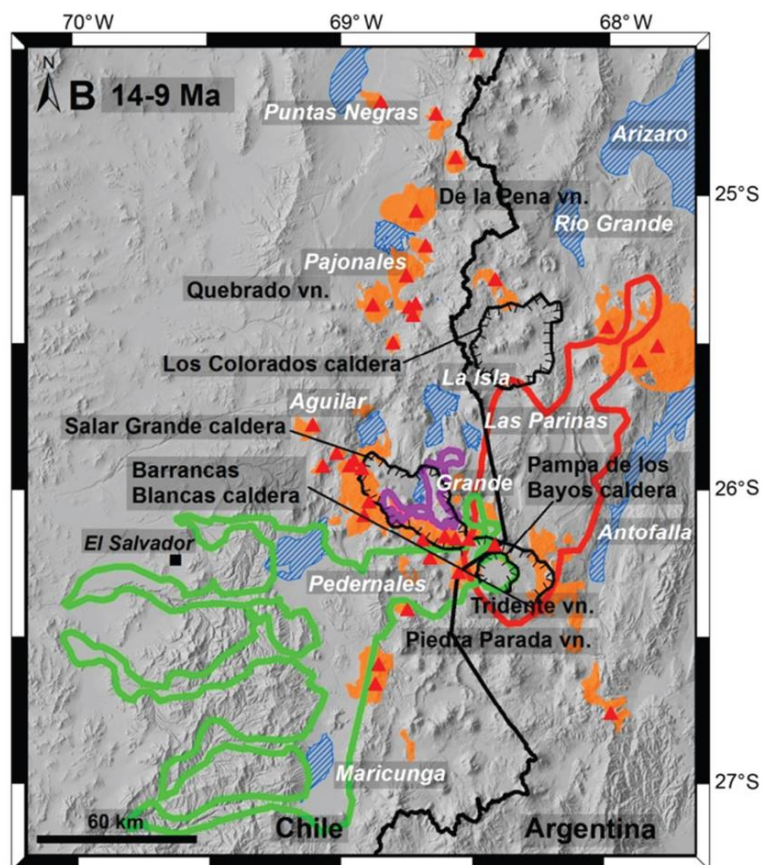


Figura 3.6: Distribución de las ignimbritas Salar Grande (línea morada), San Andrés (línea verde) y Los Colorados (línea roja), y ubicación de sus fuentes, las calderas Salar Grande, Pampa de los Bayos y Los Colorados, respectivamente. Figura tomada de Naranjo *et al.* (2018a).

### 3.3.1.8 IGNIMBRITA LOS COLORADOS

Aflora mayormente en territorio argentino. Originalmente, fue descrita por Seggiaro *et al.*, (2006) como una ignimbrita dacítica soldada de coloración gris clara con

pátinas de tonalidad amarillenta, con entre 4 m y 15 m de exposición, rica en pómez soldadas a fiammes, con cristales de cuarzo y biotitas (en general oxidadas) y menor contenido de plagioclasa euhedral. Sobreyace rocas paleozoicas sedimentarias de la Fm. Vizcachera y la cubren basaltos del Pleistoceno al oeste de la Quebrada Honda, en Argentina (Seggiaro *et al.*, 2007). Naranjo *et al.* (2018b) detallan sus características, incorporando otras unidades descritas por Seggiaro *et al.* (2007) como unidades diferentes, y asignan su origen al colapso de la Caldera Los Colorados, ubicada en territorio argentino. Como se puede ver en la Figura 3.6, se distribuye principalmente hacia el sur de su fuente.

Tiene edades reportadas entre 9,8 y 8,1 Ma (Naranjo *et al.*, 2018a).

#### **3.3.1.9 IGNIMBRITA WHEELWRIGHT**

Definida por Clavero *et al.* (2012), corresponde a un depósito de flujo piroclástico dacítico con un espesor mínimo de 100 m, con base desconocida, que rellena la parte alta de la cuenca del Río Juncalito, entre la Cordillera de Claudio Gay y la Caldera Wheelwright, donde se encuentra cubierta por la Ignimbrita Laguna Verde (Clavero *et al.*, 2012).

Clavero *et al.* (2012) obtienen edades de entre 3,5 Ma y 6,6 Ma, con  $5,5 \pm 0,8$  Ma como edad más confiable e indican que podrían corresponder a las facies extra-caldera, asociadas al colapso de la Caldera Wheelwright (Figura 3.7). Naranjo *et al.* (2018a) diferencian dos subunidades, de ~5 y ~4 Ma cada una.

#### **3.3.1.10 IGNIMBRITA PARINAS**

Fue definida por Naranjo y Cornejo (1992), quienes obtuvieron edades radiométricas de  $5,3 \pm 0,5$  Ma y  $5,1 \pm 0,4$  Ma mediante K/Ar en biotita. Se encuentra cubriendo a lavas del Mioceno inferior y a las ignimbritas Río Frío y Pajonales, mientras que subyace a lavas más jóvenes (Naranjo y Cornejo, 1992, Naranjo *et al.*, 2013b).



Naranjo *et al.* (2018a) identificaron la Caldera Alto Parinas como su fuente y sus depósitos fueron reconocidos hacia el oeste de ésta (Figura 3.7).

Siebel *et al.* (2001) determinan una composición riolítica (74% SiO<sub>2</sub>), rica en potasio (4,38% K<sub>2</sub>O).

#### **3.3.1.11 IGNIMBRITA LAGUNA VERDE**

Fue definida por Clavero *et al.* (1997) como una extensa toba riolítica mediana a fuertemente soldada, formada por, al menos, cuatro unidades de flujo, con intercalaciones de niveles de oleada piroclástica y algunos niveles más soldados de tonalidad rojiza. Naranjo *et al.* (2018a) asignan su origen al complejo de calderas Laguna Amarga-Laguna Escondida-Peinado, en territorio argentino (Figura 3.7). Cubre unidades volcánicas e ignimbríticas previas, además de depósitos aluviales en sectores acotados (Clavero *et al.*, 2012).

Tiene edades radiométricas de entre 3 y 5 Ma, siendo ~3,8 Ma su edad más confiable (Clavero *et al.* 2012, Naranjo *et al.*, 2016).

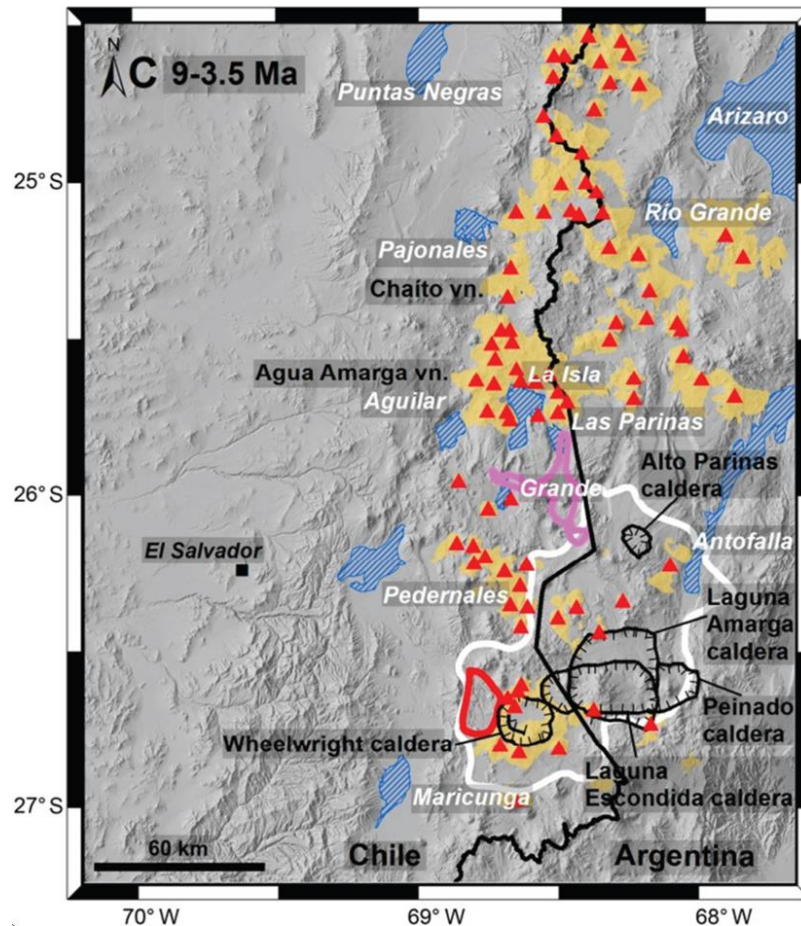


Figura 3.7: Distribución de las ignimbritas Las Parinas (línea rosada), Wheelwright (línea roja) y Laguna Verde (línea blanca), y sus respectivas fuentes. Figura tomada de Naranjo et al. (2018a).

Existen algunas complicaciones en las correlaciones de estas unidades en su distribución; las cuatro unidades de ignimbritas del Mioceno inferior (Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito) presentan, en algunas localidades, características físicas similares, al mismo tiempo que cuentan con edades radiométricas cercanas, por lo que su correcta identificación y correlación puede verse complicada. Las ignimbritas Río Frío y Pajonales están asociadas al colapso de la Caldera Aguilar, sin embargo, las ignimbritas Vega Helada y Juncalito no tienen una fuente clara y no se sabe si podrían estar asociadas a ese mismo sistema. Por otro lado, las ignimbritas Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados, presentan edades radiométricas muy similares entre sí. Estas y otras problemáticas son abordadas y discutidas más adelante.

### **3.4 CORRELACIÓN DE LITOFACIES Y DEPOSITACIÓN A PARTIR DE UNA *FLOW BOUNDARY ZONE***

Para correlacionar correctamente diferentes facies de ignimbritas, es necesario conocer las características intrínsecas que las hacen únicas. Para ello, Hildreth y Mahood (1985) definieron los principales criterios para correlacionar ignimbritas (litológicos, magnéticos, petrográficos, químicos e isotópicos). Concluyeron que los métodos de correlación más confiables son la continuidad física de los depósitos, su posición estratigráfica, la polaridad magnética y magnetización remanente (TRM), dataciones radiométricas, reconocimiento de líticos característicos, horizontes distintivos, singularidades petrográficas, geoquímica de minerales, particularmente de biotitas, abundancia y proporción de arreglos cristalinos, geoquímica de roca completa y geoquímica isotópica.

Por otro lado, Branney y Kokelaar (2002) presentan un sistema de clasificación de depósitos piroclásticos, que permiten una mejor interpretación de sus procesos eruptivos y de depositación. Estos autores establecen que las características físicas de una ignimbrita son el resultado de los procesos de depositación en la parte baja del flujo, en lo que definen como *flow boundary zone*, o zona de borde del flujo, y no representan la estructura interna de la corriente piroclástica en su totalidad (Figura 3.8). La *flow boundary zone*, como su nombre lo indica, es el borde inferior del flujo y lo separa (al flujo) del depósito recién formado, de este modo, una ignimbrita es el resultado de la agradación de un depósito desde la parte baja de la corriente piroclástica, a través de la *flow boundary zone*.

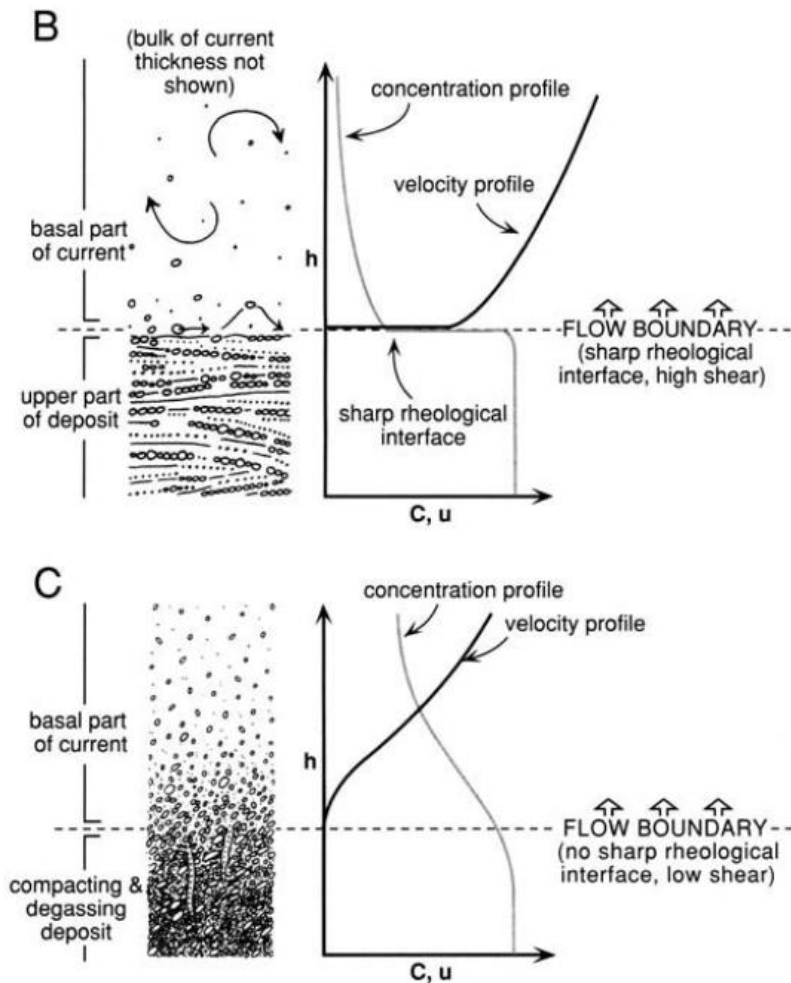


Figura 3.8: Ilustración de la zona de borde de flujo (*flow boundary zone*), que corresponde a la parte baja del flujo y la parte alta del depósito. Modificada de Branney y Kokelaar (2002).  $h$  corresponde a la altura dentro del flujo o corriente piroclástica,  $u$  corresponde a la velocidad del flujo en un lugar determinado y  $C$  corresponde a la concentración de partículas dentro del flujo o del depósito.

Dependiendo de las condiciones del flujo (velocidad, temperatura, viscosidad, pendiente del terreno, densidad, cantidad de gases, concentración y tipo de clastos, entre otros factores), la deposición desde la *flow boundary zone* puede estar dominada por cuatro miembros extremos intergradacionales entre sí: flujo granular, escape de fluidos, tracción y caída directa (Figura 3.9). Las diferentes facies, entonces, registran y permiten reconocer el régimen de deposición en la *flow boundary zone*, y las variaciones de facies son el resultado de variaciones leves dentro de un tipo de miembro extremo, o del paso de un miembro a otro (Branney y Kokelaar, 2002).

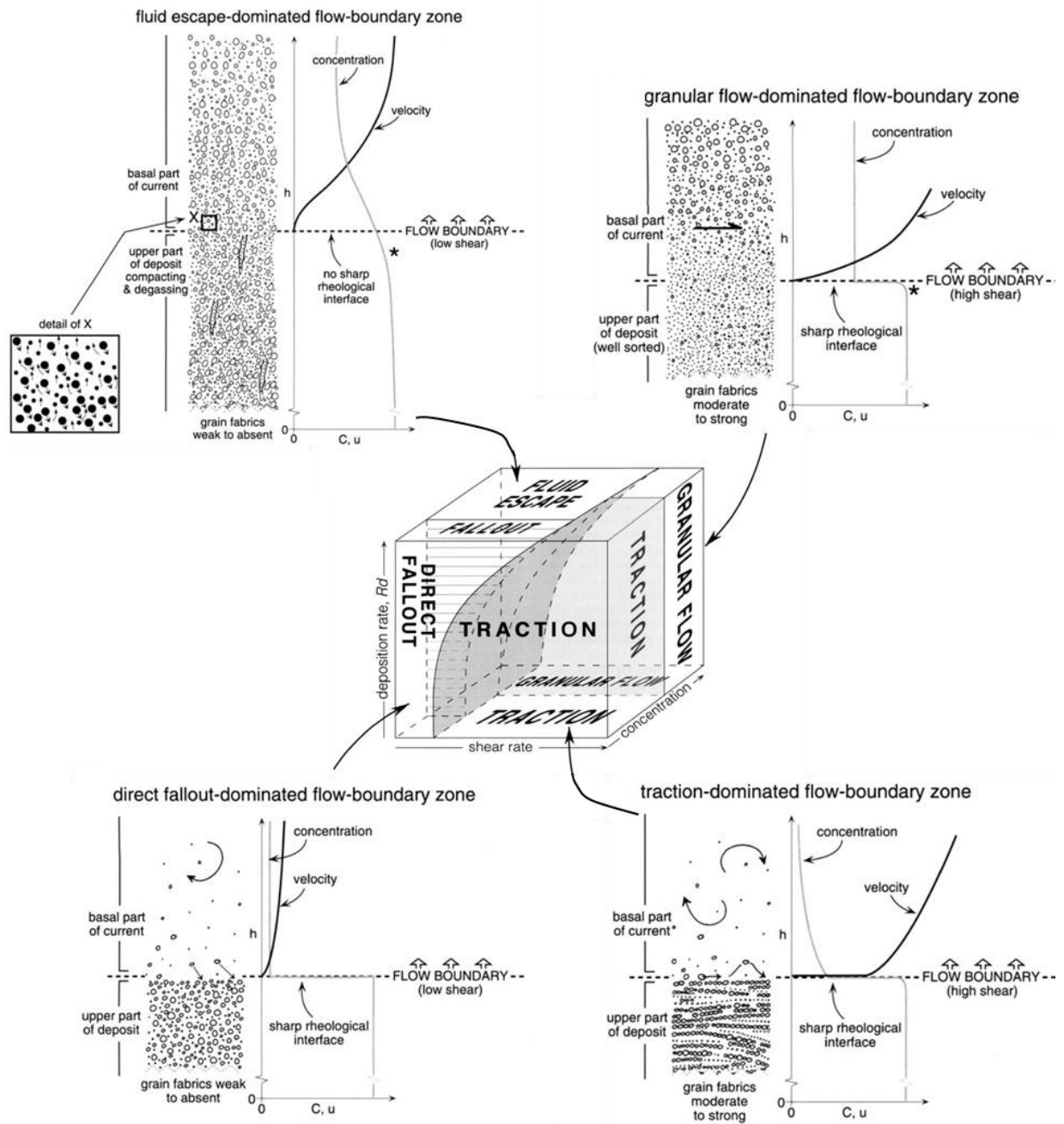


Figura 3.9: Miembros extremos de tipos de flow boundary zone o zonas de borde de flujo. En cada caso se grafican las características más típicas del depósito dejado por cada miembro extremo. Tomado de Branney y Kokelaar (2002).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE IGNIMBRITAS Y VARIACIONES DE LITOFACIES

Las descripciones en detalle de cientos de localidades, muestras de mano y cortes transparentes permitieron generar 30 columnas estratigráficas compuestas. Dichas columnas y su descripción, adjuntas en los anexos (7.1.2), permitieron definir las diferentes facies de cada unidad de ignimbrita estudiada, reconocer sus variaciones laterales y verticales, identificar las condiciones de la *flow boundary zone* de las corrientes a partir de las que fueron depositadas e interpretar algunos procesos eruptivos y de transporte en dichas corrientes.

A continuación, se presentan correlaciones de las diferentes facies reconocidas para cada unidad, sus variaciones laterales y verticales, y las condiciones de la *flow boundary zone* a partir de la cual se depositaron. Las ignimbritas antiguas (con edades superiores a los 23 Ma) no fueron consideradas, por tratarse de afloramientos aislados y sin continuidad lateral. De igual manera, solo se estudió una localidad de las ignimbritas Barrancas Blancas, Wheelwright y Parinas, por lo que no se pudieron observar variaciones de facies.

La abreviación de los minerales que se indican en las fotomicrografías de cortes transparentes se hizo según la lista recomendada por la IUGS, de Siivola y Schmid (2007), en su versión web ([www.bgs.ac.uk/scmr/products.html](http://www.bgs.ac.uk/scmr/products.html)), resumidos en la Tabla 4.1. Se utilizó las siglas “Pz” para indicar las pómez en las imágenes de fotomicrografías y “*Shards*” para indicar las esquirlas.

Tabla 4.1: Abreviación de minerales según las recomendaciones de la IUGS (Siivola y Schmid, 2007).

Mineral	Abreviación
Plagioclasa	Pl
Cuarzo	Qtz
Anfíbola	Am
Biotita	Bt
Piroxeno	Px
Ortopiroxeno	Opx
Clinopiroxeno	Cpx
Flogopita	Phl

#### 4.1.1 IGNIMBRITA RÍO FRÍO

Se generaron cuatro columnas compuestas de la ignimbrita Río Frío, cuya ubicación aproximada se muestra en la Figura 4.1. Se reconocieron 2 unidades principales, denominadas Río Frío 1 y Río Frío 2 (RF-1 y RF-2, respectivamente), la primera de ellas con 6 litofacies levemente diferentes, y la segunda con 8 litofacies, con mayor variación de sus características (Figura 4.2).

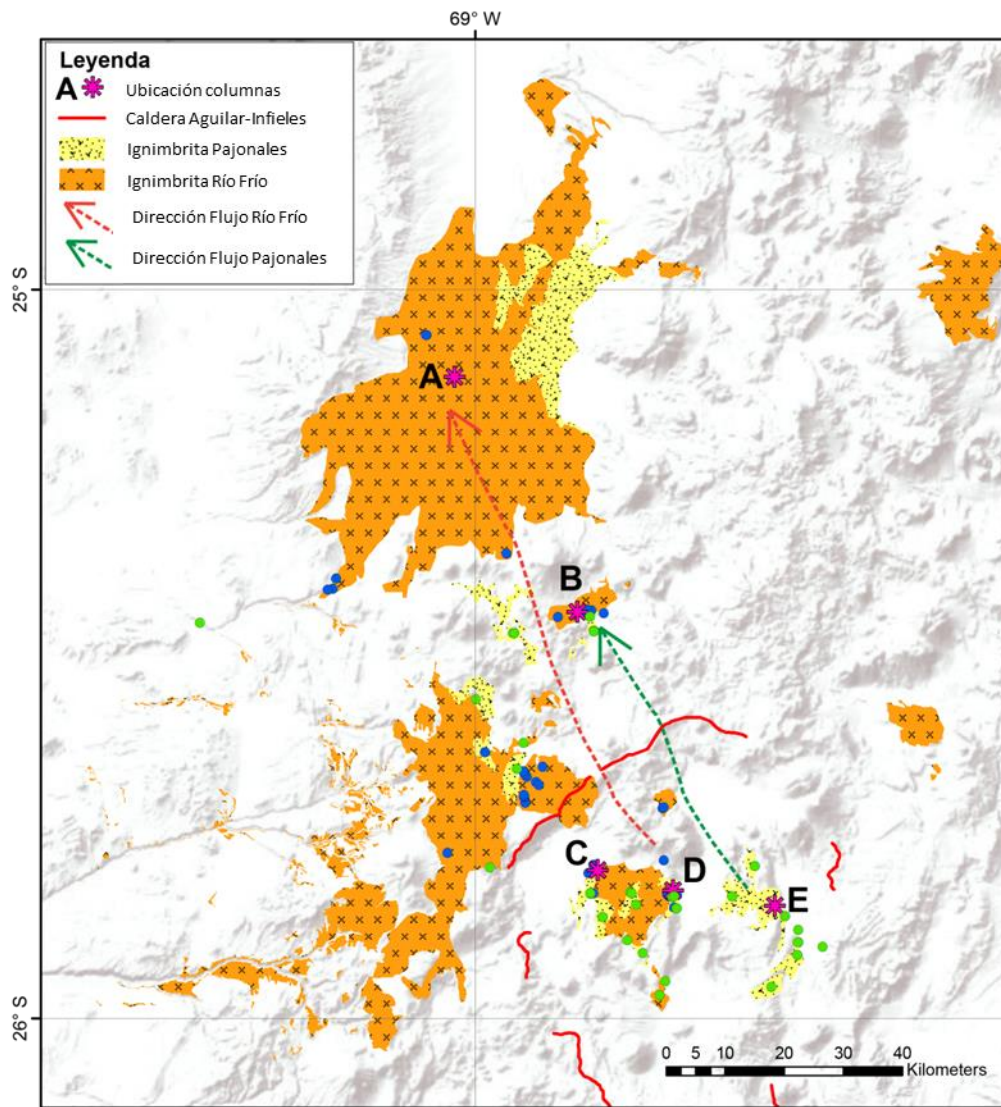


Figura 4.1: Distribución de las ignimbritas Río Frío y Pajonales, localidades estudiadas y ubicación aproximada de las columnas estratigráficas levantadas. En rojo se muestra el borde de la Caldera Aguilar, que corresponde a la fuente de ambas ignimbritas (Naranjo et al., 2013a, Naranjo et al., 2013b). Las flechas indican la dirección de los flujos que dieron origen a los depósitos estudiados.



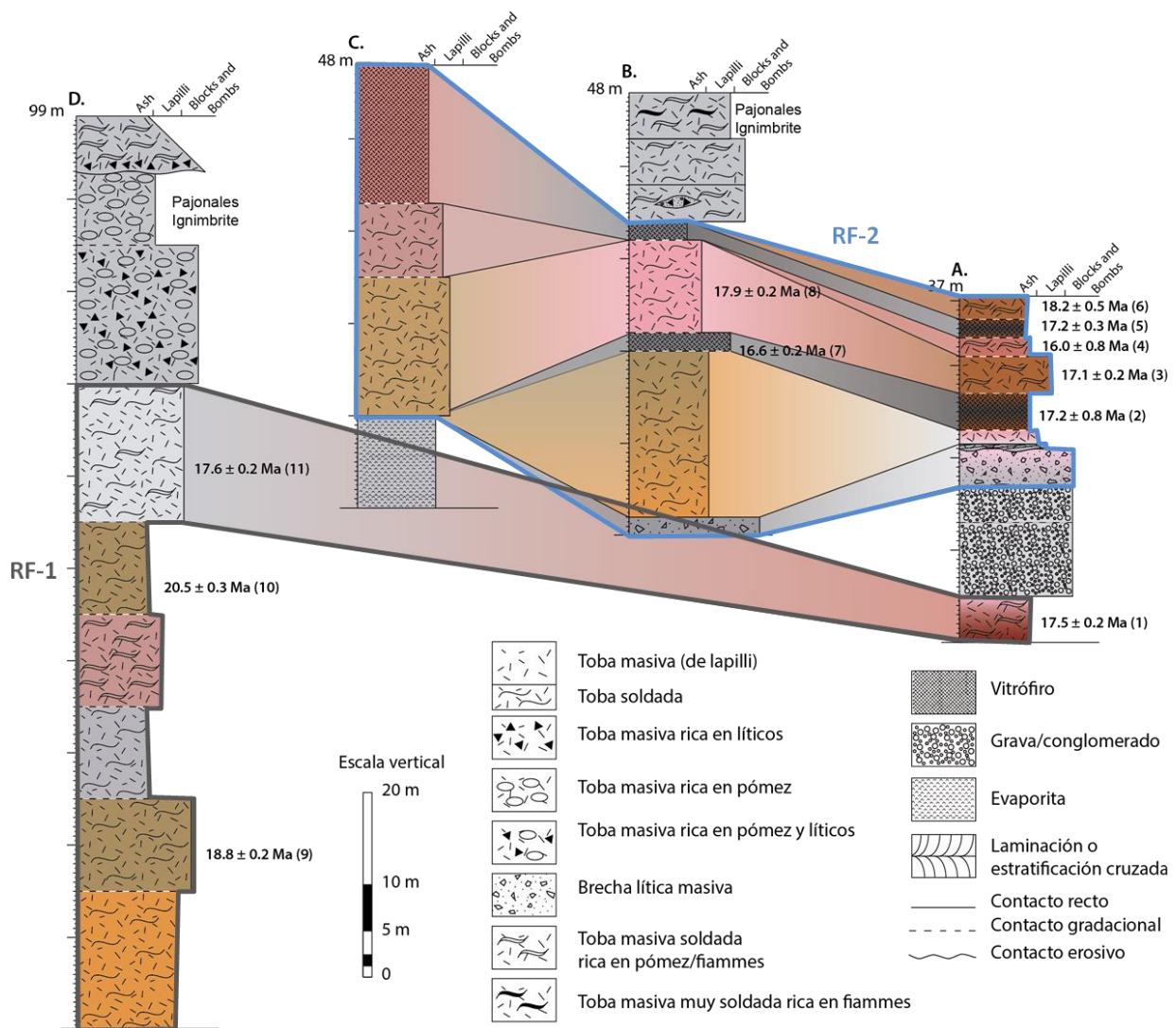


Figura 4.2: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Río Frío. Las letras (A, B, C y D) corresponden a las localidades indicadas en la Figura 4.1 y están orientadas de izquierda a derecha en la dirección de las corrientes a partir de las cuales fueron depositadas. Los números entre paréntesis a la derecha de cada edad se indican en la Tabla 7.1, donde se detalla quién publicó la edad, el método y el material utilizado.

RF-1 se reconoce en solo dos de las cuatro localidades estudiadas (Figura 4.2 D y A). Se describe como una unidad, ya que las 6 subunidades lito-estratigráficas que la componen presentan variaciones muy leves entre sí (Figura 4.3). Corresponden a tobas intensamente soldadas, muy cristalinas, con abundantes cristales de PI y Pxs (Figura 4.4A, B), a excepción de un nivel intermedio que es muy poco cristalino (Figura 4.4C, D). La variedad de colores que presenta RF-1 se debe a variaciones en el grado de soldamiento y de exposición a la intemperie. Contiene escasas fiammes, generalmente desvitrificadas, con textura esferulítica, muy escasos líticos milimétricos y su matriz, que suele estar levemente desvitrificada, presenta escasas esquirlas finas y aplastadas.

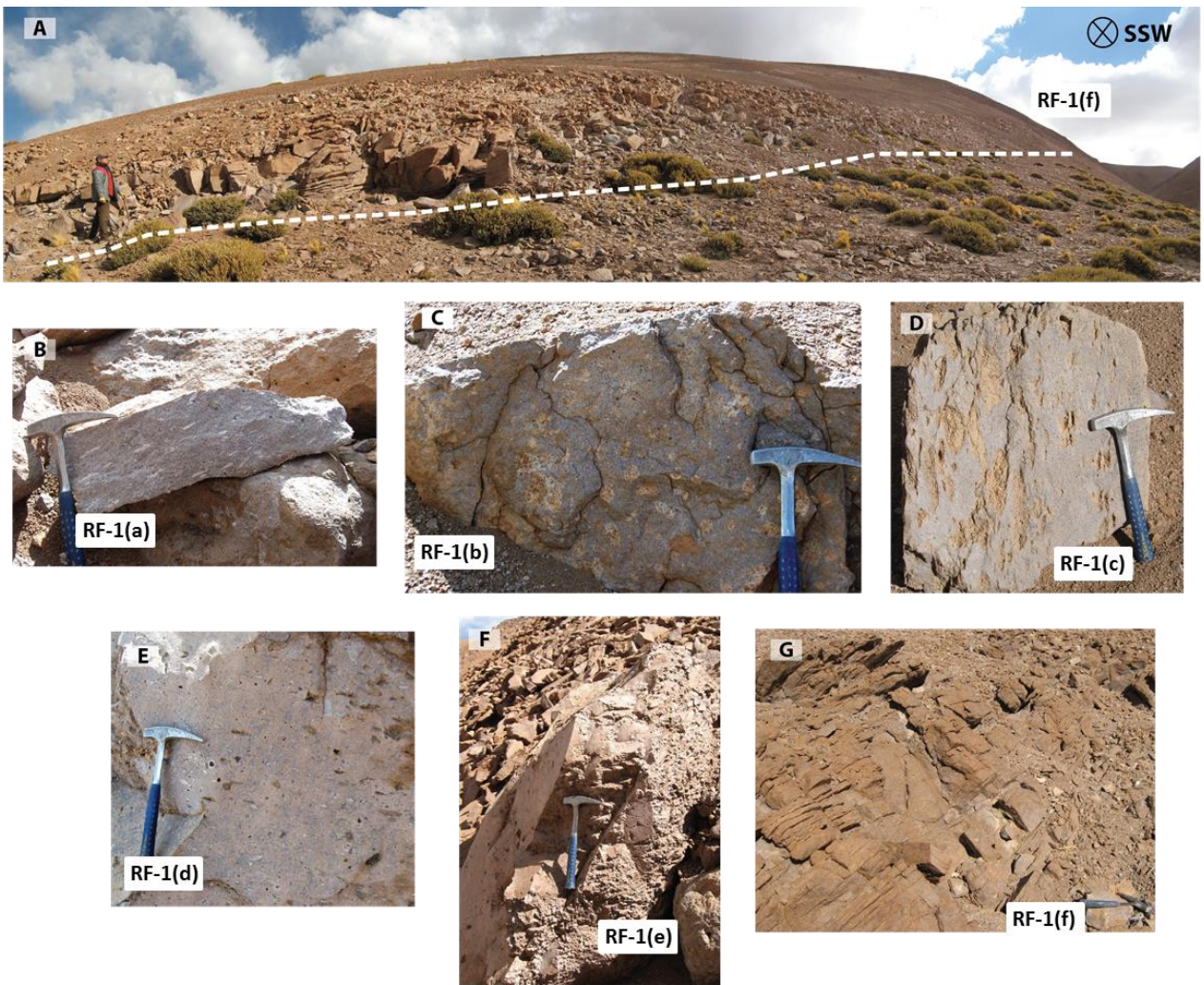


Figura 4.3: Fotografías de terreno de la subunidad RF-1 de la Ignimbrita Río Frío en el borde oriental del domo resurgente de la Caldera Aguilar (localidad D de las figuras Figura 4.1 y Figura 4.2). A) corresponde al nivel superior, que es el que más aflora en esta localidad. B)-G) corresponden a las diferentes facies reconocidas en esta localidad, con variaciones texturales leves entre sí.

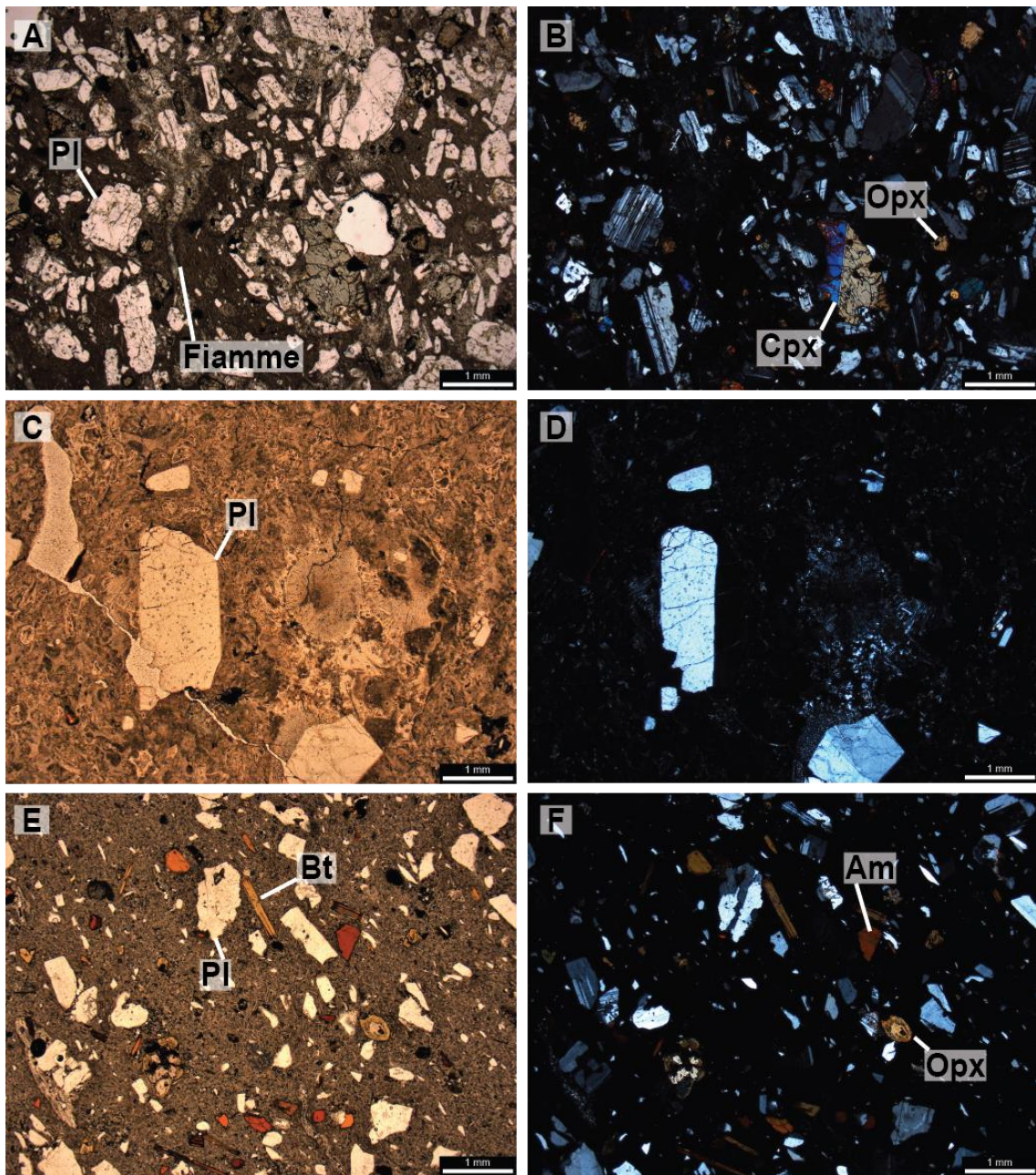


Figura 4.4: Fotomicrografías de la subunidad RF-1 de la Ignimbrita Río Frío. Las imágenes de la izquierda fueron capturadas a nicols paralelos y las de la derecha a nicols cruzados, todas con un aumento de 2X. A y B corresponden a la parte basal de RF-1, su petrografía es la más común observada en RF-1, con abundantes cristales de Pl y Pxs, C y D corresponden a un nivel diluido de RF-1, se observan escasas Pl y una zona con textura esferulítica, E y F corresponden a la parte superior de RF-1, donde se observan cristales de Pl, Opx con textura coronítica, Am y Bt.

La parte más alta de RF-1, a diferencia de las demás facies, contiene minerales máficos hidratados (Am y Bt, Figura 4.4.E, F). Como se indica en la Figura 4.2, en la columna D, tiene edades reportadas de entre 17,6 Ma y 20,5 Ma (Naranjo *et al.*, 2013a).

Sobre RF-1 se reconocen depósitos de pie de monte asignados a la Formación Gravas de Atacama por Naranjo *et al.* (2013b) (Figura 4.2, columna A).

Sobre dichos depósitos se emplaza RF-2, formada por 8 niveles (Figura 4.5), que se pudo reconocer parcial o completamente en tres localidades (Columnas A, B y C de las Figura 4.1 y Figura 4.2). La base corresponde a una brecha lítica masiva, seguida de una toba cristalina rica en pómez y empobrecida en finos, con laminación paralela y estratificación cruzada (Figura 4.2, columnas A y B, Figura 4.5D), seguida de 6 unidades de toba cristalina soldada, con hasta 40 % de cristales de Pl y Am, y menor contenido de Pxs, Bt, y Qtz ocasional, con escasas fiammes y muy escasos líticos milimétricos (Figura 4.2A, B y C, Figura 4.5B, Figura 4.6). Se agrupan como una sola unidad dada su continuidad vertical y variaciones graduales del grado de soldamiento. RF-2 tiene edades reportadas entre 16 Ma y 18,5 Ma (Naranjo *et al.*, 2013a, 2013b).

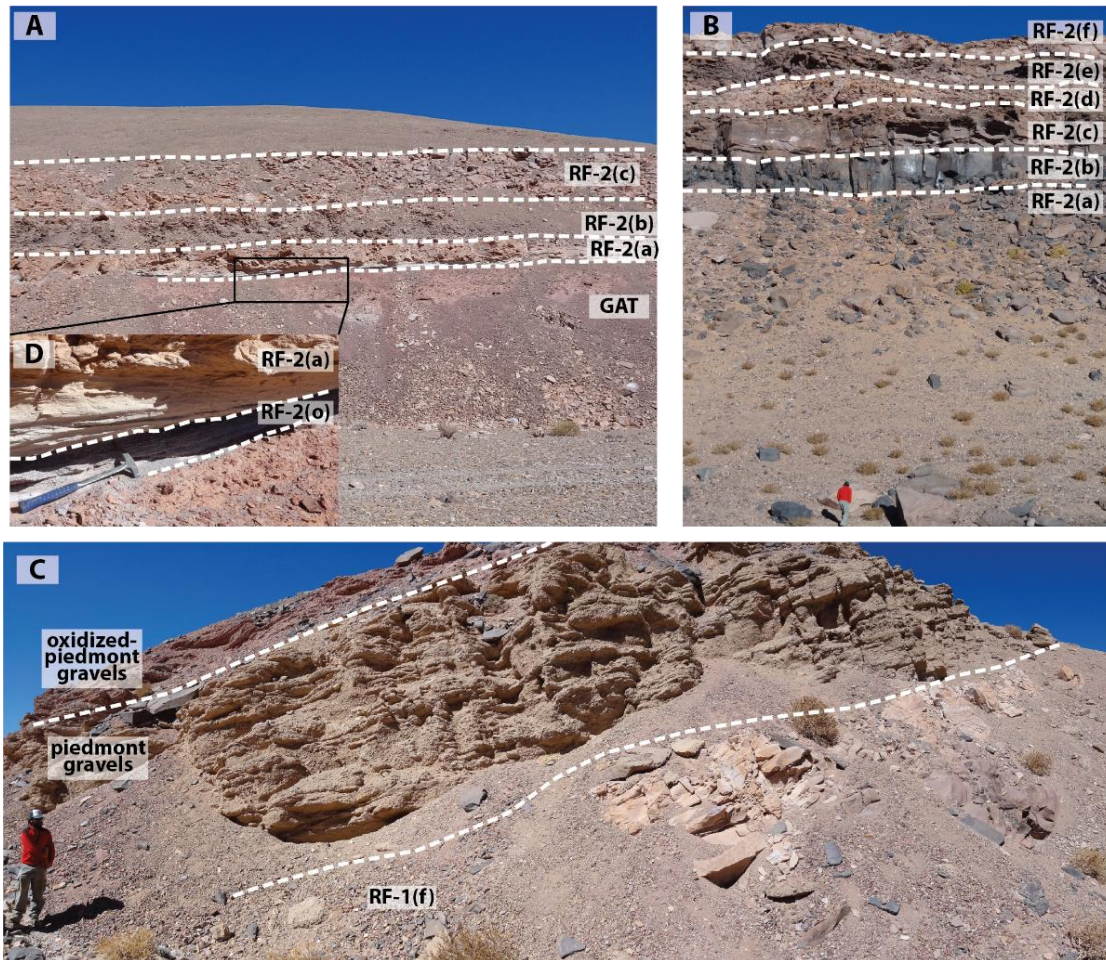


Figura 4.5: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Río Frío en la localidad compuesta A, ubicada al oeste del Salar de Pajonales. A) es una vista al este de varios niveles de la subunidad RF-2 de la Ignimbrita Río Frío sobre las Gravas de Atacama (GAT), B) es una vista hacia el sureste de los 6 niveles más comunes de la subunidad RF-2, C) vista hacia noreste de la subunidad RF-1 bajo las Gravas de Atacama (piedmont gravels) y D) es un acercamiento a la base de A.

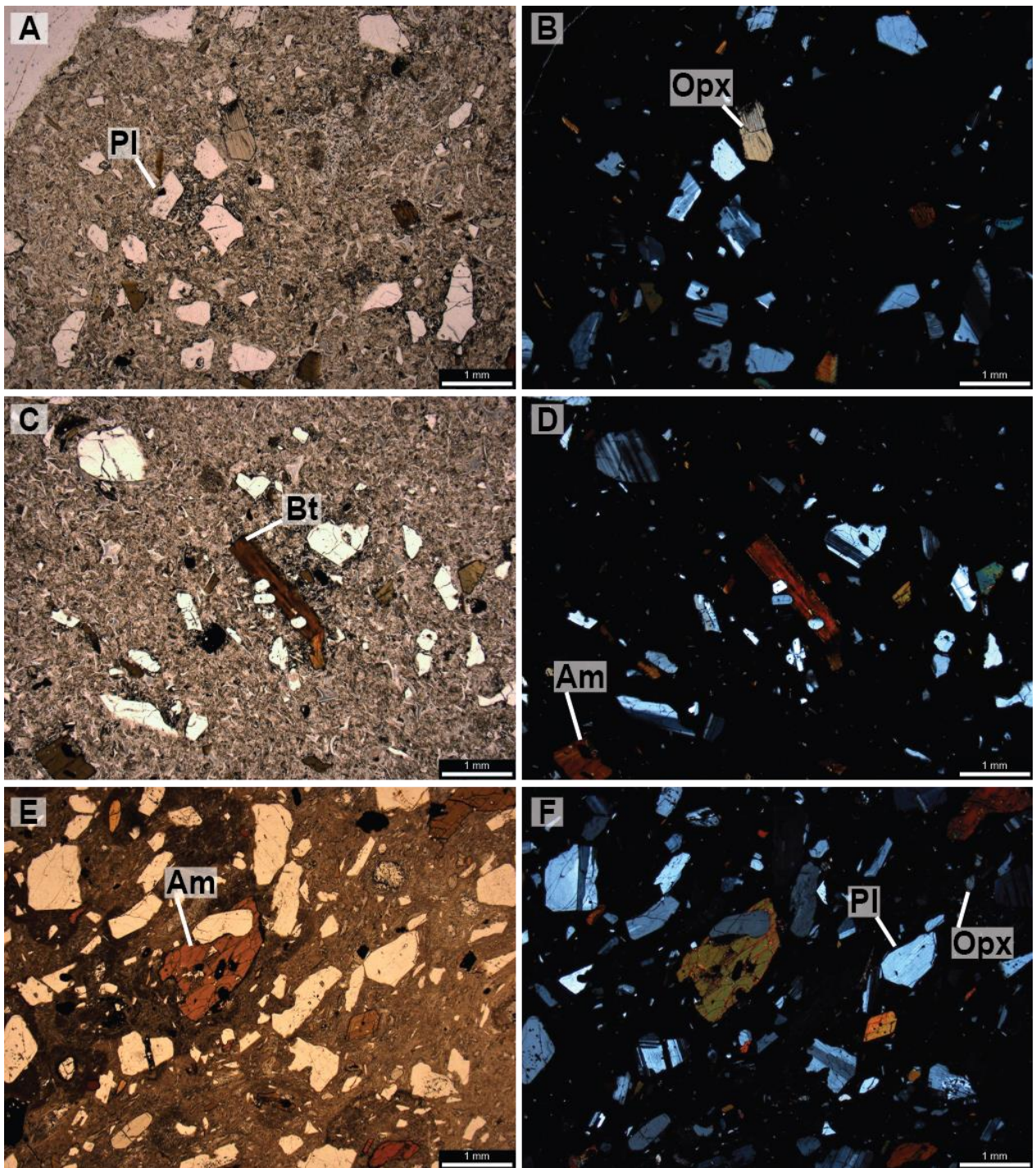


Figura 4.6: Fotomicrografías de la subunidad RF-2 de la Ignimbrita Río Frío. A, C y E fueron capturadas a nicoles paralelos y B, D, y E a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. A, B, C y D corresponden al nivel vitrofórico inferior de la subunidad RF-2, muestran escasos cristales de Pl, Opx, Bt y Am, mientras que E y F corresponden a un nivel intermedio de RF-2, muy rico en cristales de Pl, Am y Opx.

Según la clasificación de Branney y Kokelaar (2002), esta ignimbrita corresponde a dos unidades de toba masiva soldada, cada una muy homogénea en su desarrollo vertical. La primera de ellas (RF-1) habría sido depositada a partir de un flujo con una

*flow boundary zone* dominada por escape de fluidos, y el depósito habría agradado rápidamente, permitiéndole alcanzar un alto grado de soldamiento. Después de un lapso de tiempo importante, suficiente como para que se depositaran depósitos de piedemonte, una segunda corriente habría depositado RF-2, con una *flow boundary zone* que habría pasado de estar dominada por flujo granular, a estar dominada por tracción, a estar dominada por escape de fluidos, generando así las diferentes facies reconocidas en la columna A de la Figura 4.2. Comparativamente, RF-2 es más rica en minerales hidratados que RF-1.

El bajo contenido de cristales que se observa en las fiammes de ambas subunidades se puede explicar debido a la pérdida de material fino desde la matriz debido al arrastre que genera el escape de fluidos, lo que produce una mayor concentración de los componentes en comparación con el material juvenil. Esto también es indicador de una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos.

El que exista un nivel diluido en RF-1, con menor concentración de líticos, pómez y de cristales, podría explicarse por la depositación de una nube co-ignimbrítica o podría deberse a una agradación aun más rápida. La segunda opción parece ser más probable, ya que una nube co-ignimbrítica difícilmente podría explicar la textura eutaxítica, el espesor y el intenso fracturamiento de sus componentes. Por otro lado, los niveles que presentan variaciones en el contenido de fiammes podrían corresponder al registro del paso de un lóbulo rico en pómez, pero la falta de más afloramientos distribuidos lateralmente no permite concluir una dirección del avance de dicho lóbulo. Los contactos gradacionales entre los diferentes niveles indican que la corriente fue sostenida mientras duró la depositación, sin registrar lapsos de tiempo importantes sin depositación, ni períodos de erosión. Esto permite concluir que la corriente aumentó y luego disminuyó su intensidad de manera relativamente gradual. Finalmente, el hecho de que el último nivel de RF-1 presente facies minerales máficas hidratadas puede estar indicando una zonación de la cámara magmática.

El paso de una brecha gruesa a un nivel con laminaciones que se observa en RF-2 se puede explicar por el paso de una corriente dominada por flujo granular a una

dominada por tracción, como resultado de una disminución en la densidad del flujo, al haber depositado el material más grueso que formó la brecha basal. La presencia de dos niveles vitrofiricos en RF-2 podría estar indicando dos agradaciones rápidas del depósito, las que pueden ser el resultado de variaciones de la tasa eruptiva. El hecho de que en la columna más cercana a la fuente se preserven solo las facies superiores que se observan en las localidades más distales, indica que los primeros instantes de la erupción fueron tan intensos que no hubo depositación cerca de la fuente, sino que se produjo a mayor distancia, cuando la energía del flujo fue disminuyendo a medida que se fue expandiendo y su velocidad disminuyó al alcanzar pendientes más suaves.

El grado de soldamiento mayor que alcanza RF-2, con respecto a RF-1, se explica por un confinamiento mayor del depósito, o debido a una mayor temperatura de la corriente.



#### 4.1.2 IGNIMBRITA VEGA HELADA

La Ignimbrita Vega Helada fue reconocida en 6 localidades, indicadas con las letras A, C, D, F, G y H en la Figura 4.7.

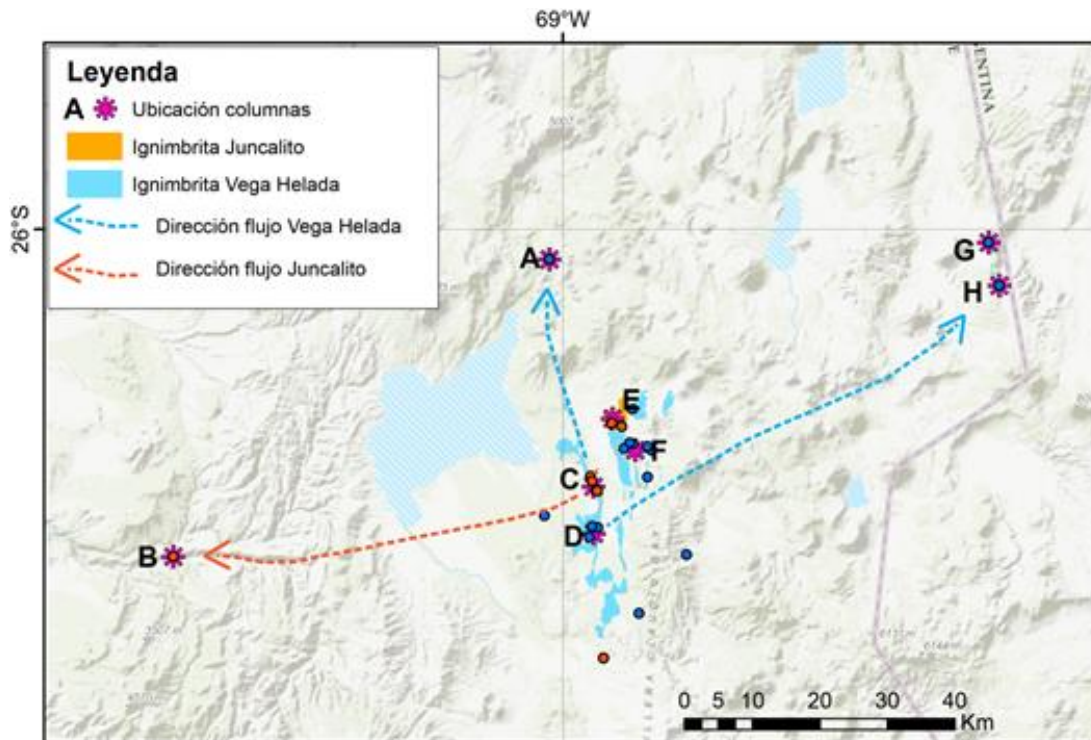


Figura 4.7: Distribución de las ignimbritas Vega Helada y Juncalito. También se muestra la ubicación de las columnas estudiadas y de las localidades analizadas en cada caso. Las flechas indican las direcciones de flujo que se dedujeron a partir de la distribución de facies.

Se reconocieron dos unidades de flujo, nombradas Vega Helada 1 (VH-1) y Vega Helada 2 (VH-2), depositadas de forma concordante, sin evidencia de un salto temporal entre ambas. Corresponde a una toba masiva de lapilli rica en líticos, que grada a una toba cristalina soldada, llegando a formar un nivel vitrofírico de hasta 4 m de espesor en la parte más soldada (Figura 4.8 y Figura 4.9).

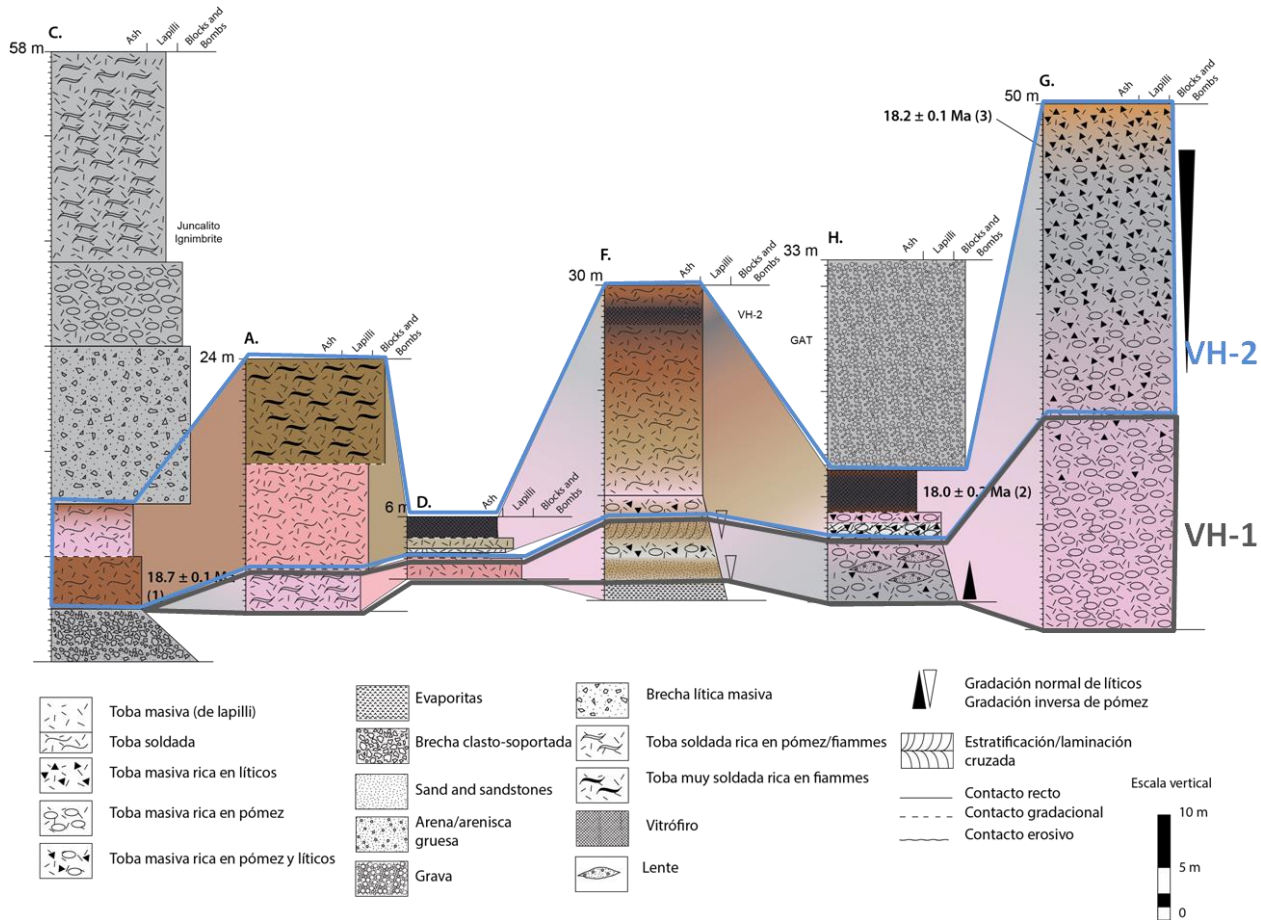


Figura 4.8: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Vega Helada. Los números que se encuentran entre paréntesis a la derecha de cada datación corresponden a dataciones radiométricas publicadas por Naranjo et al. (2016), detalladas en la Tabla 7.1. La letra de cada columna corresponde a su ubicación en la Figura 4.7 y están ordenadas de izquierda a derecha de proximales a distales.

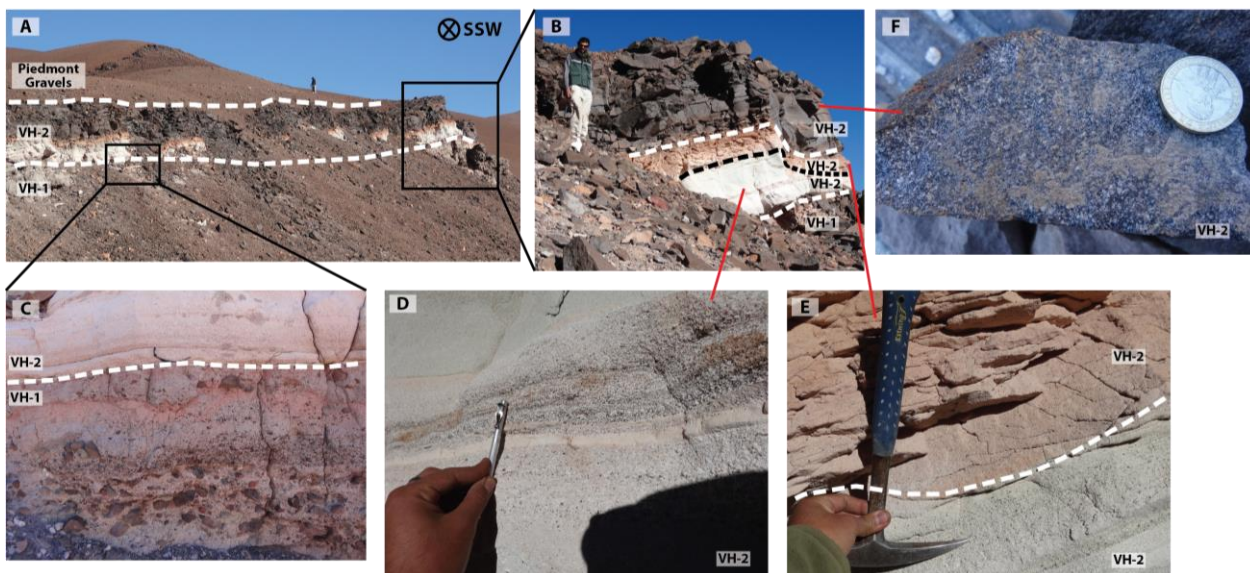


Figura 4.9: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Vega Helada en la parte sur de la Sierra del Medio (localidad H de las figuras Figura 4.7 y Figura 4.8). A muestra toda la columna, B un acercamiento hacia VH-2, C un acercamiento al contacto entre VH-1 y VH-2, y D, E y F muestran la gradación desde poco soldada a muy soldada de VH-2.

Ambas subunidades contienen esquilas usualmente desvitrificadas, de tamaño medio, aplastadas en las facies más soldadas. La parte basal (VH-1) muestra evidencia de interacción con agua, formando depósitos epiclásticos con clastos sub-redondeados y depósitos laháricos, con algunas estructuras como estratificación cruzada, gradaciones y lentes con clastos medianamente seleccionados (Figura 4.9C y Figura 4.10C). Su contenido de cristales es bajo, y se reconocen cristales de Pl, Qtz y Bt (Figura 4.10). Tiene pómez y líticos muy variables, con gradaciones inversas de pómez y normal en líticos.

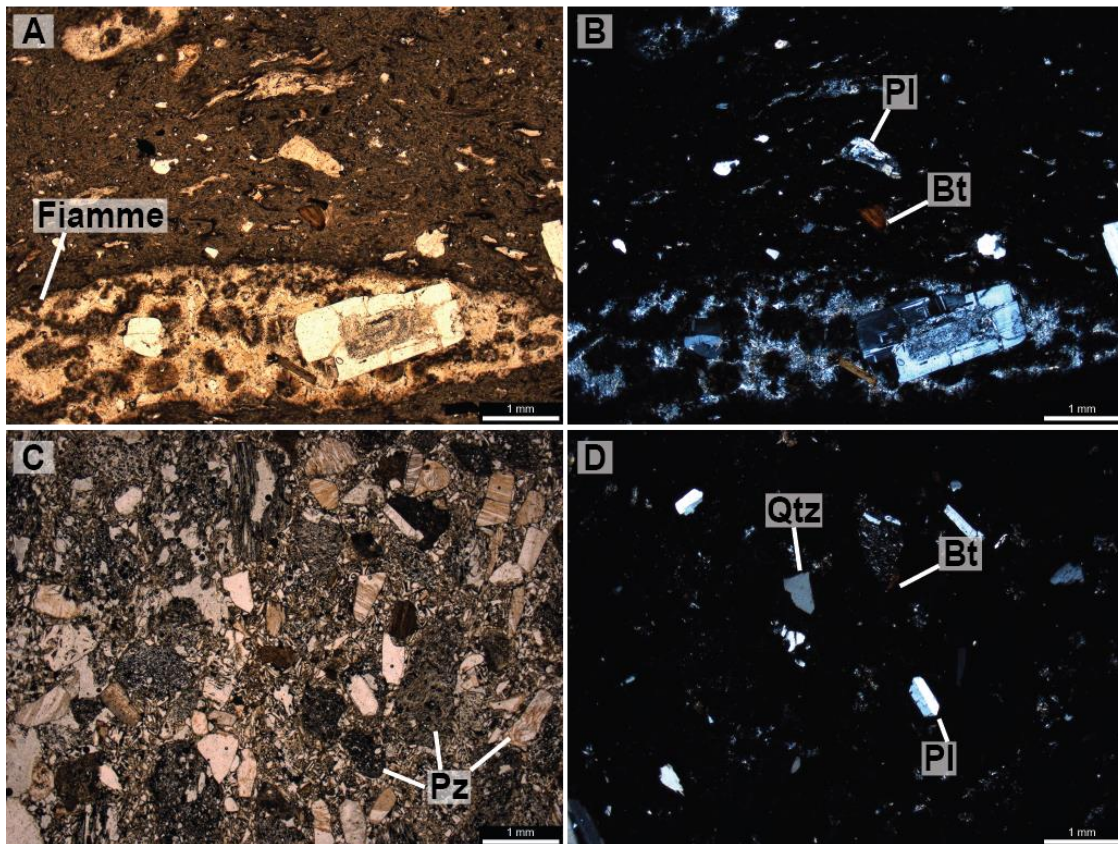


Figura 4.10: Fotomicrografías de la subunidad VH-1 de la Ignimbrita Vega Helada, capturadas con un aumento de 2X. A y C fueron tomadas a nicoles paralelos, y B y D a nicoles cruzados. A y B muestran una fiamme desvitrificada con textura esferulítica y contenido de cristales de Pl y Bt, C y D corresponden a un depósito epiclástico con fragmentos de pómez, Pl, Bt y Qtz.

VH-2 corresponde a una toba cristalina soldada de lapilli, contiene mayor porcentaje de cristales y sus principales minerales máficos son Pxs. Tanto el Qtz, como las fases hidratadas son muy escasas. Presenta abundantes glomero-pórfido-cristales de Pl+Opx+Cpx±Am y es común ver inclusiones de Am en cristales de Px, con textura

poikilitica (Figura 4.11F). En las partes más soldadas forma un vitrófiro de color marrón oscuro a negro (Figura 4.12D). En una localidad presenta gradación inversa de líticos.

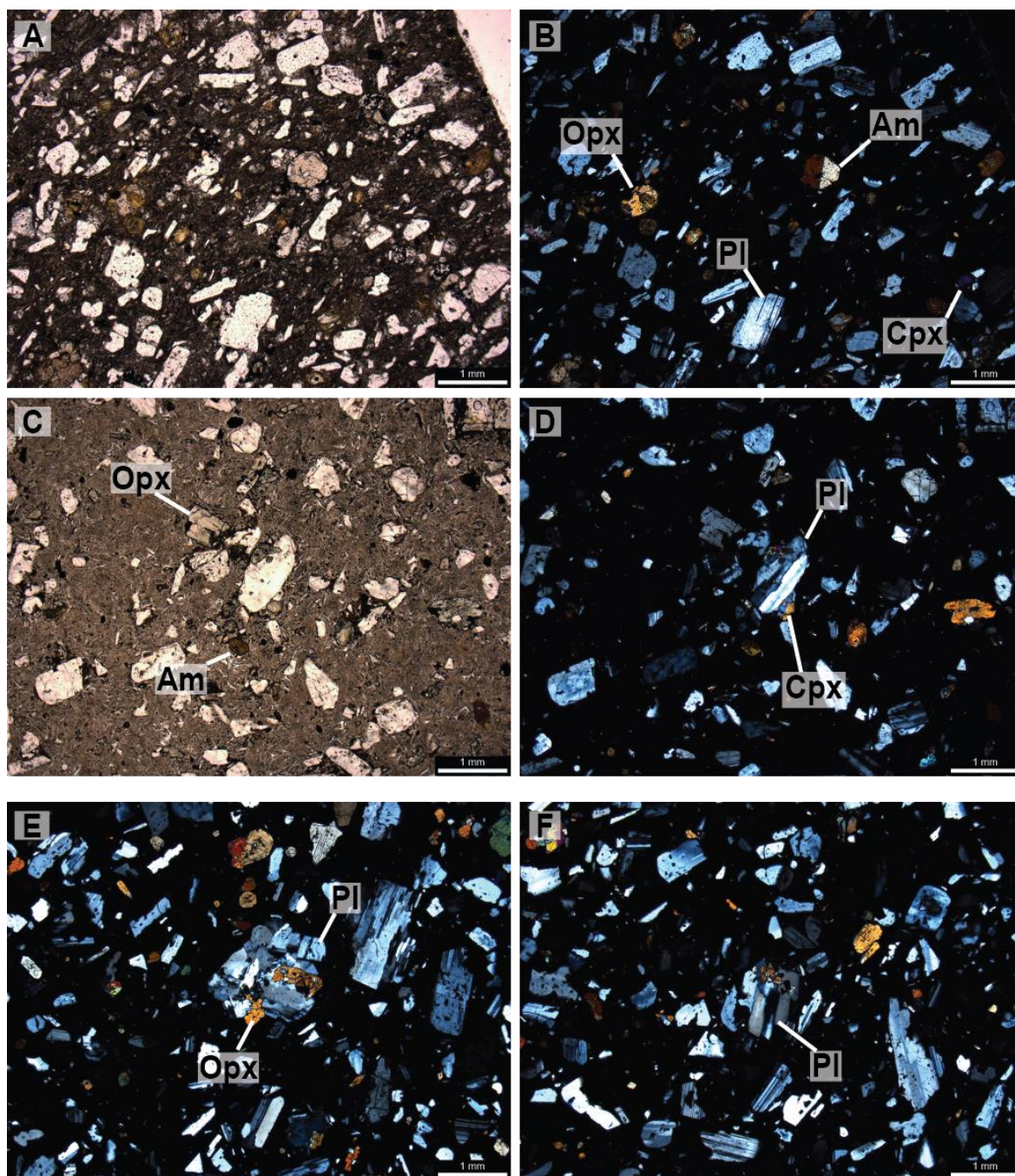


Figura 4.11: Fotomicrografías de la subunidad VH-2 de la Ignimbrita Vega Helada. A y C fueron capturadas con nicoles paralelos, mientras que B, D, E y F con nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. Todas corresponden a muestras del nivel más soldado. En A, B, C y D se observan cristales de Pl, Am y Pxs, y en E y F se observan glomero-pórfido-cristales de Pl con Pxs.

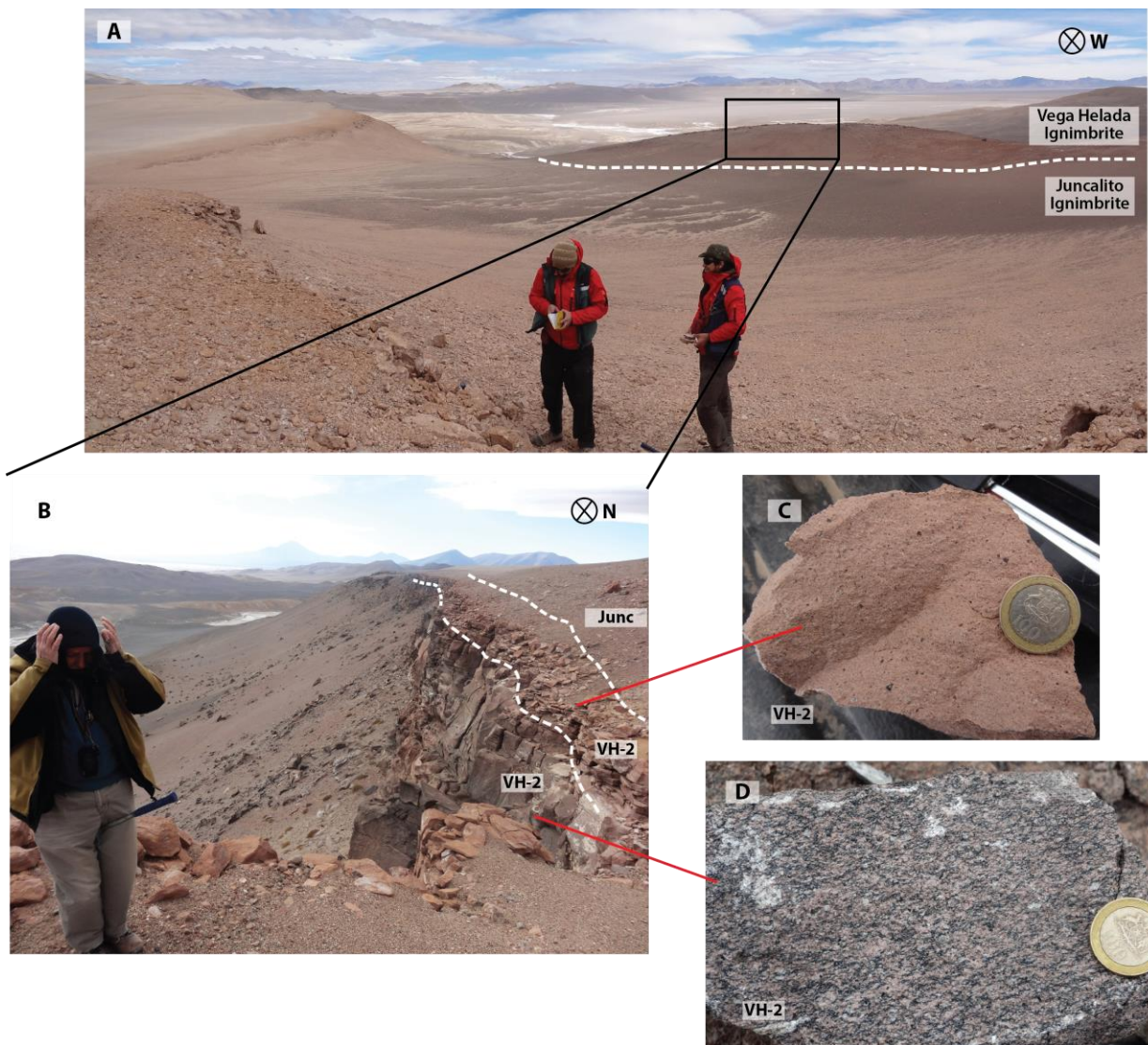


Figura 4.12: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Vega Helada, en la parte norte del portezuelo ubicado al este del Salar de Pedernales. A corresponde a una vista hacia el oeste, donde se observa la ignimbrita Vega Helada (en segundo plano) bajo la Ignimbrita Juncalito (en primer plano). B corresponde a un acercamiento de la Ignimbrita Vega Helada, donde se observa la variación en su grado de soldamiento (variación de color) y C y D muestran el detalle de dos muestras de mano, una menos soldada y una más soldada, respectivamente.

VH-1 probablemente fue depositada por medio de una *flow boundary zone* gradacional entre dominada por escape de fluidos y traccional, lo que explicaría la presencia de las estructuras sedimentarias observadas en la localidad F, al mismo tiempo que los niveles y lentes que se observan en las localidades F y H (Figura 4.8).

Las gradaciones normales de pómez y la gradación inversa de líticos se explican por un descenso en la intensidad de la erupción, lo que por una parte hace que los fragmentos líticos de mayor tamaño lleguen cada vez menos lejos, al mismo tiempo que

los lóbulos frontales, ricos en pómez grandes, se hacen cada vez más cercanos a la fuente (ver Figura 4.13).

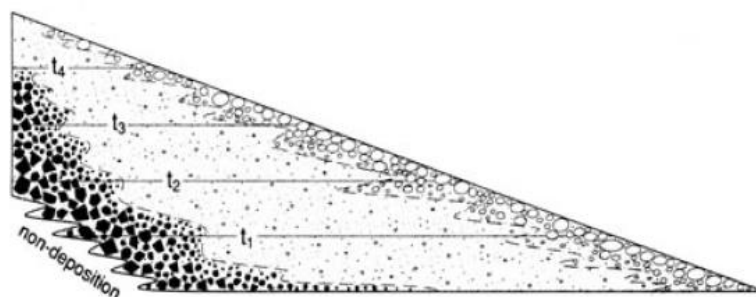


Figura 4.13: Gradación normal de líticos e inversa de pómez debido a un descenso en la tasa eruptiva. Modificado de Branney y Kokelaar, 2002.

VH-2 habría sido depositada a partir de una corriente con una *flow boundary zone* que pasó de ser dominada por tracción a ser dominada por escape de fluidos, generando inicialmente una toba estratificada de escaso espesor y posteriormente una toba masiva. El alto grado de soldamiento que alcanza VH-2 se asocia a un aumento rápido en la tasa de agradación del depósito, debido a una disminución en la tasa eruptiva, lo que habría permitido que se acumule un depósito suficientemente potente y caliente, como para compactarse, generando texturas eutaxíticas.

Las localidades G y H se encuentran muy alejadas de los demás afloramientos, por lo que es probable que las corrientes hayan llegado hasta esos lugares acanaladas en una paleo quebrada con dirección aproximada WSW-ENE, con lo que la localidad G sería la más distal de todas. Su potencia estaría explicada por haber encontrado un obstáculo topográfico importante luego de haber estado encausada, acumulando un gran depósito debido a un descenso abrupto en la velocidad del flujo.

#### 4.1.3 IGNIMBRITA PAJONALES

Se estudiaron 3 localidades de la Ignimbrita Pajonales, correspondientes a las columnas B, D y E de la Figura 4.1. Con esto, se pudieron definir 3 subunidades, nombradas Pajonales a, Pajonales b y Pajonales c (PAJ (a), PAJ (b) y PAJ (c), respectivamente, Figura 4.14).

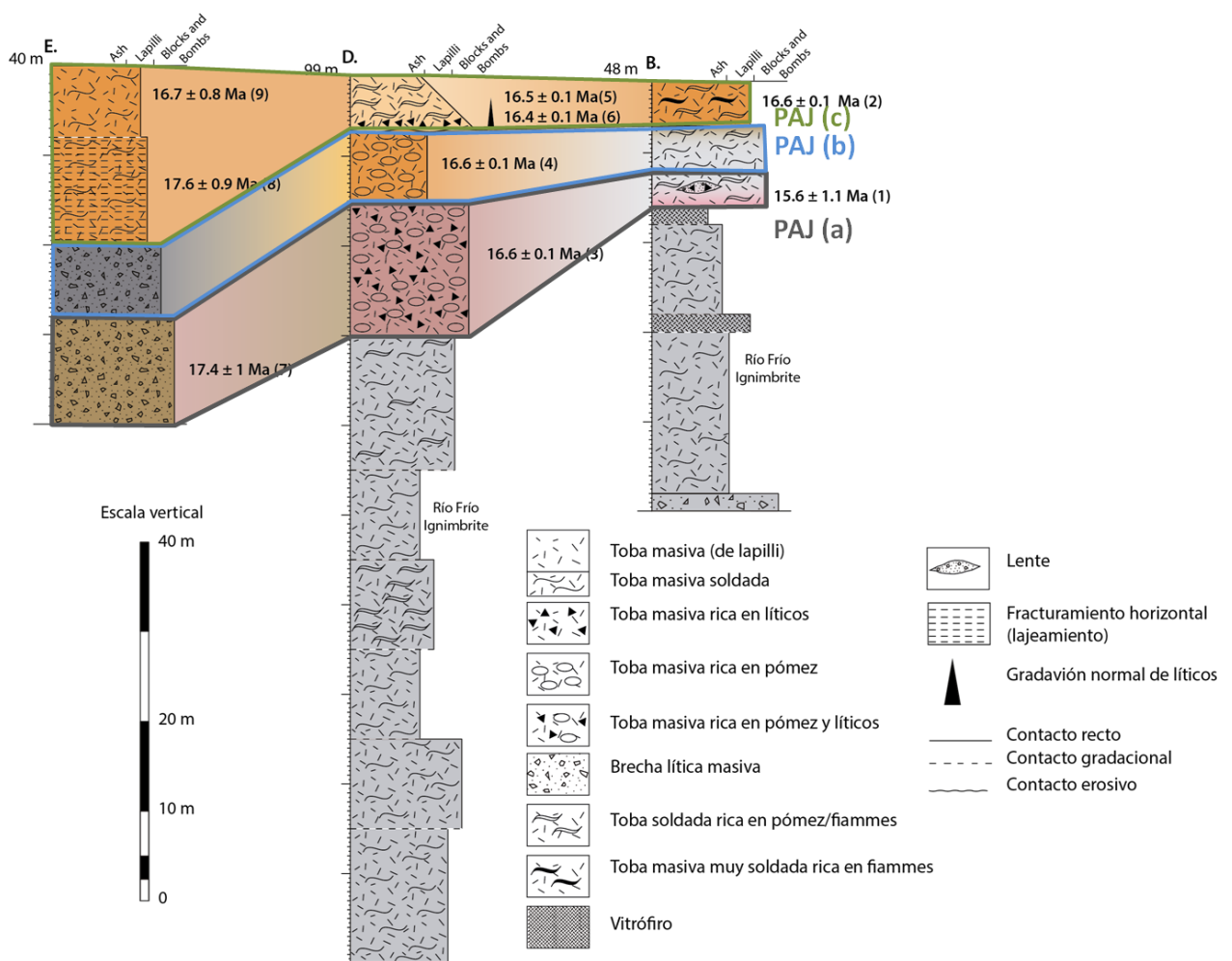


Figura 4.14: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Pajonales. Las dataciones fueron publicadas por Naranjo et al. (2013a, 2013b), y se detallan en la Tabla 7.1, en Anexos, ordenadas según los números entre paréntesis a la derecha de cada edad. De izquierda a derecha, están ordenadas de proximal a distal.

La Ignimbrita Pajonales es una toba vítrea masiva de lapilli, rica en pómez fibrosas que alcanzan grandes tamaños (~50 cm), cantidad variable de líticos, muy abundantes en algunas localidades, y escasos cristales, principalmente de PI y Bt, inmersos en una matriz muy rica en esquirlas muy gruesas (Figura 4.15).

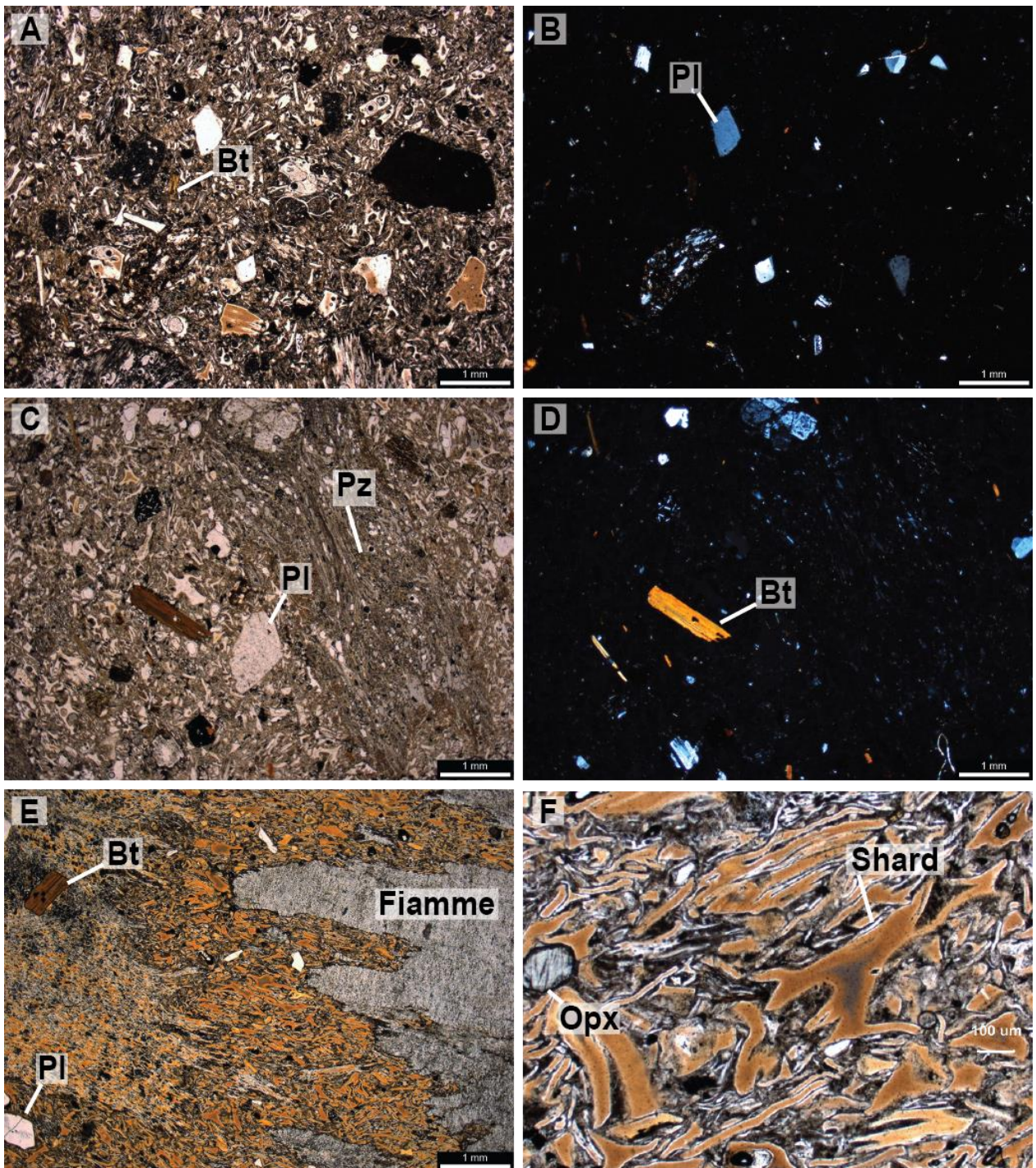


Figura 4.15: Fotomicrografías de la Ignimbrita Pajonales. A, C, E y F fueron capturadas a nicoles paralelos, mientras que B y D a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X, a excepción de F que fue capturada con un aumento de 5X. A y B corresponden a la subunidad PAJ (a) y muestran escasos cristales de PI y Bt en una matriz rica en esquirlas, C y D corresponden a PAJ (b) y muestran cristales de PI, Bt y una pómez fibrosa, y E y F corresponden a PAJ (c), E muestra cristales de PI, Bt y una fiamme y F muestra un acercamiento a un cristal de Opx y esquirlas de gran tamaño.

Desde su fuente hacia facies distales (de izquierda a derecha en la Figura 4.14), la subunidad PAJ (a) gradúa de una brecha lítica masiva (Figura 4.16A, C) a una toba



masiva rica en líticos y pómez (Figura 4.17A, C, F) a una toba soldada, PAJ (b) grado de una brecha lítica masiva (Figura 4.16A, B), a una toba masiva de lapilli rica en pómez, a una toba soldada de lapilli y PAJ (c) corresponde a una toba soldada de lapilli rica en pómez a fiammes de hasta 50 cm (Figura 4.17D). Las características de estas unidades permiten deducir que fueron depositadas a partir de tres unidades de flujo, las dos primeras habrían sido depositadas a partir de una *flow boundary zone* dominada por flujo granular que en partes más distales habría estado dominada por escape de fluidos, debido a una menor densidad de líticos, que habrían sido depositados proximalmente. PAJ (c) fue depositada uniformemente a partir de una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos.

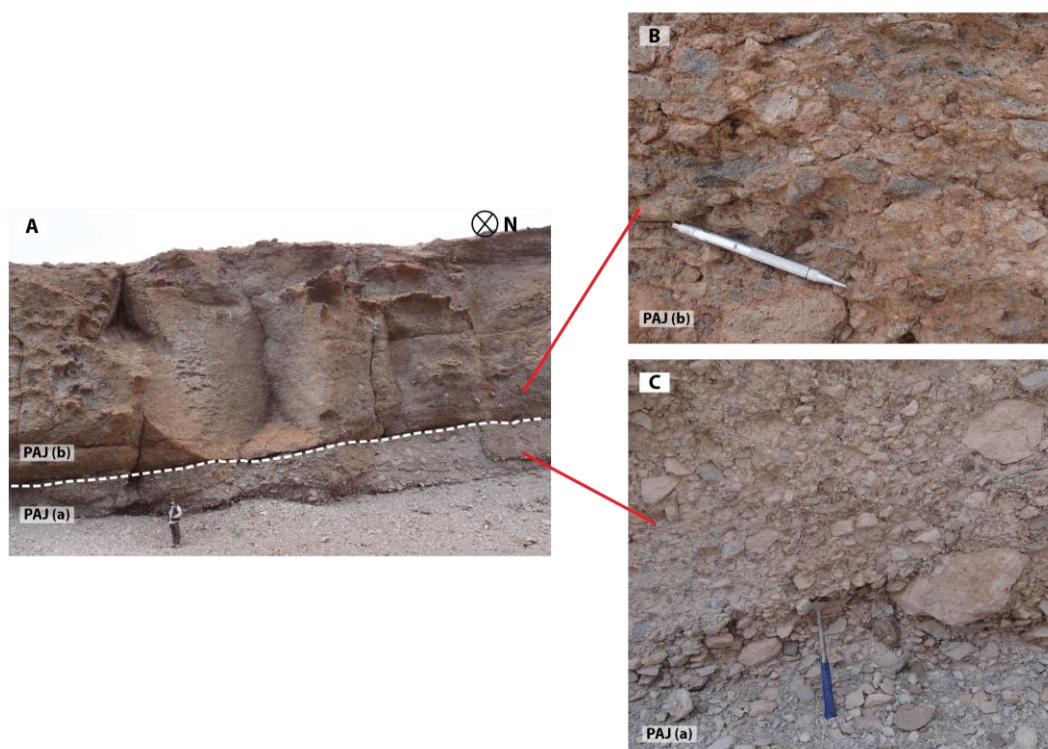


Figura 4.16: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Pajonales, al sureste del Salar de la Isla (localidad E). A muestra las subunidades PAJ (a) y PAJ (b) en su localidad más proximal, y B y C corresponden a un acercamiento de PAJ (b) y PAJ (c), respectivamente. Se puede observar que el mayor constituyente corresponde a líticos de hasta ~ 40 cm.

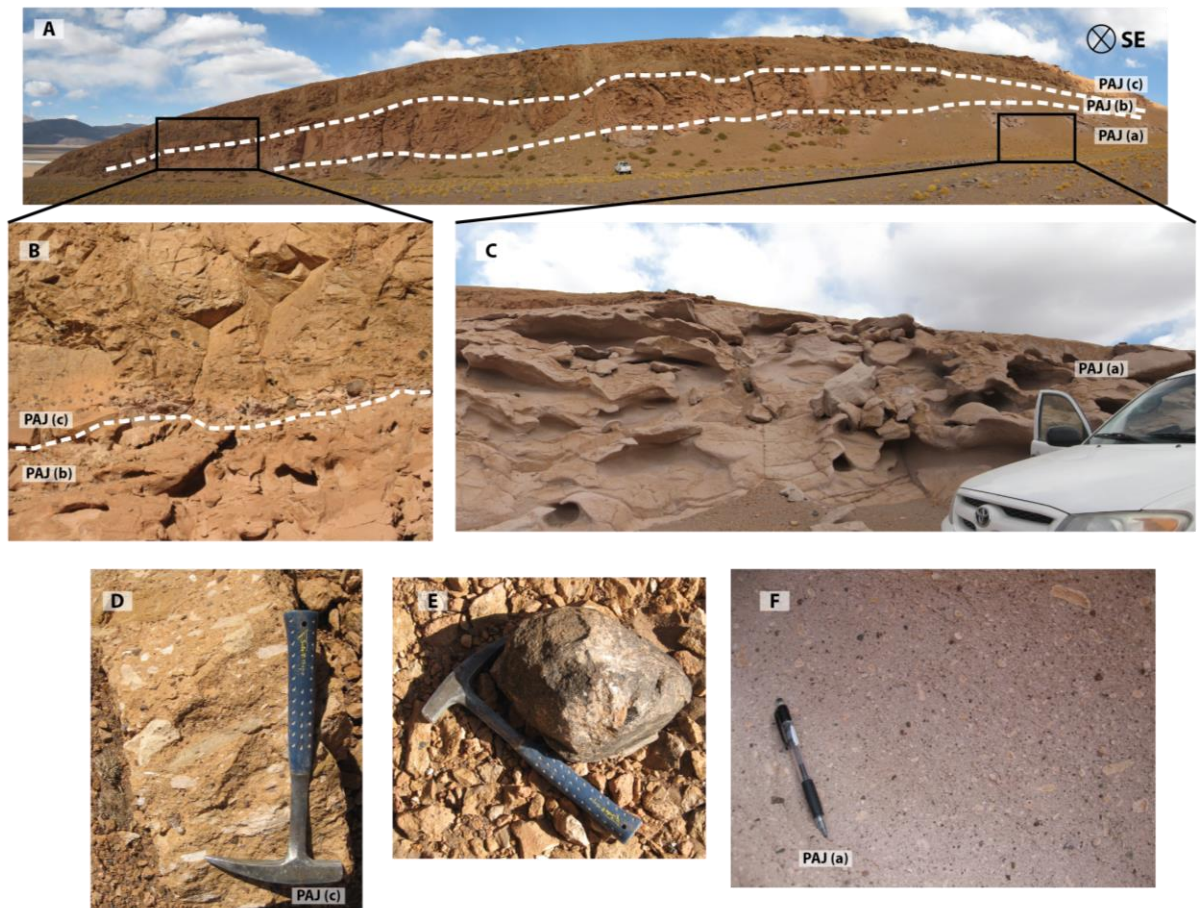


Figura 4.17: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Pajonales en el borde oriental del domo resurgente de la Caldera Aguilar (localidad D). A muestra una vista panorámica de las 3 subunidades de la Ignimbrita Pajonales, B muestra el contacto entre PAJ (b) y PAJ (c), donde se observa una capa rica en líticos redondeados negros, C muestra un acercamiento de PAJ (a), D muestra el detalle de una muestra de PAJ (c), en la que se observan pómez fibrosas centimétricas, E corresponde a un fragmento redondeado de un clasto vitrofórico de la parte baja de PAJ (c) y F muestra un acercamiento de PAJ (a), donde se observan abundantes fragmentos de pómez y líticos tamaño lapilli medio.

Existen dos factores que indican que hubo un nivel vitrofórico entre PAJ (b) y PAJ (c). El primero de ellos corresponde a una capa basal rica en fragmentos vitrofóricos redondeados (Figura 4.17B, E) en la columna D de la Figura 4.14, y el segundo corresponde a que PAJ (c) presenta un mayor grado de soldamiento en la localidad más lejana. Estos dos factores apuntan a que la depositación de PAJ (c) produjo inicialmente un nivel vitrofórico que habría sido erosionado en las partes más proximales y re-depositado en las partes intermedias, mientras que en la localidad más distal no habría sido erosionado.

#### 4.1.4 IGNIMBRITA JUNCALITO

La ignimbrita Juncalito se estudió en tres localidades (Figura 4.7). Está compuesta por 3 subunidades, dos de flujo y una de enfriamiento (Figura 4.18). La unidad de flujo basal (Junc(a), Figura 4.19.A, B) corresponde a una brecha lítica masiva, con bloques sub-redondeados de ignimbrita y lava de hasta 40 cm de diámetro (columna B de la Figura 4.18), que grada a una toba vítrea de lapilli con pómez fibrosas de hasta 40 cm de diámetro, pero generalmente < 15 cm (Figura 4.19.C, D), con 5-7 % de cristales de Pl, Bt, menor Am, escaso Qtz y aun menor contenido de Pxs (Figura 4.20) y escasos líticos < 3 cm, inmersos en una matriz rosada vítrea, cinerítica y abundante, rica en esquirlas de tamaño intermedio. Sobreyace un potente nivel de toba soldada de lapilli (Figura 4.19.E, F), con menor tamaño pómez (fiammes) que el nivel inferior.

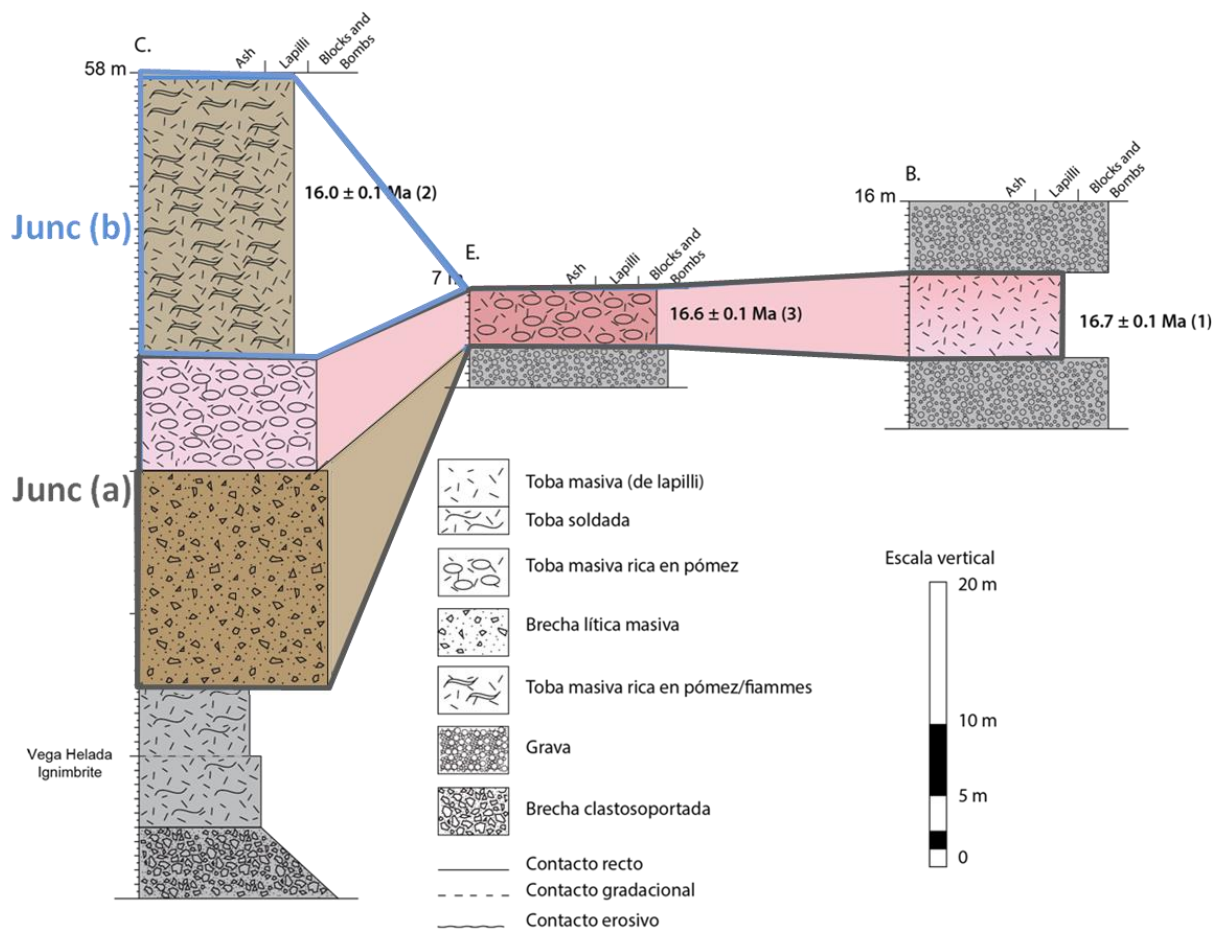


Figura 4.18: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Juncalito. Los números que se encuentran a la derecha de cada datación corresponden a dataciones radiométricas publicadas por Naranjo et al. (2016), detalladas en la Tabla 7.1, en Anexos.

Las facies distales (localidades E y B de la Figura 4.18) se encuentran distribuidas en paleo-quebradas e intercaladas entre depósitos de pie de monte. Las 3 facies reconocidas podrían haber sido depositadas a partir de una misma corriente con una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos, o que gradó lateral y temporalmente de dominada por flujo granular a dominada por escape de fluidos, y que agradó rápidamente, permitiendo el alto grado de soldamiento observado en la parte alta del depósito (Junc(b), Figura 4.18).



Figura 4.19: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Juncalito en la parte norte del portezuelo ubicado al este del Salar de Pedernales (localidad C). A muestra una vista panorámica de la Ignimbrita Juncalito sobre la Ignimbrita Vega Helada, B muestra la relación de contacto entre la brecha basal y Junc(a), C y D muestran el detalle de Junc(a), y E y F el detalle de Junc(b).

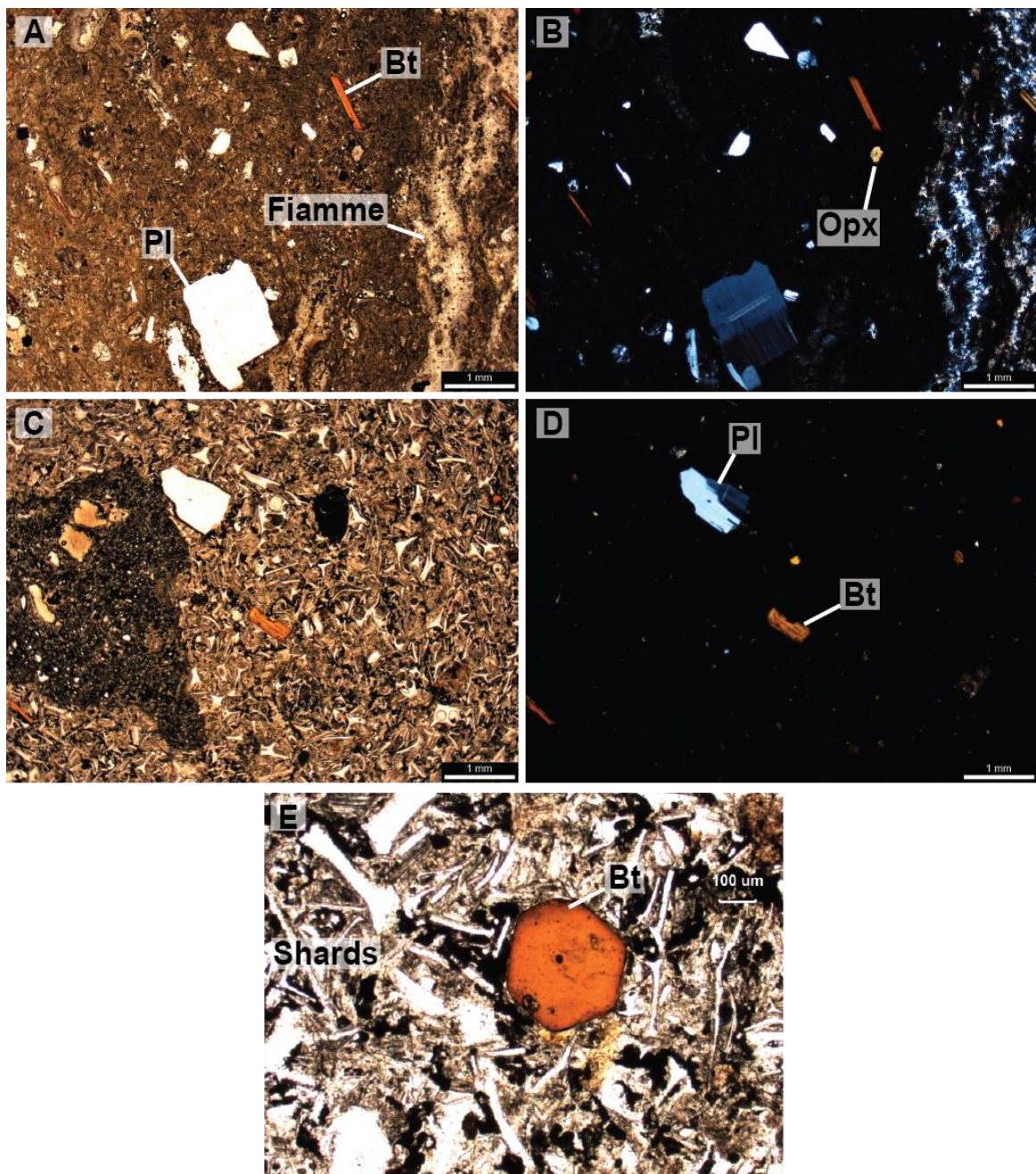


Figura 4.20: Fotomicrografías de la Ignimbrita Juncalito. A, C y E fueron capturadas a nicoles paralelos, mientras que B y D a nicoles cruzados. A, B, C y D tienen un aumento de 2X y E de 5X. A y B corresponden a la subunidad Junc(b), C, D y E corresponden a Junc(a). Se observan escasos cristales de Pl, Bt y Opx en una matriz rica en esquirlas.

En las localidades más distales (B y E) solo se preservó el segundo depósito (Junc(b)) y probablemente llegó hasta esas localidades a través de paleo-quebradas. Al igual que la Ignimbrita Río Frío, se encuentra intercalada entre depósitos asociados a las Gravas de Atacama, evidenciando una coetaneidad con el alzamiento andino.

#### 4.1.5 IGNIMBRITA SALAR GRANDE

Se pudieron estudiar en detalle 6 localidades de la Ignimbrita Salar Grande, indicadas con las letras de la A a la F de la Figura 4.21.

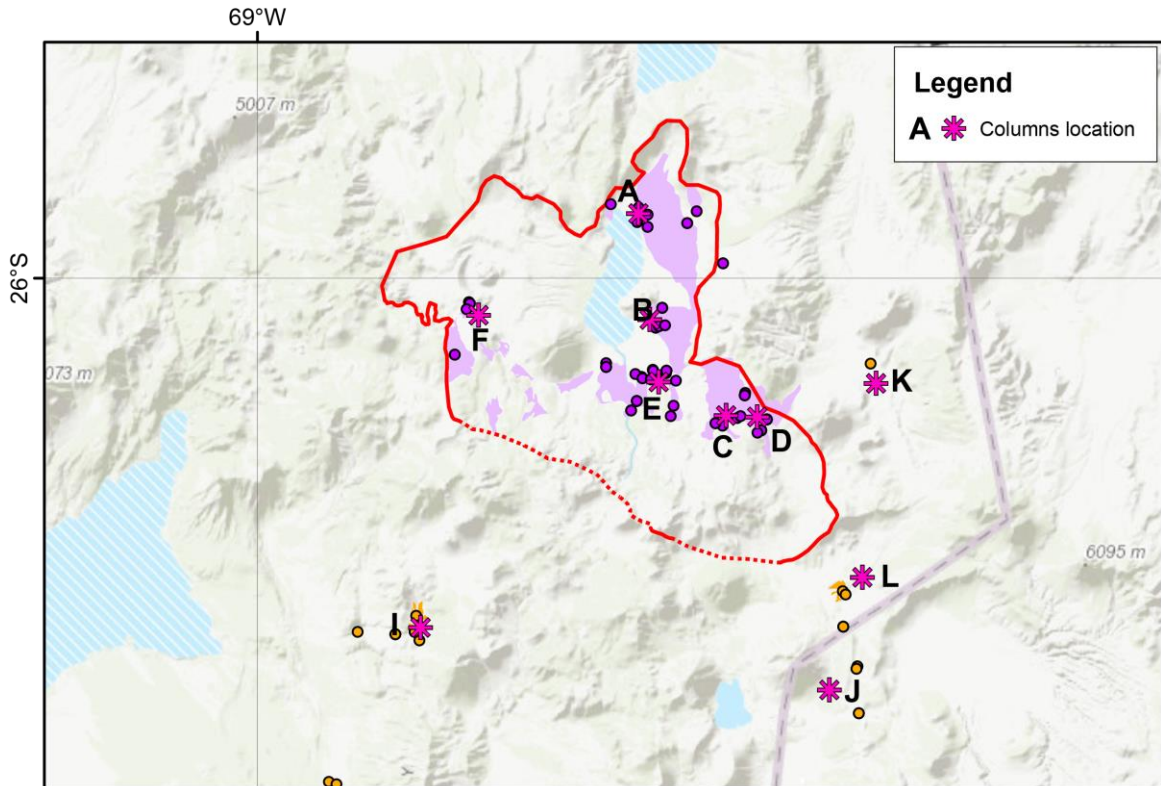


Figura 4.21: Ubicación de las localidades donde se levantaron columnas estratigráficas de las ignimbritas Salar Grande (A-F) y San Andrés (I-L). Las columnas I, J, K y L también incluyen niveles de las ignimbritas Barrancas Blancas, Los Colorados y Laguna Verde.

A modo de resumen, esta unidad está formada por múltiples niveles de tobas de lapilli, con cantidades variables de pómez tubiformes de diversos colores y tamaños, y fragmentos líticos variables, que pueden llegar a tamaños métricos, intercalados con niveles brechosos (Figura 4.23, Figura 4.25, Figura 4.26). En total, se distinguen 10 niveles diferentes, los que fueron agrupados en cuatro subunidades (SG-1, SG-2, SG-3 y SG-4) y cuya correlación lateral se muestra en la Figura 4.22.

La petrografía de sus distintos niveles es similar, presenta escasos cristales de Pl, Bt y menor Am (Figura 4.28, Figura 4.29), pero en las facies más soldadas, donde forma un nivel vitrofírico, puede llegar a tener hasta 35 % de cristales (Figura 4.29.D, E).

Se reconocen múltiples estructuras, como gradaciones inversas y normales de pómez y líticos, laminaciones paralelas y pipas de desgasificación (Figura 4.26). Tiene edades reportadas de entre 11 y 13 Ma (Tabla 7.1, Naranjo y Clavero, 1992, Clavero *et al.*, 1998, Naranjo *et al.*, 2016, Naranjo *et al.*, 2018a).

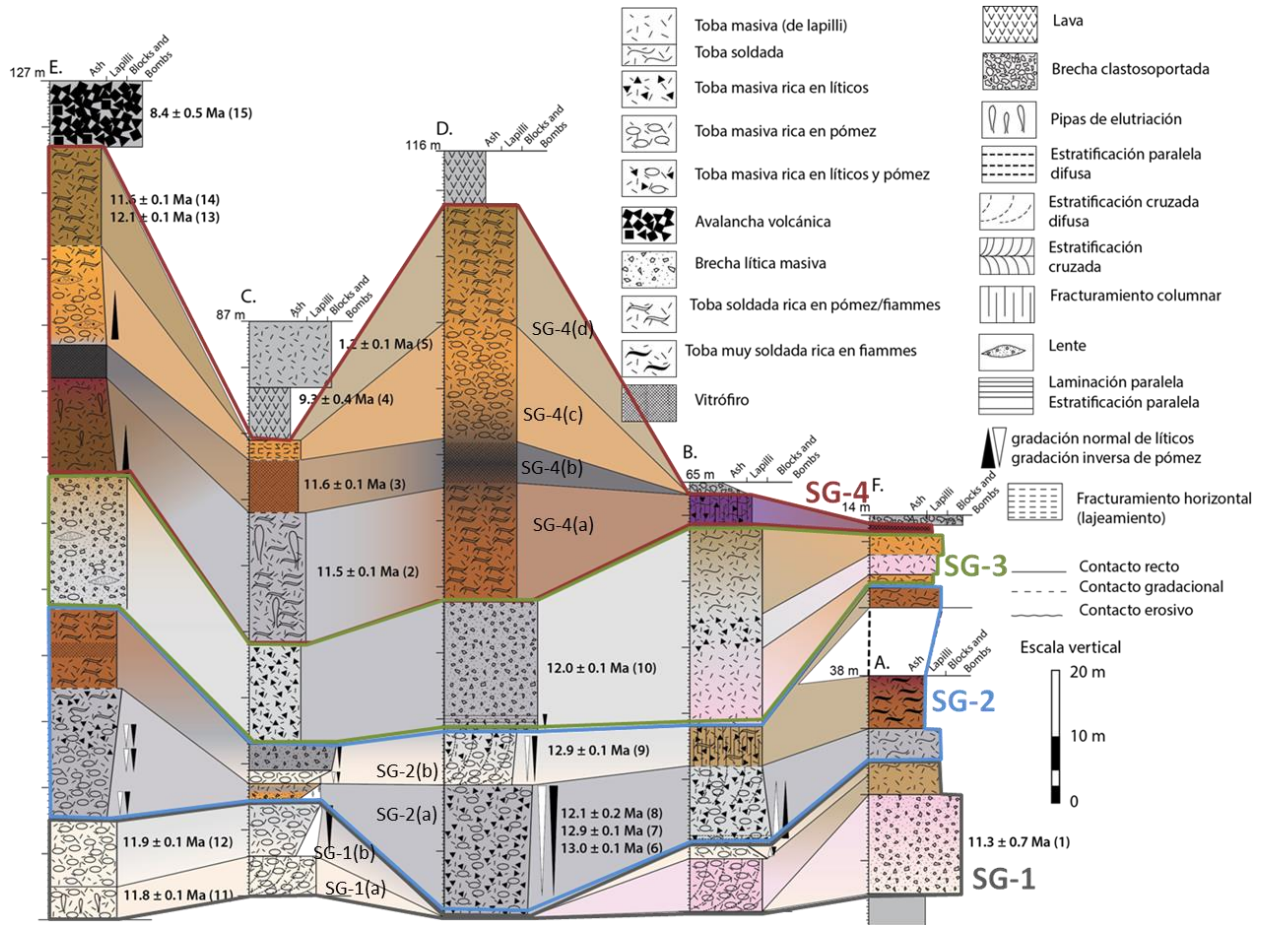


Figura 4.22: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Salar Grande. Los números que se encuentran entre paréntesis a la derecha de cada columna corresponden a dataciones radiométricas, detalladas en la Tabla 7.1, en Anexos. El orden de las columnas no representa una dirección de flujo, ya que se reconocieron diferentes direcciones, por lo que no es posible ordenarlas según su distribución de facies. La ubicación de cada columna se muestra en la Figura 4.21.

La distribución de facies permite deducir una serie de colapsos parciales de la Caldera Salar Grande, a partir de las direcciones más probables de flujo (Figura 4.27). A continuación, se detallan las características principales de cada subunidad y se interpretan sus variaciones.



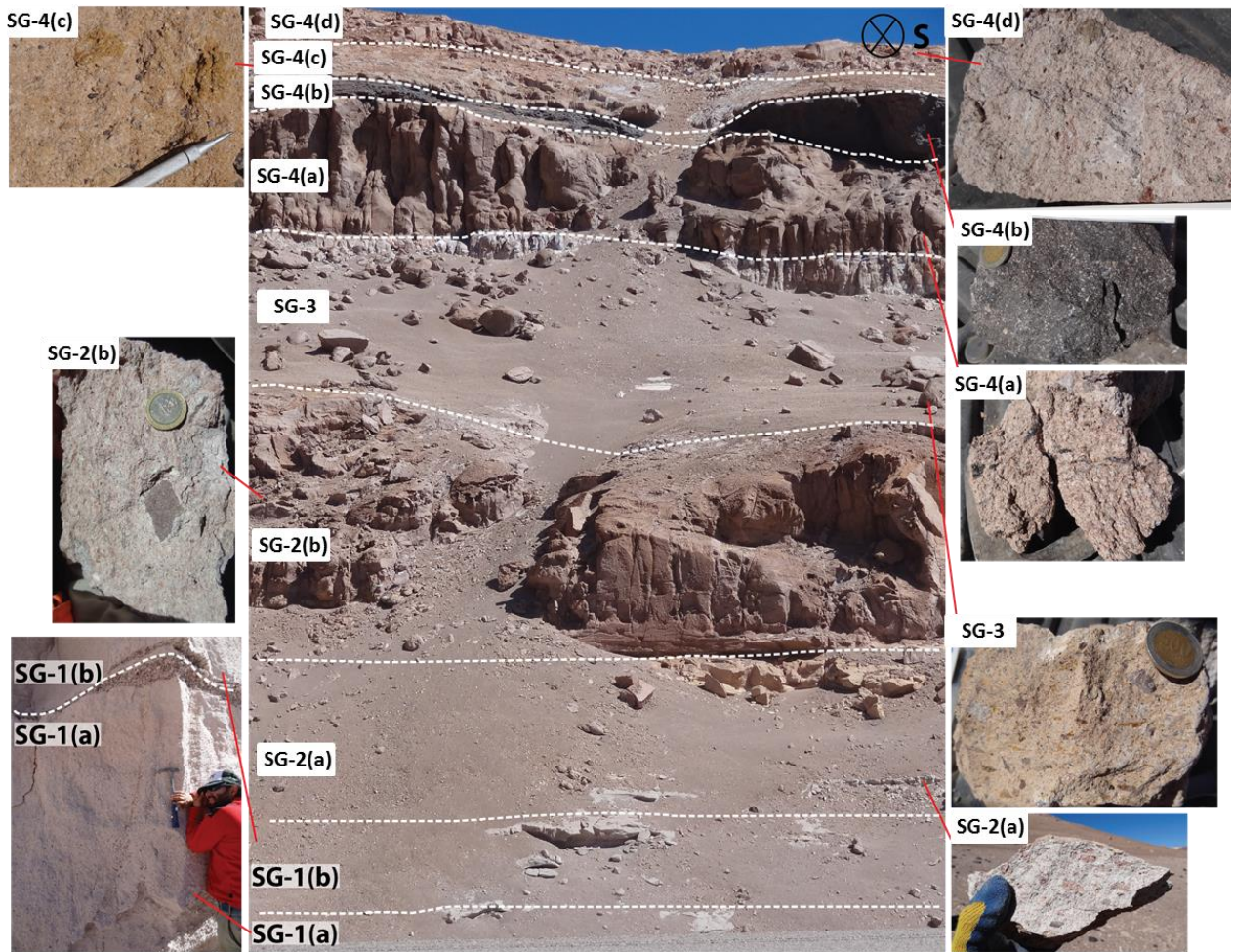


Figura 4.23: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Salar Grande en el extremo sur de la Laguna Seca (localidad E de la Figura 4.22, sector conocido como “La Torta”). Se observan 9 litofacies diferentes.

SG-1 presenta una brecha basal con abundantes líticos en una matriz de cenizas (Figura 4.22, columna A). Sobre ella, se reconoce una toba masiva de color blanco, rica en pómez tamaño lapilli medio a grueso, con pipas de desgasificación (SG-1(a) y SG-1(b) en la Figura 4.23). Se interpreta como el registro de una primera fase eruptiva, que se habría debido al colapso del extremo norte de la caldera Salar Grande, produciendo una corriente de densidad inicialmente muy concentrada, que avanzó hacia el SSE y que habría depositado el material más denso (mayor cantidad de líticos) en la localidad A (Figura 4.22A, Figura 4.27A). Es probable que se haya depositado a través de una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos (La subunidad SG-1(a) presenta pipas de desgasificación en la localidad E, indicando un escape de fluidos intenso).

Probablemente, SG-1 tuvo dos etapas agradacionales, formando dos niveles en las facies más distales (Figura 4.24, SG-1 en las localidades B, C y E de la Figura 4.22; SG-1(a) y SG-1(b) en la Figura 4.23). La localidad D no registra este nivel, probablemente debido a la presencia del Cordón las Chinchillas, que corresponde a un alto topográfico, que habría evitado el paso de la corriente piroclástica hacia el SE. En las localidades B y C muestra estratificación difusa, lo que se puede deber a la acción de remolinos por un aumento local de la turbulencia, provocando un comportamiento transicional de la *flow boundary zone*, aumentando su componente traccional (Figura 3.9, para mayor detalle ver Fig. 4.5 de Branney y Kokelaar, 2002).

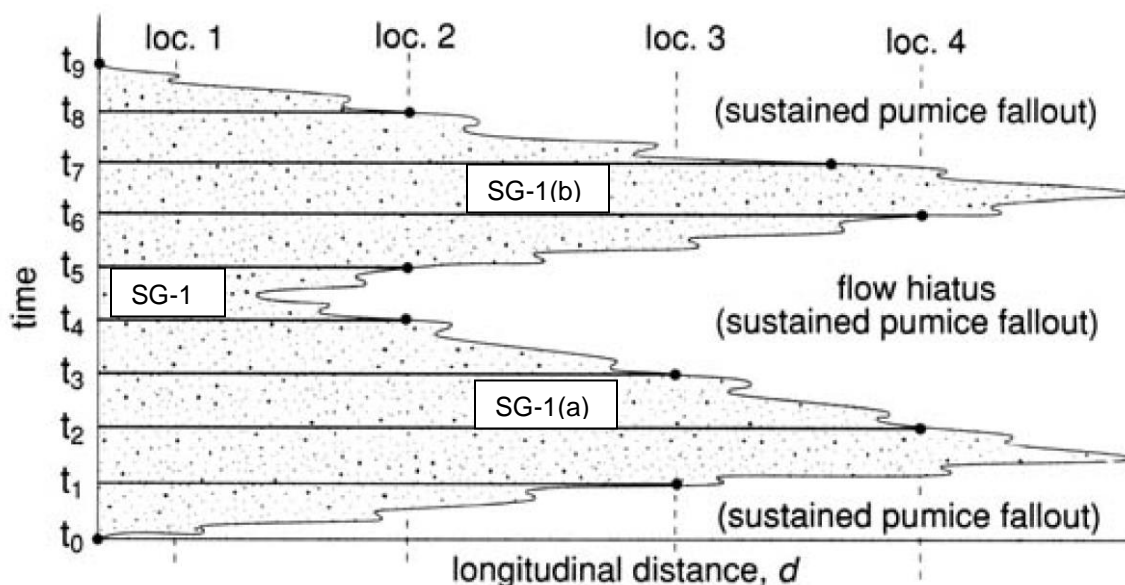


Figura 4.24: Variación lateral de espesores depositados a partir de una misma corriente con dos períodos agradacionales. SG-1(a) y SG-1(b) corresponden a la separación distal de una misma corriente que agradó dos veces. Modificado de Branney y Kokelaar, 2002.

Le sigue la deposición de SG-2(a), que gradada lateralmente de una toba masiva rica en líticos a una toba soldada rica en pómez. El contenido y tamaño de líticos de este nivel se reduce hacia el NW, lo que podría indicar una dirección de flujo hacia el NW, avanzando desde la localidad D a A en el orden D-C-E-B-A, sin llegar hasta F, indicando un segundo colapso parcial, del extremo SE de la Caldera Salar Grande (Figura 4.27B). SG-2(b) habría sido depositada a partir de la misma corriente piroclástica, pero sí habría logrado llegar hasta la localidad F (Figura 4.22). Su

distribución lateral de facies permite deducir una misma dirección de flujo (hacia el NW), indicada por una pérdida de líticos (Figura 4.22, Figura 4.27B).

Se deduce que SG-2 fue depositada a partir de una sola corriente (Figura 4.27B), con una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos, con una leve componente traccional en las localidades B y D, lo que favoreció la formación de estructuras sedimentarias (Figura 4.22, Figura 4.25). El espesor menor en la localidad C se explica debido al paso a través del alto topográfico que representa el Cordón de las Chinchillas. La parte más alta del depósito (SG-2(b)) habría agradado rápidamente, favoreciendo su soldamiento, llegando a formar un nivel vitrofírico en la localidad E (A, E y F, Figura 4.22). Se observan diferentes gradaciones granulométricas, que se pueden deber a variaciones en las condiciones de transporte y depositación: inversa de pómez y líticos en D, asociado a un descenso en la cohesión y capacidad de arrastre debido al descenso de la tasa eruptiva; en C se observan múltiples gradaciones, asociadas a variaciones locales de las condiciones en la *flow boundary zone* debido a la dificultad de pasar el Cordón las Chinchillas; varias gradaciones inversas en E, debido al retraso de las partes más densas, que viajan en la parte más baja del flujo por arrastre y saltación; y finalmente una gradación normal de líticos y pómez en B, asociado a un debilitamiento gradual de la corriente piroclástica.

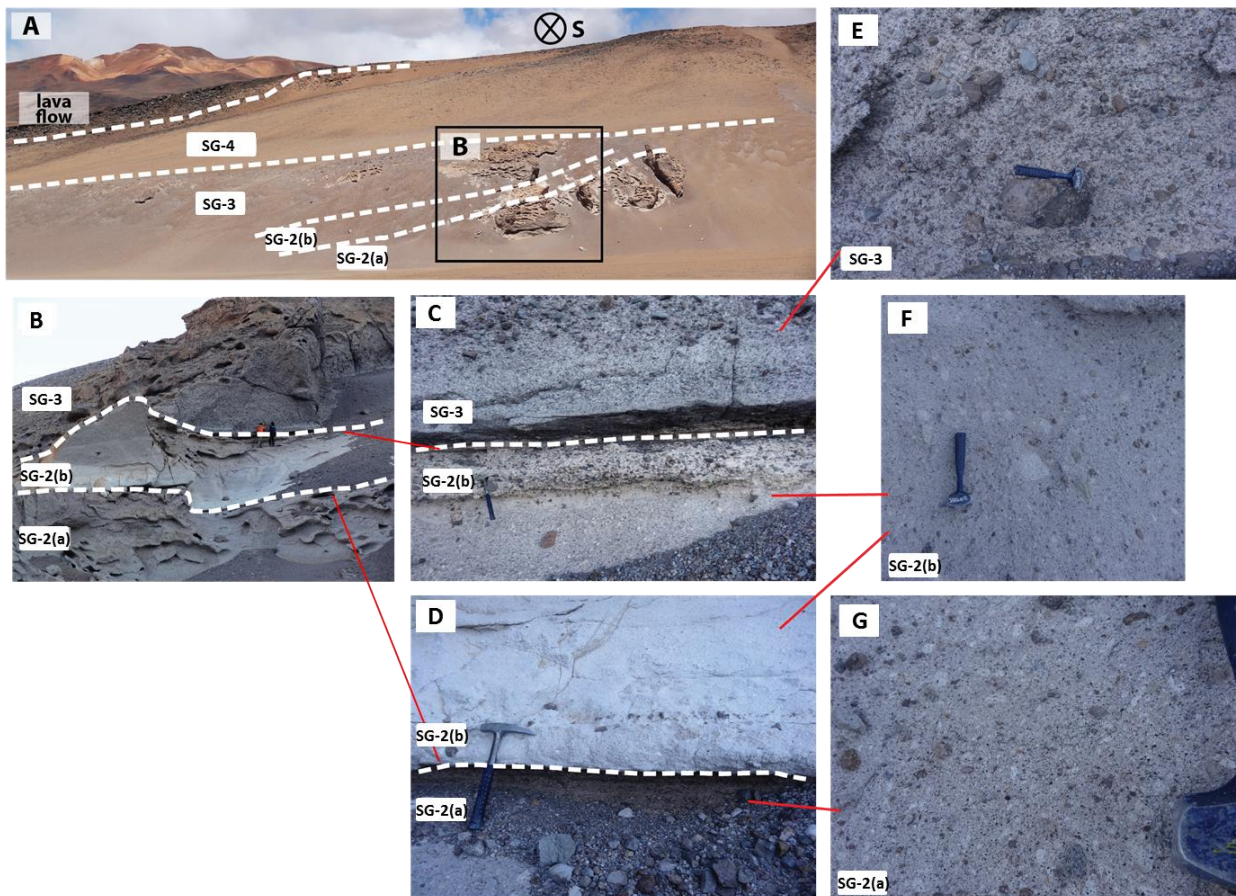


Figura 4.25: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Salar Grande en el flanco oriental del Cordón de las Chinchillas (localidad D Figura 4.22). A corresponde a una vista panorámica hacia el sur, B es un acercamiento de los niveles SG-2 y SG-3, C y D muestran el contacto entre SA-2(a), SG-2(b) y SG-3, E, F y G muestran el detalle de cada nivel.

SG-3 es una toba masiva muy rica en líticos gruesos, salvo en la localidad F, donde es pobre en líticos (Figura 4.22), indicando una dirección de flujo hacia el suroeste. Se interpreta una depositación a través de una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos, con una componente traccional importante, permitiendo la formación de laminación paralela en la base de la localidad D y algunos lentes en la localidad E (Figura 4.22). Este flujo se asocia a un tercer colapso, de parte del borde oriental de la Caldera Salar Grande (Figura 4.27C), arrastrando gran cantidad de líticos y agradando de forma sostenida. Probablemente la localidad B no tiene líticos en su base debido a que, al ser más distal, se demoraron más en llegar por un método de transporte más lento (arrastre y saltación).

Finalmente, la subunidad SG-4 corresponde a una toba soldada de lapilli con pipas de desgasificación, cuyo grado de soldamiento aumenta hasta formar un nivel

vitrofórico, para luego volver a disminuir (Figura 4.23). Su depositación fue a través de una corriente con una *flow boundary zone* dominada por el escape de fluidos, con una dirección predominante E-W, indicada por el espesor de los depósitos, asociada a un cuarto colapso parcial del sector oriental de la caldera (Figura 4.22, Figura 4.27D). Estos depósitos representan la etapa final de la erupción, registrando un descenso de la tasa eruptiva, lo que habría generado una agradación muy rápida del depósito, permitiendo la formación de un nivel vitrofórico de hasta 3 metros de espesor, debido al aplastamiento estando aún caliente. En las localidades C y E se observan abundantes pipas de desgasificación (Figura 4.22, Figura 4.26), indicando un escape de fluidos intenso. La localidad E muestra dos gradaciones normales de líticos, que se podrían deber al descenso de la capacidad de arrastre de la corriente y podrían estar indicando que el flujo se vio interrumpido entre la depositación de SG-4(b) y SG-4(c), probablemente debido a variaciones en la tasa eruptiva o de la dirección principal de la corriente piroclástica (ver Figura 4.24). Los niveles se adelgazan en la localidad C, debido a la dificultad del flujo para remontar el alto topográfico que representa el Cordón las Chinchillas.

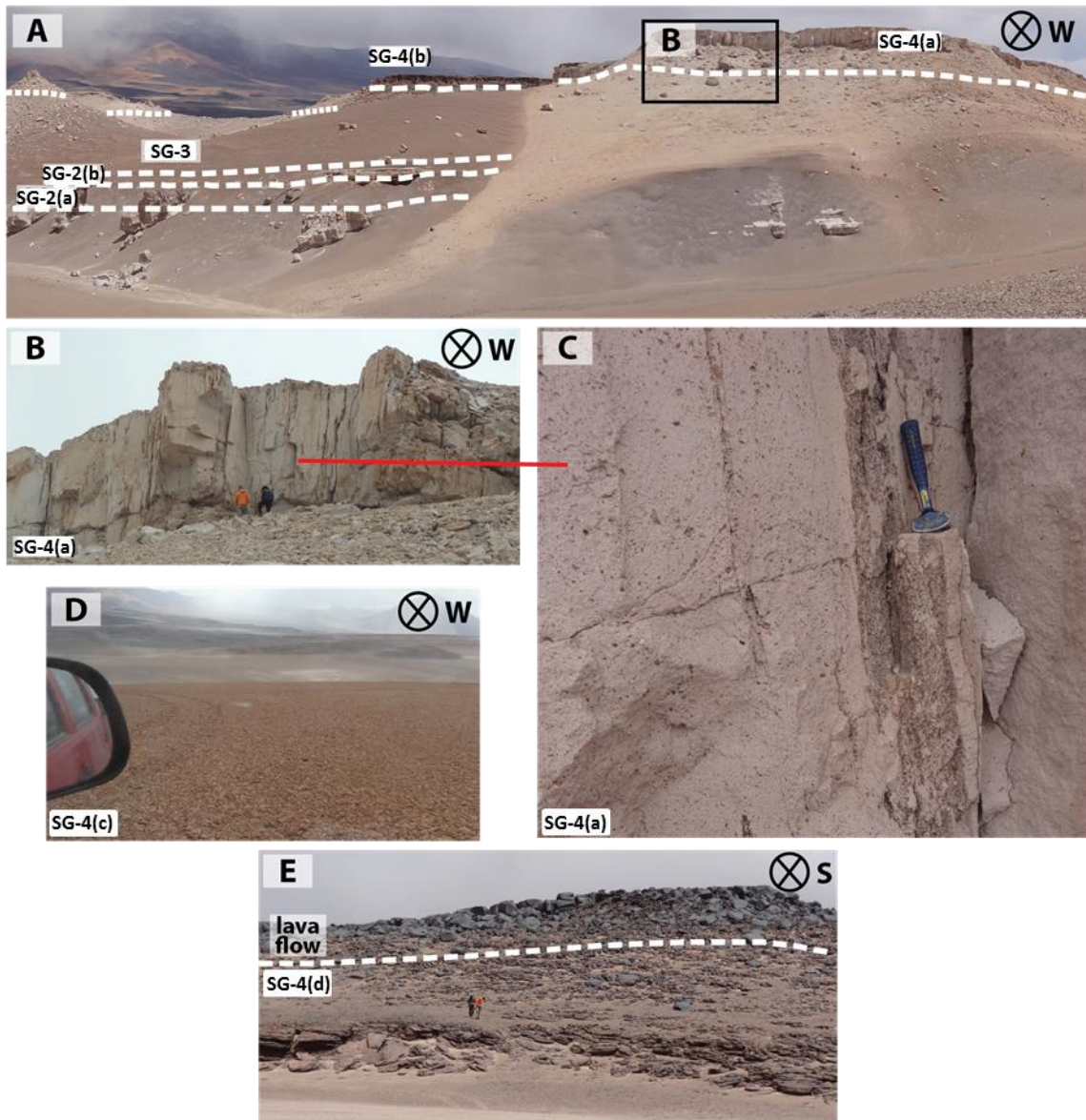


Figura 4.26: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Salar Grande en la parte occidental del Cordón de las Chinchillas (localidad C Figura 4.22). A corresponde a una vista panorámica hacia el oeste, B a un acercamiento a la parte alta de A, donde se observan abundantes pipas de desgasificación de la subunidad SG-4(a), detalladas en la imagen C. D corresponde a una imagen que muestra la subunidad SG-4(c) intensamente fracturada y E muestra la relación de contacto entre la ignimbrita Salar Grande y lavas que la cubren.

En una etapa posterior, el colapso del sector occidental de la Caldera Salar Grande podría haberse producido durante la erupción del Volcán Chato Aislado, generando una subsidencia tipo *downsag* (hundimiento del piso de la caldera, sin la generación de un escarpe) (Figura 4.27E). También se produjeron algunas remociones en masa posteriores a la depositación de la Ignimbrita Salar Grande, como es el caso de la localidad E, que se encuentra cubierta por depósitos de avalancha volcánica, provenientes del escarpe sur de la Caldera Salar Grande (Figura 4.22).

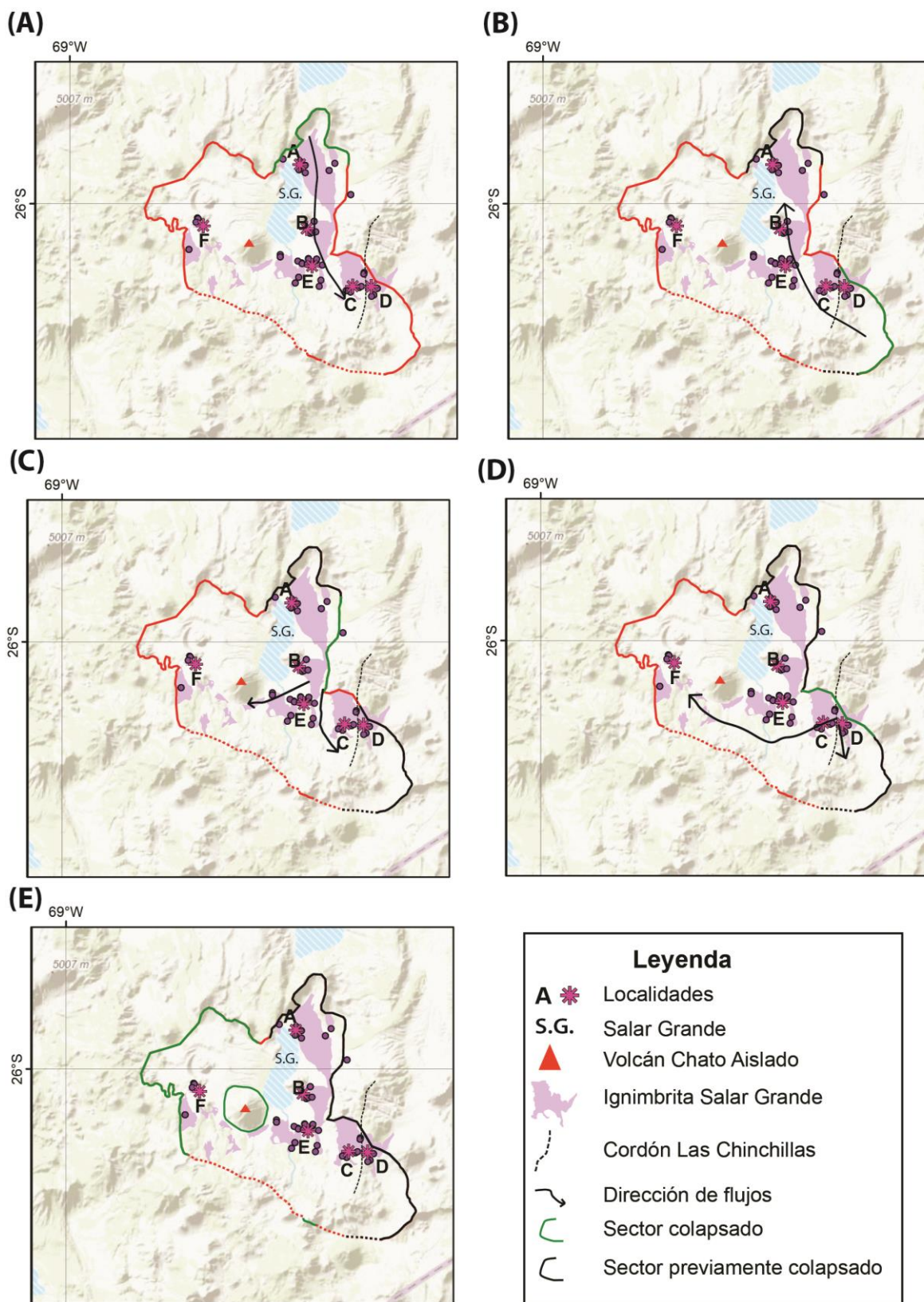


Figura 4.27: Evolución del colapso de la Caldera Salar Grande y distribución de corrientes piroclásticas de densidad. (A) colapso parcial del sector noreste de la caldera, habría generado la subunidad SG-1, (B) segundo colapso parcial del borde SE de la caldera y habría generado la subunidad SG-2, (C) colapso parcial de parte del borde oriental de la caldera, habría generado SG-3 (D) colapso parcial del resto del borde oriental de la caldera que habría generado SG-4 (E) etapa posterior de colapso tipo downsag asociada a la erupción del Volcán Chato Aislado.

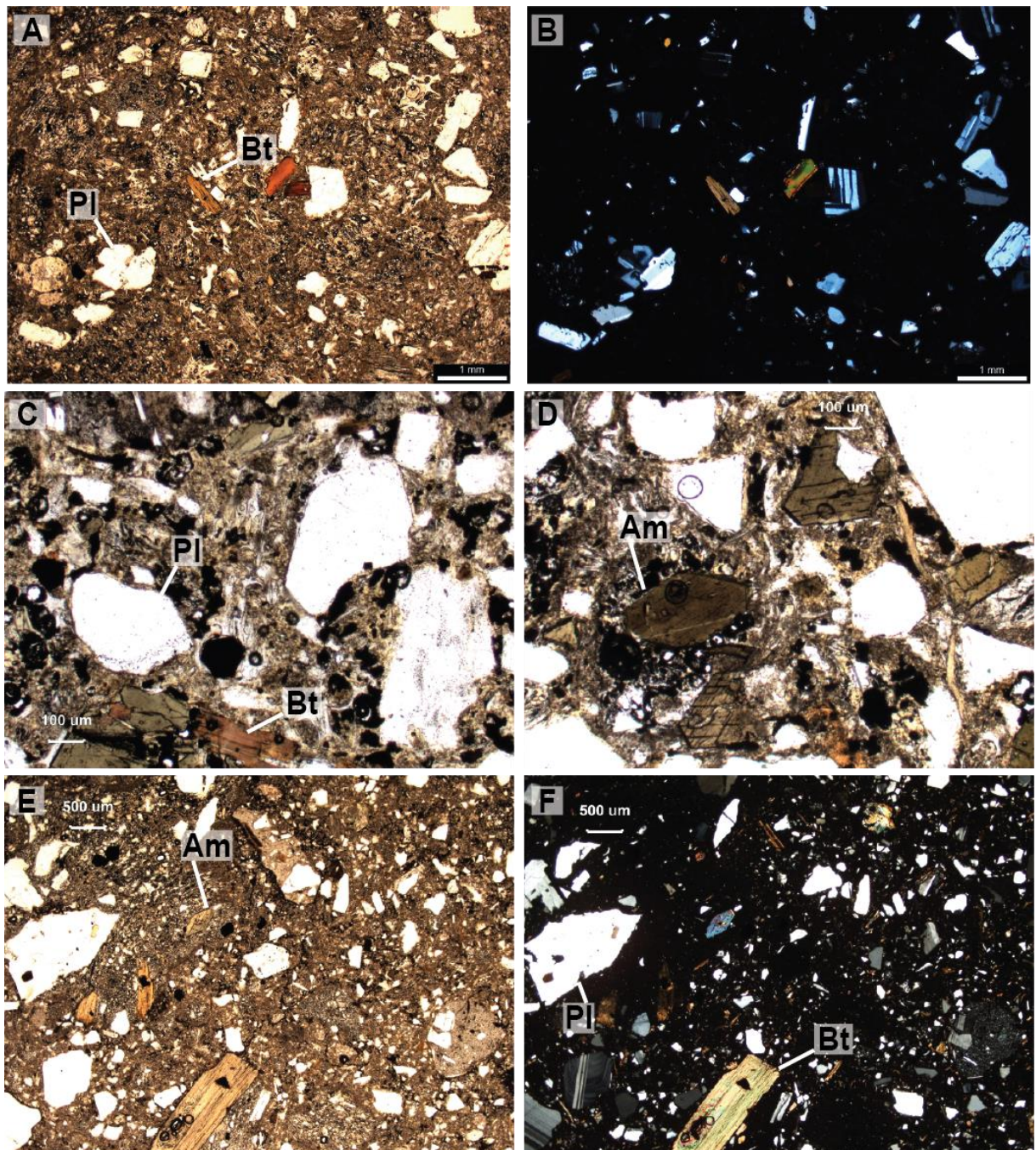


Figura 4.28: Fotomicrografías de la Ignimbrita Salar Grande. A, C, D y E fueron capturadas a nicols paralelos y B y F a nicols cruzados, A, B, E y F con un aumento de 2X y C y D con un aumento de 5X. Se observan cristales de Pl, Bt y menor Am inmersos en una matriz con cantidad variable de líticos y fragmentos cristalinos. A y B corresponden a la subunidad SG-1(a), C y D a la subunidad SG-2(a) y E y F a la subunidad SG-2(b).



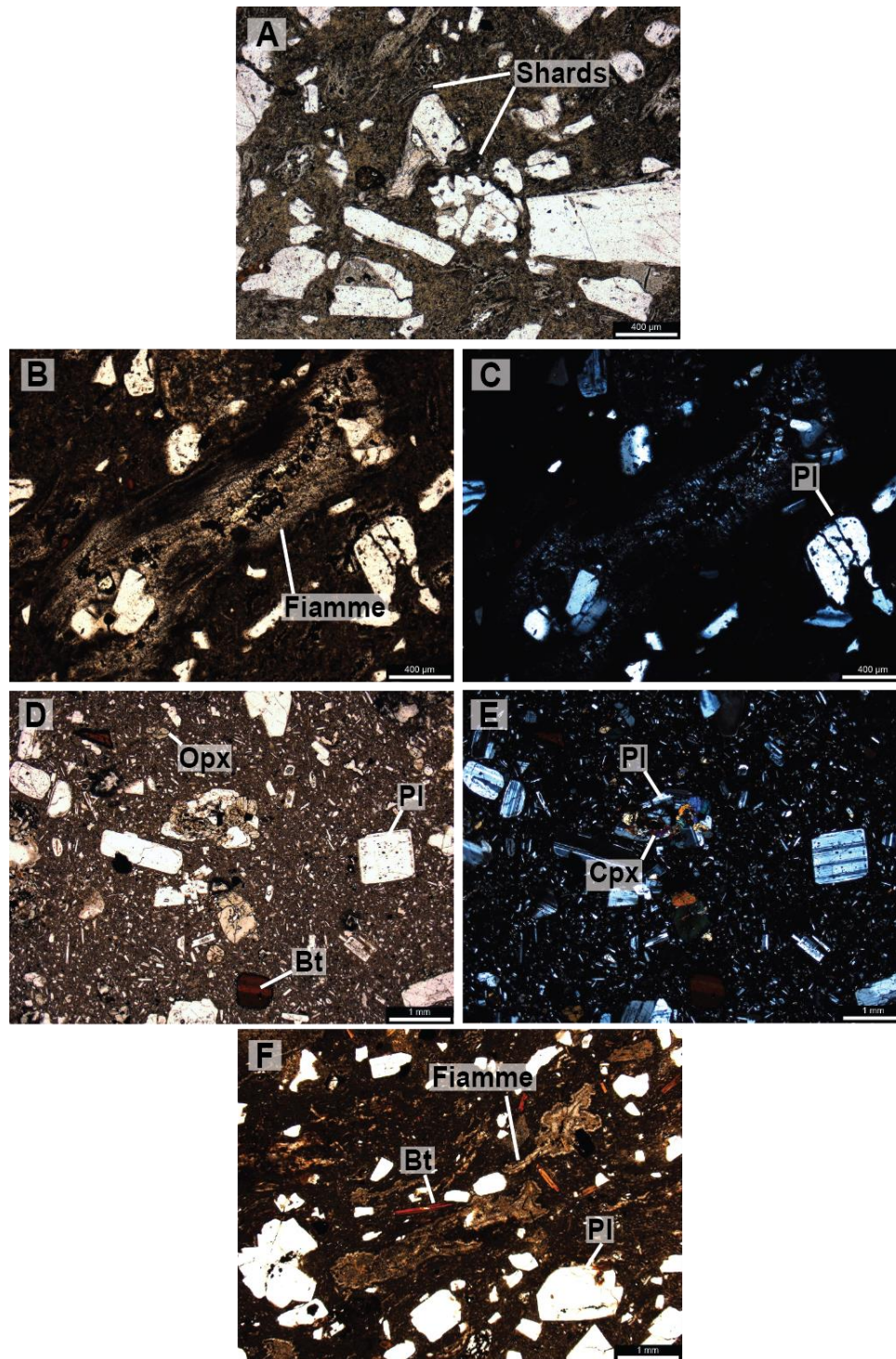


Figura 4.29: Fotomicrografías de la Ignimbrita Salar Grande, A, B, D y F a nicoles paralelos y C y E a nicoles cruzados. A, B y C con un aumento de 5X y D, E y F de 2X. A, C y E corresponden a la subunidad SG-2(b) y muestran algunas esquirlas aplastadas (shards), una fiamme desvitrificada con escasos cristales de Pl. D y E corresponden al segundo nivel vitrofórico (SG-4(b)) y muestran un mayor contenido de cristales que las demás subunidades, debido a una mayor compactación. Se observan cristales de Pl, Bt, Opx escaso y un glomero-pórfido-cristal de Pl y Cpx. F corresponde a la subunidad SG-4(c) y se observan cristales de Pl, Bt y fiammes muy aplastadas, debido a un alto nivel de soldamiento.

#### **4.1.6 IGNIMBRITA BARRANCAS BLANCAS**

La ignimbrita Barrancas Blancas solo se reconoció en una localidad, correspondiente a la localidad L de la Ignimbrita San Andrés (Figura 4.32), por lo que no se pueden detallar sus variaciones de facies. Corresponde a ~1 m de toba cristalina soldada de lapilli, color gris claro, con cristales de Pl, Qtz embahiado, Bt, Cpx y Am, pómez grises aplastadas a fiammes de hasta 2 cm, algunas vesiculares y fibrosas, y menor contenido de líticos de hasta 3 cm (Figura 4.30, Figura 4.31). La matriz es vítrea, con escasas esquirlas finas levemente aplastadas y fragmentos cristalinos.

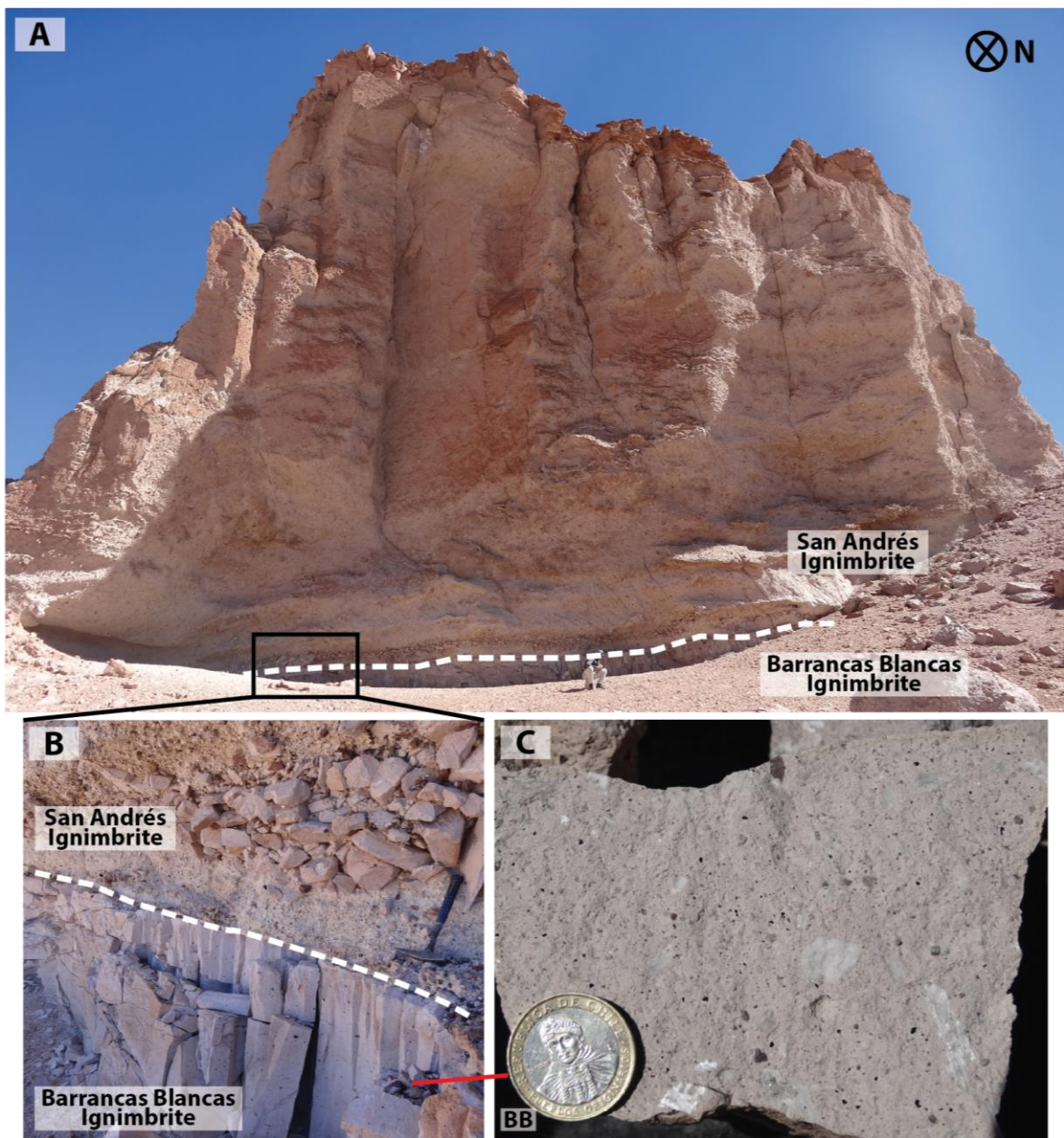


Figura 4.30: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Barrancas Blancas en la quebrada homónima (localidad L de la Figura 4.32). Corresponde a la base de esta localidad compuesta, se encuentra intensamente fracturada y está cubierta por la Ignimbrita San Andrés mediante un contacto erosivo. A muestra su relación de contacto con la Ignimbrita San Andrés, B muestra el detalle de dicho contacto y C una muestra de mano de la Ignimbrita Barrancas Blancas.

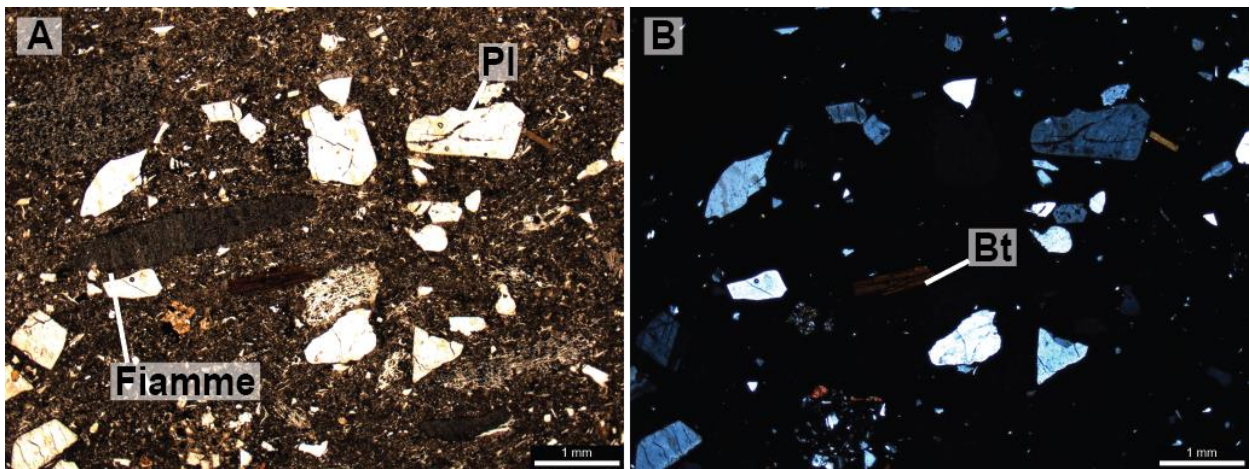


Figura 4.31: Fotomicrografías de la Ignimbrita Barrancas Blancas. A fue capturada a nicols paralelos y B a nicols cruzados, ambas con un aumento de 2X. Se observan cristales de Pl, Bt y fiammes escasas.

#### 4.1.7 IGNIMBRITA SAN ANDRÉS

Se estudiaron 6 localidades de la Ignimbrita San Andrés, indicadas con las letras de la G a la L en la Figura 4.32.

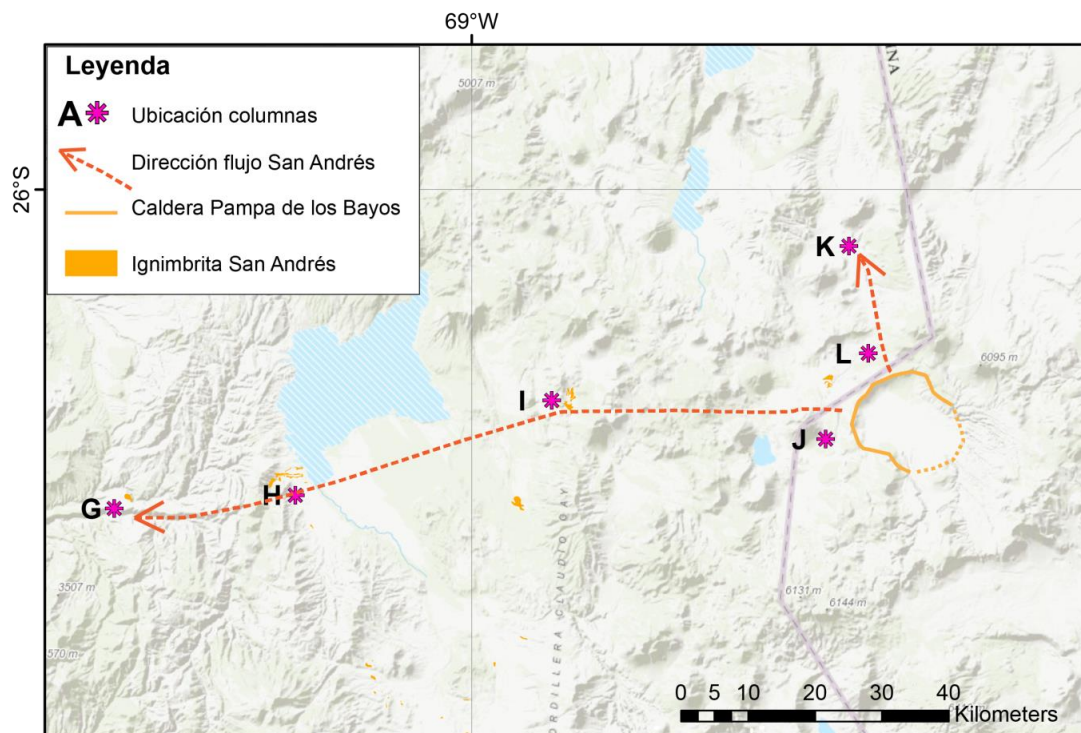


Figura 4.32: Distribución y dirección de flujo de la Ignimbrita San Andrés a partir de su fuente, la Caldera Pampa de los Bayos.

El análisis detallado de la litología y la petrografía de las distintas localidades permitió reconocer tres litofacies diferentes: una brecha basal, una toba masiva de lapilli

de color rosado y una toba masiva de lapilli rosada-pálida a blanca. La brecha basal y la primera toba masiva se nombraron como una única subunidad, SA-1, mientras que la segunda toba se nombró SA-2 (Figura 4.33).

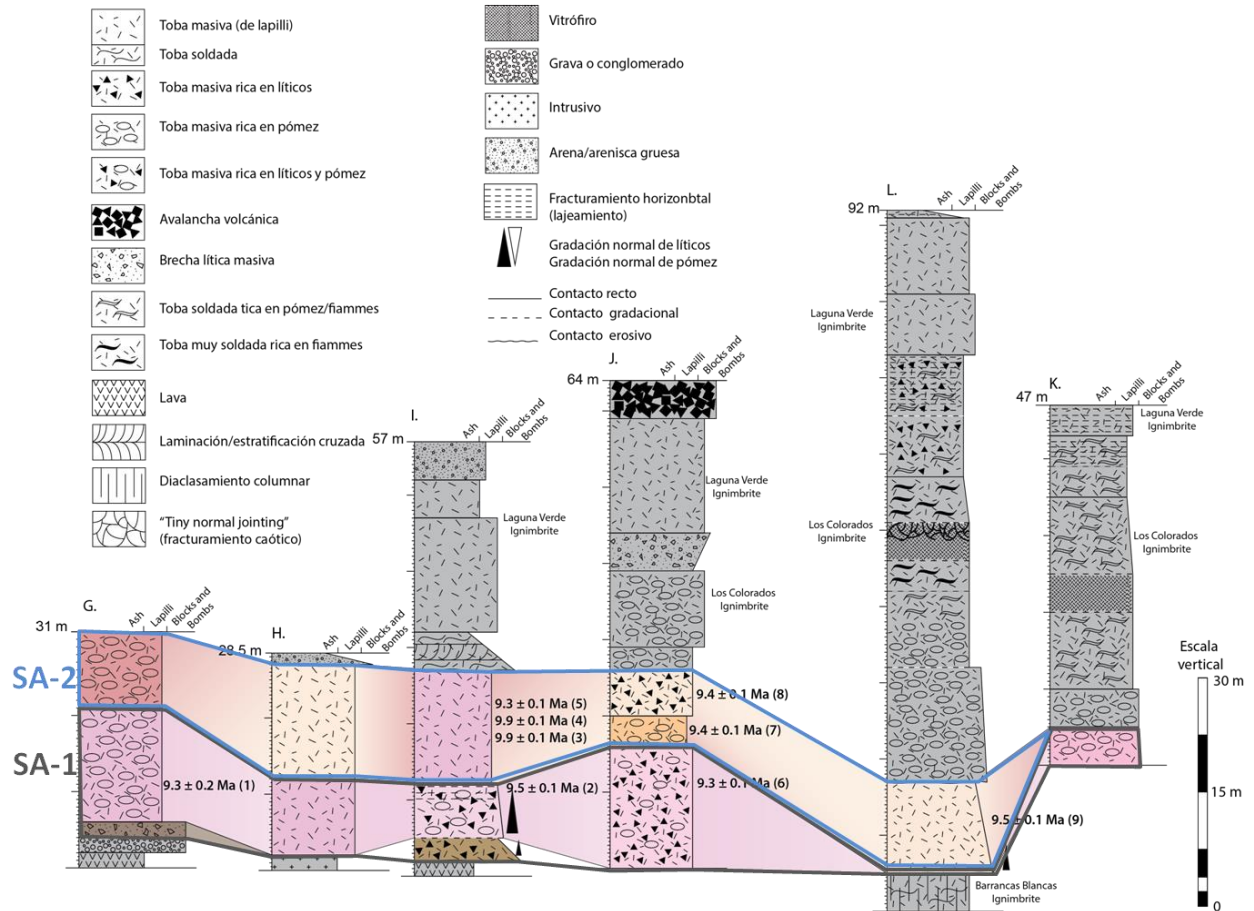


Figura 4.33: Correlación de las litofacies reconocidas en las distintas localidades estudiadas de la Ignimbrita San Andrés, indicadas en la Figura 4.32. Las columnas están ordenadas de izquierda a derecha desde más distal a más proximal con respecto a la Caldera Pampa los Bayos, salvo por la localidad K, que se encuentra hacia el norte de dicha caldera. Las dataciones indicadas fueron publicadas por Naranjo et al., 2016, y se detallan en la Tabla 7.1, indicadas con el número entre paréntesis a la derecha de cada edad.

Ambas, SA-1 y SA-2, corresponden a tobas masivas de lapilli, con pómez fibrosas blancas y cantidad variable de líticos. Se diferencian únicamente por la coloración, siendo SA-1 más rosácea y SA-2 más pálida (Figura 4.34). Contienen hasta 15 % de cristales de PI, Bt y Qtz, con menor contenido de Am y Pxs (Figura 4.35).

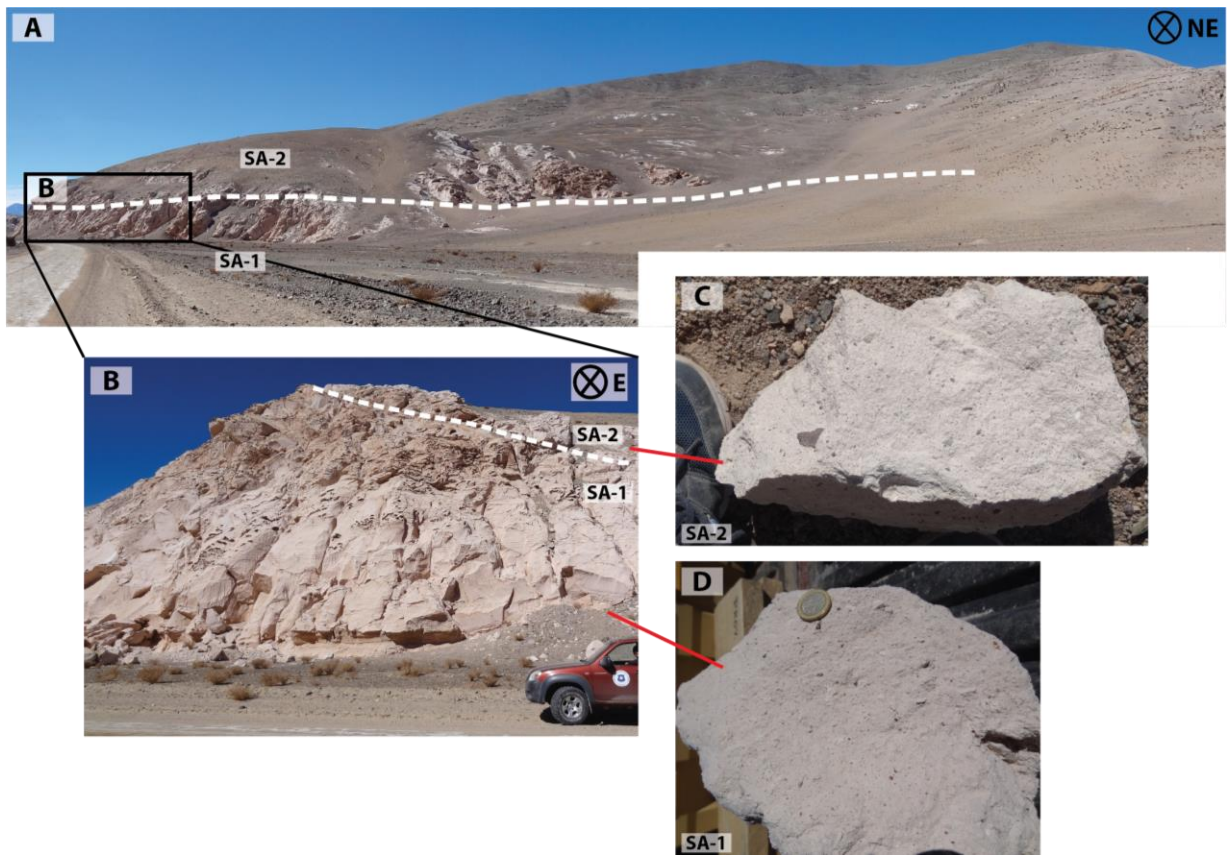


Figura 4.34: Fotografías de terreno de la Ignimbrita San Andrés, al oeste del Salar de Pedernales (localidad H, Figura 4.32). A es una vista panorámica donde se aprecia una tonalidad más rosada de SA-1 en comparación con SA-2, B muestra un acercamiento al afloramiento y C y D muestran el detalle de una muestra de mano de SA-2 y SA-1, respectivamente.

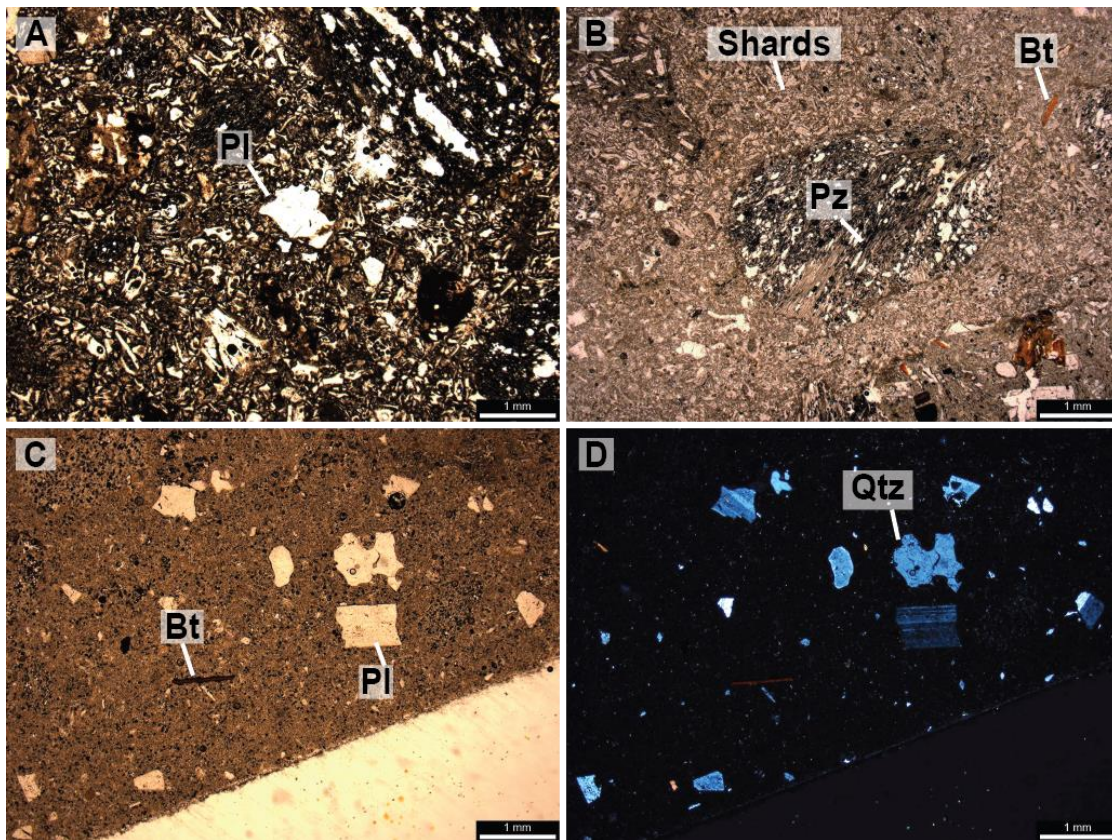


Figura 4.35: Fotomicrografías de la Ignimbrita San Andrés. A, B y C fueron capturadas a nicoles paralelos y D a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. A y B corresponden a SA-1, se observan cristales de Pl, Bt y pómez en una matriz con abundantes esquirlas. C y D corresponden a SA-2 y se observan cristales de Pl, Bt y Qtz embahiado.

Como se puede observar en la Figura 4.32, la Ignimbrita San Andrés se encuentra principalmente restringida a paleo-quebradas, por lo que no cubre grandes superficies, pero se puede reconocer en localidades muy distantes hacia el oeste. Naranjo *et al.* (2018a) atribuyen su fuente a la Caldera los Bayos, en territorio argentino, por lo que las localidades ubicadas hacia el oeste representan las facies más distales. Esto se corrobora con la distribución de facies de la Ignimbrita San Andrés, ya que la localidad más rica en líticos corresponde a la más próxima a la Caldera los Bayos, donde habría tenido una mayor capacidad de arrastre (columna J, Figura 4.33).

Dado que el nivel brechoso basal no presenta continuidad lateral y se restringe a afloramientos aislados, se deduce a que se formaron de manera local, debido a la interacción del flujo con el sustrato probablemente debido al encajonamiento en las quebradas donde se las encuentra (quebradas del Río Salado y Agua del Rincón, localidades G e I, respectivamente), lo que habría producido un aumento en la

capacidad de arrastre de la corriente al aumentar su velocidad (Figura 4.32, Figura 4.36C, D).

Se interpreta que todos los niveles de esta unidad fueron depositados a través de una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos en dos corrientes sucesivas. SA-2 habría sido depositada a partir de una segunda corriente de densidad con dirección E-O: en las localidades proximales habría sido muy intensa, generando la superficie de erosión que se observa en la localidad L, y es probable que los clastos ignimbríticos que contiene en esta localidad correspondan a la erosión de SA-1 previamente depositada, la que no se habría preservado (Figura 4.33, Anexo LOCALIDAD L SAN ANDRÉS: QUEBRADA BARRANCAS BLANCAS).



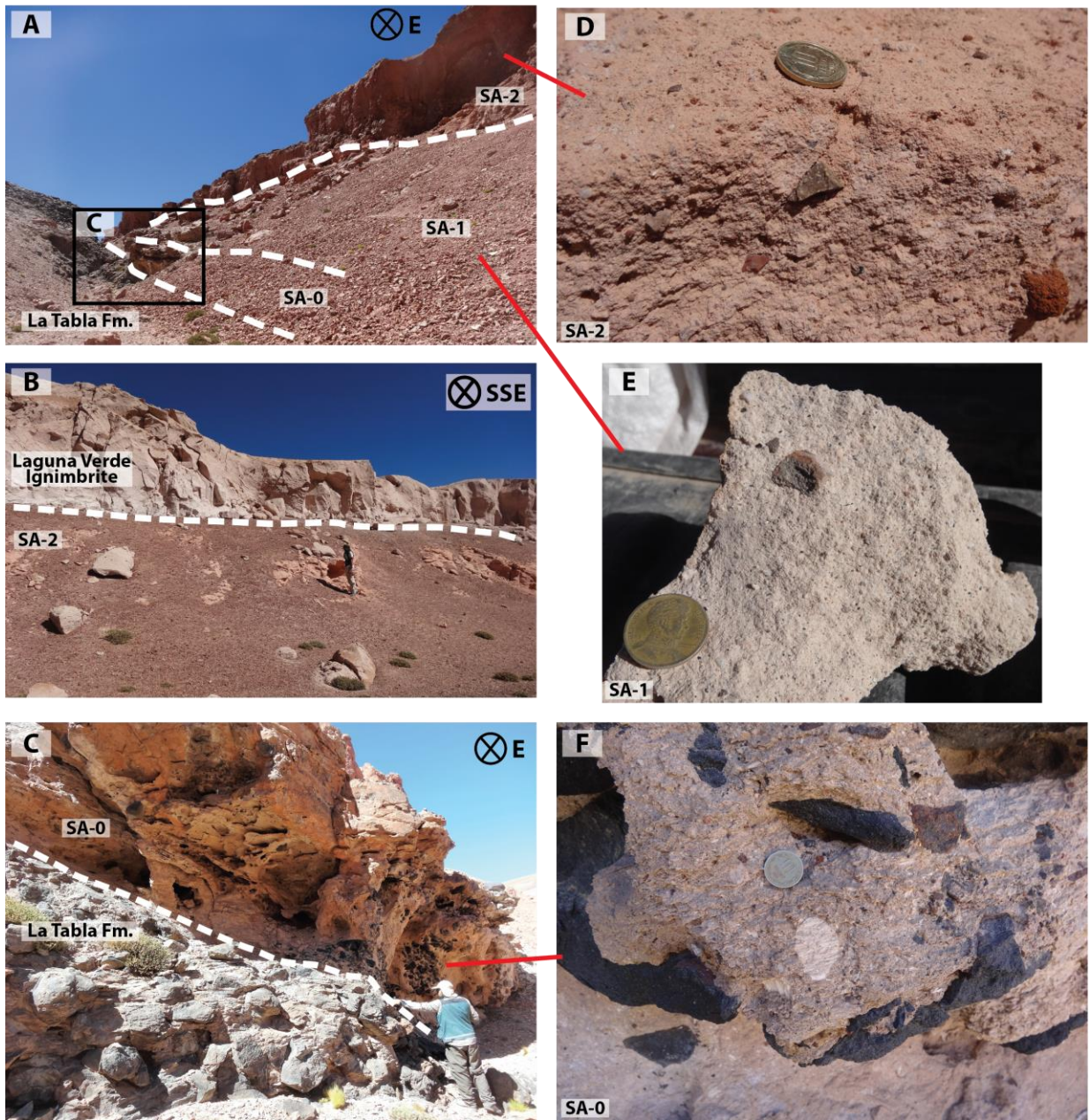


Figura 4.36: Fotografías de la Ignimbrita San Andrés en la Quebrada Agua del Rincón (localidad I, Figura 4.32). A, B y C muestran las relaciones de contacto de las dos subunidades reconocidas, SA-0 corresponde a la brecha basal que se reconoce solo de forma local. D, E y F muestran el detalle de cada nivel.

#### 4.1.8 IGNIMBRITA LOS COLORADOS

Se estudiaron 4 localidades de la Ignimbrita Los Colorados, todas ellas ubicadas hacia el sur de su fuente, la Caldera Los Colorados (Figura 4.37).

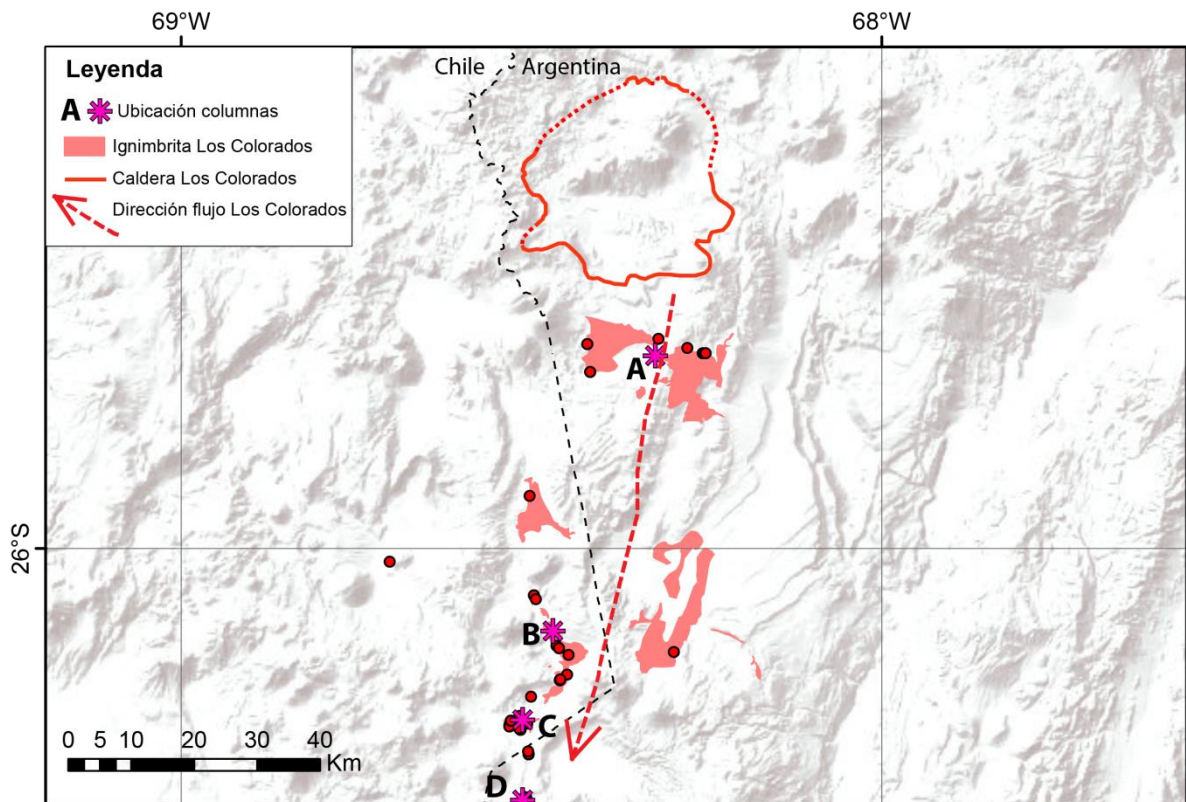


Figura 4.37: Distribución de la Ignimbrita Los Colorados. Se puede observar que la mayor parte se distribuye en territorio argentino, hacia el sur de la Caldera Los Colorados.

El análisis de las localidades antes mencionadas permitió reconocer 8 facies diferentes, las que fueron separadas en dos subunidades, Los Colorados 1 y Los Colorados 2, COL-1 y COL-2, respectivamente (Figura 4.38).

La subunidad COL-1 corresponde, de base a techo, a una potente brecha basal (Figura 4.39), que grada lateral y verticalmente a una toba vítrea masiva de lapilli de color rosado a rojizo intenso, rica en pómez fibrosas tubiformes de hasta 20 cm de diámetro (Figura 4.40A-D), cuyo grado de soldamiento aumenta hasta formar un vitrófiro intensamente fracturado (Figura 4.40E-G).

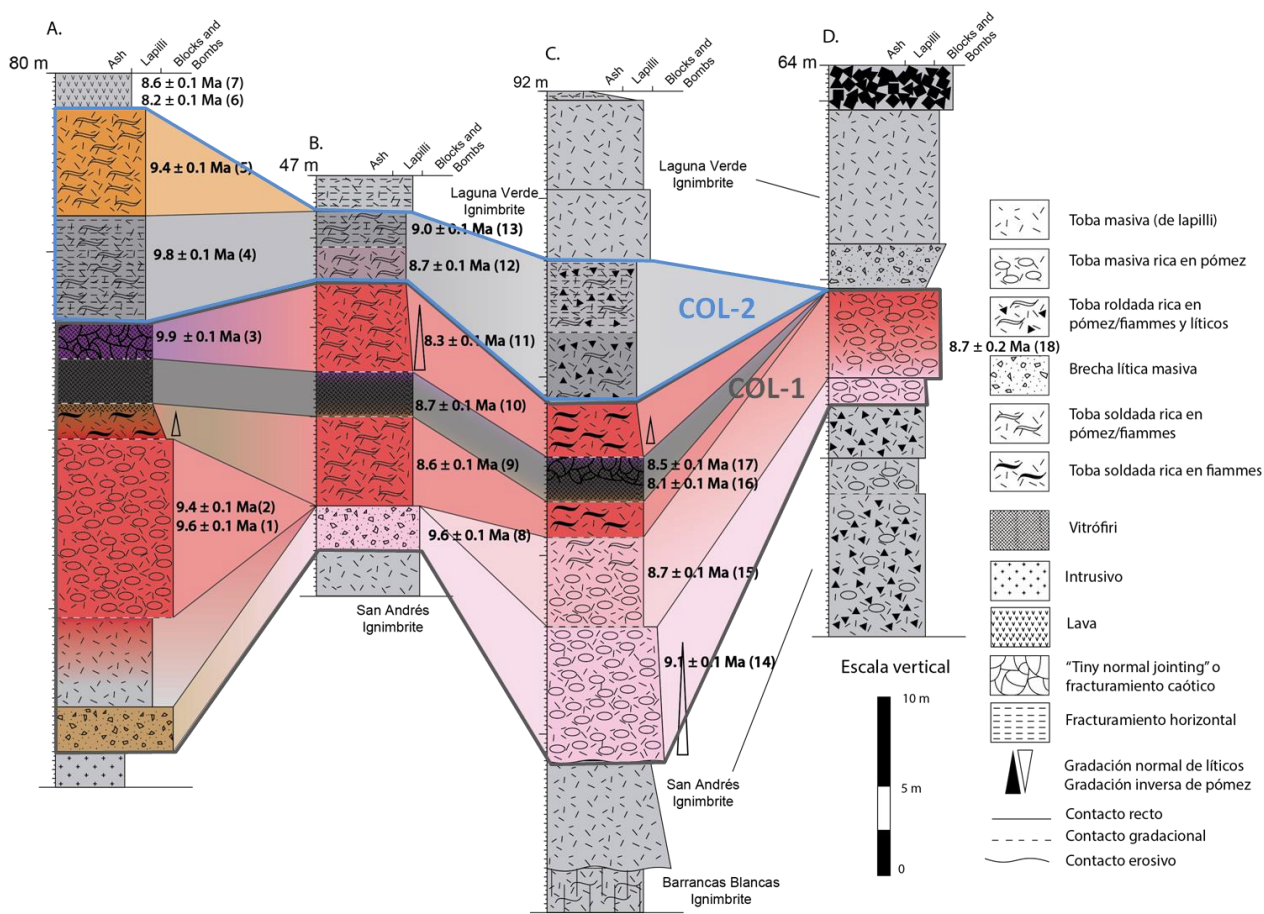


Figura 4.38: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Los Colorados. Las columnas están ordenadas, de izquierda a derecha, desde la más proximal a la más distal, con respecto a la Caldera Los Colorados, es decir, de norte a sur, siguiendo la flecha que se muestra en la Figura 4.37. Las edades indicadas fueron publicadas por Naranjo et al. (2013a, 2016 y 2018b) y se detallan en la Tabla 7.1, según los números que se encuentran en paréntesis a la derecha de cada datación.



Figura 4.39: Borde sur de la Caldera Los Colorados, donde se puede observar un escarpe de ~700 m de altura. En primer plano se observa un depósito brechoso, rico en clastos de hasta 30 cm en una matriz de ceniza fina de color pardo pálido a rosáceo. Corresponde a la facies más proximal reconocida de la Ignimbrita Los Colorados.

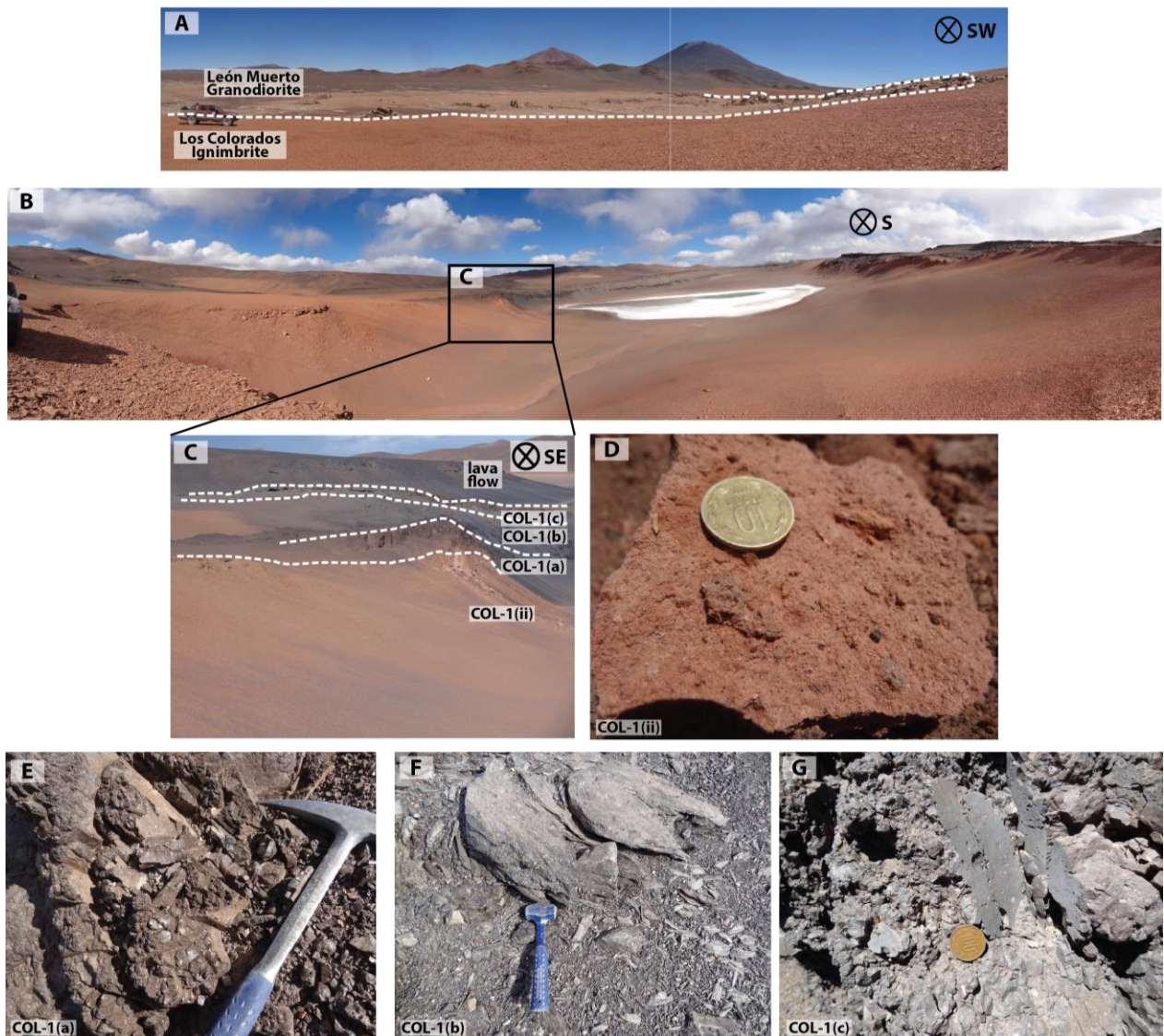


Figura 4.40: Fotografías de terreno de la subunidad COL-1 de Ignimbrita Los Colorados en la localidad A, inmediatamente al sur de la caldera del mismo nombre. En A se observa la Ignimbrita Los Colorados sobre la Granodiorita León Muerto, B y C muestran la variación en el color de COL-1, asociada a un aumento en el grado de soldamiento, D corresponde a una muestra de mano de la litología más característica de la Ignimbrita Los Colorados, que le da su nombre debido a su intenso color rojizo, E, F y G muestran las diferentes texturas reconocidas en el nivel más soldado de la subunidad COL-1.

La subunidad COL-2 es un nivel gris de toba vítrea a lítica rica fiammes, que suele estar fracturada horizontalmente (Figura 4.41), pero mantiene las características microscópicas que se observan en COL-1. Ambas son ricas en esquirlas gruesas, aplastadas en las partes más soldadas, contienen abundantes pómez fibrosas y tubiformes, escasos cristales, principalmente de Pl y Bt, y fiammes en las partes más soldadas (Figura 4.42).

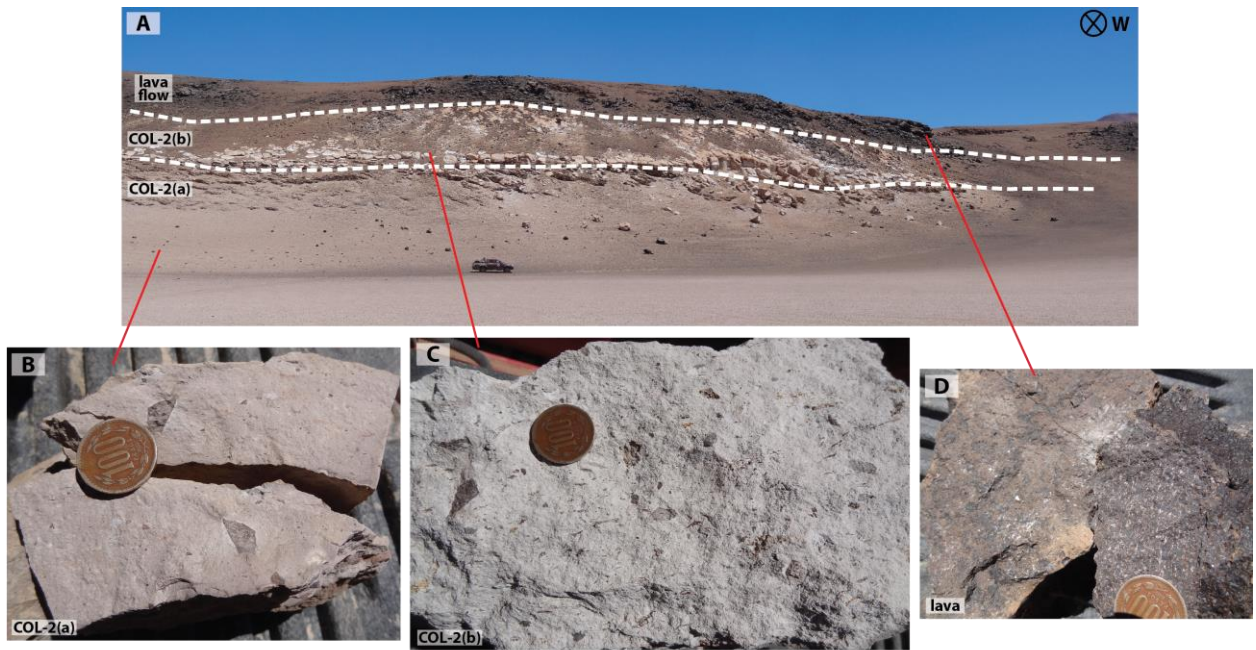


Figura 4.41: Fotografías de terreno de la subunidad COL-2 de la Ignimbrita Los Colorados en la localidad A, inmediatamente al sur de la caldera del mismo nombre. A muestra una vista panorámica de la ignimbrita cubierta por lavas. De base a techo se reconocen 3 niveles, el primero corresponde a la subunidad COL-2 con un intenso fracturamiento horizontal (Fotografía B), el segundo también corresponde a la subunidad COL-2, pero con una coloración más gris y sin fracturamiento (Fotografía C) y, finalmente, la lava que las cubre (fotografía D).

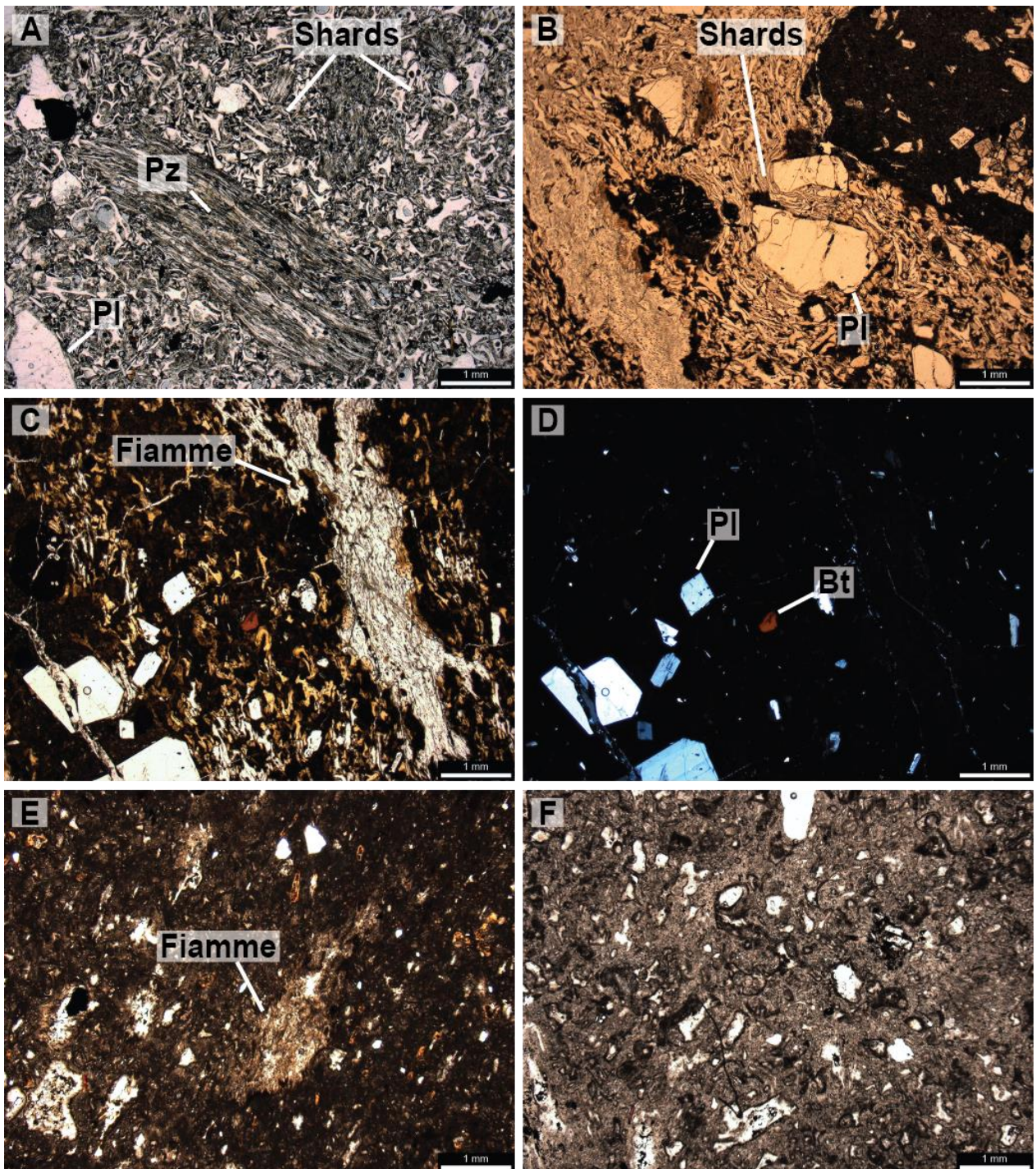


Figura 4.42: Fotomicrografías de la Ignimbrita Los Colorados, capturadas con un aumento de 2X, todas a nicoles paralelos a excepción de D, que fue tomada a nicoles cruzados. A, B, C y D corresponden a la subunidad COL-1. A muestra esquirlas abundantes, una pómez fibrosa y escasos cristales de Pl, B muestra esquirlas aplastadas por soldamiento y un cristal de Pl, además de un fragmento lítico milimétrico en la parte superior derecha. C muestra una fiamme intensamente soldada, D muestra cristales de Pl y Bt, que son los constituyentes cristalinos principales de esta unidad. E y F corresponden a la subunidad COL-2, E muestra escasas fiammes y fragmentos cristalinos y F muestra esquirlas menos abundantes y de menor tamaño que las de COL-1.

Dados los contactos graduales entre las diferentes facies de COL-1 y COL-2 (por separado), se puede deducir que fueron depositadas a partir de dos corrientes de

densidad, con una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos, cuya tasa de agradación y su contenido de pómez y líticos habría variado en las diferentes localidades debido a variaciones en la tasa eruptiva y en el aporte de líticos.

La brecha basal, que grada lateralmente a una toba masiva, se interpreta como una primera fase eruptiva que habría arrastrado una gran cantidad de líticos, asociados al colapso de la Caldera Los Colorados. Dichos líticos fueron depositados en las partes proximales debido a su mayor densidad y la incapacidad de la corriente de arrastrarlos por una distancia mayor, mientras que las pómez de gran tamaño y mayor flotabilidad alcanzaron zonas más lejanas. Sobre ellos, se habría seguido depositando una toba masiva, ya sin mayor contenido de líticos, la que habría agradado rápidamente (probablemente debido a una disminución en la tasa eruptiva), permitiéndole alcanzar un nivel de soldamiento muy alto. Naranjo *et al.* (2018b) interpretaron el cráter que se observa en la Figura 4.40B y el alto fracturamiento del nivel vitrofírico que ilustran las figuras Figura 4.40E-G como la interacción de la corriente piroclástica con un cuerpo de agua, que habría generado un cráter de explosión y el intenso fracturamiento observado.

Una segunda corriente habría depositado la subunidad COL-2. El menor grado de soldamiento y el mayor contenido de líticos podrían indicar una corriente con mayor capacidad de arrastre, probablemente debido a un aumento de la tasa eruptiva, lo que permite un mayor arrastre de líticos y al mismo tiempo hace que el depósito no agrade tan rápidamente, sin que alcance el grado de soldamiento extremo observado en COL-1. Es probable que este segundo pulso no haya sido tan intenso como la parte inicial de la erupción, ya que la subunidad COL-2 no se reconoce a grandes distancias desde la Caldera Los Colorados, a diferencia de COL-1.

En una campaña de terreno reciente a la zona de la carta Ojos del Salado, al sur del Paso Internacional San Francisco, se pudo observar una unidad ignimbrítica de coloración rojiza subyaciendo a la Ignimbrita Laguna Verde, de forma similar que en las localidades B, C y D de la Figura 4.38, por lo que probablemente dicha toba rojiza

corresponda al afloramiento más austral conocido de la Ignimbrita Los Colorados (Figura 4.43).

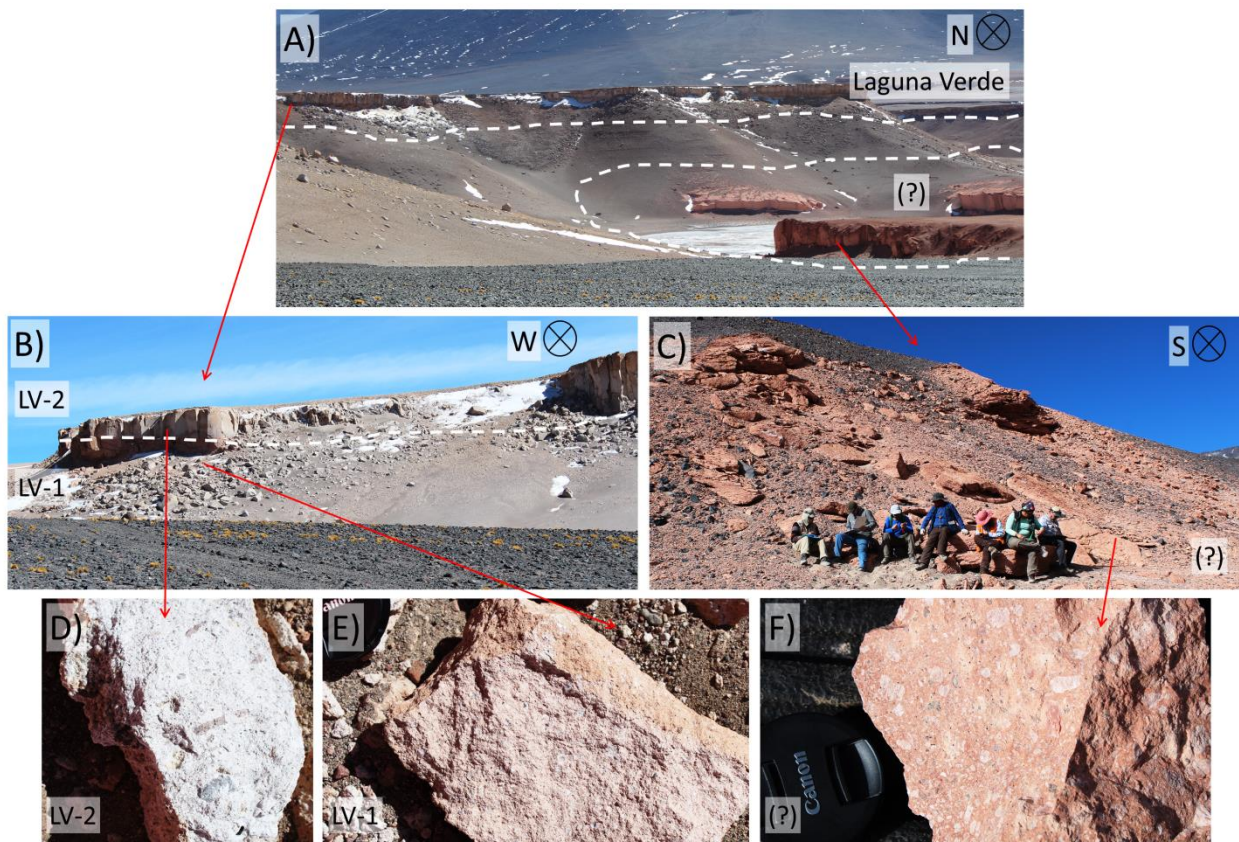


Figura 4.43: Imágenes de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde sobreyaciendo una ignimbrita de color rojizo, probablemente la Ignimbrita Los Colorados, dada su coloración, sus características litológicas macroscópicas y su posición estratigráfica. A) Fotografía panorámica donde se observa una unidad rojiza bajo la Ignimbrita Laguna Verde. B) muestra desde más cerca la relación de contacto entre ambas unidades, C) y F) muestran mayor detalle de la ignimbrita rojiza, probablemente la Ignimbrita Los Colorados, D) y E) muestran el detalle los dos niveles de la Ignimbrita Laguna Verde que se describen más adelante.

Es probable que originalmente haya sido una ignimbrita topográficamente confinada, que habría viajado a través de una paleo-cuenca de orientación aproximada N-S, la que se vio interrumpida por volcanismo posterior.

#### 4.1.9 IGNIMBRITA WHEELWRIGHT

Solo se estudió una localidad de la Ignimbrita Wheelwright, equivalente a la localidad H de la Ignimbrita Laguna Verde (Figura 4.48, Figura 4.50).



Corresponde a ~30 m de toba vítrea a lítica masiva de lapilli, de color pardo, rica en pómez < 10 cm de dos familias; blancas, compactas, poco vesiculares, con hasta 3% de cristales de Pl, Bt y menor Pxs y posible Am, y verdosas-amarillentas, muy vesiculares y con escasos cristales (< 1%) de Pl, Qtz, Bt, menor Opx y posible Am. Contiene abundantes líticos polimícticos < 5 cm, principalmente porfíricos de lava, de distintos colores, y escasos cristales (5%) de Pl < 2,5 mm, Bt, Qtz < 2 mm, menores Cpx y Opx y posible Am muy escasa. La matriz es muy rica en esquirlas gruesas y medias-gruesas, medianamente desvitrificadas y contiene fragmentos cristalinos (Figura 4.44, Figura 4.45).

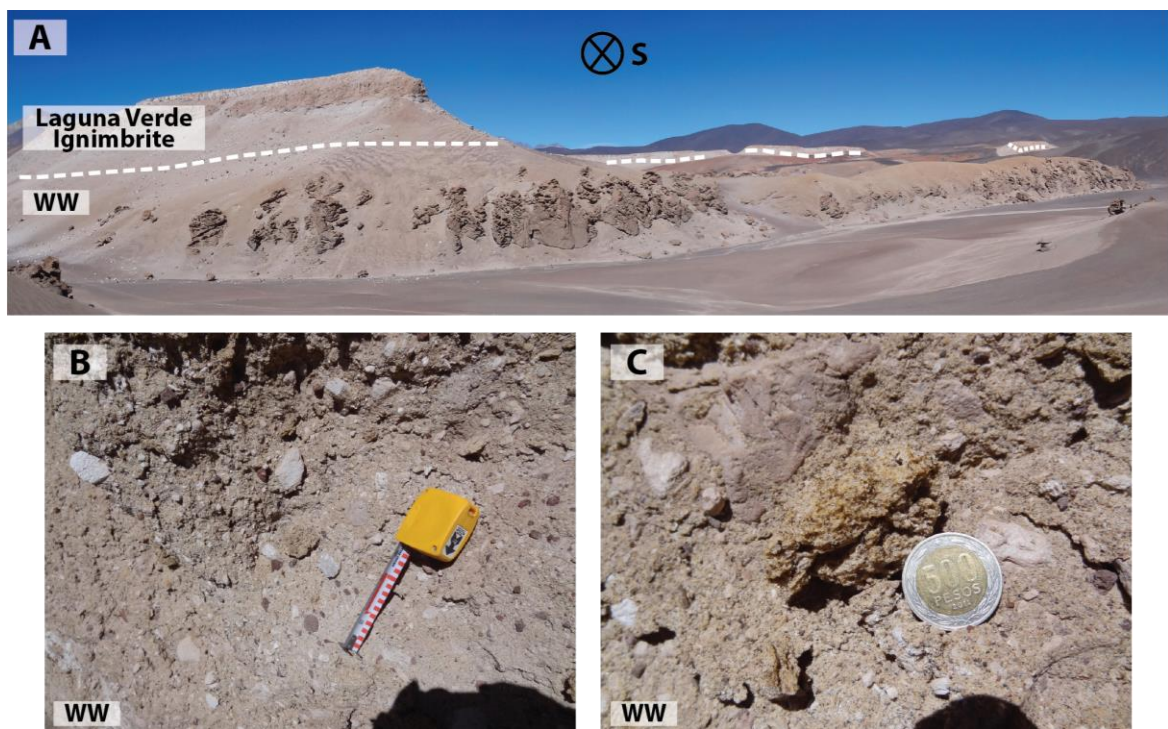


Figura 4.44: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Wheelwright en las nacientes del Río Juncalito (localidad H de la Figura 4.48). A es una vista panorámica donde se ve la Ignimbrita Wheelwright bajo la Ignimbrita Laguna Verde. B y C muestran mayor detalle de la litología de esta unidad. C muestra una pómez muy vesicular (vesicularita) de color pardo verdoso.

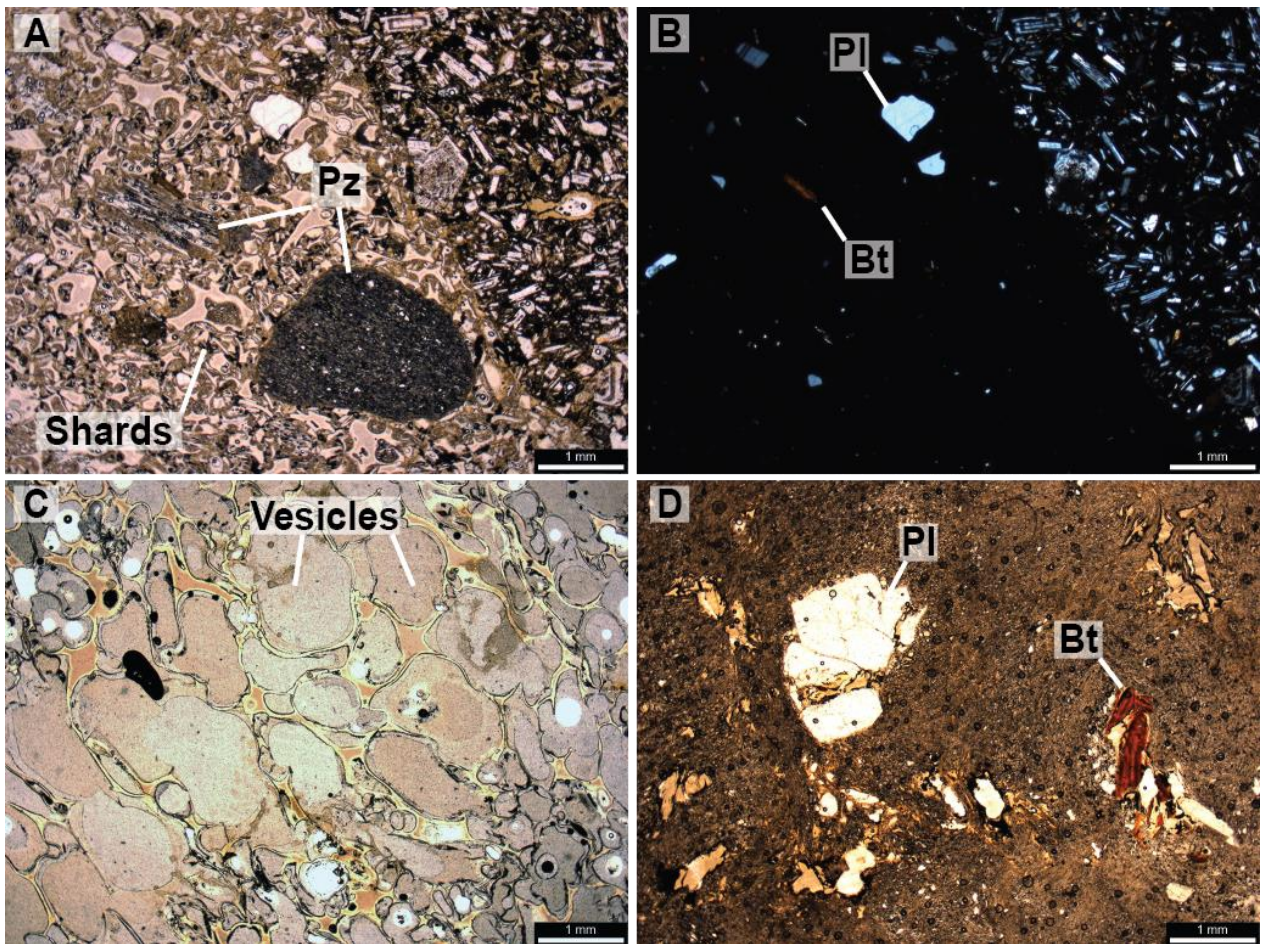


Figura 4.45: Fotomicrografías de la Ignimbrita Wheelwright. B fue capturada a nicoles cruzados y A, C y D a nicoles paralelos, todas con un aumento de 2X. En A se observan pómez fibrosas en una matriz rica en esquirlas, B y D muestran cristales de Pl y Bt y C corresponde a un fragmento de pómez muy vesicular.

#### 4.1.10 IGNIMBRITA PARINAS

Solo se estudió una localidad de la Ignimbrita Parinas. Corresponde a una toba vítrea masiva de lapilli, rica en pómez blancas y rosadas < 5 cm (Figura 4.46), fibrosas y vesiculares, contiene cristales (10%) de Pl, Qtz embahiado, Bt, menor Cpx y Am (Figura 4.47), y líticos polimícticos, mayormente lávicos micro-porfíricos. La matriz es vítrea, con fragmentos cristalinos y pumíceos, y escasas esquirlas muy finas.



*Figura 4.46: A es una fotografía de terreno de la Ignimbrita Parinas, 15 km al norte de la Quebrada Tres Puntas. B corresponde a una muestra de mano donde se observan abundantes pómez tamaño lapilli.*

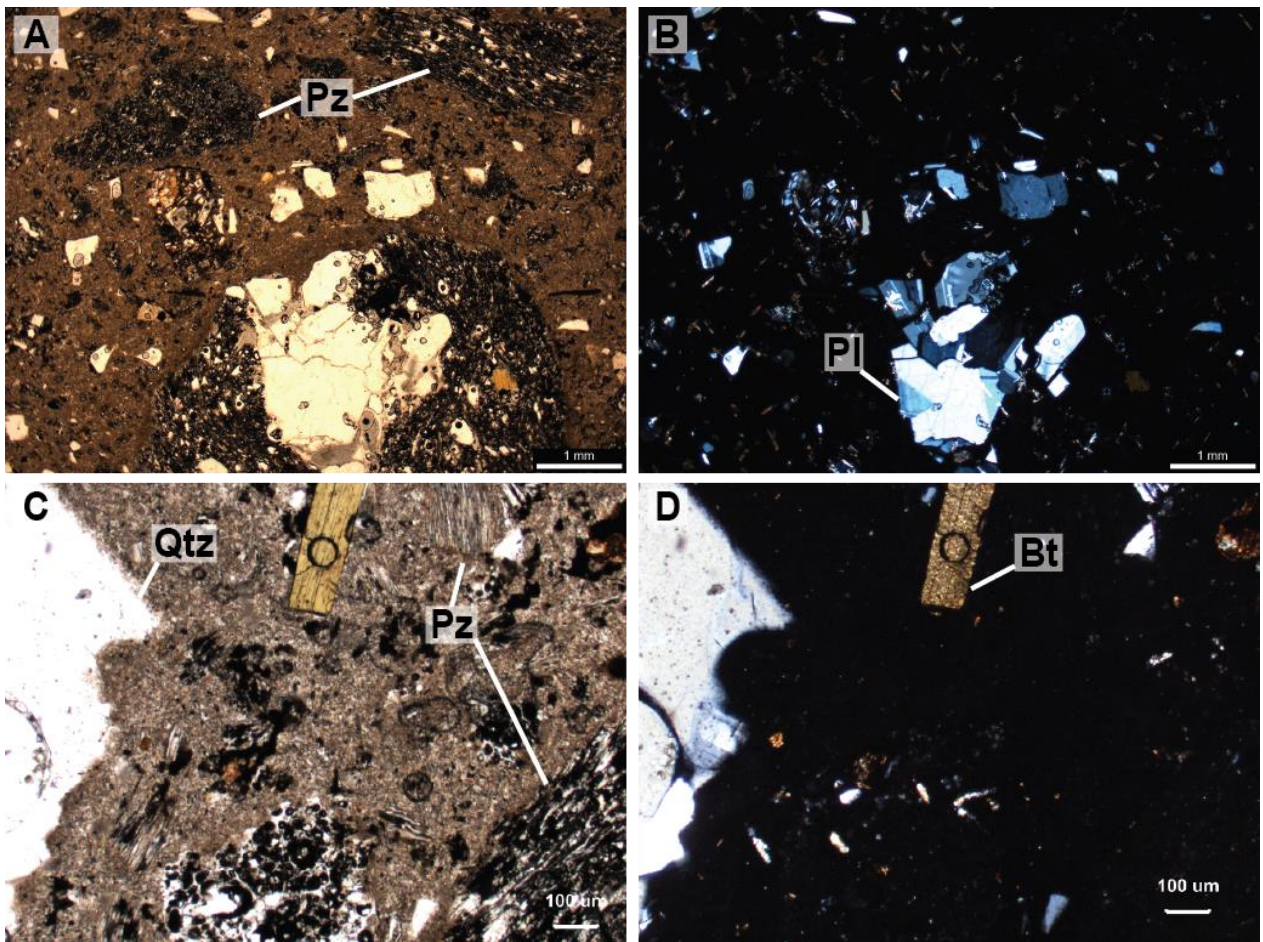


Figura 4.47: Fotomicrografías de la Ignimbrita Parinas. A y C fueron capturadas a nicoles paralelos, B y D a nicoles cruzados, A y B con un aumento de 2X, y C y D con un aumento de 5X. En A y B se observan cristales de Pl y pómez fibrosas, C y D muestran cristales de Qtz con bordes reabsorbidos y Bt.

#### 4.1.11 IGNIMBRITA LAGUNA VERDE

Al ser la más joven de las unidades estudiadas y presentar un grado de soldamiento importante, la Ignimbrita Laguna Verde se encuentra muy bien preservada. Se pudieron estudiar 8 localidades, indicadas en la Figura 4.48

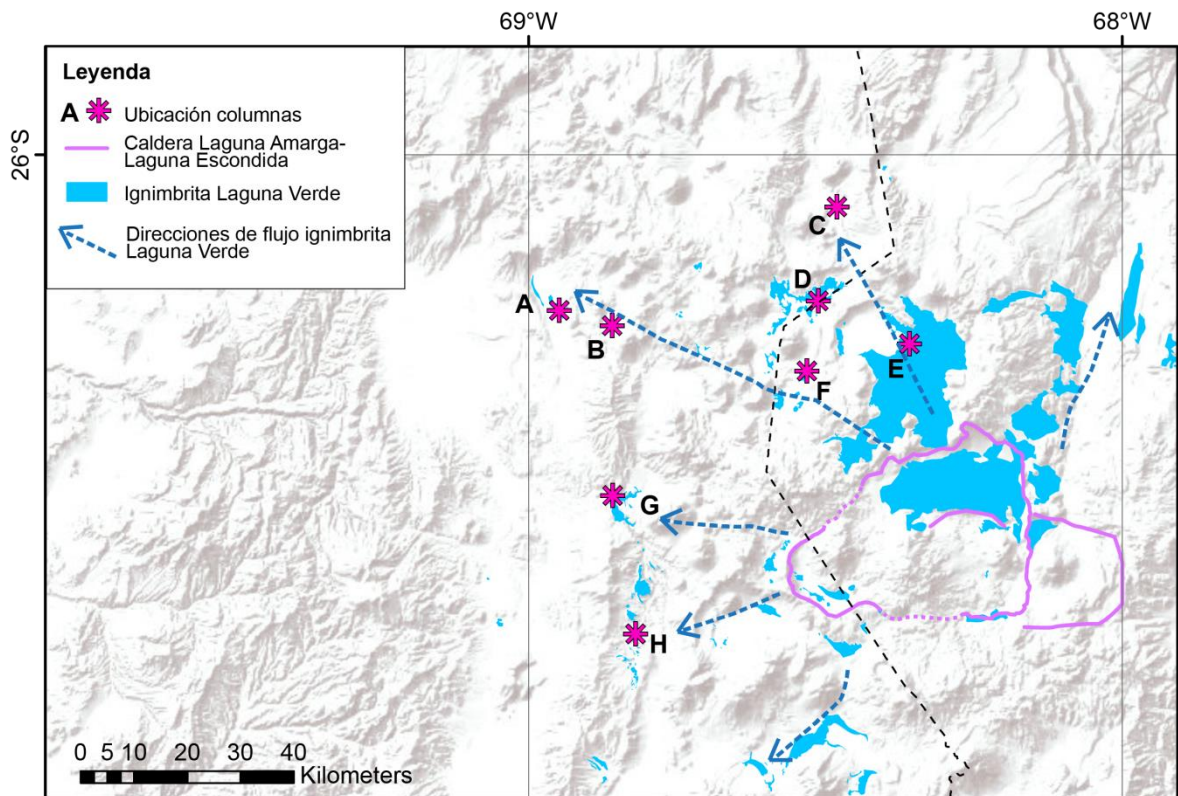


Figura 4.48: Distribución de la Ignimbrita Laguna Verde. Naranjo et al. (2018a) establecen que la fuente de la Ignimbrita Laguna Verde es el sistema Caldera Laguna Amarga-Laguna Escondida.

Se establecieron 2 unidades principales, LV-1 y LV-2, más una unidad basal que se observa solo en dos afloramientos (Localidades B y F, Figura 4.50). Los 3 niveles comparten su contenido cristalino, con ~10 % de cristales de Qtz embahiado de hasta 5 mm, muy característico, PI < 3 mm, Bt, y muy escasos Pxs y Am, contienen pómez vesiculares fibrosas, usualmente < 2 cm, y escasos líticos (salvo la brecha basal), generalmente milimétricos, en una matriz cinerítica gris a blanca con esquirlas medias a finas (Figura 4.49).

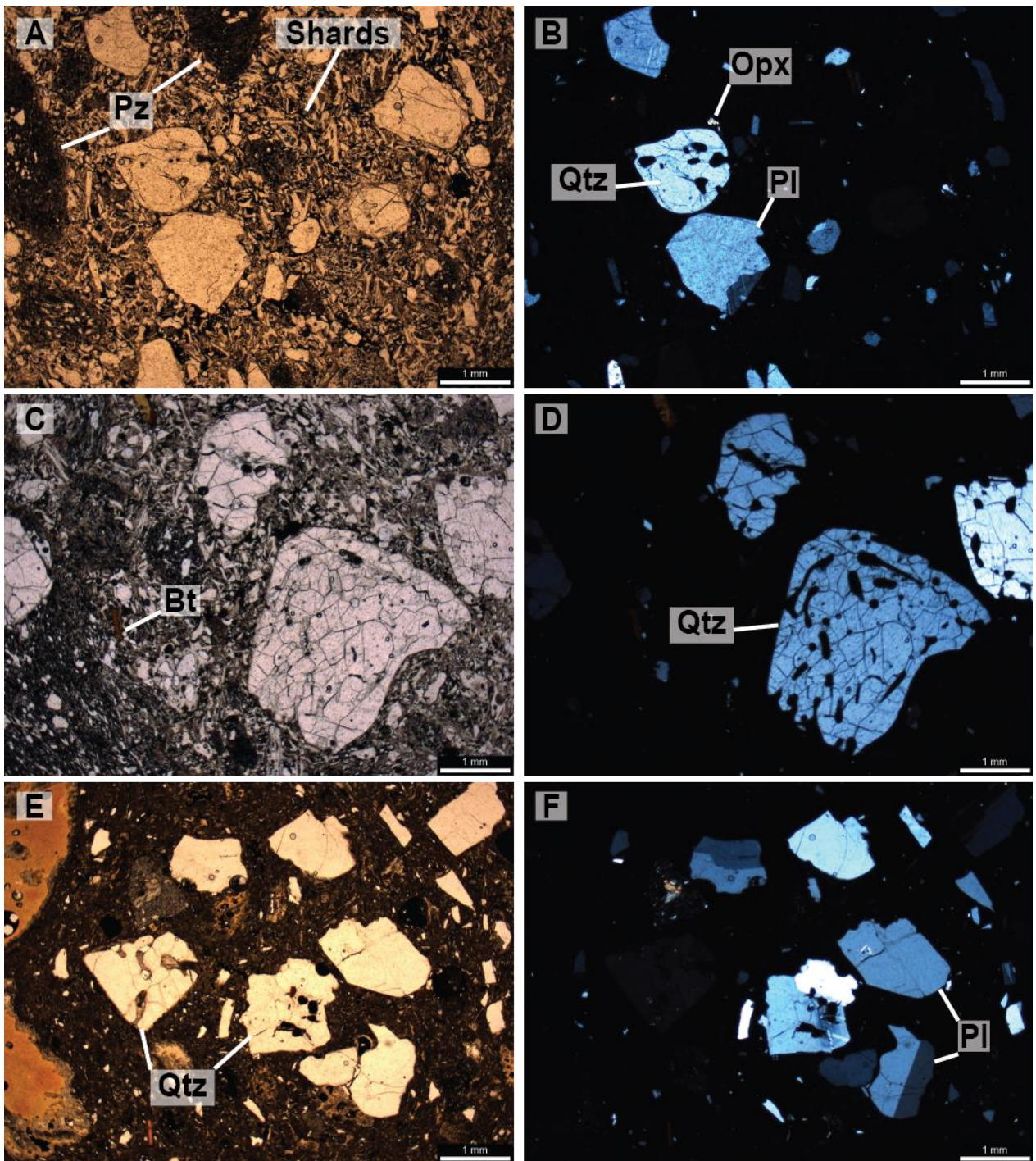


Figura 4.49: Fotomicrografías de la Ignimbrita Laguna Verde. A, C y E fueron capturadas a nicoles paralelos y B, D y F a nicoles cruzados, todas con un aumento de 2X. A, B, C y D corresponden a la subunidad LV-1 y E y F corresponden a LV-2. En A y B se observan cristales milimétricos de Qtz reabsorbido y Pl inmersos en una matriz rica en esquirlas (Shards), C y D muestran cristales reabsorbidos de Qtz de ~3 mm y Bt en una matriz rica en esquirlas, y E y F muestran cristales de Qtz reabsorbido y Pl milimétricos.

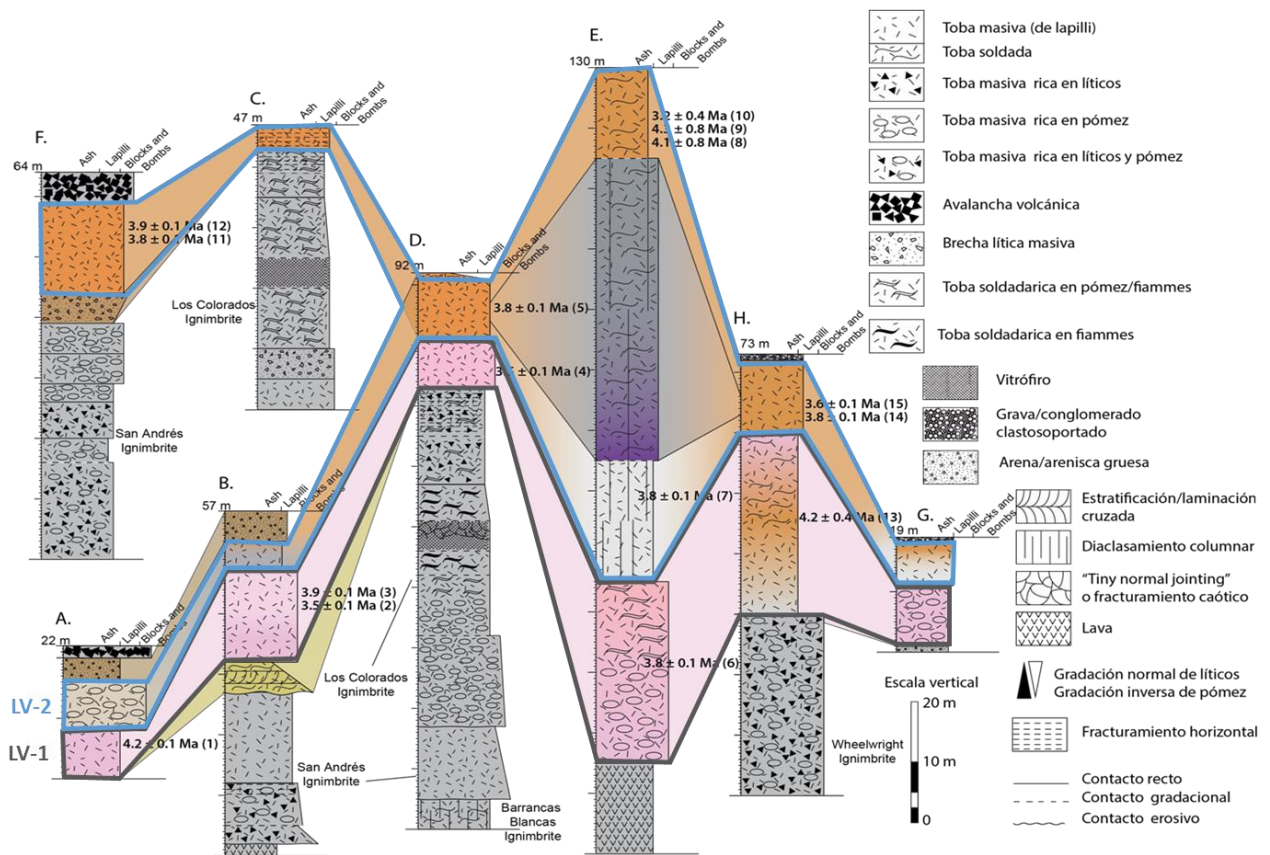


Figura 4.50: Correlación de litofacies de la Ignimbrita Laguna Verde. Las columnas no están ordenadas espacialmente. Las dataciones fueron publicadas por Naranjo et al. (2016) y se encuentran detalladas en la Tabla 7.1. La ubicación de las columnas se indica en la Figura 4.48.

La base corresponde a una intercalación de niveles brechosos y cineríticos silicificados y deleznable de entre 40 cm y 5 m de espesor, con niveles con estratificación cruzada y otros soldados (Figura 4.51B, C, G, H). LV-1 corresponde a una toba masiva de lapilli, que puede contener pómez muy variadas de hasta 10 cm, a fiammes en las partes más soldadas. LV-2 es similar a LV-1, pero con un grado de soldamiento levemente mayor y una pátina por intemperización anaranjada que la caracteriza (Figura 4.52A). LV-2 contiene fragmentos líticos de LV-1, tiene pómez que pueden llegar a los 30 cm, y suele estar “lajeada”, formando superficies aterrazadas.

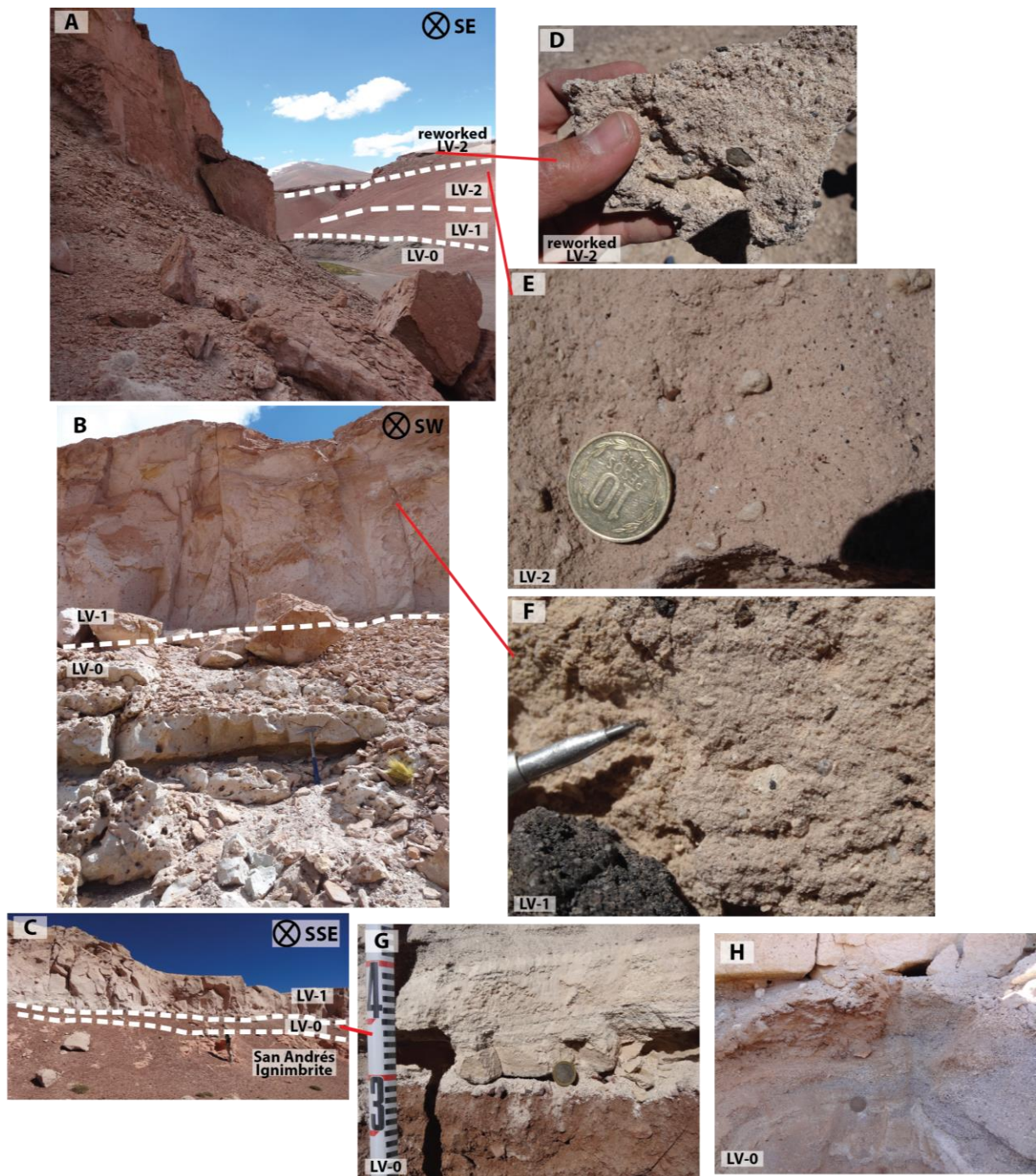


Figura 4.51: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde en la Quebrada Agua del Rincón (localidad B). En A se observan todos los niveles de esta ignimbrita, B muestra en primer plano la subunidad LV-0 y en segundo plano LV-1, C muestra LV-0 y LV-1 sobre la Ignimbrita San Andrés. Las fotografías D, E, F, G y H muestran con mayor detalle a LV-2 re TRABAJADA, LV-2, LV-1 y LV-0.

En el extremo oriental de la Caldera Pampa de Los Bayos presenta su máximo desarrollo vertical, alcanzando ~120 m de altura, con un grado de soldamiento mayor que en las otras localidades revisadas. En este lugar LV-2 presenta 3 niveles, con distinto grado de soldamiento, partiendo con 20 m de color gris pálido de toba masiva



con fracturamiento columnar, seguido de 50 m de color morado a gris de toba masiva soldada con fracturamiento columnar menos intenso, y un tercer nivel gris pálido con una pátina anaranjada, similar a los demás afloramientos de LV-2, pero con menor grado de soldamiento (Figura 4.53).

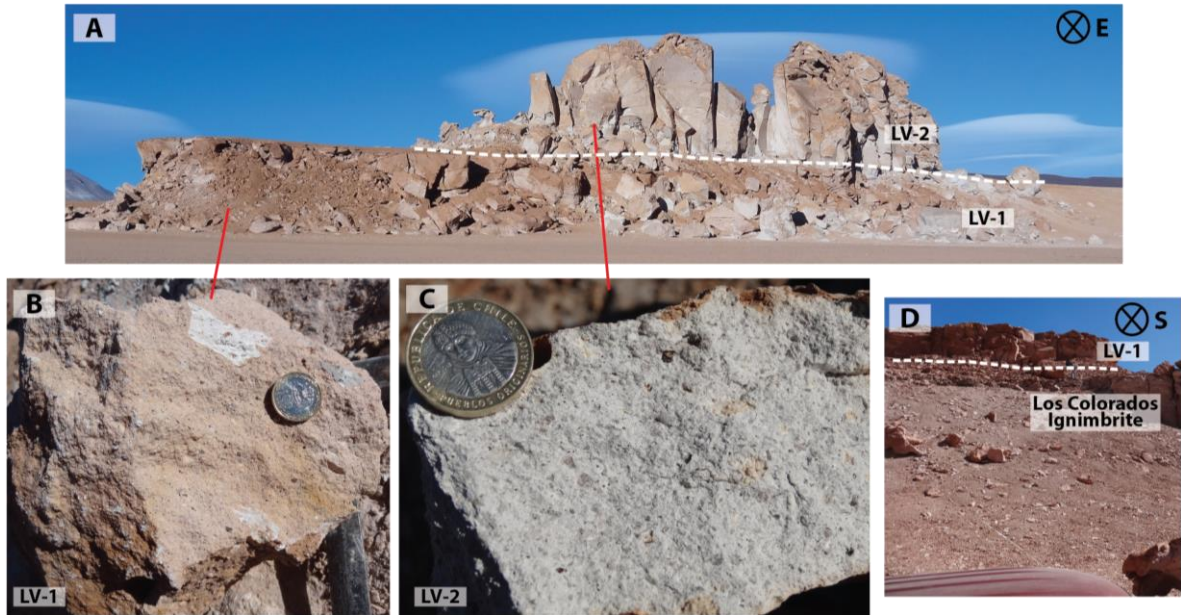


Figura 4.52: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde en la Quebrada Barrancas Blancas (localidad D). A muestra una vista panorámica de LV-2 sobre LV-1, B y C muestran a LV-1 y LV-2 con mayor detalle y D muestra a la Ignimbrita Laguna Verde sobreyaciendo a la Ignimbrita Los Colorados.

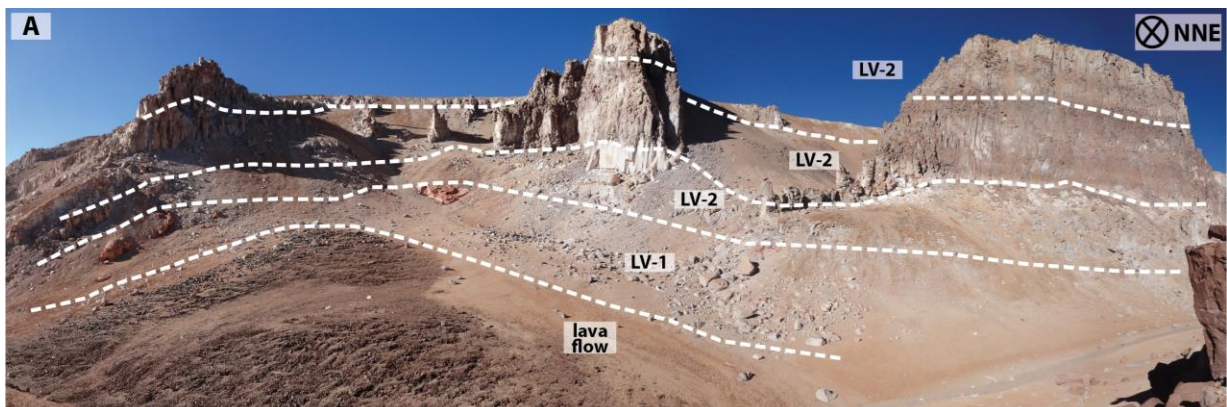


Figura 4.53: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Laguna Verde en el extremo este de la Caldera Pampa de Los Bayos (localidad E), donde muestra su mayor desarrollo vertical.

LV-1 fue depositada a partir de una corriente de densidad con una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos que habría agrandado de forma sostenida. LV-0 fue depositada a partir de la misma corriente de densidad, pero con características diferentes debido a variaciones locales del sustrato. En la localidad B (Quebrada Agua

del Rincón) probablemente la corriente fue encajonada en una paleo-quebrada, lo que habría aumentado la velocidad de la corriente, cambiando las condiciones de la *flow boundary zone*, cuya componente de flujo granular y/o traccional aumentó, generando estructuras sedimentarias, mientras que en la localidad F habría arrastrado una gran cantidad de líticos de forma local, sin que necesariamente haya habido variaciones de la *flow boundary zone* (al S-E del Volcán Tridente).

La velocidad de agradación del depósito durante esta primera etapa fue en aumento, probablemente debido a un descenso de la tasa eruptiva o a que la velocidad de la corriente piroclástica fue descendiendo a medida que se fue alejando de la fuente y la topografía se fue suavizando por el mismo depósito. Al agradar de forma rápida, la carga aumentó rápidamente, provocando las estructuras de soldamiento que se observan más intensamente en las localidades B, E y H (Figura 4.50).

LV-2 está más ampliamente distribuida, por lo que probablemente representa un aumento violento de la tasa eruptiva (Figura 4.48 y Figura 4.50) que le habría permitido viajar una distancia mayor. Como se puede observar en la Figura 4.50, LV-2 presenta su mayor desarrollo vertical en la localidad E, donde se reconocen diferentes colores y fracturamiento, asociados a variaciones en el grado de soldamiento (Figura 4.53). La primera de ellas tiene características muy similares a las que se reconocen en todas las demás localidades, por lo que se correlacionan directamente de forma lateral, mientras que las dos siguientes representarían dos etapas de agradación muy rápida que no habrían alcanzado las localidades más distales. Probablemente estas etapas de rápida agradación estén asociadas a una fase menguante de la erupción, que se habría debilitado rápidamente. Esto es interpretado por algunos autores como una depositación en masa o *en masse*, sin embargo, no corresponde a la depositación simultánea de toda la corriente, sino a una agradación muy rápida del depósito a partir de una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos.

En una campaña de terreno reciente se pudo observar, en la Laguna Verde, al oeste del Paso Internacional San Francisco, que la Ignimbrita Laguna Verde presenta

una base con intensas estructuras sedimentarias, probablemente asociadas a la interacción de la corriente piroclástica con un cuerpo de agua (Figura 4.54).



*Figura 4.54: Ignimbrita Laguna Verde en el borde sur de la laguna homónima. Se observan niveles con variadas estructuras sedimentarias.*

## 4.2 QUÍMICA DE BIOTITAS

La química de elementos mayores en biotitas, expresada en porcentaje de peso en óxidos, se puede observar en la Tabla 7.2, en los anexos (Anexo 7.3). Estos datos fueron tratados en gráficos de correlación y clasificación.

La fórmula estructural, y la cantidad de aniones y cationes por fórmula fueron calculadas en base a 22 oxígenos, mediante un archivo de libre acceso especialmente diseñado para análisis de microsonda, publicado por The Open University ([http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT\\_Home\\_2010/Microprobe-2.html](http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/Microprobe-2.html)).

Se separaron los resultados en tres grupos, conformados por (1) las ignimbritas Antiguas, de más de 21 Ma, y las ignimbritas Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito, (2) las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados y (3) las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde, ordenadas así únicamente por sus rangos de edades, para graficar los resultados de mejor manera.

### 4.2.1 CLASIFICACIÓN DE BIOTITAS

La química de biotitas permite su clasificación y discriminación entre los diferentes miembros de la solución sólida Flogopita-Eastonita-Anita-Siderofilita (Foster, 1960, Speer, 1984, Deer *et al.*, 1986, Droop, 1987, Deer *et al.*, 1992, Rieder *et al.*, 1998). A continuación, se presentan los datos de geoquímica de biotitas en diferentes gráficos para su clasificación.

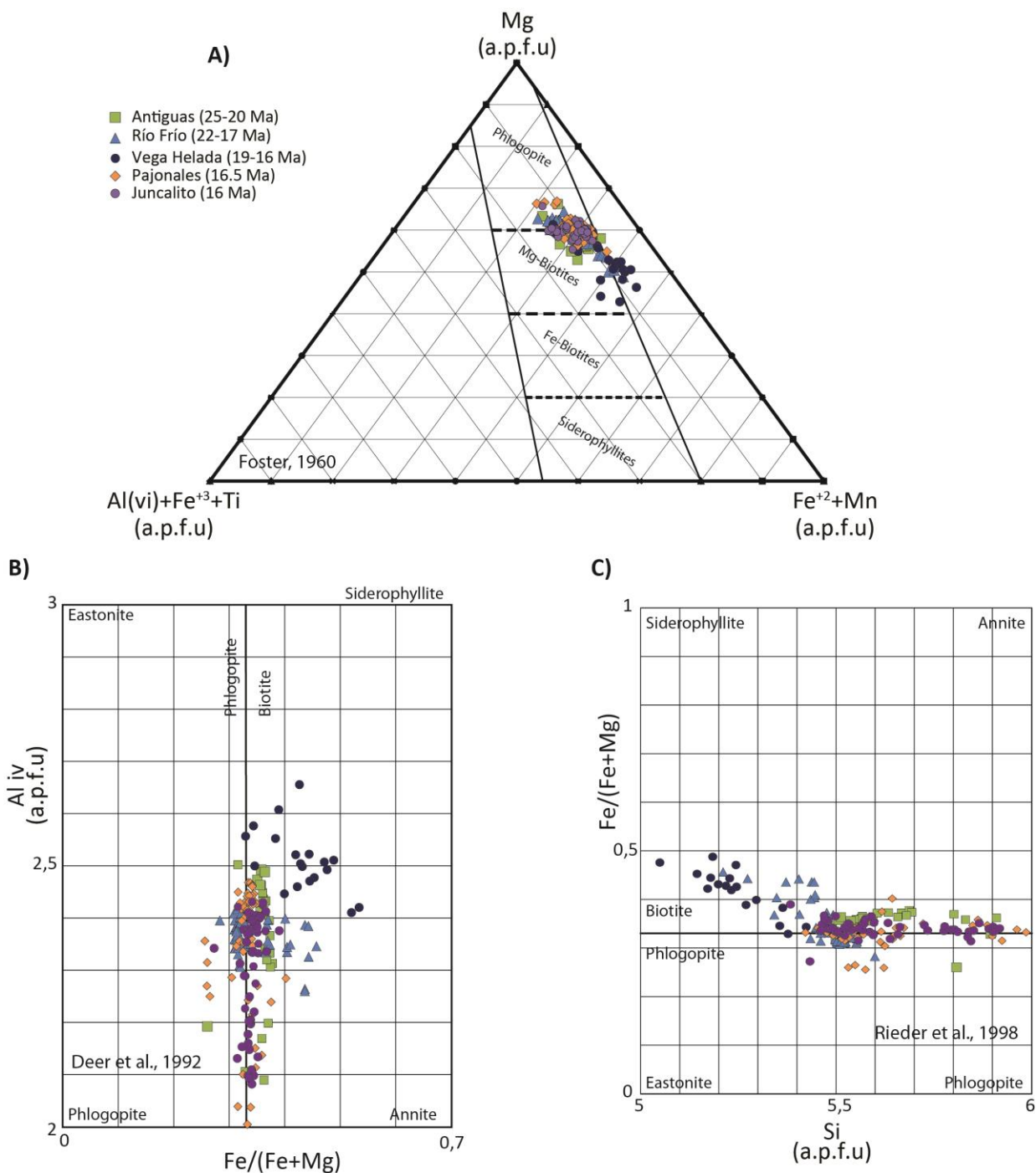


Figura 4.55: Diagramas de clasificación de biotitas de las ignimbritas antiguas (de más de 21 Ma), Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito. Los límites entre flogopitas y biotitas de los diagramas B) y C) fueron trazados de acuerdo con los valores establecidos por Speer (1984) y Deer et al. (1986). A) Diagrama ternario de clasificación de biotitas según Foster (1960). Los cationes Fe<sup>2+</sup> y Fe<sup>3+</sup> fueron recalculados a partir de la fórmula publicada por Droop (1987). B) Diagrama de clasificación de biotitas según Deer et al. (1992). C) Diagrama de clasificación de biotitas de Rieder et al. (1998). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés.

Las biotitas de las ignimbritas Antiguas (mayores a los 21 Ma) corresponden a biotitas magnésicas cercanas al campo de la annita, al igual que la ignimbrita Río Frío

(Figura 4.55A, B), pero esta última tiene algunos análisis más cercanos a la siderofilita según la clasificación de Rieder *et al.* (1998) (Figura 4.55C); la Ignimbrita Vega Helada tiene biotitas magnésicas, cercanas a la composición de la siderofilita (Figura 4.55A, B, C); y tanto la Ignimbrita Pajonales, como la Juncalito, arrojan valores justo en el límite entre flogopita y biotitas magnésicas del grupo de la annita (Figura 4.55A).

Las biotitas de la Ignimbrita Salar Grande tienen composiciones que están en el límite entre el campo de las flogopitas y el de las biotitas magnésicas (más cerca de la annita que de la siderofilita), mientras que las de las ignimbritas Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados tienen biotitas magnésicas, entre el campo de la annita y la siderofilita, Barrancas Blancas y San Andrés más cerca de la siderofilita y Los Colorados más cerca de una composición annítica (Figura 4.56).

Por último, las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde presentan biotitas magnésicas, con composiciones justo entre la de la siderofilita y la annita, salvo por 4 análisis de la ignimbrita Laguna Verde, que corresponden a flogopitas, con composiciones intermedias entre flogopita y eastonita (Figura 4.57).

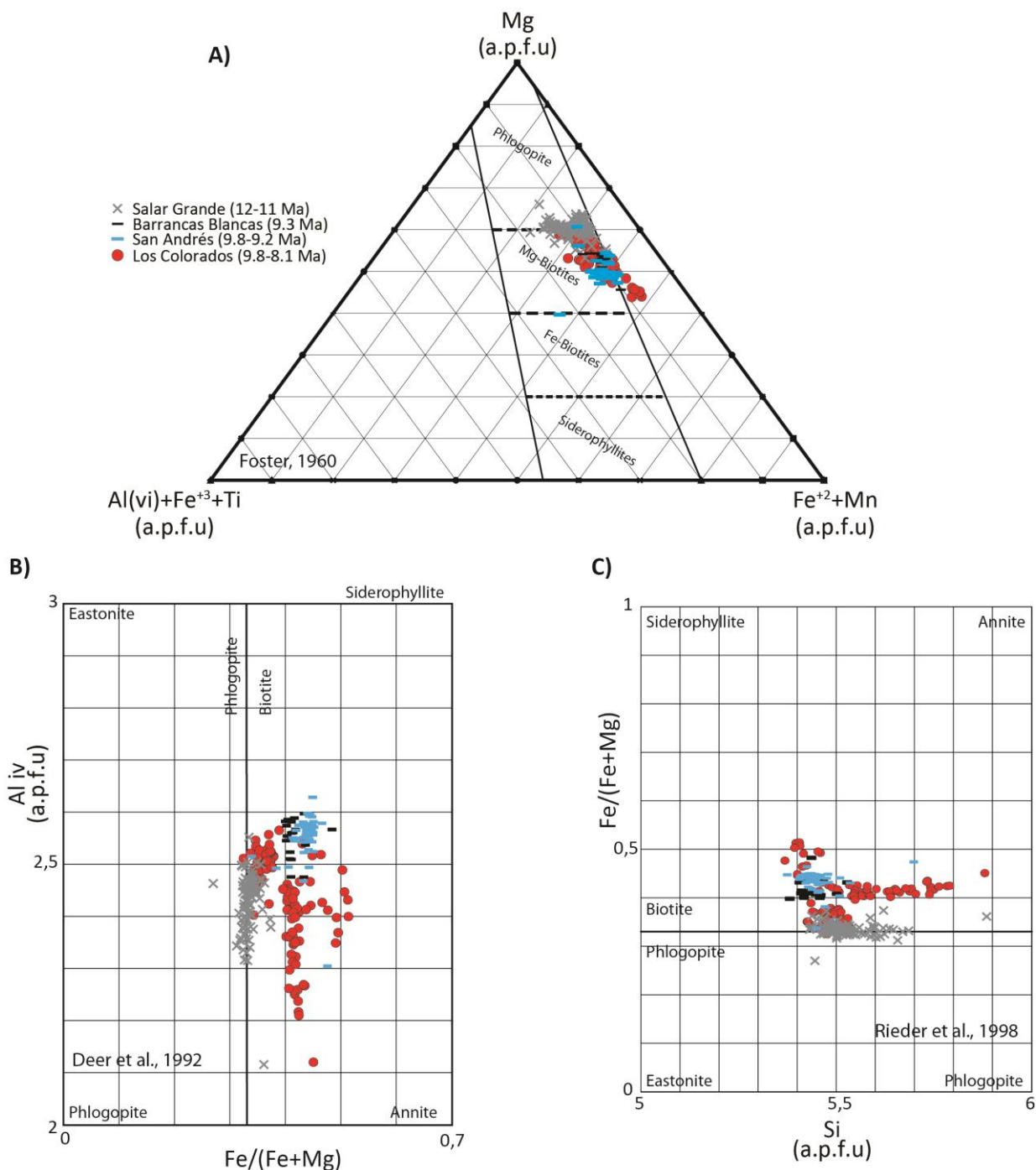


Figura 4.56: Diagramas de clasificación de biotitas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados. Los límites entre flogopitas y biotitas de los diagramas B) y C) fueron trazados de acuerdo con los valores establecidos por Speer (1984) y Deer et al. (1986). A) Diagrama ternario de clasificación de biotitas según Foster (1960). Los cationes Fe<sup>2+</sup> y Fe<sup>3+</sup> fueron recalculados a partir de la fórmula publicada por Droop (1987). B) Diagrama de clasificación de biotitas según Deer et al. (1992). C) Diagrama de clasificación de biotitas de Rieder et al. (1998). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés.

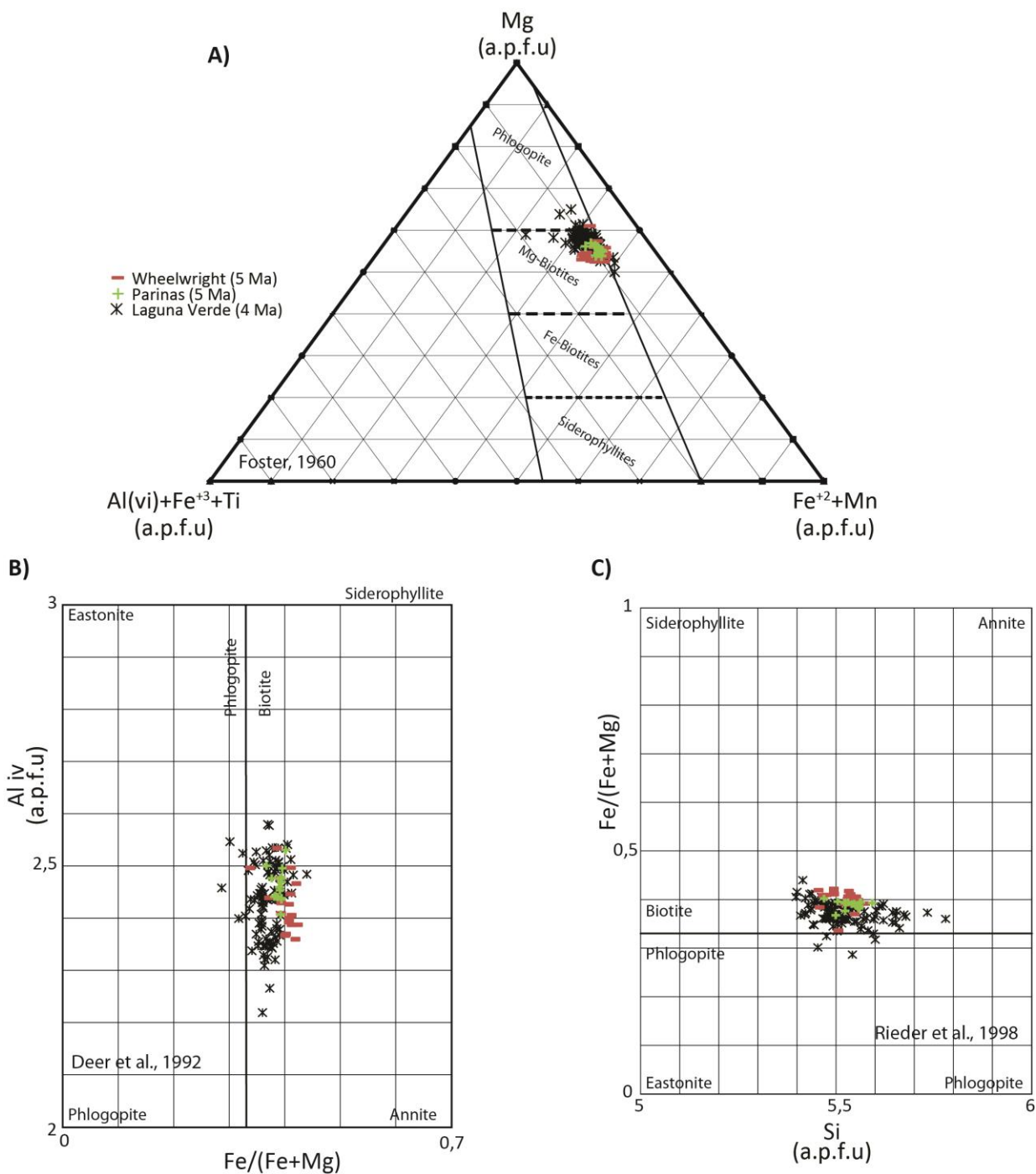


Figura 4.57: Diagramas de clasificación de biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde. Los límites entre flogopitas y biotitas de los diagramas B) y C) fueron trazados de acuerdo con los valores establecidos por Speer (1984) y Deer et al. (1986). A) Diagrama ternario de clasificación de biotitas según Foster (1960). Los cationes Fe<sup>2+</sup> y Fe<sup>3+</sup> fueron recalculados a partir de la fórmula publicada por Droop (1987). B) Diagrama de clasificación de biotitas según Deer et al. (1992). C) Diagrama de clasificación de biotitas de Rieder et al. (1998). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés.



#### 4.2.2 CLASIFICACIÓN INDIRECTA DE MAGMAS

De acuerdo con diversos autores (Muñoz y Swenson, 1981, Nachit *et al.*, 1985, Abdel-Rahman, 1994, 1996), la composición de las biotitas refleja la composición química del magma parental a partir del cual cristalizaron, permitiendo clasificar dichos magmas y reconocer su ambiente de formación.

Como se puede observar en las Figura 4.58A y B, los magmas a partir de los cuales se formaron las biotitas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito corresponden a magmas calco-alcalinos orogénicos (campo C de los diagramas). Escasos análisis indican magmas alcalinos anorogénicos; 2 para la Ignimbrita Vega Helada en el gráfico A y uno para la Ignimbrita Pajonales en el gráfico B. En la Figura 4.58.C se observa una mayor variedad: las biotitas de las ignimbritas antiguas y Río Frío indican magmas calco-alcalinos, con escasos análisis que indican composiciones sub-alcalinas, Vega Helada únicamente indica un magma calco-alcalino, Pajonales indica magmas calco-alcalinos, sub-alcalinos y 3 análisis indican magmas alcalinos a peralcalinos, y Juncalito indica magmas calco-alcalinos a sub-alcalinos.

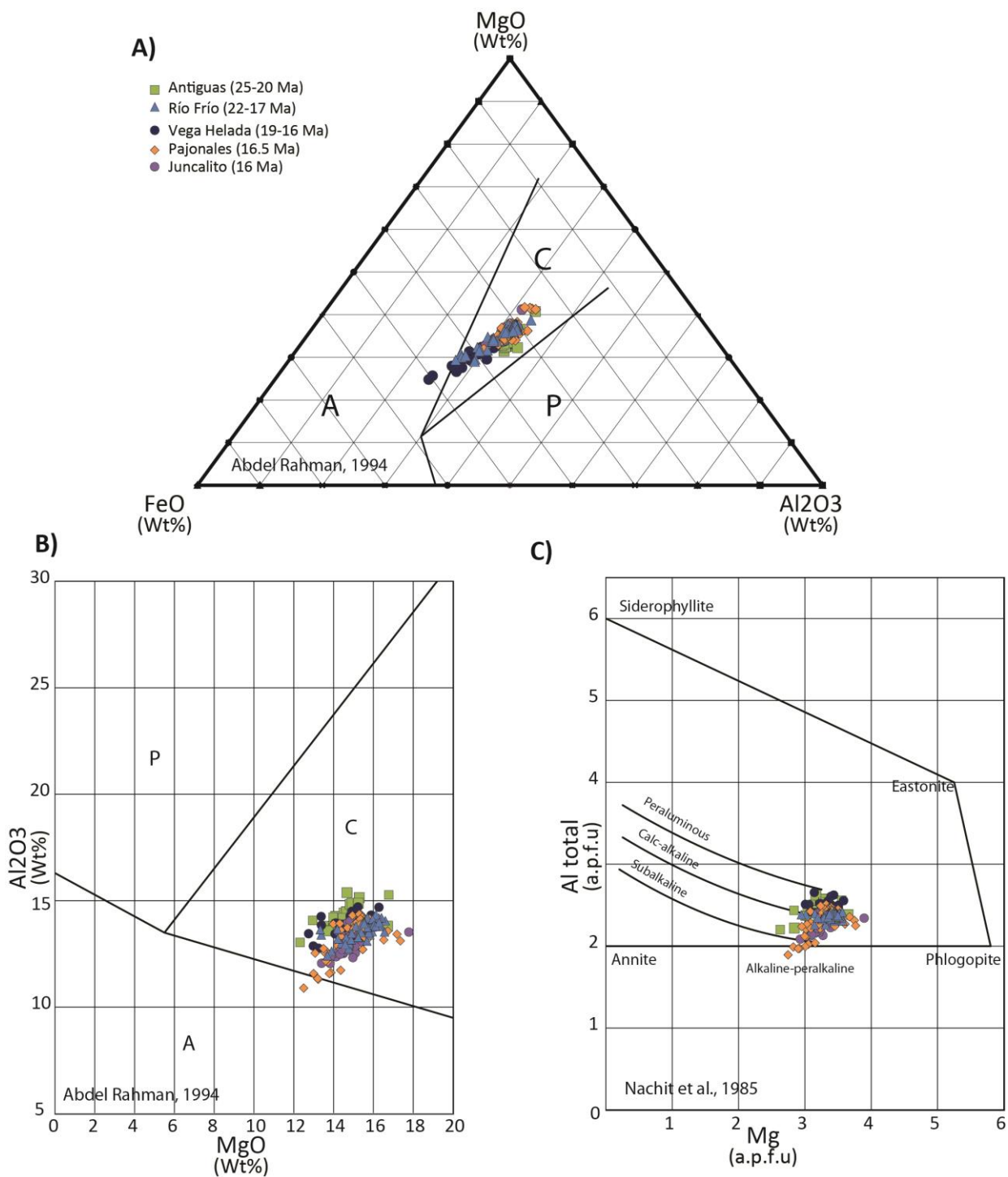


Figura 4.58: Diagramas de clasificación de magmas a partir de la geoquímica de biotitas para las ignimbritas Antiguas (más de 21 Ma), Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito. A) y B) según Abdel-Rahman (1994), las letras A, P y C indican magmas alcalinos anorogénicos, peraluminosos (incluyendo los tipo S) y calco-alcalinos orogénicos, respectivamente, y C) según Nachit et al. (1985). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés, Wt% corresponde al porcentaje en peso de óxidos.

Como se puede observar en la Figura 4.59, la química de las biotitas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados indican

magmas de carácter calco-alcálico. Un único análisis de la Ignimbrita San Andrés muestra valores muy diferentes al resto, el que indica un magma peraluminoso. Los análisis de la Ignimbrita Los Colorados tienen mayor dispersión que el resto de las unidades graficadas en la Figura 4.59, indicando magmas calco-alcálicos y sub-alcálicos en el gráfico C.

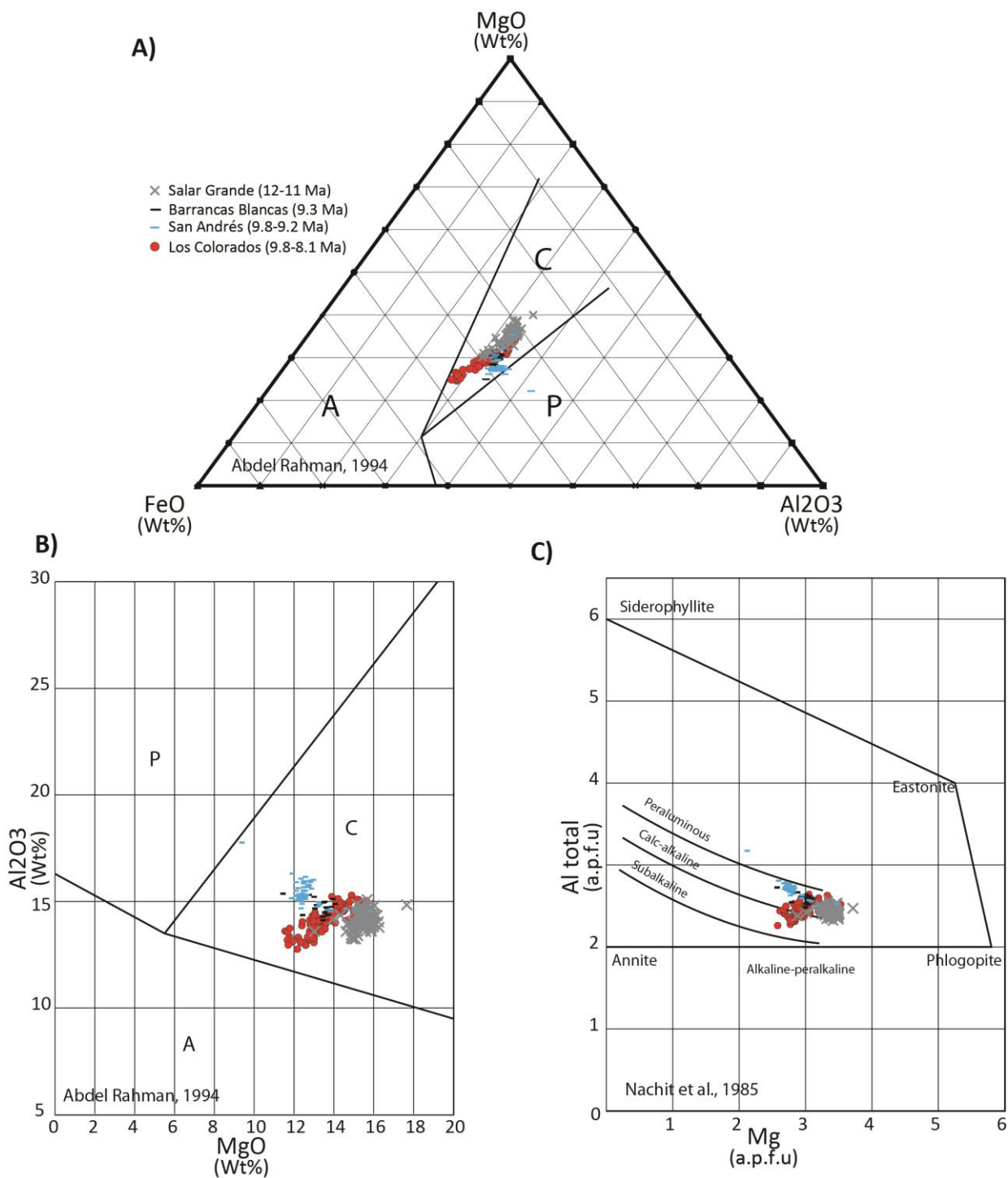


Figura 4.59: Diagramas de clasificación de magmas a partir de la geoquímica de biotitas para las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados. A) y B) según Abdel-Rahman (1994), las letras A, P y C indican magmas alcalinos anorogénicos, peraluminosos (incluyendo los tipo S) y calco-alcalinos orogénicos, respectivamente, y C) según Nachit et al. (1985). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés, Wt% corresponde al porcentaje en peso de óxidos.

Finalmente, los análisis graficados en la Figura 4.60 son los que muestran la menor dispersión, indicando exclusivamente magmas calco-alcinos orogénicos para las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde.

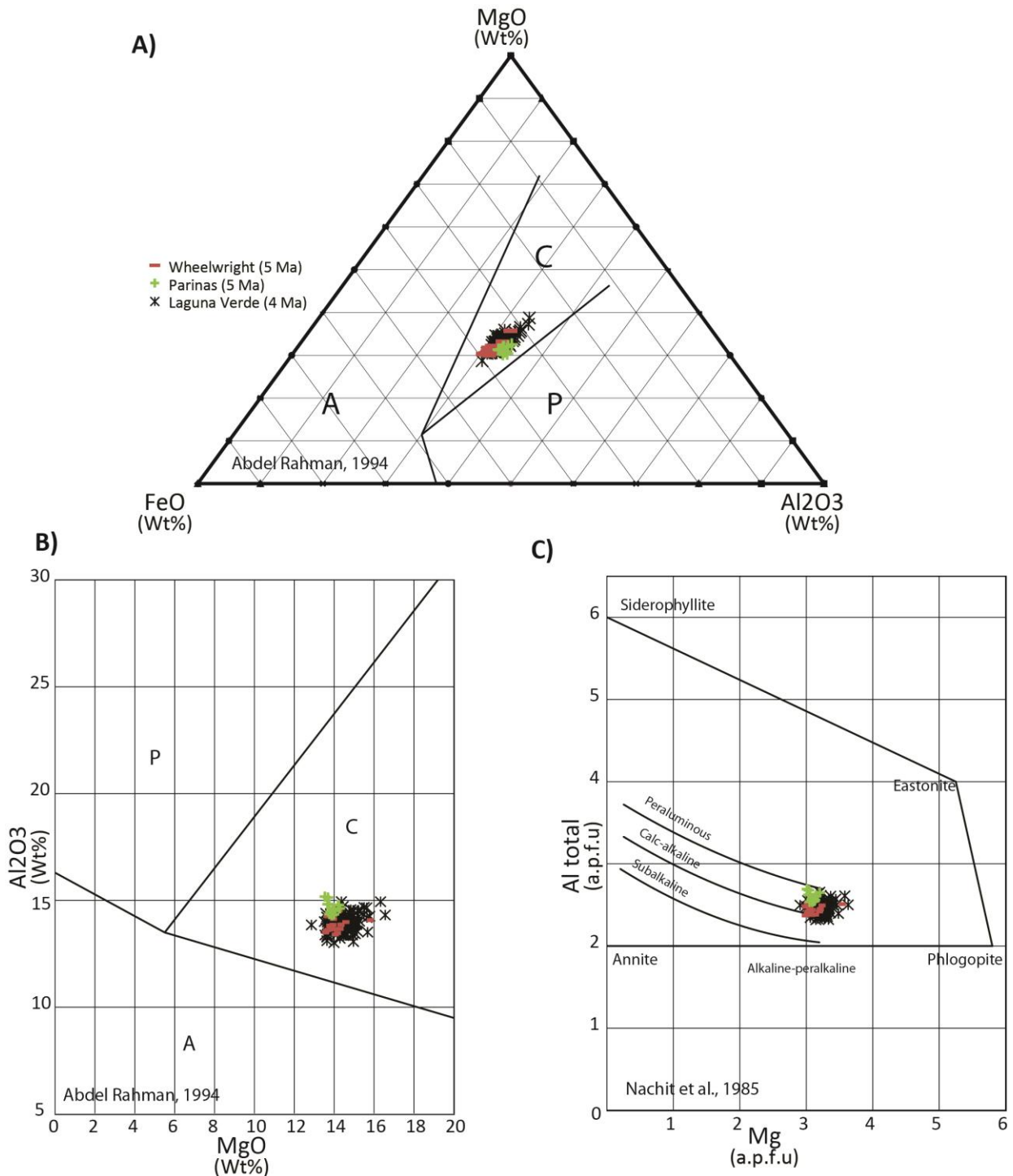


Figura 4.60: Diagramas de clasificación de magmas a partir de la geoquímica de biotitas para las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde. A) y B) según Abdel-Rahman (1994), las letras A, P y C indican magmas alcalinos anorogénicos, peraluminosos (incluyendo los tipo S) y calco-alcinos orogénicos, respectivamente, y C) según Nachit et al. (1985). Las siglas a.p.f.u quieren decir átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés, Wt% corresponde al porcentaje en peso de óxidos.

Las biotitas de las unidades más jóvenes tienen dispersión menor en comparación con las unidades más antiguas (Figura 4.59 y Figura 4.60).

### 4.2.3 CARACTERIZACIÓN DE GEOQUÍMICA DE BIOTITAS

Las Figura 4.61, Figura 4.62 y Figura 4.63 muestran la distribución de diferentes óxidos en función del sílice. Los gráficos de Na<sub>2</sub>O y CaO fueron descartados, ya que la dispersión de los datos era demasiado alta, debido al bajo contenido de Sodio y Calcio en las biotitas. En general, la geoquímica de biotitas muestra patrones consistentes en cada unidad. La Tabla 4.2 indica los rangos composicionales más comunes de cada unidad.

Como se puede observar en la Figura 4.61, la química de biotitas de las ignimbritas Antiguas tienen un cúmulo bien definido, con su rango composicional acotado por los valores indicados en la Tabla 4.2 y algunos análisis con alta dispersión, con un análisis empobrecido en FeO, 3 enriquecidos en SiO<sub>2</sub>, 2 ricos y uno pobre en MgO y uno pobre en K<sub>2</sub>O. La ignimbrita Río Frío muestra una química de biotitas bien acotada para la mayoría de los análisis, con una dispersión importante en algunos análisis: el FeO aumenta a medida que disminuye el SiO<sub>2</sub> (llega a 20.5% de FeO con 32.5% de SiO<sub>2</sub>), una muestra con escaso FeO en la misma línea de distribución; el TiO<sub>2</sub> forma 2 cúmulos, el secundario entre 5% y 5.5%; el comportamiento del MgO es opuesto al FeO (aumenta con SiO<sub>2</sub>); MnO bastante constante, pero con un análisis que llega a 0.9% (el triple que los otros), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bien acotado y K<sub>2</sub>O con comportamiento similar al MgO.

Las biotitas de la Ignimbrita Vega Helada tienen alta variabilidad en su química, sin un cúmulo claro, pero con tendencias bien marcadas: FeO y MnO disminuyen, mientras que MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y K<sub>2</sub>O aumentan, con respecto al SiO<sub>2</sub>. El TiO<sub>2</sub> es disperso. Un análisis es generalmente muy distinto al resto, muy pobre en K<sub>2</sub>O y muy rico en FeO, con otra biotita muy pobre en MnO (Figura 4.61).

La Ignimbrita Pajonales, al igual que la Río Frío, tiene un cúmulo bien definido, con numerosos análisis que escapan de dicho cúmulo, con tendencias marcadas: los diferentes óxidos disminuyen en función del porcentaje de SiO<sub>2</sub>. El MnO y el TiO<sub>2</sub> no muestran una tendencia clara como los demás óxidos. La Ignimbrita Juncalito también muestra un cúmulo importante, con dispersión menor a las de Río Frío y Pajonales, y sus contenidos de MgO y K<sub>2</sub>O no presentan un patrón claro (Figura 4.61).

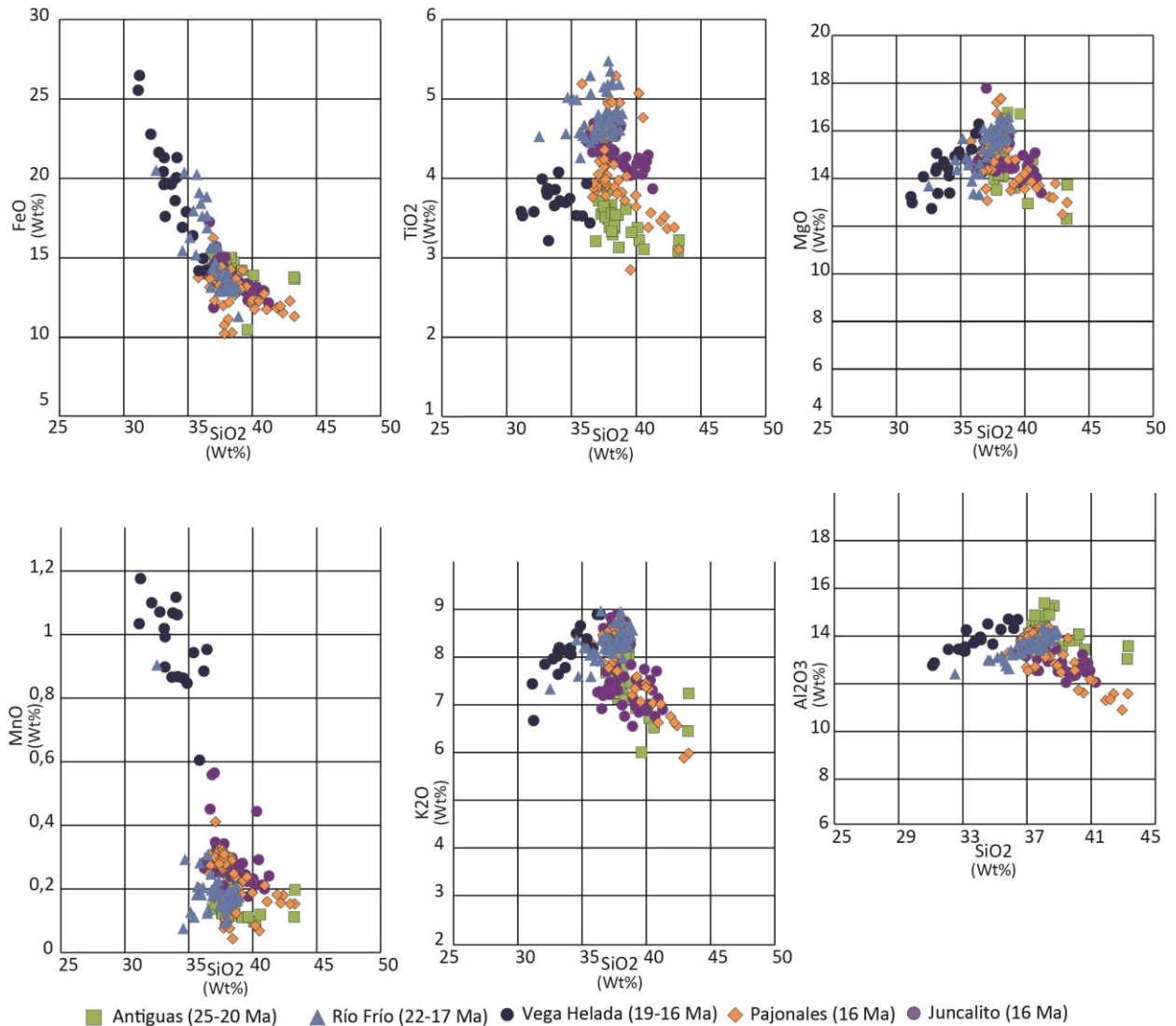


Figura 4.61: Distribución de diferentes elementos en función de la cantidad de sílice, expresados como porcentaje en peso de óxidos (Wt%), para los análisis realizados en las biotitas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito.

Las ignimbritas graficadas en las Figura 4.62 y Figura 4.63 tienen cúmulos mucho más marcados que los graficados en la Figura 4.61, a excepción de la Ignimbrita Los Colorados, que es la que muestra mayor dispersión de todas.

Como se puede observar en la Figura 4.62, la Ignimbrita Salar Grande tiene biotitas con química acotada, excepto por una empobrecida en  $\text{TiO}_2$  y  $\text{MgO}$ , y rica en  $\text{SiO}_2$ , otra rica en  $\text{MgO}$  y pobre en  $\text{FeO}$  y  $\text{MnO}$ , y en cuanto al porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$ , muestra gran dispersión. La química de biotitas de la Ignimbrita Barrancas Blancas presenta un cúmulo muy acotado, con escasas biotitas que se escapan de la norma; la más pobre en  $\text{SiO}_2$  es también la más pobre en  $\text{MgO}$  y la más rica en  $\text{FeO}$ , contiene algunas biotitas muy enriquecidas en  $\text{MnO}$ , y el  $\text{TiO}_2$  es disperso (Figura 4.62). La Ignimbrita San Andrés presenta rangos composicionales bien acotados, con una muestra que escapa mucho de los valores más representativos, y 3 análisis que escapan menos, en las mismas direcciones (empobrecida en  $\text{MgO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , y enriquecida en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; Figura 4.62).

La Ignimbrita Los Colorados es muy variable, forma líneas de tendencia bastante claras, con una disminución de  $\text{FeO}$  y  $\text{MnO}$  y un aumento de  $\text{MgO}$ , en función del sílice, mientras que en  $\text{TiO}_2$  y el  $\text{K}_2\text{O}$  se distribuyen de forma vertical, y el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no muestra una tendencia clara (Figura 4.62).

La química de las biotitas de la Ignimbrita San Andrés es muy constante, salvo por un único análisis que se escapa mucho del resto, probablemente debido a que esa biotita en particular corresponde a un cristal incorporado durante el transporte de la corriente piroclástica (Figura 4.56, Figura 4.59, Figura 4.62).



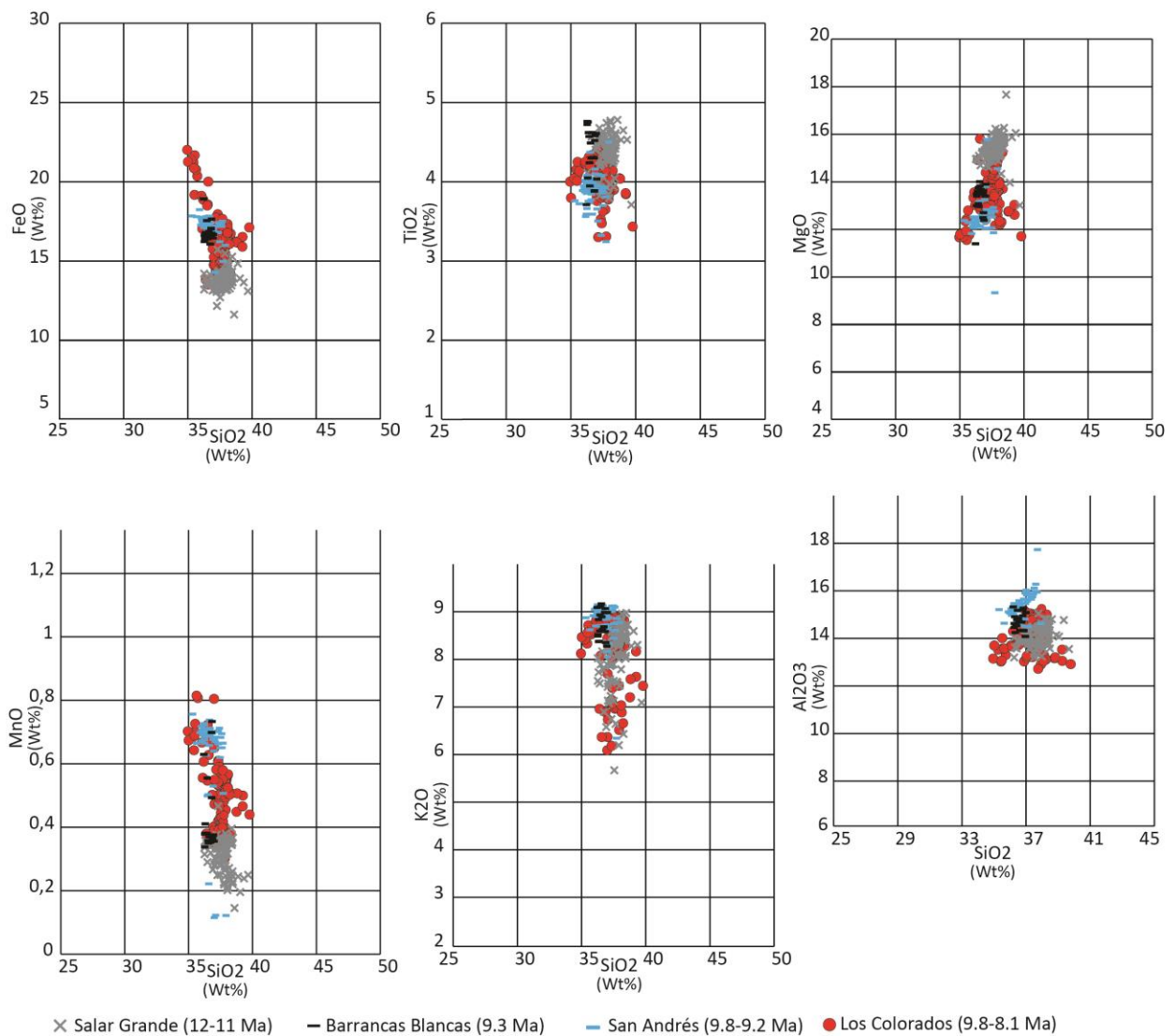


Figura 4.62: Distribución de diferentes elementos en función de la cantidad de sílice, expresados como porcentaje en peso de óxidos (Wt%), para los análisis realizados en las biotitas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados.

Las Ignimbritas Wheelwright y Parinas son bien acotadas en la composición de las biotitas analizadas (Figura 4.63). La primera de ellas tiene una muestra que se aleja mucho de las otras, con un alto contenido de Mg y bajo de K, Mn, Ti y Fe, y otros 3 análisis se desvían en la misma dirección, pero en menor medida. Los análisis realizados en la Ignimbrita Parinas son muy acotados, con una sola biotita con valores levemente disonantes, reducida en FeO, MnO y K<sub>2</sub>O, y con mayor MgO y TiO<sub>2</sub>.

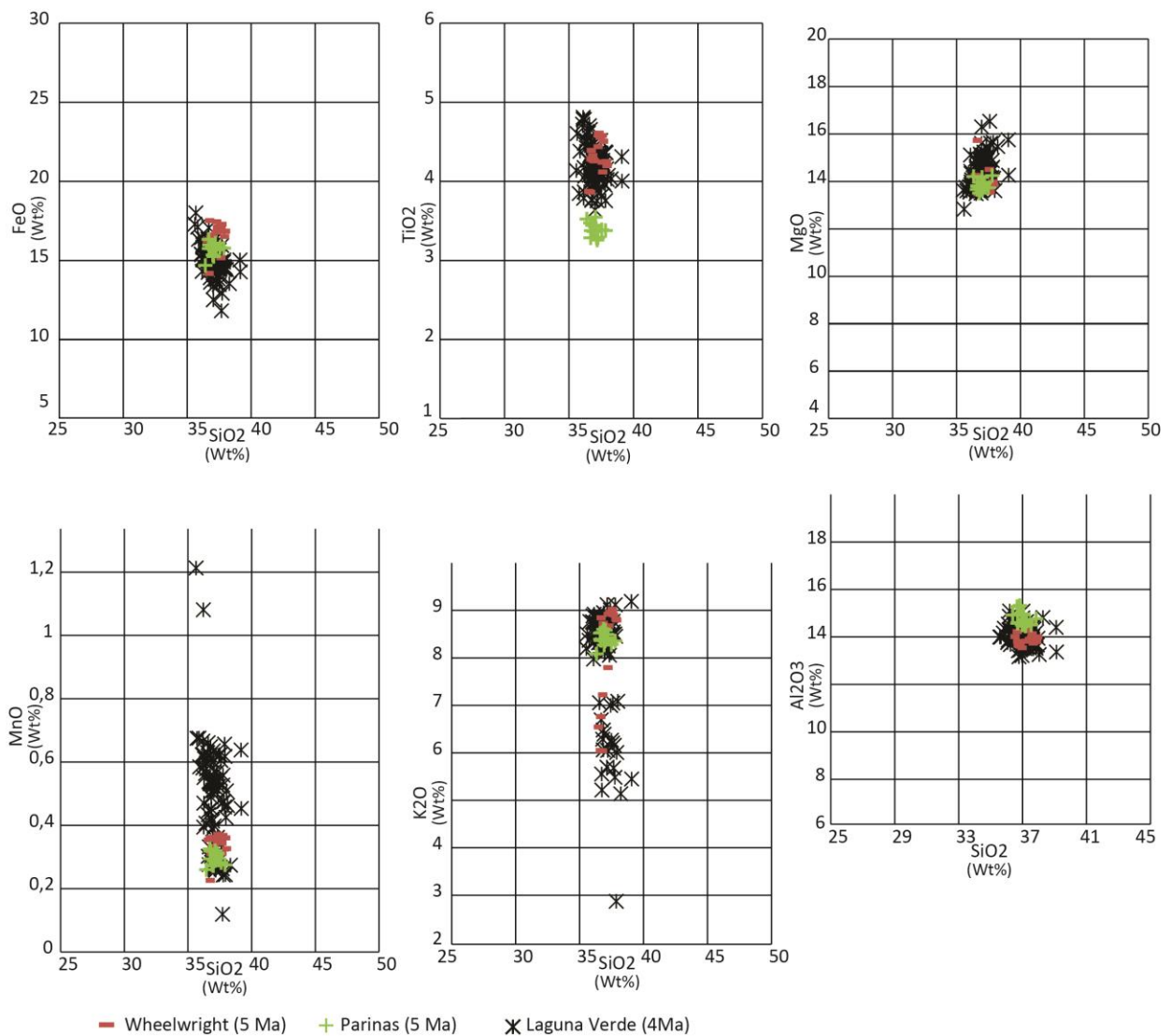


Figura 4.63: Distribución de diferentes elementos en función de la cantidad de sílice, expresados como porcentaje en peso de óxidos (Wt%), para los análisis realizados en las biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde.

Finalmente, la química de biotitas de la Ignimbrita Laguna Verde es muy constante, salvo por escasos análisis que presentan mayor y menor MnO y un grupo importante con menor K<sub>2</sub>O (Figura 4.63). No se observan diferencias entre las biotitas de las diferentes subunidades de la Ignimbrita Laguna Verde, por lo que en este caso son una muy buena herramienta de correlación. La alta variabilidad en el K<sub>2</sub>O se puede deber a la estructura de las biotitas, que incluye K<sup>+</sup> entre las capas de tetraedros que la conforman.

Tabla 4.2: Rangos composicionales de la geoquímica de biotitas de las ignimbritas estudiadas, expresada en porcentaje en peso de óxidos. Los rangos no comprenden toda la gama de valores obtenidos, sino que se limitan a los cúmulos que comprenden la mayor cantidad de análisis de cada unidad.

Unidad	SiO <sub>2</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	MgO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
Antiguas	36.8-39.6	14.5-15.2	3.1-3.8	12.9-15.2	0.08-0.23	13.3-15.1	6.5-8.5
Río Frío	36.7-38.9	12.9-14.1	4.53-4.85	15.2-16.6	0.1-0.3	12.5-14.2	8.2-9.0
Vega Helada	32.7-35.4	17.0-21.3	3.4-4.0	13.2-15.2	0.84-1.18	12.8-14.7	7.6-8.9
Pajonales	36.7-38.2	13.0-14.3	3.9-4.7	14.9-15.9	0.26-0.32	13.2-14.3	8-8.7
Juncalito	36.2-39.2	12.9-15.0	4.0-4.7	14.0-16.0	0.20-0.34	12.3-14.1	6.8-8.8
Salar Grande	36.3-39.3	12.7-15.5	3.8-4.8	14.5-16.3	0.2-0.4	13.2-14.8	6.5-9.0
Barrancas Blancas	36.25-37.0	16.2-17.0	3.9-4.8	13.4-14.0	0.34-0.41	14.3-15.2	8.35-9.17
San Andrés	36.0-37.5	16.7-17.8	3.6-4.1	12.0-13.2	0.62-7.34	14.6-16.2	8.65-9.10
Los Colorados	*	*	*	*	*	*	*
Wheelwright	36.8-37.9	16.5-17.5	4.1-4.6	13.5-14.3	0.31-0.36	13.4-14.4	8.6-9.0
Parinas	36.8-37.8	15.2-16.3	3.25-3.54	13.5-14.3	0.25-0.32	14.3-15.2	8.2-8.5
Laguna Verde	36.2-37.9	14.4-16.3	3.9-4.4	13.5-15.2	0.25-0.3; 0.5-0.54	13.1-14.6	8.0-8.9

\*: La Ignimbrita Los Colorados tiene variabilidad muy alta, no presenta un rango representativo.

La química de las biotitas de cada unidad tiene rangos y patrones de distribución características que las distinguen unas de otras, por lo que en el caso de las unidades involucradas en este estudio representa una buena herramienta para la caracterización y correlación de unidades. En general, las unidades más antiguas muestran una mayor variabilidad composicional.

En el caso de la Ignimbrita Río Frío, al comparar la química de las dos subunidades ilustradas en la Figura 4.2, RF-1 y RF-2, se observa que tienen composiciones químicas y patrones de dispersión muy similares, a excepción del titanio, siendo RF-2 más rica en Titanio que RF-1 (Figura 4.64). Según diversos autores, el contenido de Ti en biotitas está relacionado con la temperatura, siendo más ricas en Ti aquellas que cristalizaron a mayor temperatura (Albuquerque 1973, Saavedra *et al.*, 1975, Neiva, 1976, Karimpour *et al.* 2011, Zhang *et al.*, 2016, entre otros). Esto,

sumado al mayor grado de soldamiento que alcanza RF-2, en comparación con RF-1, podría indicar que RF-2 tuvo una temperatura mayor durante su erupción y depositación.

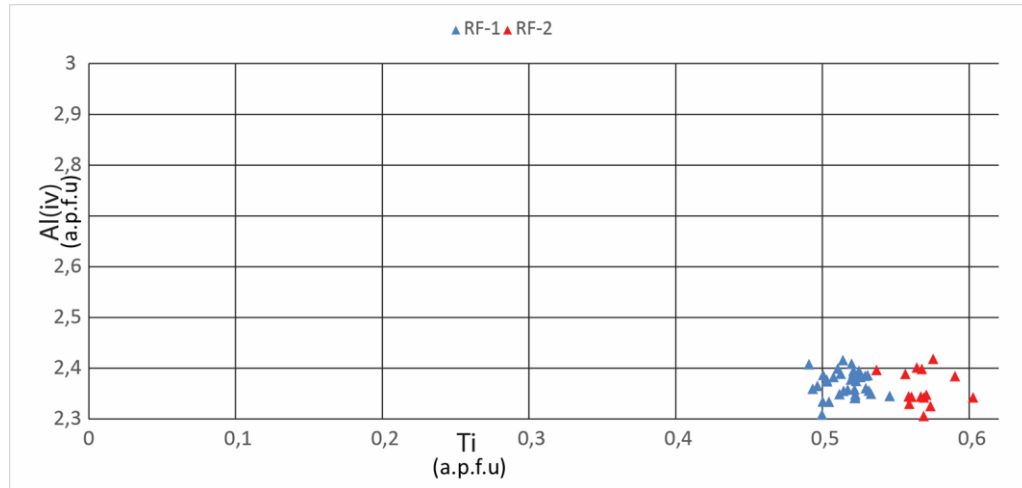


Figura 4.64: Gráfico que compara el contenido de Ti y Al (iv) de las subunidades de la Ignimbrita Río Frío. Las siglas a.p.f.u corresponden a átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos, por sus siglas en inglés.

Las ignimbritas Vega Helada y Los Colorados presentan una química de biotitas muy dispersa, lo que se puede deber a que se formaron en una cámara magmática zonada composicionalmente, o debido a una contaminación importante durante su transporte. En el caso de Vega Helada solo se pudo analizar una muestra, pero en el caso de Los Colorados se cuenta con análisis de 3 de los niveles reconocidos (Brecha basal, COL-1 y COL-2 en la Figura 4.38). Para la Ignimbrita Los Colorados, se puede descartar una contaminación durante el transporte, ya que la química de biotitas de cada nivel es similar en distintas localidades. En este caso, lo primero en ser eruptado (parte basal de COL-1) estaba enriquecido en Mg y empobrecido en Fe y Mn comparado con las biotitas de las siguientes etapas eruptivas. Lo último en ser eruptado (COL-2) alcanza los máximos valores de Fe y Mn, y mínimos de Mg, con una dispersión mayor que las biotitas de los depósitos subyacentes (Figura 4.65). Asumiendo que la parte más baja del depósito representa lo más alto de la cámara magmática, y viceversa, esto podría indicar que la parte baja de la cámara magmática estaba empobrecida en Mg y enriquecida en Fe y Mn en comparación con la parte más somera.

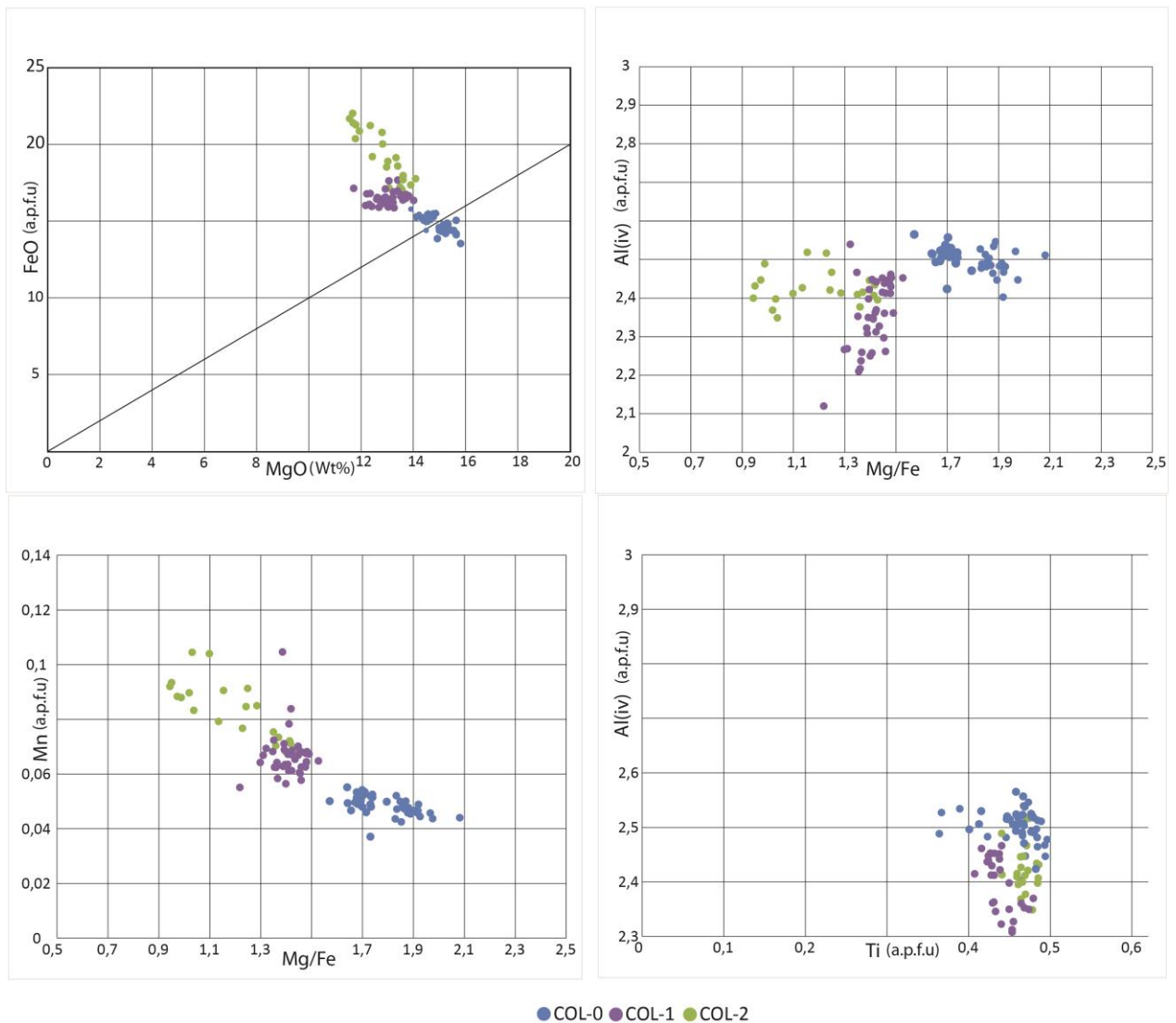


Figura 4.65: Química de biotitas de las diferentes subunidades de la Ignimbrita Los Colorados expresada en porcentaje en peso de óxidos (Wt%) y átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos (a.p.f.u). Se observa una alta variabilidad en la composición química de las biotitas de los diferentes niveles identificados. COL-0 corresponde a la brecha basal de la subunidad COL-1 y no una unidad aparte.

En el caso particular de la Ignimbrita Salar Grande, se analizaron 5 muestras inicialmente asignadas a esta unidad. Sin embargo, se pudo diferenciar una de ellas, ya que muestra algunas diferencias químicas, y para la cual Naranjo *et al.* (2016) obtuvieron una edad U-Pb inédita de  $1,2 \pm 0,1$  Ma (asociada al mapeo geológico de las áreas Cerro Panteón de Aliste y Cerro Colorado), que les permitió asignarla al Volcán Chato Aislado. Como se puede observar en la Figura 4.66, la química de las biotitas de la Ignimbrita Salar Grande es muy constreñida. Los análisis correspondientes a los depósitos del Volcán Chato Aislado muestran algunos análisis similares a los de la Ignimbrita Salar Grande, lo que podría indicar un factor común entre ambas unidades,

pero otros bien diferenciados, más ricos en Ti, Fe y Mn, con menor contenido de Mg y Al. Se interpreta que la erupción del Volcán Chato Aislado podría representar una etapa tardía del colapso de la Caldera Salar Grande, en la que se habrían remobilizado los remanentes de la cámara magmática que originó la Ignimbrita Salar Grande, generando una nueva erupción de menor intensidad (Figura 4.27), lo que explicaría los análisis similares en estas dos unidades. Incluso, algunas de las biotitas que se analizaron del Volcán Chato Aislado, podrían ser cristales que originalmente hayan pertenecido a la Ignimbrita Salar Grande. El último colapso de la Caldera Salar Grande, tipo *downsag*, se puede asociar al vaciamiento de la cámara magmática que produjo la erupción del Volcán Chato Aislado, que habría generado un hundimiento, sin la presencia de un escarpe marcado.

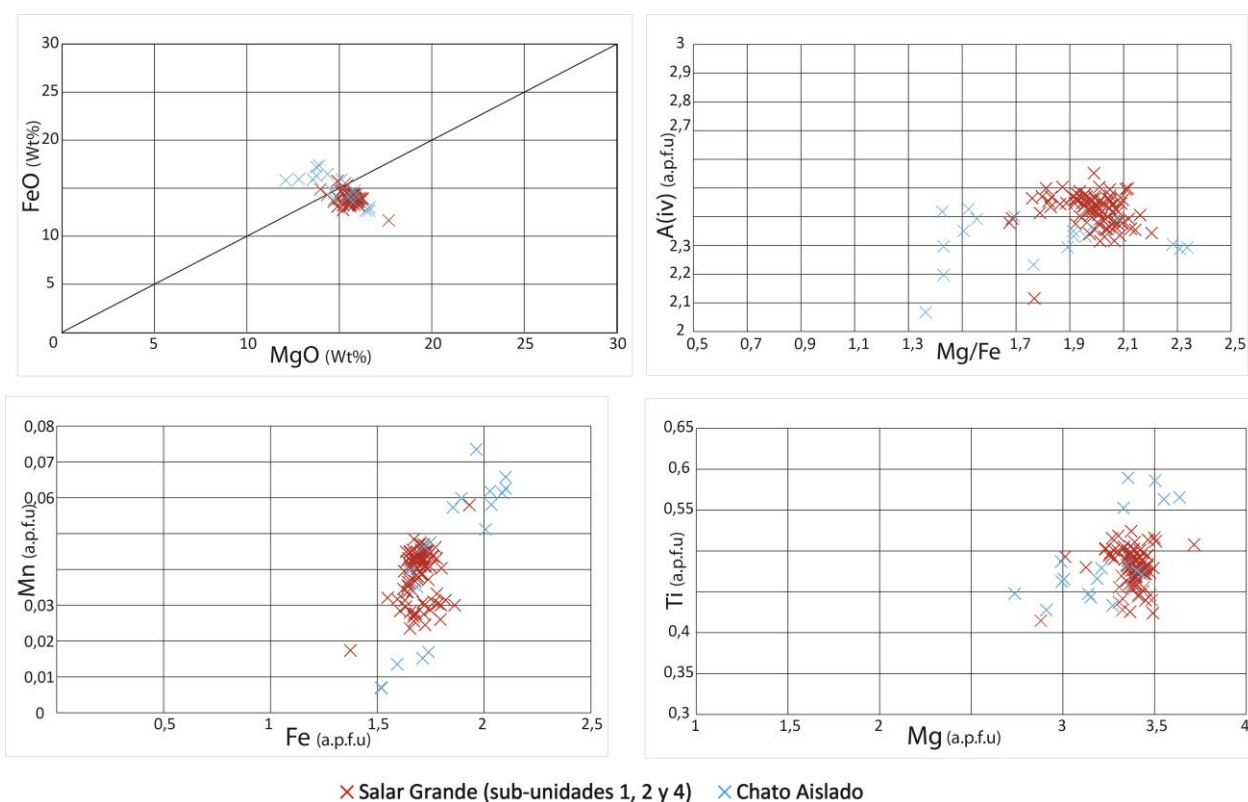


Figura 4.66: Gráficos con datos de análisis químicos de biotitas de la Ignimbrita Salar Grande y de depósitos del Volcán Chato Aislado, expresados en porcentaje en peso de óxidos (Wt%) y átomos por unidad estructural, en base a 22 oxígenos (a.p.f.u.).

Solo se estudió una localidad de cada una de las ignimbritas Barrancas Blancas, Wheelwright y Parinas, por lo que no se pueden hacer interpretaciones importantes respecto a su distribución de facies. Sin embargo, como se puede observar en los

gráficos de clasificación y caracterización que muestran la geoquímica de sus biotitas, las 3 tienen composiciones características, por lo que sería interesante realizar análisis similares para otras localidades de cada una de estas unidades (Figura 4.56, Figura 4.57, Figura 4.59, Figura 4.60, Figura 4.62, Figura 4.63).

### 4.3 CORRELACIÓN CON DEPÓSITOS DISTALES

Los análisis químicos realizados permiten caracterizar las biotitas de cada unidad, lo que a su vez permite correlacionarlas entre sí, con otras unidades ignimbríticas, y con depósitos distales de caída.

Breitkreuz *et al.* (2014) correlacionaron diversos depósitos de caída ubicados en la costa del norte de Chile con grandes erupciones generadoras de ignimbritas, asociadas al colapso de calderas, atribuyendo la fuente de muchas de ellas al Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC por sus siglas en inglés; Figura 4.67). Sin embargo, algunos de los depósitos analizados en dicho trabajo no pudieron ser correlacionados con alguna ignimbrita en particular, o las edades que obtuvo en las diferentes localidades no quedan bien explicadas al atribuir sus fuentes al APVC.



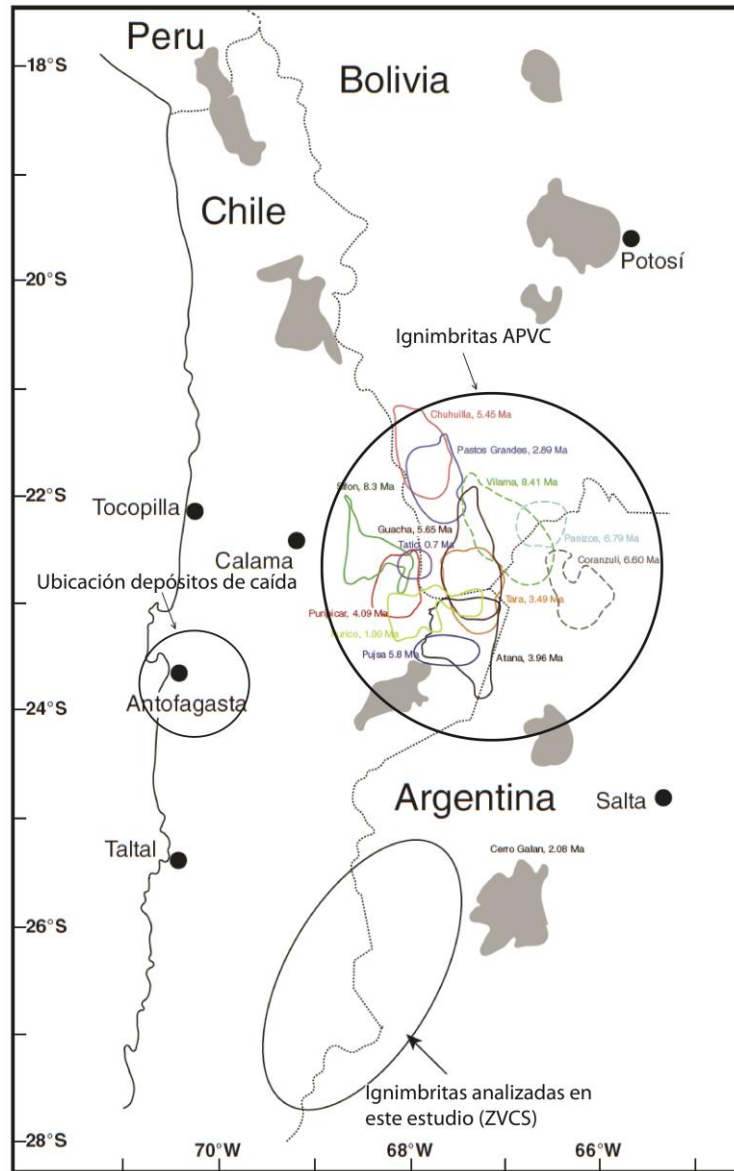


Figura 4.67: Figura modificada de Breitreuz et al. (2014), donde se indica la ubicación aproximada de los depósitos de caída que analizó y las ignimbritas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC en la figura, por sus siglas en inglés). En la parte inferior de la imagen se indica la ubicación aproximada de las ignimbritas estudiadas en el presente trabajo, en la parte sur de la Zona Volcánica Central (ZVCS).

Dicho autor publicó los datos que obtuvo tanto en los depósitos en la Cordillera de la Costa, como los de ignimbritas del APVC. A continuación, se compara la química de biotitas de las localidades de depósitos primarios de caída (L1, L4, L7, L8, L9 y L11) de Breitreuz et al. (2014) con los resultados obtenidos en este trabajo (Figura 4.68), dejando de lado los depósitos retrabajados publicados por dicho autor, para evitar posibles fuentes de contaminación. Las edades que ellos obtienen no superan los ~7 Ma, por lo tanto, las unidades con edades mayores no fueron comparadas con los depósitos distales de caída.

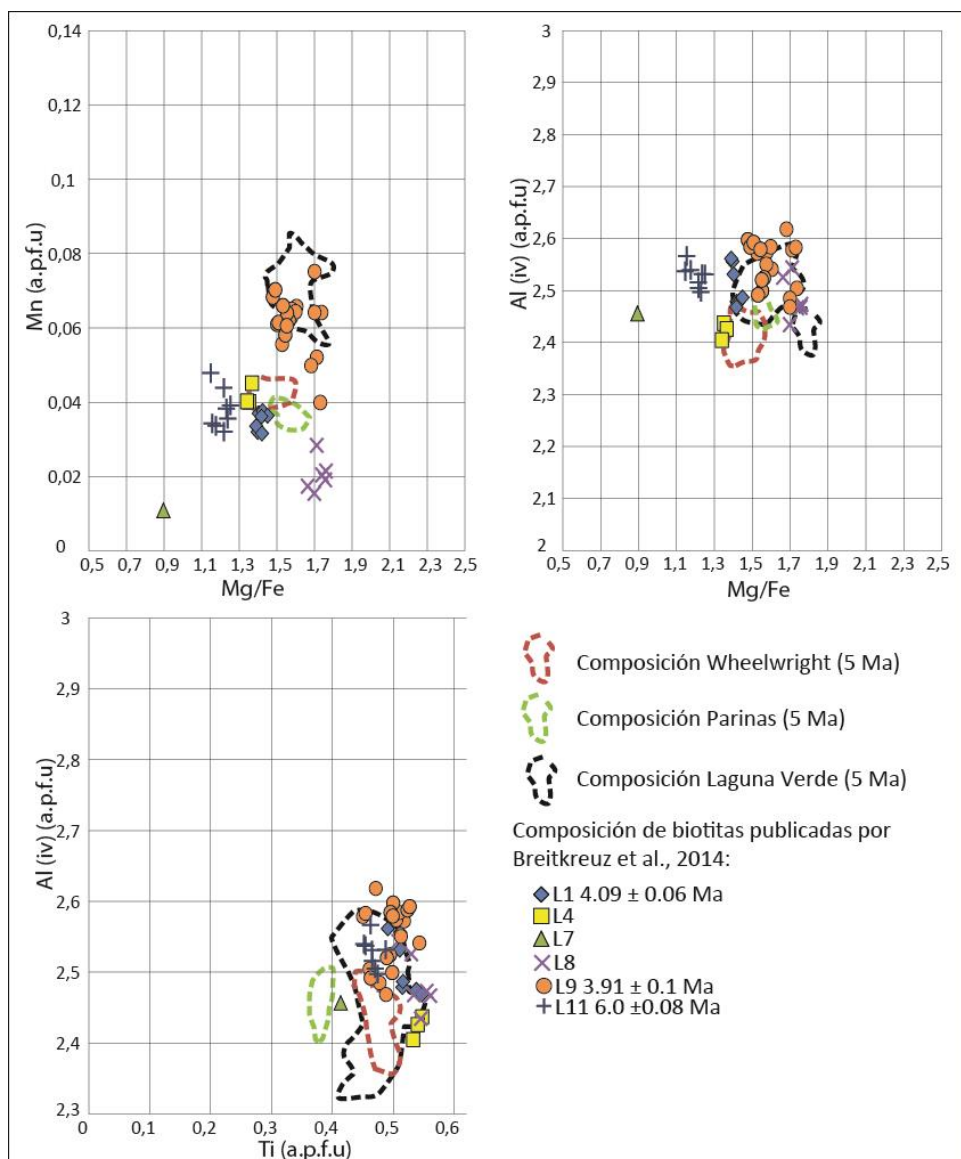


Figura 4.68: Comparación entre la composición química de biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde y depósitos de caída ubicados en la costa, publicados por Breitreuz et al., 2014. Se muestran los mismos gráficos de correlación que en dicho trabajo. Las líneas punteadas de colores representan los rangos composicionales de las biotitas de las unidades indicadas en la leyenda.

Como se puede observar en la Figura 4.68, la química de las biotitas de la muestra L9 de Breitreuz *et al.* (2014) tiene una buena correlación con la Ignimbrita Laguna Verde, mientras que L4 tiene una leve similitud con la Ignimbrita Wheelwright.

Además, L9 tiene una edad de  $3.91 \pm 0.10$  Ma (Breitreuz *et al.*, 2014), que coincide con el rango de edades reportadas para la Ignimbrita Laguna Verde (Figura 4.48, Tabla 7.1). Esta localidad se encuentra muy al norte como para que la Ignimbrita Laguna Verde haya llegado encajonada directamente, más probablemente habría

descendido confinada en paleo-quebradas hacia la bahía de Chañaral (Figura 4.69). La depositación desde una nube co-ignimbrítica que haya llegado hasta alguna de esas bahías es poco probable, ya que los vientos predominantes son de dirección SE, dirección opuesta a donde se encuentran. Se deduce que ambas muestras, L9 y L4, corresponden al depósito de caída a contra viento desde una nube pliniana asociadas a las erupciones (colapsos de caldera) que generaron a las ignimbritas Laguna Verde y Wheelwright, respectivamente.

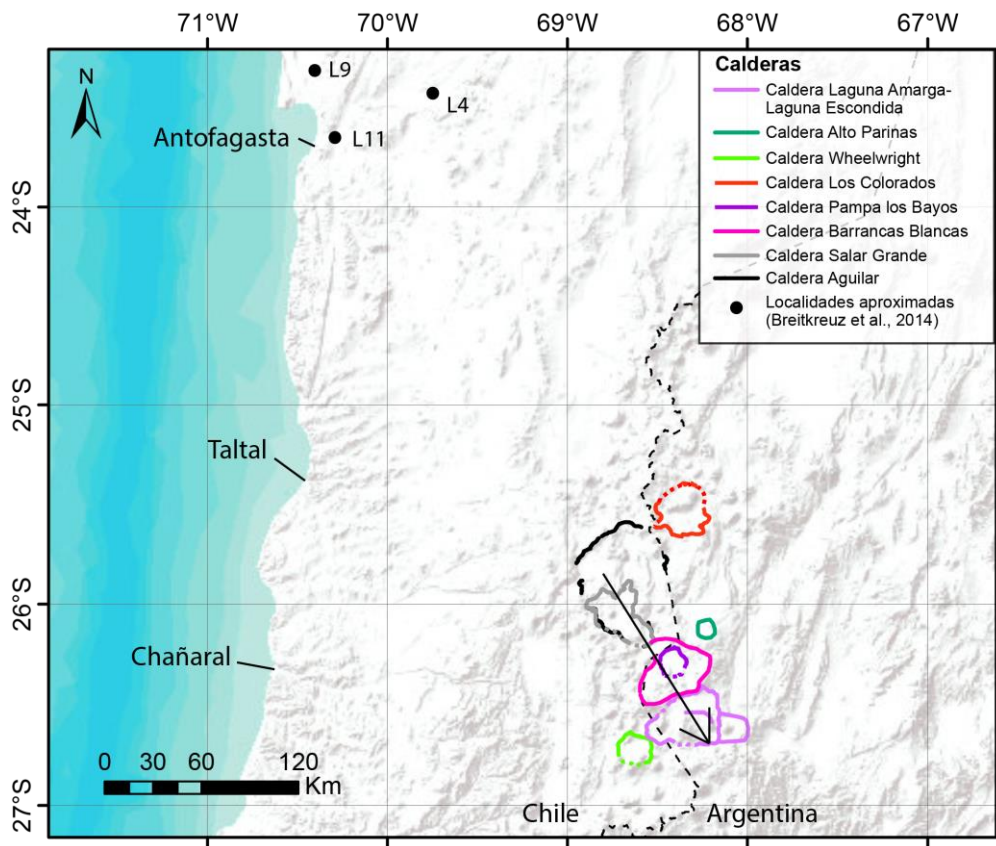


Figura 4.69: Mapa de distribución de las calderas que originaron a las ignimbritas estudiadas en este trabajo. En la parte superior izquierda se indica la ubicación de tres de las localidades estudiadas por Breitkreuz et al. (2014), dos de las cuales pudieron ser correlacionadas con ignimbritas de la parte sur de la Zona Volcánica Central. La flecha indica una migración temporal del colapso de las calderas, abarcando desde los ~20 Ma (Caldera Aguilar) hasta los ~3,8 Ma (Caldera Laguna Amarga-Laguna Escondida).

Las demás localidades distales estudiadas no presentan una buena correlación con las ignimbritas analizadas en este trabajo.

Al comparar la química de biotitas de la parte sur de la Zona Volcánica Central con las del APVC, publicadas por Breitreuz *et al.* (2014), no se observan diferencias notorias, como se puede observar en la Figura 4.70.

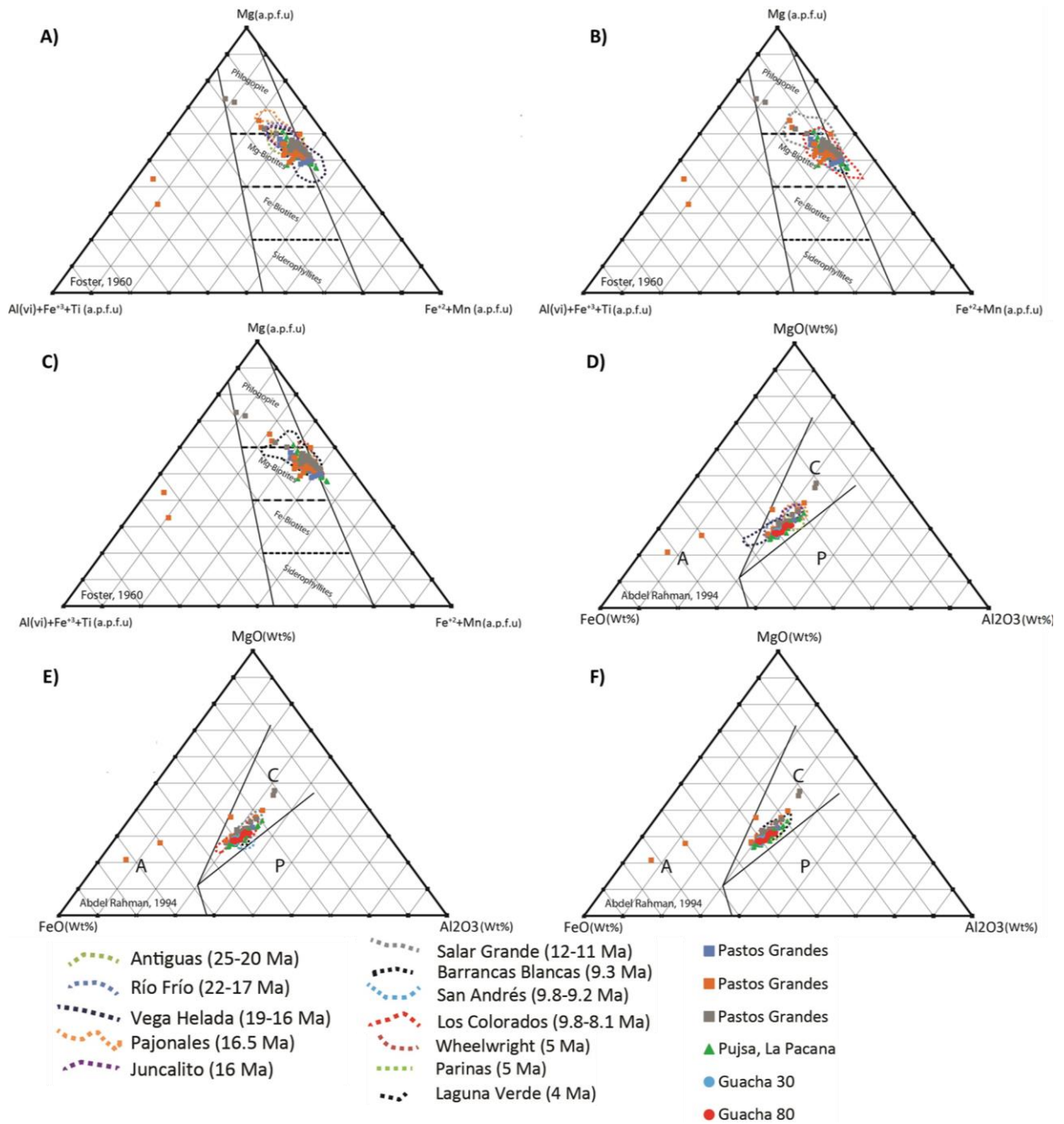


Figura 4.70: Comparación entre la química de biotitas de las ignimbritas estudiadas en la parte sur de la Zona Volcánica Central con la química de biotitas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC), estas últimas publicadas por Breitreuz *et al.* (2014). A) contrasta la clasificación de biotitas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito con las del APVC, B) contrasta la clasificación de biotitas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados con las del APVC, C) contrasta la clasificación de biotitas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde con las del APVC, D) contrasta la clasificación de magmas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito con las del APVC, E) contrasta la clasificación de magmas de las ignimbritas Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés y Los Colorados con las del APVC, F) contrasta la clasificación de magmas de las ignimbritas Wheelwright, Parinas y Laguna Verde con las del APVC.

A pesar de ello, no existe una relación directa entre el colapso de calderas y la generación de ignimbritas en estas dos zonas, claramente diferenciadas en el espacio y el tiempo. Bajo el APVC se reconoce un reservorio magmático de gran volumen, sin continuidad hacia el sur, llamado Cuerpo Magmático Altiplano-Puna (Altiplano-Puna Magmatic Body; Pritchard y Simons, 2002, Ward *et al.*, 2014).

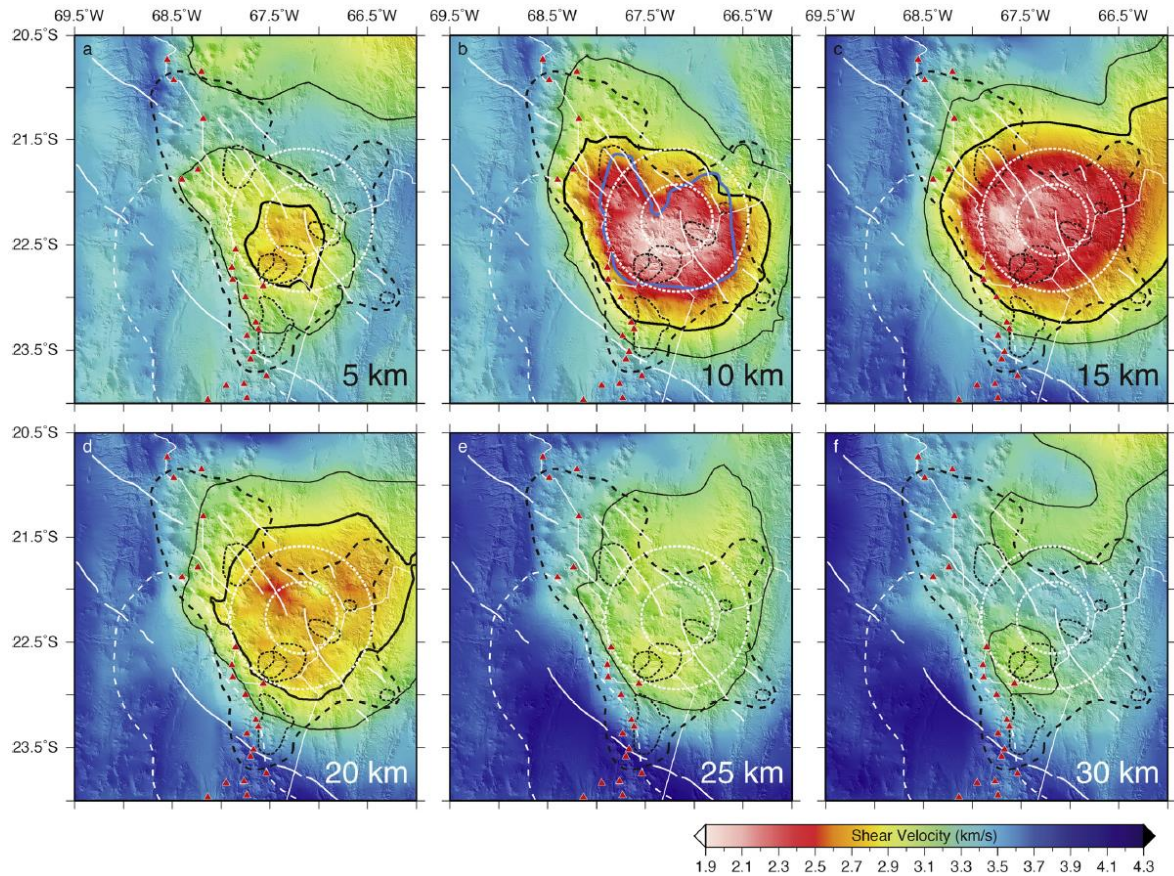


Figura 4.71: Imágenes de velocidad de propagación de ondas S, tomada de Ward *et al.* (2014), donde se ve una importante baja en la velocidad de propagación de ondas entre los 10 y los 15 km de profundidad, lo que interpretan como la presencia de un cuerpo magmático de gran volumen.

Además, como se mencionó previamente en el Marco Geológico, en la parte sur de la Zona Volcánica Central la generación de calderas estaría más bien asociada a la diferenciación desde un magma andesítico alojado en dominios estructurales extensivos (Figura 3.4; Schnur *et al.*, 2007, Naranjo *et al.*, 2018a).

## 4.4 CASOS DE INTERÉS

### 4.4.1 LINEAMIENTOS DE CALDERAS

La Figura 4.69 muestra una migración temporal del colapso de calderas entre los ~20 Ma y los ~3,8 Ma, desde el colapso de la Caldera Aguilar hasta el colapso del sistema Laguna Amarga-Laguna Escondida. Esta migración estaría asociada a variaciones temporales del régimen estructural (Naranjo *et al.*, 2018a).

Al observar el la química de biotitas de los productos de estas unidades, se observan dos patrones de variación, uno para los sistemas Aguilar, Salar Grande, Barrancas Blancas y Pampa de Los Bayos (Figura 4.72, Figura 4.73), y otro para los sistemas Wheelwright-Laguna Amarga-Laguna Escondida (Figura 4.74 y figuras Figura 4.57, Figura 4.60, Figura 4.63), lo que apunta a que en vez de ser un único lineamiento, corresponde a dos lineamientos casi perpendiculares entre sí, como se ilustra en la Figura 4.75. Además, existe un importante salto temporal entre el desarrollo de un lineamiento y el siguiente, como se puede ver en las edades de los productos emitidos en cada caso (Tabla 7.1).

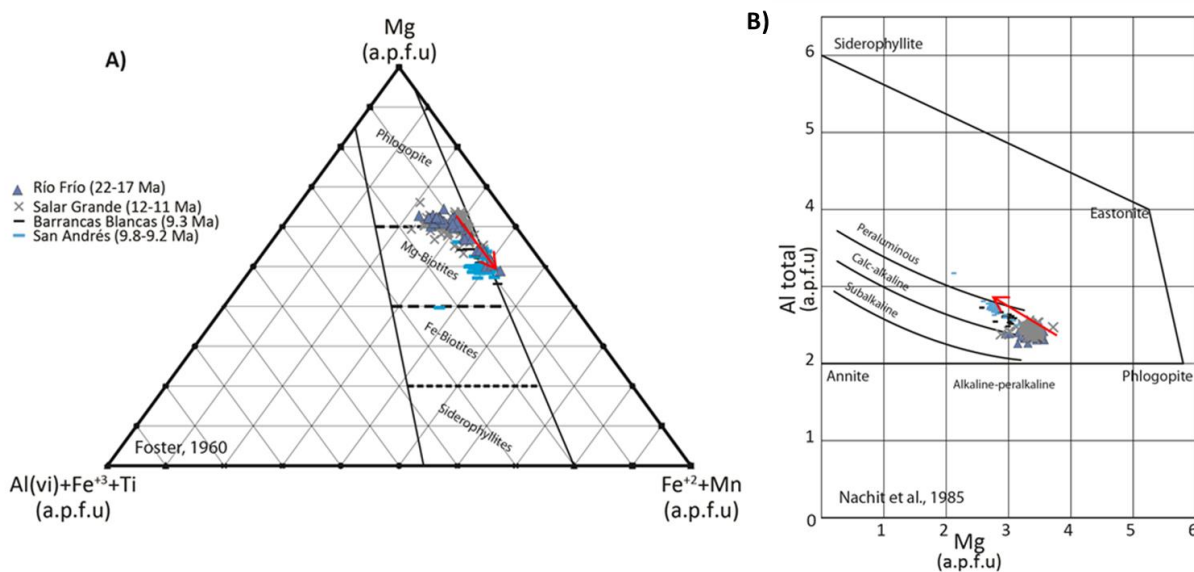


Figura 4.72: Figura que muestra el patrón de la variación de la química de biotitas de las ignimbritas Río Frío, Salar Grande, Barrancas Blancas y San Andrés. A) corresponde al diagrama de clasificación de biotitas de Foster (1960) y B) corresponde al diagrama de clasificación de magmas de Nachit *et al.*, 1985. La flecha roja indica el patrón de variación temporal del lineamiento de las calderas que originaron estos depósitos.

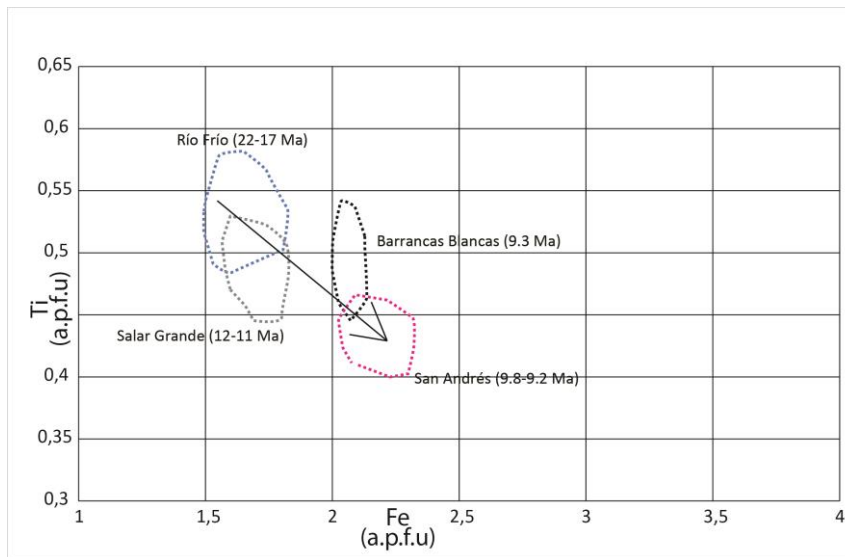


Figura 4.73: Campos de distribución de la química de biotitas de las ignimbritas Río Frío, Salar Grande, Barrancas Blancas y San Andrés. La flecha indica un patrón de variación temporal asociado al lineamiento de las calderas Aguilar, Salar Grande, Barrancas Blancas y Pampa de Los Bayos (Figura 4.75).

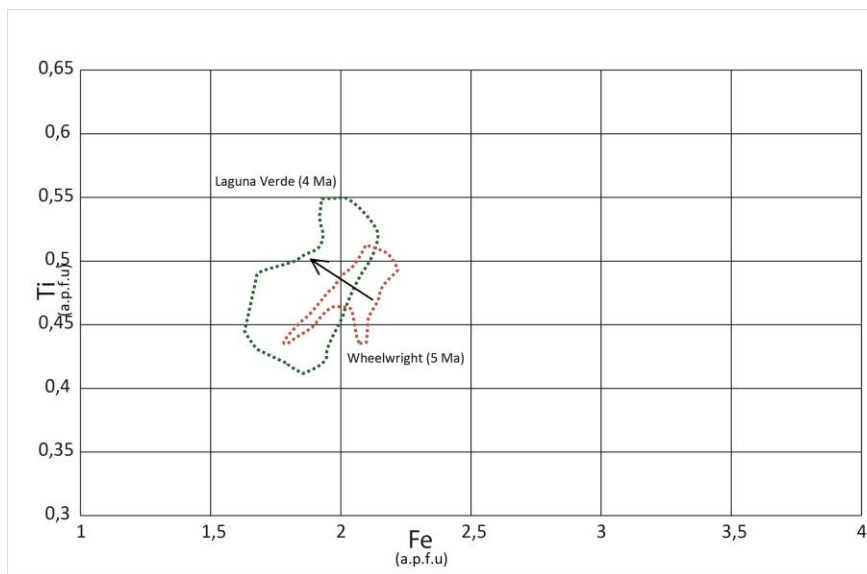


Figura 4.74: Variación temporal de la química de biotitas de los productos del lineamiento de las calderas Wheelwright y Laguna Amarga-Laguna Escondida (Figura 4.75).

Como se mencionó previamente, el contenido de Ti en biotitas es indicativo de la temperatura a la que cristalizaron; un mayor contenido de titanio indica mayor temperatura de cristalización (Albuquerque 1973, Saavedra *et al.*, 1975, Neiva, 1976, Karimpour *et al.* 2011, Zhang *et al.*, 2016, entre otros). Esto podría indicar que las calderas del lineamiento Aguilar-Salar Grande-Barrancas Blancas-Pampa de Los Bayos fueron alimentadas por magmas progresivamente menos calientes, al contrario de lo que se puede decir de las calderas Wheelwright-Laguna Verde-Laguna Escondida,

cuyos reservorios podrían haber sido cada vez más calientes. Las características petrográficas del primer lineamiento descrito también apuntan a un sistema cada vez más frío, ya que los productos pasan de ser ricos en piroxenos a ser ricos en biotita y con contenido de cuarzo, siguiendo la serie de cristalización de Bowen (Bowen, 1915). En el segundo lineamiento no se observan variaciones petrográficas importantes. Sería de gran interés analizar la química de otras fases minerales, con el fin de poder hacer estudios petrológicos de estas unidades, especialmente estudios de geo-termo-barometría, que permitan conocer las profundidades de emplazamiento y temperatura de equilibrio de los magmas que generaron estas ignimbritas.

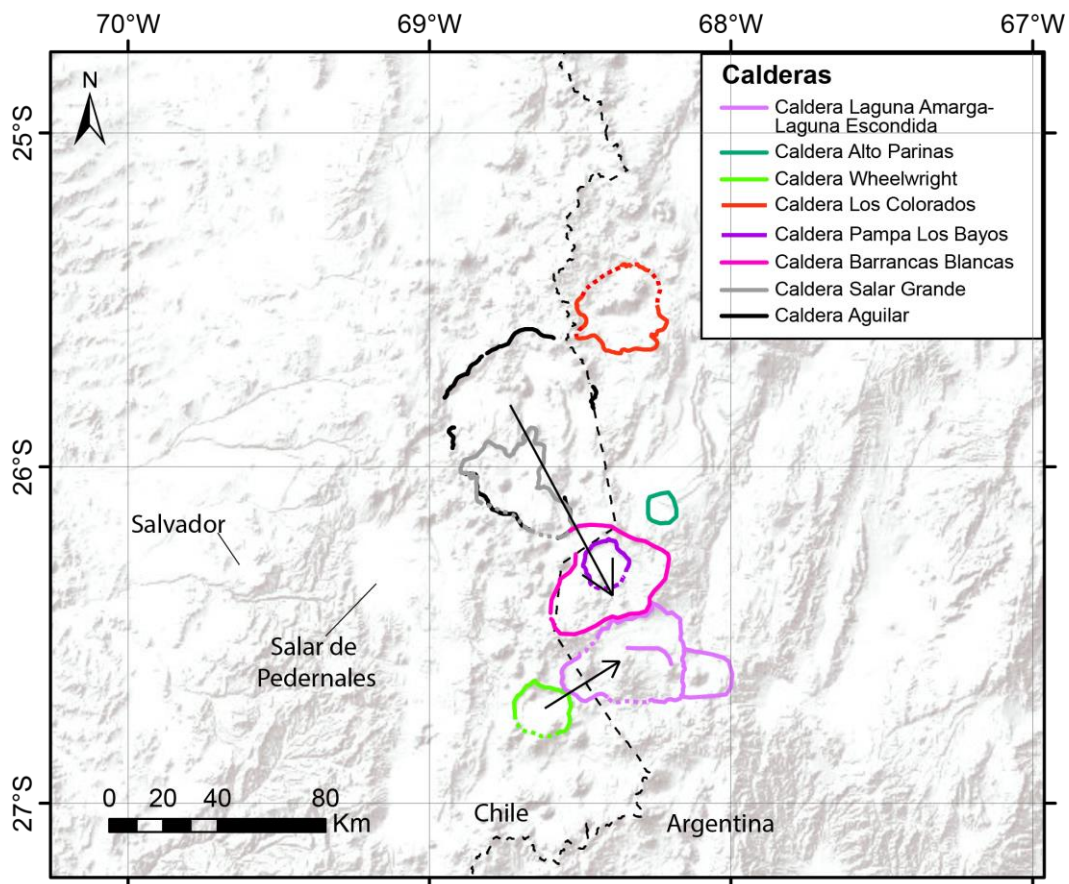


Figura 4.75: Se muestra la ubicación aproximada de las calderas que originaron las diferentes ignimbritas estudiadas en este trabajo. Se reconocen dos lineamientos temporales indicados con flechas negras, el lineamiento de orientación NNW-SSE lo comprenden las calderas Aguilar, Salar Grande, Barrancas Blancas y Pampa de Los Bayos y el lineamiento de orientación WSW-ENE lo conforman las calderas Wheelwright y Laguna Amarga-Laguna Escondida. Las calderas Los Colorados y Alto Parinas no parecen tener una relación física, temporal ni química con los lineamientos antes mencionados.

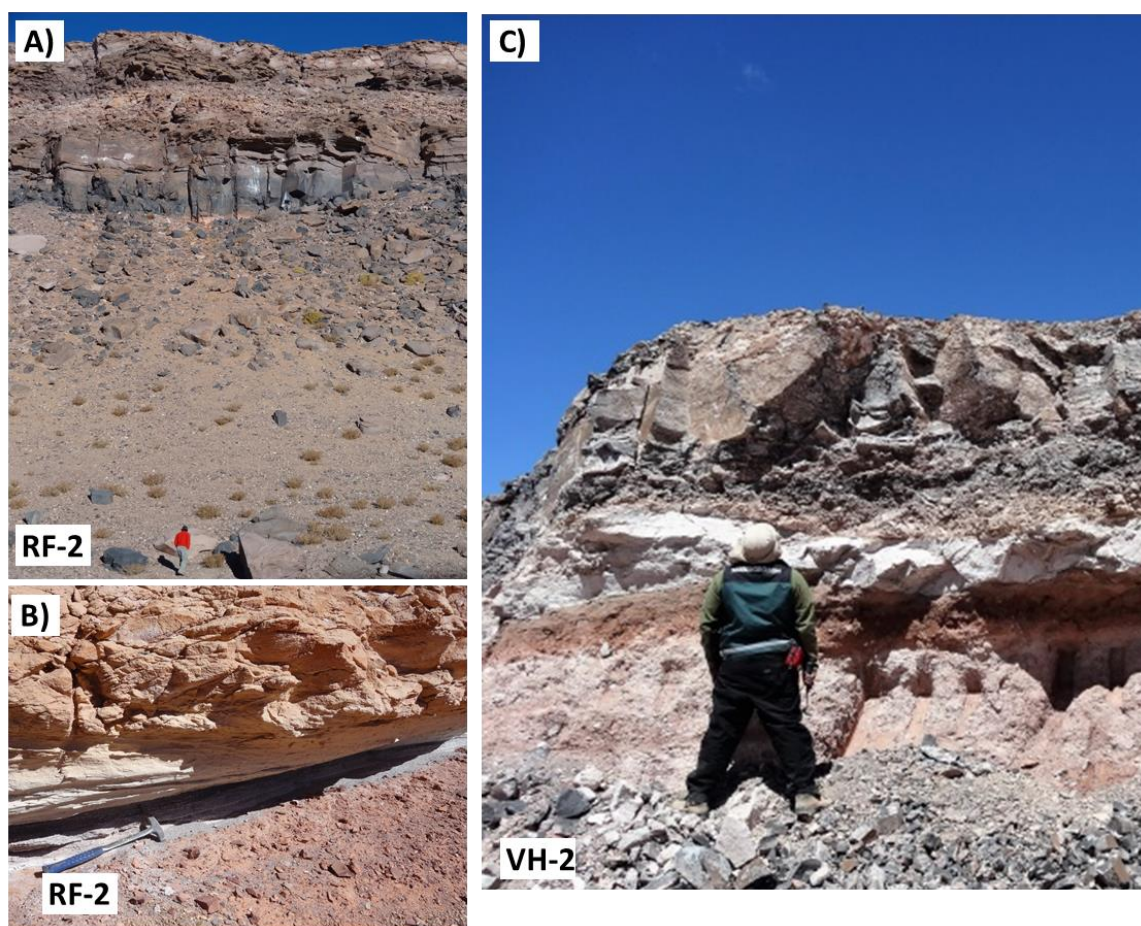
Cabe destacar que la temporalidad del colapso de las calderas Aguilar, Salar Grande, Barrancas Blancas y Pampa de Los Bayos es coincidente con la migración



hacia el sur del Ridge de Juan Fernández a su actual posición, y podría ser un factor controlador importante del régimen compresivo local.

#### 4.4.2 RÍO FRÍO-VEGA HELADA

Las ignimbritas Río Frío y Vega Helada presentan características macroscópicas muy similares en varias de las localidades estudiadas en el capítulo 4.1 de correlación de litofacies. Como se puede ver en la Figura 4.76, ambas unidades presentan una base de color gris pálido a blanco de toba masiva de lapilli fino, que gradúa a un nivel vitrofírico de color negro, debido a un aumento en el grado de soldamiento.



*Figura 4.76: Fotografías de terreno de la Ignimbrita Río Frío (A y B) y Vega Helada (C). En A) se observan facies soldadas de la subunidad RF-2 de la Ignimbrita Río Frío, similar a la parte alta de la subunidad VH-2 mostrada en C), y B) muestra una base menos soldada de RF-2 cuyo grado de soldamiento aumenta, similar a lo observado en C) para la Ignimbrita Vega Helada.*

En las figuras Figura 4.6 y Figura 4.11 se puede ver que ambas unidades tienen una petrografía similar, con cristales de Pl, Bt, Am y Pxs inmersos en una matriz vítrea con una cantidad variable de esquirlas finas. Además, tienen edades radiométricas coincidentes (Figura 4.2, Figura 4.8).

Analizando la química de sus biotitas, se puede observar una diferencia importante en su composición, especialmente en el contenido de Mn, Ti y Al (Figura 4.77). Esto permite establecer una clara diferencia entre ambas, descartando que correspondan a una misma unidad. Cabe destacar que los análisis de la Ignimbrita Río Frío corresponden a las dos unidades de flujo reconocidas, por lo que tampoco podría haber una correspondencia entre la Ignimbrita Vega Helada ni ninguno de los niveles de la Ignimbrita Río Frío.

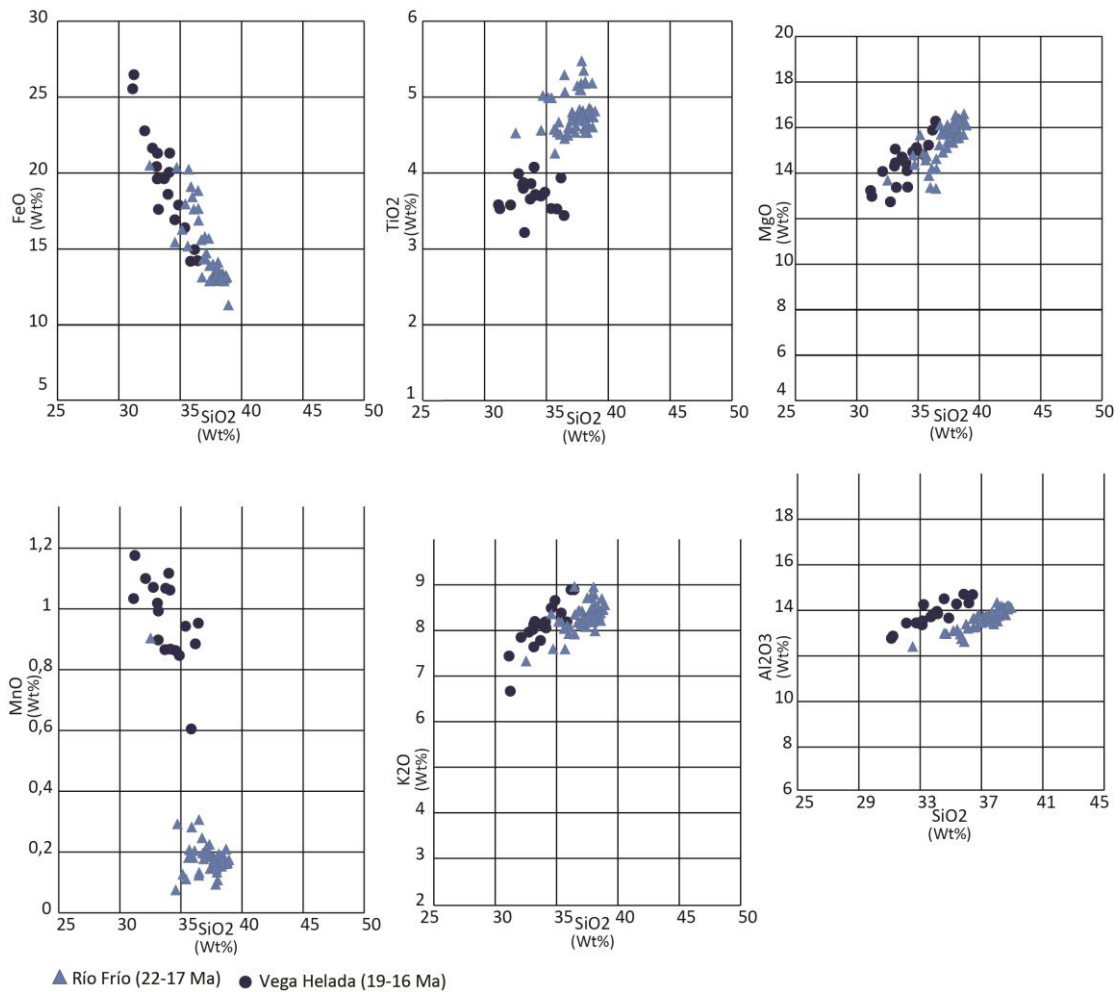


Figura 4.77: Diagramas composicionales de las biotitas de las ignimbritas Río Frío y Vega Helada, expresados en porcentaje de óxidos (Wt%). Se observa una clara diferencia entre ambas unidades, especialmente en el contenido de  $TiO_2$ ,  $MnO$  y  $Al_2O_3$ .

La distribución de facies de la Ignimbrita Vega Helada indica que su fuente podría estar cerca del límite oriental del Salar de Pedernales, y no estaría relacionada al colapso de la Caldera Aguilar (Figura 4.81).

#### 4.4.3 PAJONALES-JUNCALITO

Las ignimbritas Pajonales y Juncalito también presentan características físicas similares en varios de los afloramientos estudiados. Como se observa en la Figura 4.78, ambas presentan una apariencia macroscópica y microscópica similar, con pómez fibrosas muy características, escasos cristales de PI y Bt, y una matriz muy rica en esquirlas muy gruesas.

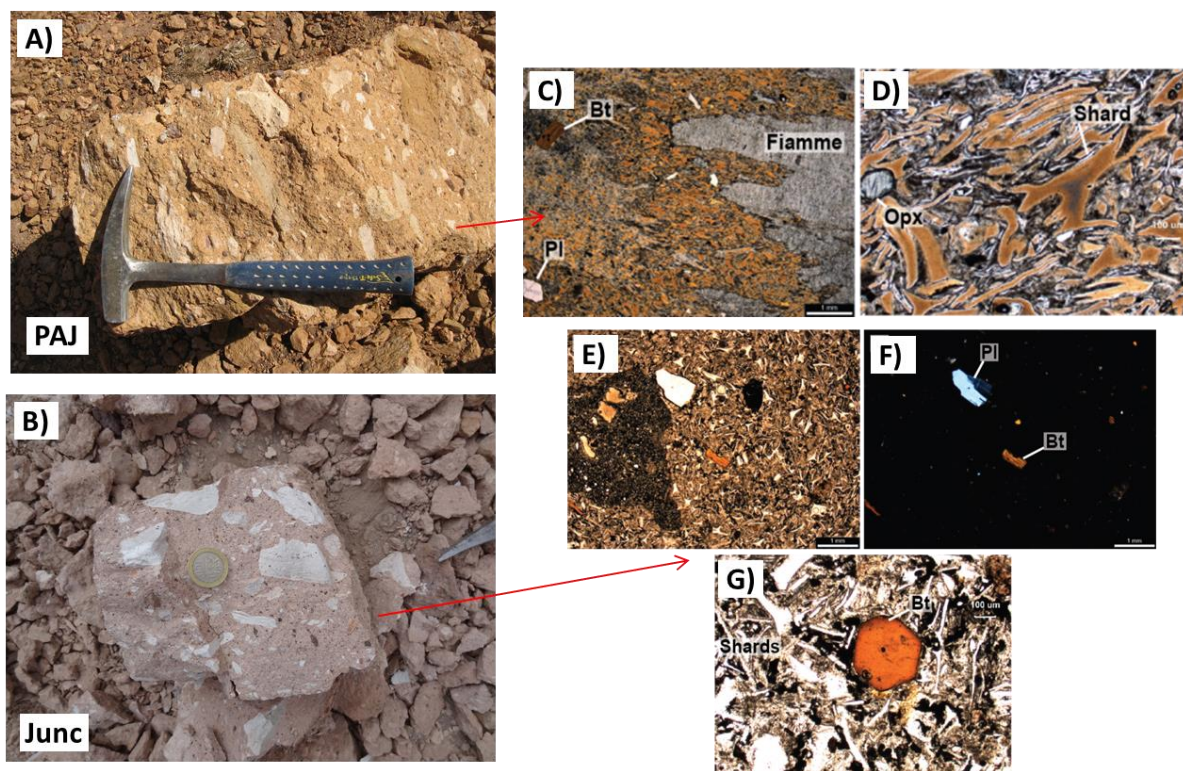


Figura 4.78: Fotografías de muestras de mano y fotomicrografías de las ignimbritas Pajonales y Juncalito. A) y B) muestran fotografías de terreno de las ignimbritas Pajonales y Juncalito, respectivamente, C) y D) son fotomicrografías de la Ignimbrita Pajonales y E), F) y G) son fotomicrografías de la Ignimbrita Juncalito. En ambos casos se observan pómez, cristales de Pl y Bt, y una matriz rica en esquirlas. C), D), E) y G) fueron capturadas a nicoles paralelos y F) a nicoles cruzados; C), E) y F) con un aumento de 2X y D) y G) con un aumento de 5X.

Al comparar la química de biotitas de estas dos unidades se observa una fuerte correlación composicional (Figura 4.79). Además, las edades publicadas de estas dos unidades se traslapan, siendo muy coincidentes (Figura 4.14, Figura 4.18, Tabla 7.1). Todas estas características apuntan a un origen común. Es más, al observar en detalle la química de las diferentes subunidades definidas en el capítulo de caracterización de ignimbritas, se puede establecer una correlación entre Junc(a) y PAJ (a), y entre Junc(b) y PAJ (C) (Figura 4.80).

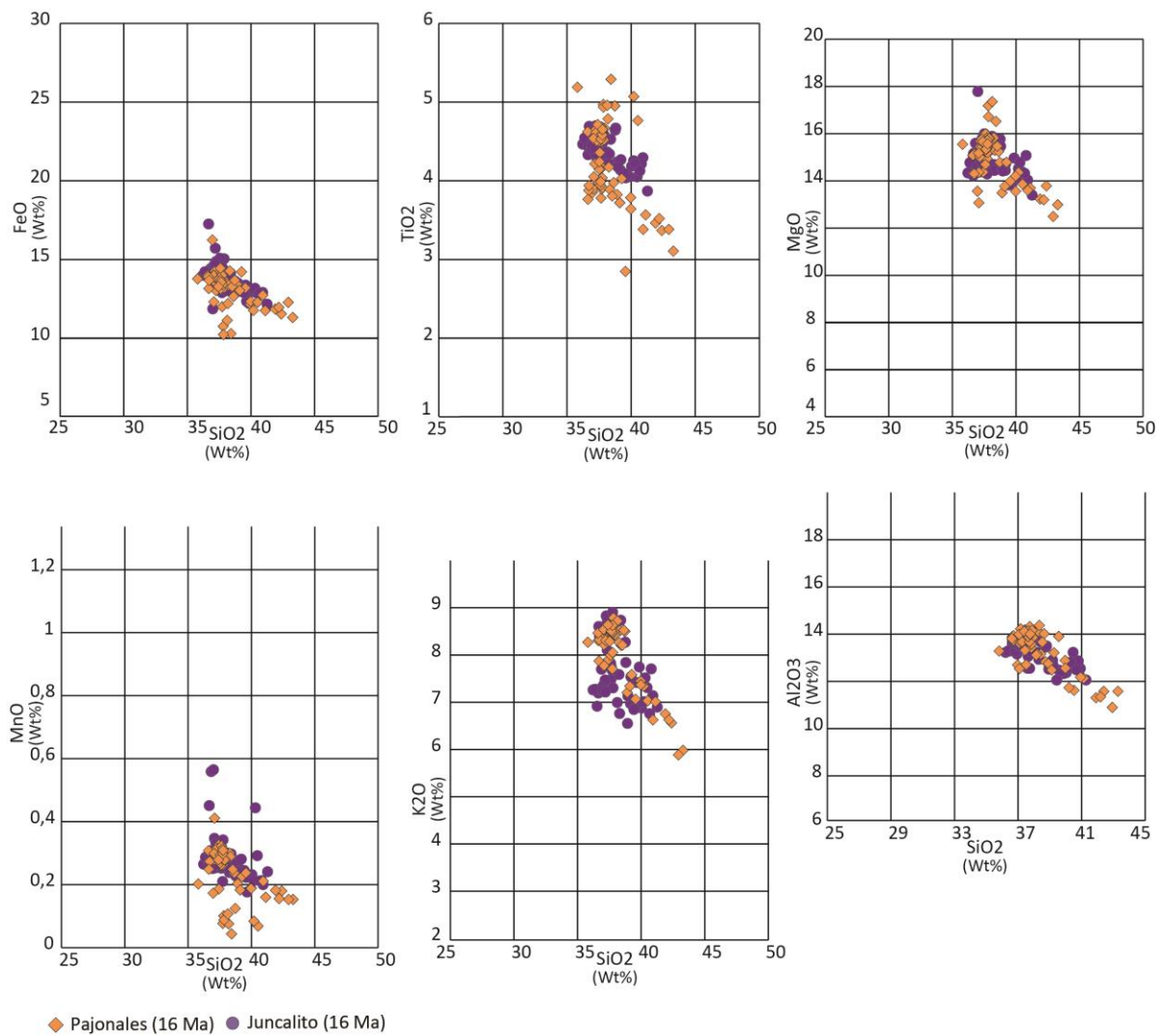


Figura 4.79: Comparación de la química de biotitas de las ignimbritas Pajonales y Juncalito, expresada en porcentaje en peso de óxidos. Se observa una fuerte correlación entre ambas unidades.

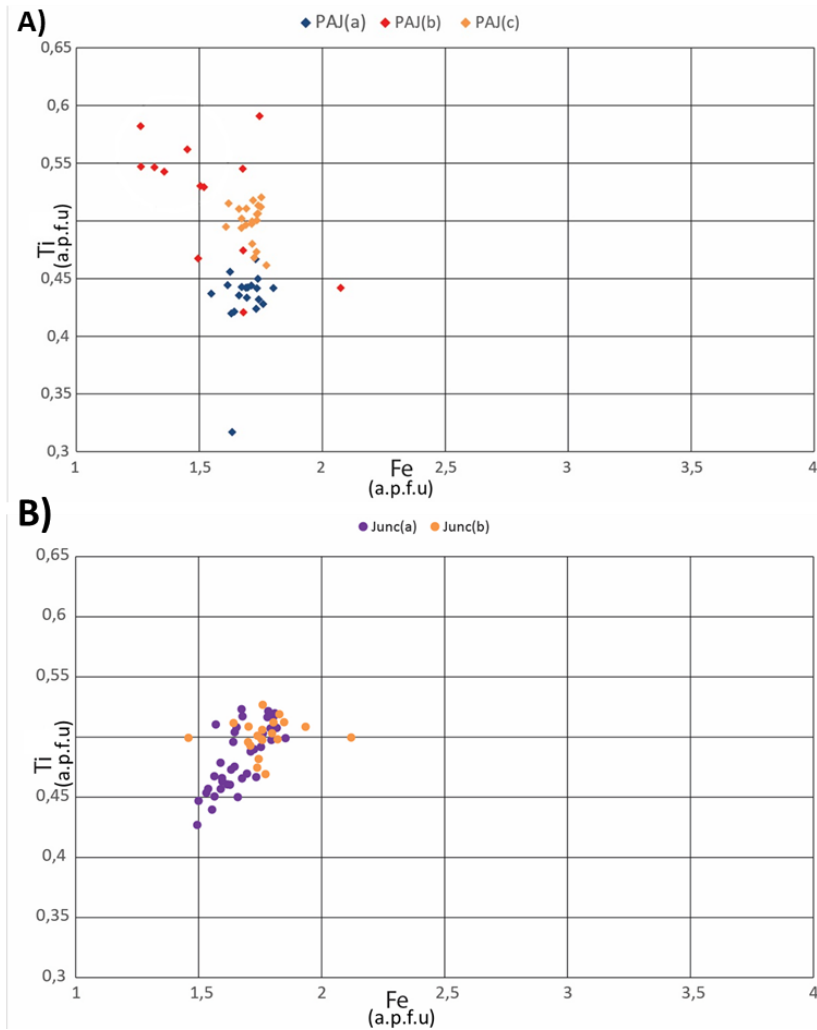


Figura 4.80: Gráfico con el contenido de Ti y Fe de las subunidades de las ignimbritas Pajonales (A) y Juncalito (B).

Finalmente, se puede establecer que la Ignimbrita Juncalito corresponde a los depósitos más australes y occidentales de la Ignimbrita Pajonales, y no son una unidad aparte, y habrían sido depositados a partir de una corriente piroclástica que habría viajado hacia el WSW (Figura 4.81).

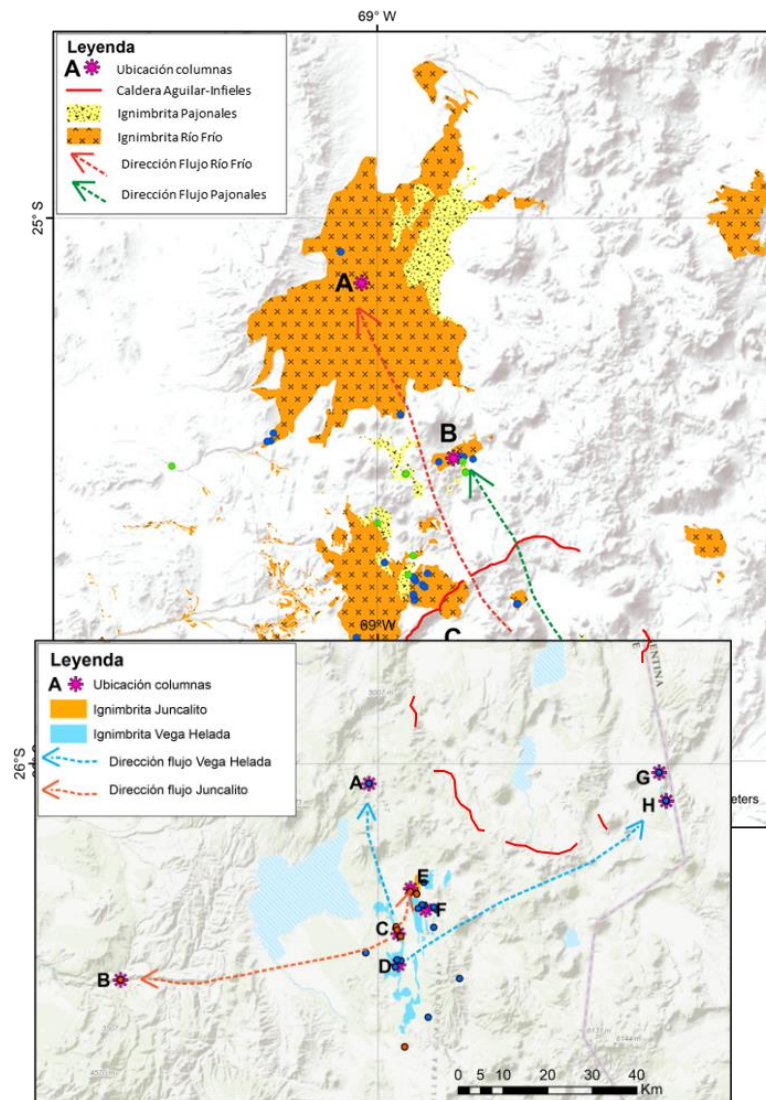


Figura 4.81: Composición de las figuras Figura 4.1 y Figura 4.7. La Ignimbrita Juncalito correspondería a las facies más australes y occidentales de la ignimbrita Pajonales, mientras que la Ignimbrita Vega Helada no estaría asociada al colapso de la Caldera Aguilar.

## 5 CONCLUSIONES

Se detallaron las características físicas de las ignimbritas Río Frío, Vega Helada, Pajonales, Juncalito, Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés, Los Colorados, Wheelwright y Laguna Verde, permitiendo reconocer sus variaciones de litofacies e interpretar las condiciones de depositación en la *flow boundary zone*. En la mayor parte de los casos se interpretó una *flow boundary zone* dominada por escape de fluidos.

Se caracterizó la química de las biotitas de las ignimbritas Antiguas, Río Frío, Vega Helada, Pajonales, Juncalito, Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés, Los Colorados, Wheelwright, Parinas y Laguna Verde. Demostró ser una muy buena herramienta de correlación de ignimbritas y de depósitos de caída. Se pudo establecer una clara diferencia entre las ignimbritas Río Frío y Vega Helada, mientras que las ignimbritas Pajonales y Juncalito pudieron ser correlacionadas, tanto por sus características físicas, como por la química de sus biotitas. Las biotitas de las demás ignimbritas presentaron rangos composicionales muy acotados y únicos para cada una, a excepción de la Ignimbrita Los Colorados, que, al igual que la Ignimbrita Vega Helada, mostró una gran variabilidad en la química de sus biotitas, lo que se interpreta como una zonación composicional en sus cámaras magmáticas, aunque en el caso de la Ignimbrita Vega Helada no se puede descartar la incorporación de cristales de biotita durante el transporte de la corriente piroclástica, ya que solo se analizó una muestra.

Tanto las características de los depósitos, como el contenido de titanio de sus biotitas, apuntan a que la segunda subunidad de la Ignimbrita Río Frío se habría depositado a una mayor temperatura que la subunidad inferior.

Las variaciones de facies de la Ignimbrita Salar Grande permitieron interpretar cuatro colapsos sectoriales de la Caldera Salar Grande, que habría sido seguida por una subsidencia tipo *downsag* debido a la erupción del Volcán Chato Aislado, anidado en la parte occidental de esta caldera. La química de sus biotitas muestra diferencias con las del Volcán Chato Aislado, sin embargo, una gran cantidad de cristales de biotita



de este último son similares a los de la Ignimbrita Salar Grande, lo que podría indicar una relación genética o bien la incorporación de cristales accidentales.

Se pudo clasificar indirectamente los magmas a partir de los cuales cristalizaron las biotitas de las unidades estudiadas, que indicaron magmas calco-alcalinicos de ambientes orogénicos, lo que es esperable debido al contexto geológico de estas unidades.

Depósitos de caída ubicados en la Cordillera de la Costa, cerca de Antofagasta, pudieron ser correlacionados con dos ignimbritas de la Zona Volcánica Central sur. Específicamente, la localidad L9 de Breitkreuz *et al.* (2014) pudo ser correlacionada con la Ignimbrita Laguna Verde, tanto por la química de sus biotitas, como por edades reportadas por dicho autor y Naranjo *et al.* (2018a), mientras que la localidad L4 de Breitkreuz *et al.* (2014) pudo ser correlacionada con la ignimbrita Wheelwright únicamente por la composición de sus biotitas.

Se reconocieron dos lineamientos de calderas, uno de orientación NNW-SSE y otro de orientación WSW-ENE, casi perpendiculares entre sí. La química de biotitas de sus productos muestra patrones de variación bien marcados. Tanto el contenido de titanio en las biotitas asociadas a las erupciones del primer lineamiento, como sus características petrográficas, apuntan a una fuente magmática progresivamente más fría. Para el segundo lineamiento se observó un aumento en el titanio, lo que indicaría una cámara magmática progresivamente más caliente, pero no se observa una variación importante de las características petrográficas de sus productos.

Finalmente, se puede concluir que no existe una herramienta única o mejor que otras para correlacionar ignimbritas, dadas las variaciones que pueden presentar en sus características físicas, radiométricas y químicas, en adición a una estratigrafía complicada, por lo que la mejor forma de correlacionarlas es mediante la utilización de la mayor cantidad de herramientas posible. En cada caso va a haber herramientas que permitan individualizarlas de mejor manera, pero la utilización y complementación de diferentes métodos va a permitir correlaciones más robustas y precisas.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Rahman, A. M. (1994) Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *Journal of Petrology*, 35, 525-541.

Abdel-Rahman, A.M. (1996) Discussion on the comment on nature of biotites in alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *Journal of Petrology*, 37, 1031-1035.

Allmendinger, R., Jordan, T., Kay, S., Isacks, B. (1997) The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the Central Andes. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, 25, 139-174.

ANCORP Working Group (2003) Seismic imaging of a convergent continental margin and plateau in the central Andes (Andean Continental Research Project 1996 (ANCORP'96)). *Journal of Geophysical Research*, 108(B7), 2328.

Angermann, D., Klotz, J., Reigber, C. (1999) Space-geodetic estimation of the Nazca-South America Euler vector. *Earth and Planetary Science Letters*, 171, 329-334.

Bowen, N. (1915) The later stages of the evolution of the igneous rocks. *Journal of Geology*, 23, 1-89.

Barazangi, M., Isacks, B. (1976) Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca Plate beneath South America. *Geology*, 4, 686-692.

Barazangi, M., Isacks, B. (1979) Subduction of the Nazca plate below Peru: evidence from spatial distribution of earthquakes. *Geophysical journal of the Royal Astronomical Society*, 57, 537-555.

Branney, M., Kokelaar, P. (2002) Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. *Geological Society Memoir*, 27.

Breitkreuz, C., de Silva, S. L., Wilke, H. G., Pfänder, J. A., Renno, A. D. (2014) Neogene to Quaternary ash deposits in the Coastal Cordillera in northern Chile: Distal ashes from supereruptions in the Central Andes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 269, 68-82.

Beck, S., Zandt, G., Myers, S., Wallace, T., Silver, P., Drake, L. (1996) Crustal thickness variations in the Central Andes. *Geology* 24, 407-410.

Cande, S., Leslie, R. (1986) Late Cenozoic tectonics of the southern Chile trench. *Journal of Geophysical Research*, 91, 471-496.

Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M. (2007) Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. In: Gibbons, W., Moreno, T. (eds) *Geology of Chile*, Chapter 3. The Geological Society, London, Special Publication, 21-116.

Charrier, R., Farías, M., Maksaev, V. (2009) Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65, 5-35.

Charrier, R., Hérial, G., Pinto, L., García, M., Riquelme, R., Farías, M., Muñoz, N. (2013) Cenozoic tectonic evolution in the Central Andes in northern Chile and west central Bolivia: implications for paleogeographic, magmatic and mountain building evolution. *International Journal of Earth Science*, 102, 235-264.

Clark, A., Mortimer, C., Sillitoe, R., Cooke, R., Snelling, H. (1967) Implications of isotopic ages of Ignimbrite flows, southern Atacama Desert, Chile. *Nature*, 215, 723-724.

Clavero, J., Mpodozis, C., Gardeweg, M. (1997) Mapa Geológico Preliminar del área del Salar de Wheelwright, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, escala 1:100.000.

Clavero, J., Mpodozis, C., Gardeweg, M., Valenzuela, M. (2012) Geología de las áreas Laguna Wheelwright y Paso San Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, Nos. 139 y 140, 1 mapa escala 1:100.000.

Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C., Ramos, V. (1982) Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth Science Review*, 18, 303-322.

Coira, B., Kay, S., Viramonte, J. (1993) Upper Cenozoic magmatic evolution of the Argentine Puna, a model for changing subduction geometry. *International Geology Review*, 35, 677-720.

Coloma, F., Creixell, C., Salazar, E. (2013) Arc development during continuous subduction from Carboniferous to Triassic: evidence from geochemistry of intrusive rocks in the Vallenar cordillera (El Tránsito Valley), Andes of northern Chile. Conference paper, GeoSur2013, Viña del Mar, Chile.

Cornejo, P., Mpodozis, C., Ramírez, C., Tomlinson, A. (1993) Estudio geológico de la región de Potrerillos y El Salvador (26°-27°S), Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado IR-93-01, 258p.

Cornejo P., Mpodozis C., Rivera O., Matthews S. (2009) Carta Exploradora, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 119: 99 p. 1 mapa escala 1:100.000.

de Silva, S. (1987) Large volume explosive silicic volcanism in the Central Andes of northern Chile. PhD Thesis, Open University, U.K., 409 pp, inédito.

de Silva, S.L. (1989) Geochronology and stratigraphy of the ignimbrites from the 21°30'S to 23°30'S portion of the Central Andes of northern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 37, 93-131.

de Silva, S.L., Francis, P.W., (1989) Correlation of large ignimbrites-two case studies from the Central Andes of northern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 37, 133-149.

de Silva, S.L. (1989) Altiplano-Puna volcanic complex of the Central Andes. *Geology*, 17, 1102-1106.

de Silva, S.L., Zandt, G., Trumbull, R., Viramonte, J.G., Salas, G., Jiménez, N. (2006) Large ignimbrite eruptions and volcano-tectonic depressions in the Central Andes: a thermomechanical perspective. In: de Natale, G., Troise, C., Kilburn, C. (Eds.), *Mechanisms of activity and unrests at large calderas*. Special Publication by Geological Society of London 269, 47-63.

de Silva, S.L., Gosnold, W.D. (2007) Episodic construction of batholiths: Insights from the spatiotemporal development of an ignimbrite flare-up. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 167, 320-335.

de Silva, S., Kay, S. (2018) Turning up the Heat: High-Flux Magmatism in the Central Andes. *Elements*, 14 (4), 245-250.

Deer, W. A., Howie, A., Zussman, J. (1986) *An introduction to rock-forming minerals*. 17<sup>th</sup> edition. Harlow, UK: Longman.

Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. (1992) *An introduction to the rock-forming minerals*. 2<sup>nd</sup> edition. Harlow, UK: Longman.

DeMets, C., Gordon, R., Argus, F., Stein, S. (1994) Current plate motions. *Journal of Geophysics*, 101, 425-478.

Dewey, J., Lamb, S. (1992) Active tectonism in the Andes. *Tectonophysics*, 205, 79-95.

Dickin, A.P, (2005) Radiogenic isotope geology. Cambridge University Press, Cambridge, 510 pp.

Dirección General de Aguas (2011) Inventario de glaciares <http://apps.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=73300bf8602a4f49bd877e3d783919f0>.

Dorbath, C., Paul, A., Lithoscope Andean Group (1996) Tomography of the Andean crust and mantle at 20°S: first results of the Lithoscope experiment. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 97, 133-144.

Droop, G. T. R. (1987) A general equation for estimating Fe<sup>+3</sup> concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51, 431-435.

Dunai, T., Gonzalez, G., Juez-Larre, J. (2005) Oligocene-Miocene age of aridity in the Atacama Desert revealed by exposure dating of erosion sensitive landforms. *Geology* 33, 321-324.

Farías, M., Charrier, R., Comte, D., Martinod, J., Hérail, G. (2005) Late Cenozoic deformation and uplift of the western flank of the Altiplano: Evidence from the depositional, tectonic, and geomorphologic evolution and shallow seismic activity (northern Chile at 19°30'S). *Tectonics*, 24, 1-27.

Folkes, C.B., de Silva, S.L., Wright, H.M., Cas, R. A. F. (2011) Geochemical homogeneity of a long-lived, large silicic system; evidence from the Cerro Galán caldera, NW Argentina. *Bulletin of Volcanology*, 73, 1455-1486.

Foster, M. D. (1960) Interpretation of the composition of trioctahedral micas. U.S. Geological Survey Professional Paper, 354-B, 1-49.

García, F. (1967) Geología del Norte Grande de Chile. In Simposium sobre el Geosinclinal Andino, Sociedad Geológica de Chile 3: 138 p. Santiago.

Hartley, A. J., Chong, G., (2002) Late Pliocene age for the Atacama Desert: implications for the desertification of western South America. *Geology*, 43-46.

Hildreth, W., Mahood, G. (1985). Correlation of ash-flow tuffs. *Geological Society of America Bulletin*, 96, 968-974.

James, D. (1970) Plate tectonic model for the evolution of the Central Andes. *Bulletin of the Geological Society of America*, 82, 3325-3346.

James, D. (1971) Andean crustal and upper mantle structure. *Journal of Geophysical Research*, 76(14), 3246-3271.

Jarrad, D. (1986) Relations among subduction zone parameters. *Reviews in Geophysics*, 24, 217-284.

Jordan, T., Isacks, B., Allmendinger, R., Brewer, J., Ramos, V., Ando, C. (1983) Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *GSA Bulletin*, 94 (3), 341-361.

Kay, S., Coira, B., Mpodozis, C. (1995) Neogene magmatic evolution and the shape of the subducting oceanic slab beneath the central Andean arc. *IUGG 21th General Assembly*, pp. A440.

Kay, S., Mpodozis, C., Coira, B. (1999) Magmatism, tectonism and mineral deposits of the Central Andes (22°-33°S latitude). In: Skinner, B. (eds) *Geology and Ore Deposits of the Central Andes: Society of Economic Geology Special Publication*, 7, 27-59.

Kay, S., Mpodozis, C. (2002) Magmatism as a probe to the Neogene shallowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flat-slabs. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 39-57.

Kay, S., Coira, B. (2009) Shallowing and steepening subduction zones, continental lithosphere loss, magmatism and crustal flow under the central Andean Altiplano-Puna plateau. In: Kay, S., Ramos, V., Dickinson, W. (eds) Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau and Ridge and Terrane Collisions: Geological Society America Memoir, 204, 229-260.

Lindsay, J. M., de Silva, S., Trumbull, R., Emmermann, R., Wemmer, K. (2001) La Pacana caldera, N. Chile: A re-evaluation of the stratigraphy and volcanology of one of the world's largest resurgent calderas. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 106, 145-173.

Maksaev, V. (1978) Cuadrángulo Chitigua y sector oriental del Cuadrángulo Cerro Palpana, Región de Antofagasta. Vol. 31. Carta Geológica de Chile, escala 1:50.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.

Mercado, M. (1982) Hoja Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N°56, 73p.

Mortimer, C. (1973) The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. Geological Society of London, Journal of Volcanology, 129, 505-526.

Mpodosis, C., Ramos, V. (1989) The Andes of Chile and Argentina. In: GE Ericksen *et al.* (eds) Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and minerals resources. Earth Sciences Series, Circum-Pacific council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, 11, 59-90.

Muñoz, J. L., Swenson, A. (1981) Chloride-hydroxyl exchange in biotite and estimation of relative HCl/HF activities in hydrothermal fluids. Economic Geology, 76, 2212-2221.

Nachit, H., Razafimahefa, N., Stussi, J. M., Carron, J. P. (1985) Composition chimiques des biotite et typologie magmatique des granitoids. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Paris, 301, 813-818.



Naranjo, J. A., Paskoff, R. (1980) Evolución geomorfológica del Desierto de Atacama entre los 26° y los 33° latitud sur: revisión cronológica, *Revista Geológica de Chile*, 10, 85-89.

Naranjo, J. A., Puig, A. (1984) Hojas Taltal y Chañaral Nos. 62-63. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. 1:250.000. SERNAGEOMIN, Santiago.

Naranjo, J. A., Cornejo, P. (1992) Hoja Salar de la Isla, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 72.

Naranjo, J. A., Villa, V., Venegas, C. (2013b) Geología de las áreas Salar de Aguilar y Portezuelo del León Muerto, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, Nos. 151-152, 1 mapa escala 1:100.000.

Naranjo, J. A., Villa, V., Venegas, C. (2013a) Geología de las áreas Salar de Pajonales y Cerro Moño, regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, Nos. 153-154, 1 mapa escala 1:100.000.

Naranjo, J. A., Villa, V., Ramírez, C., Pérez de Arce, C. (2014) Evolución Oligo-Holocena de la parte sur de los Andes Centrales: volcanismo y tectónica. *Jornadas Geológicas*, Servicio Nacional de Geología y Minería, inédito.

Naranjo, J. A., Ramírez, C., Villa, V. (2016) Geología de las áreas Cerro Panteón de Aliste y Cerro Colorado, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 1 mapa escala 1:100.000.

Naranjo, J. A., Singer, B., Jicha, B., Moreno, H., Lara, L. (2017) Holocene tephra succession of Puyehue-Cordón Caulle and Antillanca/Casablanca volcanic complexes, southern Andes (40-41°S). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 332, 109-128.

Naranjo, J. A., Hevia, F., Villa, V., Ramírez, C. (2018b) Miocene to recent geological evolution of the Lazufre segment in the Andean volcanic arc. *Geosphere*, *en edición*.

Naranjo, J. A., Villa, V., Ramírez, C., Pérez de Arce, C. (2018a) Volcanism and tectonism in the southern Central Andes: Tempo, styles, and relationships. *Geosphere*, 14 (2), 626-641.

Norambuena, E., Leffer-Griffin, L, Mao, A., Dixon, T., Stein, S., Sacks, S, Ocola, L., Ellis, M. (1998) Space geodetic observations of Nazca-South America convergence across the Central Andes. *Science*, 279, 358-362.

Pardo-Casas, F., Molnar, P. (1987) Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, 6, 233-248.

Pichowiak, S., Buchelt, M., Damm, K. (1990) Magmatic activity and tectonic setting of the early stages of the Andean cycle in northern Chile. In: Kay, S., Rapela, C. (eds) *Plutonism from Antarctica to Alaska*. Geological society of America, Special Paper, 241, 127-144.

Pritchard, M., Simons, M. (2002) A satellite geodetic survey of largescale deformation of volcanic centres in the central Andes. *Nature*, 418, 167-171.

Ramírez, C. (2014) Análisis de litofacies y geocronología de las ignimbritas Salar Grande, Región de Atacama, Andes Centrales de Chile (25°45'S-26°15'S). Memoria de título, Universidad de Chile.

Ramos, V. (1988) The tectonics of the Central Andes; 30° to 33° S latitude. Geological Society of America, Special Paper 218.

Ramos, V., Cristallini, E., Perez, D. (2002) The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 59-78.

Randolph Glacier Inventory (2015) Inventario de Glaciares Randolph 6.0  
[https://www.glims.org/RGI/rgi60\\_dl.html](https://www.glims.org/RGI/rgi60_dl.html)

Rawson, H., Naranjo, J. A., Smith, V., Fontijn, K., Pyle, D. M., Mather, T. A., Moreno, H. (2015) The frequency and magnitude of post-glacial explosive eruptions at Volcán Mocho-Choshuenco, southern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 299, 103-129.

Rieder, M., Cavazzini, G., D'Yakonov, Y. S., Frank-Kamentskii, V. A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P. V., Müller, G., Neiva, A. M. R., Radoslovich, E. W., Robert, J. L., Sassi, F. P., Takeda, H., Weiss, Z., Wones, D. R. (1998) Nomenclature of the micas. *The Canadian Mineralogist*, 36, 41-48.

Risacher, F., Alonso, H., Salazar, C. (1999) *Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas, I, II y III Regiones, Chile*, vols. 3 y 4.

Salisbury, M. J., Jicha, B. R., de Silva, S. L., Singer, B. S., Jiménez, N. C., Ort, M. H. (2010)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  chronostratigraphy of Altiplano-Puna volcanic complex ignimbrites reveals the development of a major magmatic province. *Geological Society of America Bulletin*. doi:10.1130/B30280.1.

Schmitz, M. (1994) A balanced model of the southern central Andes. *Tectonics*, 13, 484-492.

Schmitz, M., Lessel, K., Giese, P., Wigger, P., Araneda, M., Bribach, J., Graeber, F., Grunewald, S., Haberland, C., Lüth, S., Röwer, P., Ryberg, T., Schulze, A. (1999) The crustal structure beneath the Central Andean forearc and magmatic arc as derived from seismic studies-the PISCO 94 experiment in northern Chile (21°-23°S). *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 237-260.

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 the ignimbrites from 25 to 27°S, 67 to 72°W. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 166, 17-46.

Seggiaro, R. E., Hongn, F. D., Castillo, A., Pereyra, F., Villegas, D., Martínez, L. (2006.) Hoja Geológica 2769-II, Paso San Francisco. (1:250.000). Programa Nacional de Cartas Geológicas. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Boletín 294, 54 pp. Buenos Aires.

Seggiaro, R., Becchio, R., Pereyra, F., & Martinez, L. (2007) Hoja Geológica 2569-IV. Antofalla, provincias de Catamarca y Salta. Buenos Aires. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico y Minero Argentino. Boletín 343, 62 p.

Siebel, W., Schnurr, W. B. W., Hahne, K., Kraemer, B., Trumbull, R. B., van den Bogaard, P., Emmermann, R. (2001) Geochemistry and isotope systematics of small- to medium-volume Neogene-Quaternary ignimbrites in the southern central Andes: evidence for derivation from andesitic magma sources. *Chemical Geology*, 171, 213-237.

Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J. (2000) *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego, 1015-1033.

Siivola, J., Schmid, R. (2007) A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 12. List of mineral abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. Recommendations, web version of 01.02.2007.

Sillitoe, R. H., McKee, E. (1996) Age of supergene oxidation and enrichment in the Chilean Porphyry Copper Province. *Economic Geology*, 21, 164-179.

Somoza, R. (1998) Updated Nazca (Farallones)-South America relative motions during the last 40 My: Implications for mountain building in the central Andes region. *Journal of South American Earth Sciences*, 11, 211-215.

Sparks, R. S. J., Self, S., Grattan, J. P., Oppenheimer, C., Pyle, D. M., Rymer, H. (2005) *Super-Eruptions: Global Effects and Future Threats: Report of a Geological Society of London Working Group*: London, UK, Geological Society of London, 24 p.

Speer, J. A. (1984) micas in igneous rocks. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 13, 299-356.

Steinmann, G. (1929) *Geologie von Peru*. Kart Winter, Heidelberg, 448.

Stern, C. (2004) Active Andean volcanism: Its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 31, 161-206.

Swenson, J., Beck, S., Zandt, G. (2000) Crustal structure of the Altiplano from broadband regional waveform modeling; implications for the composition of thick continental crust. *Journal of Geophysical Research*, 105, 607-21.

Tabbens, S., Cande, S., Kovacs, L., Parra, J., LeBrecque, J., Vergara, H. (1997) The Chile ridge: a tectonic framework. *Journal of Geophysical Research*, 102, 12035-12059.

Tassara, A., Yañez, G. (2003) Relación entre el espesor elástico de la litósfera y la segmentación tectónica del margen andino (15-47°S). *Revista Geológica de Chile*, 30 (2), 159-186.

Tomlinson, A. J., Cornejo, P., Mpodozis, C. (1999) Hoja Potrerillos, región de Atacama, N° Mapa: M27. Servicio Nacional de Geología y Minería. 1: 100.000. SERNAGEOMIN, Santiago.

Victor, P., Oncken, O., Glodny, J. (2004) Uplift of the western Altiplano Plateau: Evidence from the Precordillera between 20° and 21°S (northern Chile). *Tectonics*, 23 (4).

Wallace, J., Hobbs, P. (2006) *Atmospheric Science, an introductory survey*. International Geophysics Series, vol. 92.

Ward, K., Zandt, G., Beck, S., Christensen, D., 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 and Planetary Science Letters*, 404, 43-43.

Wöner, G., Hammerschmidt, K., Henjes-Kunst, F., Lezaun, J., Wilke, H. (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*, 27, 205-240.

Yáñez, G., Ramiro, C., von Huene, R., Diaz, J. (2001) Magnetic anomaly interpretation across the southern central Andes (32°-34°S): the role of the Juan Fernández Ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research*, 106, 6325-6345.

## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO A: COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y DESCRIPCIONES DE CADA LOCALIDAD

#### 7.1.1 LEYENDA COLUMNAS



































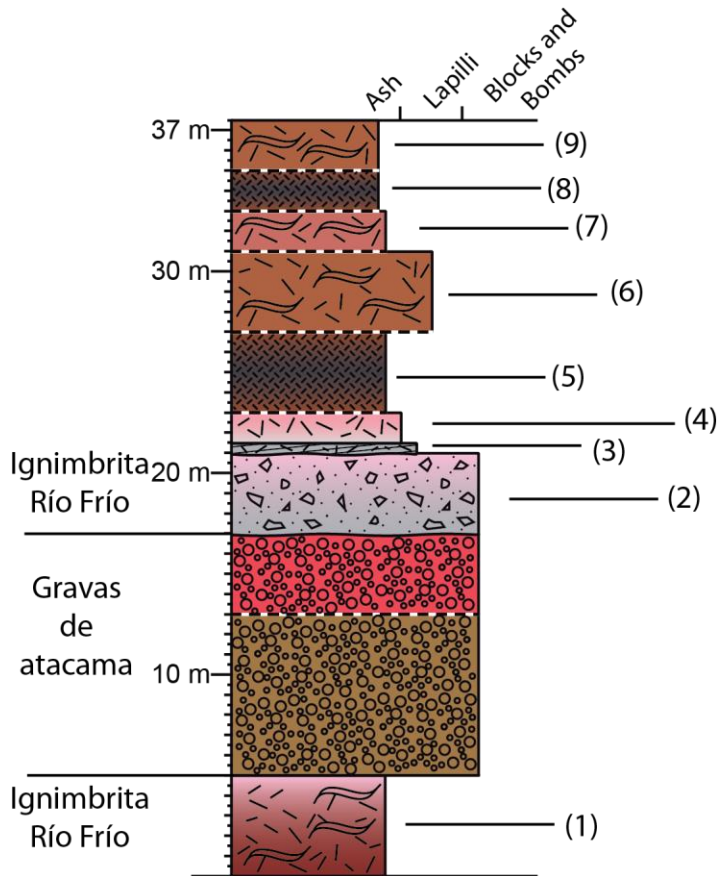
	Toba masiva		Evaporitas		Laminación fina
	Toba masiva de lapilli		Lava		Laminación paralela
	Toba soldada		Intrusivo		Gradación normal de líticos
	Toba masiva de lapilli rica en líticos		Arena/arenisca		Gradación inversa de pómez
	Toba masiva de lapilli rica en pómez		Arena/arenisca gruesa		Fracturamiento horizontal o lajeamiento
	Toba masiva de lapilli rica en pómez y líticos		Pipas de elutriación o desgasificación		Contacto recto
	Avalancha volcánica		Estratificación paralela		Contacto gradacional
	Brecha masiva clastosoportada		Estratificación difusa		Contacto erosivo
	Brecha lítica masiva		Estratificación/laminación cruzada		
	Toba soldada rica en pómez o fiammes		Fracturamiento columnar vertical		
	Toba muy soldada rica en fiammes		"Tiny normal jointing" o fracturamiento caótico pervasivo		
	Vitrófiro		Lente		
	Grava/conglomerado				
	Grava/conglomerado clasto soportada/soportado				

Figura 7.1: Leyenda utilizada en las diferentes columnas estratigráficas presentadas en el capítulo 4 de resultados y discusiones y en las columnas que se presentan en este Anexo. En las columnas de los anexos las lavas fueron graficadas únicamente con un color negro.

## 7.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOCALIDADES

### 7.1.2.1 LOCALIDAD A RÍO FRÍO: HACIA EL OESTE DEL SALAR DE PAJONALES



(1) 5 m de una toba cristalina soldada de lapilli de color marrón-morado, que gradúa a rosácea por un descenso del grado de soldamiento, contiene cristales (30%) de Pl, Am, Bt y escasos Opx y Cpx, escasas fiammes < 2 cm y menor contenido de líticos < 1 cm. La matriz es vítrea con esquirlas aplastadas alrededor de líticos, fiammes y cristales.

(2) brecha lítica masiva que gradúa de color gris a rosado, con líticos angulosos < 20 cm.

(3) 50 cm de toba de color gris rica en cristales y pómez con laminación paralela y estratificación cruzada, empobrecida en material fino, rica en Pl, Bt, posible Am, con pómez milimétricas y escasos líticos < 5 mm.

(4) 1,5 m gris-claro a rosáceo-anaranjado, toba cristalina masiva de lapilli con estratificación difusa en su base, cinerítica, escasos líticos angulosos < 3 cm.

(5) nivel vitrofírico de toba cristalina soldada de 2 a 4 m de espesor, color marrón a negro. 15-20% cristales de Pl, Am, Opx, Cpx y menor Bt, escasas fiammes milimétricas, matriz es vítrea y se logra distinguir esquirlas de tamaño medio, y aplastadas.

(6) 4 m de color marrón de toba cristalina soldada (hasta 60% cristales) de Pl, Am, Cpx, Opx y menor Bt, glomero-cristales de Opx-opacos, fiammes desvitrificadas < 1,5 cm con textura esferulítica y escasos líticos, matriz vítrea, de color morado, con escasas esquirlas aplastadas.

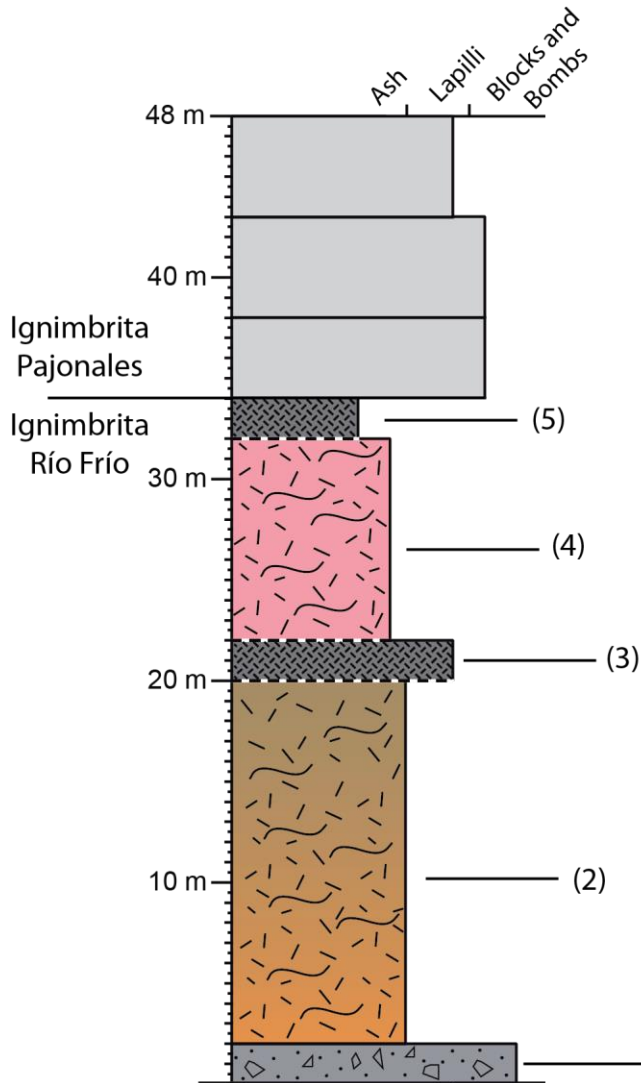


(7) 2 m de toba cristalina soldada cinerítica y deleznable, de color marrón rosáceo, morada-rosácea en sus caras frescas. Cristales (20%) de Pl, Am y escasos Bt, Opx y Cpx, escasas fiammes milimétricas desvitrificadas, matriz de ceniza morada pálida con escasas esquirlas aplastadas.

(8) 2 m, vitrófiro de color marrón. Toba cristalina (40% de cristales) soldada, con Pl, Am, Opx, Cpx y escasa Bt (cristales orientados por aplastamiento), muy escasos líticos milimétricos, matriz vítrea, con esquirlas aplastadas, con textura de flujo alrededor de los cristales.

(9) 2,5 m de color marrón. Corresponde a una toba cristalina soldada, 30% cristales de Pl, Am, Opx, Cpx y escasa Bt, fiammes desvitrificadas milimétricas y muy escasos líticos milimétricos, matriz vítrea, con escasas esquirlas finas, algunas aplastadas.

### 7.1.2.2 LOCALIDAD B RÍO FRÍO: SALAR DE LA AZUFRERA



(1) 2 m, brecha lítica masiva gruesa, con bloques lávicos grises a negros, y guijarros y arena de color pardo, amarillentos y rojizos.

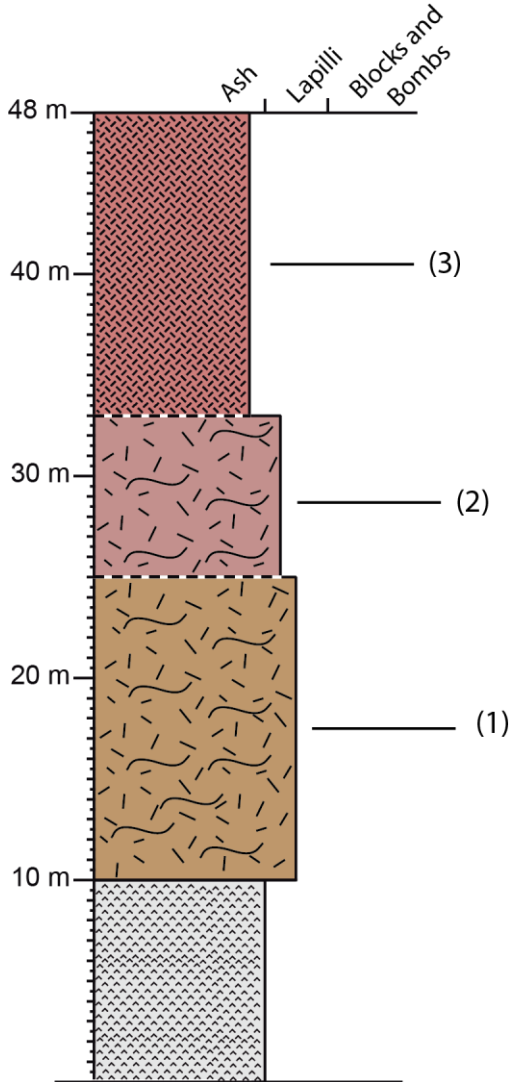
(2) nivel anaranjado, a gris parduzco en la parte superior, de 18 m de toba cristalina soldada de lapilli, hasta 40% cristales de Pl, Am, Opx, Cpx y Bt, glomero-pórfido cristales de Opx-Am y Opx-Pl, fiammes vítreas < 2 cm, algunas esferulíticas, escasos líticos < 2 cm, matriz es de ceniza, vítrea, con esquirlas finas y aplastadas.

(3) nivel vitrofírico gris oscuro a negro de 2 m, 40% de cristales de Pl, Am, Opx, Bt y muy escaso Cpx, fiammes < 5 cm y líticos < 1 cm.

(4) 10 m de toba cristalina soldada de lapilli, de color gris, pátina anaranjada-rosácea por intemperización, 35% de Pl, Am, Opx, Bt y Cpx, cúmulos de Pl-Am y Pl-Pxs, escasas fiammes y líticos, ambos milimétricos, matriz levemente desvitrificada con esquirlas de tamaño medio, aplastadas, abundantes fragmentos cristalinos, principalmente Pl.

(5) nivel vitrofírico de menos de 2 metros de espesor, color gris oscuro a negro, presenta una pátina anaranjada por intemperización.

### 7.1.2.3 LOCALIDAD C RÍO FRÍO: BORDE OCCIDENTAL DOMO RESURGENTE

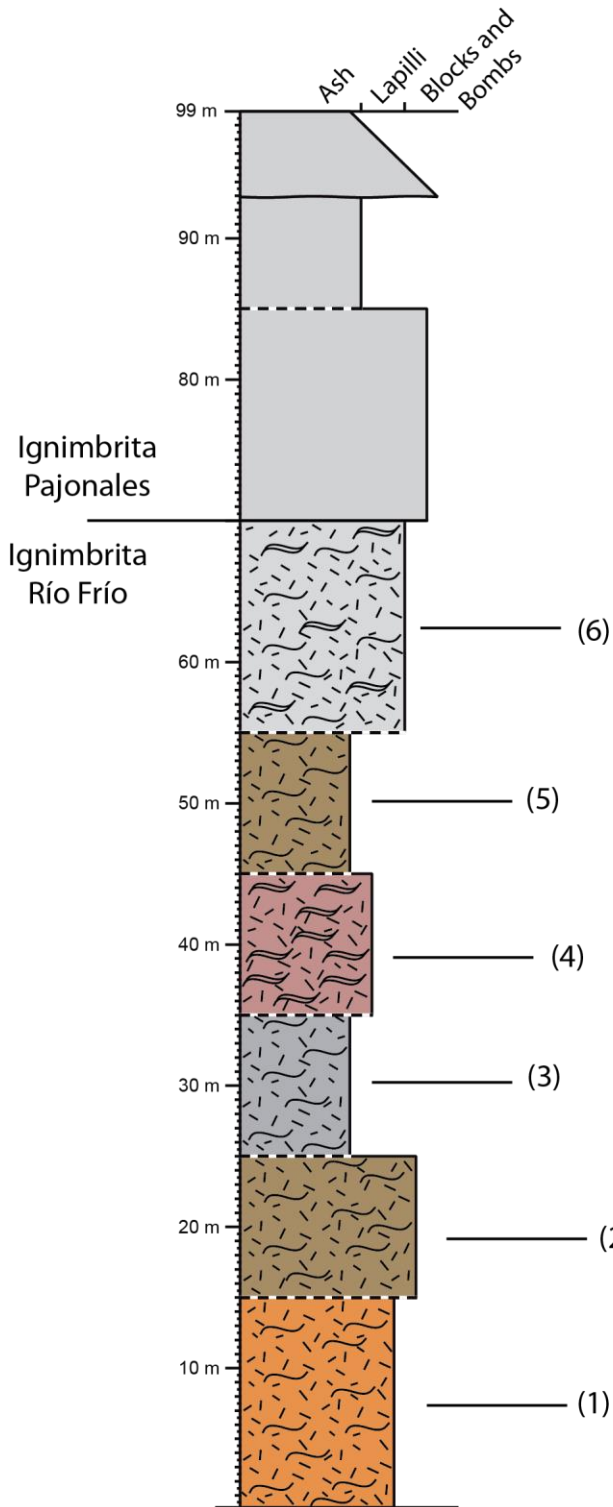


(1) 15 m de una toba cristalina soldada de lapilli (30% cristales), color pardo y morado en sus caras frescas, cristales de Pl, Am, menor Cpx y aun menor Bt, fiammes desvitrificadas < 1 cm, líticos milimétricos muy escasos, matriz desvitrificada con escasas esquirlas.

(2) 8 m pardo-rosáceos de toba cristalina soldada de lapilli (40% cristales), con Pl, Am, escasos Bt y Qtz y posible Px reemplazado por Am, fiammes < 1 cm, leve a intensamente desvitrificadas, muy escasos líticos < 1 mm, matriz vítrea, levemente desvitrificada, con escasas esquirlas muy aplastadas.

(3) vitrófiro de 7 m pardo-morado oscuro, de toba cristalina (30% cristales), intensamente soldada. Contiene Pl, Am, menores Bt y Opx y escaso Cpx, fiammes milimétricas desvitrificadas, matriz leve a intensamente desvitrificada con escasas esquirlas aplastada.

### 7.1.2.4 LOCALIDAD D RÍO FRÍO: BORDE ORIENTAL DOMO RESURGENTE



(1) 15 m de toba cristalina soldada de lapilli morada-grisácea, pátina por intemperización anaranjada, hasta 70% cristales de Pl y menor Opx y Cpx, tiene fiammes blancas de hasta 5 cm, desvitrificadas, y escasos líticos milimétricos, matriz vítrea, muy escasa, levemente desvitrificada.

(2) 10 m gris-parduzco de toba cristalina soldada de lapilli, morada en caras frescas, cristales (35-40%) de Pl, Opx y Cpx, algunos cúmulos, fiammes alargadas de hasta 10 cm, matriz es vítrea, masiva, con escasas sombras de esquirlas finas. Fracturamiento irregular.

(3) 10 m de toba cristalina (40% cristales) soldada de color morado, gris en caras intemperizadas, contiene Pl, Cpx (con inclusiones de Am), Opx y muy escasa Am, cúmulos de Pl-Pxs, fiammes blancas < 20 cm, líticos milimétricos, matriz vítrea, intensamente soldada, con algunas esquirlas finas aplastadas con textura de flujo.

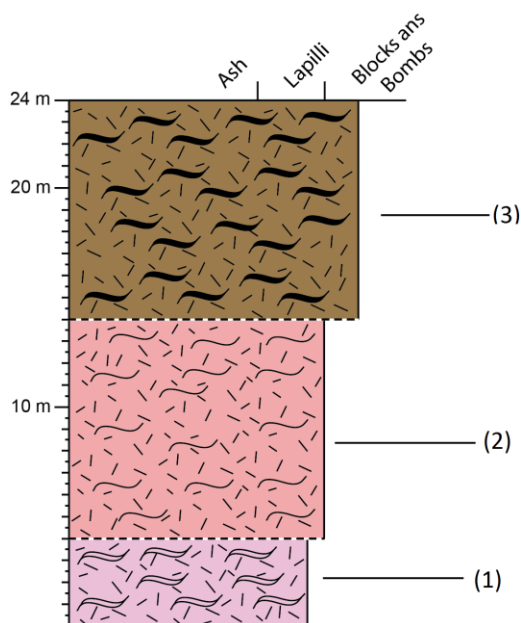
(4) 10 m de color gris a pardo-rosáceo, toba vítrea soldada de lapilli, con pómez desvitrificadas aplastadas < 3 cm con

textura esferulítica, escasos líticos milimétricos, muy escasos cristales de Pl, matriz está intensamente desvitrificada con sombras de esquirlas aplastada.

(5) 10 m pardo-grisáceos de toba cristalina soldada, 60% cristales de Pl, Opx, Cpx y muy escasa Am (cristales orientados por soldamiento), escasas fiammes < 1,5 cm y líticos milimétricos, escasa matriz morada muy soldada, levemente desvitrificada, con sombras de esquirlas aplastadas.

(6) 15 m nivel gris a pardo anaranjado, morado en las caras frescas, de toba cristalina soldada de lapilli, 40% cristales intensamente fracturados de Pl, Am, Bt y menor Cpx, fiammes < 10 cm con Bt, muy escasos líticos milimétricos, matriz vítrea con esquirlas muy finas y muy aplastadas. Carbonatos relleno vesículas en fiammes.

### 7.1.2.5 LOCALIDAD A VEGA HELADA: AL NORTE DEL SALAR DE PEDERNALES

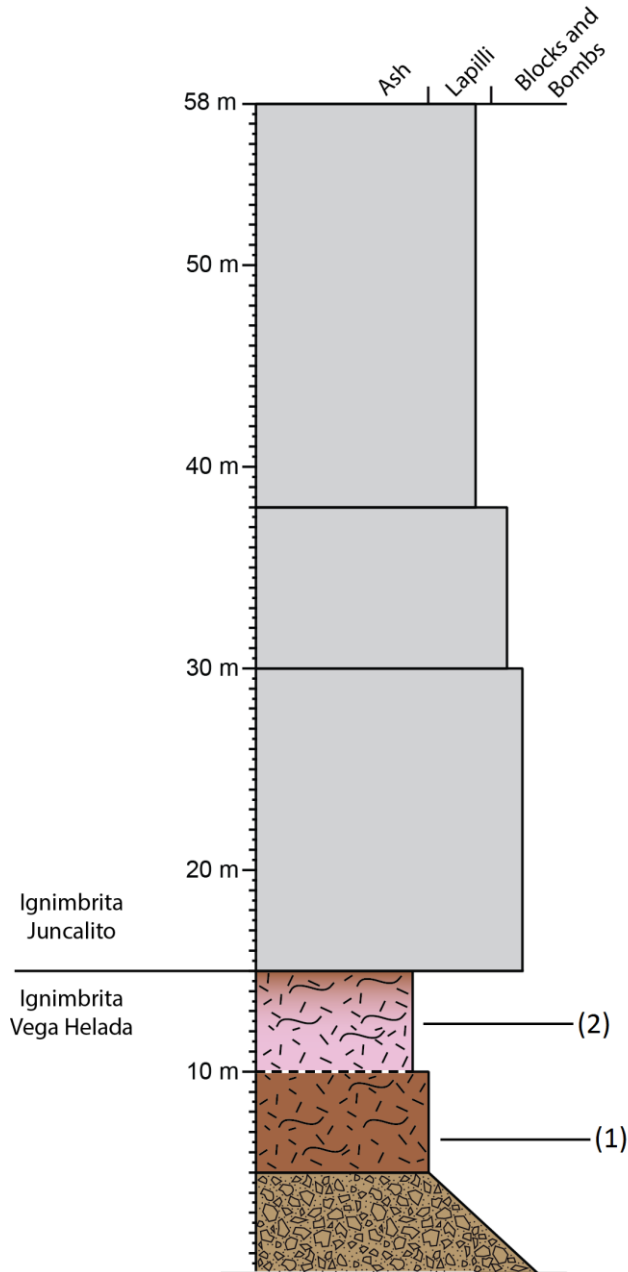


(1) mínimo 2 m de toba vítrea medianamente soldada de lapilli de color rosado, rica en pómez aplastadas y desvitrificadas < 1 cm, algunas con textura esferulítica, contiene líticos hasta lapilli medio, escasos cristales (5%) de Pl, Bt, Qtz y muy escasos Cpx y Am, algunos cúmulos de carbonatos, matriz levemente desvitrificada con esquirlas medias, aplastadas y desvitrificadas.

(2) 10 m de toba cristalina masiva de lapilli, cinerítica, deleznable, mala selección, color pardo-rosáceo pálido. 30% cristales de Pl, Opx, Am, Cpx y muy escaso Qtz, glomero-pórfido-cristales de Pl+Opx+Cpx±Am, pómez rosáceas < 5 cm con bordes de enfriamiento, vesículas alargadas de hasta 6 mm, zonas con textura de flujo por aplastamiento, matriz vesicular levemente desvitrificada.

(3) 10 m marrón a pardo de toba cristalina soldada de lapilli, 40% cristales de Pl, Opx, Am, Cpx y muy escasa Bt, abundantes fiammes desvitrificadas < 30 cm, escasos líticos hasta lapilli medio, matriz escasa y desvitrificada.

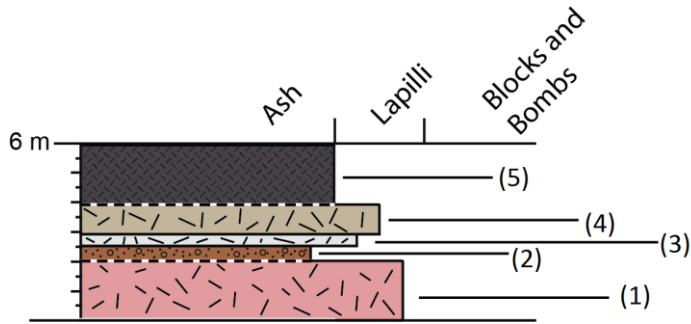
**7.1.2.6 LOCALIDAD C VEGA HELADA: PORTEZUELO PEDERNALES (NORTE)**



(1) 5 m de toba cristalina soldada de lapilli, morada oscura, con pátina por intemperización marrón. 35% cristales de Pl, Opx y Cpx (en cúmulos), menor Am y Bt, escasas fiammes negras < 2 cm, líticos milimétricos y algunas vesículas milimétricas, matriz vítrea y presenta zonas negras más soldadas y zonas moradas-rosáceas menos soldadas con escasas esquirlas finas medianamente aplastadas.

(2) 5 m rosado a marrón-rojizo de toba cristalina soldada de lapilli (25% de cristales), con Pl, Opx, Cpx y Am (inclusiones Am en Pxs, textura poikilítica), cúmulos de Pxs y Pl, escasos líticos milimétricos, matriz vítrea, rica en esquirlas aplastadas de tamaño medio.

### 7.1.2.7 LOCALIDAD D VEGA HELADA: PORTEZUELO PEDERNALES (SUR)



tabulares.

(2) 30-50 cm de un nivel de arenisca gruesa color marrón, seca, no consolidada y fácilmente disgregable. Clastos polimícticos, mala selección, Qtz redondeado.

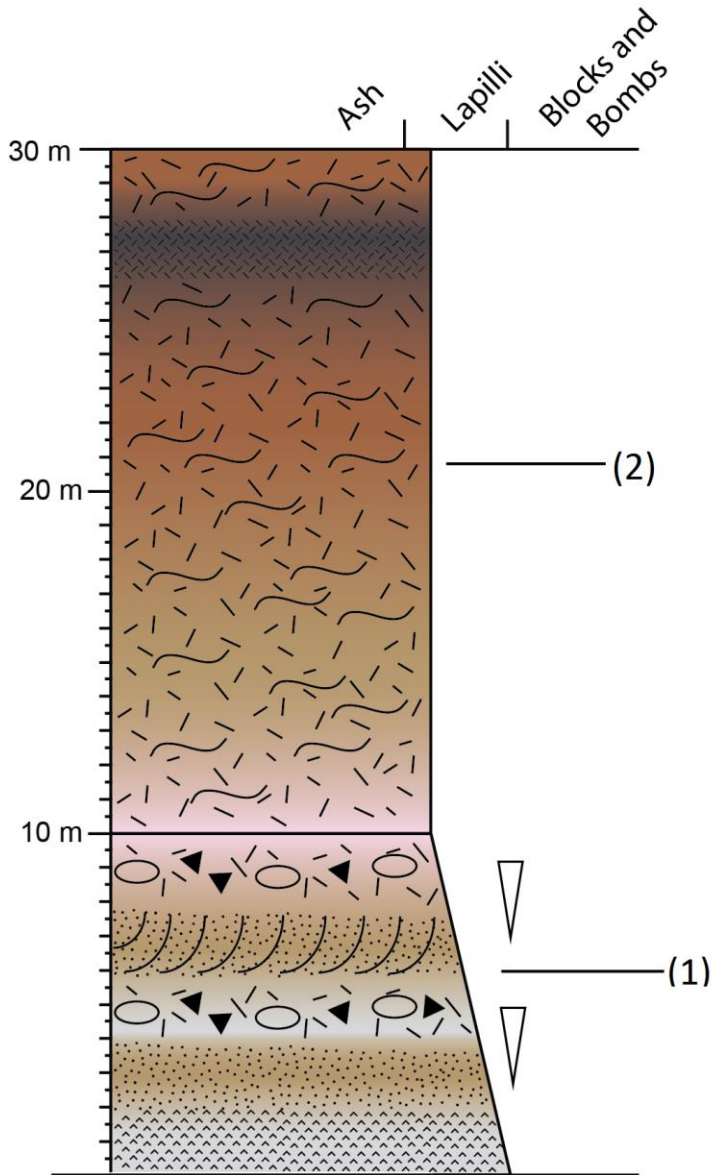
(3) nivel de 40 cm de color blanco grisáceo de toba cristalina soldada de lapilli, 25% cristales de Pl, Opx, Cpx y Am (algunos cúmulos), pómez rosadas vesiculares fibrosas, líticos <1 cm, escasas vesículas < 0,7 mm, matriz vítrea con esquirlas finas de apariencia "sub-esquelética".

(4) m de toba cristalina masiva de lapilli, marrón a beige, consolidada, con abundante Am, menor Qtz y Pl y posible Bt microcristalina, líticos y escasas pómez rosado claro de tamaños lapilli medio a fino.

(5) vitrófiro negro a marrón, 10% cristales de Pl, Opx, Am, Cpx y Bt, todos <1mm, líticos escasos <2mm y pómez vesiculares fibrosas <2,5mm en matriz vítrea con esquirlas medias.

(1) 2 m de toba masiva de lapilli color rosado-pardo, cinerítica y deleznable, con contenido de Qtz, fragmentos líticos milimétricos < 4 cm y pómez blancas < 2 cm con cristales

### 7.1.2.8 LOCALIDAD F VEGA HELADA: QUEBRADA AGUA DEL RINCÓN



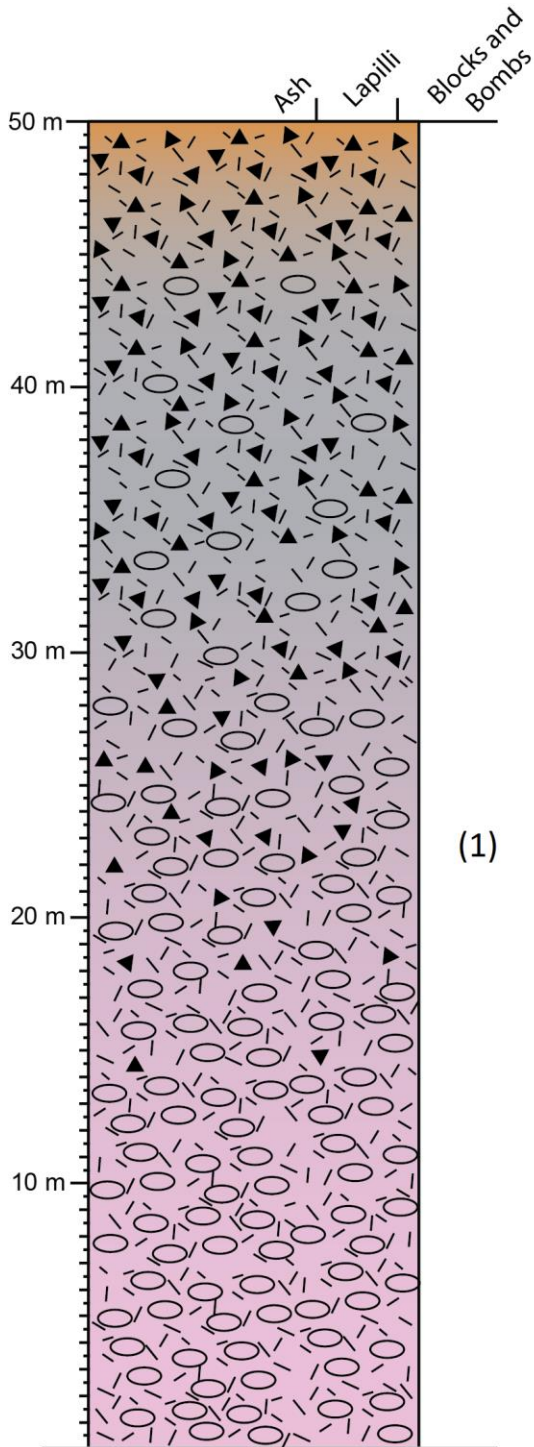
(1) 10 m de secuencia de sedimentos húmedos y sedimentos con cemento calcáreo, rico en fragmentos clásticos, intercalaciones de niveles finos y gruesos (desde escasos centímetros hasta 40 cm), se observan niveles rosados y blancos, con pómez y líticos variables, algunos de ellos oxidados. 20 cm superiores con tonalidades rojizas por oxidación. Muestra estratificación cruzada recumbente.

(2) 20 m de toba cristalina soldada de lapilli, cuyo color gradúa de rosado claro a pardo a marrón a negro a marrón, asociado a un aumento y disminución en el grado de soldamiento, llega a formar un vitrófiro de 30 cm. 30% de

cristales, glomero-pórfido-cristales de dos piroxenos y de Pl-Am-Px-opacos, algunos con textura poikilítica. Escasos líticos milimétricos y fiammes desvitrificadas < 4 mm, matriz levemente desvitrificada con esquirlas aplastadas finas a medias, zonas con textura de flujo.

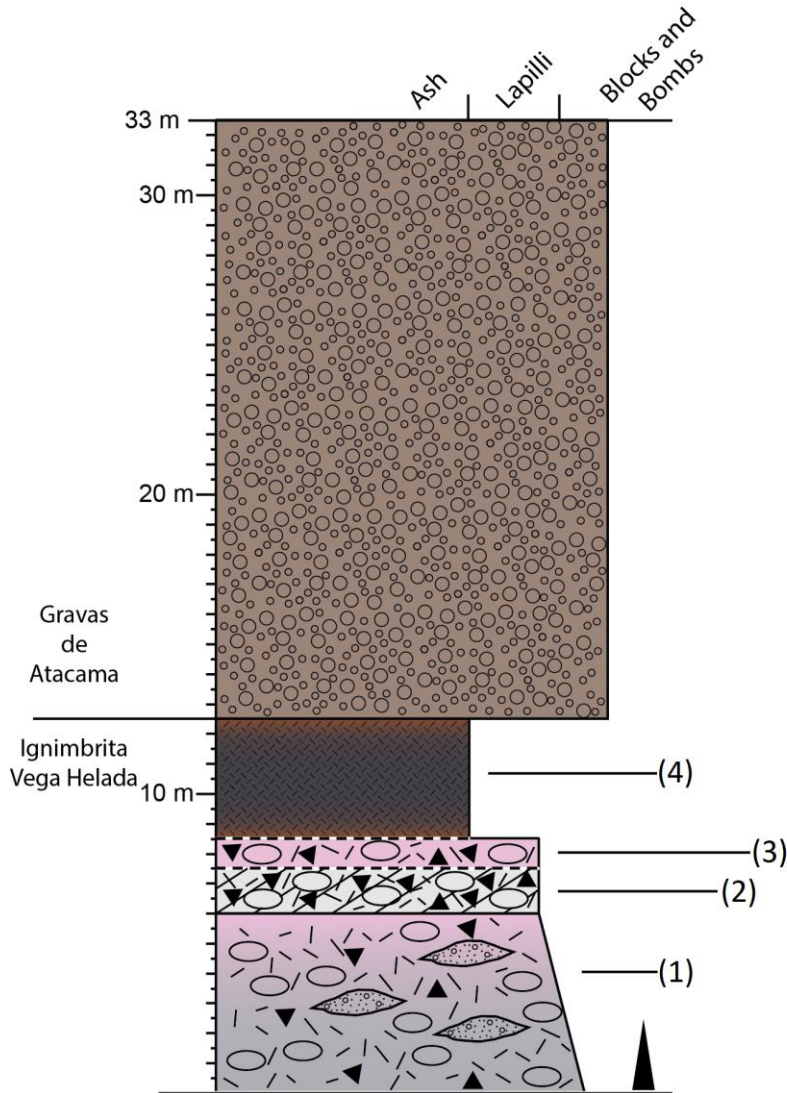


### 7.1.2.9 LOCALIDAD G VEGA HELADA: SIERRA DEL MEDIO (NORTE)



(1) 50 m de toba masiva de lapilli que grada de vítrea a lítica. Primeros 15 m son de toba vítrea rosado claro, con pómez blancas < 20 cm. Siguen 35m a 40m de toba lítica con tonalidad levemente más grisácea-anaranjada, debido a su mayor contenido de líticos con gradación inversa, de hasta 15 cm en la parte alta. 20% de cristales, de Pl, menor Qtz embahiado y escasa Bt, todos < 0,5 mm, matriz de ceniza rosada pálida con muy escasas esquirlas.

**7.1.2.10 LOCALIDAD H VEGA HELADA: SIERRA DE MEDIO (SUR)**



(1) 6 m de toba de lapilli rica en pómez, no consolidada, líticos sub-redondeados polimícticos < 15 cm con gradación normal, inmersos en una matriz vítrea con abundantes esquirlas de tamaño medio que varía de gris a levemente rosada, ricos en líticos medianamente seleccionados (lapilli fino a ceniza gruesa), pómez blancas < 3 cm con texturas variadas (fibrosas a homogéneas), cristales (5-7%) de Pl, menor Qtz y muy escasa Bt.

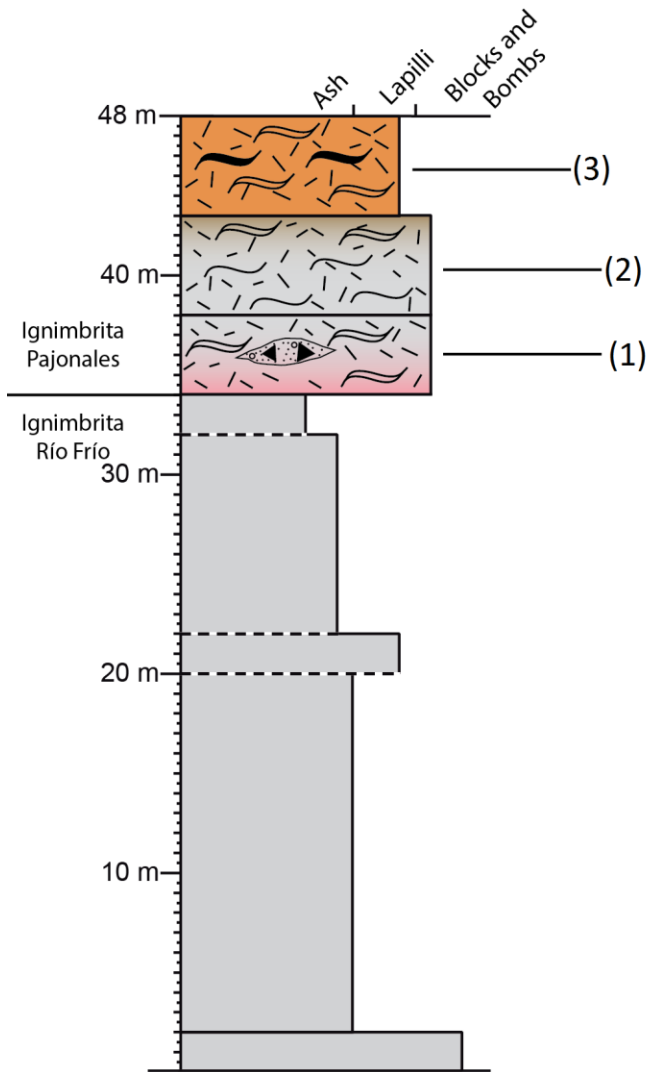
(2) 1,5 m de toba vítrea de pómez rica en líticos lapilli

medio con laminación paralela, color blanco-grisáceo, niveles blancos de ceniza fina

(3) 1m toba vítrea de pómez rica en líticos rosada, similar al nivel infrayacente, pero con mayor grado de soldamiento.

(4) vitrófiro de 4 m negro a marrón oscuro de toba cristalina soldada, 35% cristales de Pl, Cpx y Opx, formando algunos cúmulos, escasos líticos y vesículas, matriz vítrea, rica en esquirlas finas aplastadas, muy soldada.

### 7.1.2.11 LOCALIDAD B PAJONALES: SALAR DE LA AZUFRERA



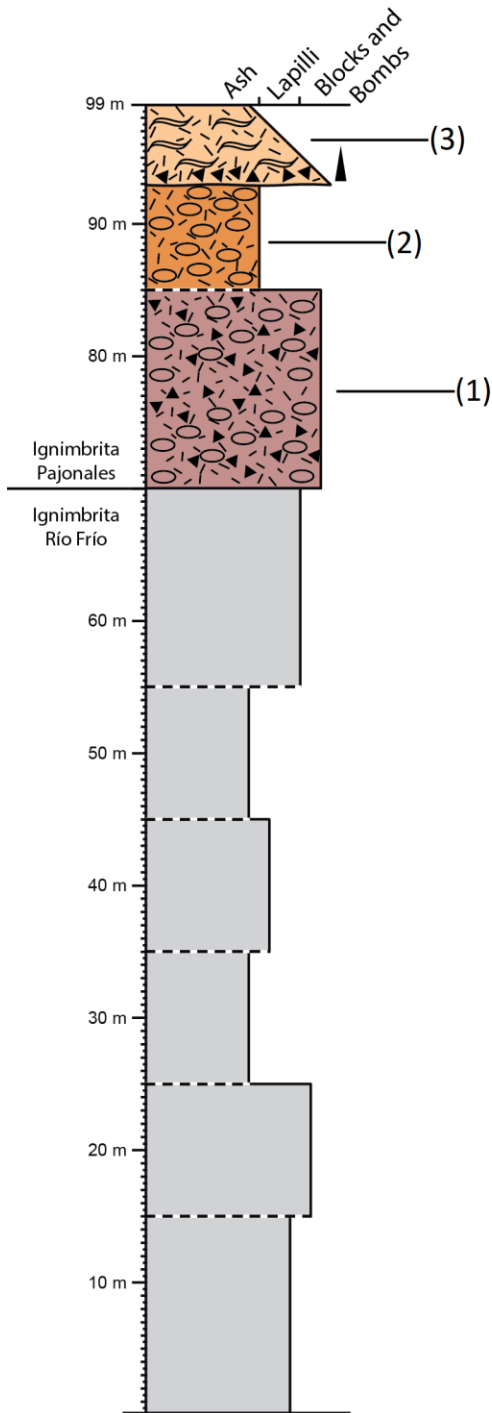
(1) 3 m de color rojizo a gris de toba cristalina de lapilli, con Pl, Bt, Opx, Am y Cpx, rica en pómez y fiammes centimétricas, variadas, y líticos polimícticos < 5 cm.

(2) 5 m de toba masiva de lapilli, grada de gris pálido a gris parduzco oscuro hacia el techo, rica en pómez fibrosas < 15 cm, fiammes en las partes más soldadas, líticos polimícticos variados < 3 cm, escasos cristales (3-5%) de Pl, Bt y menores Opx, Am y Cpx, matriz de ceniza, con esquirlas muy gruesas.

(3) 5 m de toba vítrea de lapilli de color gris, anaranjada en las caras intemperizadas, rica en pómez-fiammes < 3 cm de color gris a morado, fibrosas y granulares, con escasos cristales (5%) de Pl y Bt y escasos

líticos milimétricos, matriz de ceniza gris pálido muy levemente rosácea, con abundantes esquirlas muy gruesas.

**7.1.2.12 LOCALIDAD D PAJONALES: BORDE ORIENTAL DOMO RESURGENTE**



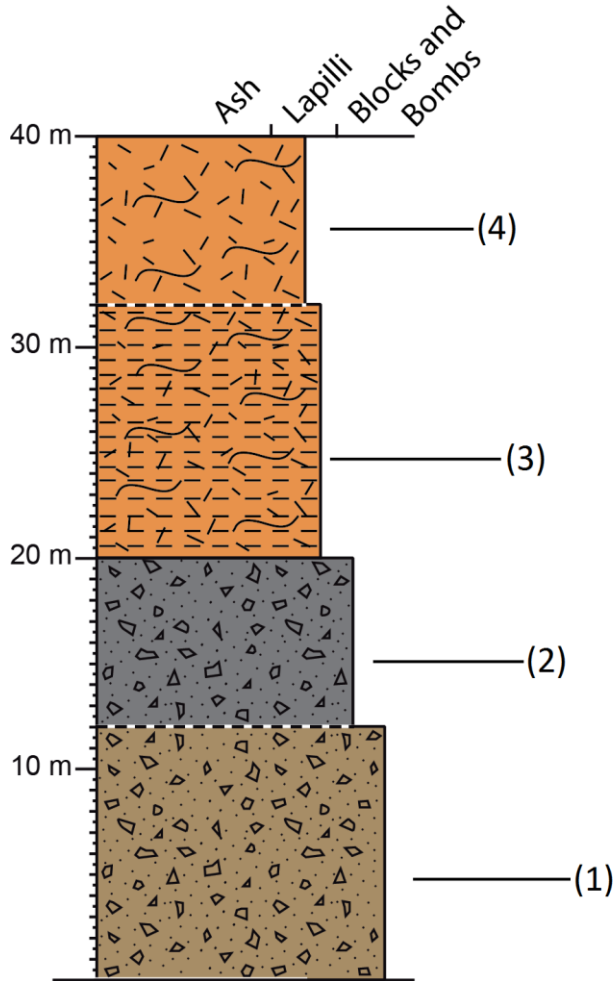
(1) 15 m de color pardo-rosáceo a gris de toba masiva vítrea a lítica de lapilli, rica en pómez rosáceas de hasta 50 cm, blancas fibrosas < 25 cm y grises < 20 cm, usualmente todas < 5 cm, líticos variados < 20 cm, también usualmente < 5 cm, escasos cristales (5%) de Pl y Bt, con muy escasos cristales de Am, Opx y aun menor Qtz fragmentado, posible Cpx muy escaso, matriz es abundante muy rica en esquirlas gruesas.

(2) 8 m de color pardo-anaranjado de toba vítrea masiva de lapilli, medianamente soldada, rica en pómez centimétricas blancas y rosáceas, algunas tubiformes y usualmente con cristales de Pl y Bt, escasos cristales (3-5%) de Pl y Bt, menos Am y Cpx, líticos polimícticos milimétricos, matriz de ceniza gris a pardo-anaranjada, muy rica en esquirlas gruesas.

(3) 8m de color pardo amarillento de toba masiva de lapilli rica en pómez con gradación normal de líticos y una brecha conglomerádica de bloques redondeados de obsidiana en su base. Pómez grises fibrosas < 15 cm y pardas < 20 cm, aplastadas por soldamiento, líticos polimícticos < 5 cm y < 2 cm hacia el techo, 7% cristales de Pl, Bt y menor Opx. La matriz es de ceniza parda a amarillenta, muy rica en esquirlas gruesas y aplastadas. Contacto erosivo.

amarillenta, muy rica en esquirlas gruesas y aplastadas. Contacto erosivo.

**7.1.2.13 LOCALIDAD E PAJONALES: SURESTE DEL SALAR DE LA ISLA**



(1) 12 m de color pardo grisáceo, anaranjado en superficies intemperizadas, corresponde a una brecha (mega) lítica masiva, bloques polimícticos < 60 cm, abundantes bloques ignimbríticos. Al microscopio 15% cristales de Pl, menor Bt y muy escasa Am, cúmulos de Pl-Bt, matriz con abundantes fragmentos cristalinos, principalmente de Pl.

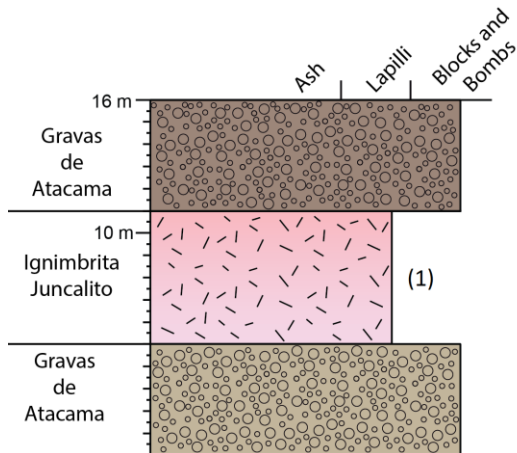
(2) 8 m de brecha lítica masiva soldada gris oscura a negra, rica en fragmentos polimícticos < 20 cm, con cristales (10-15%) de Pl, menor Bt y muy escasos Pxs (posible Opx) y cúmulos de Pl. Matriz desvitrificada rica en fragmentos cristalinos.

(3) 12 m de color anaranjado de toba

cristalina de lapilli soldada, intensamente fracturada (lajeadada), morada-grisácea en sus caras frescas, con cristales (10%) de Pl, Bt y menor Cpx, fiammes y pómez aplastadas granulares < 4 cm desvitrificadas, escasos líticos milimétricos, matriz vítrea rica en esquirlas gruesas levemente desvitrificadas. Su contacto basal no se observa, por estar cubierto de detritos.

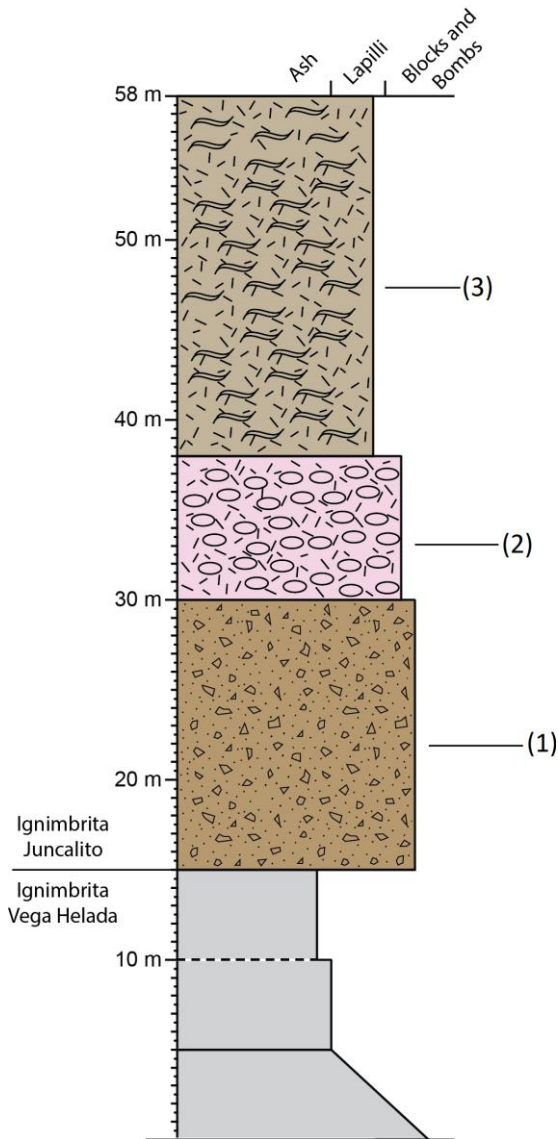
(4) 8 m de toba cristalina masiva de lapilli soldada de color gris, con una pátina anaranjada por intemperización. 10% de cristales, de Pl, Bt y menor Cpx, pómez grises y pardas, aplastadas y granulares, desvitrificadas < 2 cm, escasos líticos milimétricos, matriz rica en esquirlas medias, levemente desvitrificadas y aplastadas.

### 7.1.2.14 LOCALIDAD B JUNCALITO: CUESTA JARDÍN



(1) 5 a 6 m de toba cristalina masiva de lapilli rosado pálido en su base a rosado en el techo, con cristales (7%) de Pl, Bt y escasos Pxs, pómez fibrosas < 2 cm blancas a pardas claro y líticos < 3 cm, matriz rica en esquirlas de tamaño medio.

**7.1.2.15 LOCALIDAD C JUNCALITO: PORTEZUELO PEDERNALES (NORTE)**



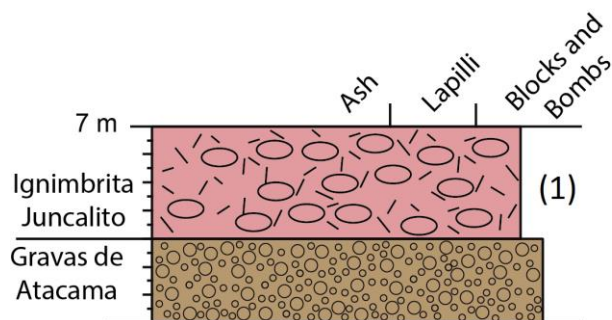
aplastadas por soldamiento.

(1) 15 m de brecha lítica masiva con clastos sub-redondeados de hasta 40 cm, con una importante cantidad de bloques ignimbríticos rosado oscuro a marrón y fragmentos porfíricos lávicos.

(2) 8 m de toba masiva de lapilli rosado claro, levemente pardo en sus superficies intemperizadas, rica en pómez fibrosas < 15 cm de color blanco a gris-pardo claro (muy levemente aplastadas), líticos < 1 cm, escasos cristales (7%) de Pl, Bt, menor Am y muy escasos fragmentos de Qtz, matriz de ceniza de color rosado, rica en esquirlas medias a gruesas.

(3) 20 m de toba vítrea soldada de lapilli color gris, con una pátina pardo-marrón, tiene fiammes < 5 cm, líticos < 1 cm y escasos cristales (5%) de Pl, Bt y menor Am, con Opx ocasional. Matriz de ceniza gris claro con abundantes esquirlas medias-gruesas,

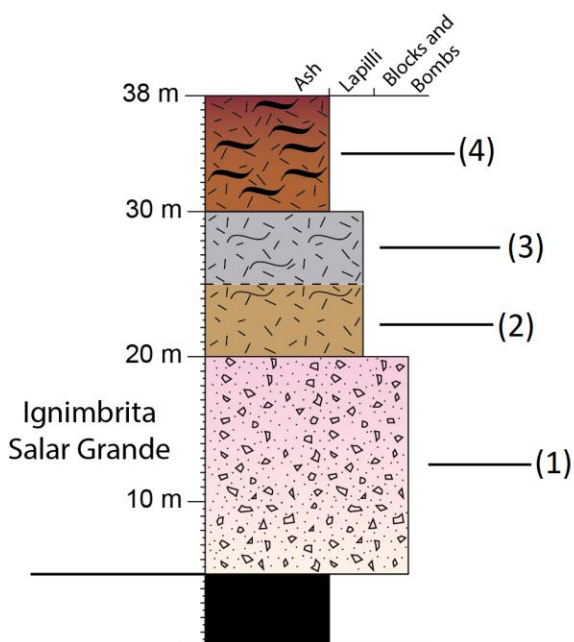
**7.1.2.16 LOCALIDAD E JUNCALITO: QUEBRADA PANTEÓN DE ALISTE (NORTE)**



(1) 4 m, depósito no consolidado de fragmentos de toba vítrea masiva de lapilli pardo-rosada, rica en pómez fibrosas de color blanco a pardo-claro < 40 cm y líticos < 2 cm, con escasos cristales (5%) de Pl,

Bt, menor Qtz y aun menor Opx y Cpx.

**7.1.2.17 LOCALIDAD A SALAR GRANDE: SALAR GRANDE (NORTE)**



(1) 15 m de brecha lítica masiva no consolidada, rica en líticos hasta tamaño bloque, en abundante matriz de ceniza blanca a rosada, con cristales de Pl, Bt y menor contenido de Opx y Cpx, pómez blancas fibrosas, esquirlas finas a medias y presenta niveles métricos ricos en escoria y pómez.

(2) 5 m de toba cristalina masiva de lapilli (soldada en su parte alta) cinerítica, de color pardo, 10% de cristales de Pl y Bt, pómez

rojizas a fiammes hasta lapilli medio y líticos escasos hasta lapilli medio, matriz con esquirlas medias a finas y algunos carbonatos diseminados.

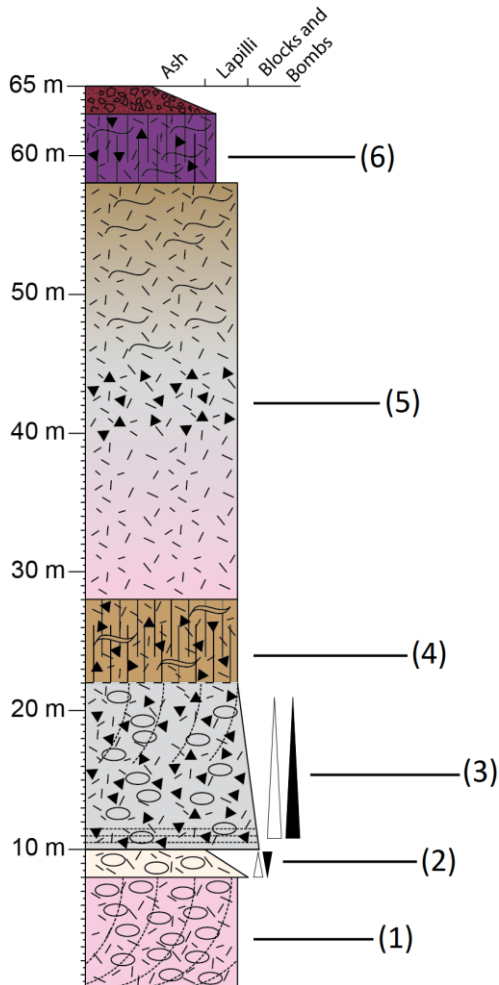
(3) 5 m de toba cristalina de lapilli soldada color gris, levemente anaranjado, con cristales (7%) de Pl y Bt, menor Opx, rica en pómez granulares rojizas, algunas con Bt, menor contenido de líticos hasta lapilli medio, con bordes irregulares, matriz gris claro con abundantes esquirlas gruesas, levemente aplastadas, con apariencia “esquelética”.

(4) 8 m de toba cristalina soldada de lapilli, de color marrón a morado, rica en cristales (15%) de Pl y Bt, muy escaso Opx, abundantes fiammes < 2 cm con textura esferulítica y escasos líticos en matriz vítrea marrón-morada rica en esquirlas medias a gruesas



aplastadas. En fiammes, muestra bandas moradas y grises, sinuosas, que podrían indicar reomorfismo (Ramírez, 2014).

### 7.1.2.18 LOCALIDAD B SALAR GRANDE: LAGUNA SECA (NORTE)



(1) La base corresponde a un nivel rosado de 8 m de toba vítrea cinerítica y deleznable de lapilli con estratificación difusa, rica en pómez blancas-amarillentas a levemente rosáceas, < 2 cm (excepcionalmente ~15 cm), líticos volcánicos < 2 cm (hasta de 5 cm), y cristales de Pl y Bt, matriz de ceniza rosada.

(2) 2 m de toba blanca masiva de lapilli rica en pómez, con gradación normal de pómez (de ~ 10 cm a < 1 cm) e inversa de líticos. Es cinerítica y deleznable, con cristales de Bt y Pl. Base brechosa de 15 cm con líticos < 3 cm.

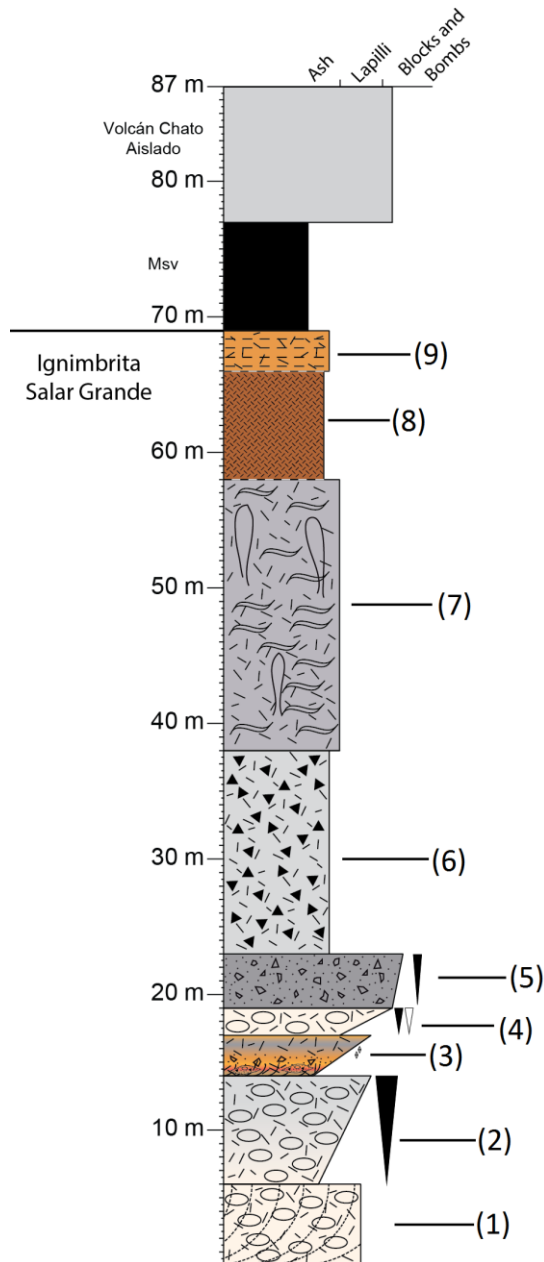
(3) 10 a 12 m de brecha gris clara rica en pómez y líticos, con gradación normal de pómez (blancas-rosáceas a amarillentas < 10 cm) y líticos polimícticos < 15 cm en matriz gris cinerítica y deleznable, con Bt y Pl y con laminación difusa en la base a estratificación cruzada difusa en el techo. Presenta variaciones laterales y verticales en abundancia y granulometría de sus componentes.

(4) Sigue una toba de lapilli soldada de color marrón pálido a morado pálido con espesor variable, de 4 a 10 m, rica en líticos y pómez fibrosas amarillas a blancas, contiene cristales de Bt y Pl. Localmente presenta fracturamiento columnar e irregular

(5) potente nivel, de hasta 30 m, de toba masiva rosada de lapilli, que gradada a una toba masiva gris claro de lapilli rica en líticos y luego a una toba de lapilli gris parduzco con textura eutaxítica, este último marcado por un nivel brechoso de 30 a 40 cm de espesor, rico en líticos oscuros.

(6) 5 m toba morada de lapilli soldada, rica en líticos y cristales de Bt y Pl, con fracturamiento columnar heterogéneo.

### 7.1.2.19 LOCALIDAD C SALAR GRANDE: CORDÓN LAS CHINCHILLAS OCCIDENTAL



(1) 6 m de toba vítrea de lapilli blanca y deleznable, rica en pómez blancas < 2 cm, con líticos < 2 cm y con estratificación difusa. Hacia el techo se torna rosada.

(2) 8-10 m de toba vítrea masiva de lapilli rica en pómez < 2 cm, con gradación inversa de líticos de mm a 5 cm. Grada de blanco a levemente amarillento a gris.

(3) 2-3 m que se acuña hacia el norte. De base a techo: 30-40 cm de toba de ceniza gruesa de color pardo-amarillento con estratificación cruzada; 20 cm de brecha masiva de lapilli con fragmentos líticos de hasta 8 cm en matriz rojiza de ceniza gruesa; 1 m de toba masiva de ceniza gruesa a lapilli medio-grueso en dos ciclos inverso-normal, pasando de color amarillo a naranja a gris oscuro en el primero y de gris oscuro a amarillento pálido en el segundo; nivel naranja de 30-40 cm de espesor de toba masiva de lapilli medio-grueso a ceniza gruesa, separado del nivel inferior por 5 cm ricos en líticos < 5 cm en matriz rojiza tamaño ceniza

fina.

(4) 2 m blancos de toba vítrea masiva de lapilli rica en pómez blancas de hasta 15 cm en el techo (con gradación inversa) y líticos desde milimétricos hasta 5 cm en el techo.

Base con 10 cm de brecha rojiza rica en líticos < 5 cm en matriz rojiza tamaño ceniza gruesa.

(5) 3-4 m de brecha lítica masiva de color gris oscuro, rica en líticos < 15 cm, excepcionalmente < 40 cm, alto contenido de pómez grises escoriáceas < 3 cm.

(6) 15-20 m de toba lítica masiva de lapilli gris pálida, cubierta casi completamente por detritos, rica en líticos de tamaño variable, mm- 20 cm.

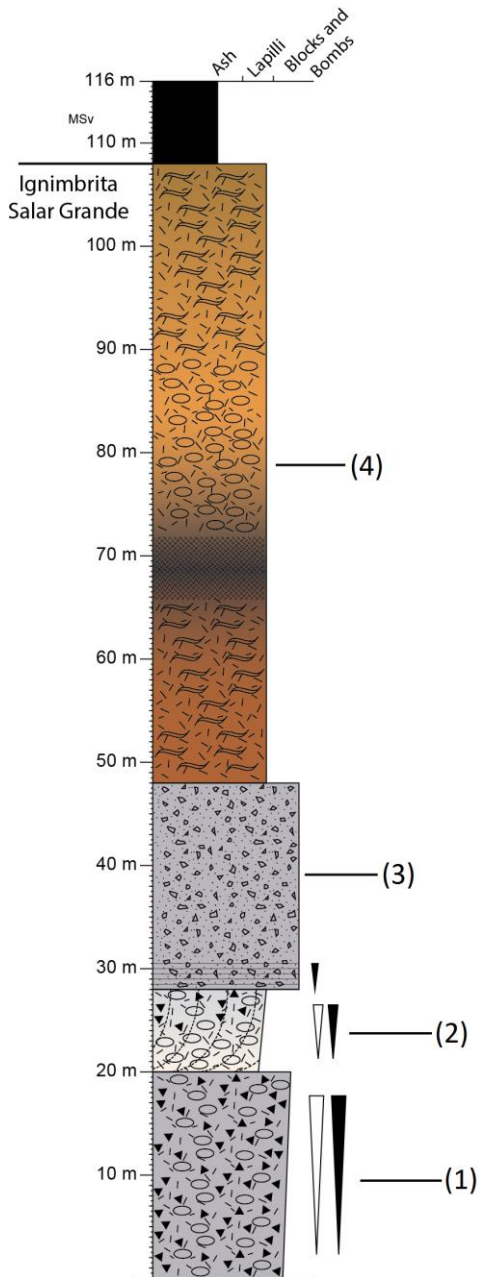
(7) 20-25 m de toba cristalina soldada de lapilli color gris, levemente anaranjado-pálido, rica en Pl y Bt, pómez fibrosas amarillas y blancas < 2 cm, menor contenido de líticos < 1 cm, con pipas de elutriación de hasta 4 metros de extensión vertical y 25 cm de ancho, ricas en líticos porfíricos grises y rojizos < 2 cm, abundante matriz de ceniza blanca a beige pálido.

(8) vitrófiro de 8 m marrón a pardo oscuro de toba lítica a vítrea muy soldada, con líticos porfíricos < 1 cm, pómez fibrosas aplastadas < 1 cm, escasos cristales de Pl, Bt y menor Opx y cúmulos de Pl-Bt y Pl-Opx.

(9) 3m de toba masiva de lapilli anaranjada, fracturada en lascas, aflora solo en la parte más occidental de esta localidad compuesta.

Cubren la localidad lavas y depósitos del volcán Chato Aislado.

### 7.1.2.20 LOCALIDAD D SALAR GRANDE: CORDÓN DE LAS CHINCHILLAS ORIENTAL



(1) 20 m toba masiva gris de lapilli rica en cristales (40%) de Pl, Bt, Am, Qtz y muy escaso Opx y posible Cpx, con abundantes líticos porfíricos y vítreos < 20 cm con una leve gradación inversa y escasos fragmentos sedimentarios milimétricos y pómez, rico en pómez blancas y gris claro de hasta 20 cm, fibrosas y con cristales de Bt, Pl y Am es leve gradación inversa. Matriz gris claro escasa, con escasas esquirlas finas y fragmentos cristalinos tamaño ceniza fina, principalmente de Pl. Fracturas sub-horizontales y oblicuas en 120°/60° aprox.

(2) 8 m de toba masiva que grada de blanco, rico en ceniza, pómez blancas < 1 cm y escasos líticos, a gris claro, más brechoso. Es rico en pómez vesiculares fibrosas < 3 cm con Pl, Bt, Am, Opx y Cpx, líticos < 3 cm (algunos aislados < 40 cm en la parte media) en matriz de ceniza rica en cristales (25-30%) de Pl, Bt, escasa Am y menor Qtz, con esquirlas finas y fragmentos cristalinos. Tiene estratificación difusa y laminaciones discontinuas de fragmentos líticos, dispuestos horizontalmente, separados por varios centímetros sin formar una capa continua. Este nivel está separado del anterior

por una capa de 20 cm de brecha lítica, rica en líticos < 2 cm, ocasionalmente hasta de 10 cm, con laminaciones finas (< 2 cm) y variación granulométrica. Más al sur, este nivel varía de color pardo-grisáceo a blanco a rosáceo, al mismo tiempo que aumenta el grado de soldamiento.

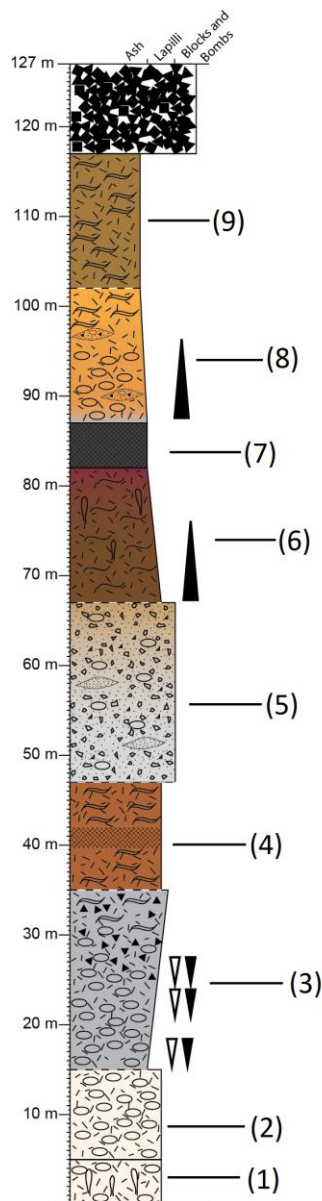
(3) 20m de brecha lítica masiva clastosoportada, de color gris, rica en líticos de < 15 cm (hasta 50 cm), con escasas pómez < 10 cm, matriz de ceniza gris claro. 40 cm basales

con laminaciones y gradaciones granulométricas, niveles centimétricos de ceniza y líticos con niveles brechosos con líticos < 2 cm en matriz de ceniza con laminación paralela y sinuosa.

(4) Los niveles superiores no pudieron ser observados directamente debido a su difícil acceso. Corresponden a 60 metros de tobas con variaciones importantes en el grado de soldamiento, reconociéndose un nivel vitrofírico.

Esta localidad está cubierta por lavas.

### 7.1.2.21 LOCALIDAD E SALAR GRANDE: LAGUNA SECA (SUR)



(1) nivel disgregable de 5 m de color blanco de toba vítrea masiva de lapilli, con cristales (15%) de Pl y menor Bt, rico en pómez tubiformes blancas < 2 cm (hasta 10 cm), escasos líticos porfíricos rojizos y morados, hasta tamaño lapilli, en matriz vítrea rica en ceniza fina, con escasas esquirlas finas y se observan pipas de elutriación de hasta 15 cm de ancho y 1 m de alto.

(2) 10 m de toba vítrea a cristalina masiva de lapilli, de color blanco, rica en pómez blancas tubiformes < 2 cm (ocasionalmente hasta 10 cm), con 10% de cristales de Pl y Bt y menor contenido de líticos porfíricos, en matriz rica en fragmentos de Pl y Bt, con escasas esquirlas finas. Separado del nivel infrayacente por un nivel de ~30 cm, rico en líticos tamaño lapilli grueso, con lentes centimétricos ricos en ceniza fina de color blanco.

(3) 20 m de color gris, parcialmente cubierto por detritos, de toba masiva de lapilli rica en pómez rosáceas < 2 cm. Contiene cristales de Pl y Bt, escasos líticos porfíricos < 1 cm, muestra gradación inversa de pómez y líticos en la base (de ceniza a lapilli), estratificación escalonada asociada a cambios granulométricos (Ramírez, 2014) y en los últimos 5

metros se torna amarillo-anaranjado, con líticos < 5 cm y pómez fibrosas amarillas,

rosáceas y en menor medida blancas, < 5 cm. Su grado de soldamiento aumenta hacia el techo, donde presenta fiammes.

(4) 12 m de toba cristalina soldada de lapilli, con 20% de cristales de Pl, Bt, menor Am y muy escaso Opx, con abundantes fiammes desvitrificadas < 5 cm de color gris a morado con Pl y Bt, menor contenido de líticos < 3 cm, en matriz vítrea rosada a morada con escasas sombras de esquirlas finas a medias, aplastadas y con textura de flujo. Se observa un nivel vitrofírico de hasta 40 cm.

(5) 20 m de intercalaciones de brechas líticas masivas de color gris muy pálido a pardo-amarillento en su parte superior, ricas en pómez, líticos < 3 cm (hasta ~1 m). En explanadas y llanos forma superficies aterrazadas. Presenta lentes cineríticos blancos de hasta 1 m de espesor, con pómez blancas a amarillentas < 3 cm fibrosas y alargadas y escasos líticos < 5 cm en matriz de ceniza blanca. Contiene cristales de Pl y Bt.

(6) 15 m de toba cristalina soldada de lapilli color pardo oscuro a marrón rojizo con 25% de cristales de Pl, Bt, menor Am, muy escasos Cpx y menor Opx, gradación normal de líticos (centimétricos en la base), fiammes < 15 cm (generalmente < 5 cm) usualmente desvitrificadas con texturas esferulíticas, en matriz vítrea, rica en fragmentos cristalinos, principalmente de plagioclasa, tamaño ceniza fina. En su parte alta presenta pipas de elutriación sub-verticales, sinuosas y segmentadas, de hasta 10 cm de ancho y ricas en líticos < 4 cm. Éstas, coinciden con zonas de fracturamiento.

(7) vitrofiro negro de ~5 m, muy rico en cristales (~35%) de Pl < 2,5 mm, Bt, Opx y Cpx, con cúmulos de Pl-Bt de hasta 3 mm y Pl-Cpx-Opx de hasta 2 mm, en matriz vítrea negra rica en fragmentos cristalinos tamaño ceniza fina. Se observan xenolitos de toba vítrea soldada de pómez y fiammes.

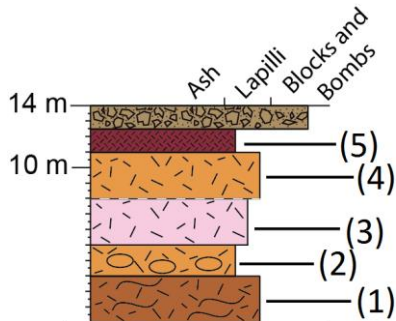
(8) 15 m de toba cristalina masiva de lapilli color gris-anaranjado a amarillento con 20% de cristales de Pl, Bt y escasos Cpx y Opx, con algunos cúmulos de Pl-Bt, abundantes pómez fibrosas vesiculares (a fiammes), de amarillentas a rosáceas hacia el techo, líticos porfíricos < 2 cm que disminuyen en tamaño y cantidad hacia la parte alta, mientras aumenta el grado de soldamiento. Tiene intercalaciones de niveles brechosos de tono pardo-amarillento ricos en líticos y pómez amarillas fibrosas < 2 cm.

(9) 15 m toba cristalina soldada color pardo-marrón, con 25% de cristales de Pl, Bt, menor Cpx y Opx, rica en fiammes centimétricas, algunas esferulíticas, de color gris-

morado a negro en el caso de las más soldadas, escasos líticos milimétricos (hasta 2 cm), en su mayoría porfíricos, matriz de color gris rosáceo a amarillento con esquirlas medias a finas, aplastadas y con textura de flujo.

Cubren esta localidad depósitos de avalancha volcánica.

### 7.1.2.22 LOCALIDAD F SALAR GRANDE: HACIA EL SUR DEL VN. CHATO AISLADO



(1) 3 m de toba soldada de lapilli de color marrón-rojizo oscuro, de aspecto terroso, rica en Bt cobriza, con PI y posible Am, fragmentos líticos milimétricos y pómez rojizas < 2 cm. Base con menor grado de soldamiento y color más claro.

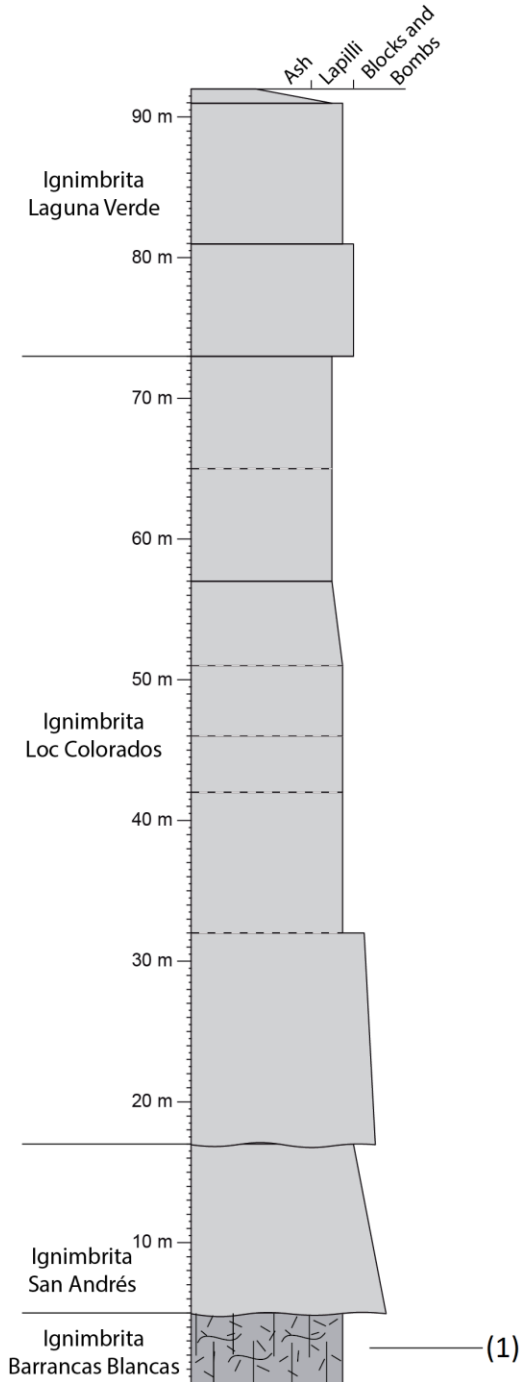
(2) 1,5-2 m de toba vítrea masiva de lapilli, color anaranjado, rica en pómez blancas < 5 mm, cristales de Bt, PI y con posible Am y Qtz, y menor contenido de líticos < 4 mm. Las caras frescas son rosado pálido y la matriz es rica en esquirlas.

(3) 3m de toba cristalina masiva de lapilli rosada, rica en cristales de Bt, PI y posible Am. Contiene pómez rojizas fibrosas < 1 cm. La matriz es cinerítica, deleznable, color rosado pálido, levemente grisácea.

(4) 3 m de toba cristalina masiva de lapilli blanca a gris pálido, con una pátina anaranjada por intemperización, rica en Bt cobriza y PI, con posible Am y Qtz, con pómez fibrosas rosadas y grises < 2 cm, y líticos angulosos < 1 cm en matriz cinerítica.

(5) 1 m de toba soldada vitrofírica de color morado oscuro, con fiammes negras y cristales de PI, Bt cobriza y posible Am.

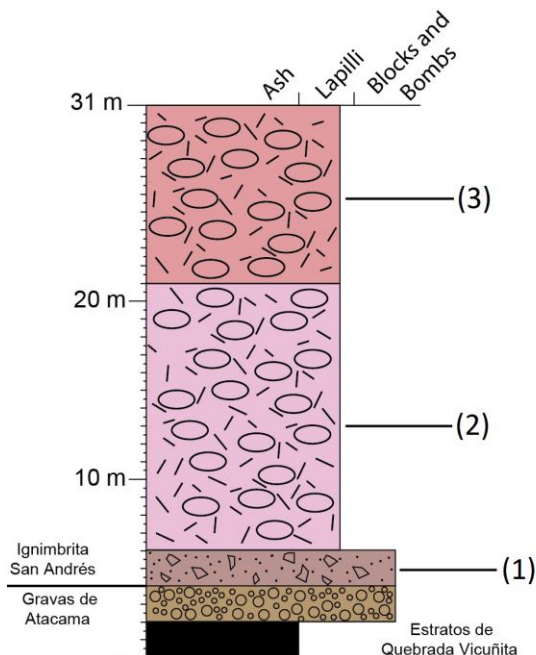
**7.1.2.23 LOCALIDAD L BARRANCAS BLANCAS: QUEBRADA BARRANCAS BLANCAS**



(1) ~1 m de toba cristalina soldada de lapilli, color gris claro, con cristales de Pl, Qtz embahiado, Bt, Cpx y Am, pómez grises aplastadas a fiammes de hasta 2 cm, algunas vesiculares y fibrosas, y menor contenido de líticos de hasta 3 cm. La matriz es vítrea, con escasas esquirlas finas levemente aplastadas y fragmentos cristalinos.



### 7.1.2.24 LOCALIDAD G SAN ANDRÉS: AERÓDROMO POTRERILLO

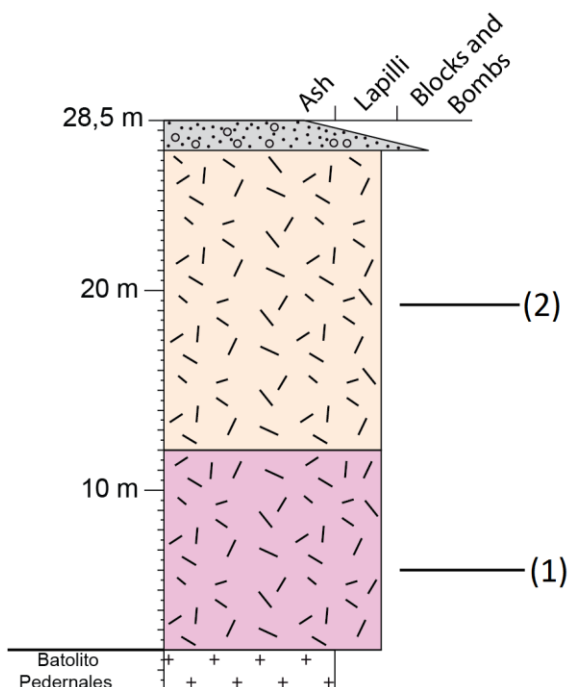


(1) 2 m de brecha lítica masiva, clastos angulosos < 20 cm.

(2) 15 m de toba cristalina a vítrea masiva de lapilli, rosada, con cristales (10%) de Pl, Qtz, Bt y Am, es rica en pómez blancas, vesiculares y algunas fibrosas, tamaño lapilli medio, con escasos líticos tamaño lapilli fino, algunos hasta lapilli medio, en matriz rica en ceniza rosada con escasas esquirlas finas. No se observa un contacto claro con el nivel infrayacente, por estar cubierto de regolito.

(3) 10 m de toba cristalina a vítrea masiva de lapilli color rosado pálido, con cristales (10%) de Pl, Qtz, Bt y Am, rica en pómez vesiculares lapilli medio, escasos líticos milimétricos, en matriz de ceniza es de color blanco-rosáceo, con una pátina pardorósacea por intemperización.

### 7.1.2.25 LOCALIDAD H SAN ANDRÉS: SALAR DE PEDERNALES, SECTOR OCCIDENTAL

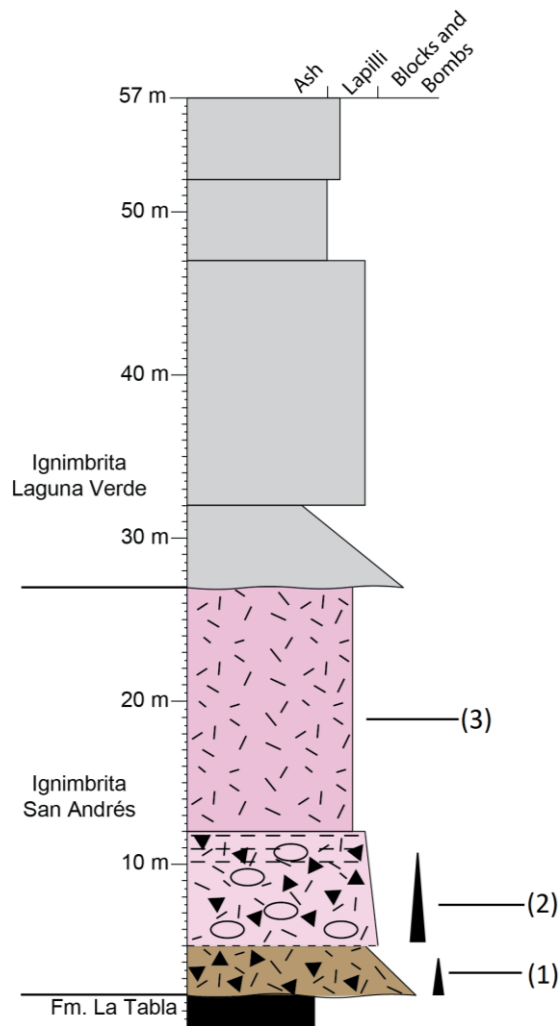


(1) 10-12 m de toba cristalina masiva de lapilli color rosáceo, con 10% de cristales, con Pl, Qtz, Bt y Am. Contiene pómez blancas < 2 cm, vesiculares y fibrosas y líticos hasta tamaño lapilli grueso. Matriz cinerítica levemente desvitrificada.

(2) 15 m de toba cristalina masiva blanca de lapilli, con 15% cristales de Qtz, Pl, Bt y menor Am, pómez blancas y fibrosas < 2 cm y líticos hasta tamaño lapilli grueso. Matriz cinerítica

blanca con escasas esquirlas finas y algunos fragmentos cristalinos.

### 7.1.2.26 LOCALIDAD I SAN ANDRÉS: QUEBRADA AGUA DEL RINCÓN

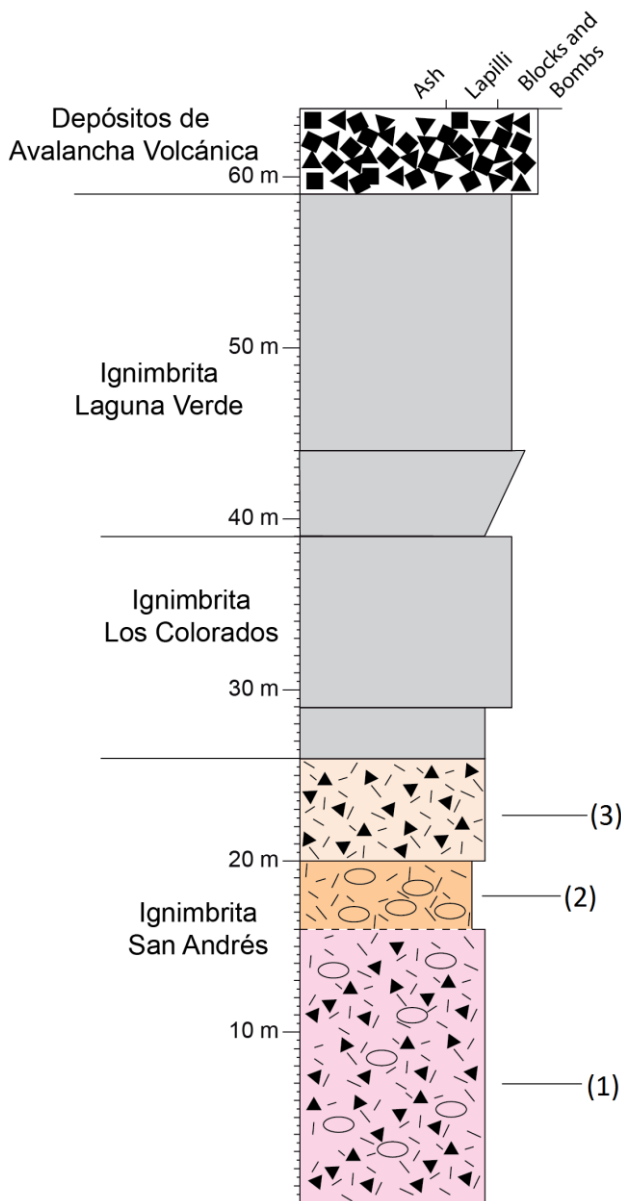


(1) 3 m de toba lítica masiva con gradación normal de líticos, rica en pómez blancas fibrosas, con Pl, Qtz y Bt en una matriz pardo levemente verdosa. En su base presenta una brecha escoriácea color negro con matriz de cristales y ceniza o bolsones de líticos lávicos angulosos de hasta más de 1,5 m, generalmente < 25 cm. Hacia el techo disminuye la cantidad y el tamaño de líticos a < 2 cm.

(2) 7 m toba vítrea masiva de lapilli blanca-rosácea, rica en pómez blancas fibrosas < 5 cm, cristales (5%) de Pl, Qtz, Bt y menor Opx, Cpx y Am, gradación normal de líticos variados < 3 cm (hasta 20 cm), en matriz pardo-rosácea, con partes levemente verdosas, con esquirlas medias y carbonatos diseminados. Zonas endurecidas (vitrificada).

(3) 15 m de toba cristalina masiva de lapilli color rosado medianamente soldada, con 5-7% cristales de Pl, Qtz, Bt, muy escasos Am, Opx y Cpx, pómez vesiculares blancas < 2 cm y líticos, también < 2 cm, en su mayoría lavas porfíricas. Afloramientos soldados, y otros donde la roca es cinerítica y deleznable. Hacia el Oeste, aflora formando un depósito clástico no consolidado, con pómez fibrosas de hasta 40 cm.

### 7.1.2.27 LOCALIDAD J SAN ANDRÉS: S-E VOLCÁN TRIDENTE



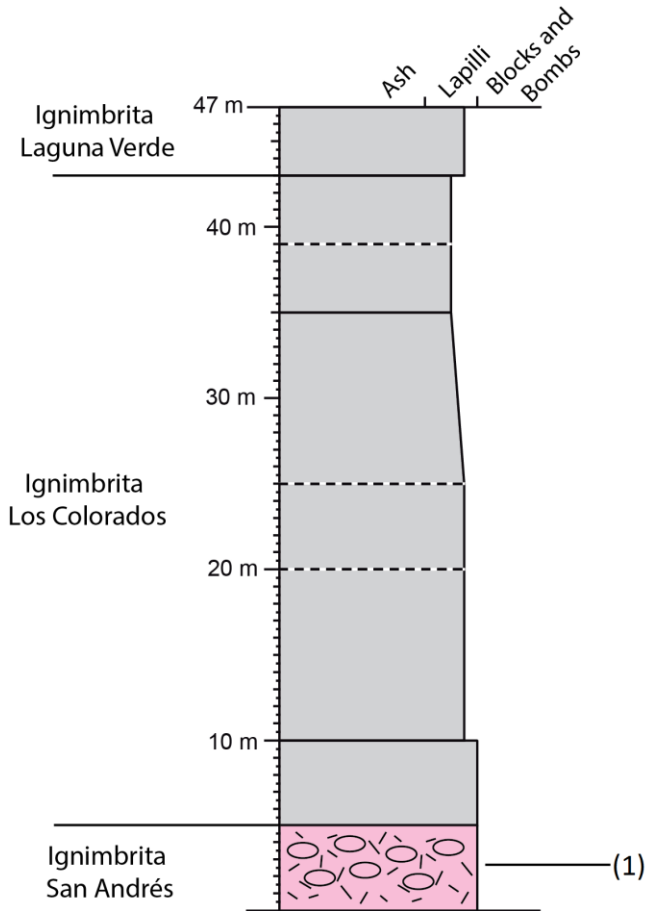
(1) 16 m de toba lítica masiva de lapilli, color rosáceo pálido, rica en líticos polimícticos < 3 cm, destacan fragmentos lávicos porfíricos rojizos < 5 cm, vítreos de color gris < 2 cm y fragmentos bandeados. Contiene abundantes pómez fibrosas blancas (algunas verdesas y marrón) < 2 cm (hasta 7 cm) y se observan cristales de Pl, Bt, escaso Opx, menor Cpx y posible Am. Matriz blanca cinerítica y deleznable, con abundantes esquirlas medias a gruesas.

(2) 4 m de toba vítrea masiva de lapilli deleznable de color pardo pálido, con pómez fibrosas parduzcas a verdesas y en menor medida grises < 2 cm (hasta 5 cm), escasos líticos lávicos porfíricos < 1 cm y escasos cristales de Pl, Bt, Am y menor Opx, en matriz vítrea, rica en esquirlas medias a gruesas.

(3) 6 m de toba cristalina masiva de lapilli, de color blanco muy levemente grisácea,

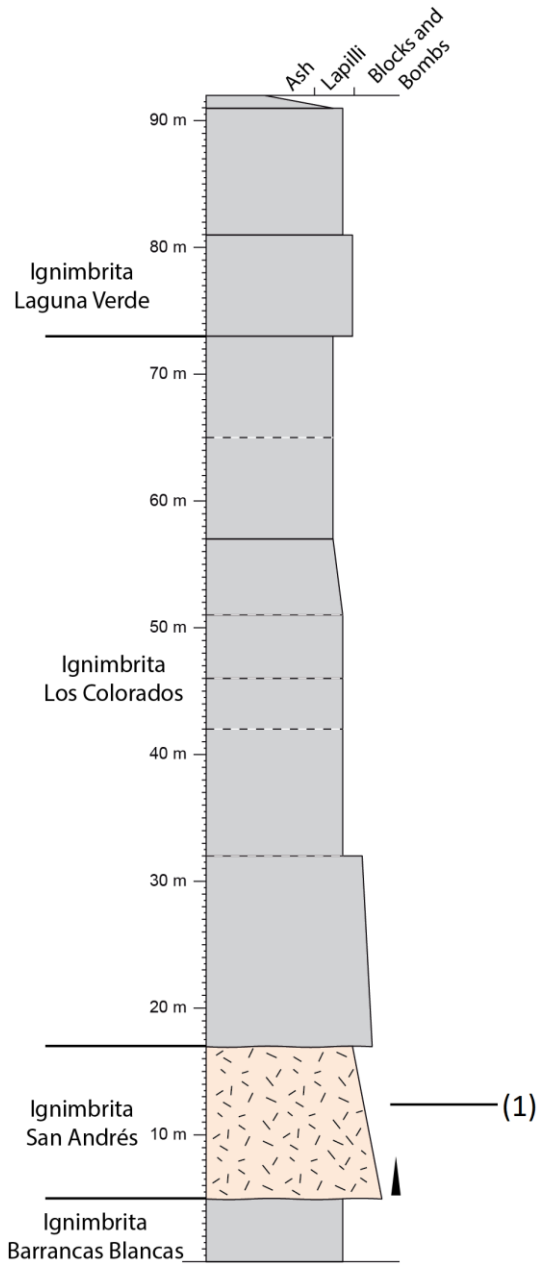
con 10% de cristales, de Pl, Qtz, Bt, Am y escaso Opx, rica en líticos < 2 cm (hasta 15 cm), menor cantidad de pómez fibrosas < 3 cm blancas y levemente verdesas, en matriz blanca de ceniza deleznable, con fragmentos cristalinos y muy escasas esquirlas finas. Más al norte corresponde a la superficie de erosión actual, donde forma un depósito clástico no consolidado, con fragmentos pumíceos grises y anaranjados, densos, de hasta 40 cm.

### 7.1.2.28 LOCALIDAD K SAN ANDRÉS: QUEBRADA TRES PUNTAS



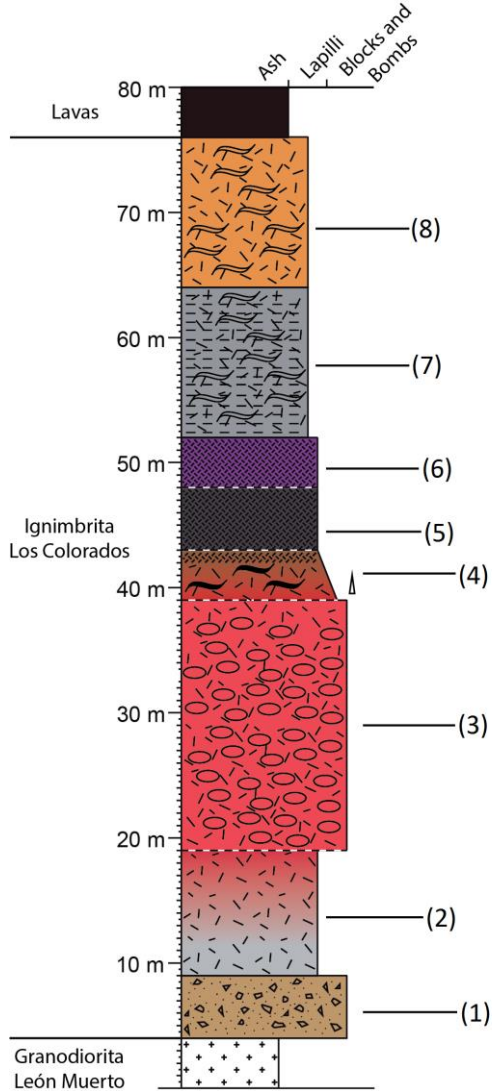
(1) 5 m de toba masiva de lapilli color rosado, rica en pómez fibrosa < 2 cm y líticos lávicos porfíricos < 1 cm, con escasos cristales (< 5%) de Pl < 3 mm y Bt < 0,8 mm, en matriz de ceniza rosada, rica en esquirlas medias a gruesas, medianamente desvitrificada.

**7.1.2.29 LOCALIDAD L SAN ANDRÉS: QUEBRADA BARRANCAS BLANCAS**



(1) 12 m de toba cristalina masiva de lapilli soldada, color blanco. 10-15% cristales de Pl y Qtz con golfos de embahiamiento, Bt y menor Am, Cpx y Opx. Contiene pómez (a fiammes) fibrosas blancas < 5 cm y menor contenido de líticos < 1 cm (hasta 5 cm). Matriz blanca, deleznable, con esquirlas finas, aplastadas en las partes más soldadas. Base (50-60 cm) rica en bloques < 30 cm de la unidad inferior, de hasta 30 cm.

**7.1.2.30 LOCALIDAD A LOS COLORADOS: INMEDIATAMENTE AL SUR DE LA CALDERA LOS COLORADOS**



(1) potente brecha lítica masiva con clastos sub-redondeados de color negro a rojizos < 30 cm en una matriz de ceniza fina no consolidada de color pardo pálido levemente rosáceo. Hacia el sur el tamaño de los clastos disminuye y luego este nivel se acuña.

(2) 10 m de una toba masiva de lapilli vítrea a lítica, color gris, con pómez fibrosas < 1 cm y líticos < 2 cm, inmersos en una matriz consolidada de ceniza fina gris, rica en esquirlas. Hacia el techo se torna rosado y aumenta su grado de soldamiento. Se acuña hacia el sur.

(3) 20 m de toba vítrea masiva de lapilli color rosado intenso, rica en pómez marrón-rojizas fibrosas y tubiformes < 20 cm, en las que se observan PI < 2 mm. Contiene escasos líticos hasta lapilli fino, principalmente micro-porfíricos, y escasos cristales (3%) de PI, Bt y menor Cpx. La matriz es de ceniza rosada-rojiza, medianamente desvitrificada, con esquirlas medias a gruesas.

(4) 4 m de toba soldada (vitrofírica) de lapilli, que gradada de color rosado intenso a marrón, con fiammes negras < 3 cm (con gradación normal). Tiene escasos cristales milimétricos de PI. Presenta una fragmentación intensa y caótica en la parte más alta.

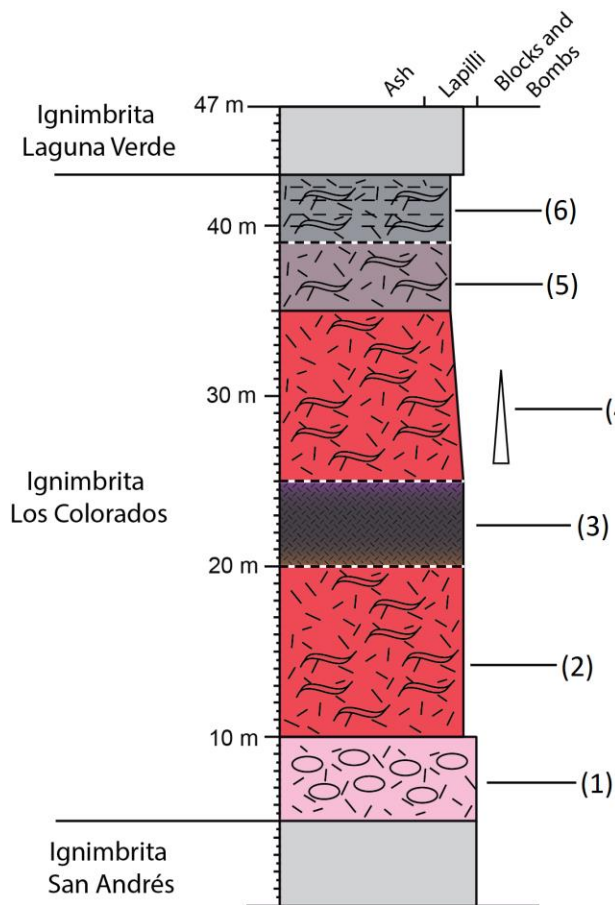
(5) 5 m de vitrófiro negro, intensamente fracturado horizontalmente.

(6) 3-5 m de vitrófiro de color gris oscuro con escasos cristales (3%) de PI y Bt, escasas fiammes < 2 cm y muy escasos fragmentos líticos milimétricos. La matriz es rica en esquirlas gruesas, intensamente desvitrificadas. Dada su alta dureza forma extensas superficies aterrazadas.

(7) 12 m, color gris a morado claro, con intenso fracturamiento horizontal (“lajeado”), rica en fiammes < 1 cm paralelas al fracturamiento, escasos cristales (3%) de PI < 2 mm, Bt y menor Opx, y líticos < 2 cm y matriz de aspecto sucio al microscopio, donde se pueden distinguir algunas esquirlas medias a gruesas.

(8) 12 m de toba vítrea soldada de lapilli, de color blanco, con una pátina por intemperización anaranjada, con fiammes desvitrificadas < 1,5 cm (gris, amarillentas y rosáceas, algunas granulares con textura botroidal), escasos líticos < 1,5 cm y muy escasos cristales (< 3%) de PI y Bt. Matriz abundante de ceniza color blanco a Sobreyacen esta localidad lavas.

### 7.1.2.31 LOCALIDAD B LOS COLORADOS: QUEBRADA TRES PUNTAS



(1) 3-4 m de toba vítrea masiva de lapilli de color rosado, rica en pómez fibrosas rosadas < 5 cm y blancas < 2 cm, con menor contenido de líticos < 3 cm y escasos cristales (3%) de PI de hasta 3 mm y menor Bt, con muy escasa Am y aun menor Opx y Cpx. La matriz es de ceniza rosada, deleznable, rica en esquirlas medias a gruesas, medianamente desvitrificadas.

(2) 10-12 m de toba vítrea soldada de lapilli, color rosado-rojizo a anaranjado, rica en pómez fibrosas de color marrón y grises aplastadas, ambas < 4 cm, escasos cristales (3%) de PI hasta 2,5 mm y menores Qtz embahiado, Bt y Am,

y escasos líticos < 5 mm. Matriz de ceniza rosada, muy rica en esquirlas gruesas desvitrificadas.

(3) 4-5 m de vitrófiro cristalino, que grada de gris-pardo oscuro a negro a gris-morado. Tiene fiammes desvitrificadas < 3 cm (que contienen Bt y PI), escasos cristales (3%) de

PI < 2,5 mm y Bt de hasta 2 mm y escasos líticos < 2 cm, en matriz vítrea, rica en esquirlas medias a gruesas, aplastadas, medianamente desvitrificada y con algunas fracturas.

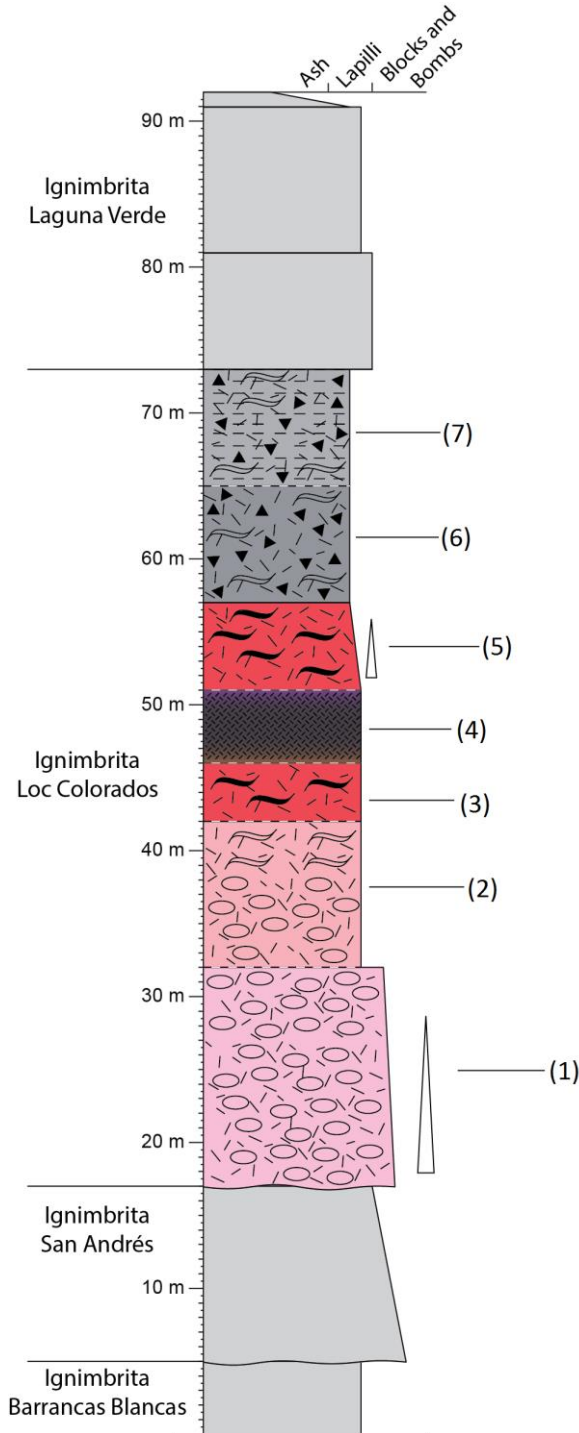
(4) 10 m de toba vítrea soldada de lapilli, rosada, rica en pómez fibrosas (fiammes), alargadas < 1 cm y anaranjadas < 2 cm, con gradación normal, escasos cristales (3%) de PI de hasta 2 mm, Bt y menor Am, y escasos líticos < 2 cm. La matriz es anaranjada-rosácea, rica en esquirlas gruesas de hasta 1,5 mm.

(5) 2 m de depósito no consolidado de color gris, formado por fragmentos de hasta 40 cm de toba vítrea soldada de lapilli, ricos en pómez aplastadas y fiammes desvitrificadas < 2 cm, algunas con esferulitas. Contiene muy escasos cristales (< 3%) de PI, Bt y posible Am, y escasos líticos < 1 cm, en una matriz de ceniza gris, bastante desvitrificada y rica en esquirlas aplastadas medias a gruesas.

(6) 2 m de fragmentos "lajeados" de toba vítrea soldada de color gris con fiammes pumíceas desvitrificadas < 1,5 cm (hasta 3 cm), escasos cristales (3%) de PI y Bt cobriza y muy escasos líticos < 1 cm, en abundante matriz de ceniza, medianamente desvitrificada, rica en esquirlas aplastadas medias a gruesas.



### 7.1.2.32 LOCALIDAD C LOS COLORADOS: QUEBRADA BARRANCAS BLANCAS



(1) 10-16 m de toba vítrea masiva de lapilli, color rosado pálido, muy rica en pómez fibrosas < 30 cm de variadas familias (amarillentas, marrón claro, rosadas, blancas de tamaños reducidos y blancas con bordes rosados), con escasos líticos < 3 cm (en su mayoría porfíricos con Pl y Pxs en masa fundamental microcristalina o vítrea), y escasos cristales (5%) de Pl de hasta 3,5 mm, Bt y escaso Opx y Qtz embahiado. La matriz, rica en esquirlas gruesas, es de color rosado pálido a levemente anaranjada y se torna más rojiza hacia el techo, al aumentar su grado de soldamiento (localmente muestra escasos clastos de la unidad infrayacente en su base).

(2) 8 a 10 m de toba vítrea masiva soldada de lapilli, rosada a levemente anaranjada, rica en pómez marrón, rosadas, blancas y verdosas, vesiculares y fibrosas < 5 cm (hasta 15 cm). Contiene escasos cristales (5%) de Pl, Bt y menor Cpx y Opx, escasos líticos < 1 cm, en matriz rica en esquirlas medias a gruesas, levemente desvitrificada. Su grado de soldamiento aumenta hacia el techo.

(3) 2 m a 4 m de toba vítrea soldada de lapilli rosada a rojiza, con abundantes fiammes vítreas < 5 cm, de color gris a negro, escasos líticos < 1 cm y cristales traslúcidos milimétricos de Pl, en una matriz rica en esquirlas.

(4) 1-5 m de vitrófiro vítreo a cristalino, negro a pardo, en ocasiones con tonalidades moradas, con fiammes negras < 8 cm desvitrificadas y con textura esferulítica, y cristales (5-10 %) de Pl y Bt, ambos < 3 mm, menor contenido de Cpx, Opx, Am y posible Qtz, todos < 0,5 mm, escasos líticos < 2 cm, varios de ellos oxidados, con tonalidades rojizas y anaranjadas, en matriz rica en esquirlas gruesas y aplastadas. El centro de este nivel es de color negro, mientras que hacia la base y el techo su grado de soldamiento disminuye, tornándose de tonalidades grises-parduzcas a moradas. En algunas caras expuestas a la atmósfera presenta una pátina de intemperización anaranjada.

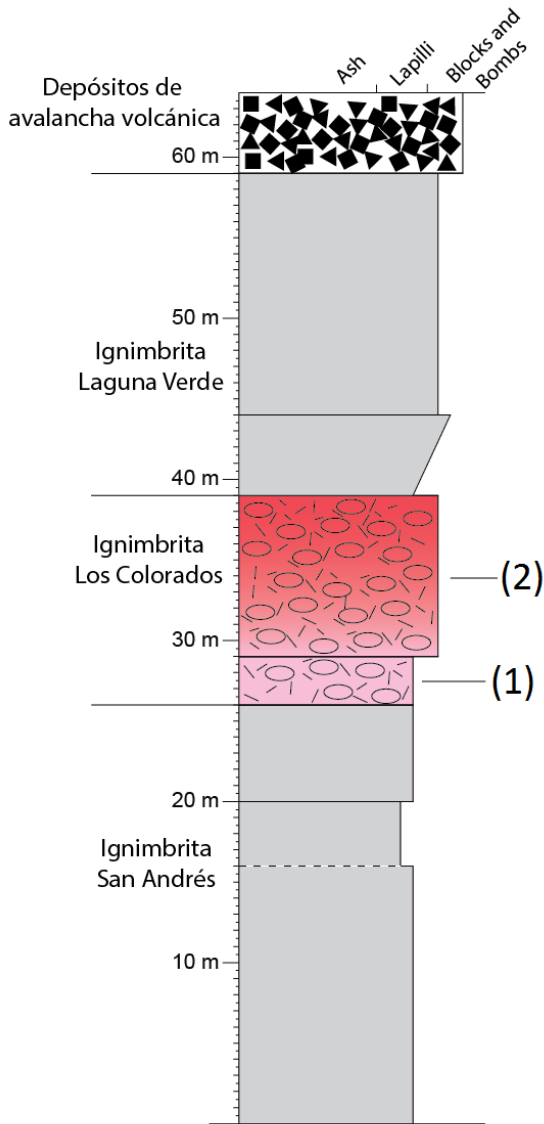
(5) 4-6 m de toba vítrea a cristalina soldada de lapilli, de color rojizo, con gradación normal de fiammes negras de hasta 5 cm, algunas desvitrificadas y con textura esferulítica, cristales (5%) de Pl < 3 mm, Bt y muy escaso Cpx, y líticos porfíricos < 2 cm, en matriz rica en esquirlas gruesa aplastadas. Suele formar superficies aterrazadas de color rojizo.

(6) 4-8 m toba soldada de lapilli, de color gris, rica en líticos < 3 cm, fiammes < 3 cm, algunas esferulíticas, cristales (5%) de Pl < 2,5 mm, Bt y menor Opx y Cpx, en matriz de ceniza color gris con sombras de esquirlas gruesas.

(7) 2-8 m de toba soldada de lapilli, con fracturamiento horizontal (“lajeamiento”), de color gris, con líticos < 3 cm, fiammes < 3 cm, algunas con textura esferulítica, cristales milimétricos de Pl, menor contenido de Bt de menor tamaño, matriz de ceniza de color blanco a grisáceo pálido. Forma superficies aterrazadas, más extensas hacia el Norte.

7.1.2.33

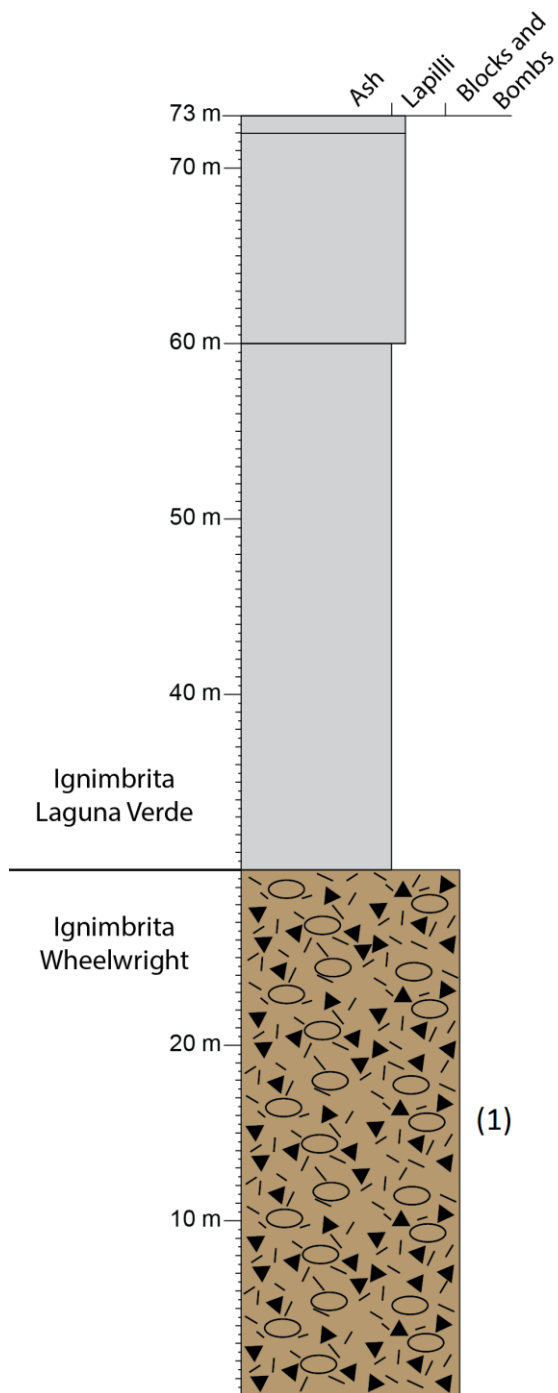
LOCALIDAD D LOS COLORADOS: S-E VOLCÁN TRIDENTE



(1) < 1 m toba masiva de lapilli color rosado, deleznable, rico en pómez fibrosas marrón, levemente verdosas < 5 cm y líticos < 8 cm.

(2) 12 m de toba masiva soldada de lapilli, de color rosado pálido a rosado anaranjado hacia el techo, rica en pómez < 15 cm de color marrón claro, algunas levemente verdosas, blancas y blancas con borde rosado, con líticos < 2 cm muy variados, y cristales (10%) de Pl, Bt y muy escasos Qtz y Opx. La matriz es vítrea, de ceniza rosada, rica en esquirlas gruesas, que se encuentran aplastadas alrededor de los fragmentos líticos.

### 7.1.2.34 LOCALIDAD H WHEELWRIGHT: RÍO JUNCALITO

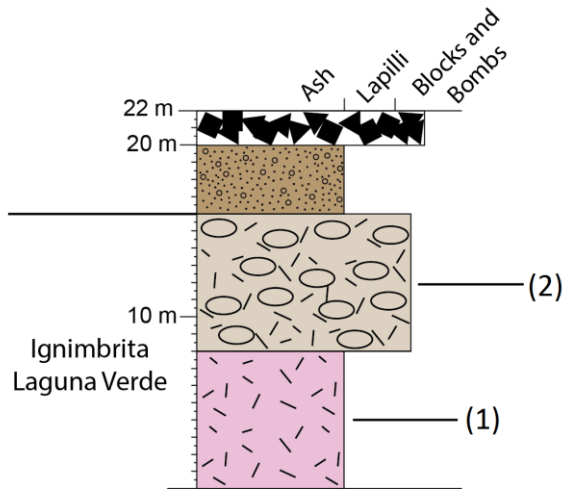


(1) ~30 m de toba vítrea a lítica masiva de lapilli, de color pardo, rica en pómez < 10 cm de dos familias; blancas, compactas, poco vesiculares, con hasta 3% de cristales de Pl, Bt y menor Pxs y posible Am, y verdosas-amarillentas, muy vesiculares y con escasos cristales (< 1%) de Pl, Qtz, Bt, menor Opx y posible Am. Contiene abundantes líticos polimícticos < 5 cm, principalmente porfíricos de lava, de distintos colores, y escasos cristales (5%) de Pl < 2,5 mm, Bt, Qtz < 2 mm, menores Cpx y Opx y posible Am muy escasa. La matriz es muy rica en esquirlas gruesas y medias-gruesas, medianamente desvitrificadas y contiene fragmentos cristalinos

### **7.1.2.35 LOCALIDAD 1 PARINAS**

8m de toba vítrea masiva de lapilli, rica en pómez blancas y rosadas < 5 cm, fibrosas y vesiculares, contiene cristales (10%) de Pl, Qtz embahiado, Bt, menor Cpx y Am, y líticos polimícticos, mayormente lávicos micro-porfíricos. La matriz es vítrea, con fragmentos cristalinos y pumíceos, y escasas esquirlas muy finas.

**7.1.2.36 LOCALIDAD A LAGUNA VERDE: SALAR DE PEDERNALES (ESTE)**

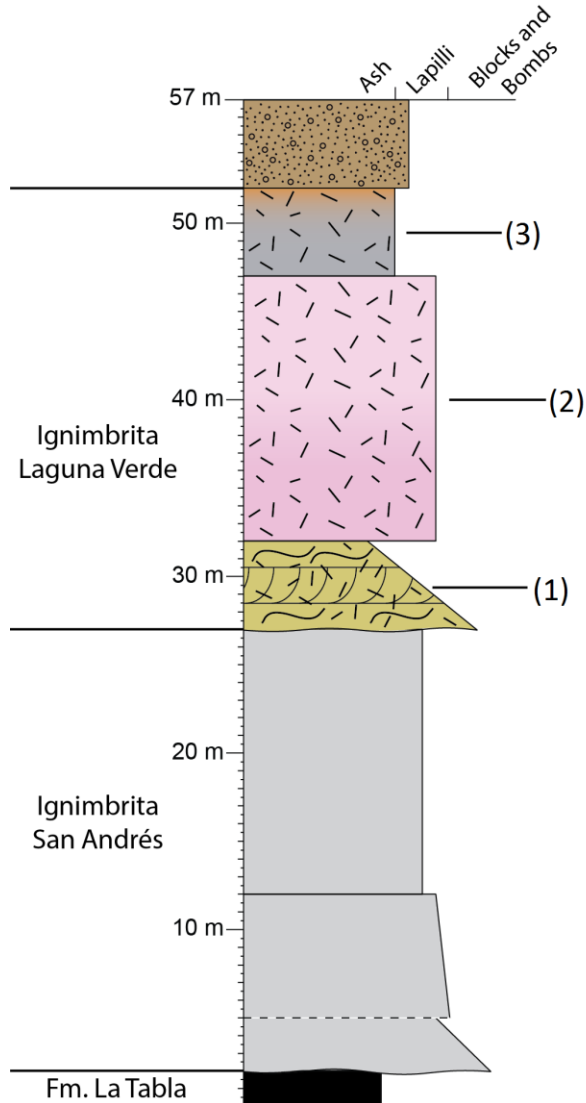


(1) 8 m con fragmentos de hasta 2 m de toba cristalina masiva de lapilli, rosada, con 10% de cristales de Qtz embahiado, Pl, Bt, Am, escaso Opx y menor Cpx. Contiene pómez grises fibrosas de hasta 2 cm y menor cantidad de líticos < 1 cm, inmersos en una matriz de ceniza rosada, con esquirlas gruesas y partes silicificadas.

(2) 8 m de toba masiva de lapilli, color blanco-parduzco, con pómez fibrosas blancas < 10 cm, cristales (10%, algunos fragmentados) de Qtz embahiado, Pl, Bt, menor Am y muy escasos Cpx y Opx, líticos ignimbríticos, con Qtz embahiado, Pl, Bt, escaso Opx y líticos en matriz carbonatizada con esquirlas finas. La matriz es de color blanco a pardo pálido y contiene esquirlas finas.

4 m de rocas epiclásticas carbonatadas color pardo, con fragmentos de Pl, Qtz, Bt, pómez y líticos ignimbríticos en matriz rica en carbonatos y con esquirlas medias (retrabajo).

**7.1.2.37 LOCALIDAD B LAGUNA VERDE: QUEBRADA AGUA DEL RINCÓN**



(1) intercalación de 40 cm a 5 m de tobas de lapilli silicificadas y tobas de lapilli deleznales de hasta 40 cm de espesor con estratificación cruzada. Las partes silicificadas son de color verdoso-amarillento pálido y corresponden a una toba cristalina (7% de cristales), con Qtz embahiado y PI, ambos < 2 mm, Bt y escasos Pxs, algunas pómez vesiculares y fibrosas < 1 cm y escasos líticos milimétricos. Los niveles no soldados presentan estratificación cruzada. Su matriz es rica en fragmentos cristalinos y esquirlas gruesas. Sobreyacen a la Ignimbrita San Andrés, por medio de un nivel brechoso de aproximadamente 40 cm de espesor.

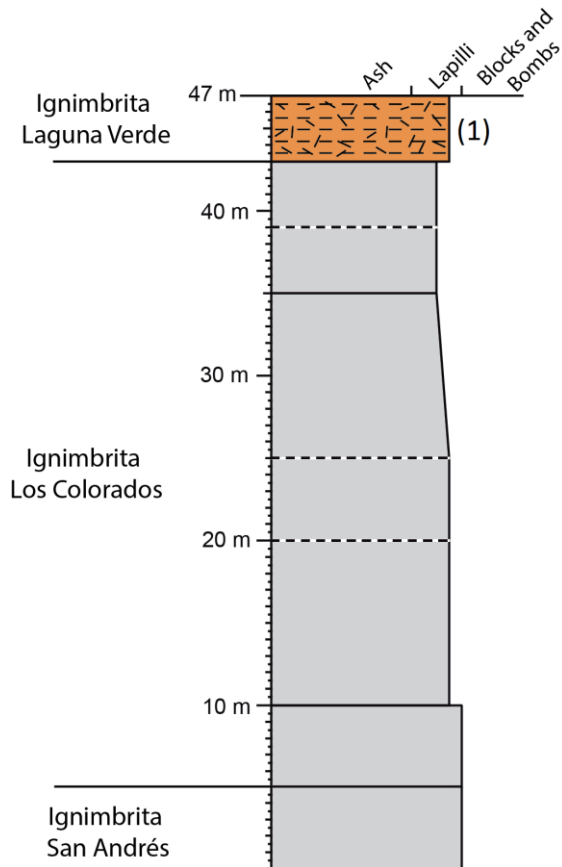
(2) 15 m de toba cristalina masiva de lapilli color rosado intenso a rosáceo pálido, 10% de cristales de PI, Qtz embahiado, Bt

y muy escaso Cpx, pómez fibrosas rosadas, blancas y verdosas < 6 cm, amarillentas < 1 cm, y líticos escasos < 5 cm, en matriz cinerítica y deleznable, rica en esquirlas gruesas.

(3) 5 m de toba cristalina masiva de lapilli color gris a levemente anaranjado en las superficies intemperizadas, con 10% de cristales de PI < 4 mm, Qtz embahiado, Bt y menores Opx y Cpx, escasas pómez grises vesiculares alargadas, algunas fibrosas, < 2 cm, escasos líticos milimétricos, matriz gris pálido con esquirlas medias levemente desvitrificada.

2 m de depósitos salinos y lacustres de rocas sedimentarias carbonatadas, clasto-soportadas, inmaduras (física y químicamente), con abundante cemento de carbonato con textura *drusy* y zonas micríticas, con abundantes clastos ignimbríticos (retrabajo).

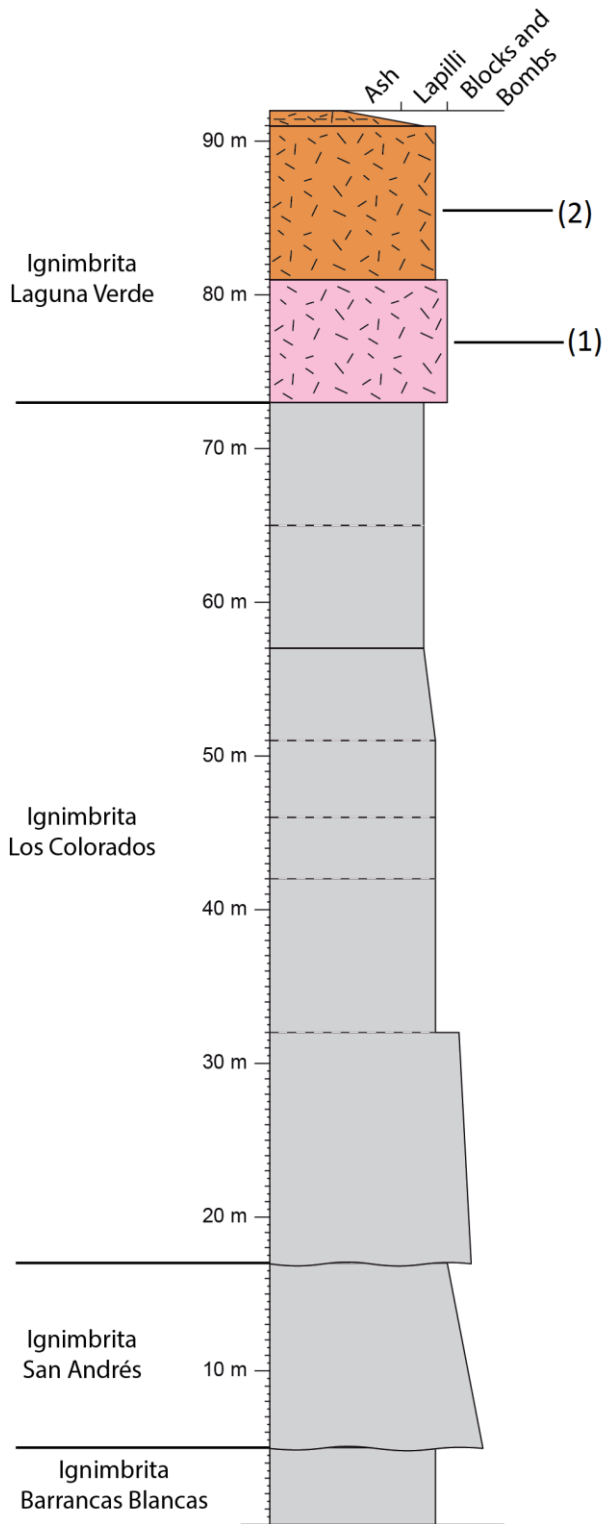
### 7.1.2.38 LOCALIDAD C LAGUNA VERDE: QUEBRADA TRES PUNTAS



(1) 4 m de toba cristalina masiva de lapilli de color gris, con una pátina anaranjada por intemperización, 10% de cristales de Pl, Qtz < 3 mm, intensamente embahados, Bt y muy escaso Cpx, escasos líticos < 1 cm y pómez granulares grises a moradas, blancas, rosadas y amarillentas, todas < 2 cm. La matriz es abundante, de color gris y deleznable, está levemente desvitrificada y contiene esquirlas finas no muy abundantes y algunas vesículas < 1 cm. Forma superficies planas de fragmentos planos (lajas) de hasta 30 cm.



**7.1.2.39 LOCALIDAD D LAGUNA VERDE: QUEBRADA BARRANCAS BLANCAS**

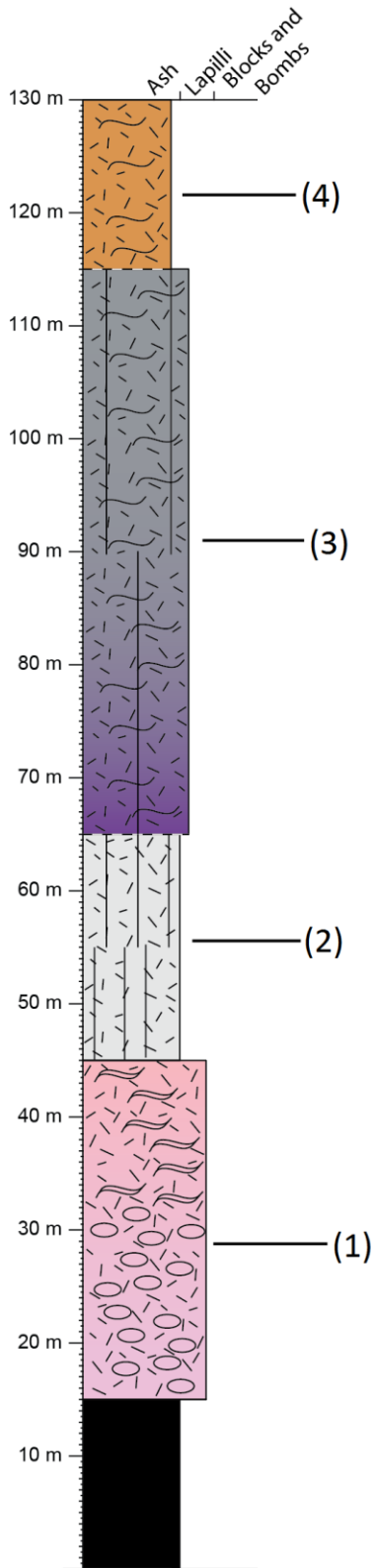


(1) de 6-8 m de toba cristalina masiva rosada de lapilli con 10% de cristales de Pl y Qtz < 2 mm, embahados, Bt, menor Opx, escasa Am fragmentada, pómez variadas < 10 cm, de colores blanco, gris y amarillento, algunas muy vesiculares, y fragmentos escoriáceos < 8 cm, menor contenido de líticos < 1 cm, en su mayoría micro-porfíricos, matriz de ceniza rosada, rica en esquirlas gruesas, levemente desvitrificadas, con fragmentos cristalinos. Partes bajas deleznable, parte superior soldada.

(2) 10 m de toba cristalina masiva de lapilli blanca a gris pálido, con una pátina anaranjada, 15-20% cristales de Qtz embahado hasta 3-5 mm, Pl, Bt, menor Am y Cpx, muy escaso Opx, con pómez vesiculares fibrosas grises < 6 cm, grises granulares y amarillentas < 3 cm, menor contenido de líticos < 2 cm, mayormente micro-porfíricos. La matriz es de ceniza gris a blanco, con esquirlas finas no muy abundantes, levemente desvitrificada. Presenta algunas zonas vitrificadas o silicificadas, de color más oscuro y muy duras. Suele formar superficies aterrazadas

de bloques ("lajas") < 30 cm.

### 7.1.2.40 LOCALIDAD E LAGUNA VERDE: CALDERA LOS BAYOS



Base de 15 m de lava porfírica negra a rojiza con cristales de Pl, Opx y Cpx, algunos en cúmulos, en masa fundamental vítrea, opaca, con microlitos de Pl.

(1) ~ 30 m de toba vítrea a cristalina masiva de lapilli de color rosado, rica en pómez rosadas a gris pálido-rosáceo de hasta 5 cm, vesiculares y fibrosas, cristales (20%) de Pl y Qtz embahiado, ambos < 3 mm, menor Bt < 1 mm, escasos líticos < 2 cm, mayormente micro-porfíricos, en matriz de ceniza rosada con abundantes esquirlas gruesas. Grada de deleznable a soldada y su coloración se torna levemente más intensa.

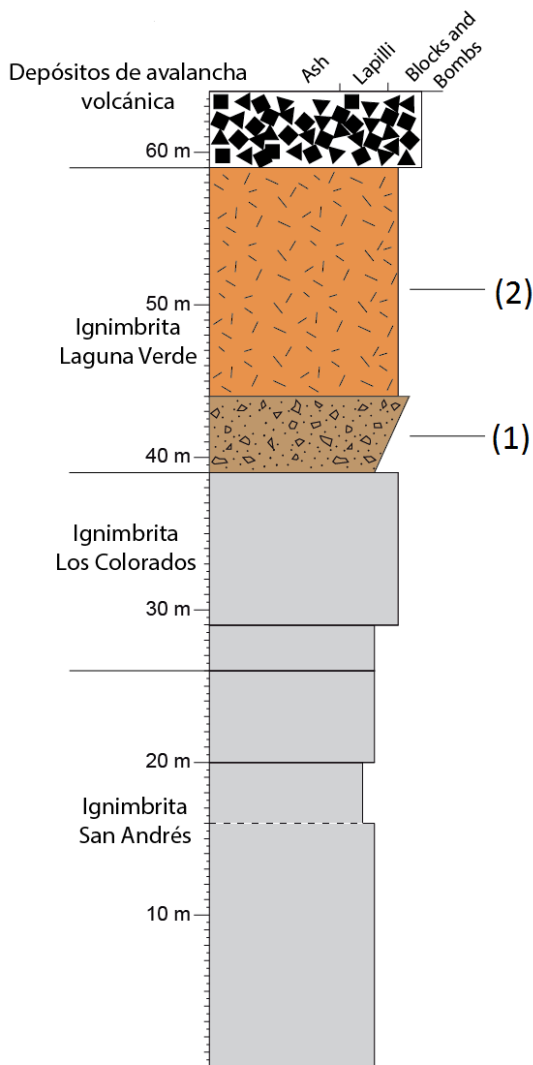
(2) 20 m de toba cristalina masiva de lapilli gris a blanca, con 15% de cristales de Qtz embahiado < 3 mm, Pl < 4 mm, Bt < 1 mm y posible Am escasa < 0,1 mm, pómez moradas < 2 cm, algunas muy vesiculares y con cristales de Qtz, Bt y Pl, líticos < 1 cm, matriz gris con esquirlas finas y fragmentos cristalinos no muy abundantes. Presenta fracturamiento columnar poco regular, formando columnas de ancho y número de lados variados. Al microscopio se ve de aspecto sucio.

(3) hasta 50 m de toba cristalina soldada de lapilli morada a gris oscuro, con 25% cristales de Qtz embahiado < 3 mm, Pl < 2mm y Bt < 1 mm, pómez aplastadas < 3 cm, algunas esferulíticas, y líticos principalmente micro-porfíricos < 1 cm, matriz gris, morada en las zonas más soldadas, rica en esquirlas aplastadas de tamaño medio, levemente desvitrificada y con fragmentos cristalinos. Fracturamiento columnar irregular y escaso. Suele formar

superficies extensas con montículos métricos.

(4) 15 m toba cristalina soldada de lapilli gris con una pátina anaranjada por intemperización, 20% cristales de Qtz embahiado < 4 mm, Pl < 2,7 mm, Bt y menor Opx, líticos micro-porfíricos < 5 mm, pómez grises y amarillentas (a fiammes) < 2 cm, algunas desvitrificadas y con cristales de Pl, Qtz y Bt, en matriz de ceniza gris a blanca, levemente desvitrificada, con esquirlas finas a medias levemente aplastadas y fragmentos cristalinos. Parcialmente cubierta por depósitos volcánicos posteriores.

#### 7.1.2.41 LOCALIDAD F LAGUNA VERDE: S-E VOLCÁN TRIDENTE



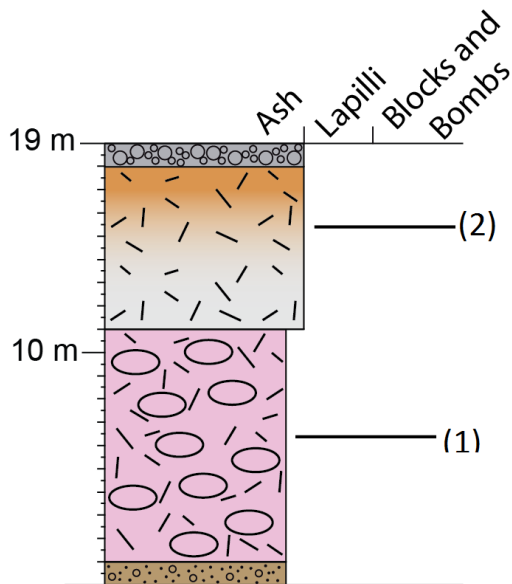
(1) ~4 m de brecha lítica masiva no consolidada, con clastos rojizos sub-angulosos a sub-redondeados < 10 cm (hasta 20 cm). Bajo la superficie abunda una matriz no consolidada de ceniza fina parda pálida, levemente rosácea.

(2) 15 m de toba cristalina masiva de lapilli con pátina por intemperización de rosada a amarillenta, 10-20% de cristales de Qtz embahiado < 5 mm, Pl < 3 mm, Bt cobriza < 1 mm, menor Am < 0,5 mm, escasos Opx y Cpx < 0,1 mm, pómez fibrosas grises < 15 cm, amarillentas granulares < 2 cm, pardas < 25 cm, blancas < 30 cm y verdosas < 2 cm (pómez con cristales de Pl, Qtz, Bt, Am y posibles Pxs; localmente fiammes moradas alargadas de hasta 30 cm desvitrificadas, con textura esferulítica), líticos < 2 cm (clastos porfíricos hasta 15 cm), matriz de ceniza blanca a gris, deleznable a medianamente

soldada, con esquirlas finas no muy abundantes, aplastadas en las muestras más soldadas y levemente desvitrificadas.

Parcialmente cubierta por depósitos aluviales, lacustres-salinos o por avalanchas volcánicas con clastos hasta tamaño bloque de lava porfírica con Pl, Opx, Cpx y posible Am en masa fundamental microcristalina traquítica rica en microlitos de Pl y amígdalas rellenas con precipitados de sales.

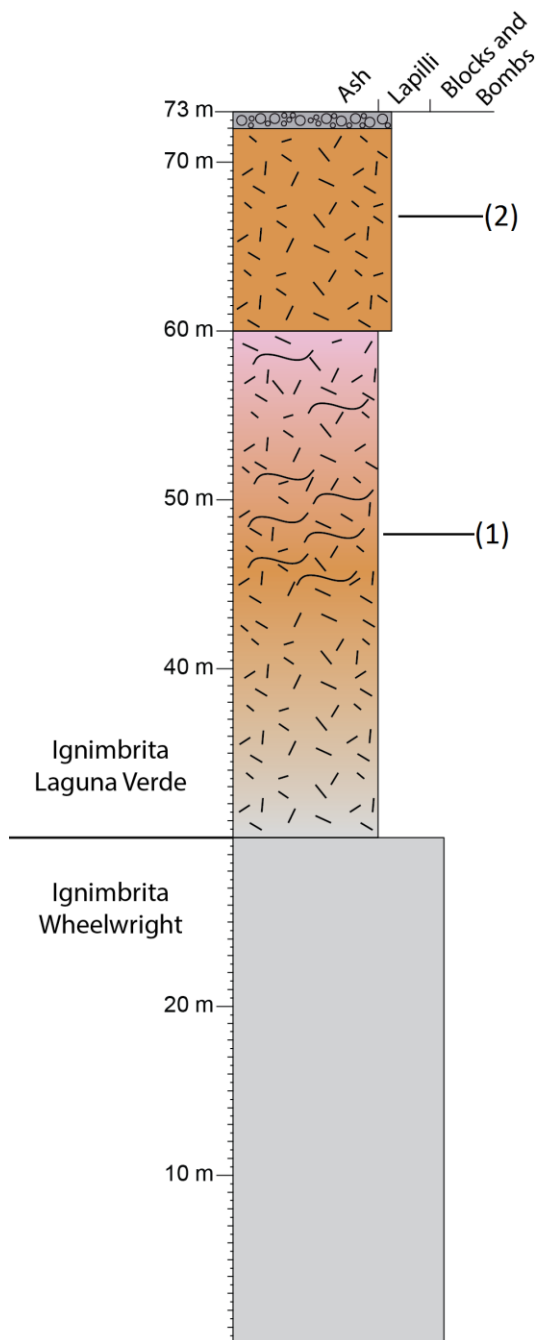
#### 7.1.2.42 LOCALIDAD G LAGUNA VERDE: CORRALES DE JUNCALITO



(1) 10 m de toba vítrea masiva de lapilli, rosada, con pómez blancas fibrosas < 1 cm (con cristales de Qtz, Pl y Bt), contiene 15% de cristales de Pl, Qtz embahiado < 3 mm, Bt, Am y escaso Opx, líticos milimétricos, mayormente rojizos arcillosos y micro-porfíricos, con Pl y Opx en masa fundamental vítrea. Matriz deleznable de ceniza rosada, rica en esquirlas gruesas bien preservadas.

(2) 7 m de toba cristalina masiva de lapilli de color gris pálido a blanco, con una pátina anaranjada por intemperización, contiene cristales milimétricos de Qtz, Pl y Bt, pómez grises fibrosas < 2 cm, rosadas-parduzcas granulares < 1 cm y escasos líticos milimétricos, excepcionalmente < 3 cm, inmersos en una matriz blanca de ceniza fina. Se encuentra parcialmente cubierta por depósitos aluviales.

### 7.1.2.43 LOCALIDAD H LAGUNA VERDE: RÍO JUNCALITO



(1) 30 a 35 m de toba cristalina masiva de lapilli que grada de gris claro (10-12 m) a anaranjada soldada (10-15 m) a rosada menos soldada (8-10 m). Contiene abundantes cristales (25%) de Pl, Bt, Am y escasos Pxs, líticos < 1 cm y pómez vesiculares blancas y amarillentas < 1 cm. Matriz de ceniza, rica en esquirlas finas, con abundantes fragmentos cristalinos.

(2) 12 m de una toba cristalina masiva de lapilli blanca, con una pátina anaranjada por intemperización, cristales (8-10%) de Pl y Qtz embahiado, ambos < 3 mm, Bt, Am y Cpx, con líticos < 1 cm (hasta 3 cm), pómez grises y amarillentas < 2 cm, fibrosas y granulares. Matriz de ceniza fina de color gris pálido a blanco, con esquirlas finas y vesículas milimétricas con bordes desvitrificados. Parcialmente cubierta por depósitos aluviales y volcánicos posteriores.

## 7.2 ANEXO C: TABLA DE EDADES Y REFERENCIAS

Tabla 7.1: Dataciones radiométricas y referencias de las diferentes unidades de ignimbrita y lavas estudiadas.

Unidad	Correlativo columnas	Edad (Ma)	Método y material	Referencia
RF-1	1 (Fig. 4.2)	17,5 ± 0,2	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-2	2 (Fig. 4.2)	17,2 ± 0,8	K/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-2	3 (Fig. 4.2)	17,1 ± 0,2	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-2	4 (Fig. 4.2)	16 ± 0,8	K/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-2	5 (Fig. 4.2)	17,2 ± 0,3	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-2	6 (Fig. 4.2)	18,2 ± 0,5	K/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-2	7 (Fig. 4.2)	16,6 ± 0,2		Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-2	8 (Fig. 4.2)	17,9 ± 0,2	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2013b)
RF-1	9 (Fig. 4.2)	18,8 ± 0,2	Ar/Ar Whole rock	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-1	10 (Fig. 4.2)	20,5 ± 0,3	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
RF-1	11 (Fig. 4.2)	17,6 ± 0,2	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
VH-1	1 (Fig. 4.8)	18,7 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
VH-2	2 (Fig. 4.8)	18,0 ± 0,2	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
VH-2	3 (Fig. 4.8)	18,2 ± 0,1	Ar/Ar Matrix	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
PAJ (a)	1 (Fig. 4.14)	15,6 ± 1,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013b)
PAJ (c)	2 (Fig. 4.14)	16,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013b)
PAJ (a)	3 (Fig. 4.14)	16,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
PAJ (b)	4 (Fig. 4.14)	16,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
PAJ (c)	5 (Fig. 4.14)	16,5 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
PAJ (c)	6 (Fig. 4.14)	16,4 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
PAJ (a)	7 (Fig. 4.14)	17,4 ± 1,0	K-Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
PAJ (c)	8 (Fig. 4.14)	17,6 ± 0,9	K-Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
PAJ (c)	9 (Fig. 4.14)	16,7 ± 0,8	K-Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
Junc(a)	1 (Fig. 4.18)	16,7 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
Junc(b)	2 (Fig. 4.18)	16,0 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)

Unidad	Correlativo columnas	Edad (Ma)	Método y material	Referencia
Junc(a)	3 (Fig. 4.18)	16,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-0	1 (Fig. 4.22)	11,3 ± 0,7	K-Ar Biotite	Naranjo and Cornejo (1992)
SG-5	2 (Fig. 4.22)	11,5 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-6	3 (Fig. 4.22)	11,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
Lava	4 (Fig. 4.22)	9,3 ± 0,4	K-Ar Biotite	Clavero <i>et al.</i> (1998)
Chato Aislado	5 (Fig. 4.22)	1,2 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-2	6 (Fig. 4.22)	13,0 ± 0,1	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-2	7 (Fig. 4.22)	12,9 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-2	8 (Fig. 4.22)	12,1 ± 0,2	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-3	9 (Fig. 4.22)	12,9 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-4	10 (Fig. 4.22)	12,0 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-1	11 (Fig. 4.22)	11,8 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-1	12 (Fig. 4.22)	11,9 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-8	13 (Fig. 4.22)	12,1 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SG-8	14 (Fig. 4.22)	11,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
Lava	15 (Fig. 4.22)	8,4 ± 0,5	K-Ar Whole rock	Clavero <i>et al.</i> (1998)
SA-1	1 (Fig. 4.33)	9,3 ± 0,2	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-1	2 (Fig. 4.33)	9,5 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-2	3 (Fig. 4.33)	9,9 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-2	4 (Fig. 4.33)	9,9 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-2	5 (Fig. 4.33)	9,3 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-1	6 (Fig. 4.33)	9,3 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-1	7 (Fig. 4.33)	9,4 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-2	8 (Fig. 4.33)	9,4 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
SA-2	9 (Fig. 4.33)	9,5 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	1 (Fig. 4.38)	9,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2018b), en edición

Unidad	Correlativo columnas	Edad (Ma)	Método y material	Referencia
COL-1	2 (Fig. 4.38)	9,4 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2018b), en edición
COL-1	3 (Fig. 4.38)	9,9 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2018b), en edición
COL-2	4 (Fig. 4.38)	9,8 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2018b), en edición
COL-2	5 (Fig. 4.38)	9,4 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2018b), en edición
Lava	6 (Fig. 4.38)	8,2 ± 0,1	Ar/Ar Groundmass	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
Lava	7 (Fig. 4.38)	8,6 ± 0,1	Ar/Ar Groundmass	Naranjo <i>et al.</i> (2013a)
COL-0	8 (Fig. 4.38)	9,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	9 (Fig. 4.38)	8,6 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	10 (Fig. 4.38)	8,7 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	11 (Fig. 4.38)	8,3 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-2	12 (Fig. 4.38)	8,7 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-2	13 (Fig. 4.38)	9,0 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-0	14 (Fig. 4.38)	9,1 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	15 (Fig. 4.38)	8,7 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	16 (Fig. 4.38)	8,1 ± 0,1	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	17 (Fig. 4.38)	8,5 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
COL-1	18 (Fig. 4.38)	8,7 ± 0,2	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-1	1 (Fig. 4.50)	4,2 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-1	2 (Fig. 4.50)	3,5 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-1	3 (Fig. 4.50)	3,9 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-1	4 (Fig. 4.50)	3,5 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	5 (Fig. 4.50)	3,8 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-1	6 (Fig. 4.50)	3,8 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	7 (Fig. 3.103)	3,8 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	8 (Fig. 3.103)	4,1 ± 0,8	K-Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)



Unidad	Correlativo columnas	Edad (Ma)	Método y material	Referencia
LV-2	9 (Fig. 4.50)	4,3 ± 0,8	K-Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	10 (Fig. 4.50)	3,2 ± 0,4	K-Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	11 (Fig. 4.50)	3,8 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	12 (Fig. 4.50)	3,9 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-1	13 (Fig. 4.50)	4,2 ± 0,4	Ar/Ar Hornblende	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	14 (Fig. 4.50)	3,8 ± 0,1	Ar/Ar Biotite	Naranjo <i>et al.</i> (2016)
LV-2	15 (Fig. 4.50)	3,6 ± 0,1	U-Pb zircon	Naranjo <i>et al.</i> (2016)

### 7.3 ANEXO B: TABLA DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Tabla 7.2: Tabla de análisis geoquímicos. Cada fila representa un cristal y no necesariamente corresponde a un único análisis puntual, sino que podría tratarse del promedio de varios análisis. Los nombres de las muestras no se correlacionan con los nombres asignados a las diferentes litofacies.

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
ANT1-1	37,31	3,55	14,46	14,89	0,14	14,49	0,15	0,53	7,42	0,00	0,11	1,16	3,99
ANT1-2	38,09	3,67	14,42	14,96	0,11	14,62	0,15	0,56	7,38	0,00	0,08	1,38	4,06
ANT1-3	36,87	3,21	13,61	15,27	0,14	14,47	0,15	0,52	7,67	0,00	0,11	1,03	3,92
ANT1-4	37,58	3,62	14,52	14,76	0,13	14,62	0,13	0,62	7,63	0,00	0,11	1,23	4,02
ANT1-5	43,25	3,09	13,04	13,78	0,11	12,31	0,06	0,41	6,45	0,00	0,01	2,86	4,21
ANT1-6	38,19	3,29	14,29	14,90	0,16	14,07	0,17	0,48	7,22	0,00	0,10	1,41	4,02
ANT1-7	37,79	3,85	13,83	14,61	0,13	13,53	0,29	0,40	7,13	0,00	0,10	1,29	3,96
ANT1-8	38,59	3,54	14,20	14,74	0,13	14,45	0,19	0,44	7,47	0,00	0,11	1,52	4,06
ANT1-9	37,99	3,56	14,41	14,61	0,15	14,89	0,12	0,64	7,75	0,00	0,15	1,35	4,04
ANT1-10	37,80	3,50	14,64	14,94	0,14	14,92	0,12	0,54	7,73	0,00	0,12	1,30	4,05
ANT1-11	39,19	3,61	13,57	14,22	0,11	13,60	0,25	0,46	6,93	0,00	0,16	1,70	4,01
ANT1-12	37,61	3,51	14,23	14,83	0,12	13,98	0,26	0,48	7,24	0,00	0,14	1,24	3,97
ANT1-13	40,09	3,38	13,83	13,90	0,10	13,96	0,23	0,45	6,95	0,00	0,14	1,96	4,09
ANT1-14	40,23	3,22	14,07	13,10	0,10	12,95	0,41	0,49	6,72	0,00	0,13	1,99	4,05
ANT1-15	38,32	3,38	13,91	15,02	0,12	14,12	0,16	0,43	7,12	0,00	0,12	1,45	4,01
ANT1-16	37,10	3,72	14,11	15,04	0,15	15,17	0,01	0,90	8,58	0,00	0,10	1,10	4,02
ANT1-17	37,92	3,39	13,85	14,64	0,11	14,15	0,26	0,38	7,36	0,00	0,06	1,33	3,99
ANT2-1	38,66	3,13	15,27	13,78	0,25	16,77	0,06	0,63	8,07	0,00	0,11	1,54	4,19
RF1-1	37,67	4,84	13,92	14,03	0,18	15,88	0,02	0,65	8,34	0,37	0,11	1,26	3,92
RF1-2	38,47	4,86	14,14	13,41	0,16	16,21	0,00	0,68	8,34	0,00	0,10	1,49	4,16
RF1-3	37,39	4,74	13,81	12,90	0,15	16,13	0,01	0,69	8,09	0,00	0,13	1,18	4,04
RF1-4	38,60	4,83	14,12	13,12	0,17	16,45	0,00	0,63	8,22	0,00	0,12	1,53	4,17
RF1-5	38,59	4,82	13,81	12,91	0,18	16,17	0,01	0,63	8,39	0,00	0,14	1,52	4,13
RF1-6	36,00	4,67	13,40	18,44	0,18	13,38	0,21	0,55	7,93	0,97	0,11	0,78	3,48
RF1-7	37,95	4,82	13,72	13,28	0,13	15,77	0,01	0,64	8,19	0,00	0,13	1,34	4,07
RF1-8	38,06	4,59	13,54	13,76	0,16	16,56	0,00	0,72	8,27	0,88	0,13	1,37	3,69
RF1-9	37,33	4,54	13,80	15,71	0,23	15,12	0,00	0,64	8,21	0,47	0,12	1,16	3,84
RF1-10	38,26	4,76	13,86	13,07	0,16	16,25	0,01	0,69	8,48	0,00	0,11	1,43	4,13
RF1-11	38,40	4,84	13,84	13,14	0,18	16,35	0,02	0,73	8,48	0,00	0,13	1,47	4,14
RF1-12	38,73	4,61	14,06	13,26	0,16	16,60	0,02	0,73	8,49	0,00	0,11	1,56	4,18
RF1-13	38,30	4,54	14,20	13,01	0,17	16,41	0,00	0,62	8,52	0,00	0,11	1,44	4,14
RF1-14	37,13	4,76	13,78	14,75	0,19	15,86	0,04	0,45	8,27	1,48	0,10	1,10	3,36
RF1-15	38,80	4,74	14,20	13,18	0,17	16,27	0,00	0,70	8,46	0,00	0,12	1,58	4,18
RF1-16	36,48	4,46	13,27	17,68	0,31	14,63	0,09	0,43	7,92	1,34	0,12	0,92	3,35
RF1-17	35,69	4,26	12,76	20,26	0,21	14,76	0,02	0,45	7,60	1,63	0,13	0,69	3,18
RF1-18	38,93	4,82	14,13	11,33	0,18	16,12	0,02	0,50	8,57	3,38	0,13	1,62	2,53
RF1-19	38,30	4,64	13,99	13,12	0,15	16,19	0,08	0,64	8,46	0,00	0,13	1,44	4,12

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
RF2-1	37,85	5,48	13,59	12,96	0,09	15,35	0,06	0,63	8,34	0,00	0,09	1,31	4,08
RF2-2	38,08	5,18	13,87	14,15	0,18	16,07	0,00	0,63	8,79	0,00	0,11	1,38	4,15
RF2-3	37,80	5,18	13,41	13,26	0,17	15,82	0,04	0,59	8,75	0,00	0,10	1,30	4,08
RF2-4	38,69	5,19	14,21	13,10	0,21	15,70	0,03	0,70	8,70	0,00	0,15	1,55	4,17
RF2-5	36,45	5,29	13,64	18,85	0,12	13,33	0,02	0,08	8,97	1,74	0,13	0,91	3,19
RF2-6	37,71	5,10	13,61	13,32	0,18	15,79	0,02	0,64	8,42	0,00	0,15	1,27	4,07
RF2-7	38,01	5,35	14,35	13,50	0,11	16,12	0,01	0,58	8,96	1,14	0,11	1,36	3,63
RF2-8	37,79	5,10	13,55	13,08	0,15	15,94	0,01	0,60	8,73	0,00	0,11	1,29	4,08
RF2-9	38,14	5,21	14,14	13,28	0,18	15,96	0,01	0,58	7,99	0,00	0,15	1,39	4,12
RF2-10	36,49	5,07	13,66	16,90	0,13	14,19	0,00	0,37	8,36	2,04	0,14	0,92	3,02
RF2-11	34,71	5,02	12,99	20,38	0,29	14,38	0,04	0,45	7,60	0,00	0,11	0,41	3,92
RF2-12	37,49	5,15	13,53	12,98	0,19	15,80	0,01	0,54	8,72	0,00	0,15	1,21	4,04
RF2-13	35,16	5,00	13,11	16,30	0,13	15,68	0,07	0,30	8,20	3,43	0,13	0,54	2,29
RF2-14	34,57	4,56	13,00	15,46	0,08	14,79	0,03	0,53	8,37	3,10	0,12	0,37	2,33
RF2-15	35,42	4,99	13,17	17,98	0,11	14,88	0,03	0,26	8,20	2,65	0,15	0,61	2,68
RF3-1	37,08	4,81	13,51	14,34	0,21	15,76	0,00	0,64	8,43	0,00	0,12	1,09	4,03
RF3-2	35,87	4,54	12,64	19,12	0,28	13,90	0,01	0,42	8,11	1,08	0,13	0,74	3,40
RF3-3	37,39	4,62	13,51	13,92	0,19	15,40	0,02	0,70	8,26	0,41	0,11	1,18	3,83
RF3-4	36,72	4,50	13,28	15,62	0,25	15,24	0,04	0,62	8,18	0,98	0,10	0,99	3,53
RF3-5	32,51	4,53	12,42	20,52	0,90	13,69	0,05	0,42	7,33	1,49	0,15	0,00	3,00
RF3-6	37,94	4,78	13,80	13,23	0,16	16,28	0,00	0,73	8,41	0,00	0,11	1,34	4,11
RF3-7	38,12	4,53	13,77	12,93	0,19	15,93	0,00	0,66	8,52	0,00	0,14	1,39	4,08
RF3-8	38,32	4,78	13,99	12,99	0,17	15,55	0,00	0,71	8,55	0,37	0,13	1,45	3,93
RF3-9	37,01	4,69	13,47	15,83	0,20	14,92	0,04	0,79	8,15	0,20	0,10	1,07	3,93
RF3-10	36,11	4,51	13,22	17,64	0,21	14,21	0,00	0,61	8,07	0,89	0,10	0,81	3,53
RF3-11	36,87	4,59	13,75	14,34	0,18	15,71	0,08	0,57	8,43	1,53	0,13	1,03	3,29
RF3-12	37,91	4,78	13,85	13,12	0,15	16,03	0,00	0,70	8,52	0,00	0,13	1,33	4,09
RF3-13	36,78	4,60	13,81	13,16	0,20	16,11	0,01	0,70	8,43	0,00	0,11	1,00	4,01
RF3-14	38,33	4,65	13,99	13,19	0,19	16,29	0,03	0,64	8,38	0,00	0,14	1,45	4,13
RF3-15	35,62	4,58	12,96	15,21	0,18	14,59	0,00	0,50	8,04	0,93	0,12	0,67	3,42
RF3-16	37,71	4,70	13,90	12,99	0,17	15,43	0,03	0,68	8,35	0,00	0,13	1,27	4,05
RF3-17	38,11	4,69	13,94	13,50	0,19	15,54	0,01	0,70	8,29	0,00	0,14	1,39	4,09
VH-1	33,15	3,87	13,54	21,31	0,99	14,45	0,00	0,63	7,64	4,14	0,08	0,00	1,88
VH-2	31,23	3,53	12,87	26,48	1,18	12,98	0,10	0,59	6,67	3,64	0,07	0,00	2,02
VH-3	34,14	3,71	13,85	21,31	0,87	13,39	0,02	0,65	8,06	4,02	0,08	0,27	1,98
VH-4	33,07	3,85	13,38	20,43	1,02	14,31	0,00	0,52	8,02	4,28	0,08	0,00	1,78
VH-5	33,22	3,22	14,26	17,61	2,73	13,38	0,04	0,40	8,20	4,89	0,12	0,11	1,45
VH-6	35,37	3,53	14,28	16,40	0,94	14,83	0,00	0,63	8,38	4,84	0,13	0,60	1,62
VH-7	31,12	3,58	12,77	25,55	1,03	13,24	0,00	0,49	7,44	3,76	0,08	0,00	1,94
VH-8	33,13	3,80	13,37	19,62	0,90	15,06	0,00	0,55	8,13	4,34	0,07	0,00	1,77

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
VH-9	32,10	3,58	13,44	22,78	1,10	14,07	0,00	0,56	7,85	3,99	0,08	0,00	1,90
VH-10	34,00	4,08	13,90	18,60	1,12	14,44	0,01	0,64	8,10	4,36	0,06	0,21	1,81
VH-11	33,75	3,86	13,76	19,75	1,07	14,61	0,00	0,54	8,14	4,22	0,09	0,13	1,87
VH-12	36,42	3,44	14,69	14,23	0,95	16,28	0,02	0,56	8,89	5,10	0,08	0,90	1,62
VH-13	33,69	3,66	13,71	19,63	0,87	14,71	0,00	0,65	7,78	4,36	0,09	0,12	1,78
VH-14	34,87	3,75	13,66	17,90	0,85	15,12	0,00	0,67	8,66	4,68	0,10	0,46	1,71
VH-15	34,10	3,72	13,96	20,05	1,06	14,11	0,01	0,64	8,19	4,32	0,09	0,23	1,84
VH-16	34,56	3,70	14,51	16,93	0,86	14,93	0,00	0,68	8,49	4,61	0,10	0,37	1,72
VH-17	35,84	3,53	14,71	14,20	0,61	15,23	0,02	0,61	8,19	4,63	0,09	0,74	1,74
VH-18	32,74	3,99	13,45	21,64	1,07	12,74	0,00	0,60	7,96	4,05	0,07	0,00	1,85
VH-19	36,18	3,94	14,32	14,97	0,89	15,89	0,02	0,72	8,89	4,91	0,11	0,83	1,69
PAJ1-1	38,43	5,29	13,16	10,30	0,04	16,52	0,06	0,76	8,20	0,52	0,18	1,48	3,81
PAJ1-2	37,73	4,17	14,31	12,01	0,08	14,95	0,17	0,76	7,71	0,00	0,09	1,28	4,01
PAJ1-3	37,82	4,97	13,43	10,77	0,10	17,19	0,07	0,58	8,79	0,90	0,17	1,30	3,63
PAJ1-4	37,65	3,78	14,04	13,57	0,28	15,25	0,00	0,70	8,43	0,00	0,12	1,25	4,02
PAJ1-5	38,19	4,79	13,17	12,21	0,08	15,68	0,02	0,59	8,52	0,01	0,25	1,41	4,00
PAJ1-6	37,43	4,18	13,32	13,29	0,19	14,37	0,08	0,77	7,90	0,00	0,20	1,19	3,92
PAJ1-7	40,52	4,76	11,62	12,29	0,07	13,87	0,18	0,31	7,03	0,00	0,19	2,08	4,01
PAJ1-8	37,84	4,94	13,57	10,24	0,09	16,72	0,05	0,59	8,45	0,90	0,16	1,31	3,60
PAJ1-9	38,72	4,95	12,83	13,68	0,12	14,79	0,07	0,39	8,50	0,00	0,18	1,56	4,05
PAJ1-10	36,97	3,85	12,69	16,25	0,17	13,56	0,04	0,48	8,37	0,00	0,29	1,06	3,85
PAJ1-11	35,81	5,19	13,28	13,78	0,20	15,55	0,06	0,75	8,27	0,06	0,14	0,72	3,90
PAJ1-12	38,14	4,96	13,12	11,15	0,11	17,36	0,06	0,58	8,72	0,78	0,18	1,39	3,71
PAJ1-13	40,20	5,07	11,74	11,77	0,08	14,36	0,16	0,35	7,34	0,00	0,20	1,99	4,02
PAJ2-1	42,39	3,37	11,58	11,55	0,18	13,79	0,24	0,12	6,56	0,00	0,09	2,61	4,08
PAJ2-2	41,13	3,57	12,14	11,76	0,16	13,70	0,19	0,14	7,01	0,00	0,07	2,25	4,04
PAJ2-3	41,90	3,46	11,31	11,87	0,18	13,23	0,46	0,08	6,75	0,00	0,09	2,47	4,03
PAJ2-4	40,93	3,38	12,18	12,74	0,21	13,61	0,43	0,26	6,63	0,00	0,09	2,20	4,04
PAJ2-5	39,96	3,79	12,88	12,17	0,19	14,20	0,11	0,40	7,45	0,00	0,12	1,92	4,03
PAJ2-6	43,29	3,11	11,58	11,33	0,15	12,99	0,44	0,08	5,98	0,00	0,09	2,87	4,09
PAJ2-7	42,93	3,38	10,90	12,29	0,15	12,50	0,53	0,12	5,89	0,00	0,09	2,77	4,05
PAJ2-8	37,08	3,90	13,62	12,32	0,28	14,36	0,02	0,52	8,22	0,00	0,11	1,09	3,90
PAJ2-9	42,19	3,52	11,34	11,97	0,16	13,20	0,30	0,12	6,63	0,00	0,08	2,56	4,05
PAJ2-10	39,97	3,64	12,56	12,35	0,19	13,56	0,19	0,40	7,37	0,00	0,09	1,92	4,00
PAJ3-1	39,26	4,03	13,21	14,22	0,23	14,79	0,17	0,40	7,58	0,00	0,08	1,72	4,09
PAJ3-2	39,56	2,85	13,90	13,20	0,24	13,98	0,08	0,50	7,07	0,00	0,12	1,80	4,03
PAJ3-3	36,69	3,88	13,74	13,17	0,27	15,15	0,01	0,60	7,87	0,00	0,10	0,98	3,92
PAJ3-4	37,51	4,15	12,71	13,80	0,30	15,46	0,00	0,57	8,44	0,00	0,12	1,21	3,97
PAJ3-5	38,26	4,18	14,12	13,38	0,30	15,82	0,00	0,59	8,27	0,00	0,11	1,43	4,10
PAJ3-6	37,69	3,90	13,83	14,12	0,30	15,39	0,00	0,62	8,55	0,00	0,11	1,27	4,04

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
PAJ3-7	37,42	3,98	14,18	13,72	0,33	15,32	0,00	0,57	8,43	0,00	0,11	1,19	4,03
PAJ3-8	38,91	3,83	12,76	13,43	0,20	13,50	0,14	0,36	7,21	0,00	0,08	1,61	3,96
PAJ3-9	39,11	3,72	12,48	13,04	0,18	13,77	0,18	0,45	7,34	0,00	0,09	1,67	3,96
PAJ3-10	37,61	4,02	14,15	13,15	0,27	15,99	0,00	0,66	8,37	0,00	0,11	1,24	4,05
PAJ3-11	37,73	4,04	14,32	14,00	0,28	15,41	0,00	0,72	8,53	0,00	0,11	1,28	4,07
PAJ3-12	37,76	3,91	13,85	13,42	0,26	15,20	0,02	0,67	8,48	0,00	0,10	1,29	4,03
PAJ3-13	38,34	3,89	14,37	14,29	0,29	15,29	0,00	0,61	8,52	0,00	0,09	1,45	4,12
PAJ3-14	38,64	3,98	14,02	12,67	0,24	15,24	0,01	0,51	8,52	0,00	0,10	1,54	4,08
PAJ3-15	37,60	3,95	13,73	14,46	0,26	14,70	0,02	0,53	7,99	0,00	0,12	1,24	4,00
PAJ3-16	38,53	3,81	13,67	13,30	0,25	15,47	0,01	0,48	8,21	0,00	0,10	1,50	4,07
PAJ3-17	37,62	3,99	14,09	13,71	0,31	15,38	0,00	0,55	8,51	0,00	0,10	1,25	4,04
PAJ3-18	36,64	3,77	13,90	13,91	0,25	15,06	0,03	0,49	8,31	0,00	0,12	0,96	3,94
PAJ3-19	36,71	3,94	13,93	13,69	0,31	14,31	0,04	0,60	8,32	0,00	0,06	0,98	3,94
PAJ4-1	37,56	4,36	13,99	13,99	0,30	15,59	0,00	0,67	8,57	0,00	0,09	1,23	4,07
PAJ4-2	37,16	4,64	14,22	14,25	0,31	15,44	0,01	0,58	8,54	0,00	0,10	1,11	4,06
PAJ4-3	37,71	4,50	13,96	13,70	0,30	15,82	0,00	0,64	8,61	0,00	0,12	1,27	4,08
PAJ4-4	37,50	4,50	14,12	13,78	0,27	15,56	0,01	0,60	8,31	0,00	0,10	1,21	4,06
PAJ4-5	37,22	4,52	13,92	13,54	0,30	15,69	0,00	0,71	8,31	0,00	0,11	1,13	4,04
PAJ4-6	37,94	4,67	13,86	13,66	0,28	15,80	0,00	0,67	8,43	0,00	0,14	1,34	4,09
PAJ4-7	37,32	4,51	13,96	13,95	0,31	15,77	0,02	0,57	8,55	0,00	0,13	1,16	4,05
PAJ4-8	36,61	4,62	13,81	14,00	0,31	15,08	0,02	0,70	8,46	0,00	0,11	0,96	3,98
PAJ4-9	37,16	4,22	13,68	13,88	0,29	15,02	0,00	0,62	8,55	0,00	0,08	1,11	4,00
PAJ4-10	37,26	4,61	13,68	13,04	0,31	15,39	0,00	0,64	8,59	0,00	0,12	1,14	4,01
PAJ4-11	37,06	4,54	13,99	13,99	0,30	15,17	0,04	0,64	8,54	0,00	0,12	1,08	4,02
PAJ4-12	37,52	4,24	14,12	14,04	0,30	15,55	0,00	0,65	8,29	0,00	0,07	1,22	4,07
PAJ4-13	37,67	4,69	14,13	14,27	0,28	15,34	0,00	0,68	8,50	0,00	0,13	1,26	4,08
PAJ4-14	37,88	4,52	14,15	13,21	0,28	15,80	0,02	0,62	8,49	0,00	0,12	1,32	4,09
PAJ4-15	37,72	4,60	13,68	14,20	0,30	15,48	0,03	0,56	8,48	0,00	0,16	1,27	4,06
PAJ4-16	37,64	4,53	13,89	13,98	0,32	15,34	0,02	0,60	8,51	0,00	0,13	1,25	4,06
PAJ4-17	37,75	4,58	14,00	14,27	0,31	15,72	0,00	0,63	8,63	0,00	0,12	1,28	4,10
PAJ4-18	37,39	4,71	14,12	14,07	0,28	15,66	0,00	0,57	8,64	0,00	0,08	1,18	4,08
PAJ4-19	37,76	4,65	14,00	13,85	0,31	15,57	0,03	0,61	8,05	0,00	0,12	1,29	4,08
PAJ4-20	37,08	4,05	12,54	13,99	0,41	13,07	2,77	1,18	7,77	0,00	0,28	1,09	3,89
JUNC1-1	36,22	4,47	13,23	14,01	0,27	14,34	0,35	0,49	7,26	0,00	0,11	0,84	3,87
JUNC1-2	37,63	4,68	13,06	13,46	0,25	15,42	0,32	0,51	7,48	0,00	0,16	1,25	3,99
JUNC1-3	36,64	4,33	13,68	13,89	0,28	15,08	0,35	0,54	7,26	0,00	0,09	0,96	3,95
JUNC1-4	36,64	4,44	13,55	14,28	0,27	14,23	0,29	0,45	7,20	0,00	0,07	0,96	3,92
JUNC1-5	37,06	4,56	13,43	13,32	0,25	14,93	0,30	0,44	7,37	0,00	0,13	1,08	3,95
JUNC1-6	36,53	4,55	13,29	13,99	0,29	14,76	0,34	0,42	6,92	0,00	0,10	0,93	3,91
JUNC1-7	37,79	4,49	13,27	14,13	0,26	14,61	0,29	0,43	7,30	0,00	0,09	1,29	4,00

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
JUNC1-8	37,17	4,35	13,43	13,77	0,25	15,19	0,30	0,55	7,47	0,00	0,08	1,11	3,98
JUNC1-9	36,93	4,55	13,34	14,10	0,25	14,68	0,40	0,46	7,32	0,00	0,09	1,05	3,95
JUNC1-10	37,63	4,22	13,83	14,08	0,26	15,51	0,23	0,56	7,76	0,00	0,09	1,25	4,05
JUNC1-11	37,60	4,49	12,55	13,14	0,27	15,09	0,31	0,52	7,83	0,00	0,13	1,24	3,95
JUNC1-12	36,88	4,41	13,50	14,31	0,27	14,98	0,27	0,55	7,70	0,00	0,12	1,03	3,97
JUNC1-13	36,37	4,55	13,29	14,23	0,29	14,77	0,44	0,54	7,28	0,00	0,10	0,89	3,92
JUNC1-14	38,13	4,37	14,09	13,03	0,26	15,89	0,52	0,61	6,99	0,00	0,09	1,39	4,09
JUNC1-15	38,26	4,22	13,22	13,70	0,24	14,69	0,49	0,60	7,59	0,00	0,12	1,43	4,02
JUNC1-16	36,93	4,45	13,16	14,14	0,29	14,59	0,35	0,44	7,25	0,00	0,12	1,05	3,93
JUNC1-17	37,18	4,41	13,40	14,74	0,26	14,38	0,33	0,45	7,22	0,00	0,12	1,12	3,96
JUNC1-18	38,31	4,34	12,94	13,69	0,25	14,44	0,29	0,47	6,76	0,00	0,11	1,44	3,98
JUNC2-1	38,40	4,53	13,68	14,12	0,30	15,36	0,00	0,72	8,74	0,00	0,11	1,47	4,11
JUNC2-2	36,82	4,49	13,28	14,42	0,56	15,60	0,05	0,55	8,32	1,67	0,11	1,01	3,20
JUNC2-3	37,58	4,63	13,73	13,36	0,32	15,50	0,05	0,67	8,76	0,00	0,12	1,23	4,05
JUNC2-4	37,34	4,59	13,87	14,33	0,29	15,45	0,03	0,74	8,70	0,00	0,12	1,16	4,06
JUNC2-5	37,51	4,55	13,86	14,42	0,31	16,00	0,01	0,74	8,49	0,00	0,12	1,21	4,09
JUNC2-6	37,07	4,62	13,84	14,63	0,35	15,30	0,00	0,71	8,55	0,24	0,09	1,09	3,93
JUNC2-7	37,00	4,52	13,53	11,87	0,57	17,78	0,00	0,76	8,30	2,68	0,11	1,07	2,78
JUNC2-8	37,89	4,58	14,09	15,05	0,29	15,29	0,01	0,74	8,66	0,00	0,13	1,32	4,11
JUNC2-9	37,19	4,60	13,47	15,73	0,33	15,23	0,01	0,68	8,48	1,66	0,09	1,12	3,27
JUNC2-10	37,56	4,65	13,98	15,09	0,32	14,71	0,00	0,73	8,56	0,00	0,10	1,23	4,07
JUNC2-11	36,73	4,69	13,63	14,10	0,30	15,18	0,05	0,70	8,39	0,00	0,11	0,99	3,99
JUNC2-12	36,67	4,53	13,73	17,26	0,45	15,16	0,00	0,59	8,60	0,51	0,10	0,97	3,82
JUNC2-13	37,65	4,39	14,00	14,29	0,30	15,66	0,00	0,69	8,41	0,00	0,10	1,25	4,08
JUNC2-14	37,44	4,52	13,76	14,36	0,28	15,69	0,00	0,64	8,83	0,00	0,12	1,19	4,07
JUNC2-15	37,33	4,29	13,88	14,11	0,30	15,78	0,00	0,64	8,10	0,00	0,08	1,16	4,05
JUNC2-16	37,68	4,57	13,94	14,27	0,30	15,48	0,00	0,75	8,73	0,00	0,09	1,26	4,09
JUNC2-17	37,26	4,70	14,04	14,89	0,31	14,83	0,00	0,70	8,83	0,00	0,09	1,14	4,06
JUNC2-18	37,43	4,60	13,57	13,83	0,30	15,70	0,00	0,77	8,38	0,00	0,12	1,19	4,04
JUNC2-19	37,76	4,27	13,55	14,48	0,34	15,60	0,00	0,64	8,91	0,00	0,10	1,28	4,08
JUNC2-20	37,93	4,54	13,84	14,01	0,30	15,76	0,00	0,76	8,63	0,00	0,11	1,33	4,10
JUNC3-1	40,59	3,11	13,44	12,94	0,12	14,79	0,27	0,22	6,52	0,00	0,15	2,10	4,09
JUNC3-2	43,30	3,22	13,59	13,67	0,20	13,73	0,10	0,54	7,24	0,00	0,14	2,88	4,29
JUNC3-3	39,63	3,32	13,81	10,48	0,11	16,71	0,13	0,04	6,01	0,00	0,12	1,82	4,06
JUNC3-4	38,33	3,41	15,15	14,69	0,21	15,29	0,02	0,56	8,27	0,00	0,13	1,45	4,13
JUNC3-5	38,11	3,33	14,83	14,95	0,17	14,83	0,06	0,55	7,75	0,00	0,17	1,39	4,06
JUNC3-6	37,49	3,65	14,87	14,80	0,21	14,93	0,05	0,49	8,19	0,00	0,16	1,21	4,04
JUNC3-7	38,08	3,57	15,38	14,95	0,23	14,67	0,04	0,60	8,33	0,00	0,16	1,38	4,10
JUNC3-8	38,38	3,54	14,89	14,99	0,20	15,25	0,07	0,56	7,99	0,00	0,14	1,46	4,12
JUNC4-1	38,93	4,24	12,52	13,20	0,25	14,49	0,33	0,58	6,55	0,00	0,10	1,62	4,00

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
JUNC4-2	39,17	4,14	12,90	13,15	0,25	14,45	0,29	0,46	6,97	0,00	0,09	1,69	4,03
JUNC4-3	40,03	4,19	12,37	12,97	0,23	14,13	0,37	0,50	6,88	0,00	0,11	1,94	4,05
JUNC4-4	37,72	4,34	12,55	12,90	0,21	14,30	0,16	0,67	7,68	0,00	0,13	1,27	3,91
JUNC4-5	40,92	4,29	12,55	12,92	0,20	14,04	0,42	0,28	7,14	0,00	0,10	2,19	4,12
JUNC4-6	40,46	4,05	13,23	12,88	0,29	14,39	0,26	0,48	7,31	0,00	0,10	2,06	4,13
JUNC4-7	39,86	4,05	12,33	12,22	0,22	14,97	0,32	0,63	7,75	0,00	0,10	1,89	4,06
JUNC4-8	39,57	4,04	12,48	13,38	0,22	13,87	0,42	0,61	6,90	0,00	0,08	1,81	4,02
JUNC4-9	40,79	4,22	12,86	12,79	0,21	15,08	0,32	0,15	7,71	0,00	0,10	2,16	4,17
JUNC4-10	40,19	4,26	12,58	13,09	0,21	14,52	0,41	0,41	7,01	0,00	0,08	1,98	4,10
JUNC4-11	41,27	3,87	12,06	12,18	0,24	13,40	0,37	0,51	6,90	0,00	0,10	2,29	4,06
JUNC4-12	38,76	4,64	13,45	13,64	0,23	15,77	0,06	0,53	8,27	0,00	0,11	1,57	4,13
JUNC4-13	38,79	4,67	13,50	12,91	0,28	15,47	0,16	0,46	7,84	0,00	0,12	1,58	4,10
JUNC4-14	40,31	4,22	12,81	13,18	0,44	14,78	0,28	0,43	7,52	0,00	0,10	2,02	4,13
JUNC4-15	39,66	4,08	12,38	12,35	0,18	13,86	0,59	0,28	7,42	0,00	0,11	1,83	4,00
JUNC4-16	39,43	4,09	12,06	12,91	0,25	13,83	0,47	0,62	6,85	0,00	0,08	1,76	3,99
JUNC4-17	39,20	4,27	12,68	13,24	0,28	14,74	0,18	0,39	7,54	0,00	0,11	1,70	4,04
JUNC4-18	40,68	4,13	12,49	12,88	0,21	14,32	0,64	0,31	6,76	0,00	0,09	2,12	4,11
JUNC4-19	38,97	4,18	12,70	13,52	0,24	14,42	0,37	0,48	7,13	0,00	0,08	1,63	4,02
SG1-1	37,32	4,51	13,85	15,74	0,47	14,90	0,01	0,68	8,34	1,06	0,10	1,16	3,56
SG1-2	37,50	4,64	13,92	13,22	0,28	16,03	0,06	0,69	7,90	0,00	0,07	1,21	4,07
SG1-3	37,33	4,23	14,06	13,51	0,29	15,54	0,28	0,61	6,75	0,00	0,09	1,16	4,01
SG1-4	36,61	4,58	13,87	13,63	0,37	14,70	0,09	0,55	8,18	0,00	0,10	0,95	3,95
SG1-5	37,22	4,68	13,85	13,22	0,34	15,20	0,15	0,60	7,59	0,00	0,11	1,13	4,00
SG1-6	37,83	4,43	14,35	13,69	0,28	15,73	0,04	0,63	8,10	0,00	0,08	1,30	4,10
SG1-7	37,21	4,53	14,22	13,80	0,38	15,42	0,08	0,64	7,96	0,00	0,11	1,13	4,04
SG1-8	37,34	4,35	13,82	13,32	0,32	15,54	0,06	0,54	7,88	0,00	0,09	1,16	4,02
SG1-9	37,04	4,45	14,11	13,21	0,28	15,48	0,14	0,64	7,43	0,00	0,06	1,08	4,01
SG1-10	37,51	4,54	13,37	12,74	0,25	15,20	0,18	0,59	7,55	0,00	0,10	1,21	3,98
SG1-11	37,18	4,27	14,09	13,61	0,30	15,58	0,13	0,62	7,57	0,00	0,07	1,12	4,03
SG1-12	37,90	4,27	13,77	13,29	0,27	15,81	0,41	0,69	6,20	0,00	0,09	1,33	4,04
SG1-13	37,91	4,38	14,38	13,55	0,30	15,94	0,10	0,55	8,01	0,00	0,07	1,33	4,11
SG1-14	37,41	4,60	14,41	14,16	0,37	15,31	0,02	0,64	8,49	0,00	0,10	1,18	4,08
SG1-15	36,99	4,48	13,99	13,88	0,37	14,98	0,05	0,68	7,90	0,00	0,12	1,06	3,99
SG1-16	36,92	4,41	14,36	13,16	0,27	15,57	0,33	0,65	6,59	0,00	0,06	1,04	4,01
SG1-17	37,65	4,42	13,56	13,29	0,29	15,61	0,19	0,46	6,65	0,00	0,11	1,25	4,01
SG1-18	38,27	4,24	13,80	13,29	0,24	15,49	0,40	0,61	6,44	0,00	0,10	1,43	4,06
SG1-19	37,77	4,39	14,00	13,79	0,32	15,50	0,04	0,70	8,13	0,00	0,07	1,29	4,08
SG1-20	37,55	4,24	13,40	13,08	0,28	14,89	0,43	0,63	5,68	0,00	0,10	1,22	3,94
SG2-1	37,77	4,34	14,42	14,05	0,35	15,71	0,02	0,76	8,39	0,00	0,07	1,29	4,12
SG2-2	37,99	4,32	13,80	13,86	0,36	15,93	0,00	0,78	8,39	0,00	0,10	1,35	4,10

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
SG2-3	38,03	4,37	14,01	13,88	0,36	15,83	0,00	0,76	8,57	0,00	0,10	1,36	4,11
SG2-4	37,70	4,28	14,34	13,88	0,36	15,68	0,00	0,77	8,54	0,00	0,08	1,27	4,10
SG2-5	37,75	4,56	14,34	14,18	0,36	15,64	0,04	0,72	8,47	0,00	0,11	1,28	4,11
SG2-6	38,24	4,52	14,40	14,31	0,35	15,68	0,01	0,61	8,49	0,00	0,10	1,42	4,15
SG2-7	38,09	4,49	14,22	13,74	0,37	15,44	0,00	0,64	8,57	0,00	0,09	1,38	4,11
SG2-8	37,93	3,85	13,79	13,61	0,34	16,01	0,00	0,74	8,46	0,00	0,08	1,33	4,08
SG2-9	37,88	4,39	14,47	14,28	0,33	15,58	0,00	0,69	8,36	0,02	0,11	1,32	4,11
SG2-10	38,48	4,47	13,59	13,67	0,37	15,85	0,00	0,70	8,46	0,00	0,09	1,49	4,12
SG2-11	38,06	4,31	14,23	14,13	0,37	15,73	0,00	0,76	8,61	0,00	0,10	1,37	4,13
SG2-12	38,20	4,33	14,64	13,78	0,35	15,85	0,00	0,76	8,10	0,00	0,05	1,41	4,16
SG2-13	37,77	4,44	15,06	14,04	0,35	15,68	0,00	0,74	8,48	0,00	0,05	1,29	4,16
SG2-14	38,37	4,48	14,33	14,23	0,35	15,78	0,00	0,47	8,54	0,18	0,10	1,46	4,07
SG2-15	37,99	4,39	14,37	14,21	0,37	15,86	0,02	0,65	8,40	0,00	0,09	1,35	4,13
SG2-16	38,45	4,51	14,16	13,74	0,37	15,74	0,01	0,71	8,48	0,00	0,10	1,48	4,15
SG2-17	37,93	4,50	14,32	14,51	0,36	15,19	0,00	0,72	8,64	0,00	0,10	1,33	4,11
SG2-18	37,86	4,37	13,69	13,86	0,34	15,87	0,00	0,66	8,38	0,00	0,11	1,31	4,08
SG2-19	38,39	4,05	14,00	13,85	0,40	16,04	0,00	0,63	8,45	0,00	0,11	1,47	4,13
SG2-20	38,39	4,37	13,82	13,49	0,34	15,66	0,00	0,56	8,42	0,00	0,09	1,47	4,11
SG2-21	37,91	4,37	14,40	14,05	0,33	15,64	0,00	0,68	8,57	0,00	0,10	1,33	4,12
SG2-22	37,21	4,52	13,85	13,83	0,34	15,56	0,00	0,70	8,64	0,00	0,13	1,13	4,03
SG2-23	37,36	4,62	14,50	14,28	0,36	15,52	0,00	0,64	8,58	0,00	0,09	1,17	4,10
SG2-24	38,30	3,94	14,83	13,95	0,35	15,74	0,02	0,72	8,65	0,00	0,06	1,44	4,16
SG2-25	37,91	4,45	14,35	13,93	0,31	16,08	0,00	0,64	8,29	0,00	0,10	1,33	4,13
SG2-26	38,28	4,55	14,37	14,01	0,36	15,79	0,00	0,73	8,40	0,00	0,08	1,44	4,16
SG2-27	37,91	4,35	13,80	13,86	0,38	15,60	0,07	0,64	8,33	0,00	0,10	1,33	4,08
SG2-28	38,44	4,42	13,76	13,90	0,35	16,28	0,01	0,67	8,03	0,00	0,08	1,48	4,14
SG2-29	37,43	4,50	14,49	14,39	0,33	15,81	0,00	0,76	8,31	0,00	0,09	1,19	4,11
SG2-30	37,99	4,44	14,64	13,52	0,37	15,54	0,06	0,57	8,63	0,00	0,09	1,35	4,12
SG3-1	37,24	3,84	13,57	13,08	0,33	14,63	0,07	0,50	7,87	0,00	0,07	1,14	3,94
SG3-2	36,42	4,02	13,59	13,62	0,35	14,92	0,14	0,58	7,50	0,00	0,10	0,90	3,90
SG3-3	37,14	3,98	13,78	13,90	0,36	15,35	0,01	0,68	8,20	0,00	0,11	1,11	3,99
SG3-4	37,51	4,06	13,22	13,63	0,33	15,10	0,20	0,59	7,13	0,00	0,12	1,21	3,96
SG3-5	37,14	4,01	13,75	13,53	0,30	15,01	0,18	0,50	7,09	0,00	0,08	1,11	3,96
SG3-6	36,74	4,01	13,87	13,61	0,32	15,27	0,25	0,48	6,90	0,00	0,08	0,99	3,95
SG3-7	37,23	4,20	13,98	14,16	0,35	15,00	0,05	0,61	8,14	0,28	0,12	1,13	3,94
SG3-8	37,97	3,80	13,26	13,19	0,32	14,90	0,20	0,68	7,45	0,00	0,16	1,35	3,96
SG3-9	36,27	4,12	14,05	14,23	0,32	14,96	0,00	0,66	8,03	0,00	0,10	0,86	3,94
SG3-10	37,07	4,00	14,43	13,25	0,28	15,72	0,07	0,84	7,50	0,00	0,12	1,09	4,01
SG3-11	39,68	3,72	13,56	13,13	0,25	13,02	0,18	0,40	7,10	0,00	0,11	1,84	4,02
SG3-12	36,26	3,89	13,21	13,23	0,34	14,97	0,24	0,68	7,55	0,00	0,12	0,86	3,86



Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
SG3-13	36,49	4,09	13,92	13,76	0,29	15,10	0,04	0,77	7,90	0,00	0,09	0,92	3,95
SG3-14	38,08	3,97	13,57	13,21	0,32	15,89	0,11	0,56	7,80	0,00	0,11	1,38	4,05
SG3-15	37,74	3,94	13,71	13,60	0,30	14,99	0,22	0,52	7,54	0,00	0,07	1,28	4,01
SG3-16	37,05	4,01	13,92	13,51	0,30	14,69	0,18	0,53	7,14	0,00	0,08	1,08	3,95
SG3-17	36,33	4,00	13,62	13,91	0,36	14,97	0,08	0,64	7,74	0,00	0,12	0,87	3,90
SG3-18	37,27	3,89	13,63	12,19	0,25	15,08	0,17	0,48	7,24	0,00	0,10	1,14	3,93
SG3-19	36,71	4,05	13,98	14,19	0,34	15,20	0,11	0,68	7,79	0,00	0,12	0,98	3,97
SG4-1	38,01	4,29	13,91	13,53	0,32	15,74	0,10	0,70	7,68	0,00	0,09	1,36	4,08
SG4-2	38,35	4,40	13,96	14,30	0,38	15,90	0,00	0,74	8,63	0,00	0,08	1,45	4,15
SG4-3	38,20	5,11	13,76	14,47	0,14	15,54	0,03	0,72	8,86	0,00	0,17	1,41	4,13
SG4-4	38,30	3,83	12,71	14,73	0,45	14,58	0,65	0,28	4,68	0,00	0,10	1,44	3,96
SG4-5	38,61	5,45	13,58	12,68	0,06	16,43	0,01	0,63	8,77	0,00	0,15	1,53	4,16
SG4-6	39,11	3,92	12,18	15,81	0,40	12,10	0,46	0,28	5,68	0,00	0,13	1,67	3,92
SG4-7	37,95	4,21	14,05	17,21	0,53	13,76	0,05	0,44	8,04	0,00	0,12	1,34	4,08
SG4-8	39,34	4,27	13,48	13,89	0,29	14,74	0,17	0,45	7,53	0,00	0,06	1,74	4,12
SG4-9	38,50	5,22	13,56	12,67	0,06	16,60	0,05	0,57	8,63	0,01	0,14	1,50	4,14
SG4-10	38,08	3,73	12,79	15,95	0,45	12,81	0,47	0,25	5,72	0,00	0,13	1,38	3,90
SG4-11	38,52	4,27	13,45	17,34	0,51	13,92	0,11	0,48	8,35	0,00	0,11	1,50	4,11
SG4-12	37,80	4,01	13,79	16,47	0,50	14,37	0,17	0,49	7,25	0,00	0,13	1,30	4,04
SG4-13	37,69	5,12	13,32	12,97	0,11	16,62	0,22	0,40	6,82	0,00	0,13	1,27	4,05
SG4-14	36,91	3,89	13,19	16,29	0,47	13,76	0,33	0,30	5,45	0,00	0,10	1,04	3,89
SG4-15	37,69	4,38	13,93	15,88	0,59	13,57	0,03	0,48	8,15	0,00	0,13	1,26	4,02
SG4-16	38,77	4,52	14,04	14,74	0,40	15,82	0,00	0,76	8,89	0,00	0,08	1,58	4,21
SG4-17	38,52	4,47	14,30	15,90	0,50	15,12	0,02	0,63	8,70	0,66	0,10	1,50	3,87
SG4-18	37,79	5,39	13,61	14,09	0,12	15,49	0,01	0,59	8,61	0,00	0,17	1,29	4,09
SG5-1	38,61	4,79	14,82	11,65	0,15	17,67	0,14	0,38	8,74	0,06	0,17	1,53	4,18
SG5-2	39,35	4,54	14,78	13,68	0,24	16,06	0,07	0,58	8,31	0,00	0,14	1,74	4,24
SG5-3	37,79	4,49	13,64	13,88	0,22	14,96	0,30	0,44	7,52	0,00	0,15	1,29	4,02
SG5-4	37,77	4,75	14,02	13,90	0,23	16,24	0,02	0,55	8,74	0,00	0,14	1,29	4,11
SG5-5	38,23	4,37	14,33	14,30	0,23	14,35	0,20	0,39	8,13	0,00	0,11	1,42	4,08
SG5-6	38,45	4,30	14,50	14,36	0,25	15,67	0,08	0,54	8,51	0,00	0,14	1,48	4,15
SG5-7	38,12	4,65	14,55	14,67	0,25	15,07	0,01	0,54	8,85	0,00	0,14	1,39	4,13
SG5-8	38,06	4,78	14,50	14,96	0,21	15,28	0,02	0,52	8,78	0,00	0,16	1,37	4,14
SG5-9	38,45	4,62	14,74	15,30	0,26	15,42	0,16	0,53	8,08	0,00	0,15	1,48	4,18
SG5-10	38,18	4,51	14,20	13,69	0,23	15,81	0,07	0,57	8,46	0,00	0,14	1,41	4,12
SG5-11	38,45	4,59	14,58	13,99	0,22	15,78	0,00	0,63	8,73	0,00	0,12	1,48	4,17
SG5-12	38,06	4,65	14,54	14,38	0,20	15,84	0,00	0,49	8,84	0,00	0,12	1,37	4,15
SG5-13	38,15	4,67	14,84	14,93	0,25	15,17	0,01	0,56	8,96	0,00	0,15	1,40	4,16
SG5-14	37,90	4,64	14,57	15,51	0,25	15,32	0,05	0,54	8,69	0,00	0,14	1,32	4,14
SG5-15	38,35	4,27	14,65	14,32	0,25	15,77	0,07	0,54	8,68	0,00	0,14	1,45	4,16

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
SG5-16	38,06	4,75	14,32	13,91	0,21	16,18	0,01	0,47	8,50	0,00	0,16	1,37	4,13
SG5-17	38,19	4,56	14,33	14,75	0,27	15,14	0,06	0,60	8,59	0,00	0,13	1,41	4,13
SG5-18	38,88	4,53	14,15	14,87	0,25	13,98	0,12	0,48	8,29	0,00	0,15	1,61	4,11
SG5-19	38,48	4,50	14,35	13,99	0,23	15,86	0,00	0,58	8,98	0,00	0,13	1,49	4,16
SG5-20	39,05	4,66	14,09	13,92	0,20	15,88	0,11	0,60	8,60	0,00	0,12	1,66	4,19
SA1-1	36,04	4,03	14,98	17,54	0,70	12,29	0,01	0,53	8,71	0,00	0,15	0,79	3,94
SA1-2	36,01	3,88	15,25	17,60	0,71	12,08	0,00	0,53	8,93	0,00	0,14	0,78	3,94
SA1-3	35,84	3,90	15,12	18,26	0,70	11,83	0,00	0,50	8,93	0,00	0,16	0,73	3,92
SA1-4	36,58	4,01	14,87	17,32	0,66	12,36	0,00	0,50	8,99	0,00	0,17	0,95	3,97
SA1-5	36,19	3,99	15,24	17,58	0,66	12,22	0,00	0,53	8,92	0,00	0,16	0,84	3,96
SA1-6	36,51	3,78	15,60	17,40	0,69	12,16	0,00	0,56	9,16	0,00	0,16	0,93	3,99
SA1-7	35,94	3,96	15,07	17,29	0,72	12,14	0,00	0,59	9,05	0,00	0,17	0,76	3,92
SA1-8	36,27	3,76	15,29	17,20	0,70	12,20	0,00	0,51	8,99	0,00	0,17	0,86	3,94
SA1-9	36,06	3,88	15,02	17,40	0,69	12,26	0,00	0,51	9,06	0,00	0,16	0,80	3,93
SA1-10	35,98	3,92	15,09	17,72	0,67	12,53	0,00	0,52	9,06	0,00	0,17	0,77	3,95
SA1-11	36,38	3,74	15,28	17,79	0,69	12,41	0,00	0,53	8,98	0,00	0,16	0,89	3,98
SA1-12	35,26	3,77	15,22	17,86	0,76	12,38	0,02	0,47	8,88	0,00	0,16	0,57	3,90
SA1-13	36,08	3,57	15,08	17,79	0,69	12,35	0,00	0,51	8,91	0,00	0,14	0,80	3,94
SA1-14	36,95	3,66	14,52	16,68	0,12	13,82	0,01	0,67	8,06	0,00	0,09	1,05	4,00
SA1-15	36,17	4,08	15,01	17,13	0,73	12,23	0,00	0,54	8,99	0,00	0,16	0,83	3,94
SA1-16	36,19	3,94	15,48	17,40	0,69	12,53	0,00	0,55	8,91	0,00	0,16	0,84	3,98
SA1-17	36,60	3,60	15,21	17,57	0,70	12,48	0,00	0,53	9,02	0,00	0,16	0,95	3,98
SA1-18	36,13	3,87	15,31	17,71	0,71	12,20	0,00	0,52	9,09	0,00	0,15	0,82	3,96
SA1-19	36,58	3,92	15,35	17,34	0,74	12,38	0,00	0,55	8,96	0,00	0,17	0,95	3,99
SA1-20	36,18	3,67	15,15	17,65	0,68	12,21	0,00	0,53	9,15	0,00	0,16	0,83	3,95
SA2-1	36,13	3,99	15,24	17,62	0,71	12,50	0,00	0,51	8,90	0,00	0,15	0,82	3,97
SA2-2	37,06	4,10	14,52	14,31	0,12	15,79	0,02	0,66	8,33	0,00	0,12	1,08	4,05
SA2-3	36,40	4,03	15,15	17,83	0,69	12,39	0,03	0,46	8,97	0,00	0,18	0,89	3,98
SA2-4	36,48	4,05	14,94	16,85	0,50	13,19	0,02	0,52	8,85	0,00	0,15	0,92	3,99
SA2-5	35,58	3,73	14,65	17,82	0,67	12,30	0,13	0,48	8,63	0,00	0,18	0,66	3,88
SA2-6	36,13	3,60	15,30	17,72	0,71	12,47	0,01	0,51	8,95	0,00	0,15	0,82	3,96
SA2-7	36,63	3,89	15,25	17,76	0,69	12,45	0,00	0,51	9,00	0,00	0,14	0,96	4,00
SA2-8	36,32	3,87	15,24	17,58	0,63	12,53	0,02	0,51	8,97	0,00	0,15	0,87	3,98
SA2-9	36,41	4,38	14,74	17,12	0,50	13,16	0,00	0,46	8,72	0,00	0,14	0,90	3,99
SA2-10	36,55	3,97	15,47	17,75	0,70	12,43	0,02	0,48	8,38	0,00	0,16	0,94	4,00
SA2-11	36,60	3,96	15,50	17,85	0,69	12,43	0,03	0,52	9,13	0,00	0,16	0,95	4,02
SA2-12	36,87	4,10	14,82	16,69	0,53	13,25	0,01	0,55	9,08	0,00	0,15	1,03	4,01
SA2-13	36,63	3,94	15,30	17,44	0,71	12,62	0,01	0,51	8,99	0,00	0,16	0,96	4,00
SA2-14	36,17	3,86	15,27	17,74	0,71	12,51	0,00	0,52	9,07	0,00	0,12	0,83	3,98
SA2-15	36,17	3,93	15,30	17,56	0,72	12,48	0,00	0,47	9,15	0,00	0,16	0,83	3,97

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
SA2-16	36,52	3,85	15,24	17,42	0,69	12,13	0,00	0,54	9,14	0,00	0,16	0,93	3,97
SA2-17	36,52	3,94	14,57	17,00	0,22	13,66	0,11	0,47	8,65	0,00	0,13	0,93	3,99
SA3-1	37,03	3,51	15,58	17,19	0,67	12,84	0,02	0,47	8,88	0,00	0,18	1,08	4,02
SA3-2	37,55	3,93	16,29	17,21	0,65	11,87	0,04	0,44	8,61	0,00	0,21	1,23	4,06
SA3-3	37,41	3,71	15,88	16,25	0,62	12,07	0,00	0,45	8,44	0,00	0,17	1,18	4,01
SA3-4	37,41	3,87	15,89	17,44	0,65	12,79	0,00	0,52	9,13	0,00	0,18	1,18	4,09
SA3-5	37,65	3,25	17,74	15,00	0,51	9,35	0,13	0,27	6,35	0,00	0,15	1,25	3,93
SA3-6	37,36	3,90	15,76	17,45	0,71	12,67	0,00	0,53	9,05	0,00	0,20	1,17	4,07
SA3-7	37,87	4,51	14,64	16,01	0,12	14,56	0,00	0,53	8,78	0,11	0,16	1,32	4,06
SA3-8	37,27	4,09	15,66	16,82	0,70	12,67	0,00	0,42	9,12	0,00	0,19	1,14	4,05
SA3-9	36,91	3,91	15,48	16,92	0,64	12,06	0,10	0,40	8,17	0,00	0,18	1,04	3,98
SA3-10	36,99	3,90	15,83	16,84	0,68	12,43	0,00	0,44	8,65	0,00	0,17	1,06	4,02
SA3-11	36,97	3,90	15,92	16,83	0,68	12,44	0,02	0,41	8,73	0,00	0,19	1,06	4,02
SA3-12	37,63	3,82	15,96	17,53	0,67	12,77	0,00	0,44	8,87	0,00	0,19	1,25	4,10
SA3-13	36,87	3,96	15,64	17,24	0,68	12,44	0,00	0,39	8,96	0,00	0,18	1,03	4,02
SA3-14	36,89	3,91	15,91	17,05	0,68	12,51	0,00	0,50	8,85	0,00	0,19	1,03	4,03
SA3-15	37,45	3,94	16,13	17,35	0,68	12,53	0,00	0,45	8,76	0,00	0,19	1,20	4,08
SA3-16	37,53	3,93	15,99	17,42	0,70	12,94	0,00	0,44	9,11	0,00	0,19	1,22	4,10
SA3-17	36,96	3,95	16,04	17,21	0,70	12,31	0,00	0,41	8,89	0,00	0,18	1,05	4,03
SA3-18	37,27	3,33	15,71	17,21	0,66	12,72	0,00	0,42	9,01	0,00	0,20	1,14	4,03
SA3-19	36,80	4,17	15,66	17,10	0,70	12,58	0,06	0,43	8,73	0,00	0,16	1,01	4,03
BB-1	36,74	4,31	14,96	17,04	0,49	13,50	0,00	0,54	8,99	0,00	0,16	0,99	4,03
BB-2	36,81	4,59	14,33	16,77	0,37	12,39	0,00	0,55	8,36	0,34	0,17	1,01	3,79
BB-3	36,20	4,77	14,64	16,25	0,38	13,01	0,00	0,55	8,53	0,00	0,14	0,84	3,96
BB-4	36,26	4,76	14,26	16,38	0,38	13,40	0,00	0,59	8,38	0,00	0,13	0,85	3,96
BB-5	36,41	3,96	15,19	17,57	0,56	12,97	0,00	0,54	9,11	0,00	0,16	0,90	4,00
BB-6	36,56	4,63	14,34	16,89	0,37	13,68	0,00	0,57	8,64	0,00	0,13	0,94	4,01
BB-7	36,14	3,72	15,34	18,94	0,63	11,41	0,01	0,52	9,10	0,00	0,18	0,82	3,94
BB-8	36,30	4,63	14,58	16,82	0,38	13,62	0,04	0,56	8,38	0,00	0,11	0,87	4,00
BB-9	36,20	4,73	14,47	16,65	0,34	13,50	0,01	0,57	8,50	0,00	0,09	0,84	3,99
BB-10	36,94	4,04	15,10	16,70	0,36	13,90	0,00	0,64	8,99	0,00	0,15	1,05	4,05
BB-11	36,73	3,89	15,21	17,09	0,70	12,50	0,00	0,50	8,99	0,00	0,15	0,99	3,99
BB-12	36,67	4,31	14,70	16,09	0,35	13,56	0,00	0,63	8,69	0,00	0,14	0,97	3,99
BB-13	36,37	4,25	14,80	16,64	0,38	13,09	0,08	0,67	8,94	0,00	0,16	0,89	3,97
BB-14	36,50	4,31	14,72	16,46	0,35	13,84	0,00	0,61	8,90	0,00	0,17	0,92	4,00
BB-15	36,35	4,58	14,55	16,44	0,38	13,77	0,00	0,57	8,60	0,00	0,11	0,88	4,00
BB-16	36,47	4,50	14,86	16,51	0,36	14,01	0,00	0,56	9,17	0,00	0,11	0,91	4,04
BB-17	36,90	4,62	14,10	16,48	0,38	13,41	0,00	0,55	8,28	0,00	0,12	1,04	4,00
BB-18	36,24	4,06	14,92	16,57	0,41	13,44	0,02	0,59	8,84	0,00	0,08	0,85	3,99
BB-19	36,77	3,89	15,29	17,67	0,73	12,71	0,00	0,53	9,07	0,00	0,17	1,00	4,02

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
BB-20	36,76	4,53	14,35	16,57	0,36	13,63	0,00	0,57	8,59	0,00	0,13	1,00	4,01
COL1-1	35,52	4,09	14,02	19,20	0,70	12,43	0,00	0,49	8,53	2,12	0,09	0,64	2,91
COL1-2	36,59	4,17	13,89	20,03	0,63	12,83	0,00	0,53	8,73	0,91	0,12	0,95	3,59
COL1-3	35,74	4,22	13,32	20,38	0,81	11,78	0,00	0,53	8,53	1,50	0,13	0,71	3,18
COL1-4	35,44	4,16	13,04	21,23	0,64	12,35	0,02	0,49	8,34	2,49	0,11	0,62	2,72
COL1-5	35,53	4,26	13,58	21,69	0,73	11,56	0,00	0,55	8,72	1,31	0,10	0,65	3,30
COL1-6	34,95	4,01	13,16	22,03	0,70	11,68	0,00	0,48	8,13	2,01	0,10	0,48	2,90
COL1-7	37,33	4,16	13,92	17,97	0,61	13,61	0,00	0,59	8,76	0,00	0,11	1,16	4,06
COL1-8	36,06	4,20	13,71	19,13	0,67	13,34	0,00	0,60	8,75	0,00	0,10	0,80	3,98
COL1-9	36,20	4,22	14,31	18,90	0,61	13,03	0,00	0,53	8,61	0,00	0,11	0,84	3,99
COL1-10	37,41	4,16	13,97	17,70	0,59	13,61	0,00	0,56	8,85	0,05	0,12	1,18	4,03
COL1-11	35,26	4,05	13,54	21,40	0,68	11,69	0,00	0,52	8,42	1,13	0,13	0,57	3,34
COL1-12	38,09	4,24	14,06	17,35	0,57	13,91	0,00	0,64	8,86	0,00	0,12	1,38	4,12
COL1-13	37,18	4,41	13,97	17,76	0,58	14,09	0,00	0,62	8,75	0,00	0,13	1,12	4,07
COL1-14	38,10	4,26	13,77	17,14	0,57	13,08	0,00	0,53	8,89	0,00	0,10	1,38	4,07
COL1-15	35,64	4,14	13,58	20,78	0,82	12,81	0,00	0,58	8,56	1,21	0,11	0,68	3,38
COL1-16	35,02	3,80	13,71	21,28	0,67	11,80	0,00	0,51	8,47	1,91	0,08	0,50	2,97
COL1-17	36,55	3,93	13,73	18,59	0,67	13,41	0,00	0,63	8,92	1,04	0,13	0,94	3,50
COL1-18	35,48	4,02	13,07	20,87	0,69	11,94	0,00	0,47	8,57	2,49	0,10	0,63	2,69
COL1-19	37,67	4,22	14,21	17,21	0,55	13,49	0,00	0,63	8,90	0,00	0,14	1,26	4,07
COL1-20	36,12	4,26	13,67	17,06	0,56	13,57	0,00	0,62	8,82	0,00	0,10	0,82	3,94
COL1-21	36,51	4,20	14,04	18,52	0,72	12,98	0,00	0,58	8,75	0,00	0,12	0,93	3,99
COL2-1	37,64	3,85	14,09	16,38	0,51	13,60	0,01	0,47	8,28	0,00	0,14	1,25	4,02
COL2-2	37,36	3,91	14,21	16,55	0,53	13,21	0,15	0,48	8,14	0,00	0,15	1,17	3,99
COL2-3	37,68	3,66	14,02	16,64	0,53	13,51	0,00	0,51	8,36	0,00	0,16	1,26	4,01
COL2-4	38,33	3,90	14,07	16,75	0,51	13,71	0,00	0,55	8,27	0,00	0,13	1,45	4,08
COL2-5	38,00	3,86	14,35	16,67	0,55	13,61	0,01	0,55	8,32	0,00	0,13	1,35	4,07
COL2-6	37,92	3,78	14,41	16,65	0,52	13,82	0,01	0,55	8,49	0,00	0,15	1,33	4,07
COL2-7	37,41	3,81	14,11	16,97	0,54	13,40	0,05	0,48	8,38	0,00	0,13	1,18	4,01
COL2-8	37,75	3,81	14,08	16,55	0,50	13,70	0,00	0,53	8,41	0,00	0,14	1,28	4,03
COL2-9	37,31	3,90	13,77	16,91	0,50	13,24	0,04	0,48	8,15	0,00	0,16	1,16	3,97
COL2-10	37,00	3,81	13,83	15,96	0,81	12,41	0,25	0,36	6,10	0,00	0,18	1,07	3,86
COL2-11	37,02	3,76	14,05	16,17	0,65	12,87	0,11	0,34	6,37	0,00	0,17	1,07	3,89
COL2-12	37,34	3,80	14,10	16,17	0,61	12,80	0,19	0,35	6,19	0,00	0,17	1,16	3,92
COL2-13	37,91	3,84	14,05	15,87	0,53	13,27	0,13	0,43	7,45	0,00	0,16	1,33	3,99
COL2-14	37,08	3,92	14,29	17,10	0,54	12,93	0,02	0,51	8,36	0,00	0,14	1,09	3,98
COL2-15	37,49	3,84	14,13	16,49	0,54	13,71	0,00	0,50	8,45	0,00	0,15	1,21	4,02
COL2-16	37,54	3,94	14,14	16,70	0,56	13,56	0,03	0,50	8,32	0,00	0,14	1,22	4,03
COL2-17	36,49	4,15	14,45	17,63	0,55	13,07	0,02	0,55	8,08	0,00	0,16	0,92	3,97
COL2-18	37,95	3,90	13,95	16,41	0,54	13,61	0,00	0,50	8,36	0,00	0,13	1,34	4,04

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
COL2-19	37,89	3,86	14,27	16,68	0,55	13,78	0,00	0,50	8,52	0,00	0,13	1,32	4,07
COL2-20	38,09	3,94	14,37	16,36	0,53	14,01	0,03	0,52	8,15	0,00	0,14	1,38	4,08
COL3-1	36,57	4,34	14,22	13,54	0,35	15,82	0,42	0,49	6,37	0,00	0,14	0,94	3,97
COL3-2	37,76	4,48	14,65	15,05	0,35	15,64	0,00	0,75	8,53	0,00	0,14	1,29	4,14
COL3-3	37,81	4,22	13,94	14,39	0,38	15,49	0,00	0,57	8,13	0,00	0,14	1,30	4,06
COL3-4	37,28	4,21	14,33	14,38	0,40	15,09	0,00	0,63	8,69	0,00	0,13	1,15	4,04
COL3-5	37,18	4,46	14,10	14,38	0,37	15,28	0,04	0,68	8,42	0,00	0,15	1,12	4,03
COL3-6	38,32	4,46	14,80	14,20	0,38	15,24	0,01	0,52	8,83	0,00	0,14	1,45	4,15
COL3-7	37,19	4,31	14,79	14,46	0,37	15,32	0,00	0,70	8,55	0,00	0,12	1,12	4,07
COL3-8	38,29	4,46	15,01	14,18	0,38	15,64	0,02	0,63	8,71	0,00	0,14	1,44	4,17
COL3-9	37,01	4,40	14,54	14,78	0,40	15,33	0,10	0,52	8,45	0,00	0,13	1,07	4,06
COL3-10	37,75	4,43	14,45	14,33	0,37	15,10	0,01	0,78	8,67	0,00	0,14	1,28	4,09
COL3-11	37,84	4,08	14,49	14,39	0,36	15,55	0,06	0,61	8,10	0,00	0,14	1,31	4,09
COL3-12	37,58	4,41	14,55	14,39	0,39	15,00	0,00	0,61	8,74	0,00	0,15	1,23	4,07
COL3-13	37,52	4,27	14,58	14,64	0,38	15,31	0,06	0,60	8,30	0,00	0,15	1,22	4,08
COL3-14	36,40	4,32	13,78	13,86	0,38	14,92	0,30	0,45	6,97	0,00	0,15	0,89	3,91
COL3-15	37,32	4,50	14,33	14,58	0,42	14,99	0,00	0,62	8,46	0,00	0,12	1,16	4,06
COL3-16	37,40	4,24	14,09	14,11	0,35	15,64	0,13	0,55	7,40	0,00	0,13	1,18	4,03
COL3-17	37,32	3,53	15,05	14,48	0,38	15,28	0,05	0,59	8,59	0,00	0,07	1,16	4,07
COL3-18	37,74	3,32	14,71	14,86	0,38	15,30	0,05	0,61	8,44	0,00	0,11	1,28	4,08
COL3-19	37,13	3,31	15,08	14,77	0,35	15,16	0,05	0,61	8,24	0,00	0,10	1,10	4,04
COL3-20	37,66	3,86	14,57	14,29	0,38	15,26	0,02	0,65	8,70	0,00	0,13	1,26	4,07
COL4-1	38,77	4,05	13,18	16,26	0,45	12,76	0,27	0,37	7,21	0,00	0,12	1,58	4,01
COL4-2	37,60	4,12	13,58	16,20	0,47	13,22	0,26	0,41	6,97	0,00	0,13	1,24	3,96
COL4-3	37,27	4,22	13,45	16,33	0,54	13,03	0,16	0,40	7,13	0,00	0,13	1,14	3,94
COL4-4	39,26	3,85	13,06	16,55	0,50	12,62	0,15	0,40	7,64	0,00	0,11	1,72	4,04
COL4-5	37,69	4,23	13,55	17,68	0,58	13,41	0,03	0,54	8,29	0,00	0,12	1,27	4,04
COL4-6	37,92	3,96	12,91	16,43	0,46	12,60	0,28	0,36	7,02	0,00	0,13	1,33	3,93
COL4-7	38,82	4,04	13,21	16,19	0,51	12,78	0,22	0,36	7,59	0,00	0,12	1,59	4,02
COL4-8	39,25	3,86	13,54	15,93	0,47	13,04	0,08	0,35	8,17	0,00	0,13	1,71	4,07
COL4-9	36,87	3,94	13,04	16,16	0,50	13,01	0,34	0,38	6,90	0,00	0,10	1,03	3,88
COL4-10	37,33	3,99	13,75	16,55	0,54	12,93	0,08	0,54	8,03	0,00	0,13	1,16	3,96
COL4-11	37,03	4,13	13,19	16,14	0,47	12,78	0,18	0,38	7,70	0,00	0,14	1,08	3,89
COL4-12	37,35	3,96	13,29	15,90	0,47	12,69	0,36	0,42	7,15	0,00	0,10	1,17	3,91
COL4-13	37,76	3,82	12,73	16,02	0,48	12,18	0,36	0,32	6,97	0,00	0,13	1,28	3,88
COL4-14	39,79	3,44	12,93	17,14	0,44	11,72	0,21	0,36	7,45	0,00	0,13	1,87	4,02
COL4-15	37,93	4,02	13,45	16,44	0,49	12,80	0,39	0,42	6,52	0,00	0,13	1,34	3,96
COL4-16	37,40	3,48	13,23	15,99	0,47	13,03	0,39	0,36	7,07	0,00	0,11	1,18	3,90
COL4-17	37,05	3,92	13,27	16,56	0,55	12,93	0,37	0,34	6,74	0,00	0,12	1,08	3,90
COL4-18	38,13	4,06	13,29	16,78	0,50	12,22	0,26	0,30	6,89	0,00	0,10	1,39	3,96

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
COL4-19	38,24	4,14	13,12	16,10	0,50	12,32	0,31	0,39	6,66	0,00	0,12	1,42	3,95
COL4-20	38,09	4,04	13,06	16,80	0,52	12,35	0,29	0,39	7,04	0,00	0,13	1,38	3,95
COL5-1	37,97	3,83	15,27	15,49	0,38	14,90	0,03	0,50	8,30	0,00	0,12	1,34	4,13
COL5-2	37,41	4,06	14,84	15,21	0,41	14,46	0,00	0,52	8,66	0,00	0,11	1,18	4,06
COL5-3	37,51	4,06	15,00	15,35	0,45	14,12	0,01	0,48	8,84	0,00	0,13	1,21	4,07
COL5-4	37,92	4,24	14,89	15,16	0,40	14,72	0,00	0,50	8,71	0,00	0,12	1,33	4,12
COL5-5	37,44	4,32	14,51	14,92	0,42	14,50	0,00	0,50	8,68	0,00	0,13	1,19	4,05
COL5-6	37,55	4,15	14,75	15,20	0,38	14,11	0,04	0,49	8,72	0,00	0,12	1,22	4,06
COL5-7	37,36	4,34	14,62	15,29	0,39	14,58	0,00	0,50	8,84	0,00	0,12	1,17	4,07
COL5-8	36,90	4,14	15,20	15,78	0,40	13,91	0,00	0,50	8,85	0,00	0,09	1,04	4,05
COL5-9	37,75	4,24	14,56	14,90	0,39	14,49	0,01	0,51	8,88	0,00	0,13	1,28	4,08
COL5-10	37,67	4,30	15,02	15,56	0,43	14,86	0,00	0,40	8,53	0,00	0,13	1,26	4,12
COL5-11	37,74	4,12	15,09	15,45	0,40	14,23	0,05	0,45	8,56	0,00	0,12	1,28	4,10
COL5-12	37,43	4,17	14,57	15,19	0,43	14,29	0,00	0,52	8,96	0,00	0,13	1,19	4,05
COL5-13	37,47	4,24	14,65	15,47	0,40	14,52	0,00	0,46	8,79	0,00	0,11	1,20	4,08
COL5-14	37,56	4,18	14,91	15,30	0,42	14,40	0,00	0,45	8,80	0,00	0,12	1,23	4,08
COL5-15	37,62	4,37	14,81	14,92	0,43	14,56	0,00	0,46	8,59	0,00	0,10	1,24	4,09
COL5-16	37,54	4,25	14,69	15,00	0,43	14,38	0,03	0,41	8,89	0,00	0,10	1,22	4,07
COL5-17	37,74	4,15	14,77	15,05	0,42	14,68	0,00	0,54	8,40	0,00	0,10	1,28	4,09
COL5-18	36,99	4,29	14,49	15,27	0,39	14,40	0,00	0,49	8,81	0,00	0,12	1,06	4,03
COL5-19	37,47	3,63	14,59	15,54	0,40	14,57	0,00	0,51	8,81	0,00	0,11	1,20	4,05
COL5-20	37,35	4,28	14,78	15,53	0,39	14,75	0,02	0,48	8,86	0,00	0,13	1,17	4,09
COL5-21	37,89	3,78	14,99	15,25	0,30	14,81	0,01	0,58	8,51	0,00	0,08	1,32	4,11
COL5-22	37,78	4,40	14,09	15,40	0,44	14,68	0,00	0,48	8,65	0,00	0,14	1,29	4,08
COL5-23	37,65	4,24	14,55	14,39	0,40	14,50	0,00	0,47	8,54	0,00	0,11	1,25	4,06
WW-1	36,69	4,39	13,54	17,54	0,30	13,50	0,02	0,44	8,81	0,00	0,17	0,98	3,96
WW-2	36,94	4,26	13,44	16,65	0,32	13,99	0,08	0,47	8,30	0,00	0,16	1,05	3,97
WW-3	37,30	4,61	14,17	17,11	0,35	13,90	0,00	0,48	8,64	0,00	0,09	1,15	4,07
WW-4	37,56	4,24	13,86	17,02	0,34	13,71	0,10	0,49	8,35	0,00	0,15	1,23	4,03
WW-5	37,57	4,12	14,02	15,20	0,31	14,52	0,07	0,50	8,30	0,00	0,10	1,23	4,04
WW-6	37,85	4,25	13,69	16,54	0,35	14,00	0,00	0,42	8,78	0,00	0,17	1,31	4,04
WW-7	37,56	4,24	14,54	17,04	0,36	13,80	0,00	0,48	8,99	0,00	0,08	1,23	4,10
WW-8	36,80	4,32	13,50	16,17	0,32	14,10	0,35	0,32	6,00	0,00	0,16	1,01	3,92
WW-9	37,24	4,58	14,29	17,48	0,37	13,59	0,01	0,49	8,88	0,00	0,15	1,14	4,06
WW-10	37,39	4,55	13,79	17,15	0,35	13,80	0,00	0,51	8,92	0,00	0,15	1,18	4,04
WW-11	36,66	4,28	13,70	16,34	0,36	14,22	0,36	0,41	6,72	0,00	0,16	0,97	3,94
WW-12	37,22	4,43	13,71	16,81	0,34	13,79	0,21	0,45	7,76	0,00	0,16	1,13	4,00
WW-13	37,64	4,50	13,63	17,31	0,36	13,56	0,00	0,44	8,87	0,00	0,17	1,25	4,04
WW-14	36,81	4,26	13,66	16,63	0,33	13,66	0,21	0,38	7,18	0,00	0,16	1,01	3,94
WW-15	37,92	4,20	13,89	16,88	0,32	13,87	0,00	0,51	8,76	0,00	0,15	1,33	4,06

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
WW-16	37,53	4,58	13,85	17,26	0,36	13,76	0,00	0,56	8,92	0,00	0,18	1,22	4,05
WW-17	36,49	3,87	13,90	16,29	0,35	14,27	0,36	0,40	6,51	0,00	0,13	0,92	3,93
WW-18	36,64	3,86	14,11	14,21	0,22	15,74	0,56	0,55	6,01	0,00	0,10	0,96	3,97
WW-19	36,87	4,27	14,56	15,76	0,28	14,18	0,00	0,63	8,69	0,00	0,09	1,03	4,03
PAR-1	36,41	3,52	14,81	14,72	0,25	14,23	0,08	0,62	8,05	0,00	0,09	0,90	3,95
PAR-2	37,57	3,39	14,39	15,85	0,28	13,75	0,06	0,35	8,24	0,00	0,14	1,23	3,99
PAR-3	37,87	3,38	14,66	15,80	0,27	14,26	0,00	0,55	8,32	0,00	0,12	1,32	4,05
PAR-4	37,00	3,44	14,39	15,38	0,28	13,98	0,01	0,50	8,23	0,00	0,12	1,07	3,96
PAR-5	36,69	3,47	15,17	16,36	0,32	13,68	0,00	0,46	8,48	0,00	0,12	0,98	3,99
PAR-6	37,17	3,29	14,43	16,00	0,30	13,79	0,00	0,43	8,35	0,00	0,16	1,12	3,97
PAR-7	36,71	3,28	14,47	15,78	0,29	13,83	0,01	0,45	8,35	0,00	0,13	0,98	3,94
PAR-8	37,09	3,54	14,86	15,72	0,31	13,65	0,02	0,53	8,54	0,00	0,11	1,09	4,00
PAR-9	36,74	3,37	14,50	16,01	0,31	13,81	0,00	0,43	8,33	0,00	0,14	0,99	3,95
PAR-10	36,86	3,44	15,21	15,77	0,27	13,52	0,00	0,50	8,50	0,00	0,15	1,03	3,98
PAR-11	37,07	3,42	14,82	15,28	0,28	14,19	0,00	0,53	8,31	0,00	0,10	1,09	4,00
PAR-12	37,27	3,29	14,54	15,70	0,31	13,96	0,00	0,47	8,39	0,00	0,13	1,15	3,99
PAR-13	36,95	3,36	14,86	15,92	0,27	13,73	0,01	0,41	8,56	0,00	0,12	1,05	3,98
PAR-14	37,17	3,28	14,61	15,93	0,30	13,90	0,00	0,46	8,38	0,00	0,14	1,12	3,98
PAR-15	37,21	3,26	14,34	16,12	0,29	13,89	0,00	0,45	8,46	0,00	0,13	1,13	3,98
LV1-1	36,77	4,19	14,15	15,37	0,53	14,47	0,02	0,63	8,38	0,00	0,10	1,00	4,00
LV1-2	37,70	4,34	13,39	15,97	0,52	14,46	0,04	0,55	8,73	0,00	0,18	1,27	4,03
LV1-3	37,67	4,12	14,35	11,85	0,11	16,55	0,20	0,77	7,01	0,00	0,06	1,26	4,06
LV1-4	36,50	4,26	13,79	15,65	0,62	13,81	0,00	0,53	8,78	0,00	0,15	0,92	3,94
LV1-5	37,87	3,75	13,42	15,06	0,61	14,90	0,01	0,50	9,08	0,00	0,17	1,32	4,03
LV1-6	36,67	4,54	13,78	15,95	0,53	13,78	0,00	0,51	8,54	0,00	0,17	0,97	3,96
LV1-7	36,42	4,63	13,83	16,27	0,57	13,75	0,00	0,56	8,58	0,00	0,09	0,90	3,97
LV1-8	36,64	4,32	13,78	14,27	0,33	14,55	0,14	0,61	7,02	0,00	0,12	0,96	3,93
LV1-9	36,92	4,29	13,65	15,99	0,53	13,91	0,00	0,44	8,73	0,00	0,15	1,04	3,97
LV1-10	36,41	4,51	14,14	16,22	0,59	13,72	0,00	0,54	8,80	0,00	0,14	0,90	3,97
LV1-11	37,37	4,26	14,23	16,26	0,52	14,21	0,03	0,48	8,41	0,00	0,08	1,17	4,06
LV1-12	37,03	3,96	14,69	13,37	0,26	15,62	0,07	0,76	8,06	0,00	0,06	1,08	4,04
LV1-13	37,84	3,95	13,45	14,93	0,65	14,56	0,03	0,47	8,47	0,00	0,18	1,31	4,01
LV1-14	36,22	4,48	14,19	15,86	0,62	13,99	0,00	0,53	8,88	0,00	0,09	0,84	3,98
LV1-15	36,80	3,76	13,05	15,10	0,60	13,98	0,00	0,54	8,83	0,00	0,22	1,01	3,88
LV1-16	36,94	4,34	14,56	14,48	0,33	15,17	0,00	0,75	8,43	0,00	0,09	1,05	4,05
LV1-17	36,20	4,17	14,76	15,07	0,39	14,44	0,03	0,75	8,28	0,00	0,06	0,84	3,99
LV1-18	36,35	4,51	14,14	16,06	0,56	13,76	0,00	0,52	8,70	0,00	0,09	0,88	3,98
LV1-19	37,23	4,36	13,47	15,85	0,56	14,14	0,00	0,56	9,08	0,00	0,17	1,13	4,00
LV2-1	36,56	3,96	14,43	15,15	0,43	14,33	0,00	0,69	8,28	0,00	0,10	0,94	3,98
LV2-2	36,79	4,34	14,55	15,71	0,48	13,90	0,02	0,58	8,47	0,00	0,09	1,01	4,01

Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
LV2-3	36,80	3,77	14,48	14,86	0,45	14,73	0,03	0,60	8,20	0,00	0,06	1,01	4,01
LV2-4	35,60	4,13	13,89	17,32	1,21	13,65	0,04	0,61	8,16	0,34	0,12	0,67	3,76
LV2-5	35,82	3,84	14,06	17,13	0,67	13,76	0,00	0,61	8,33	0,21	0,07	0,73	3,84
LV2-6	37,02	3,95	14,38	15,24	0,39	14,56	0,01	0,65	8,20	0,00	0,10	1,07	4,01
LV2-7	37,55	3,81	13,58	14,49	0,60	14,51	0,00	0,60	8,59	0,00	0,20	1,22	3,97
LV2-8	37,71	3,98	13,63	15,42	0,55	14,38	0,01	0,61	8,51	0,00	0,20	1,27	4,01
LV2-9	37,41	4,05	14,37	13,87	0,30	15,48	0,01	0,84	8,02	0,00	0,08	1,19	4,06
LV2-10	36,95	4,09	14,34	15,26	0,63	14,35	0,00	0,60	8,35	0,00	0,16	1,05	4,00
LV2-11	37,27	3,88	14,54	14,24	0,36	15,21	0,00	0,80	8,24	0,00	0,09	1,15	4,05
LV2-12	36,74	4,34	13,83	15,19	0,64	13,83	0,00	0,59	8,33	0,00	0,16	0,99	3,94
LV2-13	36,17	3,78	14,19	14,34	1,08	15,13	0,06	0,83	7,93	0,00	0,07	0,83	3,97
LV2-14	36,94	3,97	14,41	15,71	0,53	14,15	0,01	0,62	8,50	0,00	0,13	1,05	4,01
LV2-15	36,89	4,14	14,20	15,68	0,54	13,88	0,00	0,63	8,41	0,00	0,10	1,03	3,99
LV2-16	36,86	4,06	14,17	15,11	0,52	13,90	0,01	0,65	8,71	0,00	0,13	1,03	3,97
LV2-17	37,05	3,64	14,97	12,54	0,27	16,31	0,12	0,94	8,12	0,00	0,09	1,08	4,05
LV2-18	37,50	4,36	13,55	15,68	0,54	14,17	0,00	0,60	8,56	0,00	0,12	1,21	4,02
LV2-19	36,26	4,06	13,57	15,06	0,61	14,09	0,00	0,58	8,50	0,00	0,21	0,86	3,88
LV2-20	36,22	3,86	14,98	15,16	0,46	14,35	0,00	0,68	8,47	0,00	0,07	0,84	3,99
LV3-1	37,50	4,34	14,10	13,51	0,26	14,96	0,22	0,48	6,96	0,00	0,09	1,21	4,01
LV3-2	36,93	4,47	13,99	15,39	0,51	13,87	0,38	0,35	6,02	0,00	0,16	1,05	3,94
LV3-3	36,77	4,45	13,31	15,26	0,50	13,62	0,34	0,31	6,65	0,00	0,16	1,00	3,89
LV3-4	36,99	4,38	13,42	15,48	0,50	13,53	0,40	0,32	6,35	0,00	0,21	1,06	3,89
LV3-5	37,65	4,26	13,89	14,66	0,47	13,80	0,42	0,34	6,17	0,00	0,10	1,25	3,97
LV3-6	37,99	4,02	13,84	14,58	0,50	14,15	0,65	0,47	5,97	0,00	0,08	1,35	4,01
LV3-7	36,88	4,22	13,34	14,63	0,41	13,63	0,45	0,37	6,25	0,00	0,10	1,03	3,89
LV3-8	38,30	4,03	14,71	13,57	0,27	15,49	0,71	0,37	5,10	0,00	0,08	1,44	4,08
LV3-9	37,84	4,37	13,50	14,49	0,45	14,18	0,47	0,24	5,44	0,00	0,10	1,31	3,97
LV3-10	39,15	4,00	13,26	14,30	0,45	14,28	0,50	0,25	5,41	0,00	0,20	1,68	4,01
LV3-11	38,07	4,07	13,15	14,45	0,46	13,63	0,19	0,32	7,05	0,00	0,17	1,37	3,94
LV3-12	36,81	4,01	14,39	13,94	0,30	14,80	0,43	0,44	5,51	0,00	0,14	1,01	3,93
LV3-13	37,79	4,11	13,62	14,64	0,47	14,03	0,38	0,23	6,12	0,00	0,14	1,29	3,96
LV3-14	37,74	4,18	14,23	12,95	0,24	15,63	0,37	0,45	5,64	0,00	0,10	1,28	4,02
LV3-15	36,93	4,35	13,41	15,30	0,52	13,66	0,37	0,34	6,44	0,00	0,12	1,05	3,91
LV3-16	37,28	4,09	13,95	13,58	0,51	14,01	0,52	0,35	6,01	0,00	0,11	1,15	3,93
LV3-17	37,95	4,16	13,55	14,45	0,42	15,66	0,76	0,26	2,83	0,00	0,17	1,34	3,98
LV3-18	36,83	4,04	14,57	13,65	0,28	14,95	0,46	0,37	5,18	0,00	0,11	1,02	3,94
LV3-19	37,57	4,22	14,19	14,01	0,34	14,14	0,46	0,48	6,23	0,00	0,09	1,23	3,98
LV3-20	37,22	4,16	13,84	13,84	0,30	14,23	0,49	0,48	5,66	0,00	0,13	1,13	3,92
LV4-1	37,07	4,26	14,05	15,16	0,27	14,89	0,01	0,59	8,72	0,00	0,11	1,09	4,03
LV4-2	37,21	3,75	13,61	14,79	0,28	15,13	0,00	0,67	8,44	0,00	0,12	1,13	3,99



Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	F	Cl	Li2O	H2O
LV4-3	36,62	4,07	13,77	15,13	0,27	14,64	0,00	0,64	8,76	0,00	0,10	0,96	3,97
LV4-4	36,99	4,35	13,10	15,23	0,29	14,95	0,00	0,62	8,51	0,00	0,16	1,06	3,97
LV4-5	37,09	3,99	14,04	14,89	0,26	15,03	0,00	0,53	8,59	0,00	0,10	1,09	4,02
LV4-6	37,14	4,19	13,96	14,51	0,28	15,07	0,00	0,58	8,27	0,00	0,11	1,11	4,01
LV4-7	36,97	4,24	13,57	14,75	0,34	14,80	0,01	0,50	8,64	0,00	0,10	1,06	3,98
LV4-8	37,22	4,20	14,06	15,28	0,27	15,25	0,00	0,58	8,11	0,00	0,10	1,13	4,05
LV4-9	37,66	4,22	13,93	14,95	0,26	15,06	0,03	0,58	8,45	0,00	0,10	1,26	4,06
LV4-10	37,90	4,36	14,11	14,64	0,24	14,62	0,01	0,13	8,42	0,00	0,12	1,33	4,05
LV4-11	36,90	4,25	14,28	15,24	0,28	14,50	0,03	0,60	8,43	0,00	0,12	1,04	4,01
LV4-12	36,99	4,27	13,95	15,24	0,27	15,12	0,00	0,56	8,82	0,00	0,11	1,07	4,03
LV4-13	37,28	4,36	13,74	14,84	0,28	14,89	0,00	0,57	8,72	0,00	0,13	1,15	4,02
LV4-14	37,09	4,28	14,00	15,19	0,27	15,12	0,00	0,61	8,63	0,00	0,11	1,09	4,04
LV4-15	37,06	4,13	14,26	15,11	0,30	14,46	0,03	0,62	8,60	0,00	0,09	1,08	4,02
LV4-16	37,31	4,36	14,06	14,73	0,28	14,83	0,11	0,54	8,21	0,00	0,14	1,16	4,02
LV4-17	37,04	4,29	13,98	15,41	0,26	14,95	0,00	0,41	8,61	0,00	0,12	1,08	4,02
LV4-18	37,15	4,33	13,89	15,08	0,25	14,96	0,05	0,57	8,62	0,00	0,07	1,11	4,04
LV4-19	36,56	4,13	13,93	14,97	0,30	14,95	0,00	0,58	8,49	0,00	0,13	0,94	3,97
LV4-20	37,09	4,16	13,90	15,16	0,28	15,11	0,00	0,59	8,67	0,00	0,11	1,09	4,03
LV5-1	35,88	4,38	14,25	16,36	0,58	13,62	0,01	0,53	8,72	0,28	0,10	0,75	3,81
LV5-2	36,80	4,49	14,60	15,30	0,41	14,82	0,00	0,64	8,82	0,00	0,12	1,01	4,05
LV5-3	36,54	4,61	14,22	15,71	0,66	13,96	0,01	0,52	8,64	0,00	0,17	0,94	3,98
LV5-4	39,13	4,31	14,29	15,05	0,63	15,77	0,00	0,56	9,15	0,00	0,24	1,68	4,20
LV5-5	36,69	4,65	14,02	17,09	0,62	13,65	0,01	0,54	8,81	0,00	0,14	0,98	4,01
LV5-6	37,38	4,11	13,47	15,22	0,62	15,04	0,00	0,50	8,69	0,00	0,22	1,18	4,00
LV5-7	35,67	4,60	13,89	18,03	0,67	12,85	0,00	0,55	8,46	0,50	0,10	0,69	3,69
LV5-8	36,91	4,35	14,34	16,02	0,38	14,57	0,00	0,54	8,79	0,00	0,12	1,04	4,04
LV5-9	36,61	4,12	14,16	15,77	0,44	14,20	0,05	0,67	8,49	0,00	0,09	0,95	3,99
LV5-10	36,38	4,42	14,52	15,32	0,40	14,17	0,02	0,64	8,60	0,00	0,10	0,89	3,99
LV5-11	37,02	4,48	13,54	16,23	0,56	14,21	0,01	0,56	8,89	0,00	0,20	1,07	3,99
LV5-12	36,70	4,17	14,28	15,89	0,53	14,00	0,00	0,60	8,75	0,00	0,10	0,98	4,00
LV5-13	37,17	4,30	13,40	15,66	0,54	14,36	0,09	0,51	8,58	0,00	0,23	1,11	3,97
LV5-14	36,13	4,81	14,43	16,48	0,58	13,57	0,00	0,50	8,84	0,00	0,11	0,82	3,99
LV5-15	37,48	4,51	13,68	15,37	0,62	14,90	0,00	0,54	8,97	0,00	0,23	1,21	4,04
LV5-16	36,13	4,78	13,74	15,39	0,66	13,59	0,11	0,49	8,70	0,00	0,29	0,82	3,89
LV5-17	36,96	4,38	13,40	15,26	0,59	14,54	0,05	0,60	8,91	0,00	0,23	1,05	3,96
LV5-18	36,22	4,78	13,80	16,02	0,55	13,89	0,00	0,56	8,70	0,00	0,19	0,84	3,94
LV5-19	36,61	4,70	14,04	16,38	0,53	13,50	0,00	0,53	8,82	0,00	0,17	0,96	3,97
LV5-20	36,09	4,72	13,66	15,44	0,62	13,79	0,00	0,45	8,72	0,00	0,13	0,81	3,92

## 7.4 ANEXO D: CONGRESOS Y PUBLICACIONES RELACIONADOS A ESTA INVESTIGACION

### 7.4.1 GOLDSCHMIDT CONFERENCE 2017, PARIS

#### BIOTITE MAJOR ELEMENTS COMPOSITION AS A TOOL TO FINGERPRINT IGIMBRITES, SOUTHERN CENTRAL VOLCANIC ZONE

Francisco Hevia<sup>1\*</sup>, José A. Naranjo<sup>2</sup>, Yuji Orihashi<sup>3</sup>, Natsumi Hokanishi<sup>3</sup>, Atsushi Yasuda<sup>3</sup>

1 Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, Chile (\*correspondence: fheviac@ing.uchile.cl)

2 Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile

3 Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, Japan

In the southern Central Volcanic Zone (25-27°S) there is a huge number of ignimbrites that cover areas over 2000 km<sup>2</sup> and reach volumes of 2500 km<sup>3</sup> [1, 2]. Detailed mapping carried out by the Chilean Geological Survey (SERNAGEOMIN) made possible to elucidate its stratigraphy and evolution [2]. To understand ignimbrites stratigraphy, distribution and lateral relationship a set of unique characteristics is needed. This is known as ignimbrites fingerprinting and includes 5 main criteria: lithologic, magnetic, petrographic, chemical and isotopic-dating [3]. In this work, detailed petrography and geochemical studies of biotites are presented for two cases of this area: Río Frío and Pajonales ignimbrites.

Río Frío ignimbrite (22-16 Ma) has very high crystal content (Pl+Opx+Cpx±Bt±Amp). Biotites major elements composition in the ignimbrite are enriched in Ti and Mg but depleted in Mn, Al and Fe compared to surrounding ignimbrites with similar ages and characteristics. Pajonales ignimbrite (17-15 Ma) has coarse glass shards and Pl+Amp+Bt±Px crystal assemblage. These biotites have lower Fe and Ti than those in Río Frío ignimbrite, but still higher than other ignimbrites in the zone.

Both ignimbrites are from Aguilar-Infielles caldera system [2] therefore chemical and petrographic changes reflect variations in a single magma body system. The main mafic minerals of Pajonales ignimbrite are Amp-Bt instead of Px. The biotites composition were clearly different between both ignimbrites showing a trend of increment in Mn and slightly Al (iv) and a lower content of Fe, Ti and Mg. These differences can be explained due to differentiated magmas process on hydrated mineral phases, resulting from the Andean uplift that leads a thicker continental crust from early Miocene to present [4].

[1] Schnur et al. (2007) J Volcanol Geoth Res 166, 17-46.

[2] Naranjo et al. (2015) Plutons, submitted resume.

[3] Hildreth & Mahood (1985) Geol Soc Am Bull 96, 968-974.

[4] Charrier et al. (2013) Int J Earth Sci 102, 235-264.

#### 7.4.2 GEOSPHERE MAGAZINE, SUBMITTED MANUSCRIPT

##### MIOCENE TO RECENT GEOLOGICAL EVOLUTION OF THE LAZUFRE SEGMENT IN THE ANDEAN VOLCANIC ARC

José A. Naranjo<sup>1</sup>, Francisco Hevia<sup>1</sup>, Víctor Villa<sup>1</sup>, Cristián A. Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología Regional, Servicio Nacional de Geología y Minería, Av. Santa María #0104, Providencia, Santiago, Chile.

##### ABSTRACT

The Lazufre bulging zone, in the area of the Pleistocene-Holocene Azufre, Cordón del Azufre, Bayo and Lastarria volcanic complexes, has been a major focus of study over the past few decades. Since 1998, InSar interferometric analysis has shown structural deformation, likely a result of an active magmatic and hydrothermal system. Our new mapping provides clues about the causes and possible consequences of this deformation, based on the reinterpretation of important structures or regional lineaments. The bulge is located upon the hanging-wall of the east vergent Pedernales-Arizaro NE-SW trending Middle Miocene major thrust fault. The footwall of this fault was previously affected by a major explosive activity producing the Los Colorados Caldera at ~9.4-9.8 Ma, the source of the homonymous 115-185 km<sup>3</sup> ignimbrite. Conjugated at ~30° to the Pedernales-Arizaro thrust, the Imilac-Salina del Fraile oblique, slightly dextral strike-slip fault, constitutes a major structure in the area, which favored the opening of transtensive spaces, parallel to the Los Colorados Caldera-Lazufre bulge alignment. Notably, since the Late Pliocene, volcanism has been concentrated in the Lazufre intumescence, including extrusion of ~120 km<sup>3</sup> total lava volume. The lava accumulation rate estimated since Late Pliocene to the present at Lazufre bulging zone area is approximately one third lower than the rate estimated for the generation of the Los Colorados Caldera. The migration of volcanic activity from this Miocene caldera area to the northwestern Lazufre bulging zone could be consequence of local strain field variations which opened tectonic space that favored magmatic ascent and storage.

### 7.4.3 XV CONGRESO GEOLÓGICO CHILENO, TRABAJO ACEPTADO

#### **ESTUDIO DE LITOFACIES Y GEOQUÍMICA DE BIOTITAS DE IGNIMBRITAS MIOCENAS DE LA ZONA VOLCÁNICA ANDINA CENTRAL SUR**

Francisco Antonio Hevia<sup>1,2</sup>, José A. Naranjo<sup>2</sup>, Yuji Orihashi<sup>3</sup>, Natsumi Hokanishi<sup>3</sup>, Atsushi Yasuda<sup>3</sup>

(1) Geología, Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

(2) Geología Regional, Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile

(3) University of Tokyo, Japan

Entre los 25°S y los 27°S, en la parte sur de la Zona Volcánica Andina Central (ZVACs), afloran múltiples ignimbritas asociadas al colapso de calderas, que se depositan a partir de corrientes de densidad en erupciones catastróficas, capaces de alterar drásticamente la superficie y atmósfera terrestre, abarcando áreas de más de 1.000 km<sup>2</sup>, con volúmenes mayores a 500 km<sup>3</sup>. Dichos flujos representan un riesgo geológico mayor, por lo que su estudio resulta de gran interés.

Estas erupciones se encuentran escasamente documentadas, sin embargo, el estudio de sus facies permite inferir las características de los flujos a partir de los que se depositaron. Por otro lado, la geoquímica de elementos mayores en biotitas es una buena herramienta para correlacionar ignimbritas con depósitos distales y de caída.

En este trabajo se estudiaron 12 ignimbritas, con edades entre ~23 Ma y ~3 Ma: se caracterizó su litología y petrografía, su distribución areal y la geoquímica de elementos mayores de biotitas en 47 muestras representativas. Las muestras fueron preparadas en SERNAGEOMIN y analizadas mediante microsonda electrónica en la Universidad de Tokio.

Con ello, se pudo caracterizar la distribución de facies de las ignimbritas e inferir las características del flujo y los procesos de depositación a partir de los que se generaron. Además, se pudo caracterizar la geoquímica de sus biotitas, permitiendo hacer comparaciones cualitativas de sus cámaras magmáticas.

Las ignimbritas más antiguas (> 23 Ma) no fueron estudiadas en profundidad por tratarse de afloramientos aislados. Las 4 ignimbritas con edades mayores a 15 Ma (Río Frío, Vega Helada, Pajonales y Juncalito) presentan patrones de distribución geoquímica que las caracterizan, mientras que las de < 15 Ma (Salar Grande, Barrancas Blancas, San Andrés, Wheelwright, Parinas y Laguna Verde) tienen rangos composicionales muy acotados que las identifican, salvo por la Ignimbrita Los Colorados (~ 9 Ma) que presenta una gran variación composicional, lo que indica una cámara magmática muy zonada.

Finalmente, los resultados se compararon con la geoquímica de elementos mayores de biotitas en depósitos de caída ubicados cerca de la costa, en latitudes similares, publicados por Breitzkreuz et al. (2014). Se pudo establecer una buena correlación entre una de las localidades costeras y la Ignimbrita Laguna Verde, de ~3,5 Ma, permitiendo re-estimar su volumen y detallar su extensión.